



RECOMENDACIONES PARA EL DIAGNOSTICO Y DETECCION DE NUEVAS AREAS DE MINERALIZACIÓN

Carbeny Capote ⁽¹⁾

(1) - Instituto de Geología y Paleontología, Ministerio de la Industria Básica. Vía Blanca y Línea del Ferrocarril s/n CP 11000; e. mail: carbeny@igp.minbas.cu

RESUMEN

Los estudios de evaluación de potencial mineral juegan un papel esencial: localizar sectores favorables donde posteriormente desarrollar etapas más avanzadas de la prospección. No obstante, este tipo de estudio no se encuentra reglamentado en las instrucciones vigentes del Servicio Geológico Nacional, lo cual determina que cada trabajo se proyecte, acometa e informe basado, fundamentalmente, en los criterios de la entidad que los auspicia, o de su colectivo de autores. En consecuencia, dos áreas de similar geología, favorabilidad y complejidad pueden ser abordadas por métodos de muy diferente eficacia, lo cual determinará distintos resultados y a su vez repercutirá de manera muy diferente en el desarrollo del resto del programa. Por su trascendencia, resulta muy útil y oportuno para el Servicio Geológico Nacional profundizar en los diferentes temas relacionados con la evaluación de potencial mineral, a fin de perfeccionarla y reglamentarla en sus aspectos más básicos, pretendiéndose que este trabajo sea una contribución en este sentido.

RECOMMENDATIONS ABOUT DIAGNOSE AND DETECTION OF NEW MINERALIZATION AREAS

ABSTRACT

The mineral potential assessment plays an essential role: to find mineral favorable sectors where, subsequently, to develop more advanced exploration stages. Nevertheless, this type of study is not regulated in the current National Geologic Service Instructions, that determines that each work is projected, carried out and reported based, essentially, in the criteria of executor institution, or its staff of authors. Consequently, two areas of similar geology, favorability and complexity can be approached by methods of very different effectiveness, which will determine different results and in turn it will rebound in a very different way in the development of the rest of the program. Due to its great importance, it is very useful for the National Geologic Service to deepen into different topics related to mineral potential assessment, in order to perfect and regulate it, intending this paper to be a contribution in this sense.

INTRODUCCIÓN

Para encontrar nuevos depósitos en el siglo XXI, lo primero que debe hacer un geólogo prospector es tener la más absoluta convicción de que buscarlos no puede ser ya el simple ejercicio técnico-empírico que fue hace décadas. Cuando se investigaba en la superficie, en los alrededores de manifestaciones conocidas. La realidad enseña que las áreas completamente inexploradas prácticamente no existen ya, y que los depósitos no encontrados deben ser, en su mayoría, sub-superficiales o *ciegos*, complejos, pequeños y de baja ley (**Fig. 1**). Por tanto, la prospección mineral moderna tiene que ser, forzosamente, un proceso de naturaleza indudablemente tecnocientífica que profundiza antes en los procesos de formación y distribución de una acumulación mineral en la corteza, para luego encontrarla.



En los programas de desarrollo de la actividad geominera cubana de fines del siglo XX y comienzos del XXI, ocupa un lugar especialmente importante el aumento de las reservas de oro y de plata, así como de cromita, bentonita y roca decorativa. A pesar de que algunos especialistas opinan que en Cuba prácticamente todo está encontrado y lo que hace falta es detallarlo, un análisis objetivo muestra que el grado de conocimiento alcanzado en grandes áreas del territorio nacional resulta insuficiente para crear y desarrollar estrategias adecuadas que garanticen realmente la detección en ellas de nuevas reservas de aquellos, u otros tipos de recursos minerales. Por tanto, resulta esencial efectuar en estas grandes extensiones estudios

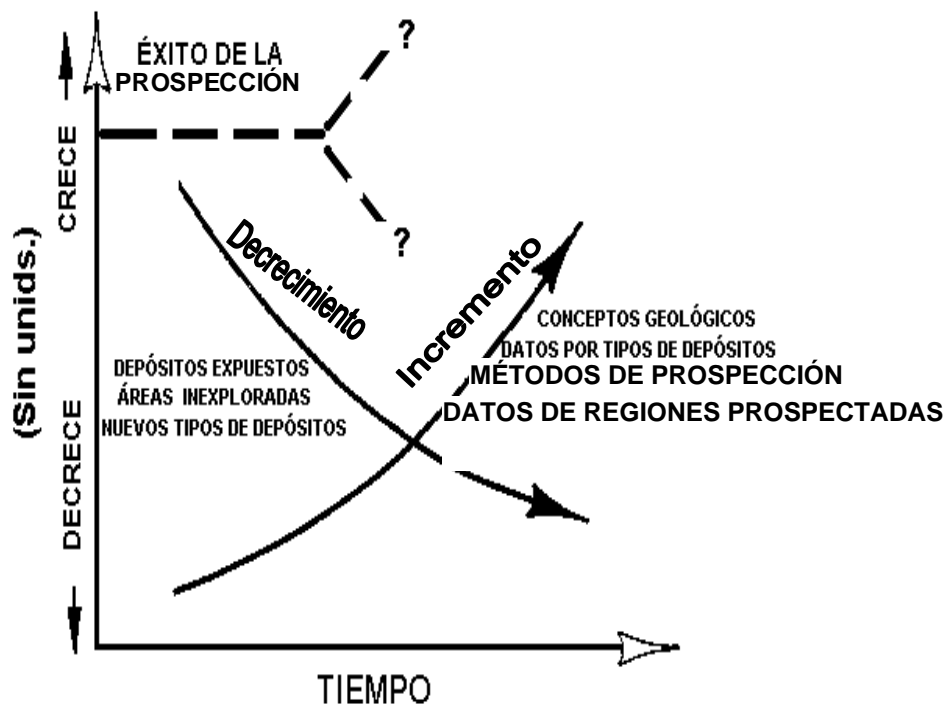


Fig. 1. Representación esquemática de cambios en el tiempo de diferentes aspectos de la prospección mineral.
Fuente: Adams (1986).

de evaluación de potencial mineral, para así localizar nuevos sectores favorables donde posteriormente continuar la prospección.

No obstante, la evaluación de potencial mineral no se encuentra reglamentada en las instrucciones vigentes del Servicio Geológico Nacional, lo cual determina que cada trabajo se proyecte, acometa e informe basado, fundamentalmente, en los criterios de la entidad que los auspicia, o de su colectivo de autores. En consecuencia, dos áreas de similar geología, favorabilidad y complejidad pueden ser abordadas por métodos de muy diferente eficacia, lo cual determinará distintos resultados y a su vez repercutirá de manera muy diferente en el desarrollo del resto del programa prospectivo al que pertenece. Por su trascendencia, resulta muy útil y oportuno para el Servicio Geológico Nacional profundizar en esta cuestión a fin de perfeccionar y reglamentar la evaluación de potencial mineral en sus aspectos más básicos,



pudiendo estar la solución en la creación de un grupo de trabajo que se encargue de recoger y analizar propuestas, así como crear los documentos correspondientes. El autor espera que las recomendaciones hechas en este trabajo sean una contribución al perfeccionamiento de estos estudios. Para esto, de los muy variados aspectos que deben ser tratados, ha escogido tres por considerarlos particularmente importantes: **1- construcción de patrones de diagnóstico; 2- producción de mapas regionales de atributos equivalentes; 3- reconocimiento areal de patrones.**

El **patrón de diagnóstico** es lo que sintetiza en sus atributos más esenciales lo que se está buscando. Pero, en el área que se evalúa hay que garantizar que estén cartografiados aquellos atributos cualitativamente equivalentes a los que integran al patrón de diagnóstico, lo cual conforma la etapa: **producción de mapas regionales de atributos equivalentes**. Finalmente, para encontrar en el área que se evalúa nuevos sectores favorables por repetición o similitud del patrón de diagnóstico, visualmente o mediante un sistema geográfico de información, se requiere la ejecución del **reconocimiento areal de patrones**.

CONSTRUCCIÓN DE PATRONES DE DIAGNÓSTICO.

Cuando se dispone de información sobre depósitos donde ocurre la mineralización buscada, la creación de un **modelo de depósito** es la mejor vía para entender los factores geológicos de formación y control, así como los indicadores de ocurrencia (geofísicos, geoquímicos, morfológicos, de teledetección, etc.) necesarios, para a partir de ahí conformar un patrón de diagnóstico. Sobre la modelación, algunos geólogos en Cuba plantean que no se encuentran disponibles, ni los datos suficientes para enfrentar la tarea, ni el personal necesario para ejecutarla, y lo que procede es tomar modelos de la literatura. En realidad, una cosa es crear un modelo que pueda caracterizar en la literatura a un tipo de depósito, para lo cual hace falta una gran cantidad de información, y la participación de todo un equipo de trabajo; y otra es utilizar este recurso en una evaluación de potencial, donde muchas veces la información disponible es suficiente para cumplir ese objetivo. El autor considera que ambas tareas son tanto necesarias, como factibles de acometer en el País, pero, en esta ocasión se referirá a la última. En Ariosa-Iznaga (2002) el lector puede encontrar, entre otros aspectos relacionados con la modelación de depósitos minerales, una fundamentación sobre la conveniencia y factibilidad de nutrir la literatura mundial y local con modelos descriptivos de depósitos minerales cubanos, así como recomendaciones metodológicas sobre su construcción.

No existe todavía un consenso mundial sobre la terminología existente alrededor del concepto **modelo de depósito mineral**, pudiéndose encontrar en Adams (1986) una amplia revisión sobre el tema, que aún en los comienzos de los años 2000 resulta válida. Por este autor se tiene que:

Un **modelo empírico** o **descriptivo** es aquel que abarca sólo datos y observaciones, sin interpretaciones ni conceptos sobre procesos de formación. Un **modelo conceptual**, o **genético**, representa datos e interpretaciones. Un **modelo característico** representa datos, con o sin interpretación, para una característica particular de un depósito mineral (por ejemplo: **modelo estructural, modelo de alteración**). Cuando el modelo contiene elementos de diagnóstico en secuencia para alcanzar un objetivo se tiene un **modelo de datos-procesos-criterios**. Se forma por las características de los análogos del tipo de depósito (**datos**), los procesos que son interpretados como formadores de las características geológicas del depósito (**procesos**) y aquellas características geológicas más confiables e informativas para la prospección (**criterios**).



Las complejidades del objetivo y del área de la evaluación, constituyen factores esenciales en la elección del tipo de modelo a construir. En el caso de un problema simple, por ejemplo: la favorabilidad bentonítica de una formación lito-estratigráfica dada, puede ser suficiente un modelo empírico del tipo de depósito esperado. Pues lo que se necesita es encontrar, dentro de secuencias sedimentarias poco complejas y bien definidas de conjunto, aquella variación facial que signifique la acumulación mineral buscada.

Pero, cuando la tarea es evaluar la potencialidad en un tipo dado de mineralización dentro de un grande y muy complejo universo de datos, se requiere una herramienta discriminadora mucho más poderosa, siendo en este caso más adecuado el modelo de datos-procesos-criterios. El sub-tipo de este modelo utilizado para una evaluación de potencial, se caracteriza por tener en primer lugar los elementos de la distribución regional de la mineralización buscada, nombrándose aquí sub-tipo **evaluativo regional**. La **figura 2** ilustra su creación y aplicación, a través de la simplificación que permite el concepto: conjunto de atributos, tomándose como ejemplo práctico la búsqueda de mineralización epitermal de metales preciosos y base en un paleo arco de islas volcánicas. En la **figura 2-A**, se muestra la construcción del modelo y, a partir de este, la del patrón de diagnóstico, con los criterios de formación e indicadores de ocurrencia. En la **figura 2-B**, el patrón es usado, primero, para encontrar entre los conjuntos de atributos petrológicos, faciales, temporales y estructurales determinados con anterioridad en el área de estudio, aquel que se le relaciona más, siendo aquí AIV-4. Y seguidamente, para establecer los elementos que aún faltan por encontrar para que el conjunto AIV-4 correlacione teóricamente bien con el patrón, por ejemplo: datos sobre el fallamiento rectilíneo sin-arco y las alteraciones silicatadas. Ya en la **figura 2-C**, se observa como el mapa construido finalmente permite un adecuado reconocimiento del patrón dentro del área de estudio, ya sea por reiteración o por similitud.

No obstante, aún disponiéndose de suficiente información para hacer un modelo propio, se ha observado en diversas evaluaciones anteriores que se optó, sin embargo, por el uso directo de modelos genéticos o empíricos expuestos en la literatura. Esto, en vez de permitir la mejor discriminación dentro del universo de atributos a evaluar (el área de estudio), para concentrar así la búsqueda en el menor número de conjuntos posibles, crea el efecto contrario. Esto puede suceder de dos formas diferentes: una de ellas es cuando al importarse distintos modelos generales para una misma área de estudio sucede que cada uno de ellos corresponde mejor con un conjunto de atributos diferente, (**Fig. 3- A**). Y la otra forma, es cuando un mismo modelo general es relacionable con diferentes conjuntos de atributos (**Fig. 3- B**). Sea cual sea la vía, será necesario cubrir una gran área y el resultado será una gran cantidad de sectores, la mayoría falsamente favorable.

En la construcción del modelo, sobre todo en el caso del sub-tipo evaluativo regional del modelo de datos-procesos-criterios, resulta frecuente encontrarse que el conjunto de datos e interpretaciones que se tiene sobre un sector presenta fuertes discrepancias con respecto a los de otros sectores, aunque en todos ocurra el mismo tipo de mineralización. Esto, fruto generalmente del trabajo de un diferente grupo de autores en cada sector, obliga a la reinterpretación, lo cual puede exigir a su vez la obtención en el campo de nuevos datos. En esta reinterpretación, un aspecto esencial lo resulta la realización para cada sector de un mapa resumen de controladores e indicadores, resultado del análisis de la información sobre imágenes de satélite y aéreas. La otra parte, consiste en la creación de una detallada base de datos y su correspondiente estudio. Luego de obtenidos para cada sector, por estas dos vías, los criterios sobre formación y los indicadores de ocurrencia son volcados en una tabla donde se hace la generalización, para luego, finalmente, llegar al patrón.

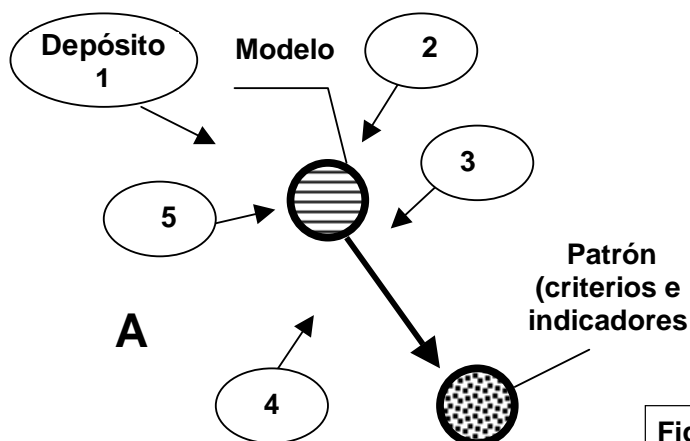


Fig. 2. Esquema de construcción y aplicación del sub-tipo evaluativo regional (modelo de datos-procesos-criterios), explicado a partir del conjunto de atributos. Ejemplo en la evaluación o reconocimiento de un área compleja de paleo-arco de islas volcánicas.

Fig. 2-a. Construcción del modelo y del patrón, a partir de los datos de 5 depósitos.

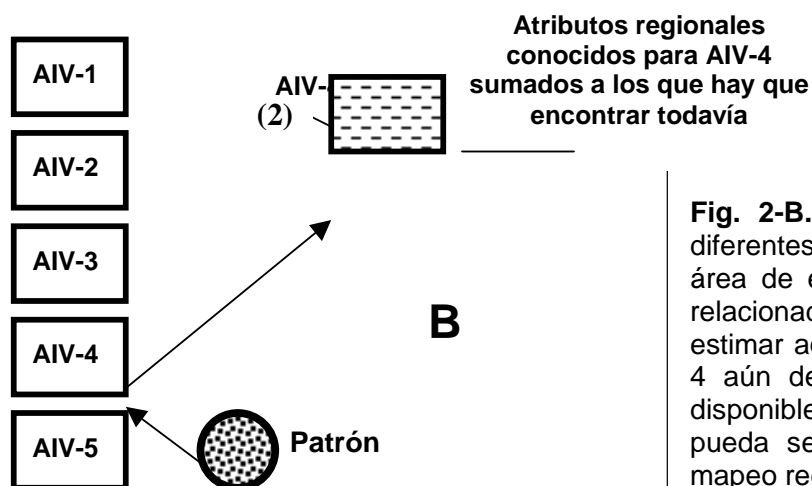


Fig. 2-B. En (1) se compara el patrón con los diferentes complejos de atributos conocidos en el área de estudio, determinándose que AIV-4 es el relacionado. Después, el patrón sirve también para estimar aquellos atributos regionales que para AIV-4 aún deben ser encontrados en la información disponible y en el campo, de manera tal que aquel pueda ser correlacionado con los resultados del mapeo regional (2).

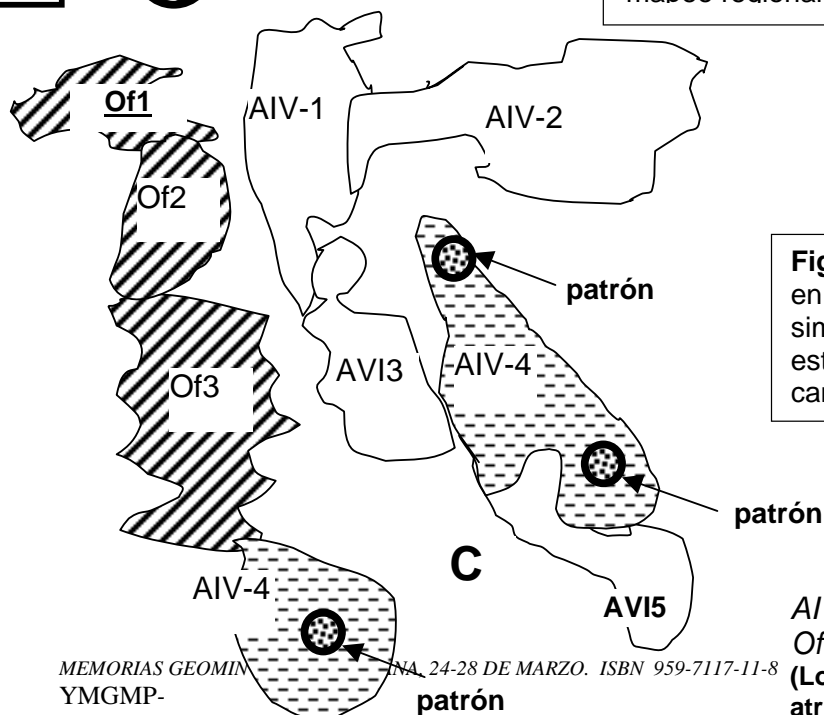


Fig. 2-C. Reconocimiento del patrón en nuevos lugares, por reiteración o similitud, dentro del mapeo final del estudio. Así, se discrimina una gran cantidad de área.

AIV: Paleo-arco de islas volcánicas.
Of: Ofiolitas.

(Los números indican diferentes conjuntos de atributos).

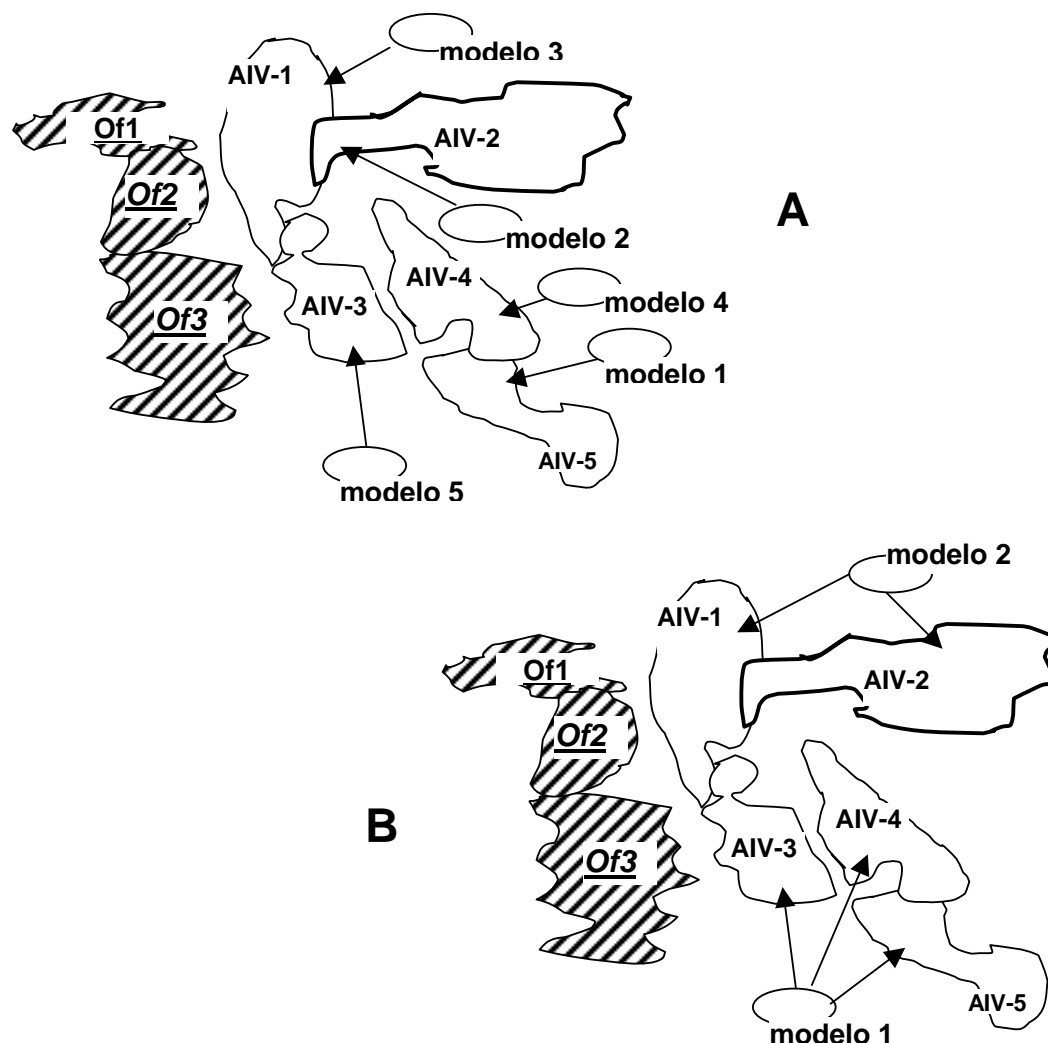


Fig. 3. Ilustración de las desventajas del uso directo de modelos descriptivos o genéticos importados, para el reconocimiento de sectores favorables en un ambiente geológico complejo. En 3- **A**, cada modelo general es relacionable con un conjunto de atributos diferente. En 3- **B**, un mismo modelo general es relacionable con diferentes conjuntos de atributos. En ambos casos, en vez de discriminarse áreas se evaluará una gran extensión de terreno, y como resultado final serán separados muchos sectores falsamente favorables.

AIV: Paleo-arco de islas volcánicas.

Of: Ofiolitas.

(Los números indican diferentes conjuntos de atributos).





A la hora de construirse el patrón de diagnóstico, deben especificarse con claridad los criterios y su importancia, de manera que puedan ser jerarquizados adecuadamente a la hora de ejecutarse el reconocimiento areal de patrones. También, en el patrón deben ubicarse y significarse los indicadores de ocurrencia detectados, debiendo recordarse que su importancia generalmente debe ser menor que la de los criterios, aunque existen excepciones.

Por otro lado, se presentan situaciones donde no existe la información suficiente para crear un modelo propio para la evaluación. En este caso, se usan modelos de la literatura, pero tomándose medidas para no incurrir en lo señalado anteriormente, e ilustrado en las **figuras 3-A y 3-B**. Siendo así, es necesario: a- Preferenciar los modelos genéticos a los descriptivos; y b – Adecuar los atributos diagnósticos resultantes, en lo posible, al universo de datos que se evaluará. Lo primero, se dirige a aprovechar el hecho de que en el modelo genético se suma información sobre los procesos de formación y factores controladores, a los datos que brinda el modelo descriptivo sobre estructura, morfología, firmas y otros indicadores diagnósticos. Así, se puede iniciar un patrón teórico lo más completo posible, con criterios e indicadores de ocurrencia extraídos del modelo genético. Y lo segundo, se hace para ajustar en lo posible este patrón a la situación concreta del área donde se va a buscar. Por ejemplo: del patrón hecho a partir del modelo adoptado, se tiene que un criterio esencial para la detección de oro diseminado es la presencia de secuencias arcillosas fuertemente carbonosas, de pie continental, cercanas a focos magmáticos de composición media que activaron el margen. Por tanto, el patrón mejorado especificará aquellas secuencias que en la región a evaluar se les han reconocido estas características (ej: Miembro A, de la Formación B y Mbro. X de la Fm. Y). Asimismo, de ser necesario, se adicionará información obtenida en diferentes localidades donde afloren esas secuencias, mediante la documentación geológica detallada, los resultados del análisis de oro y del resto de los elementos asociados y otras acciones que se desprendan del mejoramiento del patrón.

PRODUCCIÓN DE MAPAS REGIONALES DE ATRIBUTOS EQUIVALENTES.

Esto obliga a organizar y complementar el universo de datos regionales, lo cual puede representar un trabajo mucho mayor que el de la creación del patrón de diagnóstico. Pero, sin dar este paso, la evaluación no es posible. Basta citar este sencillo ejemplo: los datos de prospecciones anteriores mostraban que la ocurrencia de granitos de tercera generación constituía un criterio de primera importancia para delimitar sectores de una variedad muy apreciada de roca decorativa, sin embargo, en los mapas regionales del área a evaluar no se tenía cartografiado por edades relativas el magmatismo intrusivo ácido-medio.

Aquí, resulta obligatoria la creación de un juego de mapas a la escala del trabajo, representándose en cada uno un grupo determinado de atributos. Lo primero es escoger la escala, lo cual se hace basados en los objetivos del trabajo y la condicionalidad de los datos e interpretaciones disponibles. Cuando el área de evaluación corresponde exactamente con la de trabajos de mapeo geológico anteriores, lo cual en Cuba resulta raro, para algunos tipos de mapas sólo basta efectuar algunas pocas modificaciones a los existentes, hechas a partir de los propios datos de esas investigaciones. Pero, otros tipos de mapas seguramente habrá que construirlos específicamente para la evaluación.

Un caso mucho más frecuente, es cuando se necesita para un tema determinado la generalización cartográfica de diferentes mapas, cada uno con diferentes colectivos de autores. Antes de continuar, resulta necesario apuntar que de acuerdo a la naturaleza de su información, es posible diferenciar tres grupos principales de mapas: **1- mapas de datos procesados, 2-**



mapas con algún grado de interpretación y 3- mapas de interpretaciones. En el primer grupo se encuentran los de anomalías geoquímicas, campos geofísicos, anomalías tonales de imágenes de teledetección y otros similares; en el segundo, mapas de alineamientos geofísicos, mapas pronósticos geoquímicos y otros; mientras que el tercero lo integran los mapas litológicos, faciales, geo-estructurales, geomorfológicos y otros. Para la generalización en el primero y segundo casos, lo ideal es buscar y reunir los datos primarios de cada trabajo, corregirlos, si procede, y procesarlos todos juntos bajo un sistema único. Cuando esto no es factible debido a que la naturaleza de los datos no es exactamente la misma, entonces, resulta necesario hacer una generalización básicamente cualitativa. Un caso muy característico de esta situación se encuentra en los mapas de anomalías exógenas de levantamientos geoquímicos, cuando unos están hechos por metalometría con análisis espectrales semicuantitativos y otros provienen del método de sedimentos de flujo, con análisis espectrales cuantitativos. Ante esta situación, una de las vías de solución es interpretar la favorabilidad y la génesis de las anomalías en cada mapa, en atención a su intensidad y composición elemental, respectivamente (Capote 1999).

En el caso de los mapas del tercer grupo, practicar la generalización exclusivamente por la vía cartográfica resulta frecuentemente muy poco útil. Lo más común es que cada interpretación hecha por cada equipo de mapeo presente diferencias conceptuales y en los trazos de los elementos principales. Esta situación no ocurre solamente debido al alto nivel de subjetivismo de las interpretaciones en áreas poco afloradas, abundantes en Cuba, sino también al hecho de que cada mapeo, como regla, representa un particular agrupamiento de variables. Entre estas, se encuentran la escuela de saber geológico, la disponibilidad de recursos para los trabajos, así como la época y el nivel de conocimiento de la geología de Cuba cuando el estudio fue desarrollado. Consecuentemente, cuando se presentan serias incompatibilidades entre los resultados de cada mapa, la generalización implica una reinterpretación de toda el área de estudio. Lo ideal es hacerlo a partir de los datos originales y de trabajos propios de campo y gabinete, pero generalmente el tiempo no lo permite. Siendo así, lo factible es hacer un mosaico de mapas, y generalizarlo apoyados fundamentalmente en la aplicación de la teledetección y la geofísica, con la ayuda de comprobaciones de campo concentradas en los sectores o rasgos más controvertidos.

De todos los mapas generalizados de interpretación necesarios, uno cuya utilidad es recurrente en cualquier tipo de estudio y que exige frecuentemente una atención especial es el mapa estructural. Muchas veces, la información estructural que suministran los diferentes mapas anteriores no sólo puede ser contradictoria al respecto de los trazos y estilos de las estructuras que muestran, sino que en su esencia tampoco responde a las exigencias del estudio que se debe hacer. Una de las situaciones más comunes que se presenta en Cuba, es cuando se quiere desarrollar algún estudio general de minerales formados en épocas pre-maestrichtianas. No obstante, resulta un hecho el que la mayoría de los trabajos estructurales y tectónicos precedentes muestran fundamentalmente las estructuras de la orogenia cubana y el neoautóctono, objetivo principal de la mayoría de los mapeos, mientras que para encontrar los minerales buscados resulta capital el estudio de las deformaciones producidas durante las épocas de pre-subducción y subducción, pues son las que básicamente deben estar relacionadas (Capote, et al. 1991).

RECONOCIMIENTO AREAL DE PATRONES.

El reconocimiento en el territorio de estudio de los patrones establecidos con el fin de detectar nuevas áreas mineralizadas (**Fig. 2-C**), es siempre una consecuencia directa de las dos etapas



anteriores. Sin embargo, resulta común que se polarice el diseño y la ejecución de esta última en detrimento de las otras, arribándose por esta vía, indefectiblemente, a resultados equívocos.

Un sistema de información geográfica (SIG) representa una formidable herramienta en el reconocimiento areal de patrones. Pero, no es una vara mágica que sustituya completamente el análisis experto visual (AEV). Mediante el AEV no sólo se debe siempre valorar y jerarquizar los atributos que entran en el SIG, así como diseñar las variantes de análisis, sino también debe servir para evaluar el grado de certidumbre de los resultados finales. El papel del AEV siempre es relevante, pero aumenta geoméricamente su importancia en la medida que la situación a evaluar se complejiza, lo cual viene dado, fundamentalmente, por el nivel de dificultad del problema a resolver; así como por la cantidad y la calidad de cada uno de los tipos de datos a procesar (Suárez & Capote 2001).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Adams, S., 1986. Using geological information to develop exploration strategies for epithermal deposits. In Berger & Bethke ed., **Geology and geochemistry of epithermal deposits systems**. Reviews in Economic Geology, v. 2; Society of Economic Geologists. 273-298 p. .
- Ariosa-Iznaga, J. D., 2002. **La modelación descriptiva de yacimientos minerales en Cuba**. Tesis de doctorado. Instituto Politécnico José Antonio Echevarría., Facultad de Ingeniería Civil, Dpto. de Geociencias. C. de La Habana, Cuba. 210 p..
- Capote, C.; M. Santa Cruz Pacheco; L. Díaz De Villalvilla; G. Brito; M. Pérez; O. Pereda; D. García; F. Talavera; E. González, 1991. Proyecto temático-productivo, **Fundamentación del pronóstico y la búsqueda de minerales sólidos en la Región Siboney-Las Tunas**. Instituto de Geología y Paleontología (IGP) y Empresa Geólogo-Minera Camagüey, Ministerio de la Industria Básica, Cuba, (inédito): Archivo IGP, Ciudad de La Habana.
- Capote, C., 1999. **Análise do controle estrutural metalogênico em Cuba Centro-Oriental, com base em dados integrados**. Tese de doutoramento, Instituto de Geociências, Universidade de Sao Paulo. 220 p..
- Suárez, A.; C. Capote, 2001. Nuevos sectores favorables auríferos en la Zona Cascorro, provincia de Camagüey. En IV Congreso de Geología y Minería, de la Sociedad Cubana de Geología. Ciudad de La Habana, marzo de 2001. Proceedings.



MODELO GENÉTICO DEL YACIMIENTO EL COBRE, CUBA ORIENTAL.

Xiomara Cazañas Díaz⁽¹⁾ y Juan-Carles Melgarejo i Draper⁽²⁾

(1) Instituto de Geología y Paleontología, Vía blanca y Línea del Ferrocarril, Virgen del Camino, san Miguel del Padrón, Ciudad de La Habana, Cuba. CP 11 000, E-mail:xiomara@igp.minbas.cu

(2) Universidad de Barcelona, Facultad de Geología, Departament de Cristal·lografia, Mineralogia i Dipòsits Minerals, c/Martí i Franquès s/ 08028, Barcelona, España, E-mail: joanc@natura.geo.ub.es

RESUMEN

Se asume para el depósito El Cobre un modelo volcanogénico formado en cuatro estadios. En el inicial ocurrió la desgasificación del magma con la emisión de vapores poco salinos ricos en SO₂ (fluido II) que produjo la alteración ácida y el calentamiento del agua marina (fluido I), precipitando en el fondo submarino la barita estratiforme ($\delta^{34}\text{S}$ de 20 ‰), mientras que por debajo se produce el reemplazamiento de caolinita por clorita.

En un segundo estadio continúa la emisión de vapores ricos en SO₂ y calentamiento de agua marina, precipitando en la superficie el estratiforme de anhidrita ($\delta^{34}\text{S}$ entre 18 y 20 ‰) y por debajo de éste se desarrollan el stockwork anhidrítico ($\delta^{34}\text{S}$ de 20,7 ‰), filones de esfalerita (salinidades entre 1,9 y 2,9 % en peso de NaCl eq.) y remplazamiento de caolinita por clorita.

En el tercer estadio ocurre la emisión de fluidos salinos pobres en volátiles y ricos en metales (fluidos III) que se mezclan con agua marina, produciendo alteración sericitica, silícea y clorítica y las mineralizaciones estratoligadas Inferior, Intermedia y Superior. Sobre la falla El Cobre se forman los filones y el stockwork silíceo, principal mineralización explotada en el yacimiento ($\delta^{34}\text{S}$ entre 0,9 y 7,6 ‰).

En el cuarto estadio disminuye la emisión de fluidos salinos que se mezclan con el agua marina. Se produce alteración sericitica, silícea y clorítica y se forma el estratiforme superior de barita, que posteriormente es cortado por filones con esfalerita, galena y calcopirita. En zonas más distales de la falla El Cobre se formó la mineralización de manganeso y su alteración celadonítica, concluyendo así la formación del depósito.

ABSTRACT

It is assumed for the El Cobre deposit a volcanogenic model formed in four stages. In the initial stage it happened the degassing of the magma with the emission of not very rich saline vapours in SO₂ (fluid II) that produced the sour alteration and the heating of the marine water (fluid I), precipitating in the submarine bottom the strataformed barite minerals ($\delta^{34}\text{S}$ of 20 ‰), while under there occurs the kaolin replacement for chlorite.

In a second stage the emission of rich steams in SO₂ continues and also the heating of marine water, precipitating in the surface the anhydrite strataformed ($\delta^{34}\text{S}$ between 18 and 20 ‰) and below this the anhydrite stockwork ($\delta^{34}\text{S}$ of 20,7 ‰), esfalerite reefs (salinity between 1,9 and 2,9 % wt of NaCl eq.) and kaolin reemplasament for chlorite are developed.

In the third stage it happens the emission of saline fluids poor in volatile and rich in metals (fluid III) that mix with marine water, producing sericitic alteration, silica and chlorite and the Lower, Intermediate and Superior strataliaisoned minerals. On the El Cobre fault is formed the ores and the silica stockwork, the main ores exploded in the deposit ($\delta^{34}\text{S}$ between 0,9 and 7,6 ‰).

In the fourth stage the emission of saline fluids that has been mixed with the marine water diminishes, then, the sericitic, silica and chlorite alteration takes place and by the way are formed the superior barite strataliaisoned that later are cut by others ores with esfalerite, galena and chalcopirite. In more distant



areas from the El Cobre fault was formed the manganese ores and its celadonitic alteration concluding this way the formation of the deposit.

Introducción

El yacimiento El Cobre se localiza a 17 Km. al NW de la ciudad de Santiago de Cuba, en la Sierra Maestra y encaja en la Secuencia Media del Grupo El Cobre. Se descubrió alrededor de 1530 e inmediatamente comenzó a explotarse (Ansted, 1856).

Los trabajos de extracción se han continuado por mas de cuatro siglos, considerándose durante casi todo este tiempo al yacimiento, como un depósito calcopirítico con estructura de filón (Bogdánov et al., 1963; Barrabí et al., 1992). Sin embargo el descubrimiento reciente de otros tipos estructurales de mineralización (Luna et al., 1989) interpretadas como estratiforme y estratoligada, sugieren un nuevo enfoque en el modelo (Cazañas, 2000), donde se ampliarían las perspectivas en metales base (Cu-Zn-Pb) y Au y Ag.

Según este nuevo enfoque un depósito volcanogénico de sulfuros de Cu-Zn-Pb-Au-Ag semejante al yacimiento El Cobre, en un contexto de arco de islas volcánicas, requiere para su formación de las siguientes premisas:

- a) existencia de un intrusivo subvolcánico en profundidad, que actuando como fuente de calor y fluidos, posibilita la activación de un sistema hidrotermal convectivo de agua marina
- b) presencia de una zona de elevada permeabilidad que favorece la circulación de fluidos a través de la misma y
- c) mecanismos de precipitación basado en la mezcla del agua marina con al menos dos fluidos de salinidades diferentes.

Materiales y métodos

Para la realización de esta investigación se dispuso de un amplio volumen de muestras correspondientes a afloramientos y a testigo de pozos. Las muestras obtenidas son representativas de todas las regiones del yacimiento, desde la superficie hasta las zonas más profundas, lográndose una caracterización general del mismo.

Se prepararon láminas delgadas con pulido metalográfico y secciones pulidas para identificar las fases minerales presentes al microscopio óptico de luz transmitida y reflejada y los minerales de alteración. De forma complementaria para dicha identificación se utilizó la difracción de polvos de RX, la Fluorescencia de RX, la microscopía electrónica de barrido con analizador de energías (SEM-EDS) y el ICP-Masas. La cuantificación de las fases minerales presentes se llevó a cabo mediante la microsonda electrónica. Se utilizó la microtermometría de inclusiones fluidas con el objetivo de determinar la temperatura y composición de los fluidos mineralizantes y establecer en lo posible la fuente de los mismos. Por último se hicieron estudios isotópicos del carbono y el oxígeno en carbonatos y calcitas hidrotermales, del estroncio, oxígeno y azufre en los sulfatos (anhidrita y barita) y del azufre en los sulfuros con vistas a esclarecer el origen de estos elementos.

Resultados y discusión

El yacimiento El Cobre está representado por un conjunto de mineralizaciones estratiformes (anhidrita, barita y óxidos de manganeso), estratoligadas (Inferior, Intermedia y Superior) y



filoneas con stockwork en sectores superficiales y filones en profundidad, formadas en por lo menos cuatro estadios de mineralización (Fig. 1).

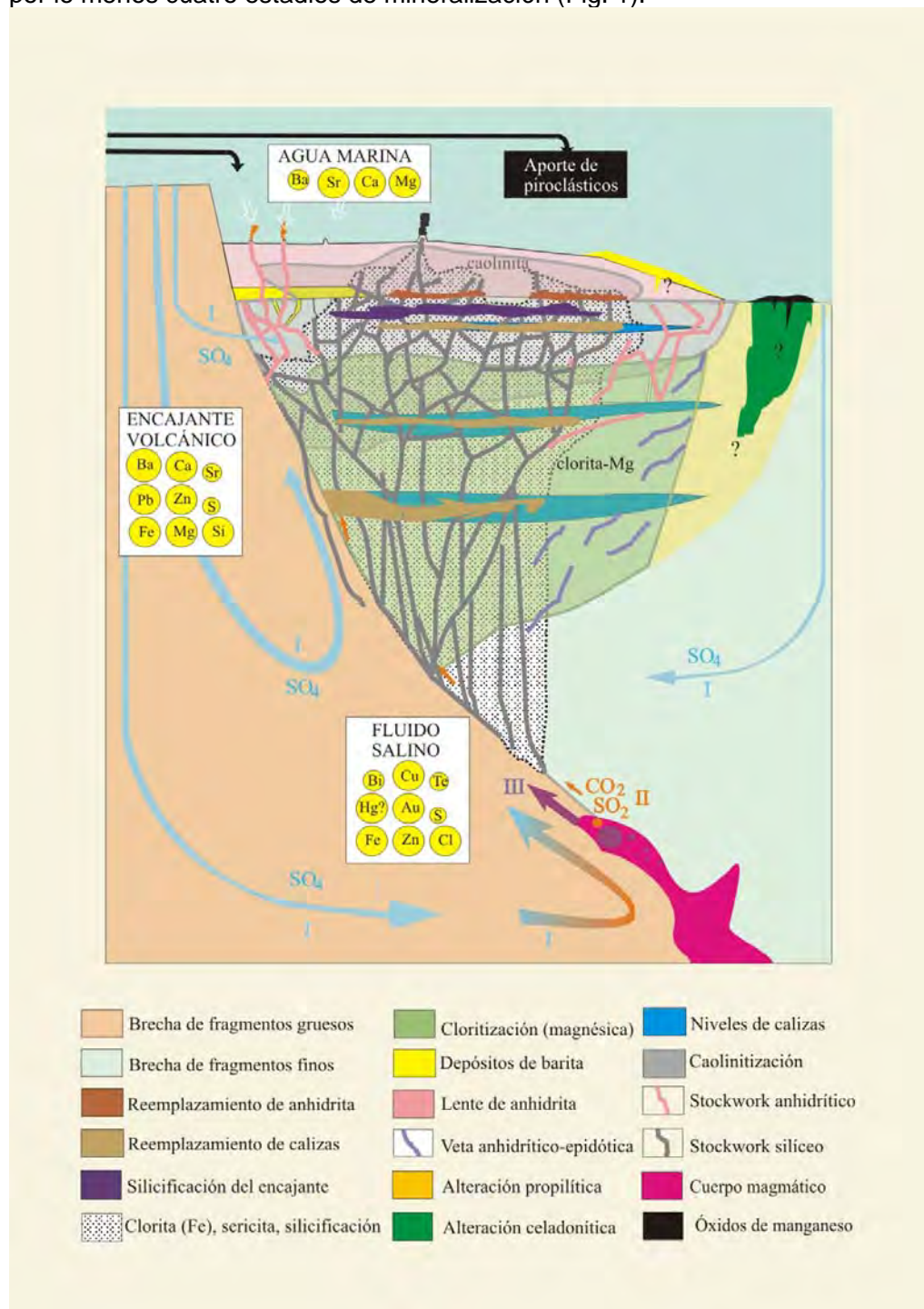


Fig. 1- Modelo de formación del yacimiento El Cobre



Primer estadio de mineralización: desarrollo del estratiforme inferior de barita en el depósito

Si se acepta que el nivel estratiforme basal de barita no es reemplazante, como lo indican las texturas presentes, entonces dicha mineralización se formó en un fondo submarino por descarga de fluidos hidrotermales constituidos por agua marina calentada, evidencia de ello es el valor de la composición isotópica del azufre en los nódulos de barita, de aproximadamente 20 ‰ y está dentro del rango de la composición isotópica del sulfato del agua del mar del Paleógeno que se reporta en Claypool et al., 1980. Por criterios estratigráficos también se puede deducir su formación temprana en relación con el paquete de anhidrita. Este nivel, además, reposa sobre un basamento alterado a caolinita, que es cortado por vetas con sulfatos (anhidrita y barita). Todos estos materiales estratiforme y filones son cortados y reemplazados por mineralizaciones posteriores, por lo que representan un primer estadio mineralizante en el depósito. La existencia de alteración caolinítica en este estadio implica la participación de soluciones ácidas en el mismo. Puesto que es imposible esperar un pH adecuado para ello simplemente a partir de agua marina, se propone que en el mismo hay contribución de un fluido de origen magmático rico en volátiles especialmente en vapores de azufre (fluido II). La oxidación de los vapores de azufre cerca de la superficie darían lugar a la formación de aguas ácidas, responsables de la alteración caolinítica anteriormente mencionada.

Cabe recordar que el modelo que se plantea supone la existencia en profundidad de un magma, muy probablemente de composición ácida, que es la que corresponde a las rocas volcánicas de la parte alta de la Secuencia Media del Grupo El Cobre en la zona del depósito. En este magma se produjo una separación temprana de fases en profundidad, diferenciándose un fluido poco salino y rico en volátiles (fluido II) y otro más salino y rico en metales (fluido III).

El fluido II al estar enriquecido en volátiles (SO_2 , CO_2 , SO , H_2S entre otros) es más ligero y ascendió rápidamente hacia la superficie contribuyendo junto con el agua marina (fluido I) en la formación de toda la mineralización desarrollada en este estadio, mientras que el fluido III al ser más pesado quedaba remanente en el cuerpo magmático. Así pues la circulación de grandes volúmenes de fluido II en este primer estadio explicaría la extensa zona de alteración caolinítica precoz del yacimiento así como la relación isotópica $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de la barita del depósito que es de 0,70575 y no se explica por la participación exclusiva de Sr de origen marino. En cambio los isótopos de azufre con valores de la $\delta^{34}\text{S}$ de aproximadamente 20 ‰, dentro del rango de valores del sulfato marino del Paleógeno, sugieren una contribución predominante del agua del mar (fluido I) en la formación de la anhidrita e indican una alta relación agua marina – fluido magmático en este primer estadio.

También parece que en este estadio el fluido II no fue capaz de transportar cantidades significativas de metales probablemente debido a que no era posible el transporte eficaz en forma de complejos con los volátiles mencionados.

Segundo estadio de mineralización: desarrollo del estratiforme de anhidrita en el depósito

Durante el mismo continuó la emisión de vapores de SO_2 del magma, lo que debía favorecer el desarrollo avanzado de alteración caolinítica en la proximidad al fondo submarino.



En este estadio se desarrollan la mayor parte de los sulfatos del stockwork anhidrítico y la mineralización estratiforme de anhidrita. Se puede interpretar este intervalo como el resultado de cristalización de anhidrita en un fondo submarino localmente interrumpida por aporte de piroclásticos, que se alteran a caolinita.

La estabilización de este paquete de anhidrita sólo puede explicarse por la circulación continua de un gran volumen de fluido hidrotermal, todo lo cuál impidió la redisolución de la anhidrita por el agua de mar fría.

Esta circulación también produce el reemplazamiento local de la caolinita, que se ve cortada y reemplazada por vetas de anhidrita. La anhidrita estratiforme es generalmente de textura nodular. La $\delta^{34}\text{S}$ de la anhidrita evaluada en el centro de los nódulos y en el stockwork, es significativamente pesada, con valores próximos a 20 ‰, semejante a los del sulfato del agua marina, lo que indicaría, no obstante que el fluido dominante en este estadio continúa siendo el agua marina (fluido I), como cabe esperar en una mineralización muy superficial en un medio muy poroso. En cambio la relación isotópica $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ indica que cabe esperar otra fuente de Sr diferente al agua marina. Por consiguiente este Sr (y el calcio, al cuál va asociado) presente en la anhidrita puede proceder en una pequeña parte, de la lixiviación de la columna de rocas volcánicas infrayacentes al depósito, y en su mayor parte, del agua marina.

En este estadio posiblemente se produce un primer reemplazamiento de los tramos de calizas intercalados en la serie regional, que da lugar a las mineralizaciones estratoligadas, donde la calcita es reemplazada, a pequeña escala, por una generación de anhidrita fanerocristalina.

Finalmente cabe indicar que en este estadio comienza la precipitación de sulfuros, principalmente esfalerita y pirita en vetas y en el stockwork anhidrítico. La precipitación de estos sulfuros pudo haberse originado a partir de azufre producido por reducción termoquímica del sulfato marino (fluido I) al mezclarse las soluciones calientes ascendentes con el agua de mar fría percollada desde la superficie. No obstante una pequeña parte de los mismos pudo precipitar a partir un azufre más ligero producido por volátiles magmáticos. Evidencia de ello podría ser el hecho de que en muestras de una primera generación de esfalerita (esfalerita I) se obtuvieron valores de la $\delta^{34}\text{S}$ de alrededor de -2 ‰, mientras que en estos mismos cristales de esfalerita se obtuvieron salinidades, en base al estudio de inclusiones fluidas primarias, que oscila entre 1,9 y 2,9 % en peso de NaCl eq. y es inferior a la del agua del mar. En ambos casos los valores obtenidos podrían apuntar en favor de la participación en la formación de esta mineralización del fluido poco salino y rico en volátiles magmáticos, especialmente en vapores de azufre, al que nos hemos referido como (fluido II). La existencia de fluidos poco salinos y rico en volátiles magmáticos que pueden producir mineralizaciones tempranas con salinidades y $\delta^{34}\text{S}$ semejante a la de nuestra esfalerita I es un hecho real y han sido reportado por diversos autores por ejemplo en la Cuenca Lau (Herzig et al., 1997) o en otros sistemas hidrotermales actuales (Fouquet, 1997; Charlou et al., 1996).

Tercer estadio: desarrollo de la principal mineralización de sulfuros en el depósito

Este estadio se caracteriza por el desarrollo principal de la mineralización de sulfuros, cuya mineralogía está muy influenciada por la profundidad, y por la presencia de alteraciones intensas a clorita, cuarzo y sericita-illita. Durante el mismo se forman las mineralizaciones filoneanas, el stockwork silíceo y las mineralizaciones estratoligadas inferior, intermedia y superior. Las que invaden de forma generalizada todo los conductos hidrotermales y porosidad preexistentes y reemplazan tanto a las mineralizaciones previas como a sus alteraciones, desde los sectores más profundos hasta los más superficiales.



Zonas filoneanas profundas: Ellas representan los canales de alimentación de los fluidos hidrotermales hacia la superficie, y se caracterizan por el desarrollo de filones en haces subparalelos, que se adelgazan y convergen en profundidad indicando un fuerte control estructural en su formación. Consisten en el relleno de fracturas abiertas y en ellos no queda casi porosidad. Están constituidos principalmente por calcopirita, pirita, cuarzo, y en ocasiones anhidrita, y sus rocas encajantes presentan una fuerte cloritización, piritización y silicificación.

Los resultados de inclusiones fluidas en una segunda generación de esfalerita (esfalerita II) pertenecientes a las zonas menos profundas dan temperaturas del orden de los 274°C, pero la geotermometría de cloritas da temperaturas más altas (alrededor de 300°C), como cabe esperar en estas zonas. Además, la presencia de telururos de Bi y el propio predominio de la calcopirita son congruentes con estas altas temperaturas. Una relativamente elevada actividad de telurio favoreció el desarrollo de telururos de Bi, Hg, Ag y Au, de manera alternativa a la de los sulfuros correspondientes. La salinidad de los fluidos asociados a este estadio (3,9 % en peso de NaCl eq. en cristales de esfalerita II) es superior a la del agua marina, indicando la contribución de otra fuente más salina para los fluidos, que podría ser una fuente magmática, probablemente la que hemos descrito como fluido III.

La mezcla del fluido III con el agua marina (fluido I), predominando esta última, daría como resultado salinidades semejantes a las descritas en la esfalerita II. Las salinidades no son muy altas, al menos de las partes más someras que es de donde se dispone de inclusiones, y por tanto el mayor aporte de fluidos parece provenir principalmente del agua marina (fluido I). La fuente del azufre, por consiguiente, puede ser producido por reducción termoquímica del sulfato del agua del mar como lo indican los valores de $\delta^{34}\text{S}$ entre 2,2 y 6,0 ‰, aunque en algunos casos la presencia de valores negativos ($\delta^{34}\text{S}$ de -1,4 ‰) puede indicar un aporte de azufre ligado al fluido II. No puede descartarse en absoluto que en las partes inferiores de los filones silíceos en haces subparalelos la temperatura no fuera mucho más elevada y que la salinidad no fuera también más elevada, debido a un aporte mayor de fluido magmático, como cabe esperar. Finalmente en el caso de los sulfatos que rellenan el centro de muchos filones (anhidrita) en la mayoría de los casos el azufre es muy pesado ($\delta^{34}\text{S}$ entre 19 y 19,5 ‰) y debe corresponder casi exclusivamente a precipitación por calentamiento de agua marina, cuando el sistema se enfría y el agua marina más fría invade los canales de alimentación.

Stockwork silíceo: Grada en profundidad a los filones silíceos en haces subparalelos y se caracteriza por el desarrollo de una zona mineralizada muy amplia. En esta zona la mineralización tiene carácter geódico y es esencialmente de cuarzo con sulfuros (calcopirita y pirita). La alteración es esencialmente clorítica en la parte más profunda (con silicificación y piritización), pero hacia la parte más alta la alteración predominante es la sericitización-illitización, alteraciones que reemplazan a la alteración caolinítica anterior. Este tipo de zonación en la alteración es común en muchos depósitos VMS y se explica por una mayor influencia de agua marina (que aporta potasio) en la parte superior del depósito.

La temperatura aportada por inclusiones fluidas en cuarzo correspondiente a la parte superior sugieren temperatura próximas a los 300°C, sugiriendo temperaturas más elevadas para las partes inferiores. Estas inclusiones tienen salinidades (entre 2,7 y 4,3 % en peso de NaCl eq.) superior a la salinidad del agua del mar, y probablemente correspondan a la mezcla de un fluido magmático salino (fluido III) con el agua del mar (fluido I). Los valores de $\delta^{34}\text{S}$ entre 4,2 y 5,1 ‰ para los sulfuros así lo evidencian, mientras que por otra parte la $\delta^{34}\text{S}$ de los sulfatos de 20,7 ‰ sugieren que estos precipitaron de forma directa del sulfato del agua del mar. En este estadio el fluido es de muy alta temperatura y es capaz de transportar metales, principalmente cobre. La



calcopirita que precipita en este estadio generalmente reemplaza a la esfalerita precozmente formada, evidencia de ello es la textura conocida como "enfermedad de la calcopirita" presente en la esfalerita I y hasta en la II y que no es más que el reemplazamiento de esta por la calcopirita.

Mineralizaciones estratoligadas: El comienzo del desarrollo de estas zonas es ligeramente anterior a la mineralización del stockwork silíceo pues la mineralogía y textura de los filones que cortan a esta mineralización es muy parecida ala del stockwork silíceo. Ahora bien, el desarrollo de los filones que cortan al estratoligado enlaza con los estadios tardíos de la secuencia de remplazamiento que operan en el mismo. Por consiguiente, el fluido debió migrar aprovechando la permeabilidad de los diferentes niveles, siendo luego canalizado hacia las fracturas cuando por sustitución decreció la porosidad en los mismos.

Los niveles afectados por este proceso son muchos, e incluso el mismo llega a afectar a las mineralizaciones filoneanas anteriores. Tanto la asociación calcita-anhidrita-caolinita de los filones del stockwork como el estratiforme inferior de barita y el de anhidrita, se ven invadidos por una asociación de cuarzo-illita-clorita-apatito-sulfuros. La base del depósito llega a ser reemplazada por agregados casi masivos de pirita, calcopirita, esfalerita y bornita, en los que se encuentra oro nativo, todas estas mineralizaciones indican una fugacidad de azufre elevada en esta zona. El reemplazamiento en el estratiforme se produjo aprovechando el espacio internodular de la anhidrita, en donde reemplazan a la caolinita formada en el primer estadio. Como no se reconocen vetas bien desarrolladas cabe suponer que este reemplazamiento se produjo sobre un sedimento de sulfatos muy poco consolidado.

En cuanto a los carbonatos en un primer reemplazamiento se formaría calcita y anhidrita. Luego tendría lugar cerca de la falla El Cobre un segundo reemplazamiento por una asociación de mayor temperatura con calcopirita+pirita+esfalerita, acompañada por una intensa silicificación y piritización de los carbonatos u otra roca encajante favorable. Como regla se observa que la salinidad (entre 2,7 y 6,0 % en peso de NaCl eq.) de las inclusiones fluidas en estas mineralizaciones tiende a aumentar con la profundidad. Ello pudiera explicarse asumiendo a que en este episodio hacia la profundidad se hizo más fuerte el aporte de un fluido hidrotermal relativamente salino, derivado de la mezcla de un primer fluido magmático salino (fluido III) con el agua de mar (fluido I). Un tercer episodio de reemplazamiento afecta a a mineralización estratoligada superior y contempla el desarrollo de fracturas que se rellenan por mineralización filoniana muy parecida a la de los filones del stockwork. Aquí aparece oro en forma libre y se asocia a la esfalerita II y pirita.

Cabe señalar que, aunque no se ha descubierto mineralización estratiforme de sulfuros, la existencia de reemplazamiento generalizados en la mineralización de anhidrita, incluyendo a su techo, por parte de la mineralización de sulfuros ligada al fluido III plantea la posibilidad de que pudieron formarse lentes de sulfuros masivos por encima de los tramos de anhidrita. Los que podrían localizarse al norte de la actual cantera de El Cobre, en lugares no suficientemente explorados.

Cuarto estadio: desarrollo del estratiforme superior de barita y del de óxidos de manganeso

La presencia de calcopirita y otros sulfuros en asociación con la barita presupone la existencia de un fluido hidrotermal de alta temperatura vertiendo a un fondo submarino.



En cuanto al manganeso la alteración hidrotermal asociada es celadonítica y laumontítica, y es muy parecida a la que se da en otros depósitos de manganeso del Paleógeno en la Sierra Maestra. La posición del depósito de Mn encaja dentro de la zona de alteración laumontítica del depósito El Cobre. No obstante, la fuente del Mn no puede ser la precipitación a partir de fluidos emitidos por una pluma hidrotermal submarina situada en la falla El Cobre, puesto que existe alteración celadonítica confinada a la base del lente de óxidos de Mn.

La alteración celadonítica es cortada por vetas de laumontita lo que evidencia la interrelación existente entre las mineralizaciones de sulfuros y de óxidos de Mn. La asociación de la celadonita con la zona de alteración hidrotermal laumontítica del yacimiento El Cobre sugiere que los fluidos hidrotermales que originaron la aureola de alteración más externa interaccionaron con agua marina en la inmediata proximidad al fondo submarino, produciendo la alteración y el depósito de manganeso por oxidación de los fluidos hidrotermales en el fondo submarino. La mezcla de un fluido rico en Mn^{2+} con agua marina en un fondo submarino, determinaría la oxidación inmediata a Mn^{4+} , que precipitaría como pirolusita, todorokita, criptomelana, hollandita, todos ellos minerales con Mn^{4+} .

Conclusiones

Por el contexto geodinámico de arco de islas en el que se ha formado, la estructura y mineralogía de los depósitos, la composición y temperatura de los fluidos y la fuente de los metales, el depósito El Cobre puede clasificarse como un miembro más de los depósitos volcanogénicos de sulfuros masivos VMS, con un esquema muy parecido al tipo Kuroko.

Por consiguiente, aunque los estilos de mineralización actualmente conocidos se han formado por relleno de fracturas en los canales de alimentación, o por reemplazamiento, en profundidad, de niveles favorables, no se descarta en absoluto que puedan existir cuerpos de sulfuros masivos por descubrir en el entorno del yacimiento El Cobre.

Bibliografía

- Ansted, D.T., 1856. The Cobre (copper) of Santiago de Cuba. *Proceedings of the Geological Society of London*, (12): 145-153.
- Barrabí, H., R., Cordobés, R., M., Mayet, 1992. *Complemento al Informe de Exploración Detallada para las reservas subterráneas, reservas fuera de balance del yacimiento El Cobre*. La Habana, archivo de la Oficina Nacional de Recursos Minerales. Inédito, 70p.
- Bogdánov, Y.V., M., V. Bogdánova, 1963. *Informe sobre los Trabajos de Búsqueda y Levantamiento en la región del yacimiento El Cobre (provincia de Oriente)*. La Habana, CNFG, inédito, 200 p.
- Cazañas, X., 2000. Depósitos volcanogénicos del arco Paleógeno de la Sierra Maestra. El ejemplo del yacimiento El Cobre. *Tesis doctoral no publicada*, 388 p.
- Charlou, J.L., Y., Fouquet, J.P., Donval, J.M., Auzende, P., Jean-Baptiste, M., Stievenard, S., Mitchell, 1996. Mineral and gas chemistry of hydrothermal fluids on an ultrafast spreading ridge: East Pacific Rise, 17° to 19° S (Naudur Cruise 1993). Phase separation controlled by volcanic and tectonic activity. *J. Geophys. Res.* (101): 15899-15919.
- Claypool, G.E., W.T., Holser, I.R., Kaplan, H., Sakai, I., Zak, 1980. The age curves of sulfur and oxygen in marine sulfate and their initial representation. *Chem. Geology* (28): 199-206.
- Fouquet, Y., 1997. Where are the large hydrothermal sulphide deposits in the oceans ?, *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, (355): 427-441.
- Herzig, P.M., S., Petersen, M., Tichomirowa, M.D., Hannington, Jr, A., Arribas, (1997). Unusual sulfur isotopic composition of volcanic-hosted massive sulfide deposits at the modern seafloor: TAG hydrothermal mound (MAR) and Lau back-arc (SW-Pacific). En Heikki Papunen (ed.), *Mineral Deposits: Research and Exploration Where do They Meet ?*, 363-366.



Luna, J.A., T., Padró, B.I., gelis, I., Sosa, F., Batista, E., Rodríguez, L., Ananías, A., Fernández, M., Estrugo, 1989. *Informe geológico de prospección preliminar de los flancos y horizontes profundos del campo metalífero "El Cobre" a escala 1:10 000*. La Habana, archivos de la ONRM, inédito, 218 p.



CARACTERIZACIÓN DEL MODELO TECTONICO-ESTRUCTURAL DEL YACIMIENTO “YANGADOU”. IMPLICACIONES PARA LA PROSPECCION AURIFERA.

Jorge Luis Chang B (1), R. Oña (2), A. Barroso (3), F. Mondelo (4), E. Bosch (5).

(1) Instituto de Geología y Paleontología. Vía Blanca y Línea del Ferrocarril, S/n. San Miguel del Padrón, Ciudad Habana. chang@igp.minbas.cu.

(2) Empresa Geomínera Centro, Ciudad de Santa Clara, Villa Clara. Cuba

(3) Empresa Geomínera Camagüey, Ciudad de Camagüey, Camagüey. Cuba

(4) Empresa Geomínera Oriente, Ciudad de Santiago de Cuba, Santiago de Cuba.

(5) Geomínera SA. Ciudad Habana. Cuba.

RESUMEN.

La Mina de Yangadou, en la región de la Shanga, Congo; constituía hasta el presente un depósito aurífero aluvional con discretos niveles de extracción mineral. Potenciar sus reservas a partir de la identificación de las fuentes primarias de aporte en función del estudio de su modelo tectónico estructural, constituía un reto en la concepción moderna de la exploración para este sitio minero.

La existencia de dos zonas estructuralmente diferenciadas, separadas por una franja poco definida, denominada hasta entonces como zona transicional y donde era lógico pensar en la posibilidad de que se hubiese desarrollado una estructura antiforme; constituían las únicas consideraciones pretéritas sobre la región obtenidas a partir de observaciones geológicas en una zona de escasos afloramientos. Razón por la cual una campaña de investigaciones geofísicas fue incorporada entonces al programa de desarrollo, teniendo dentro de ella la exploración magnética, la finalidad de identificar los elementos estructurales que permitiesen definir el modelo tectónico orientativo para la exploración mineral.

El análisis de los resultados de la exploración magnética condujo a suponer una aproximación al modelo tectónico-estructural diferente al hasta ahora concebido: la existencia de una estructura hundida tipo “Grabens”, consecuencia de debilitamientos tectónicos propio de regímenes distensionales.

La adopción de este modelo tectónico - estructural para el área resultó congruente con la disposición de los cuerpos mineralizados totalmente cubiertos revelados por otras técnicas geofísicas no abordadas en este trabajo. Los resultados obtenidos permitieron caracterizar el sector como un complejo sistemas de vetas de cuarzo “en echelon”, lo cual hizo suponer un posible depósito del tipo “Vetas de cuarzo auríferas”, los que representan el depósito tipo de mayor aportación a la producción mundial de oro.

ABSTRACT.

The Yangadou Mine, within the Shanga region in Congo; represent up to the present an auriferous alluvial deposit with discreet levels of mineral extraction. Enhance their mineral potential starting from the identification of the primary sources, from their structural tectonic model's study, constituted a challenge in the modern conception for the exploration in this mining concession.

The existence of two areas structurally differentiated, separated by a not very defined zone, called so far as a Transitional Area and where it was logical believe in antiform structure occurrence; they constituted the only past considerations about the region, given by a geologic observations in an area of just a few outcropping. It was a reason for which a geophysical study campaign was incorporated to the development program, having the magnetic exploration the purpose of identifying and delineating the structural elements that allows to define the tectonic pattern for the mineral exploration.

The analysis of the magnetic exploration results, led to suppose an new approach for the tectonic-structural model, quite different from the up to now conceived: the existence of a type "Grabens" buried structure as a result of a tectonic fracture, typical from an extensional regimen.

This tectonic- structural model's adoption for the Yangadou area was appropriate and successful correlated with the disposition of the completely covered mineralized bodies revealed by other geophysical techniques, not aborted in this paper. The final results allowed to characterize the sector as a quartz veins systems “in echelon”, allowed to suppose a possible “auriferous quartz Veins” type deposits, the deposit type of more contribution to the world production of gold.



INTRODUCCIÓN.

La concesión Yangadou, depósito de oro aluvial en explotación, esta situada aproximadamente a unos 68 Km. al oeste-suroeste del centro administrativo de Souanké, ubicado dentro de la Prefectura de la Shanga al norte de la República del Congo. Potenciar sus reservas a partir de la identificación de las fuentes primarias de aporte en función del estudio de su modelo tectónico estructural, constituía un reto en la concepción moderna de la exploración para este sitio minero.

En los últimos años la geofísica a devenido componente vital en los programas modernos de exploración mineral; por lo que la inserción de una campaña de trabajos geofísicos en el programa de desarrollo del permiso minero “Yangadou”, constituyó un importante paso de avance en la concepción moderna de la exploración para este sitio.

Las investigaciones geofísicas desarrolladas contemplaron la realización de: un Levantamiento Magnético con carácter exploratorio sobre toda la red de observación y la ejecución de trabajos de prospección mineral mediante la Polarización Inducida en líneas seleccionadas (Oña R., Chang J.L., y otros; 2002). En este trabajo solo se aborda las implicaciones de los resultados magnéticos en la definición del modelo estructural - tectónico del depósito con vistas a la formulación y desarrollo del programa de prospección mineral.

CONCEPCIÓN TECTONICO-ESTRUCTURAL PRETÉRITA DEL YACIMIENTO “YANGADOU”. PUNTO DE PARTIDA.

La selva subtropical de la Shanga representa una de las regiones mineras mas importantes de la República del Congo y probablemente de toda África central; sin embargo su difícil accesibilidad y limitado numero de afloramientos le han deparado un pobre conocimiento geológico, convirtiéndola en una de los territorios menos estudiadas de la Cuenca Sembé-Ouassó. Consideraciones sobre la región (Thivierge R., 2001a, b) plantean la existencia de dos zonas estructuralmente diferenciadas (pese a similitudes en su composición petrográfica y litológica), separadas por una zona en forma de franja poco definida o con elementos estructurales comunes a ambas zonas colindantes, y que se convino en denominar como zona transicional.

A partir del esquema geológico escala 1:2 500 hasta entonces vigente para la concesión, era lógico pensar que la respuesta del campo magnético en el sector, demostrara la existencia de tres dominios estructurales: Dominio Norte, Dominio Transicional y Dominio Sur, según terminología y enfoque de Thivierge y otros, (2001).

Sin embargo, suponer la posibilidad de que allí se hubiese desarrollado una estructura antiformal con su eje mayor en la dirección NE-SW (a juzgar por la dirección principal u orientación del buzamiento del clivaje, diametralmente opuesto en ambos extremos: Dominio Norte y Dominio Sur) no parecía congruente, toda vez que suponía pensar en una fuerte erosión de la montura de la antiforma plegada conservándose tan solo los elementos externos. Esta interpretación del cuadro tectónico del área hubiese mostrado una imagen del campo magnético dada por: campo magnético mas intenso en la parte central erosionada del pliegue como reflejo de la mayor cercanía del basamento, y campos magnéticos mas atenuados en los Dominios Norte y Sur respectivamente como lógica respuesta de una potencia mayor de cobertura.

En cambio los resultados obtenidos evidenciaron una imagen invertida, lo cual conduce a pensar en un modelo tectónico-estructural diferente al hasta ahora concebido.

CARACTERIZACIÓN TECTONICO-ESTRUCTURAL A PARTIR DE LOS DATOS MAGNETICOS.

El levantamiento magnético sobre Yangadou (Fig. No.1) evidenció la existencia de diferenciaciones estructurales bien marcadas. Si bien los datos no parecen reflejar variaciones



litológicas; sí reflejan la existencia de un cuadro tectónico caracterizado por al menos tres disposiciones estructurales.

El cuadro magnético presenta dos zonas caracterizadas por altos valores de intensidad de campo, las que oscilan entre 32 900 nT - 33 100 nT para la ubicada al Norte, y en un rango de 32 900 nT – 33 170 nT para la localizada al Sur, llegando esta última a alcanzar hasta valores puntuales superiores a 33 170 nT.

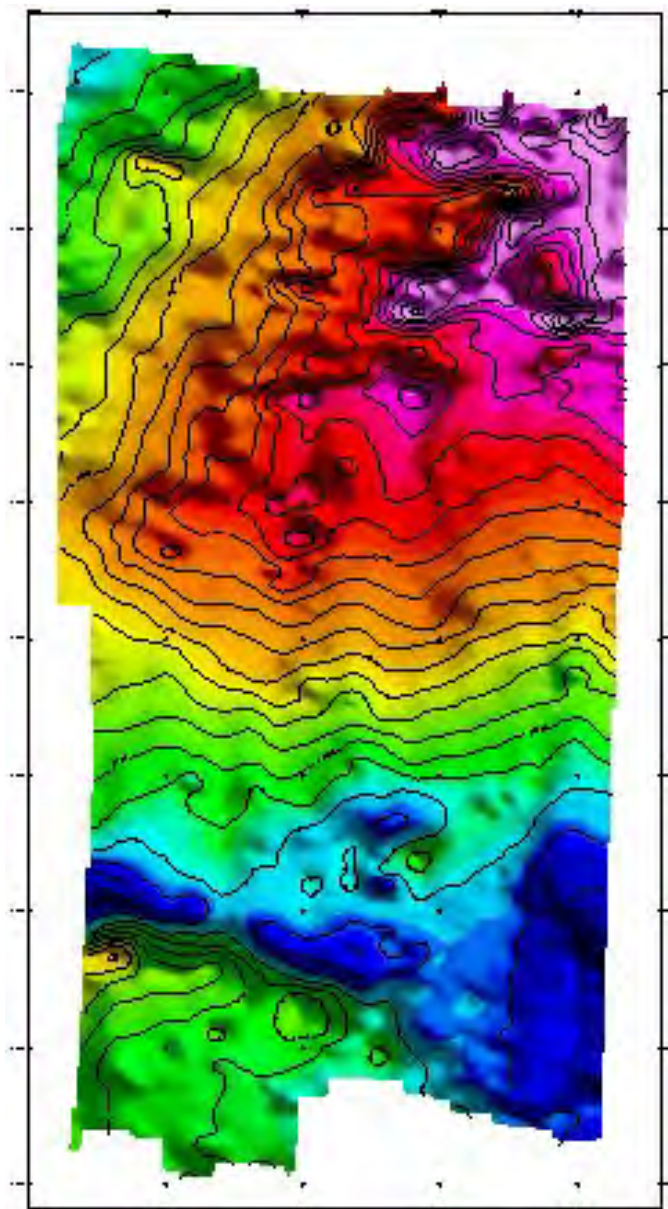


Fig. No 1. Mapa de intensidad del campo magnético total sobre el área de Yangadou.
Levantamiento magnético escala 1: 10 000.

Ambas zonas aparecen separadas por una franja ancha de dirección NE-SW de valores disminuidos de campo magnético entre 32 800 nT – 32 300 nT que llegan a alcanzar valores mínimos inferiores a 32 300 nT en algunas localidades. Tal configuración del campo magnético parece tener correspondencia con las caracterizaciones geológico-estructurales existentes para la región (Mining Italiana S.p.A., 2002), mas difieren en la fundamentación y concepción del modelo.

La existencia hoy de una Zona o Dominio transicional con elementos del clivaje propio de los Dominios colindantes, conjugado al cuadro magnético observado; conducen a suponer la hipótesis de un hundimiento de la paleoestructura en su porción central a través de una fracturación de la



corteza en la dirección NE-SW como consecuencia de esfuerzos de distensión. A partir de aquí podría inferirse la posible ocurrencia, por colapsamiento, de una estructura en forma de Grabens como consecuencia de un debilitamiento tectónico propio de zonas con desarrollo de regímenes distensionales de carácter regional como se fundamenta en la Fig. No 2. Esta dinámica de la evolución tectónico-estructural podría resultar en cierta medida muy similar al mecanismo de formación de cuencas del tipo “pull apart”.

A partir de aquí se denominó a esta estructura central como *Zona Deprimida*; y las zonas colindantes en ambos extremos como *Zona Elevada Norte* y *Zona Elevada Sur*. A la Zona Norte le es característico un buzamiento de los cuerpos en dirección S-N, con un primer estadio magmático concordante con la foliación y otro más tardío con intrusiones discordantes a la estratificación; mientras por su parte a la Zona Sur le corresponde similares características pero en cambio el buzamiento de las capas presenta dirección opuesta N-S. Finalmente la denominada Zona Deprimida resulta una indefinición de ambas al presentar elementos estructurales de las dos zonas colindantes; todo lo cual tiene su reflejo en el campo magnético local.

Como resultado de la conjugación de los datos geológicos pretéritos, los análisis y observaciones visuales y los resultados del levantamiento magnético, fue posible la formulación de una hipótesis de trabajo a partir del nuevo modelo estructuro-tectónico regional, y adoptar por ende una estrategia de búsqueda. La exploración mineral estaría dirigida a la búsqueda de intrusiones cuarcíferas, potenciales portadoras de sulfuros.

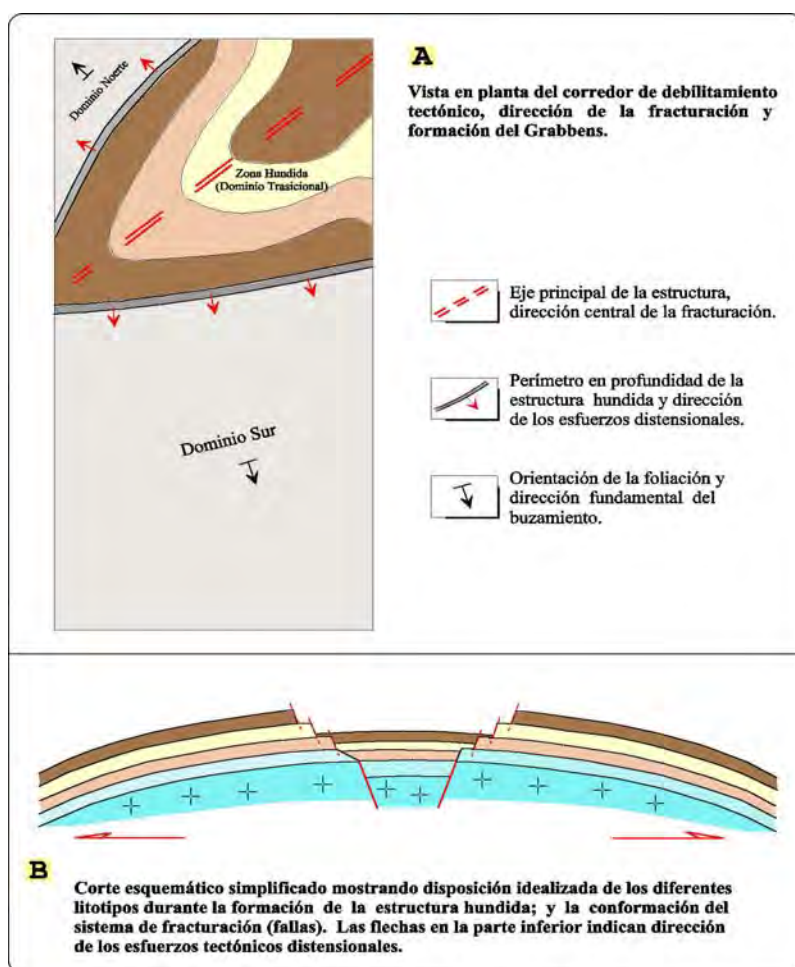


Fig. No. 2. Ilustración esquemática del mecanismo de formación de una estructura tipo Graben en la región de Yangadou, a partir de la ocurrencia de una apertura por fracturación en un ambiente de regímenes distensionales.



MODELO TECTÓNICO – ESTRUCTURAL. IMPLICACIONES PARA LA PROSPECCIÓN MINERAL.

Una vez formulado un nuevo modelo tectónico-estructural y esclarecida la orientación para la búsqueda y exploración mineral, el procesamiento de los datos magnéticos se dirigió primeramente a la identificación de los elementos tectónicos disyuntivos que podrían constituir posibles canales de ascenso de la mineralización, y con posterioridad a la determinación de rasgos magnéticos locales que evidenciaran la existencia de sistemas de vetas cuarcíferas hospedadas de la mineralización aurífera.

A partir de los datos magnéticos fue posible diferenciar los siguientes sistemas tectónicos disyuntivos en el área: un sistema de lineamientos magnéticos en dirección aproximada NE-SW coincidente con el eje principal de la paleoestructura hundida y que se definieron como "Lineamientos magnéticos primarios" o paleotectónicos por su vinculación con los eventos tectónicos primarios de deformación regional; y un segundo sistema de lineamientos de diferente orden y orientación denominado "Lineamientos magnéticos secundarios", posiblemente vinculados a la existencia de eventos tectónicos mas recientes y con estrecha correspondencia con la neotectónica zonal. Ambos sistemas constituían reflejo del carácter complejo y la dinámica de deformación regional; constituyendo ambos rasgos favorables para la localización de vetas de cuarzo mineralizado toda vez que estos podrían tener correlación con zonas de fallas.

Por su parte el comportamiento tranquilo del campo magnético: gradientes suaves desde los valores elevados del campo hasta los valores mínimos, evidenció la gran influencia en la respuesta de un basamento homogéneo y bien consolidado; resultando difícil la diferenciación de patrones o rasgos locales en superficie que tuviesen vinculación con posibles cuerpos minerales.

Sin embargo, independientemente de la polaridad e intensidad del campo magnético, ligeros incrementos de la intensidad denotan rasgos magnéticos de posible correspondencia con sistemas de fracturación y/o desarrollo de vetas de cuarzo. Estos parecen reflejar la presencia de intrusiones cuarcíferas, toda vez que las rocas de caja con predominio en la región en los primeros metros del corte bajo la potencia laterítica resultan ser esquistos metamorizados deleznales y en muchos casos ya transformados en saprolitas; de manera que los cuerpos o vetas de cuarzo se muestran ligeramente contrastantes en intensidad respecto al entorno de masas alteradas, donde como resultado de la propia alteración de la roca ocurre una destrucción de la magnetita, a lo que se añade la propia destrucción resultante de los esfuerzos tectónicos. Los resultados generales de toda la información aportada por el levantamiento magnético se muestra a manera de ejemplo para la porción norte del área en la Fig. No. 3.

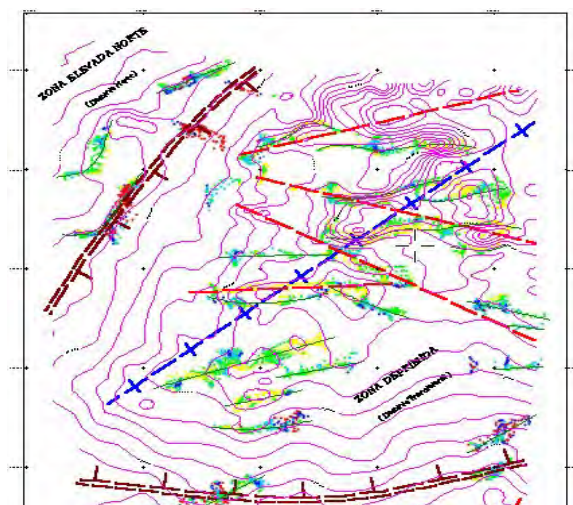


Fig. No 3. Sección Norte del Mapa de interpretación de los resultados del levantamiento magnético. Se muestran los elementos de la tectónica disyuntiva destacados a partir de los datos magnéticos, así como los rasgos magnéticos asociados a los posibles cuerpos minerales



CONCLUSIONES.

Una aproximación actual al cuadro tectónico de la región de Yangadou, extraído de los datos magnéticos, permite corroborar la existencia de una paleoestructura con tres zonas estructuro-tectónicas bien diferenciadas, en cuya porción central se observa un hundimiento a través de una posible fracturación de la corteza en la dirección NE-SW como consecuencia de esfuerzos de distensión.

Se asumió la ocurrencia, por colapsamiento, de una estructura en forma de Grabens como consecuencia de un debilitamiento tectónico propio de zonas con desarrollo de regímenes distensionales; interpretación a partir de la cual se formularon las hipótesis de trabajo sobre el modelo estructural orientativo para la exploración mineral.

Este modelo favorecía la argumentación de una posible existencia de fuentes disímiles (entiéndase sistemas de vetas cuarcíferas) portadoras de mineralización tanto en la Zona elevada Norte como en la Zona elevada Sur, cuyas características tectónico-estructurales serían muy similares pero de orientación contraria; y de igual forma la existencia de ambas disposiciones en la región central (Zona deprimida).

La anterior concepción fue corroborada, una vez que los resultados de la Polarización Inducida permitieron determinar la existencia de estrechos cuerpos (vetas) conductores: entiéndase cuerpos minerales en forma de sucesiones intercaladas (sistema de vetas en echelon) emplazados en áreas tanto de la zona Norte como la Zona Sur en posición y buzamiento cercanos a lo previamente concebido; las que fueron interpretados como las fuentes primarias de aporte; y otro tipo de respuesta anómala en la Zona deprimida central, correlacionada con las áreas de acumulación.

De aquí que a partir de la relación entre los parámetros cargabilidad y resistividad (parámetros IP), fueron definidos dos tipos fundamentales de respuesta: *las provocadas por los cuerpos minerales (fuentes) propiamente dichos y las que se registran como resultado de acumulación mineral por redeposición aluvial*, (Oña R., Chang J.L., y otros; 2002).

Toda la información anterior evidenció la existencia en Yangadou de un complejo sistema de vetas de cuarzo dispersas y asociadas a mas de un evento tectónico, de manera que se observan orientaciones tectónico-estructurales diferentes y disímiles caracterizaciones geólogo-geofísicas. Este complejo sistema de vetas cuarcíferas podría presentar diferente grado de mineralización, por cuanto el aporte o enriquecimiento secundario de los horizontes superiores no resulta en todas partes con igual grado.

La caracterización regional de la situación geológica observada en Yangadou sugiere hablar de un posible depósito mineral tipo "*Vetas de cuarzo auríferas*", también conocidos (Ash, C. y Alldrick, D, 1996) como *Archean lode gold deposit* o como *Low-sulphide gold-quartz veins* en algunas localidades donde los contenidos de sulfuros no resultan del todo evidentes. Estos depósitos generalmente se caracterizan por la numerosa presencia de vetas de cuarzo con mineralización aurífera hospedadas en una gran variedad de rocas alteradas (generalmente esquistos metamorfizados como este caso), asociados comúnmente a zonas donde ocurrieron eventos tectónicos disyuntivos disímiles que conforman su ambiente deposicional, Ej: Zonas de fallas regionales; Terrenos cratónicos; o representando en ocasiones Fronteras colisionales; regímenes transpresivos distensionales o compresionales).

Otros rasgos característicos de este tipo de depósitos y muy representativos en la región de Yangadou, resultan: el amplio desarrollo de potencias de alteración, con suelos de coloración desde naranja, pardo hasta carmelita oscuro, donde abundan concreciones ferralíticas en forma de casquetes como resultado de la oxidación de Fe-Mg; y la abundante existencia de bloques sueltos de cuarzo en superficie. Sin embargo el rasgo mas evidente de la existencia de este tipo



de depósito resulta sin dudas la presencia misma de oro aluvial formando un depósito asociado de "Placeres de oro".

La mayor parte de los depósitos del tipo "vetas cuarzo auríferas" mundiales se presentan mayormente en sistemas de vetas *"en echelon"* de diferentes tamaños, generalmente asociados a amplias áreas de fracturación; en las que la textura de estas puede ser modificada o destruida por las subsecuentes deformaciones (Ash, C. y Alldrick, D, 1996). El tamaño medio de las vetas de cuarzo (1-2m) generalmente le atribuyen limitaciones económicas, además de las dificultades que representa su evaluación. No obstante hoy representan el tipo de depósito de mayor aportación a la producción mundial de oro.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- Ash, C. y Alldrick, D, 1996. **"Au-Quartz Veins"**; en **Selected British Columbia Mineral Deposit Profiles**, Volume 2, D.V. Lefebure & T. Höy, Editors, British Columbia Ministry of Energy, Mines and Petroleum Resources, pages 53-56.
- Mining Italiana S.p.A.; 18 Febrero, 2002. **"Mine de Yangadou. Carte 2: Géologie. Echelle 1:5000"**. Archivos de la Mina de Yangadou. S.E.MI. S.A. 1Hoja.
- Oña R., Chang J.L., y otros; 2002. **"Reporte Técnico. Levantamiento Geofísico Integrado (Magnético – Polarización Inducida)"**. Sociedad de Exploración Minera SA (S.E.MI S.A). Mining Italiana S.p.A, Roma. 43 pág.
- Thivierge R.H (a); 27 Junio, 2001. **"Rapport de Progrés et d'évaluation géologique préliminaire. Mine de Yangadou. Région de la Sangha, République du Congo"**. Archivos de la Mina de Yangadou. S.E.MI. S.A; 7 pág.
- Thivierge Robert.H (b); 6 Agosto, 2001. **"Rapport de Progrés des activités d' exploration géologique Juillet, 2001. Mine de Yangadou. Région de la Sangha, République du Congo"**. Archivos de la Mina de Yangadou. S.E.MI. S.A; 9 pág.



POTENCIALIDAD METALÍFERA DE LA FAJA METAMÓRFICA ARROYO CANGRE. PINAR DEL RÍO, CUBA.

Rafael M. Lavandero⁽¹⁾, **Jorge L. Torres**⁽¹⁾, **Justo L. Montano**⁽¹⁾ y **Jesús Moreira**⁽¹⁾.,
René Fernández de Lara⁽²⁾

⁽¹⁾ Instituto de Geología y Paleontología, Vía Blanca y Línea del Ferrocarril S/N, San Miguel del Padrón, Ciudad de La Habana, Cuba, E Mail: lavandero@igp.minbas.cu

⁽²⁾ Empresa Geominera Pinar del Río. Calle Martí No 141, Pinar del Río

RESUMEN

La Faja Metamórfica Arroyo Cangre, situada al Norte y a lo largo de la Falla Pinar, se compone de rocas metamórficas de alta presión, presentando metaareniscas cuarcíferas y filitas lustrosas, a menudo enriquecidas con materia carbonosa, y aisladas intercalaciones de calizas cristalinas grises a negras. Contiene además intrusiones de diabasas y gabros, convertidos en una blastomilonita rica en restos magmáticos y con glaucofana y pumpellita, definiendo un metamorfismo de alta presión y muy bajo grado. Su espesor es del orden de las centenas de metros.

Por lo general la Faja Metamórfica Arroyo Cangre no se ha tratado desde el punto de vista metalogénico como le corresponde y siempre ha sido situada dentro de las alturas pizarrosas o en otras subzonas metalogénicas que no tienen nada en común con ella, pues el ambiente geologo-dinámico en que se formó y el metamorfismo experimentado no fueron iguales al de la Fm San Cayetano.

La presencia de cuerpos subconcordantes de diabasas, frecuentemente mineralizadas con pirita y calcopirita diseminada, hace suponer la existencia de una vinculación paragenética con la mineralización. Las anomalías geoquímicas de Pb, Zn, Cu y Co se caracterizan por ser contrastantes y extensas. Estos elementos se relacionan con la composición de las manifestaciones meníferas pirito calcopirito y posiblemente polimetálicas. Existen en la zona manifestaciones minerales como Isabel Rosa y la Guabina, conociéndose de altos contenidos de plata en la primera.

Se propone considerar el Cinturón Cangre como una subzona metalogénica independiente dentro de la Zona Metalogénica Guaniguanico.

ABSTRACT

The Arroyo Cangre Metamorphic Subzone, is located to the North and along the Falla Pinar. It is composed of metamorphic rocks of high pressure, presenting quarciferous sandstones and lustrous phillites, often enriched with carbonaceous matter and isolated intercalaciones of crystalline limestones of gray to black color. It also contains diabasic and gabbro intrusions, transformed into blastomylonite enriched in magmatic remains, with glaucophane and pumpellite, which define a high pressure and very low degree metamorphism. Its thickness have been established in the order of the hundreds of meters.

From metallogenic point of view, the Arroyo Cangre Metamorphic Zone has not been appropriately situated. Some authors have located this Zone, either within the Alturas Pizarrosas del Sur, or within some others zones, having nothing in common with it. According to its specific geo-dynamic environment and its particular metamorphism, this Zone presents its own specific features, different to that of the Fm San Cayetano.

The presence of diabasic bodies, with pyritic and chalcopyritic disseminated mineralization induces to their paragenetic linkage with the present mineralization.

Geochemical anomalies of Pb, Zn, Cu and Co are characterized to be contrasting and extensive. These elements are related with pyritic and probably with polymetallic mineral occurrences. Within the Arroyo Cangre Metamorphic Subzone are located some mineral occurrences, such as Isabel Rosa and La Guabina, being reported high silver contents in the first one.



Due to distinctive features present in this particular area, the authors of this work subdivided the Arroyo Cangre Metamorphic Subzone as an independent metallogenic unit, within Guaniguanico Metallogenic Zone.

INTRODUCCION

El terreno Guaniguanico se caracteriza de forma general por presentar una litología muy variada y es interpretado como originado en el margen de Yucatán. Los sedimentos más antiguos de este terreno son los de la Formación San Cayetano (Jurásico Inferior y Medio), la cual tiene un espesor máximo de 3000 m. Estos sedimentos presentan un bajo grado de metamorfismo, con la excepción de los de la Faja Metamórfica Arroyo Cangre, situada al Norte y a lo largo de la Falla Pinar, extendiéndose desde la localidad de San Diego de los Baños por el Este hasta el pueblo de Sábalo por el Oeste (ver figura No 1).

Las zonaciones metalogénicas realizadas anteriormente en la provincia de Pinar del Río, nunca consideraron a la faja metamórfica Arroyo Cangre independientemente de las Alturas Pizarrosas, entre ellas las de Mormil et. al. (1980), Simón (1987; 1992), Cofiño y Simón (1987), Cabrera et. al (1990), Proenza et al (1998), Fernández de Lara,. (2000) y otros.

El primer intento de separación de esta franja como una zona independiente fue realizado por Lavandero (1996), cuando expresa: “ una parte de esta faja esta constituida por una sección donde predominan unas filitas carbonosas, las cuales son propias para contener mineralización del tipo oro - plata en esquisto negros”.

MATERIALES Y METODOS

Se realizó una extensa búsqueda bibliografía de los trabajos realizados con anterioridad y se compararon entre sí. Se visitaron los principales puntos de interés en el campo y se tomaron muestras con el fin de caracterizar la faja metamórfica y establecer las principales diferencias entre la mineralización de dicha faja y el resto del terreno Guaniguanico.

RESULTADOS

Por primera vez se separa la Faja Metamórfica Arroyo Cangre en una SZM independiente. De acuerdo a la relación de la ley / tonelaje de estos depósitos descubiertos y por descubrir son muy atractivos para la implantación de la pequeña minería.

DISCUSION

La Faja Cangre se compone de rocas metamórficas de alta presión y se diferencia también de la Formación San Cayetano por la presencia de metaareniscas cuarcíferas con mica blanca y a veces clorita, y de filitas lustrosas con mica blanca, a menudo enriquecidas con materia carbonosa. Hay además aisladas intercalaciones de calizas cristalinas grises hasta negras. Contiene también intrusiones de diabasas y gabros, convertidos en una blastomilonita rica en restos magmáticos, con glaucofana y pumpellita, definiendo un metamorfismo de alta presión y



muy bajo grado (Millán, 1988). Su espesor es del orden de las centenas de metros. Contacta estratigráficamente con calizas cristalinas correlacionables con las formaciones Jagua y Guasasa del Jurásico Superior, en las cuales se encontraron ammonites Oxfordianos y Tithonianos, que conservan la propia denominación genérica. (Millán, 1988).

La faja de depósitos metamorizados esta cortada al Sur por la falla Pinar y contacta con los sedimentos del Cretácico Superior y Terciarios de la zona estructuro - facial San Diego de los Baños. Por el Norte contacta, a lo largo de una superficie de sobrecorrimiento, con los depósitos terrígenos de la Formación San Cayetano. (Piotrowski, 1987).

Como es conocido, los trabajos de Piotrowski., ejecutados en 1971-1973, han permitido presentar, de una forma relativamente precisa, las características litoestratigráficas y estructurales de la faja mencionada. El hallazgo de varios horizontes de origen volcánico, y el establecimiento, con relativa exactitud, de su posición estratigráfica, ha dado nueva luz sobre la fase inicial del desarrollo del terreno Guaniguano.

La Formación Arroyo Cangre, muestra analogías litológicas muy grandes con parte de los complejos metamórficos de la Isla de la Juventud, Sierra del Escambray y Sierra del Purial (Somin y Millán, 1972).

Las rocas de origen volcánico de la Faja Arroyo Cangre se manifiestan en dos horizontes. El horizonte más diferenciado y potente es el que yace en la parte baja de la formación y se extiende en forma de una banda estrecha desde la localidad de Juan Moreno, por el Este, hasta la localidad del Guayabo por el Oeste. El espesor de los paquetes de rocas de origen volcánico junto con las interestratificaciones de rocas sedimentarias alcanza varias decenas de metros (Piotrowski, 1987 a). Las rocas de origen volcánico, intrusivo y extrusivo están representadas por gabros, tufitas y rocas de quimismo semejante al gabro, muy alteradas dinámicamente. Las tufitas se presentan en forma de dos o tres horizontes de gran extensión y con un espesor que no sobrepasa los 20 cm. Están constituidas por una masa criptocristalina casi isotrópica, en que se puede reconocer clorita, granos de cuarzo y feldespatos. Esta masa está saturada por epidota cripto y microcristalina, que forma agregados irregulares y bandas. En la masa oscura de tonalidad verdosa, antes descrita, se presenta pseudomorfosis finas y alargadas, rellenas por un agregado microcristalino cuarzo - feldespático con láminas de micas y nidos de epidota, las cuales pueden ser capas de ceniza volcánica formadas por vidrio pulverizado. Sobre el horizonte de tufitas se presenta un horizonte de gabro, con un espesor de varios metros (Piotrowski, 1987 b).

El segundo horizonte se encuentra en la parte superior de la formación, en los alrededores de la transición a los depósitos carbonatados de la Formación Jagua. Este horizonte está representado por lamprófidos que aparecen en forma de intercalaciones, de varias decenas de centímetros de espesor, en las rocas carbonatadas de la parte más alta de la formación. Estas rocas son de estructura porfirítica y microlítica de la masa cementante, y textura fluidal orientada, La textura está expresada en la disposición de los cristales columnares del piroxeno y los microlitos en la masa vítrea (Piotrowski, 1987 b).

Por lo general la Faja Metamórfica Arroyo Cangre no se ha tratado desde el punto de vista metalogénico como le corresponde y siempre ha sido situada dentro de las alturas pizarrosas o en otras subzonas metalogénicas que no tienen nada en común con ella, pues el ambiente geologo-dinámico en que ocurrió su deposición no fueron idénticas al igual que el grado de metamorfismo.



La presencia en la faja de cuerpos subconcordantes de diabasas frecuentemente mineralizadas con pirita y calcopirita diseminada hace suponer la existencia de una vinculación paragenética con la mineralización.

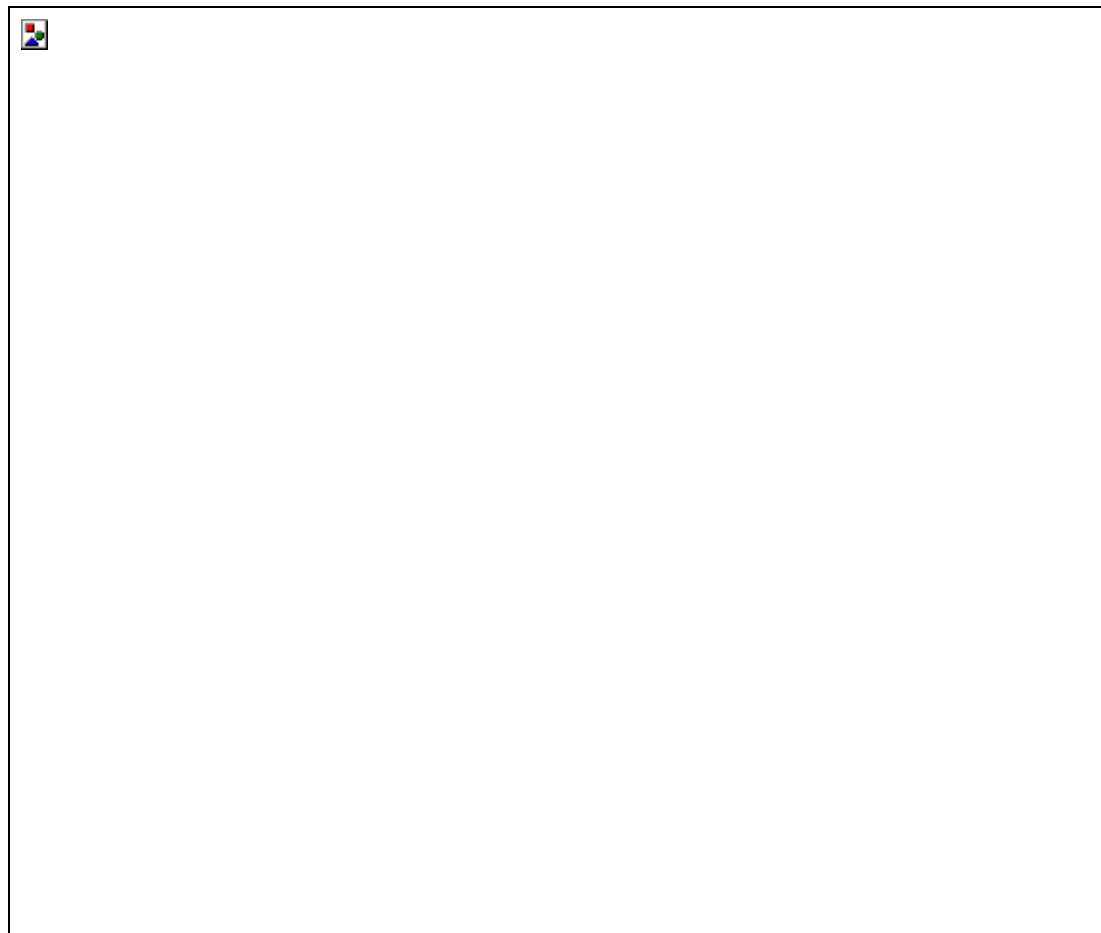


Figura No 1. Tomado, con modificaciones, de Piotrowski, J. (1987)

La mayoría de las anomalías se extienden rigurosamente a lo largo del rumbo de los estratos, los cuales se encuentran muy plegados y alterados. El papel principal en la especialidad geoquímica de las rocas de la Formación Arroyo Cangre lo tienen los elementos Zn, Pb, Cu y Co, las cuales se relacionan muy bien con la composición de las manifestaciones meníferas pirito - calcopirito y posiblemente polimetálicas, que se encuentran en ella (Martínez, 1988). También se encuentran anomalías débiles de Ba, Ag y Mo.

Según Martínez (1988), si se observa detenidamente los perfiles regionales, se puede apreciar que existen grandes variaciones en las respuestas de esta formación a los métodos geofísicos, que impide definir comportamientos estables que permitan caracterizar alguno de los paquetes de esta formación. Del análisis geológico de esta formación se pudo deducir que esta gran variación en el comportamiento físico de estas rocas se debe en primer lugar a que los



paquetes en que se dividió esta formación no mantienen sus características geológicas en todo el paquete, sino que presentan diferencias para sus partes inferiores y superiores. Estas diferencias se ven reflejadas en el menor o mayor grado de cuarcificación, la mayor o menor esquistosidad, mineralización, etc. que afectan directamente las respuestas ante el complejo de métodos geofísicos.

En la faja se conocen una serie de manifestaciones minerales como Isabel Rosa y la Guabina que fueron explotadas a principios del siglo pasado. La más importante de todas estas manifestaciones es la antigua mina Isabel Rosa, en la cual se presentan las secuencias de la Formación Arroyo Cangre en un monoclinal sublatitudinal con buzamiento hacia el Sur, con ángulos de 20° – 50° . En la orilla del arroyo que divide la zona mineral se observa un afloramiento del cuerpo mineral, dentro de los esquistos carbonosos - arcillosos piritizados y sericitizados de color gris oscuro. El cuerpo tiene forma de placa con una potencia de 0.3 – 0.6 m compuesto por fragmentos brechosos de hidróxido de hierro y que corta oblicuamente la estratificación de las rocas. Por datos de archivo, el cuerpo mineral se ha podido seguir en un área aproximadamente de 3000 m² y representa un cuerpo con una potencia de 1.3 m que corta oblicuamente a las aleurolitas carbonosas encajantes y se sumerge hacia el Sur con un ángulo de 10° – 15° y una inclinación hacia el Este. Sus componentes son calcopirita, mezclada con pirrotina, apareciendo en ocasiones la pirargirita (plata roja, Ag_3SbS_3).

En la misma están presentes menas primarias bandeadas y masivas, conociéndose por análisis de la época en que se explotó, de altos contenidos de plata en la mena de Isabel Rosa (Cu 8.9% y Ag 2.78 oz/t), los que no dejan de ser atractivos para la pequeña minería.

Según Martínez (1987) es posible considerar estas manifestaciones como precursoras del tipo Kuroko sin llegar a serlo. Nosotros al observar la mena primaria de la mina Isabel Rosa, notamos la similitud de esta con las menas del yacimiento Antonio, en Villa Clara, el cual es reconocido por todos como un Kuroko típico.

CONCLUSIONES

Al darle tratamiento a la Faja Metamórfica Arroyo Cangre, como una Subzona Metalogénica independiente, se abren nuevas posibilidades para la detección de yacimientos piríticos - calcopiríticos con buenos contenidos de plata, pero de pequeño tonelaje. Muy apropiados para establecer la pequeña minería.

También se observan mineralizaciones cortantes asociadas a las zonas cizalla, las cuales son cortantes y pueden ser interpretadas como mineralizaciones removilizadas, producto de la tectónica y el metamorfismo.

Se recomienda seguir el estudio de toda la zona con el fin de precisar los modelos descriptivos que puedan aparecer en ella.

BIBLIOGRAFÍA

Cabrera, R., I.N. Tijomirov, R. M. Lavandero, F. Formell, J. Montenegro, J. M. López, D. García, M. Pardo, G. Correa, K. P. Stanek, S. Gil, F. Bravo, X. Casañas, G. Pantaleón, A. N. Barishev, Y.Y. Bulgelskiy, G. G. Gue, I. Lozanov, A.R. Morales, O. Vázquez, D. Sosa, D. González, N. Cuellar, U.



- Roque, L. Murguía, J. Díaz (1989): Mapa Metalogénico de la República de Cuba a escala 1:500000. Instituto de Geología y Paleontología. Inédito.
- Cofiño, C., A. Simón (1987): Manifestaciones Minerales metamorizadas de la Subzona Metalogénica Loma del Viento. Libro de Resúmenes. 3er. Encuentro Científico-Técnico de Geología. Cuba SCG. Filial de Pinar del Río.
- Iturralde-Vinet, M.A. (1998): Sinopsis de la Constitución Geológica de Cuba. Acta Geológica Hispanica. V. 33 Nº 1-4, 9-56.
- Lavandero,, R. M, G. Millán, G. Chávez (1996): Posibilidades teóricas para la detección de yacimientos del oro - plata en esquistos negros en la República de Cuba. Primer Seminario de Tecnología de Oro. Libro de Memorias. TecnoOro,, 284-290.
- Martínez, D., C. Cofiño, A. Simón (1987): Consideraciones acerca de manifestaciones minerales relacionadas con los depósitos pertenecientes a la Formación Arroyo Cangre surgidos a partir de los trabajos del Levantamiento Geológico a escala 1: 50 000 realizado en la región central de la provincia de Pinar del Río. Centro Universitario de Pinar del Río. Boletín de Geociencias Vol 2 Nº 2, 27- 44.
- Martínez, D., R. Fernández, R. Reinoso, J. C. Chang, O. Fernández, A. Valido, R. Peláez, R. Nuñez, J. Hernández, P. Rodríguez, M. Vázquez, S. Shalva, V. Yuntsky, S. Precado, V. Touchenko, V. Shiring, C. Cofiño (1988).Informe sobre los resultados del levantamiento geológico y búsqueda a escala 1:50000 en la parte central de la provincia Pinar del Río. Inédito.
- Millán, G. (1997): Posición estratigráfica de las metamorfitas cubanas. Libro: Estudios sobre Geología de Cuba. IGP. CNDIG., 251-258.
- Millán,, G. (1988): La asociación glaucofana-pumpelleita en metagabroides de la faja metamórfica Cangre. Boletín de Geociencias Vol 3, No 2, 35-36.
- Mormil, S., A. Norman, A. Varvarov, V. Skosiriev, E. Linares, F. Vergara (1980): Geología y metalogenia de la provincia de Pinar del Río. Inédito,.
- Piotrowski, J. (1987 a): La actividad volcánica en el Mesozoico u Paleógeno (?) de la provincia de Pinar del Río. Libro: Contribución a la Geología de la provincia de Pinar del Río. IGP. Editorial Científico-Técnica, 157-162.
- Piotrowski, J. (1987b): Primeras manifestaciones del vulcanismo en el Geosinclinal Cubano. Libro: Contribución a la Geología de la provincia de Pinar del Río. IGP. Editorial Científico-Técnica, 163-169.
- Proenza, J. A, J. .C. Melgarejo (1998): Una introducción a la metalogenia de Cuba bajo la perspectiva de la tectónica de placas. Acta Geológica Hispanica, Vol. 33 Nº 1-4, 89-131.
- Simón Méndez, A. (1987): Sobre la zonación metalogénica del Territorio de Cuba Occidental. SCG. Filial de Pinar del Río. Libro de Resúmenes. 3er. Encuentro Científico-Técnico de Geología. Pinar del Río, Cuba.
- Simón Méndez, A. (1992): La evolución metalogénica del Arco Insular Cubano. 13 Conferencia Geológica del Caribe. Libro de Resúmenes. Pinar del Río, Cuba
- Somin, M. L., G. Millán (1972): Generalidades sobre la geología de los complejos metamórficos de Cuba. Actas. Academia de Ciencias de Cuba (2), La Habana,



RESULTADOS DE LOS TRABAJOS DE EXPLORACION EN EL DEPOSITO ORO BARITA Y LAS PERSPECTIVAS DE ENCONTRAR NUEVOS RECURSOS.

Antía Luna Vázquez⁽¹⁾, Angel Medina Batista⁽¹⁾ y Rafael Falero Salgado⁽²⁾.

⁽¹⁾EMPRESA GEOMINERA DE ORIENTE, Carretera de Siboney Km 2 1/2 Alturas de San Juan. Santiago de Cuba. Telefono: (53-22) 641603, 643836. Fax: (53-22) 87130. E-mail: aluna@geom.stg.minbas.cu.

⁽²⁾OFICINA NACIONAL DE RECURSOS MINERALES. Alturas de San Juan, Km 2 1/2. Carretera de Siboney. Telef: 641607, Santiago de Cuba..E-mail: rfalero@geom.stg.minbas.cu

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es presentar los resultados obtenidos en el depósito Oro Barita y las perspectivas de incremento de recursos geológicos en sus áreas adyacentes.

El depósito Oro Barita se estudia desde el año 1982 realizándose los trabajos que van desde los estadios de prospección geológica hasta la exploración detallada que concluyo en el año 2001, con su correspondiente estudio de factibilidad, en fase de aprobación en el año en curso.

Este ocupa un área de 0.4 km² ubicado 800 m al Oeste del yacimiento El Cobre, emplazado en una elevación de 170 m de altura que propicia junto con la calidad y las características de las menas la explotación por cantera.

La mineralización se ubica en la secuencia media de Hongolosongo perteneciente al Grupo El Cobre constituida por rocas de composición media, asociada a un sistema de brechas silicificadas donde se observan vetas de cuarzo con sulfuros diseminados, donde predominan la caolinitización y alunitización con procesos de argilitización avanzada.

La zona mineralizada se extiende unos 300 m con dirección NE-SW y una potencia por el buzamiento de 150 m.

El contenido medio de Au en el depósito es de 1.64 g/t con 1183,76 kt de mena en recursos medidos y 476.96 kt en recursos indicados sobre la cota + 50 m sobre el nivel del mar.

Existen numerosas manifestaciones de sulfuros con oro en el campo menífero El Cobre que se estudiaran en el futuro.

ABSTRACT

The objective of this work is to present the results obtained in the deposit Oro Barita and the perspectives of increment of geologic resources in its adjacent areas.

The deposit Oro Barita is studied from the year 1982 being carried out the works that go from the stage of geologic prospecting to the detailed exploration and will conclude in the year 2001, with its corresponding study of feasibility that is in approval phase in the year in course.

This occupies an area of 0.4 km² located 800 m to the West of the location El Cobre, summoned in an elevation of 170 m of height that propitiates together with the quality and the characteristics of the ores the exploitation by quarry.

The mineralización is located in the middle sequence of Hongolosongo belonging to the Group El Cobre constituted by rocks of middle composition and associated to a system of silicified breccias where quartz veins are observed with disseminated sulphides, where the caolinitización and alunitización prevail with processes of advanced argilitización.

The mineralized area extends about 300 m with striking NE-SW and a width to the dipping of 150 m.



The average content of Au in the deposit is of 1.64 g/t with 1183,76 ore kt in measured resources and 476.96 kt in probable resources on the bench mark + 50 m on the level of the sea. .

Numerous sulphide manifestations exist with gold in the ore field El Cobre that will be studied in the future.

Introducción

El depósito Oro Barita ubicado a 800 m al oeste del yacimiento El Cobre, se estudia desde el 1982 realizándose los trabajos que van desde los estadios de prospección geológica hasta la exploración detallada, que concluyo en 2001, con el correspondiente estudio de factibilidad que esta en fase de aprobación.

Se realizaron durante las etapas concluidas trabajos de perforación (13140 m), trincheras, un pozo criollo para la toma de las dos muestras tecnológicas, los correspondientes itinerarios geológicos para cubrir toda el área. Todas las labores realizadas fueron muestreadas y documentadas.

Marco Geológico Regional

Estratigráficamente el campo menífero El Cobre se localiza en la secuencia inferior, media y superior del miembro Hongolosongo, localizado en la parte superior del Grupo El Cobre de edad Paleoceno – Eoceno Medio (según Grechanik y A. Norman 1970). Ver Anexo No. 2

La secuencia superior (P1-2 – Hg3) se ubica al norte de la región, está compuesta por rocas sedimentarias, vulcanógenas de composición media y básica donde predominan areniscas tobáceas, conglomerados tobáceos, lavas, tufitas, ignimbritas y diseminados lentes de caliza. Aún no conocemos manifestaciones minerales en esta secuencia.

La secuencia media (P1 – 2 – Hg 2) compuesta por rocas vulcanógenas de composición medio – ácidas, con predominio de tobas andesíticas de fragmentos gruesos y aglomerados, brechas, mantos de lavas andesíticas, dacíticas y en la parte superior del corte lentes de calizas, ignimbritas. Esta es la más desarrollada en la región y en la misma se ubican el mayor número de manifestaciones minerales del campo menífero El Cobre incluyendo el depósito Oro Barita y el yacimiento El Cobre.

La secuencia inferior (P1 – 2 – Hg 1) compuesta por rocas vulcanógenas de composición media ácida se distribuye en la parte sureste de la región, donde predominan aglomerados, tobas de fragmentos grandes, lavas, areniscas tobáceas, intercalaciones de tufitas y lentes de calizas macizas y brechosas en la parte superior del corte de esta secuencia. Se conocen numerosas manifestaciones minerales en esta secuencia.

El buzamiento general de las rocas en la región es al noroeste de 330° - 350° con ángulos de 25° a 45°.

Geología del depósito Oro Barita

El deposito oro Barita se ubica en la secuencia media de Hongolosongo muy próxima al contacto con la secuencia superior.



El contacto de ambas secuencias yace concordantemente (según T. Grecganik y A. Norman) y en Barita se puede observar un cambio transicional de las rocas sedimentarias vulcanógenas a las vulcanógenas. En la secuencia vulcanógena el grado de alteración es elevado, comenzando por tobas finas con argilitización (caolín) y sericitización, le continúan filones de Barita que se acuñan en los primeros metros de profundidad (no más de 20 m) con ancho de hasta 6 m y afloran en unos 300 m por el rumbo de forma intermitente, desde el perfil 2 + 50W hasta 0 + 50E .

Inmediatamente después comienza la zona de tobas con alto grado de silicificación de color gris claro, generalmente brechosas, de fragmentos grandes hasta aglomerados, con fragmentos angulosos y con bordes en algunos casos lisos o irregulares, que es donde se alojan los sulfuros diseminados con oro y que se localizan desde el perfil 2 + 50W hasta el 1 + 50E con unos 400 m por el rumbo unos 150 m de ancho.

La zona mineralizada tiene un ángulo de inclinación (buzamiento) de 35° a 55° y una dirección por el rumbo de 60° a 80°, aflora hacia el sureste preferentemente y se hunde hacia el noroeste, conociéndose mineralización desde la cota + 175 sobre el nivel del mar y hasta el horizonte – 100 m bajo el nivel del mar.

La mineralización sulfurosa con oro presenta intensidad variable en forma de vetas, nidos y diseminada. Los principales minerales que componen la mena son: esfalerita, calcopirita, pirita, marcasita y galena.

El oro nativo se encuentra asociado a los sulfuros y al cuarzo y del estudio realizado por la Ing. Rebeca Fernández se pudo establecer que el 29.91 % de los granos de oro observados se encontraban en asociación predominante con el cuarzo, en forma de pequeñas inclusiones o vetillas, en ocasiones acompañado de muy pequeñas cantidades de sulfuros.

El 28.20 % de los granos de oro se encontraron asociados con la esfalerita, el 11.96 % con la calcopirita, el 5.98 % con pirita y el 23.93 % en agregados complejos de dos o más sulfuros con o sin cuarzo, por tanto el 70.09 % del total de granos de oro nativos hallados se encuentran en asociación con los sulfuros. En todos los casos los granos de oro observados se encontraron en las grietas y en los contactos entre los diferentes minerales.

La forma de ocurrencia del oro nativo, así como las características de la mineralización cuarzo – sulfurosa, sugieren la existencia de una estrecha relación genética entre ambos, probablemente con cierto desplazamiento en el tiempo.

Con respecto a la edad de la mineralización, consideramos que las soluciones hidrotermales mineralizadas ascendieron y en la facie final del vulcanismo, utilizando las zonas de fallas con intenso agrietamiento. En estas zonas de fallas están alojados cuerpos subvolcánicos que ya habían ascendido cuando penetraron las soluciones hidrotermales y esto se observa por el grado de alteración de los bordes de estos. Por tanto se clasifica la edad de la mineralización Paleoceno – Eoceno medio.

La zona mineralizada al norte está limitada por las rocas sedimentarias vulcanógenas de la secuencia superior del Miembro Hongolosongo y al sur se limita por una zona tectónica donde están emplazados cuerpos subvolcánicos de composición media.

La tectónica juega un papel muy importante en el campo menífero El Cobre por su carácter controlador de la mineralización, así como de canal de ascenso de cuerpos subvolcánicos y



soluciones hidrotermales mineralizadas hacia los horizontes superiores hasta la superficie (El Cobre, Barita, Zona Alta). El tectonismo plicativo es mucho más tranquilo.

Este campo menífero se caracteriza por la existencia de fallas que los atraviesan en su totalidad (más de 20 Km.), de larga duración en el tiempo, dirección latitudinal y son atravesadas por fallas transversales de dirección próxima a la de los meridianos o noroeste. En estas zonas de nudos se presentan zonas mineralizadas como: El Yacimiento El Cobre, la manifestación El Cobre Norte, Zona Alta, Zona Oeste de Barita, El Pajón, La Esperanza entre otras.

La presencia de los dos sistemas de falla originan estructuras en bloques y en el campo menífero existen numerosos bloques, en uno de ellos esta Barita y el yacimiento El Cobre. Su edad no sobrepasa el Eoceno Inferior.

Los criterios de génesis y modelos de mineralización en esta región han sido y continúan siendo muy controvertidos, pero todos coincidimos que tiene un origen hidrotermal, con sistemas de fallas profundas y con mayor duración en el tiempo; actividad magmática bimodal (andesita-dacita hasta riolita); manifestaciones minerales que se formaron próximas a la superficie con temperaturas de formación entre $177 \pm 3^{\circ}\text{C}$ y $293 \pm 7^{\circ}\text{C}$ (según los estudios de inclusiones fluidas realizados por Xiomara Casañas en su trabajo de doctorado "Depósitos Vulcanógenos del Arco Paleógeno de la Sierra Maestra"); cuerpos con formas de filones, stockworks, diseminaciones, reemplazos; texturas de rellenos de espacios abiertos, brechificaciones; la mineralización de sulfuros diseminados con oro y plata conocidas se ubican generalmente en la secuencia media de Hongolosongo en rocas vulcanógenas; del paleoceno hasta eoceno medio; las alteraciones hidrotermales con silicificación, argilitización (con caolinita y alunita) y sericitización, son criterios que nos indican el modelo de este yacimiento y de la mineralización de oro presente en la región El Cobre.

Los geólogos de la región oriental que estamos trabajando con el oro, opinamos que Barita es un yacimiento de emplazamiento somero y lo incluimos en los epitermales de metales preciosos.

Con respecto a la composición química en Barita, el oro es el elemento principal y para el único que se calcularon los recursos geológicos, ya que la plata tiene contenidos muy bajos al igual que el zinc, el plomo y el cobre.

Esta zona mineralizada es pobre, utilizándose como contenido de borde o ley de corte 0.5 g/t y el contenido medio de los recursos geológicos calculados por encima del horizonte + 50 m sobre el nivel del mar es de 1.65 g/t.

En el depósito se evaluó la existencia de 2 tipos de menas de acuerdo con su grado de alteración (oxidación), la mena 1 más alterada (oxidada) y la mena 2 menos alterada (sulfurosa).

Para la mena 1 el contenido medio de oro es 1.47 g/t y éstas constituyen el 21 % de los recursos totales calculados. La mena 2 con contenido medio de oro de 1.70 g/t constituye el 79 % de los recursos calculados.

Se estudiaron con muestras compuestas los contenidos de Cu, Zn, S, As, Sb, comportándose para la mena 1 el Zn – 0.028 %, Cu – 0.01 %, As – 0.005 %, Sb – 0.0002 %, S – 0.82 % y para la mena 2 el Zn – 1.48 %, Cu – 0.07 %, As – 0.01 %, Sb – 0%, S – 4.53 %. Estos elementos son considerados como cianicidas o perjudiciales para el proceso tecnológico de extracción del oro.



Evaluación integral del macizo rocoso

- De acuerdo a los resultados obtenidos durante la investigación del Yacimiento Oro Barita los pozos resultaron secos, no obstante nosotros consideramos que la roca acuífera se encontraba drenada producto al desagüe continuo que ha existido en la Mina el Cobre durante unos 30 Años, lo que está corroborado con el cálculo del radio de influencia del cono de depresión producto al bombeo efectuado en dicha mina, el cual alcanza alrededor de 10 km.
- Teniendo en cuenta el período de renovación de las reservas de aguas subterráneas el cual es superior a los 100 años consideramos que durante la explotación en un tiempo inferior a esta cantidad de años no deben existir complicaciones hidrogeológicas con las aguas subterráneas.
- Proponer para la mina un ángulo de talud de 60 y 70 grados respectivamente y para los escalones en explotación ángulos mayores 85 grados, por cuanto su corta vida y por su rápido desplazamiento no tendrá efectos sustanciales en cuanto a la estabilidad. En caso en que se conozca a priori que un talud va a estar un largo periodo sin trabajarse, se dejará con un ángulo similar al recomendado por este autor.

Los recursos geológicos se clasificaron teniendo como premisas que contamos con un depósito explorado en una red de 25 x 25 m, considerando que las prácticas de muestreos e investigaciones llevadas a cabo en las diferentes etapas responden a los requerimientos de la exploración, que se cuenta con un muestreo suficientemente detallado que cubre todos los tipos de mena y la roca estéril para análisis químico y peso volumétrico y la presencia de muestras tecnológicas a escalas semi-industriales se clasifican los recursos en medidos e indicados:

Clasificación General de los Recursos Geológicos sobre la cota + 50.

Total			Medidos			Indicados		
Tipo de Mena	Toneladas (kt)	Ley (Au g/t)	Toneladas (kt)	Ley (Au g/t)	(%)	Toneladas (kt)	Ley (Au g/t)	(%)
Mena 1	398.06	1.47	301.26	1.48	75.68	96.81	1.44	24.32
Mena 2	1262.66	1.70	882.51	1.70	69.89	380.15	1.70	30.11
TOTAL	1660.72	1.64	1183.76	1.64	71.28	476.96	1.65	28.72

La explotación del yacimiento se realizara por cantera (a cielo abierto), preparándose todas las instalaciones de la mina y la planta, cercanas al yacimiento.

Del estudio tecnológico realizado se comprobó que las menas del yacimiento Oro Barita responden satisfactoriamente al proceso de cianurización, con recuperación total para todo el yacimiento del 63 %.

Mineralización del Campo menífero El Cobre.



El Depósito Oro Barita es el primer yacimiento de oro del Campo menífero El Cobre, donde se conocen numerosas manifestaciones de oro en un área de 20 km², que se localizan fundamentalmente en la secuencia media e inferior del miembro Hongolosongo.

En la secuencia media próxima al contacto con la secuencia superior localizamos las siguientes zonas mineralizadas:

Melgarejo - Brecha mineralizada, silicificada, con vetas de cuarzo y sulfuros diseminados con oro, que se localiza a unos 3 km al noreste de Barita.

Se tomaron muestras de superficie y en trincheras, obteniéndose contenidos de oro de hasta 0.01g/t. En un pozo de perforación a columna, se corto una zona de 40 m con contenido medio de oro de 0.29 g/t, que contiene vetas de hasta 5 m de potencia con hasta 2.7 g/t de oro.

Mina Nueva - Se realizaron trincheras, muestreos de superficie y 3 pozos de perforación a columna, los que cortaron tobas silicificadas con vetas de cuarzo y sulfuros diseminados con oro. En superficie los contenidos de oro no sobrepasan los 0.5 g/t, en los pozos se cortan zonas de hasta 21 m con contenidos medios de hasta 0.45 g/t, conteniendo vetas de hasta 5m con 1.3 g/t de oro. Esta zona se localiza a unos 2kms al noreste de Barita.

El Cobre Norte -Se ubica a 1.5 km noreste de Barita, existiendo una evaluación en red de 100 por 100 m con recursos calculados de 6.7 t de oro y contenido medio de oro de 1.89 g/t. Esta mineralización esta cubierta por un paquete de rocas vulcanógenas sedimentarias de 80m de potencia..

Suroeste de Barita - Se localiza a 1.5 km al suroeste de Barita, en tobas silicificadas con vetas de cuarzo con sulfuros diseminados. Se detecto mineralización en dos trincheras de hasta 1.31 g/t de oro. En la actualidad se trabaja en esta zona.

En la parte central de la secuencia media del miembro Hongolosongo se localizan:

Loma La Plata - Se localiza a 2 km al sur de Barita, en tobas ácidas silicificadas, con abundantes óxidos por grietas, con extensión de 500 m, ancho de 130 m y profundidad no menor de 100 m. Fue valorada con trincheras que reflejaron contenidos de hasta 0.56 g/t de Au. Esta zona se estudia con perforación en la actualidad. Hay laboreos antiguos.

Ermitaño - Distante a 3 km al sur de Barita, se observa en una galería antigua vetas de cuarzo con grietas rellenas de óxidos de sulfuros, rumbo noreste con 85 grados de inclinación, extendiéndose no menos de 500 m por el rumbo y un ancho de aproximadamente 10 m. Esta zona se estudia con perforación en estos momentos y en muestreos de superficie se han obtenido resultados de hasta 15.0 g/t de Au.

El Pajón - Se ubica a 8 km al suroeste de Barita, con una zona de tobas alteradas (silicificación, sericitización con piritización) de 3 km de norte a sur y no menos de 1 km de este a oeste, que se localiza en una zona delimitada por fallas longitudinales y transversales. Se realizaron trincheras obteniéndose resultados de hasta 0.78 g/t de Au. Se ubica en la secuencia media de Hongolosongo.

Se localizan en la secuencia media próxima al contacto con la secuencia inferior de Hongolosongo:

Ermitaño Este - Se localiza a 5 km al sureste de Barita, observándose vetas de cuarzo con óxidos de sulfuros en una zona de unos 500 m de extensión y 100 m de ancho. Se realizaron



trincheras con resultados de hasta 0.78 g/t de Au. En estos momentos se realizan trabajos por un proyecto de investigación y desarrollo y se obtienen dimensiones mayores de la zona que la hacen perspectiva para trabajos de prospección.

La Esperanza - Se localiza a unos 14 km al oeste de Barita, observándose predominio de tobas y lavas de composición ácidas con diques intercalados de andesitas, con seritización, limonitización, cuarcificación, piritización y caolinitización. Se muestreo la malaquita con oxidación en la superficie, la entrada de 3 niveles de laboreos antiguos y mena primaria alterada que se encuentra en la escombrera, todos los resultados obtenidos son mayores de 0.5 g/t de Au y en la mena primaria el Au es de 12.82 g/t, Ag es de 477 g/t, Cu es de 8.91 % y Zn es de 13.0 %. La zona mineral muestreada se localiza en una zona de falla con dirección 25 grados noreste y ángulo de inclinación 85 grados. Se obtiene presencia de Au en 1500 m a lo largo de la falla y en un ancho de 300 m.

Santa Rosa - A 17 km al oeste de Barita, se localiza una zona mineralizada en tobas medio-ácidas, lavas y cuerpos de dioritas y andesitas, con silicificación, limonitización y en menor grado caolinitización. Se tomaron muestras de superficie en 800 m de este a oeste y 1 km de norte a sur, obteniéndose hasta 1.28 g/t de Au.

Cojimar - Se ubica a 20 km al suroeste de Barita, predominando dioritas y lavas de composición media hasta ácida, con vetas de cuarzo con limonita y hematita donde se obtuvo presencia de Au de 0.03 a 0.2 g/t.

Al sur del campo menífero El Cobre se observan otras manifestaciones minerales como son: La Victoria, Manacal y La Cuaba. Al este de la ciudad de Santiago de Cuba a 30 km se localiza la zona mineralizada de oro Sigua en la que se comenzó a realizar la prospección y donde los muestreos de trincheras han tenido resultados de hasta 90 g/t de Au en vetas de cuarzo.

Conclusiones

En el depósito Oro Barita se calcularon recursos geológicos de 2.7 ton de oro, con 1.64 g/t como contenido medio, estas menas responden de forma satisfactoria al proceso de cianuración, serán explotadas por cantera (método a cielo abierto) y el estudio de factibilidad es positivo, encontrándose en fase de aprobación en el año en curso.

Se realizan trabajos de prospección en los alrededores de Barita, evaluándose zonas mineralizadas que pueden aportar el incremento de recursos en el área.

En todo el Arco Volcánico Paleógeno de la Sierra Maestra se observan numerosas manifestaciones minerales de oro que lo hacen perspectivo para la localización de futuros yacimientos.

Referencias bibliográficas

- Casañas, X. (2000): Depósitos Vulcanogénicos del Arco Paleógeno de la Sierra Maestra. El ejemplo del yacimiento El Cobre. Ph.D. thesis, Universidad de Barcelona.
- Dr. Lee Moreno, José Luis. Modelos de Yacimientos Auríferos: Su utilización en México (primera parte).
- Grechanik, T; A. Norman (1969) Informe sobre los trabajos geológicos de Levantamiento a escala 1: 50000 que se realizó en la cuenca de los ríos Cobre, Cañas y Cauto. Provincia de Oriente. O.N.R.M. GE (1991): Mecánica de Rocas Aplicada a la Minería Metálica. ITGE, Madrid, España.
- Luna, A. et. al (1989): Informe P.P de los flancos y Horizontes Profundos del Campo Metalíferos El Cobre. Archivos Técnico E.G.M.O.



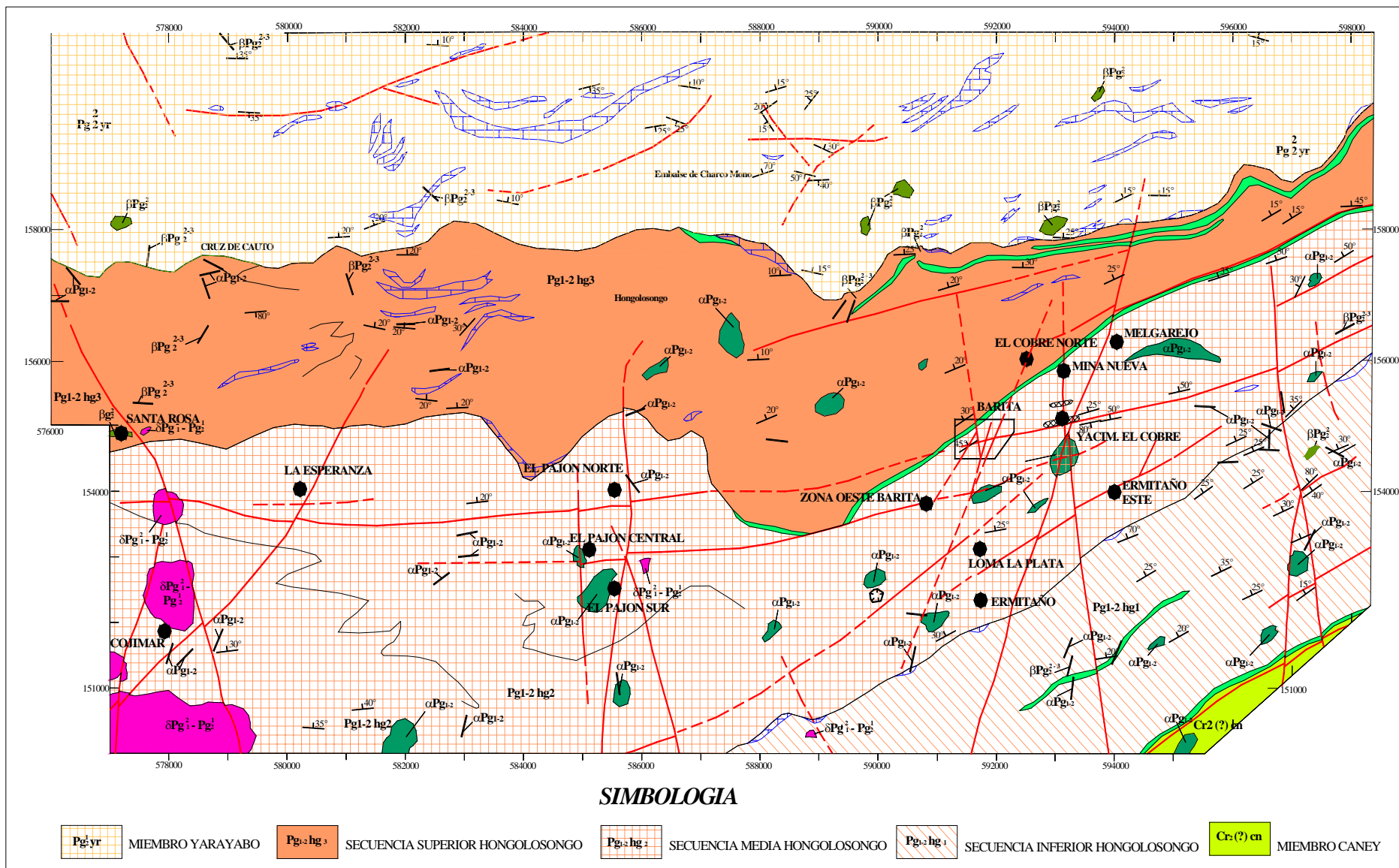
- Luna, A. et. Al. (1992): Informe P.D. Cobre Zona Sur. Archivo Técnico E.G.M.O
- Luna,A. Et. Al. (1994 - 98): Materiales primarios de la A.E. Geominera S.A – Joutel Resources LTD en soportes magnético y el conocimiento geológicos de la zona. Archivo O.N.R.M.
- Reporte de Investigaciones “ Estudio Preliminar de Cianuración de las menas auríferas de la zona Barita del Depósitos El Cobre”, 0.3 / 96. CIPIMM.
- Reporte de la Investigación “ Investigaciones de las menas auríferas de la zona Barita por la Tecnología de cianuración en Columnas”, 0.9/ 96. CIPIMM.
- Romana, M. (1994): Practice of SMR classification for slope appraisal. Polietechnical University of Valencia Spain.

ANEXOS:

Anexo No 2. Mapa geológico del Campo Menifero El Cobre



MAPA GEOLOGICO CAMPO MENIFERO EL COBRE Anexo: 2





REGIONALIZACIÓN METALOGÉNICA DEL TERRENO GUANIGUANICO, PINAR DEL RÍO, CUBA.

***Justo L. Montano⁽¹⁾, Rafael M. Lavandero⁽¹⁾, Jorge L. Torres⁽¹⁾, Jesús Moreira⁽¹⁾,
René Fernández de Lara⁽²⁾.***

⁽¹⁾ Instituto de Geología y Paleontología, Vía Blanca y Línea del Ferrocarril S/N, San Miguel del Padrón, Ciudad de La Habana, Cuba, C. Email: montano@igp.minbas.cu

⁽²⁾ GeoMinera Pinar del Río. Calle Martí No 141, Pinar del Río

RESUMEN

Este trabajo satisface la necesidad de actualizar los resultados del Mapa Metalogénico de la República de Cuba (elaborado hace más de una década) para el terreno Guaniguanico, a la luz del conocimiento geológico moderno sobre los ambientes geodinámicos y modelos de depósitos minerales metálicos. La nueva regionalización metalogénica planteada para el Terreno Guaniguanico, perteneciente al Complejo Metalogénico de Margen Continental (Zona Metalogénica Guaniguanico – Escambray), distingue 7 subzonas: 1) Subzona Esperanza, 2) Subzona Castellano, 3) Subzona Alturas Pizarrosas del Norte, 4) Subzona Organos, 5) Subzona Alturas Pizarrosas del Sur, 6) Subzona Cangre y 7) Subzona Rosario. En general, todas estas unidades presentan secuencias terrígenas, terrígeno – carbonatadas y carbonatadas ricas en materia orgánica, con subordinadas manifestaciones de magmatismo en diferentes grados. Las mismas hospedan depósitos piríticos con Cu y Co (subzona 1), pirítico – cupríferos y polimetálicos (3, 5 y 7), pirítico – polimetálicos con barita (2, en menor grado en las 3 y 5), barito – polimetálica y barítica (6, en menor grado en la 2) y manganífera (4). Estos depósitos son estratiformes singenéticos y filoneanos hidrotermales. Los fluidos generadores de mena son, en general, de carácter reducido (tipo Selwyn). Las unidades metalogénicas separadas abarcan distintos ambientes geológicos: Aluvial, deltáico emergido y sumergido, (3 y 5) lagunal – costero, marino de aguas someras (2), marino de aguas moderadamente profundas y profundas (1, 4 y 7). La zona Cangre (6) presenta un metamorfismo de alta presión y volcanismo asociado, siendo muy incipiente el metamorfismo en las otras unidades.

ABSTRACT

The necessity of up dating the results of the Metallogenic Map of Cuba for the Guaniguanico terrain is considered as the main goal of this work. This map was created more than a decade ago. The modern geologic knowledge on geodynamic environments and the use of mineral deposit models was the basis of this research. As a general unit, Guaniguanico Terrain belongs to the Continental Margin Complex (Guaniguanico - Escambray Metallogenic Zone). For the new metallogenic regionalization, seven subzones are distinguished: 1) Esperanza, 2) Castellano, 3) Alturas Pizarrosas del Norte, 4) Órganos, 5) Alturas Pizarrosas del Sur, 6) Cangre and 7) Rosario. Stratigraphically, present units are represented by terrigenous, terrigenous-carbonated and carbonated sequences, rich in organic matter. Different degrees of subordinated magmatism can be found throughout them. Rock sequences at Guaniguanico host pyritic deposits with Cu and Co (subzone 1), copper –pyritic and polymetallic deposits (present in subzones 3, 5 and 7), pyritic - polymetallic deposits with barite (present in subzone 2, in subordinated degree in subzones 3 and 5), barite - polymetallic and baritic deposits (present in subzone 6, in subordinated degree in subzone 2) and manganiferous deposits (subzone 4). They are singenetic, stratiform and vetitic hydrothermal deposits. Mineralized fluids are of reduced character (of Selwyn type). The distinguished metallogenic subzoned are located among different depositional environments.



Introducción

La regionalización metalogénica es un elemento importante en el proceso de evaluación del potencial de recursos de una región, pues destaca la distribución espacial de las regularidades que rigen la formación y localización de los depósitos minerales metálicos.

La provincia Pinar del Río, la más occidental en el territorio nacional, presenta dos unidades metalogénicas: La Zona Guaniguanico, perteneciente al Complejo Metalogénico de Margen Continental y la Subzona Bahía Honda, perteneciente en parte al Complejo Metalogénico Oceánico (Zona Metalogénica Bahía Honda - Baracoa) y en parte a la Zona Zaza del Complejo Metalogénico de Arco Volcánico Cretácico (Cabrera et al, 1989). El presente trabajo centra su atención en la primera, dada la gran importancia de los recursos minerales polimetálico – preciosos conocidos en la misma y el significativo potencial de recursos no descubiertos que posee, presentándose una propuesta de subdivisión metalogénica para la misma.

Materiales y métodos

Para la elaboración de la nueva regionalización metalogénica dentro la Zona Metalogénica Guaniguanico, se utilizaron los resultados de un gran número de informes inéditos de levantamiento y prospección geológica, así como trabajos de diversos autores aparecidos en publicaciones cubanas especializadas a lo largo de los últimos 30 años. Como base fundamental y antecedente más inmediato, se empleó el Mapa Metalogénico de la República de Cuba a escala 1:500000, confeccionado por el Instituto de Geología y Paleontología (Cabrera et al, 1989), el cual refleja las características metalogénicas del territorio cubano y su subdivisión en unidades metalogénicas de diferentes rangos. Para el desmembramiento de la Zona Guaniguanico en unidades metalogénicas de menor rango, se tomaron en cuenta, entre otros factores, los siguientes: 1) Medioambiente deposicional. 2) Contenido de materia orgánica. 3) Composición litológica. 4) Tipos de depósitos minerales metálicos presentes. 5) Composición de la carga menífera. 6) Especialización geoquímica regional.

Resultados

La Zona Metalogénica Guaniguanico, como resultado del análisis realizado, se propone que quede dividida en siete unidades metalogénicas de inferior rango, las cuales son presentadas a continuación (ver figura No 2):

Subzona Esperanza (1). Abarca el territorio de la Fm Esperanza ($J_3 - K_1$), la cual es una secuencia terrígeno - carbonatada de areniscas calcáreas, calizas, pizarras negras carbonosas, limolitas y calizas esquistosas, con capas y lentes concordantes de diabasas y gabrodiabasas porfiríticas, representativas de un magmatismo efusivo, de edad $J_3 - K_1$. La Formación Esperanza es rica en materia carbonosa (7 – 30 %) y representativa de un ambiente de mar abierto de aguas profundas.

En la subzona predominan los depósitos piríticos con Cu y Co, sobresaliendo los del Campo Mineral Unión – Juan Manuel (Unión I y II, Juan Manuel, Cayo Alto) y el Campo Mineral Hierro (Hierro Mantua, Copales, Carril, Olga). También hay pequeñas acumulaciones cupríferas asociadas a cuerpos intrusivos subvolcánicos de composición básica, como Chiquita, Río Rosas y otros. Todos ellos se localizan en la Región Menífera Mantua (Cabrera et al, 1989). Las



litologías hospederas son limolitas, argilitas, pizarras y calizas. En algunos casos, las menas contactan con cuerpos subvolcánicos gabro - diabásicos concordantes.

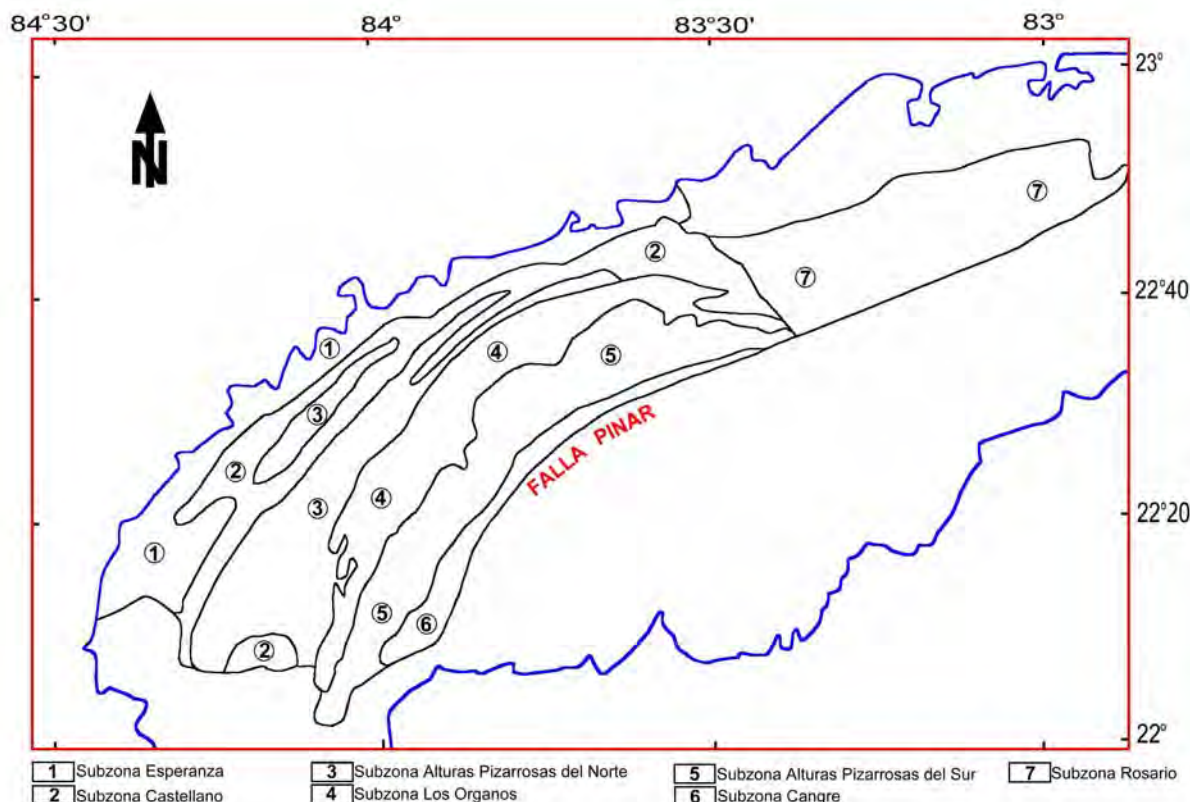


Figura No 1. Mapa de la zonación metalogénica propuesta del Terreno Guaniguanico

Los depósitos piríticos estratiformes con Cu y Co, son de génesis sedimentario - singenética, con variable mineralización hidrotermal superpuesta y se formaron en un ambiente reductor de cuencas marinas moderadamente profundas, en la vecindad de cuerpos subvolcánicos. Los mismos han sido clasificados como pertenecientes al tipo Besshi (Russell et al, 2000). La especialización geoquímica de esta unidad es dada por los elementos Ba, Co, Cu, Ni, Mo y Cr.

Subzona Castellano (2). Ocupa el área del Miembro Castellano (parte superior de la Formación San Cayetano), compuesto por pizarras negras, limolitas, areniscas, y carbonatos. El mismo limita con las subzonas Esperanza y Alturas Pizarrosas del Norte. Esta unidad representa un ambiente deposicional costero – lagunal de aguas someras anóxicas y euxínicas y es portadora de depósitos estratiformes pirítico – polimetálicos de génesis sedimentario – exhalativa singenética, con variable mineralización hidrotermal epigenética superpuesta. Entre ellos se destacan los agrupados en la Región Menífera Santa Lucía - Castellano (Castellano, Santa Lucía, Santa Lucía Este, Sur, El Jíbaro y otros), así como Nieves. Estos son depósitos Exhalativo – Sedimentarios del tipo Selwyn, portadores de Zn - Pb - Cu - Ag - Au ± Ba hospedados en pizarras negras, limolitas y cuarcitas o areniscas muy silicificadas. Los mismos suelen poseer estructura químico - mineralógica bandeada, lo que es particularmente notorio en las menas del yacimiento Santa Lucía.



Otros elementos que sugieren su génesis singenética son la presencia en ellos de pirita globular y framboidal, de materia orgánica carbonosa y bituminosa, así como la relación isotópica de ^{34}S en las menas (García et al, 1979; Aniatov et al, 1983), cuyos valores oscilan entre -5,9 y -32,8 ‰, indicando un origen biogénico para el S presente. Las menas barito – polimetálicas presentes en estos depósitos son claramente superpuestas a las pirita – polimetálicas, siendo controlada por la tectónica postmineral. En esta subzona también existe subordinada mineralización cuprífera, localizada fundamentalmente en las zonas de alimentación de los depósitos polimetálicos, ubicadas generalmente en areniscas (Valdés et al 1993; Whitehead et al, 1996). Igualmente, se presentan depósitos de composición pirítico magnetítica, a veces con metales base, Ba o Co. El contenido de materia carbonosa en esta subzona es de 10 - 35 %, siendo el de carbonatos mayor del 15 % y el de pirita globular diseminada de hasta 10 - 15 % (Vershigora et al, 1983; Ovchinnikov et al, 1993). Los elementos principales de su especialización geoquímica son Ba, Co, Cu, Pb, Zn y Ag.

Subzona Alturas de Pizarras del Norte (3). Se desarrolla en los paquetes de areniscas y limolitas carbonosas de la Formación San Cayetano (J_{1-2}), la cual presenta un bajo grado de metamorfismo. La misma se distribuye en la parte NW de la provincia de Pinar del Río. Las particularidades geológicas de los tipos de yacimientos presentes (facies, nivel del corte de erosión, metamorfismo, génesis etc.) han permitido definir una Región Menífera extendida desde Mina Dora al SW hasta Matahambre en el NE.

En esta región mineral se encuentran depósitos sulfurosos de los tipos exhalativo - sedimentario lenticular - estratiformes pirita - galenita - esfaleríticos e hidrotermal de vetas calcopiríticas con cuarzo. En los del primer tipo se observa, en muchos casos, el desarrollo de menas piríticas con Cu en forma de vetillas de stockwork debajo de los cuerpos polimetálicos concordantes. El control de la mineralización polimetálica es litológico - estratigráfico (límite de las areniscas con las rocas limolito - arcillosas). La mineralización calcopirítica con cuarzo tiene un fuerte control estructural, localizándose en las zonas de fallas y zonas brechosas de las areniscas. Esta subzona contiene el yacimiento Matahambre, y los depósitos Mella, Amistad, Cándida, Francisco y Dora, explotados durante el siglo XX, principalmente en su primera mitad, así como el yacimiento de plata en el gossan de Loma de Hierro, la mayoría de los cuales han sido clasificados como Sedex (Valdés et al, 1993; Russell et al, 2000). La especialización geoquímica de la misma es dada por los elementos Ba, Co, Cu, Ni y Mo. Su contenido de materia orgánica es menor que el de las unidades ya descritas, oscilando entre 1 y 25 %.

Subzona Los Organos (4). Es representada por secuencias carbonatadas y terrígeno - carbonatadas. Entre las calizas recristalizadas de la Formación Jagua, se presenta un horizonte de tufitas de varios centímetros de espesor, de color gris - verdoso, con el cual se relacionan las pequeñas manifestaciones de manganeso estratiformes, de 1 a 3 m de potencia máxima, explotadas en la primera mitad del siglo pasado. Su ley oscila entre 15 y 30% de Mn, estando constituidos principalmente por psilomelano y pirolusita. En esta subzona no se conocen otros tipos de mineralización metálica. Su especialización metalogénica es dada por los elementos Ba, Co y Mo (Burov et al, 1986).

Subzona Alturas Pizarrosas del Sur (5). se desarrolla en la parte SW de la Formación San Cayetano, incluido el Miembro Cerro de Cabras, caracterizado por un metamorfismo de alta relación P/T, superior al del resto de la formación (Fernández de Lara, R. 2001). Aquí se halla la Región Menífera Santa Gertrudis, la cual se encuentra en una posición geológica semejante a la Cándida - Matahambre, pero siendo sus menas mayormente monobaríticas. Los cuerpos minerales pueden presentar vetas aisladas cortantes (Santa Gertrudis), concordantes y mixtas



(El Indio, Isabel María). Lo más común son los cuerpos lenticulares situados en los límites entre las areniscas finas y las limolitas. En esta subzona la mineralización se asocia a zonas de cizalla y se caracteriza por la presencia de metales preciosos (Pb, Au, Ag), encontrándose en la parte más occidental de esta la Mina Argentífera. Esto sugiere la presencia en la misma de un nuevo tipo de mineralización (removilizada), asociado a la tectónica.

Subzona Arroyo Cangre (6). Abarca el territorio de la Formación Arroyo Cangre, conteniendo la Región Menífera Isabel Rosa - La Guabina, en secuencias de areniscas, rocas arcillosas y de diabasas metamorizadas en condiciones de alta relación P/T. La mineralización esta representada por cuerpos piríticos bandeados y mineralización vetítico - diseminada con calcopirita, en muchos casos con contenidos interesantes de plata. Aquí se encuentran las antiguas minas de Isabel Rosa (Cu 8.9%; Ag 2.78 oz/t) y La Guabina. La presencia en la faja de cuerpos subconcordantes de diabasas frecuentemente mineralizadas con pirita y calcopirita diseminada sugiere su vinculación paragenética con la mineralización. Las anomalías presentes se caracterizan por ser contrastantes y extensas principalmente de los elementos Pb, Zn, Cu y Co, los cuales se relacionan con la composición de las manifestaciones meníferas conocidas.

Subzona Sierra del Rosario (7). Postulada por Cabrera et al (1989), presenta escasas manifestaciones minerales metálicas. Solo se conoce en ella la presencia de algunos sombreros de hierro, los cuales han recibido una evaluación negativa. Dentro de la misma se presentan zonas de melange de considerable desarrollo, en una de las cuales se encuentra, en un bloque de serpentinitas, la antigua mina El Brujo, la que, por el ambiente geodinámico de su roca portadora y el tipo de mineralización, se clasifica como tipo Chipre.

Discusión

La Zona Metalogénica Guaniguanico está compuesta por secuencias terrígenas, terrígeno – carbonatadas y carbonatadas de margen continental, con subordinado magmatismo en grado variable (desde moderado hasta ausente) Estas secuencias son generalmente ricas en materia orgánica (de 1 hasta 35 % de sustancia carbonosa), habiéndose acumulado en ambientes predominantemente reductores. Estos ambientes deposicionales abarcan variadas facies deposicionales desde costeros hasta de aguas profundas, estando presentes los tres modelos o ambientes de formación de pizarras negras definidos por Vine y Tourtelot, (1979): 1) Circulación restringida. 2) Shelf continental y 3) Mar abierto.

Los fluidos mineralizantes portadores de metales base y preciosos que dieron origen a los depósitos piríticos, piríticos – polimetálicos y pirítico – calcopiríticos de la Zona Metalogénica Guaniguanico eran reducidos (tipo Selwyn Basin), condicionados por el carácter reductor de la mayor parte de la estratigrafía Jurásica – Cretácica Inferior existente en dicha zona.

La yacencia discordante con el medio encajante y el control tectónico por fallas postminerales con relación a las menas pirítico - polimetálicas, así como la elevada abundancia geoquímica regional del Ba en la Zona Metalogénica Guaniguanico, sugieren que la mineralización barítica en ella es, en buena parte, removilizada.

La especialización geoquímica de las diferentes unidades metalogénicas que integran la Zona Metalogénica Guaniguanico, tiene como rasgo común, la presencia de contenidos muy por encima del Clark de Cu, Ba y Co y por encima del Clark, de Pb, y Zn (Burov et al, 1986). En cuanto a su especialización metalogénica, los depósitos minerales presentes en esta zona metalogénica son portadores de S, Pb, Zn, Ba, Cu, Co, Ag y Au.



El Terreno Guaniguanico se distingue del Terreno Escambray por un metamorfismo regional, en general, menos intenso y por la forma gráfica de presentación de la materia orgánica, teniendo similitudes significativas en otros aspectos. Ambos terrenos se diferencian a su vez del Terreno Pinos por el desarrollo en este último de procesos de fusión parcial. Por ello, y en menor grado por su separación geográfica, los autores proponen considerar estos terrenos como zonas metalogénicas independientes, dividiendo en tres la Zona Metalogénica Guaniguanico – Escambray del Mapa Metalogénico de la República de Cuba 1:500000 (Cabrera et al, 1989).

Varios autores, principalmente en los últimos años (Martínez et al, 1988; Pszczółkowski 1994, 1999), han destacado las grandes similitudes existentes entre las secuencias de la Fm. Esperanza y las de la parte septentrional de la ZEF Sierra del Rosario, postulando que en realidad se trata de una secuencia única (Cáceres 2002; Cofiño 2002, comunicación personal). Así mismo, hay zonas de desarrollo del Miembro Castellanos y de la Fm. San Cayetano en el área de la subzona metalogénica Sierra del Rosario. Ello sugiere que dicha unidad metalogénica no tiene una personalidad real, sino que ha sido convencionalmente separada atendiendo mas bien al escaso número de acumulaciones minerales metálicas conocidas en ella, entendiéndose más acertado repartir su territorio entre otras subzonas metalogénicas bien caracterizadas del terreno Guaniguanico, como Esperanza, Castellanos y Alturas Pizarrosas del Norte o del Sur, cuestión esta que los autores esperan esclarecer más adelante. Igualmente algunos postulan la identidad entre las secuencias de margen continental de la Fm Esperanza y de la de la parte septentrional de la Sierra del Rosario con las de la Zona Estructuro - Facial (ZEF) Placetas, de la parte norte de la región central de Cuba (Pszczółkowski; 1994, 1999), todas pertenecientes al Complejo Metalogénico de Margen Continental, de acuerdo con Cabrera et al (1889). Otros autores (Linares 2002), consideran que ambas constituyen facies laterales de un mismo reino paleogeográfico (margen continental). Quedaría por establecer si esta similitud, de resultar confirmada, es acompañada o no por una similitud metalogénica. En caso positivo, entonces sería posible encontrar depósitos minerales metálicos semejantes a los presentes en la subzona Esperanza en el área de la ZEF Placetas, de los cuales, hasta ahora, no se conocen evidencias.

Finalmente, otros elementos en la metalogenia de Pinar del Río son el bloque Pan de Guajaibón y el macizo gabroide Olga - Jagua, estructuras exóticas emplazados dentro del Terreno Guaniguanico, los cuales no han sido incluidos en la presente regionalización.

Conclusiones

La Zona Metalogénica Guaniguanico, de acuerdo con el resultado del análisis realizado, queda subdividida en siete subzonas metalogénicas: Esperanza, Castellano, Alturas Pizarrosas del Norte, Organos, Alturas Pizarrosas del Sur, Arroyo Cangre y Sierra del Rosario. Esta última unidad aun está en discusión.

La zona Metalogénica Guaniguanico, compuesta por secuencias terrígenas, terrígeno - carbonatadas y carbonatadas de margen continental, es generalmente ricas en materia orgánica (de 1 hasta 35 % de sustancia carbonosa), acumuladas en ambientes predominantemente reductores, abarcadoras de variadas facies deposicionales.

En esta zona metalogénica dominan los depósitos estratiformes de génesis sedimentaria singenética, con mineralización hidrotermal superpuesta, siendo portadora de depósitos piríticos con Cu y Co (tipo Besshi) y pirítico - polimetálico - preciosos del tipo Sedex (subtipo Selwyn).



También hay depósitos hidrotermales pirito - calcopiríticos con cuarzo y menas monobaríticas en proporción subordinada.

La especialización geoquímica de las diferentes unidades metalogénicas que integran la Zona Metalogénica Guaniguanico, tiene como rasgo común, la presencia de contenidos muy por encima del Clark de Cu, Ba y Co y por encima del Clark, de Pb y Zn. En cuanto a su especialización metalogénica, general, los depósitos son portadores de S, Pb, Zn, Ba, Cu, Co, Ag y Au.

Trabajos recientes de otros autores sugieren que las secuencias de la parte septentrional de la Sierra del Rosario y las pertenecientes a la Fm Esperanza constituyen una misma Zona Estructuro – Formacional. Igualmente, que esta ZEF es equivalente a la ZEF Placetas de Cuba Central. Esto pone en el orden del día el problema de establecer si dicha identidad, de ser cierta, es acompañada o no por una identidad metalogénica.

Bibliografía

- Aniatov, I. , Lavandero, R. M. (1983): Capacidad Menífera del Complejo Carbonatado - Terrígeno del Jurásico – Cretácico Inferior de Cuba Occidental. Serie Geológica Nº 2, 1983. 19 - 47
- Burov, V., D. Martínez, Y. Yusanov, R. Fernández, V. Derbenev, A. Uspensky (1986): Informe de los trabajos de levantamiento geológico a escala 1:50000 realizados en la parte occidental de la provincia de Pinar del Río en 1981 – 85. Inédito.
- Cabrera R, I.N. Tijomirov, R. M. Lavandero, F. Formell, J. Montenegro, J. M. López, D. García, M. Pardo, G. Correa, K. P. Stanek, S. Gil, F. Bravo, X. Casañas, G. Pantaleón, A. N Barishev, Y.Y. Bulguel'skiy, G. G. Gue, I. Lozanov, A.R Morales, O Vázquez, D. Sosa, D. González, N. Cuellar, U. Roque, L. Murguía, J. Díaz(1989): Mapa Metalogénico de la República de Cuba a escala 1: 500000. Instituto de Geología y Paleontología. Inédito.
- Fernández de Lara, R. (2001): Informe de Reconocimiento Geológico para oro y plata en los sectores alrededores de la Mina Argentífera y Los Potrerros. Inédito.
- García, L., N. Escalona, G. Seisdedos (1979): Exploración detallada del flanco NE del yacimiento Santa Lucía, Pinar del Río. Inédito.
- García, C. (1989): Resumen de la Tesis por la obtención del título Candidato a Doctor en Ciencias Geólogo – mineralógicas "Geología del campo mineral Unión y perspectivas de yacimientos sulfurados de la Fm. Esperanza". Inédito.
- Haczewski, G. (1987): Reconocimiento sedimentológico de la Formación San Cayetano. Un margen continental acumulativo en el Jurásico de Cuba occidental. Contribución a la Geología de Pinar del Río, Pszczolkowski, A., K. Piostrowska, J. Piostrowski, A. De la Torre, R. Myczynski, G. Haczewski (eds): Editorial Científico – Técnica, La Habana, 228 – 247.
- Linares, E. (2002): Comparación entre las secuencias mesozoicas de aguas profundas y someras de Cuba Central y Occidental. Significado para la exploración petrolera. Tesis de Opción al Grado de Doctor en Ciencias Geológicas. Centro de Investigaciones del Petróleo e Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría. Inédito.
- Martínez, D., R. Fernández, R. Reinoso, J. C. Chang, O. Fernández, A. Valido, R. Peláez, R. Nuñez, J. Hernández, P. Rodríguez, M. Vázquez, S. Shalva, V. Yuntsky, S. Precado, V. Touchenko, V. Shiring, C. Cofiño (1988): Informe sobre los resultados del levantamiento geológico y búsqueda a escala 1:50000 en la parte central de la provincia Pinar del Río. Inédito.
- Ovchinnikov, V., M. Robaina, A. Hernández, M. Valdivia, A. Rodríguez, A. Salinas, R. Fernández, N. Estrada, A. Martínez (1993): Informe sobre los resultados de la exploración detallada del yacimiento pirítico – polimetálico Santa Lucía en la provincia Pinar del Río, realizados durante los años 1982 – 1987 con el cálculo de reservas hasta el 1 de Dic. De 1993. Inédito.
- Pszczolkowski, A. (1994): Lithostratigraphie of Mesozoic and Paleogene of Sierra del Rosario, western Cuba. *Studia Geologica Polonica*. Vol 105, 39 – 63
- Pszczolkowski, A. (1999): The passive margin of North America in western Cuba. *Caribbean Basin. Sedimentary Basins of the world*. No 4. P. Mann (Ed). Elsevier Science B.V, Amsterdam, 93 - 121.



- Tourtelot, H. A. (1979): Black Shale – Its deposition and diagenesis. *Clays and clays minerals*; Vol 27, No. 5, 313-321
- Russell, N., J. Moreira, R. Sánchez (2000): Volcanogenic massive sulphide deposits of Cuba. VMS Deposits of Latin America. R. Sherlock, M. A. V. Logan (Eds). Geological Association of Canada Mineral Deposits Division, Special Publication No 2, 241 – 258.
- Valdés, E. L., A. Díaz, J. F. Davies, R. E. Whitehead, L. Fonseca (1993): Cogenetic Sedex Zn – Pb and stockwork Cu ores, Western Cuba. *Exploration, Mining and Geology*, Vol 2, No 4, 297 – 305.
- Vershigora, N., A. Prianjin, N. A. Fernández, Y. Karpov, R. Fernández, L. Oubiña, J. Castañeda, T. Ayata, M. Valdivia, J.R. Rosas, A. Klimov, L. Kranin, N. Escalona, L. Santamaría, A. Kumalakov, D. Konoplin (1983): Informe de búsqueda a escala 1:10000 realizada en el campo mineral Castellano – Santa Lucía. Inédito.
- Whitehead, R. E., J. F. Davies, E. L. Valdés, A. Díaz (1996): Mineralogical and chemical variations, Castellanos shale – hosted Zn – Pb – Ba deposit, Northwestern Cuba. *Economic Geology*, Vol 91, No 4, 713 – 722.



MODELO GENÉTICO TEÓRICO DE LA MINERALIZACIÓN CROMÍFERA Y SULFUROS ASOCIADOS DEL YACIMIENTO POTOSÍ, MOA, CUBA

José Nicolás Muñoz Gómez

Departamento de Geología. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Edificio 25 Apartamento No. 20, R. Monterrey, Moa, Holguín. C. P. 83330. E-mail: jnmuñoz@ismm.edu.cu

RESUMEN

El yacimiento de menas cromíferas "Potosí" se localiza en el curso superior del río "Yamanigüey", al este del municipio de Moa. Desde el punto de vista geológico este yacimiento se enmarca dentro de las litologías máficas y ultramáficas del complejo ofiolítico de Moa - Baracoa. (Kenarev, V. 1966) (Muñoz Gómez, 1995); (Muñoz Gómez, 1997); (Proenza, 1998); (Zhou, M. F, et al, 2001)

La mineralización cromífera del yacimiento "Potosí" está integrada por la presencia de espinelas cromíferas *sensu strictu* y una mineralización acompañante compleja representada por sulfuros magmáticos primarios: pirrotina, pentlandita, calcopirita, millerita y pirita; dióxido de titanio, en varias formas de existencia, metales del grupo del platino con la serie laurita – erlichmanita e isoferroplatino, así como la presencia de sulfuros productos del proceso de serpentización del complejo ofiolítico y de las menas cromíticas, las que están espacial y genéticamente vinculadas a las litologías máficas y ultramáficas. (Disthler, V. et. al., 1989); (Disthler, Falcón, Muñoz Gómez, Campos Dueñas, 1990); (Muñoz Gómez, 1997); (Proenza, J., 1998) y (Zhou, M. F, et al, 2001).

El objeto del presente trabajo está dedicado a la sistematización de la información sobre la mineralización cromífera y a la elaboración del modelo genético teórico. El modelo genético teórico, en el contenido de la mineralogía, esta integrado por:

- a) Fase magmática inicial de la cristalización de la espinela cromífera
- b) Fase final de cristalización y agrietamiento de la mineralización cromífera
- c) Fase de la serpentización de los complejos máficos y ultramáficos del complejo ofiolítico
- d) Fase de emplazamiento de los diques de gabro-pegmatitas.

El modelo genético teórico del yacimiento Potosí constituye un aporte a la metalogenia endógena de la asociación ofiolítica en Cuba y en el extranjero.

ABSTRACT

The chromites ore deposit "Potosí" is located at the upper part of "Yamanigüey" River, to the east of Moa, Holguín, Cuba. This chromitite ore deposit from the point of view of geological and structural conditions is located in the ultramafic lithology near to the mafic lithology of the ofiolitic complex of Moa-Baracoa region. (Kenarev, V. 1966); (Muñoz Gómez, 1995); (Muñoz Gómez, 1997); (Proenza, 1998); (Zhou, M. F, et al, 2001)

The chromitite mineralization of the Potosí deposit are formed by chromites spinels – *sensu strictu* – and a complex mineralization accompanist with magmatic sulphides – pyrrhotite, pentlandite, chalcopryrite, millerite and pyrite – rutile, platinum group element with laurite-erlichmanite serie and isoferroplatinum. Besides, associated with chromite spinel there are secondary sulphides formed during the serpentinization process of the ophiolitic complex and the chrome ore, all process are spaciously and genetically connected with mafic and ultramafic lithology of the ophiolitic complex. (Kenarev, V. 1966); (Dzuber, A., 1974); (Disthler, V. et. al., 1989); (Disthler, Falcón, Muñoz Gómez, Campos Dueñas, 1990); (Muñoz Gómez, 1997); (Proenza, 1998) y (Zhou, M. F, et al, 2001).

The target of the present paper is about of the systematisation of the chromites mineralization and to get the theoretical genetic model of the chromites ore deposit Potosi. The genetic model are formed by four main phases, there includes chronologically the physics – chemistry process and the geological setting about of chromites mineralization and their paragenesis.



The theoretical model of chromites mineralization, in the mineralogical characteristic, is formed by:

- Early magmatic phase of the crystallization and solidification of the chromium spinels
- Lastly phase of crystallization and fracturation of the chromites mineralization
- Serpentinization phase of the mafic and ultramafic lithologies ophiolitic complex
- Gabbro-pegmatites phase associated of the chromium mineralization.

The theoretical genetic model of the chrome ore of Potosí is a contribution to the endogenous metallogenia of the ophiolitic association in Cuba and others countries.

Introducción

Las investigaciones geológicas, geoquímicas y mineralógicas, desarrolladas en los últimos años en el yacimiento Potosí, (Muñoz Gómez, 1997) y (Proenza, 1998), así como trabajos ulteriores, (Zhou, M. F, et al, 2001), ha permitido la elaboración del modelo genético teórico del yacimiento Potosí, las características geológicas y sobre todo las geoquímicas y mineralógicas de las menas del yacimiento Potosí, difieren de las menas cromíticas típicas podiformes asociados a los complejos ofiolíticos en Cuba y en el extranjero, por lo que la elaboración del modelo genético contribuirá a la sistematización de los resultados alcanzados en las investigaciones desarrolladas en este yacimiento. En el modelo genético teórico, se hace énfasis en la mineralogía del yacimiento donde se incluyen cuatro fases o etapas de mineralización las que se resumen en el orden cronológico de formación de las paragénesis que la integran.

Para la elaboración del presente modelo se ha seguido la metodología del servicio geológico de British Columbia, Canada (BC - Geological Survey; *Ash, Chris (1996)- Podiform Chromite*).

Además, se ha incorporado al modelo del yacimiento Potosí la metodología para la elaboración de los modelos descriptivos de los yacimientos minerales de Ariosa Iznaga (Ariosa, 2002), por lo que se han sintetizado ambas metodologías.

La elaboración del modelo genético teórico de la mineralización cromífera y su compleja mineralización acompañante ha permitido la interpretación cronológica de la formación de las paragénesis minerales y la interpretación de la génesis de la mineralización cromífera del yacimiento Potosí.

Se considera además, la modelación teórica del emplazamiento de los diques de gabro-pegmatitas, que representan una fase magmática posterior a la mineralización cromífera del yacimiento "Potosí", portadora de una mineralización cromífera, con estructura brechoide, con características mineralógicas y geoquímicas típicas de las espinelas cromíferas de los complejos intrusivos básicos estratiformes, con contenido de TiO_2 muy por encima de la menas cromíticas podiformes. El modelo genético teórico del yacimiento Potosí constituye un aporte a la metalogenia endógena de la asociación ofiolítica en Cuba y en el extranjero.

Materiales y Métodos, Resultados y Discusión

La información que recoge las características del modelo genético teórico del yacimiento Potosí como se expresó anteriormente, sigue la combinación de las metodologías del servicio geológico de British Columbia, Canadá y la metodología propuesta por Ariosa. (Ariosa, 2002).

Modelo Genético Teórico del Yacimiento Potosí, Moa, Cuba

Nombre: Yacimiento cromítico podiforme

Sinónimos: Tipo alpino; cromitita ofiolítica

Productos y sub - productos: menas cromíticas ricas en Cr_2O_3 , Al_2O_3 , TiO_2 , Pt y sulfuros de Ni-Cu.



Ejemplos cubanos extranjeros y: Cayo Guan, Moa; Mercedita, Moa; Los Naranjos, Moa; Amores, Moa; Casimba, Mayarí, La Estrella, Mayarí, Caledonia, Mayarí; Campo mineral de Holguín y Campo mineral de Camagüey, Cuba. Guleman (Turkey); Kalimash - Kukes-Tropoje, Bulquize y Todo Manco - Bater-Martanesh (ofiolitas Mirdita y Albania); ofiolitas Tiébaghi y Massif du Sud (New Caledonia), Acoje y Masinloc-Coto (Zambales, Luzon, Phillipines); Batamshinsk, Stepninsk, Tagashaisai y Main SE (Kempirsai massif, Southern Urals, Russia); Xeraivado y Skoumtsa mines (Vourinos ophiolite, Greece); Semail ophiolite (Oman); Luobusa, Dongqiao, Sartohay, Yushi, Solun, Wudu and Hegenshan deposits (China) Todos > 1.5 Mt.

Características Geológicas

Descripción Resumen: Depósito de cromita masiva, con alto contenido de Cr_2O_3 , TiO_2 y Al_2O_3 que yace en forma de lentes y pods, vinculado espacial y genéticamente a ultramafitas – dunitas, harzburgitas y diques cortantes de gabro-pegmatitas; dislocaciones tectónicas, cortaron el cuerpo principal en tres cuerpos separados por fallas y en éstas se emplazaron diques de gabro-pegmatitas acompañadas de mineralización cromífera brechoide con sulfuros magmáticos de Ni-Cu y minerales del grupo del platino.

Escenario Tectónico

Localizado en el complejo ofiolítico de Moa - Baracoa, fragmento de la antigua corteza oceánica obduccida sobre las rocas volcánicas del arco Cretácico; el complejo está constituido fundamentalmente de ultramafitas, mafitas y volcánicos, las asociaciones litológicas máficas y ultramáficas presentan un elevado proceso de serpentinización y lateritización que ha devenido en importantes yacimientos lateríticos de Fe- Ni- Co.

Ambiente segregativo - Escenario geológico

Las menas cromífera que conforman el yacimiento se formaron como producto del proceso de diferenciación magmática de un magma de composición primaria basaltoide en el que se segregaron el olivino y las espinelas cromíferas y otros minerales acompañantes. El proceso de diferenciación y solidificación originó un cuerpo podiforme de menas cromíticas, recubierto en todo su contacto por una envoltura dunitica que separa a las menas de las harzburgitas serpentinizadas del complejo ofiolítico.

Edad de la mineralización

El proceso inicial de diferenciación magmática del magma basaltoide se corresponde con una edad Jurásico Superior, la continuidad del episodio de obducción y emplazamiento de la antigua corteza oceánica en la región de Moa - Baracoa es de edad Mesozoico Superior; el fallamiento y la penetración de diques de gabro-pegmatitas es el evento más joven.

Tipos de rocas encajantes – Tipos de rocas asociadas

Las rocas encajantes del yacimiento están representadas por dunitas que recubren el cuerpo mineral, las dunitas están en mayor grado serpentinizadas (Kenarev, V. 1966); las litologías del complejo ofiolítico de Moa-Baracoa presentan una composición predominantemente harzburgítica, con existencia de wherlitas y piroxenitas; las mafitas están representadas por gabros, gabros olivínicos y troctolitas. Los tipos de rocas asociadas a la mineralización cromítica son los diques de gabro-pegmatitas, que por su yacencia, son cortantes al cuerpo mineral principal. (Kenarev, V. 1966); (Muñoz Gómez, 1997); (Proenza, 1998) y (Zhou, M. F, et, al, 2001).



Forma del yacimiento

El cuerpo mineral presenta forma de lente abultado, sistemas de fallas normales paralelas, cortaron el cuerpo principal y lo desplazaron en tres secciones.

Texturas – Estructuras

Las texturas de las menas existentes en el yacimiento cromítico se corresponden con las características genéticas del yacimiento: se localizan texturas de cristalización – predominantes – variedad allotromórfica granulosa, descomposición de soluciones sólidas entre las menas cromíticas y rutilo, secundariamente existen texturas metamórficas, por efectos del dinamometamorfismo.

Las estructuras predominantes en las menas del yacimiento, van desde masivas, diseminadas y nodulares. Las espinelas cromíferas existentes en los diques de gabro-pegmatita tienen estructura brechoide.

Mineralogía de las menas (principal y acompañante)

La composición mineralógica de las menas del yacimiento Potosí tanto la composición principal como la acompañante, distinguen al yacimiento Potosí como único en Cuba y en el extranjero en el marco de la génesis de yacimientos cromíticos asociados a complejos ofiolíticos.. El conocimiento actual sobre la composición mineralógica de las menas del yacimiento es el resultado de las investigaciones desarrolladas en los últimos años. (Muñoz Gómez, Campos Dueñas, 1992); (Muñoz Gómez, 1995); (Muñoz Gómez, 1977); (Proenza, 1998) y (Zhou, M. F, et al, 2001). La mineralogía de las menas del yacimiento y minerales acompañantes está recogida en cuatro fases de mineralización que se corresponden cronológicamente a su vez con cuatro paragénesis: **A – B – C - D**. Las paragénesis se exponen siguiendo el orden cronológico de segregación de los minerales que las conforman.

Paragénesis - A – Fase magmática Inicial de Cristalización de la Espinela Cromífera

En la paragénesis - **A** - se incluyen los minerales acompañantes a las espinelas cromíferas masivas que se formaron en el proceso inicial de diferenciación magmática del complejo ultramáfico y en el inicio de la cristalización de los agregados cromíticos.

Paragénesis - **A₁** - : espinela cromífera – I , laurita-erlichmanita – I, platino nativo

Las fases platiníferas identificadas y representadas en la serie isomorfa laurita - erlichmanita (RuS_2 - OsS_2) se encuentran localizadas en el seno de las espinelas cromíferas masivas, por lo que esta fase de minerales del grupo del platino se segregó con anterioridad a la cristalización de los agregados cromíferos. En la paragénesis - **A₁** - se incluye la existencia de platino nativo, reportada por Kenarev, (Kenarev, V., 1966), en forma de descomposición de soluciones sólidas, lo que constituye una particularidad de la mineralización platinífera en las menas cromíferas masivas del yacimiento "Potosí. Además, existen sulfuros magmáticos primarios en el seno de las espinelas cromíferas, sin incluir la formación de las soluciones sólidas con la fase platinífera explicada anteriormente, por lo que se incluye una paragénesis independiente con predominio de sulfuros de hierro, níquel, cobre y laurita-erlichmanita-II con textura laminar con calcopirita-I y pentlandita-I, la cual queda representada como sigue:

Paragénesis - **A₂** - : espinela cromífera – I, pirrotina – I, calcopirita – I, pentlandita – I, laurita-erlichmanita – II -

Si se consideran ambas paragénesis, las menas cromíferas del yacimiento "Potosí" incluyen en su seno las fases platiníferas existentes en soluciones sólidas y sulfuros magmáticos primarios de licuación, por lo que la paragénesis general quedaría conformada por:

Paragénesis - **A₃** - : espinela cromífera – I, laurita-erlichmanita – I, platino nativo, pirrotina – I, calcopirita – I, pentlandita – I , laurita-erlichmanita – II



Durante el proceso de cristalización de las espinelas cromíferas masivas y mediante mecanismos similares de segregación de fases idiomórficas de la serie laurita-erlichmanita, pero a un intervalo de temperaturas más bajas, se formaron cristales idiomórficos de rutilo, así como también algunas texturas típicas de descomposición de soluciones sólidas en forma laminar y emulsionadas en la masa de los agregados cromíferos, las que se manifiestan discontinuamente (Muñoz Gómez, 1988). La paragénesis está representada por:

Paragénesis - A₄ - : espinela cromífera – I, rutilo – I

Paragénesis - B – Fase Final de Cristalización y Agrietamiento de la mineralización cromífera

En la paragénesis - B - se recogen los minerales metálicos asociados a las espinelas cromíferas, de génesis posterior a los minerales que constituyen la paragénesis - A -, los minerales están localizados en los sistemas de micro-agrietamiento de los agregados cromíferos. En la paragénesis se incluye el olivino el cual se asocia directamente a los agregados de espinelas cromíferas. En una primera etapa se formó el rutilo-II y posteriormente se formaron sulfuros magmáticos primarios de hierro, cobre y níquel. La paragénesis - B - está representada por:

Paragénesis - B₁- : espinela cromífera – I, olivino, rutilo – II

El resto de los minerales en las micro-grietas de las espinelas cromíferas masivas quedan incluidos en la paragénesis siguiente:

Paragénesis - B₂ - : espinela cromífera – I, laurita- erlichmanita – II, pentlandita – II, pirrotina – II, calcopirita – II, pirita – I, millerita – I, crisotilo, antigorita, enstatita

La existencia de la fase platinífera (RuS₂ - OsS₂) en asociación con los sulfuros de hierro, níquel y cobre se manifiesta en forma de solución sólida, de forma similar a la analizada anteriormente (Paragénesis - A -), pero en este caso, la segregación y cristalización y la correspondiente descomposición de la solución sólida es posterior, ya que las mismas se ubican en los sistemas de micro-agrietamiento de los agregados cromíferos.

Paragénesis - C - Fase de Serpentinización de los Complejos Máficos y Ultramáficos del complejo ofiolítico

En la paragénesis - C - se asocian los minerales formados durante el proceso final de segregación y cristalización de las espinelas cromíferas masivas, es de destacarse que la característica esencial de esta paragénesis es la presencia de sulfuros formados durante el proceso de serpentinización de los complejos máficos y ultramáficos y la formación de minerales del grupo de la serpentina, esencialmente crisotilo y antigorita a expensa del olivino y otros minerales ferro-magnesianos.

A criterios de P. Ramdohr, la existencia de mackinawita y de heazlewoodita, corrobora el proceso de serpentinización en los complejos máficos y ultramáficos, incluyendo además, la formación de magnetita secundaria a expensas del olivino y en condiciones de alto nivel del potencial del oxígeno, en ese sentido Ramdohr expone: “... during the alteration of olivine to serpentine only small part of the iron enters into the serpentine, the rest forms a network of magnetite...” (Ramdohr, P., 1980). La existencia en esta paragénesis de heazlewoodita, mackinawita y minerales serpentiniticos asociada a las espinelas cromíferas masivas, permite establecer desde el punto de vista geoquímico una removilización general del hierro, níquel y cobalto en el complejo ultramáfico serpentinado.

Paragénesis - C - : espinela cromífera – I, olivino, pentlandita – II, laurita, erlichmanita – II, heazlewoodita, mackinawita, pirita – II, magnetita, crisotilo, antigorita, enstatita, anortita.

Paragénesis - D - Fase de Emplazamiento de los Diques de Gabro-pegmatitas

La paragénesis - D - está vinculada espacial y genéticamente con los diques de gabro-pegmatitas y en interrelación con las menas cromíferas masivas; dada sus particularidades y su



yacencia, los diques de gabro-pegmatitas constituyen la litología más joven en el yacimiento Potosí. Las espinelas cromíferas-II existentes en los diques de gabro-pegmatitas presentan estructuras brechoides y se encuentran dispersas y fragmentadas en la masa de los diques de gabro-pegmatitas, los fragmentos tienen dimensiones desde los primeros milímetros hasta 40-70 centímetros, ocasionalmente mayores. Los fragmentos están englobados en anortita o en piroxenos (enstatita), o en ambos silicatos lo que corrobora que la presencia de las espinelas cromíferas en los diques de gabro-pegmatitas no fueron segregadas, - cristalizadas -, a partir del fundido gabroide, contribuye a la afirmación anterior la estructura brechoide anteriormente mencionada, de los agregados cromíticos. No obstante, se demuestra a través de la composición química, diferencias substanciales entre las espinelas cromíferas que se localizan en los diques de gabro-pegmatitas con las espinelas cromíferas masivas y con las espinelas cromíferas diseminadas del cuerpo mineral principal del yacimiento Potosí.

Los sulfuros están presentes en los diques de gabro-pegmatitas, entre los más comunes se encuentran la calcopirita-III, pentlandita-III y en menor grado pirita-III y millerita-II. La pentlandita es idiomórfica con cristales bien desarrollados, que en ocasiones alcanzan hasta 1,5 centímetros. Es común observar en la superficie de las muestras óxidos e hidróxidos de hierro en los diques de gabro-pegmatitas, indicando el desarrollo de procesos supergénicos con la alteración de los sulfuros de hierro, níquel, cobre y minerales del grupo de la serpentina - crisotilo y antigorita-. En las espinelas cromíferas que yacen en los diques de gabro-pegmatitas se localizan cristales de rutilo tanto en fases independientes, como en los sistemas de micro-agrietamiento de los agregados cromíferos.

Paragénesis - D - : espinela cromífera – II, olivino, pentlandita – III, calcopirita – III, pirrotina – III, laurita-erlichmanita – III, pirita – III, millerita- II, rutilo- I, rutilo – II, anortita, enstatita, crisotilo, antigorita.

Intemperismo

El intemperismo de las menas cromíticas del yacimiento se manifiestan en la oxidación supergénica de los sulfuros acompañantes tanto en las menas como los sulfuros localizados en los diques de gabro pegmatitas, las cromititas se mantienen con poca alteraciones superficiales.

Controles de las menas

El control de la mineralización de las menas del yacimiento Potosí es magmático y su ubicación espacial en el complejo ofiolítico representa la proximidad a la zona de transición entre la porción superior del manto y la base de la antigua corteza oceánica.

Modelo genético

Se corresponde con el proceso de diferenciación magmática a partir del fraccionamiento del magma de composición basáltica, proceso que se localiza, inmediatamente, debajo de la zona de transición corteza – manto, conocido como Moho petrológico – El yacimiento Potosí se formó a partir de cuatro fases de mineralización, descritas en la mineralogía, que incluyen desde la fase de cristalización de los minerales platiníferos y rutilos en el fundido cromítico hasta el emplazamiento de los diques de gabro-pegmatitas y su mineralización acompañante. Se resumen las características genéticas de formación de cada paragénesis.

Paragénesis – A -

La fase de cristalización inicial de la espinela cromífera, desarrollada durante el proceso de diferenciación magmática en la antigua corteza oceánica, en correspondencia a los criterios de Coleman, (Coleman, R.G.; 1977), se efectuó a altas temperaturas, alrededor del intervalo 1500°-1200°C, cristalizando en primer lugar los minerales de las fases del grupo de platino, dado su alto grado de fusión, criterio sustentado por varios autores, entre ellos, Cabri (Cabri, J.L.; 1981), inmediatamente después cristalizó el rutilo-I, en sus diferentes formas de existencia.



Un incremento sostenido del contenido relativo del azufre primario en el fundido cromítico permitió la cristalización de sulfuros magmáticos primarios de hierro, níquel y cobre.

Las condiciones físico-químicas y el sostenido decrecimiento de la temperatura permitieron la cristalización idiomórfica de los minerales del grupo del platino y rutilo, así como la existencia de texturas de descomposición de soluciones sólidas en sus variedades laminar y de emulsión, las más difundidas, entre los agregados cromíferos y el rutilo.

El grado de fugacidad del azufre incrementado hacia el final de la fase de mineralización queda demostrado en la composición mineralógica de la paragénesis - A - con la presencia de los sulfuros magmáticos primarios, éstas consideraciones han sido publicadas con anterioridad (Disther, Falcon, Muñoz Gómez, Campos Dueñas, 1989), (Muñoz Gómez y Campos Dueñas, 1992), (Muñoz Gómez, 1995) y (Proenza, 1998).

Paragénesis - B -

En el proceso cronológico de cristalización de los minerales se continúa con la formación de los minerales desarrollados en los sistemas de micro-agrietamiento de los agregados cromíticos, en este estadio o fase de mineralización se produce la cristalización de las menas cromíferas en las cuales se desarrollan texturas metamórficas debido a los efectos del dinamo-metamorfismo a que fueron sometidas, éstos procesos quedan bien impregnados y reflejados en los agregados cromíferos debido a la alta dureza de las espinelas cromíferas.

En la fase silicatada se segregaron simultáneamente el olivino que se asocia en contacto directo a la espinela cromífera. En los sistemas de agrietamiento cristalizan el rutilo - II, los sulfuros magmáticos y la serie isomórfica de laurita-erlichmanita- II, en descomposición de soluciones sólidas con la pirrotina-II y pentlandita-II. Al final de esta fase de mineralización debe de iniciarse el proceso de obducción de los complejos inferiores del corte teórico de la antigua corteza oceánica. La existencia de los sulfuros de hierro, níquel, cobre, osmio y rutenio sirven de fundamento para asegurar que el papel activo del azufre se mantuvo relativamente alto hacia las postrimerías del estadio de mineralización.

Paragénesis - C -

El siguiente estadio o fase de mineralización, - Fase de Serpentinización de los Complejos Máficos y Ultramáficos del Complejo Ofiolítico - representado en la paragénesis - C - vincula las formaciones mineralógicas desarrolladas durante el proceso de serpentinización de los complejos máficos y ultramáficos del corte teórico del complejo ofiolítico. Los minerales típicos representados son la heazlewoodita, mackinawita, magnetita secundaria y minerales serpentiniticos. Los minerales formados durante esta paragénesis están vinculados a las espinelas cromíferas masivas (espinelas cromíferas - I).

Paragénesis - D -

La fase emplazamiento de los diques de gabro-pegmatitas, están representados por la presencia de minerales petrogénicos, fundamentalmente anortita y piroxenos (enstatita), de acuerdo a la nomenclatura actual (Morimoto, N., et.al., 1988), así como por la mineralización sulfurosa y la existencia de minerales hipergénicos (óxidos e hidróxidos de hierro y manganeso) y minerales de la corteza de intemperismo. Se incluyen además los minerales surgidos por la alteración secundaria de las espinelas cromíferas: kammerita, eskolaíta, uvarovita y mariposita.

Se destaca la presencia de espinelas cromíferas brechoide denominada en el esquema cronológico de los minerales como espinela cromífera-II, incorporada a los diques de gabro-pegmatitas al penetrar por zonas de fallas cortantes a los cuerpos cromíferos; el carácter diseminado y anguloso de sus fragmentos así lo verifica. El proceso completo de formación de los minerales se representa en el Orden Cronológico de Formación de las Paragénesis Minerales del Yacimiento "Potosí". (Fig. No.I)



Por sus características mineralógicas y geoquímicas el yacimiento Potosí se distingue de otros yacimientos cromíticos podiformes en Cuba y en el extranjero.

Tipos de yacimientos minerales asociados

Depósitos lateríticos de Fe-Ni-Co desarrollados en las litologías afloradas del complejo ofiolítico, yacimientos de crisotilo - asbesto y pequeños yacimientos y manifestaciones de magnesita y talco asociadas a la actividad hidrotermal en las litologías del complejo ofiolítico.

Comentarios

Por la calidad de las menas, su alto contenido de TiO_2 (superior a 1,0% de TiO_2) y minerales del grupo del platino el yacimiento Potosí constituye una fuente de recursos minerales aun no explotados.

Conclusión

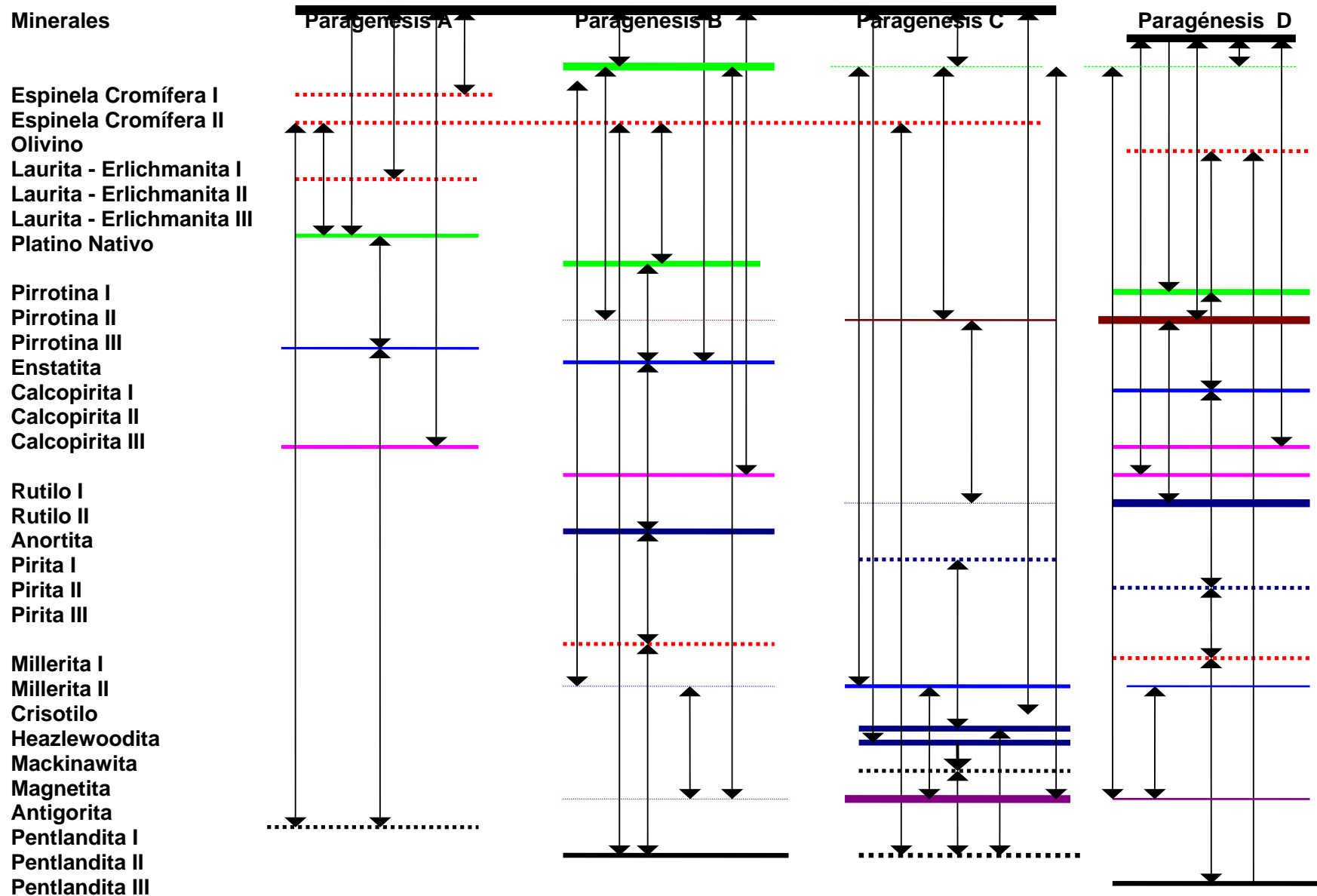
La elaboración del modelo genético teórico del yacimiento Potosí, contribuirá al conocimiento de la mineralización cromífera y constituye un aporte a la metalogenia endógena del complejo ofiolítico en la región de Moa - Baracoa, al ser el primer modelo genético que se elabora en los yacimientos de cromititas cubanas.

Bibliografía

- Ash, C. (1996) Mineral deposit profile, podiform chromite, MO_3 , Geological Survey of British Columbia, Canada
- Ariosa, J. (2002) La modelación descriptiva de yacimientos minerales de Cuba. Tesis doctoral (inédita).
- Cabri, J.L. (1981) Platinum groups elements: mineralogy, geology and recovery. Ed. Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Ottawa, CIM, Special Volume 23. pp. 267
- Coleman, R.G. (1977) Ophiolites: Ancient oceanic lithosphere? New York: Springer, Minerals-Rocks Ser. 12 pp. 240.
- Disther, V.V., Falcón, H.J., Muñoz Gómez, J.N., Campos, D.M. (1989) Disulfuros de rutenio, osmio, rodio y otros minerales platiníferos en los macizos hiperbasíticos de Cuba Oriental. Academia de Ciencias de Cuba. (inédito).
- Kenarev, V. (1966) Características mineralógicas del yacimiento "Potosí ". Rev, Tecnológica. vol. IV (mayo - junio), pp. 3-6
- Muñoz Gómez, J.N., Campos Dueñas, M. (1992) Las paragénesis minerales en las menas cromíferas del yacimiento "Potosí", Moa. Revista Minería y Geología, vol.3, no.3, pp.3-13
- Muñoz Gómez, J.N. (1995) Las paragénesis minerales del yacimiento "Potosí" y su sucesión genética, Moa, Holguín, Cuba. Revista Minería y Geología, vol.XII, no.3, pp.23-31.
- Muñoz Gómez, J. N. (1997). Geoquímica y mineralogía de la mineralización cromífera asociada al complejo ofiolítico en la región de Moa-Baracoa, Moa, Holguín, Cuba. Tesis de doctorado. Fondo de la Comisión Nacional de Grados Científicos. CICT-ISMMM; pag. 167
- Morimoto, N., et.al. (1988) Nomenclature of pyroxenes. American Mineralogist, vol.73, pp.1113-1123
- Proenza, J., (1998). Mineralización de cromitas en la fja ofiolítica Mayarí - Baracoa, Cuba. Ejemplo del yacimiento "Mercedita" (Tesis Doctoral). ISMM. ICT- 227 pág.
- Ramdorff, P. (1980) The ore minerals and their intergrowths, 2nd. edn. Oxford, 2 vols, pp. 1205. Pergamon Press. RFA.
- Zhou, M. F. et, al (2001) The Mayari-Baracoa Paired Ophiolite Belt, Eastern Cuba: Implications for Tectonic Settings and Platinum-Group Elemental Mineralization, International Geology Review, Vol. 43, 2001, pag. 494 - 507.



Fig. I ORDEN CRONOLÓGICO DE FORMACIÓN DE LAS PARAGÉNESIS MINERALES. YACIMIENTO POTOSÍ, MOA





MAPPING ALTERATION MINERALOGY USING SHORT-WAVE INFRARED REFLECTANCE SPECTROSCOPY (SWIR) IN THE PANORAMA DISTRICT, PILBARA, WESTERN AUSTRALIA

Jesús Moreira Martínez⁽¹⁾ and Frank van Ruitenbeek⁽²⁾

(1) Institute of Geology and Paleontology, Vía Blanca y Carretera Central, San Miguel del Padrón, CP 11 000, Ciudad de La Habana, Cuba. E-Mail: moreira@igp.minbas.cu

(2) International Institute for Geo-information Science and Earth Observation, Hengelosestraat 99, P.O. Box 6, 7500 AA, Enschede, The Netherlands. E-Mail: vanruitenbeek@itc.nl

ABSTRACT

Spectral analysis of rock samples by SWIR analysis, using a portable infrared mineral analyzer (PIMA) allows at a field base a rapid identification of hydrothermal alteration minerals, their compositional variations, and relative abundance. A spectral investigation of altered rocks of the Panorama Volcanogenic-Hosted Massive Sulphide (VHMS) district, identified chlorite and white-micas as the most common alteration minerals.

Chlorite occurs in andesite-basalt, andesite and dacite rocks and the outer granite-volcanic pile contact zone in chlorite-quartz and feldspar-sericite-quartz alteration zones. Chlorites show considerable compositional variation from shorter wavelengths for the most magnesian to longer wavelengths as the proportion of iron increases. White-mica is mainly associated with feldspar-sericite-quartz alteration zone in dacite and rhyolite of the upper part of the volcanic pile. White-micas range in composition, from shorter wavelengths for the most sodic to longer wavelengths as the proportion of Tschermak component increases, and microprobe analyses have proven that spectral measurements provide reliable estimates of their composition.

In the north part of the area the spatial distribution of white-mica mineral composition suggests that the highest wavelength values corresponding to the most celadonitic muscovites are usually in or below of the known discharge zones. On the other hand, the Al-rich micas in the upper part of the pile are possibly associated with the known seawater recharge zones.

An alteration pattern characteristic for a VHMS alteration system was obtained after plotting the white-mica/chlorite ratio. An outer more sericite rich zone borders an inner chlorite rich zone, which itself represents at regional scale a vector to ore.

Introduction

In recent years the importance of SWIR spectroscopy has evolved rapidly in the field of mineral exploration with the advance in technology. This is a relatively new technique that is currently being investigated. It has however, already been used successfully by geologists around the world for mineral exploration associated with hydrothermal systems (Denniss et al., 1999; Huston et al., 1999; Hunt, 1999; Martinez-Alonso, 1999; Hunt, 2000).

SWIR field spectrometers fill an important gap in exploration data by helping to map alteration consistently throughout a mineralized system. The identification of these variations is as significant in relation to delineating proximity to mineralization, as identifying the alteration minerals themselves (Pontual and Nick, 1995). Field spectrometers such as PIMA allow to rapid identification of minerals and mineral-specific variations at a field base. This paper is the result of a test methodology to prove if subtle mineralogic and compositional variations can be detected using PIMA to define regional-scale alteration zones.



The Panorama VHMS district in the central Pilbara region of western Australia constitutes the study area. This region contains probably one of the world's oldest (3240 Ma) copper- and zinc-rich massive sulphide deposits. These deposits are hosted by essentially unmetamorphosed and little-deformed Archaean granite-greenstone terrain where the original structures and textures, which show the deposits to be analogous to those forming in modern midocean ridges, are preserved (Vearcombe et al., 1998).

A complete profile from the underlying subvolcanic intrusion, through the volcanic pile that hosts the massive sulphide, to the overlying sedimentary sequence is exposed over an area of about 10 by 20 Km. This represents an ideal laboratory both for understanding the morphology and metallogenesis of this type of deposit and also to test newly developed exploration techniques (Huston et al., 1999).

Materials and methods

The primary data for this research were obtained mainly from Brauhart (1999) and are listed below. The acquisition of these data from different sources and bringing them together into a manipulable database was the first stage followed during this work. All the data were obtained in digital format. The different steps in gathering and processing of available data are summarized in the flow chart outlined in the Figure 1 and the text of this paper, emphasizing in the spectral processing.

Data input

- **Geological and alteration facies map:** The two maps at 1:100 000 scale were imported to the Integrated Land and Water Information System Software (ILWIS 3.0 Academic). Digitized geological and alteration features are stored in both, vector and raster format.
- **Whole-rock sample descriptions database:** Include 445 sites with mE (easting) mN (northing) coordinates, sample number, lithology and alteration descriptions, strength of weathering and the strength of hematite alteration. This data-base was obtained in Microsoft Excel format and exported later on to The Spectral Geologist (TSG) software to be associated with the loaded spectral data.
- **Electron Microprobe database:** Electron microprobe data comprise analyses of 103 polished sections in 302, 105 and 51 mineral grains of chlorite, sericite and carbonate respectively. This data-base also was obtained in Microsoft Excel format and exported later on to TSG to be associated with the loaded spectral data.
- **Mineral occurrences database:** Include 4 sites with X (easting) and Y (northing) and the name of each mineral occurrence.
- **SWIR database:** Contain the Short-wave infrared spectra of 381 samples obtained from a portable infrared mineral analyzer.

Spectral analysis

The PIMA raw data in .LOS format were converted to ASCII.TXT and imported into TSG. When TSG imports files it not only loads them into the TSG data structure, it also starts the data processing and analysis procedure.

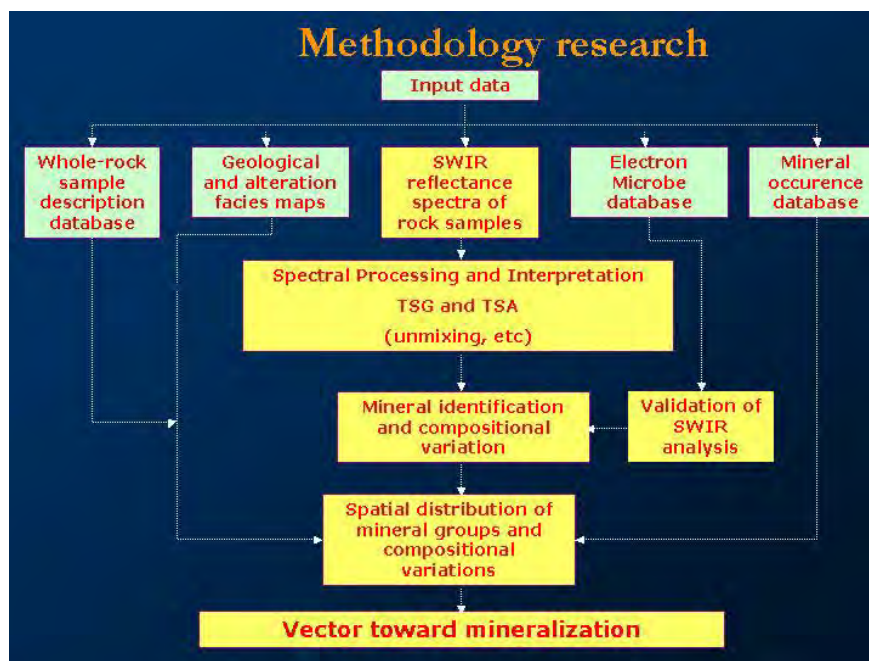


Figure 1: Flow chart for the research methodology

TSG automatically constructed 6 spectral data layers including a reflectance layer, a hull quotient layer, normalized hull quotient and reflectance data layers and 1st and 2nd derivative layers. TSG also ran an automatic mineral identification program called The Spectral Assistant (TSA). The results from TSA were stored along with the spectral data in the TSG data file and displayed in any of the 5 main TSG screens.

The Spectral Assistant

The TSA a module of TSG software was the method for automated spectral unmixing and an aid to mineralogical identification. Before the data were interpreted the raw spectra were transformed by TSA to remove curvatures caused by major absorption features outside of the spectral range of interest. The cleaned spectra were processed to extract the features of interest. These spectra then were used to identify the best-matching end member minerals (Merry et al., 1999). Finally the TSA results were checked manually against reference spectra provided in the TSG reference library and G-MEX spectral library to ensure consistency. To confirm the compositional variations derived from the spectral assessment a comparison of SWIR spectral results with Electron Microprobe Analyses also was carried out.

Results and discussion

Spectral reflectance analyses were conducted on 381 powdered samples in order to identify unknown minerals, and to determine compositional variations across the alteration system for a variety of alteration minerals.



Mineral identification

The mineral groups most frequently identified from the sample spectra of Panorama district are chlorite, sericite (white-micas) and carbonates. The spectral features of these mineral groups show significant variations indicating that these mineral species and their abundance vary over the test area. A comparison of this results with the microprobe analyses of 103 polished sections from the Panorama (Brauhart, 1999) concluded that the SWIR spectral method identified the same major group of alteration minerals as microprobe analysis.

Spectral and compositional variations of Chlorite

The 66% of the samples in the data set has one component of this mineral class. In general the main diagnostic absorption features for chlorites occur at 2245-2262 nm (associated with FeOH) and between 2320-2360 nm (associated with Mg-OH). These two major absorption features for chlorites occur approximately at 2258 nm and 2352 nm for Fe-chlorite; or at 2250 nm and 2330 nm for Mg-chlorite. Wavelengths of the two major features for chlorite of intermediate compositions vary between those of the above two extremes. The wavelengths of both these absorption features vary with composition, from the shortest wavelengths for the most magnesian chlorites to longer wavelengths as the proportion of iron increases.

FeOH spectral response and chlorite composition

The shift of the FeOH absorption peak was used to estimate the Mg/(Mg+Fe) ratio, with higher wavelengths indicating higher iron content. The absorption peak of chlorite was plotted against the chlorite magnesium number ($100 \times \text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe})$), expressed in moles and determined from microprobe. The magnesium number of chlorites ranges from 3.31 to 73.69, corresponding to a wavelength range of 2252 to 2260 nm. The results show that the variation in the absorption features of FeOH are not as dependent of the Mg/(Mg+Fe) composition for chlorites ($r=0.47$).

Spectral and compositional variations of white mica

The 61% of the samples in the data set has one component of this mineral class. The wavelength of the main AlOH absorption features of Panorama VHMS system vary with composition from 2195 nm, typically associated with the most slightly sodic sericites, through 2205 nm for potassic (muscovitic) sericites to 2220 nm, associated with the most Fe-Mg substituted (phengitic) sericites. This variation in the wavelength is associated with the proportion of octahedral Al in the mineral, which is indirectly influenced by the Na/K ratio and directly influenced by Fe-Mg substitution into the octahedral sites. A few spectra of illite, one of the most common low-temperature hydrothermal alteration minerals also have been detected in the samples of the area. Illite's major distinguishing spectral features are fairly sharp features near 1408, 2196, 2346, 2438 nm. Illite spectra are very similar to muscovite spectra, only differing by the former having deep water bands at 1912 nm. Paragonitic sericite spectra are similar to those of muscovite, with medium to major absorption features near 1408, 1910, 2198, 2342 and 2438 nm. The main difference from muscovite is that the absorption minimum of the 2205 nm feature actually occurs at around 2198 nm, shorter than that of muscovite. The spectra of phengite of samples of Panorama also are very similar to those of muscovite, but the medium to major absorption features are developed near 1412 nm, 1914 nm, 2216 nm, 2344 and 2446 nm. The main difference from muscovite is that the absorption minimum of the 2205 nm feature occurs at 2210-2220 nm, longer than that of muscovite, and commonly has a weak shoulder on its long wavelength slope near 2240 nm.

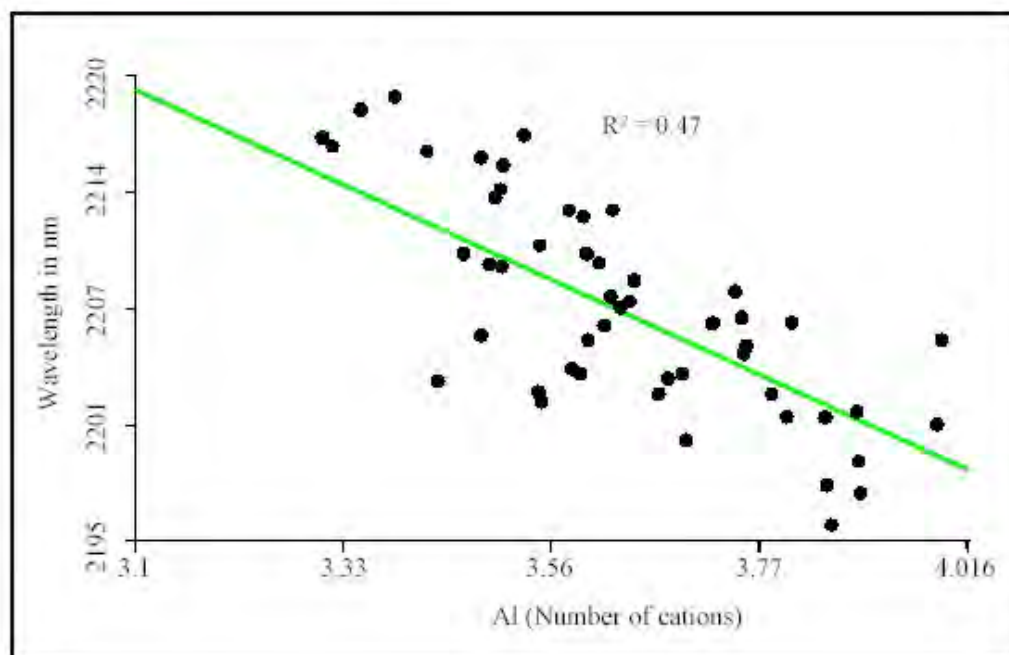


Figure 2: Variation of wavelength of white mica band as function of Al_{tot} .

AIOH spectral response and white-mica composition

The shift of the AIOH peak for sericite is a result of compositional variations of K-white micas, which is a function of the Tschermak substitution, $Si^{iv}(Mg,Fe)^{vi} = Al^{iv}Al^{vi}$ (Yang, 1998). This represents coupled substitutions of Mg and/or Fe for Al in the octahedral and Si for Al in the tetrahedral sites, resulting in phengite white mica, with composition between muscovite and celadonite. Taking into account this consideration the accuracy of SWIR spectral results was examined by comparing sericite compositions determined from microprobe analyses. A plot of the wavelength AIOH absorption peaks for sericite against the cation of $Al^{iv} + Al^{vi} = Al_{tot}$ calculated per 22 atoms of oxygen determined from the microprobe analyses for sericite was constructed (Figure 2). From this is concluded that white mica from Panorama has a range in Al_{tot} content, from 3.26 to 3.98 per 22 atoms of oxygen. The AIOH combination band shifts to lower values by 23 nm, and shows a negative correlation with Al_{tot} (decreasing in Tschermak component) in agreement with Yan (1998). The band shift then is attributed mainly to the substitution of Al in the octahedral layer of white micas and its effect on the frequency of O-H vibration. Also a plot of $(Si+Mg+Fe)/Al$ content in moles from microprobe against the wavelength of AIOH absorption features as a measure for Tschermak substitution show a strong relationship between these two variables ($r=0.68$).

In the case of some selected sericite samples is plotted the normalized reflectance against wavelength in Figure 3. Note the shift in the wavelength of the AIOH absorption feature as a function of the Al_2O_3 in weight percent calculated from microprobe analysis.

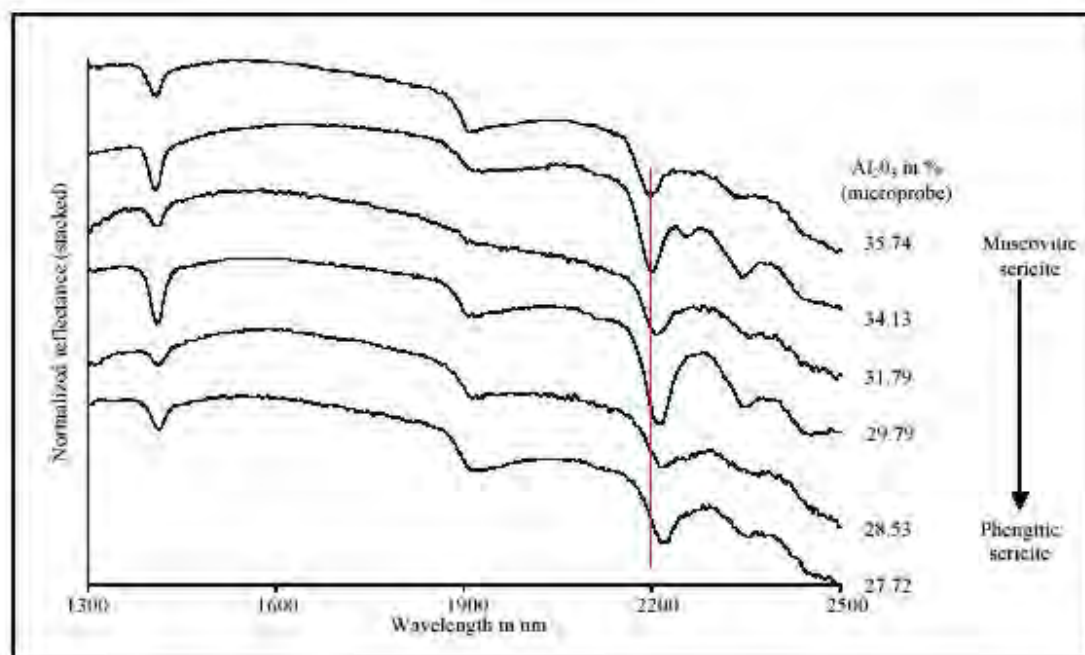


Figure 3: Influence of Al content on wavelength of AlOH absorption feature.

Chlorite Spatial distribution

Chlorites sample occur in andesite-basalt and andesite rocks of the volcanic pile, the outer granite-volcanic pile contact zone and in dacite of the upper part of the volcanic pile in strong spatial relation to chlorite-quartz, background and feldsparsericite-quartz alteration zones respectively associated with these lithologies. Also some samples are confined to the later mafic and ultramafic intrusions.

Distribution of chlorite compositional variations

The chlorite index, which has been derived from chlorite spectra is used to illustrate and map changes in the chlorite composition. For the area the chlorite index varies from 0.3 to 1.4. The lowest values represent Fe-rich, Mg-poor chlorites and values near 1.0 represent Mg-rich, Fe-poor chlorites. The average chlorite index map in each sample shows that the highest values (> 1.015) are associated with Mg-rich chlorite, which is commonly in chlorite-quartz alteration zones of andesite-basalt and andesite rocks. These values generally decrease toward the background alteration zones related to volcanics and also toward feldspar-destructive alteration associated with dacite and rhyolite in the upper part of the volcanic pile. This zonation of chlorite is very well delimited below Sulphur Spring deposit, where the Mg-enrichment possibly was caused by deeply circulating hydrothermal fluid. However two samples associated to feldspar-sericite altered samples, one of them located between Sulphur Springs and Kangaroo Caves, and the other one between Breakers and Man O'War, have a chlorite index > 1.12, possibly as result of interaction with shallow circulating seawater. Two albite-bearing samples at the top of the transitional-sericite-quartz alteration below Man O'War prospect have a high chlorite index (>



1.0) The background altered samples at the base of the volcanic pile and the top of the outer granite tend to be more Mg-rich than other background altered samples. The chlorite samples in granite are Mg-poor (< 0.70) compared to volcanic samples. These results are consistent with microprobe results available for chlorite samples.

White-mica spatial distribution

White micas also are developed throughout the volcanic pile, as well as in the porphyritic (inner) granite, and the outer phase of the equigranular granite. Sericite samples are distributed in the outer phase of the equigranular granite in direct relation with the transitional sericite-quartz and sericite-quartz alteration zones located at the top of this phase. Some samples also from this phase are restricted to the background alteration. Some samples are associated with the non-altered porphyritic granite. In the upper part of the volcanic pile, which is formed by dacite and rhyolite in the northeast and southeast part of the test area respectively, there are also samples with sericite. These samples are restricted to the feldspar-sericite-quartz alteration zone.

Sericite samples are also located in andesite-basalt and andesite rocks of the volcanic pile, the outer granite-volcanic pile contact zone and in dacite of the upper part of the volcanic pile in relation to chlorite-quartz, background and feldspar-sericite-quartz alteration zones associated to these lithologies.

Distribution of white-mica compositional variations

In order to place these variations in the context of field relations, Figure 4 shows the regional variation in the wavelength of the AIOH absorption band. The highest values ($> 2214\text{nm}$) corresponding to the most celadonic muscovites (Al-poor micas) are found mainly in the upper part of the volcanics below the VHMS deposits, as well in the background alteration associated with the outer phase granite and the base of the volcanic pile. This pattern associated with the granite-volcanic contact indicates coupling of fluid/heat transfer (Cudahy et al., 2000). These values drop toward the inner phase granite and the chlorite-quartz alteration zones. Also these values fall in some places toward the base of the marker chert and the top of volcanic pile, indicating progressively less celadonic and more Al-rich muscovites. The Al-rich micas ($< 2204\text{nm}$) for the upper part of the volcanic pile are possibly associated with the known seawater recharge zone. Also Al-rich micas are developed in the volcanic pile near or directly below of the discharge zones or below the most celadonic muscovite zones.

The location of the known discharge and recharge zones and the distribution of AIOH absorption features in the North part of the area suggest that the SWIR data may provide evidence of a vector toward the mineralization. The most celadonic muscovite (Al-poorest mica) in the volcanics located in or below of the discharge zone and the distribution of Al-rich white-micas possibly associated with the seawater recharge zone may be an explanation for this. A new exploration target located in between Sulphur Spring and Kangaroo Caves also is very well contoured by the most phengitic (celadonic) muscovites. A celadonic zone overlapping a chlorite-quartz alteration zone, which occurs in the northwest could also justify future research works deposits, as well in the background alteration associated with the outer phase granite and the base of the volcanic pile.



Distributions of crystallinity variations

The higher crystallinity values > 2.3 are localized anomalously in the upper part of the volcanic pile and the marker chert contact, in dacite and rhyolite in feldspar-sericite quartz and sericite-quartz alteration zones, as well as in the upper part of the outer phase granite in close relation to transitional-sericite-quartz and sericite-quartz alteration zones below Sulphur Springs, Kangaroo Caves and in Man O'War. These crystallinity values decrease toward the part of the volcanic pile formed by chlorite-quartz alteration zones. The higher crystallinity values associated with a chlorite-quartz alteration zone are below Man'O War prospect, reaching a value of 2.89. The highest crystallinity values > 4.0 are associated with the Sulphur Springs system, with values up to 7.28, whereas the lowest are restricted to inner phase non-altered granite (up to 0.63). For Panorama VHMS system there is a relationship between the celadonic component of white-micas (Alpoor), discharge zones and higher temperature, expressed by crystallinity variations. This association may indicate that not only the influence of the hydrothermal fluids (chemistry and quantity) was the key in the control of white-mica, but also physical condition such as temperatures was an important factor. Also the high caledonite component at the outer granite-volcanic contact is well expressed by crystallinity variations.

Distribution of white-mica and chlorite proportions

The two most important mineral species in terms of proportional variations for many VHMS alteration systems are white-micas and chlorite (Huston et al., 1999). The resulting values of white-mica chlorite ratio were used to express these variations and to detect any alteration pattern characteristic of these deposits. A gridded map, which represents the spatial variations of this ratio for the test area is shown in Figure 5. The higher values of this spectral parameter (> 2.5) are related to feldspar-sericite-quartz alteration and sericite-quartz alteration associated with the rocks of the volcanic pile, reaching a highest value of 4.82 in the feldspar-sericite-quartz, as well as overlapping the transitional-sericite-quartz and sericite-quartz alteration zones at outer phase granite and the base of the volcanic pile. The lowest values are associated with the chlorite-quartz alteration zones related to volcanics (0.18) and the inner phase non-altered granite (0.36). The higher values associated with background alteration are related to the outer phase granite.

Conclusions

A Portable infrared mineral analyzer, which measures reflectance in the short wavelength infrared range of 1300 to 2500 nm, was used in this research. It proved capable of determination of a wide range of mineral groups, including mainly white-micas, chlorites and carbonates. The mineral species in these groups yield characteristic SWIR spectra, which allowed their identification in the majority of rock powder samples utilized. The relative magnitude of various spectral absorption features (AlOH, FeOH) permitted assessment of relative abundances of the identified minerals. Moreover the relationships between the wavelength of certain spectral absorption features and compositional variations in some minerals (white-mica and chlorite) made it possible to come close to estimation of mineral composition using short wave infrared spectrometry. This in turn permitted the spatial distribution mapping of the identified minerals, as well as of the compositional variations, mainly of the white micas and chlorite. All of this made it possible to test whether these spatial distributions would provide an exploration guide at regional scale. The spectral analysis of the Panorama VHMS district altered samples led to these main conclusions:



1 - Mineral reflectance analyses identified chlorite, white-mica, and carbonates as the most common components of the Pilbara VHMS district.

2 - Microprobe analyses for selected samples indicates that the Mg number of chlorite samples ranges from 3.31 to 73, corresponding to absorption features in the range of 2246 to 2260 nm.

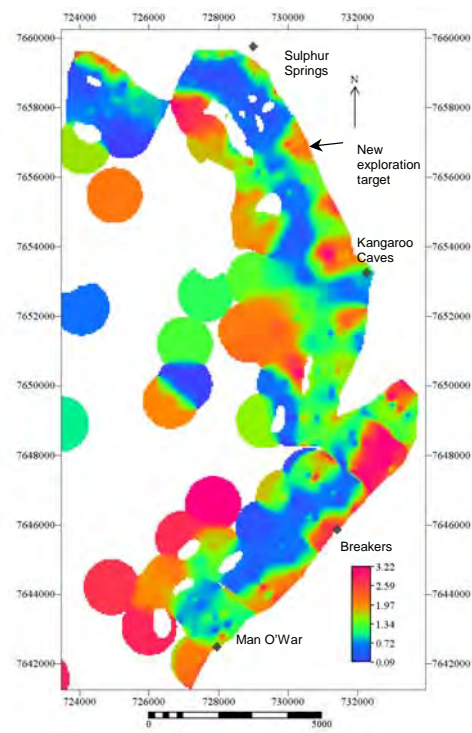
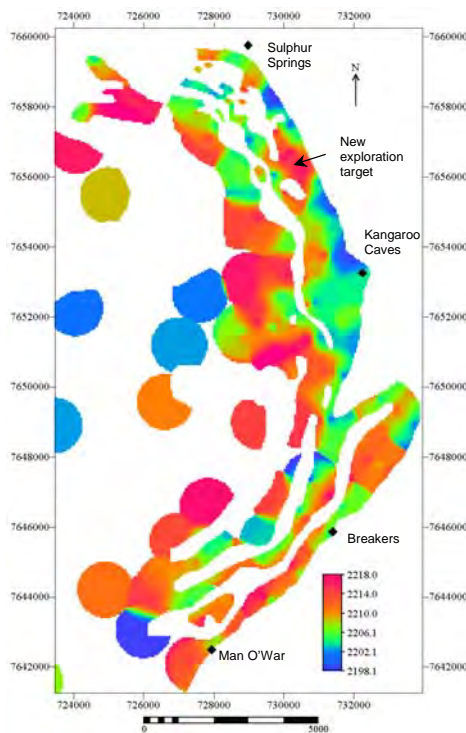


Figure 4: Gridded white-mica AIOH absorption features. Figure 5: Gridded sericite chlorite ratio

These variables have poor correlation ($r=0.47$). Therefore the spectral estimation of chlorite composition by FeOH wavelength is difficult to determine with accuracy.

3 - Parameters indicating white-mica phengitic content, such as atomic Al and the Si + Mg + Fe/Al ratio, show a systematic relationships ($r=0.69$ and $r=0.68$ respectively) with wavelength of the white-mica absorption feature, suggesting the consistency of the absorption feature for providing compositional information of Panorama samples.

4 - In the north part of the area the spatial distribution of white-mica absorption feature suggest that the most celadonic muscovites are located in or below of the known discharge zone (excluding the Kangaroo Caves prospect). A new exploration target located in between Sulphur Spring and Kangaroo Caves is very well contoured by the most phengitic white-micas. The Al-rich micas for the upper part of the volcanic pile are possibly associated with the known seawater recharge zone. These variations could be significant for exploration purposes at regional scale and can be measured effectively in the field using PIMA spectral analysis.



5 - In the volcanics higher crystallinity values are localized in the upper part of the volcanic pile and the marker chert contact. These zones are coincident with the most prospective areas delineated at regional scale. Also high crystallinity values are located in the upper part of the outer phase granite in close relation to transitional sericite-quartz and sericite-quartz alteration zones.

6 - An alteration pattern characteristic for the VHMS alteration system associated with the volcanic pile as result of plotting the white-mica/ chlorite ratio shows that an inner chlorite zone is bordered by an outer more sericite rich zone. The chlorite zone has a strong spatial relationship with the chlorite-quartz alteration zone, which itself represents at regional scale a vector to ore.

Bibliographic references

- Brauhart, C. (1999): Regional alteration systems associated with volcanogenic massive sulphide mineralization at Panorama, Pilbara, western Australia. PhD thesis, University of Western Australia. 194 pp.
- Cudahy, T., C. Brauhart and K. Okada (2000): Targeting VMS-style Zn mineralization at Panorama, Australia, using airborne hyperspectral VNIR-SWIR hymap data. In Proceedings of the Fourteenth International Conference on Applied Geologic Remote Sensing, pages 395–402. Las Vegas, Nevada.
- Dennis, A., T. Colman, D. Cooper, W. Hatton, and M. Shaw (1999): The combined use of PIMA and VULCAN technology for mineral deposit evaluation at Parys Mountain mine, UK. In Proceedings of the Thirteenth International Conference on Geologic Remote Sensing, pages 1–25–32. Vancouver, British Columbia, Canada.
- Hunt, G. (1999): PIMA alteration mapping of drill core from the polysulphide prospect, Brabant Massif, Belgium. Technical report, Hunt Spectral Consultancy. 12 pp.
- Hunt, G. (2000): Mineralogical and geochemical zonation at Las Cruces Massive Sulphide Deposit, Seville: Summary of results from 3-d modelling of PIMA data. Technical report, Hunt Spectral Consultancy. 4 pp.
- Huston, D., C. Brauhart, P. Wellman, and A. Andrew (1998): Gammaray spectrometric and oxygen-isotope mapping of regional alteration halos in massive sulphide districts: and example from the Panorama, central Pilbara Craton. AGSO Research Newsletter 29 on the WWW at URL: <http://www.agso.gov.au/information/publications/resnews>.
- Huston, D., J. Kamprad, and C. Brauhart (1999): Definition of high-temperature alteration zones wit PIMA: and example from the Panorama VHMS district, central Pilbara Craton. AGSO Research Newsletter 30 on the WWW at URL. <http://www.agso.gov.au/information/publications/resnews>.
- Martinez-Alonso, S., A. Goetz, W. Atkinson, F. Kruse, and D. Eberl (1999): Multiscale study of infrared spectra of clay minerals: from ab initio quantum calculations to hyperspectral remote sensing. In Proceedings of the Thirteenth International Conference on Geologic Remote Sensing, pages 1–174–181. Vancouver, British Columbia, Canada.
- Merry, N., S. Pontual, and P. Gamson (1999): The Spectral Geologist v2.0 user manual. Auspec International PTY. LTD. 146 pp.
- Pontual, S. and M. Nick (1995). Field-based alteration mapping using the PIMA. Integrated Spectronics Application Note. Presented at PACRIM'95.
- Vearcombe, S., J. R. Vearcombe, and M. Barle, (1998): Fault and stratigraphic controls on volcanogenic massive sulphide deposits in the Strelley Belt, Pilbara Craton, Western Australia. Precambrian Research, 88:67–82.
- Yang, k. (1998): Compositional variations of white micas a literature review. Technical report, CSIRO Division of Exploration and Mining. 24 pp.



EL COMPLEJO REDOX: ESTADO DEL ARTE EN EL 2002

Manuel Pardo⁽¹⁾, Rubén Stout⁽¹⁾, Eladio Kessel⁽¹⁾, Virginia González⁽¹⁾, Pedro H. Pérez⁽¹⁾, Antonio Oviedo⁽¹⁾, Valia Suárez⁽¹⁾, Leodegario Lufriu⁽¹⁾, Jesús Moreira⁽¹⁾, Osvaldo Rodríguez⁽²⁾, Arezky Hernández⁽³⁾, Javier Sarmientos⁽⁴⁾

(1) Instituto de Geología y Paleontología, Vía Blanca y Línea del Ferrocarril, s/n, San Miguel del Padrón, CP 11 000, Ciudad de la Habana, Cuba, C. Elect.: pardo@igp.minbas.cu

(2) Centro de Investigaciones del Petróleo, Washington No. 169 esq. a Churrucá, Cerro, CP 12 000, Ciudad de la Habana, Cuba, C. Elect.: ormoran@ceinpet.inf.cu

(3) Universidad de La Habana, San Lázaro y L, s/n, Plaza de la Revolución, CP 10 400, Ciudad de la Habana, Cuba, C. Elect.: arezky@ff.oc.uh.cu

(4) Empresa Central de Laboratorios de Minerales José Isaac del Corral, Virgen del Camino y Carretera Central, s/n, San Miguel del Padrón, CP 11 000, Ciudad de la Habana, Cuba, C. Elect.: lacemi@lacemi.cu

RESUMEN

El **Complejo Redox** (Potencial Redox, Susceptibilidad Magnética, Reflectancia Espectral **Relativa** y Pedogeoquímica) es un complejo de técnicas no convencionales usado para la detección directa y evaluación de diversos objetos, el cual se basa en el principio geoquímico de la **Migración Vertical de Iones Metálicos**. Este complejo se aplica, con éxito, en diferentes esferas: la exploración de hidrocarburos y de minerales metálicos; los estudios de contaminación metálica y de hidrocarburos en suelos; y la búsqueda de enterramientos arqueológicos metálicos; en cada caso, con una nueva estrategia de exploración, también no convencional, la cual abarata los costos y reduce el tiempo de ejecución en más de cinco veces de los correspondientes a las investigaciones convencionales.

El **Complejo Redox** se aplica en condiciones de campo (in situ) o de laboratorio (mediciones en muestras de suelo, roca, hormigón o de cualquier otro material sólido, tomadas, convenientemente, en cualquier medio, (terrestre o marino), en sectores (caso terrestre) previamente seleccionados con la asistencia de escenarios a distancia (**Escenarios Landsat**), especialmente confeccionados para las aplicaciones de la exploración de hidrocarburos y minerales, cuya metodología de confección se basa en el mismo principio geoquímico en que se sustenta el complejo.

El manejo de la información generada por el **Complejo Redox** se realiza con ayuda de un software (**Software Redox**) especialmente diseñado para almacenar, procesar, interpretar cuantitativamente y representar los resultados, en cada una de las esferas de aplicación.

Los resultados de las investigaciones en áreas de control han permitido establecer las posibilidades resolutorias de este complejo de técnicas para cualquiera de las aplicaciones citadas:

- **Cartografía de la proyección vertical de la ocurrencia u objeto.**
- **Estimación de la naturaleza y calidad de la ocurrencia.**
- **Estimación de la profundidad, yacencia y características geométricas de la ocurrencia u objeto.**

ABSTRACT

The **Redox Complex** (Redox Potential, Magnetic Susceptibility, Relative Spectral Reflectance and Soil Geochemistry) is a complex of non – conventional techniques of exploration, used for the direct detection



and evaluation of diverse objects, which is based on the geochemistry principle of the vertical migration of rapid metallic ions. This complex is applied, with success, in different spheres: the exploration of hydrocarbons and of metallic minerals; the studies of metallic and hydrocarbons contamination in soils; and the search of metallic archaeological burials; in all the cases, with a new exploration strategy, also non - conventional, which reduces the costs and time of execution in more than five times of those corresponding to the conventional investigations.

The **Redox Complex** is applied under field conditions (in situ) or under laboratory conditions (measurements in soil samples, or samples obtained by the pulverisation of rocks, concrete or of any other solid material, properly taken from any media, terrestrial or marine), in sectors (terrestrial) previously selected with the attendance of scenarios at distance (Landsat Scenarios), specially made for the applications of hydrocarbons and minerals exploration, whose making methodology is based on the same geochemistry principle in that the complex is sustained.

The handling of the information generated by the **Redox Complex** is carried out with the help of a software (**Redox Software**) specially designed to store, to process, to interpret quantitatively and to represent the results, in each one of the application spheres.

The results of the investigations in control areas have allowed to establish the resolatory possibilities of this complex of techniques for anyone of the mentioned applications:

- **Cartography of the vertical projection of the occurrence or object.**
- **Estimate of the nature and quality of the occurrence.**
- **Estimate of the depth, lies and geometric characteristic of the occurrence or object.**

Introducción

La evolución histórico - práctica de la técnica de Potencial Redox en suelos (usada en combinación con la Kappametria a los fines de la exploración de hidrocarburos y minerales metálicos) desde su innovación e introducción en 1992 hasta el año 2000 [1-8], exigía de un nuevo estadio teórico- experimental dirigido a desarrollar el basamento teórico del método e implementar su interpretación cuantitativa (profundidad, geometría, naturaleza y calidad de las fuentes). Para eso, se hacía necesario la sustentación empírica, con un volumen mínimo (**todavía insuficiente**) de observaciones sobre depósitos conocidos o áreas de control, dentro de un primer proyecto de investigación para el período 2001-2002 [9]. Las áreas fueron seleccionadas atendiendo al propósito de caracterizar diferentes tipos de ambientes y depósitos con variadas características: de yacencia, geométricas y de composición; de manera que pudieran hacer más representativo el análisis para el diseño de los parámetros de interpretación cuantitativa.

Objetos de investigación y volúmenes

Las investigaciones en áreas de control se desarrollaron sobre cuatro objetos de hidrocarburos, seis de minerales metálicos y tres de medio ambiente. Se trabajó, además, en dos sitios arqueológicos donde se tienen sólidos argumentos históricos sobre la existencia de enterramientos metálicos. El complejo de métodos empleado (**Complejo Redox**) consideró, en todos los casos, el Potencial Redox, la Susceptibilidad Magnética, la Reflectancia Espectral Relativa y la Pedogeoquímica; el Estudio Mineralógico se utilizó sólo ocasionalmente, en los casos en que fue necesario aclarar la naturaleza de algunas anomalías de la Reflectancia Espectral Relativa. Los análisis químicos efectuados por Espectroscopia con ICP y/o Absorción Atómica, consideraron los elementos útiles y acompañantes en cada tipo de ocurrencia metálica, los elementos metálicos que caracterizan a los hidrocarburos, los principales contaminantes de las industrias estudiadas y un espectro típico de elementos metálicos para la



arqueología. Así, el **Complejo Redox** fue empleado, con éxito, en diferentes tipos de yacimientos de hidrocarburos (Varadero – Varadero Sur, Cantel y Pina) y de minerales metálicos (Antonio, Little Golden Hill, Florencia- Cuerpos Norte y Sur, Jacinto- Vetas Beatriz y El Limón, Camagüey II y Cuba Libre- Río Negro), los cuales son representantes de una variedad de ambientes geológicos, tipos estructurales, tipos genéticos, composición, rasgos estructuro-texturales del reservorio y/o de la mena, condiciones de yacencia y relieve. Un análisis teórico de las posibilidades del **Complejo Redox** para la prospección de otros tipos de objetivos, como son, el Níquel en cortezas lateríticas (cortezas y saprolitas) y el Oro en placeres, ofrece pronósticos muy optimistas. Las aplicaciones para Medio Ambiente y Arqueología consideraron, respectivamente, las zonas perimetrales de las industrias: Fábrica de Baterías Secas Pilas Yara, Siderúrgica Antillana de Acero y Refinería Níco López; y los sitios arqueológicos Jardín Exterior del Castillo de la Fuerza y Caimito. En la tabla a continuación se ofrecen la denominación de los objetos y los volúmenes ejecutados en cada uno:

Tabla 1. Areas de Control: Objetivos y Volúmenes

ESFERA DE APLICACIÓN	OBJETIVO	VOLUMEN (Km)
Hidrocarburos	Varadero – Varadero Sur (H. Pesado)	4.20
Perfiles aislados, paso 200 m	Cantel (H. Pesado)	2.00
	Pina (H. Ligero)	5.40
	Antonio (VMS Kuroko)	0.50
Minerales Metálicos	Jacinto (Epitermal Baja Sulfidación)	0.55
Perfiles aislados, paso 20 m	Florencia (Epitermal Baja Sulfidación)	0.43
	Little Golden Hill (Epitermal A. Sulfidación)	0.18
	Camagüey II (Cromita Refractaria)	0.18
	Cuba Libre – Río Negro (VMS Chipre)	0.58
	Baterías Secas Yara (Contaminación con Mn)	0.20
Medio Ambiente	Antillana de Acero (Contaminación con Fe)	0.20
Perfiles aislados, paso 20 m	Refinería Níco López (Contaminac. con Hidroc.)	0.20
	Castillo de la Fuerza (Enterramiento Metálico)	0.01
Arqueología	Caimito (Enterramiento Metálico)	0.01

Datos técnico - económicos

Los estimados **actuales** de productividad y costo del **Complejo Redox** (medición in situ del Potencial Redox, la Susceptibilidad Magnética y el muestreo de suelos) en sus aplicaciones de minerales y medio – ambiente, para terrenos con Categoría de Dificultad II - IV, paso de observación 20-25 m, son, respectivamente, de 25-17 PF / CD (500-340 m) y \$246.00- \$474.00 / km. Los estimados de la Reflectancia Espectral (muestras medidas en UAH) son, respectivamente, de 120 muestras / CD y \$3.50 / muestra (\$175.00 / km). Los Análisis Químicos (muestras analizadas en LACEMI) tienen una velocidad de respuesta superior a los 30 días, con un costo medio de \$30.00 / muestra (\$1500.00 / km). De manera análoga, para la exploración de hidrocarburos, los estimados del **Complejo Redox** (medición in situ del Potencial Redox, la Susceptibilidad Magnética y el muestreo de suelos) en itinerarios autotransportados, paso 200-250 m, son de 20 PF / CD y \$44.00 / km; mientras que en perfiles (pedestre), paso 200-250 m, Categoría de Dificultad II, son de 15 PF / CD y \$62.00 / km. Los estimados de la Reflectancia Espectral se mantienen los mismos. En los Análisis Químicos (muestras analizadas en LACEMI y CEINPET) el costo medio por muestra asciende a \$36.00 (\$1800.00 / km). Todos los estimados anteriores no consideran los gastos de movilización - desmovilización de la campaña, la alimentación, el alojamiento y la transportación del personal ejecutor.



Resultados

El **Complejo Redox** (Potencial Redox, Susceptibilidad Magnética, Reflectancia Espectral Relativa y Pedogeoquímica) es un complejo de técnicas no convencionales de exploración, usado para la detección directa y evaluación de diversos objetos, el cual se basa en el principio geoquímico de la **migración vertical de iones metálicos rápidos**. Este complejo se aplica, con éxito, en diferentes esferas: la exploración de hidrocarburos y de minerales metálicos; los estudios de contaminación metálica y de hidrocarburos en suelos; y la búsqueda de enterramientos arqueológicos metálicos; en todos los casos, con una nueva estrategia de exploración, también no convencional, la cual abarata los costos y reduce el tiempo de ejecución en más de cinco veces de los correspondientes a las investigaciones convencionales.

El **Complejo Redox** se aplica en condiciones de campo (in situ), o de laboratorio utilizando un nuevo equipo especialmente diseñado para este propósito y una metodología de medición la cual reproduce las observaciones de campo (in situ) con igual precisión (7-13 mV). Ello permite la determinación del Potencial Redox en muestras de cualquier material sólido (roca, asfalto, hormigón, sedimentos del fondo marino, etc), **convenientemente** tomadas en sectores (terrestres) previamente seleccionados con la asistencia de escenarios a distancia (**Escenarios Landsat**). Estos se confeccionan para las aplicaciones de la exploración de hidrocarburos y minerales, según una metodología basada en el mismo principio geoquímico en que se sustenta el complejo.

El manejo de la información generada por el **Complejo Redox** se realiza con ayuda de un software (**Software Redox**) especialmente diseñado para almacenar, procesar, interpretar (cuantitativamente) y representar los resultados, en cada una de las esferas de aplicación.

Los resultados de las investigaciones en áreas de control [10 y 11] confirman el hecho, anteriormente observado, de que la técnica de Potencial Redox en suelos resulta insensible a las variaciones del relieve, la litología y la tectónica, siendo el nivel de fondo del potencial función, sólo, del tipo de ambiente geológico. Las únicas fuentes de ruido conocidas hasta el presente son las zonas cenagoso – pantanosas secas u otros tipos de acumulaciones de material orgánico, y los aluviones con alto contenido de elementos metálicos, los cuales, al constituir barreras geoquímicas reductoras, producen anomalías características muy intensas (<-100 mV) de gradientes pronunciados, identificables, además, a partir de la observación directa en el terreno.

Aunque las aplicaciones disponibles son aún insuficientes como basamento experimental de las leyes empíricas formuladas matemáticamente, y más aún, para la modelación termodinámica del proceso de migración vertical de iones metálicos (no realizada aún); no obstante, ellas permiten el establecimiento del conjunto de posibilidades de este complejo de técnicas no convencionales para cada esfera de aplicación:

Depósitos de Petróleo y Gas

- Cartografía de la ocurrencia (proyección vertical del hidrocarburo en las trampas estructurales y/o estratigráficas).
- Estimación de la composición (hidrocarburo pesado o ligero) y calidad (carácter industrial) de la ocurrencia.
- Tipo de trampa estructural (antiforma, escama contra falla o estructura domal).
- Estimación de la profundidad (con un 10-14% de precisión) de la ocurrencia.



Depósitos de minerales metálicos

- Cartografía de la ocurrencia (proyección vertical del cuerpo mineral y de sus partes enriquecidas).
- Estimación de la composición y calidad (ley media) de la ocurrencia.
- Estimación de la profundidad (con un 12-18% de precisión), buzamiento y extensión vertical del cuerpo mineral.
- Presencia de mineralización primaria debajo de una zona de oxidación o una escombrera.

Suelos contaminados con elementos metálicos o hidrocarburos

- Cartografía del área contaminada.
- Estimación del tipo (composición) y orden (grado) de la contaminación.

Enterramientos arqueológicos de naturaleza metálica

- Localización del objeto (su proyección vertical) y composición metálica del mismo.
- Estimación de la profundidad (con un 14-20% de precisión) del objeto.

Situación actual y proyección futura

La introducción de los resultados de investigación se ha venido efectuando con la propia ejecución de los proyectos, de manera que, en la actualidad, se ha abierto un nuevo y creciente mercado de servicios para la prospección de petróleo y minerales metálicos y los estudios medio - ambientales de contaminación por hidrocarburos en suelos. Se valora, también, la posibilidad de acometer la Arqueología de Rescate (objetos metálicos) conjuntamente con los estudios arqueológicos, bajo la subordinación del Gabinete de Arqueología de la Oficina del Historiador de la Ciudad. La tabla a continuación, exhibe las características del actual mercado.

Tabla 2. Características del mercado actual

ESFERA	CLIENTE	ESTADIO	TAREAS
Exploración de Hidrocarburos	EPEP Majagua	Reconocimiento	Escenarios a Distancia (AGE y LANDSAT); Complejo Redox según itinerarios aislados, paso 200-250 m
		Prospección - Exploración	Complejo Redox , según una red 1000 x 200-250 m.
Exploración de Minerales Metálicos (Au, Cr)	EGM Oriente, EM Cromo	Reconocimiento	Escenarios a Distancia (AEM y LANDSAT); Complejo Redox por perfiles con distancia 200 m, paso 20-25 m
		Prospección - Exploración	Complejo Redox según una red 100 x 20-25 m
Estudios de Contaminación por Hidrocarburos en suelos	CEINPET (Distrib. de Hidrocarbs.)	Reconocimiento	Complejo Redox según perfiles aislados, paso 20-25 m

La proyección futura, más inmediata, en el campo de la investigación científica se vincula con el inicio de un nuevo Proyecto de Investigación - Desarrollo para el período 2003-2004 [12], el cual constituye la natural continuación del Proyecto I+D 227 (2001-2002) [9]. Sus objetivos están centrados en la continuación del desarrollo del basamento teórico – experimental del **Complejo Redox**, a partir de las observaciones en nuevas áreas de control (hidrocarburos,



minerales metálicos, medio – ambiente y arqueología), lo cual optimizará el diseño de los criterios de interpretación cuantitativa ya establecidos y/o propiciará el desarrollo de otros nuevos, con un consiguiente incremento de la efectividad técnico – económica en sus aplicaciones. En el campo económico, se propone lograr una ampliación en la introducción del resultado y una diversificación del mercado a otros segmentos no explorados de la exploración geológica, los estudios medio – ambientales y las búsquedas arqueológicas.

El método de Potencial Redox en suelos y sus aplicaciones a la prospección geológica, ha sido reconocido como Invención por la Resolución No. 475/2000 de la OCPI, no obstante, está pendiente de protección legal: el nuevo **Complejo Redox** con su estrategia de exploración para cada esfera de aplicación; el diseño del **Software Redox**; el diseño del **Equipo Redox de Laboratorio** y la metodología de medición en muestras correspondiente; la metodología de elaboración de los **Escenarios Landsat** con fines de la exploración gasopetrolífera y metalífera; el diseño de los **Parámetros de Interpretación Cuantitativa** para todos los atributos considerados y su relación entre ellos y la metodología para su uso. La protección de la mayoría de estos resultados deberá esperar por la culminación del nuevo Proyecto I+D (2003-2004), el cual completará, al nivel **mínimo suficiente**, el basamento experimental que ampare, definitivamente, la validación científica de los resultados descritos.

Conclusiones

El Estado del Arte del **Complejo Redox** en el año 2002 exhibe un vertiginoso desarrollo teórico - práctico, introducción y comercialización del servicio de este nuevo complejo de técnicas no convencionales **de detección directa** (naturaleza geoquímica). El mismo se apoya en una nueva estrategia de exploración, también no convencional, para cada esfera de aplicación (la exploración de hidrocarburos y de minerales metálicos; los estudios medioambientales de contaminación metálica y de hidrocarburos en suelos; y la búsqueda de enterramientos arqueológicos metálicos) la cual reporta un ahorro en recursos y tiempo de ejecución superior a tres veces al correspondiente de las investigaciones convencionales.

Aunque ha sido reconocida la efectividad en las aplicaciones del **Complejo Redox**, este complejo se sustenta, todavía, en un nivel empírico - teórico del conocimiento, por no tener desarrollado su basamento químico – físico – matemático (sistema de ecuaciones de la termodinámica que controlan el proceso de migración vertical de iones metálicos). No obstante, el logro más importante de las recientes investigaciones, se identifica con el desarrollo progresivo de este nuevo producto tecnológico y su estrategia de aplicación, con repercusión en la elevación de la efectividad técnico – económica de la exploración (geológica, medio – ambiental y arqueológica) y en la comercialización de las modalidades de servicios de investigación y de consultoría.

Bibliografía

1. Alfonso, J. R., M. Pardo y otros, 1993: Informe sobre los trabajos metodológicos –experimentales de métodos geofísicos y geoquímicos no convencionales para la prospección de hidrocarburos someros en Cuba Septentrional (inédito). ENG, La Habana.
2. Pardo, M., F. Rojas y otros, 1996: Naturaleza geoquímico - mineralógica de las anomalías aerogammaespetrométricas vinculadas con depósitos de hidrocarburos; primeros resultados en Cuba : Pina- Ciego de Avila (inédito).IGP, La Habana.



3. Pardo, M. y O. Carballo, 1996: Mediciones experimentales in situ del Potencial Redox en suelos sobre objetivos meníferos en los sectores de Loma de Hierro y Loma Roja, Provincia de Pinar del Río (inédito). IGP, La Habana.
4. Pardo, M. y E. Domínguez, 1997: Reporte sobre los trabajos de Potencial Redox, Susceptibilidad Magnética y Análisis Químicos de suelos, para petróleo, en un área del Sur de Camagüey (Cuenca Vertientes) (inédito). IGP, La Habana.
5. Pardo, M., J. Alvarez y G. Echevarría, 1997: Técnicas geofísico - geoquímicas no convencionales para la prospección de hidrocarburos; progresos de su aplicación en Cuba . III Congreso Cubano de Geología, La Habana.
6. Pardo, M. y R. Stout, 1999: El método de Potencial Redox en suelos y su aplicación combinada con la kappametría a los fines de la prospección geológica. I Congreso Cubano de Geofísica, La Habana.
7. Pardo, M., R. Stout y otros, 2000: Informe del TTP Aplicación de la medición in situ del Potencial Redox en suelos sobre objetivos de prospección de minerales metálicos e hidrocarburos (inédito). ONRM, La Habana.
8. Pardo, M., R. Stout, R. Aragón, E. Alvarez y R. Lugo, 2000: El método de Potencial Redox en la prospección de minerales; dos ejemplos: el yacimiento Mella y el stockwork La Unión. IV Congreso Cubano de Geología, La Habana.
9. Pardo, M., 2001: Proyecto I+D 227: Análisis teórico y diseño de los parámetros cuantitativos del método Redox en áreas de control (inédito). IGP, La Habana.
10. Pardo, M. y R. Stout, 2001: El método de Potencial Redox en suelos y su aplicación combinada con la kappametría a los fines de la prospección petrolífera. II Congreso Cubano de Geofísica, La Habana.
11. Pardo, M., R. Stout, E. Kessell, M. Mugía, M. A. Morales y F. Rojas, 2001: La nueva técnica geoquímica de Potencial Redox en suelos: Principios y Aplicaciones. II Congreso Cubano de Geofísica, La Habana.
12. Pardo, M., 2002: Proyecto de Investigación – Desarrollo (244): Estimaciones cuantitativas por el **Complejo Redox** en su aplicación a la prospección geológica, los estudios medio – ambientales y arqueológicos (inédito). IGP, La Habana.



MODELO DESCRIPTIVO DE YACIMIENTOS DE ZEOLITAS NATURALES, UNA PROPUESTA EN EL EJEMPLO DE CUBA ORIENTAL.

Gerardo Orozco Melgar

Departamento de Geología, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
Las Coloradas s/n, Moa. Holguín. C.P. 83329
E-mail: gorozco@ismm.edu.cu

RESUMEN

La modelación de yacimientos minerales está poco desarrollada en Cuba, trabajo pionero en este sentido lo ha presentado *Ariosa, J.D. (2002)* en su tesis doctoral con ejemplos específicos sobre modelos descriptivos de yacimientos lateríticos de Fe, Ni y Co.

En el presente trabajo se aborda la propuesta de un modelo descriptivo para los yacimientos de zeolitas naturales en la región oriental de Cuba, donde existen yacimientos explorados y evaluados vinculados con los arcos de islas del Cretácico y del Paleógeno.

Se emplea para la modelación de yacimientos de zeolitas naturales de la región oriental de Cuba la metodología descrita por *Ariosa, J.D. (2002)*. De acuerdo a la revisión bibliográfica realizada existen propuestas de modelos descriptivos para yacimientos de zeolitas naturales a nivel mundial en los casos de yacimientos de zeolitas naturales vinculados a los sistemas hidrológicos abiertos y cerrados *Sheppard, R.A. y Simandl, G.J. (1999)*.

Como resultado de este trabajo se logra una generalización de la información geológica existente sobre los yacimientos de zeolitas naturales de la región oriental de Cuba para la confección del modelo descriptivo lo que debe ser de utilidad para su aplicación a otras regiones cubanas y del mundo cuyas características geológicas sean semejantes.

ABSTRACT

The modeling of mineral deposits is little developed in Cuba. *Ariosa, J.D. (2002)* has presented a pioneer work in this sense in his doctoral thesis with specific examples on descriptive models of lateritic deposits of Fe, Ni and Co.

In the present paper is proposed a descriptive model for the deposits of natural zeolites in the east region of Cuba, where explored and evaluated zeolitic deposits exist linked with the volcanic island arcs of the Cretaceous and Tertiary.

It is used for the modeling of deposits of natural zeolites of the east region of Cuba the methodology described by *Ariosa, J.D. (2002)*. According to the bibliographical revision proposals of descriptive models exist for deposits of natural zeolites in the cases of deposits linked to the open and closed hydrological systems, *Sheppard, R.A. and Simandl, G.J. (1999)*.

As a result of this work a generalization of the existent geologic information is achieved on the deposits of natural zeolites of the east region of Cuba for the making of the descriptive model what being of utility for his application to other Cuban regions and of the world whose geologic characteristics are similar.

Introducción

La modelación de yacimientos minerales está poco desarrollada en Cuba, trabajo pionero en este sentido lo ha presentado *Ariosa, J.D. (2002)* con ejemplos específicos sobre modelos descriptivos de yacimientos lateríticos de Fe, Ni y Co. En la literatura se reportan propuestas de modelos descriptivos para yacimientos de zeolitas naturales en los casos de yacimientos



vinculados a los sistemas hidrológicos abiertos y cerrados. En el presente trabajo se ha partido de los resultados de las investigaciones desarrolladas en los últimos años sobre los yacimientos de zeolitas cubanos, en particular de la zona oriental de Cuba para proponer un nuevo modelo descriptivo de yacimientos de zeolitas naturales vinculado a tobas depositadas en cuencas marinas relacionadas con arcos de islas volcánicas.

Desarrollo

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, Ariosa (2002). El programa de modelación de yacimientos, según Ariosa (2002), se inició en 1983 con la finalidad de promover técnicas de avanzada en la exploración y evaluación de los recursos minerales para apoyar el desarrollo sostenible de los países en desarrollo, como un programa conjunto entre la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS) y la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO).

Para la confección del modelo descriptivo de depósitos de zeolitas vinculados a tobas depositadas en cuencas marinas relacionadas con arcos de islas se escogió el formato que describe Ariosa (2002) y que se expone a continuación:

Nombre

Sinónimos

Productos y subproductos

Ejemplos

Características geológicas

Descripción resumen

Escenario tectónico

Ambiente deposicional/escenario geológico

Edad de la mineralización

Tipos de rocas encajantes/tipos de rocas asociadas

Forma del yacimiento

Textura / estructura

Mineralogía de las menas (Principal y subordinada)

Intemperismo

Controles de las menas

Modelo genético

Tipos de yacimientos asociados

Comentarios

Guías de exploración

Características geoquímicas

Características geofísicas

Otras guías de exploración

Factores económicos

Ley y Tonelaje

Limitaciones económicas

Usos finales

Importancia



A continuación se detallan cada uno de los aspectos antes relacionados del formato escogido para la confección del modelo descriptivo.

Modelo descriptivo de depósitos de zeolitas vinculados a tobas depositadas en cuencas marinas relacionadas con arcos de islas

Nombre: Depósitos de zeolitas vinculados a tobas depositadas en cuencas marinas relacionadas con arcos de islas

Sinónimos: En el campo es imposible prácticamente distinguir estos depósitos de las zeolitas formadas por enterramiento metamórfico.

Productos: Clinoptilolita, mordenita.

Ejemplos: Caimanes, Moa, Holguín; Palmarito del Cauto, Santiago de Cuba; Madre Vieja, Palenque, Guantánamo.

Características geológicas

Descripción resumen: zeolitas microcristalinas (clinoptilolita, mordenita) se presentan en secuencias de rocas vulcanógeno-sedimentarias relativamente potentes depositadas en ambiente marino. Las zonas mineralizadas tienen entre 1 y 100 m de espesor, a veces mas, y comúnmente exhiben una zonación vertical en el contenido de las zeolitas y de los minerales silicatos asociados dentro de la secuencia. Las zeolitas cristalizan en el ambiente postdeposicional diagenético.

Escenario tectónico: complejos de arcos de islas volcánicos no metamorfizados.

Ambiente deposicional/ escenario geológico: cuencas marinas medias a profundas vinculadas a terrenos volcánicos de arcos de islas, depósitos de rocas tobáceas potentes donde el vidrio volcánico ha sido afectado y transformado por los procesos diagenéticos.

Edad de la mineralización: Los depósitos de zeolitas analizados para Cuba oriental son de edad Paleoceno a Eoceno medio.

Tipos de rocas encajantes/ tipos de rocas asociadas: Las rocas zeolitizadas son capas de tobas de diferentes granulometrías con pequeñas intercalaciones o no de otras litologías. La composición química de las tobas varía desde media a ácida.

Forma del yacimiento: estratiforme. El espesor de las tobas zeolitizadas en los depósitos más grandes puede sobrepasar los 100 m. La extensión areal puede variar entre 10 y 50 km². Depósitos más pequeños y porciones minables de las tobas arriba descritas pueden tener espesores menores de 30 metros.

Textura / estructura: Finamente cristalina, vitrioclástica, comúnmente estratificada en paquetes que se suceden a lo largo del corte. Es común una zonación vertical del contenido de los minerales silicatos autógenos. En la secuencia de tobas alteradas de composición medio a ácida, aparecen las zeolitas ricas en álcalis (clinoptilolita y mordenita) en la parte superior del depósito, hacia la parte inferior ellas se asocian a la montmorillonita lo que se atribuye a una secuencia de diagénesis de enterramiento con migración de elementos.

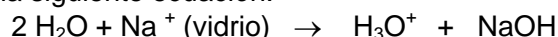


Mineralogía de las menas (principal y subordinada): Los minerales principales de las tobas zeolitizadas son clinoptilolita y mordenita. En Palmarito del Cauto predomina la mordenita. En la propia roca de forma subordinada aparecen esmectita autógena, ópalo-cristobalita (Opal-CT), cuarzo, plagioclasa, calcita, fragmentos de rocas volcánicas, material vítreo inalterado.

Intemperismo: Las tobas zeolitizadas comúnmente resisten el intemperismo, no considerándose que por este proceso se produzcan cambios significantes en el depósito.

Controles de las menas: La granulometría de los materiales vulcanógeno-sedimentarios que constituyen el sedimento que se deposita en la cuenca marina y su composición química inicial. La velocidad de sedimentación y el coeficiente de difusión. La variación del pH que se eleva desde neutro (agua de mar) a alcalino (> 9). Los procesos de hidrólisis y disolución del vidrio volcánico al reaccionar el material vítreo con las soluciones de poro. La actividad del Mg que condiciona la formación de montmorillonita. Las tobas alteradas a montmorillonita tienen con relación a las tobas zeolitizadas una relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ menor y mayores contenidos de Fe, Ti y Mg. Las tobas de granulometrías más finas que aparecen en las partes superiores del corte tienden a presentar un mayor contenido de zeolitas, disminuyendo éste con la profundidad y el aumento de la granulometría de las tobas.

Modelo genético: Es aceptado que la formación de zeolitas está vinculada a reacciones sin- y postdeposicionales del vidrio volcánico con soluciones alcalinas. La deposición de las tobas ocurrió en un medio marino, indicado por la típica gradación granulométrica de las tobas a lo largo del corte. El agua de poro incluida en los sedimentos tiene en un principio el mismo quimismo que el agua de mar. El componente vítreo de composición medio-ácido y pobre en Mg de las tobas no se encuentra en equilibrio con el agua de poro. Comienza una migración de los elementos en correspondencia con la velocidad de sedimentación y el coeficiente de difusión. El Si es liberado y el Mg es fijado. Bajo estas condiciones se favorece la formación de montmorillonita a partir del vidrio volcánico en medio neutro. La presencia de concreciones piríticas en tobas lapillíticas indican condiciones reductoras durante la diagénesis inicial. La transformación del vidrio volcánico exige una gran necesidad de Mg. Mientras más intensa es la transformación del vidrio volcánico en montmorillonita, mayor será el contenido de Mg en la roca alterada. La formación de la montmorillonita consume los iones Mg que están a disposición. Al disminuir la actividad del Mg, generarse un medio más alcalino y una saturación creciente de la solución en ácido silícico, se alcanzan las condiciones para la formación de las zeolitas. La transformación del vidrio volcánico de composición medio-ácida se inicia con la liberación de NaOH según la siguiente ecuación:



La formación del NaOH condiciona un elevado valor del pH (> 9), que al mismo tiempo favorece una ulterior disolución del vidrio volcánico. Durante la hidrólisis ocurre una migración del Cl y un incremento del K. El Fe permanece casi constante pero es fuertemente oxidado. En lugar del vidrio volcánico se forma pseudomórficamente la clinoptilolita, la composición química del vidrio original cambia poco, aunque hay tendencia al aumento de la Sílice. La mordenita se forma en los espacios de poro a partir de las soluciones residuales y desde ahí altera a la clinoptilolita cuando la temperatura aumenta debido a la profundidad durante el hundimiento de los sedimentos, se estima una temperatura entre 50 y 90 °C para este proceso y una profundidad del hundimiento no mayor de 2000 m, dada por la presencia del ópalo-cristobalita así como por la porosidad elevada de las tobas alteradas. La presencia de las tobas zeolitizadas en las partes altas de los cortes, corresponde al proceso de migración de los elementos durante la diagénesis bajo la acción de las soluciones de poro al hundirse las rocas..



La zonación que se produce en este proceso, tobas alteradas a montmorillonita en la parte baja de los cortes y tobas zeolitizadas en las partes altas ocurre no solo a nivel del corte completo sino también en los ciclos de deposición mas pequeños, que pueden repetirse a lo largo de la secuencia. Localmente pueden observarse zeolitas (clinoptilolita y mordenita) en vetillas que cortan a las tobas zeolitizadas asumiéndose en estos casos un origen hidrotermal posterior.

Tipos de yacimientos asociados: Entre los depósitos que pueden aparecer en la misma área geográfica se incluyen bentonitas y vidrio volcánico.

Comentarios: En Cuba oriental la clinoptilolita es el constituyente principal de los depósitos de zeolitas con excepción del depósito Palmarito del Cauto, donde predomina la mordenita.

Guías de exploración

Características geoquímicas: En la mayoría de los casos las zeolitas sólo pueden ser detectadas positivamente con técnicas analíticas directas como difracción de rayos X, se recomienda en las primeras etapas de prospección la realización del ensayo de ΔT , valores mayores que 6 son perspectivas; este ensayo es muy sencillo y exige poca cantidad de muestra (5g) para su realización.

Características geofísicas: algunas áreas de tobas zeolitizadas están vinculadas con anomalías de K, lo que puede ser un criterio muy general y preliminar de prospección.

Otras guías de exploración: terrenos volcánicos donde aparecen potentes secuencias de tobas cuyas características generales son que las tobas pueden ser ligeras, compactas, de colores verde o blanco e higroscópicas.

Factores económicos

Ley y tonelaje: Los contenidos de zeolitas estimados sobrepasan el 60 % del contenido total de la roca, en algunos sectores de los yacimientos pueden alcanzar el 80 %. La capacidad de intercambio catiónico sobrepasa los 100 meq/100 g y puede llegar hasta valores de 150 meq/100 g. Algunos depósitos pueden alcanzar los 100 millones de toneladas y mas.

Limitaciones económicas: Las minas son a cielo abierto. Por el yacimiento Palmarito del Cauto pasa la línea férrea y la carretera a Santiago de Cuba lo que abarata los costos de transportación. Por el yacimiento Caimanes pasa la carretera Moa-Farallones lo que permite un fácil acceso al yacimiento que se ubica a 26 Km de Moa, ya que el costo de transportación es uno de los elementos económicos limitantes principales. El contenido de minerales no zeolíticos en la roca puede limitar algunos usos. La mordenita es considerada por algunos como un mineral asbestiforme, debido a su morfología fibrosa.

Usos finales: Las tobas zeolitizadas de Palmarito del Cauto se han utilizado durante años como materiales puzolánicos en la fábrica de cemento Mariano Merceron de Santiago de Cuba y para la producción de cemento romano, existiendo una planta con ese fin en las inmediaciones de dicho yacimiento. Ensayos de laboratorios y a escala piloto que se han desarrollado con tobas zeolitizadas del yacimiento Caimanes indican excelentes resultados para la remoción de metales pesados (Ni y Co) de efluentes de la metalurgia del Níquel en Moa. Estos ensayos han demostrado también la alta capacidad de las tobas zeolitizadas de Caimanes para la remoción del NH_4^+ . Las tobas zeolitizadas de Caimanes se emplean en el zeopónico del Cupey, Moa.



Importancia: Las tobas zeolitizadas son las únicas fuentes de clinoptilolita y mordenita naturales que tienen amplia utilización en la agricultura y muchos procesos industriales.

Conclusiones

Se logra establecer un nuevo modelo descriptivo para zeolitas, estableciéndose como subtipo: zeolitas en tobas depositadas en cuencas marinas relacionadas con arcos de islas volcánicas.

Referencias bibliográficas

- Ariosa, J.D., 2000. La modelación descriptiva de yacimientos minerales en Cuba. Tesis doctoral.
- Coutin, D., A. Brito, 1995. Características de la zeolitización en rocas sedimentarias de origen volcánico en Cuba oriental. La Habana, Serie geológica, No. 20, Instituto de Geología y Paleontología, 26 pp.
- Orozco Melgar, G.A., 1987. Mineralogisch- geochemische Charakterisierung, umbildungsprozesse und Anwendungsmöglichkeiten der umgewandelten Pyroklastite im Süden der Sierra Cristal, Cuba. Tesis doctoral. Academia de Minas de Freiberg, 126 pp.
- Orozco Melgar, G.A., 1989. Mecanismo de alteración del vidrio volcánico a zeolitas y montmorillonita. I Congreso Cubano de Geología, La Habana, Cuba.
- Orozco Melgar, G.A., 1996. Caracterización geólogo-mineralógica del yacimiento de tobas zeolitizadas Caimanes, Moa, Holguín. Minería y Geología, 13(3), 27-35.
- Orozco Melgar, G.A., R. Rizo, 1998. Depósitos de zeolitas naturales de Cuba, Acta Geológica Hispánica, v.33, n° 1-4, p. 335-349.
- Rojas Purón, L.A., 1981. Estudio de la composición mineralógica de las rocas vulcanógeno-sedimentarias alteradas de Palenque. Trabajo de diploma. Facultad de Geología y Minería, ISMM.
- Sheppard, R.A., G.J. Simandi, 1999. Open-system Zeolites; in Selected British Columbia Mineral Deposits Profiles, Volume 3, Industrial Minerals.
- Sheppard, R.A., G.J. Simandi, 1999. Closed-basin Zeolites; in Selected British Columbia Mineral Deposits Profiles, Volume 3, Industrial Minerals.



CARACTERÍSTICAS METALOGENICAS DEL MIEMBRO CASTELLANO, PROVINCIA PINAR DEL RIO

Jorge Luis Torres Zafra, Justo Luis Montano Pérez, Rafael Miguel Lavandero Illera, Jesús Moreira Martínez.

Instituto de Geología y Paleontología, Vía Blanca y Línea del Ferrocarril, San M. Del Padrón, Ciudad de La Habana, Cuba. Email: zafra@igp.minbas.cu

RESUMEN

EL Mb Castellano (parte superior de la Formación San Cayetano), forma parte del Terreno Guaniguanico, representativo de una secuencia de margen continental. Está compuesto por pizarras negras, limolitas, areniscas, y carbonatos. El mismo limita al Norte tectónicamente con la Formación Esperanza y al Sur contacta con la sección indiferenciada de la Formación San Cayetano. A diferencia de sus vecinos, esta unidad representa un ambiente deposicional costero – lagunal de aguas someras anóxicas ó euxínicas. Aunque las tres unidades litoestratigráficas mencionadas son ricas en materia orgánica, el Miembro Castellano se destaca por tener los contenidos más elevados (5 – 35 %). Dicha unidad es portadora de depósitos estratiformes pirítico – polimetálicos de génesis sedimentario – exhalativa singenética, con variable mineralización hidrotermal epigenética superpuesta, albergados en secuencias de pizarras y limolitas negras calcáreas. Estos son depósitos Sedex del tipo Selwyn, portadores de Pb – Zn – Ag – Au – Ba, generados a partir de exhalaciones de salmueras reducidas de cuenca. Atendiendo a todo lo anterior, se propone considerar esta unidad como una nueva subzona metalogénica, ubicada dentro de la Zona Metalogénica Guaniguanico. Dicha unidad se caracteriza por su alto potencial de recursos polimetálico – preciosos (más de 39 millones de t de mena evaluados). La misma se distingue por su especialización geoquímica y metalogénica (dada por los elementos Ba, Co, Cu, Pb, Zn y Ag), diferente a la especialización de la Subzona Esperanza (Ba, Co, Cu, Ni, Mo, Cr) y de la subzona Alturas Pizarrosas del Norte (Ba, Co, Cu, Ni, Mo).

ABSTRACT

The Castellano Member is considered as the superior part of the San Cayetano Formation. It represents a continental margin rock-sequence, belonging to Guaniguanico Terrain. The Castellano Member is composed of black shales, limolites, sandstones and carbonates. To the North it has tectonical contact with the Esperanza Formation, while, to the South it contacts with the undifferentiated section of the San Cayetano Formation. This unit represents a coastal - lagoonal depositional environment, of anoxic or euxinic shallow waters. Although the three mentioned units are rich in organic matter, the Castellano Miembro differs of the rest by its highest contents (5 - 35%). This unit hosts pyritic-polymetallic deposits of sedimentary - exhalative syngenetic genesis, with variable superimposed hydrothermal epigenetic mineralization, present in black shales. These are Sedex deposits of the Selwyn type, containing Pb - Zn - Ag - Au - Ba. They are assumed to be generated from reduced brines exhalations of basin. Authors of this work consider this unit like a new metallogenic subzone, located within the Guaniguanico Metallogenic Zone. Geochemical and metallogenical specialization (given by the elements Ba, Co, Cu, Pb, Zn and Ag) distinguishes the Castellano Member from the other subzones.

INTRODUCCION

El territorio de Cuba se caracteriza por una gran variedad de ambientes geológicos de arco volcánico, ofiolíticos y de margen continental. Las secuencias de margen continental tienen una



amplia distribución en el país. Así, el margen continental pasivo de América del Norte se extiende por la parte septentrional de Cuba desde la provincia de Matanzas hasta la de Holguín, albergando las secuencias generadoras de petróleo y los principales yacimientos de este importante recurso natural no renovable de la Nación. Por otra parte en la parte meridional del país, en las regiones occidental y central principalmente, se ubican varios terrenos, también representativos de secuencias de margen continental, comúnmente conocidos en la literatura como "Terrenos de Cuba SW" (Iturralde Vinent, 1996), los cuales se consideran, por varios autores, parte del Bloque Maya (Kerr et al, 1999). Estos terrenos son Guaniguanico, ubicado en la provincia de Pinar del Río, Pinos, situado en la Isla de la Juventud y Escambray, localizado en el macizo montañoso Guamuhaya, en la parte sur de las provincias Cienfuegos, Villa Clara y Sancti Spiritus.

Estos terrenos se destacan, a diferencia del margen pasivo norteamericano, por albergar numerosos e importantes depósitos minerales metálicos, principalmente piríticos y pirítico – polimetálicos portadores de S, Zn, Pb, Cu, Au, Ag \pm Ba, Co. Aunque ambos son ricos en materia orgánica, se diferencian además por la presencia de evaporitas en el margen continental norteamericano, prácticamente ausentes en los terrenos de Cuba Suroccidental.

Entre los depósitos minerales ubicados en estos terrenos, se encuentran los mayores depósitos piríticos, polimetálicos y auríferos del país, siendo muy abundantes los de Cu. Entre ellos se destacan el yacimiento de cobre Matahambre, los pirítico - polimetálicos - preciosos Castellano, Santa Lucía, Nieves, Santa Lucía Este, Hierro Mantua y los piríticos con cobre y cobalto Unión y Juan Manuel (Terreno Guaniguanico); los piríticos con Cu, Zn, Au y Co Carlota y Guachinango (Terreno Escambray); el de Au Delita y de W Lela (Terreno Pinos). De ahí la gran importancia que reviste para el país el estudio metalogénico de los mismos y la evaluación de su potencial de recursos minerales.

MATERIALES Y METODOS

En el marco de los trabajos de reevaluación de potencial de metales preciosos y base que actualmente lleva a cabo el Instituto de Geología y Paleontología, los autores han realizado la recopilación y análisis de un gran volumen de información, almacenada en su mayoría en informes inéditos de levantamientos geológicos regionales a escala 1:50000 y de prospección de depósitos minerales para cobre, menas polimetálicas y metales preciosos. Así mismo han visitado algunos de ellos para acopiar información adicional. Los numerosos datos reunidos permitieron destacar los rasgos generales de las unidades litoestratigráficas que integran el Terreno Guaniguanico y las características principales de los depósitos minerales metálicos a ellas asociados, así como las regularidades metalogénicas esenciales presentes. Este trabajo focaliza su atención en las características metalogénicas del Miembro Castellano (parte superior de la Fm. San Cayetano) y en los rasgos que, en este sentido, lo diferencian de las subzonas metalogénicas Alturas Pizarrosas y Esperanza. Para ello se estudiaron atentamente las características de las unidades litoestratigráficas Esperanza, San Cayetano (indiferenciado) y Castellano en cuanto a ambiente deposicional representado, contenido de materia orgánica, litologías hospederas de los depósitos, tipos de depósitos presentes, composición química y mineralógica de las menas, así como rasgos geoquímicos, genéticos.



RESULTADOS

Entre las unidades litoestratigráficas que componen el Terreno Guaniguanico, están la Formación Esperanza, El Miembro Castellano y La Formación San Cayetano. La segunda unidad representa la parte superior de la tercera, caracterizándose por un más elevado contenido de materia orgánica carbonosa y por la abundancia de pizarras negras en su composición. El Miembro Castellano sobreyace a la parte indiferenciada de la Formación San Cayetano, siendo su parte superior, contactando tectónicamente la Formación Esperanza. La Fm San Cayetano y el Miembro Castellano están repetidos tectónicamente como resultado de los procesos de sobrecorrimientos ocurridos, los que conllevaron a la división en escamas tectónicas de las secuencias originales.

La Formación San Cayetano consta de intercalaciones de areniscas cuarzosas y cuarzo - feldespáticas, areniscas calcáreas silicificadas, limolitas arcillosas, pizarras negras, pizarras negras calcáreas alteradas y calizas grises oscuras, con predominio de las primeras litologías mencionadas. Las areniscas están frecuentemente silicificadas, llegando en algunos casos a cuarcitas. En esta formación se reconocen facies deposicionales correspondientes a llanura de inundación cercana a la costa, canales o caletas de marea, planicie de marea, litoral de playa, lacustre de lago extenso o lagunal costero y de abanico deltáico submarino con redeposición de sedimentos por corrientes turbias (Haczewski, 1987). Las pizarras de esta unidad tienen 5 - 10 % de sustancia carbonosa (Lara et al, 1989), las areniscas de 1 a 5 % y las limolitas hasta 10 - 15 % (Lara et al, 1989; Puentes et al, 1991). Por su parte, las calizas alcanzan 7 - 25 % de sustancia carbonosa (Lara et al, 1989). Algunos pozos han cortado pequeñas acumulaciones de evaporitas, compuestas por yeso y anhidrita asociadas con pizarras y lentes de limolitas. Son lenticulares y presentan estructura bandeada, plegada y orientada, habiendo un 50 - 55 % de anhidrita y 25 - 30 % de yeso, con 5 % de impurezas arcillo - carbonosas, todo lo cual sugiere su génesis sedimentaria.

En la formación San Cayetano, los depósitos metálicos predominantes son los pirítico - calcopiríticos, estratiformes o en stockwork, hospedados en areniscas. Un ejemplo sobresaliente lo constituye el yacimiento Matahambre. Otros son Dora y Francisco. También hay, en menor grado, mineralización polimetálica hospedada en limolitas o pizarras (Loma de Hierro). Estos depósitos son de génesis sedimentaria e hidrotermal, con abundante mineralización cuprífera en muchos de ellos. Es de notar que en los hospedados en areniscas predomina la mineralización cuprífera, mientras que los hospedados en limolitas y pizarras lo hace la polimetálica.

El Mb Castellanos consiste en una secuencia de pizarras negras, areniscas (cuarzosas y polimícticas) y limolitas, todas interestratificadas, con lentes e intercalaciones de calizas y dolomitas. En raras ocasiones aparecen lentes de evaporitas asociadas con argilitas, pizarras arcillo - hidromicáceas y dolomitas. La secuencia tiene rumbo general NE, buzando monoclinamente al NW, con 40 - 80 grados, dividida en bloques por fallas transversales y sublatitudinales, postminerales en su gran mayoría. El corte de esta secuencia se divide en tres paquetes. El inferior es de areniscas y limolitas interestratificadas, con escasas intercalaciones de pizarras, predominando las areniscas. El paquete medio es de pizarras negras, con intercalaciones de calizas y dolomitas, ocasionalmente de areniscas y limolitas calcáreas, siendo el que contiene las menas. El superior es una alternancia rítmica de areniscas, limolitas y pizarras, con lentes de calizas. La estratificación es variada, siendo a veces de capas gruesas y en otras ocasiones de capas muy finas. En las pizarras encajantes de las menas son muy comunes las concreciones de caliza y dolomita, habiendo, en menor grado, cuarzo detrítico. Las



calizas y dolomitas, negras a gris oscuras, forman horizontes discontinuos por el rumbo, de 0,05 a 0,5 m de espesor. Las mismas contienen pirita globular y cristalina. La potencia de estas pizarras varía entre 0 y 100 m. Sus contactos son bien marcados, estando plegadas. Tienen estructura esquistosa finamente laminada y contienen hidromicas, pirita, arcillas, calcita, sustancia carbonosa y bituminosa. Su contenido de materia carbonosa es de 10 - 35 %, siendo el de carbonatos mayor del 15 % y el de pirita globular diseminada de hasta 10 - 15 % (Vershigora et al, 1983; Lara et al, 1989; Ovchinnikov et al, 1993). Es de notar la presencia de aisladas intercalaciones de carbón de 0,1 mm a 1-2 mm (raramente hasta 15 mm) en las mismas. En las calizas negras se reporta 10 - 25 % de materia orgánica (Vershigora et al, 1983; Ovchinnikov et al, 1993), mientras que en las limolitas es de 5 -10 % (Lara et al, 1989).

La composición química de areniscas, limolitas y pizarras responden a la misma composición petrográfica. Las pizarras portadoras de menas son carbonatado-sulfurosas e hidromicáceo-sulfurosas finamente estratificadas, con estrecha asociación entre minerales metálicos y de ganga, estando siempre presente la sustancia carbonosa. La variedad carbonatado-sulfurosa es la dominante, siendo sus carbonatos ferruginosos. Las menas también aparecen hospedadas en limolitas y cuarcitas, a veces en areniscas muy silicificadas.

EL Miembro Castellano representa un ambiente deposicional costero - lagunal de aguas someras anóxicas y euxínicas. Evidencias de esto existen en los paquetes inframineral y supramineral del yacimiento Santa Lucía, en los que hay intercalaciones de calizas arcillosas detríticas con braquiópodos, y a veces microfauna. Esta fauna, así como la fragmentación que presenta, indica que la sedimentación ocurrió en aguas muy someras, afectada por el oleaje (Lobanov et al, 1976; García et al, 1979). En la secuencia portadora de Nieves, compuesta por pizarras carbonosas y limolitas arenosas, frecuentemente aparece estratificación oblicua con signos de marejada y cabrillas (Barzana et al, 1988). Todos estos elementos señalan un ambiente de aguas muy poco profundas (20 – 25 m) y de salinidad moderada, alta localmente, como lo sugiere la presencia de las evaporitas localizadas en el flanco W del cuerpo No 1 del yacimiento Santa Lucía. Su origen sedimentario es sugerido por la estructura microestratificada que presentan, con aspecto muy similar al de las limolitas carbonosas, la cual es dada por la alternancia de estratos finos yesosos, arcillosos, arcillo – hidromicáceos, carbonatado – arcillosos y de pirita globular de hasta 1 mm de potencia. En todos ellos está presente la sustancia carbonosa y la dolomita. También en algunas secciones delgadas aparecen fragmentos de fauna yesificados. Estas rocas son atravesadas por microvetillas de cuarzo, barita y de yeso redepositado, siendo en todas ellas alto el contenido de pirita globular (hasta 30 %). En raras ocasiones se observa la presencia de S nativo (Lobanov et al, 1976).

El Miembro Castellano se caracteriza por la presencia de depósitos polimetálicos y pirito – polimetálicos, destacándose los agrupados en el Campo Mineral Santa Lucía Castellano (Castellano, Santa Lucía, Santa Lucía Este, Sur, El Jíbaro y otros), así como Nieves. Estos son depósitos Exhalativo – Sedimentario del tipo Selwyn, portadores de Zn - Pb - Cu - Ag - Au ± Ba hospedados en pizarras negras, limolitas y cuarcitas o areniscas muy silicificadas.

Estos depósitos suelen poseer estructura bandeada. Esto es particularmente notorio en las menas del Yacimiento Santa Lucía, las cuales presentan bandas producidas por diferenciación en la composición químico - mineralógica de las menas y rocas encajantes. Así, se presentan bandas hidromicáceas (clorita, hidromicas y sericita) recrystalizadas, de carbonatos alterados y materia orgánica, de 1 a 1,2 mm de espesor. También las hay de agregados de esfalerita, galenita y pirita, casi masivas y a veces plegadas. Igualmente, existe un claro bandeamiento químico, especialmente definido en el cuerpo No 1 del mencionado yacimiento, en el que se observan 3 bandas de enriquecimiento de Zn - Pb, de yacencia concordante. Cada banda se



asocia a un pico de concentración de Zn y Pb, asociándose los contenidos más altos con las variedades criptocristalinas de mena (Yurpalov et al, 1972; Ovchinnikov et al, 1993). El yacimiento Castellano presenta un bandeamiento similar de las menas (Whitehead et al (1996). En él, Zn, Pb y BaSO_4 se distribuyen en las menas presentando varios picos de concentración (de 2 a 4), separados por zonas de concentración mínima, formando una sucesión alternada de mínimos y máximos de concentración, existiendo buena correlación entre Zn y Pb, no así entre estos y el BaSO_4 (Lobanov et al, 1976).

Otros elementos que sugiere una génesis singenética primaria para los depósitos pirito – polimetálicos del Miembro Castellanos son la presencia en ellos de pirita globular y framboidal, de materia orgánica carbonosa y bituminosa, así como la relación isotópica de ^{34}S en las menas del yacimiento Santa Lucía, reportada por García et al (1979), cuyos valores oscilan entre -5,9 y -32,8 ‰, indicando un origen biogénico para el S presente en sus menas.

Las menas barito – polimetálicas existentes en estos depósitos son, en su mayoría, claramente superpuestas a la pirito - polimetálica, siendo controlada por la tectónica postmineral. En general, la acumulación de barita en el Miembro Castellano y en el resto de la Formación San Cayetano, es controlada por las fallas y zonas de intenso agrietamiento, trituración y por zonas de deformación plástica. Los más potentes y extensos cuerpos baríticos son los asociados con fallas interestratos en los contactos de paquetes de diferentes litologías.

Finalmente, hay que señalar la existencia en el Miembro Castellano de subordinada mineralización cuprífera, variablemente desarrollada fundamentalmente en las zonas de alimentación de los depósitos polimetálicos, ubicadas generalmente en areniscas (Valdés et al, 1993). También están presentes en esta unidad depósitos de composición pirítico - magnetítica, a veces con metales base, barita o Co.

La Fm Esperanza es una secuencia de areniscas calcáreas, calizas cristalinas arenosas estratificadas y pizarras negras carbonosas, incluyendo limolitas y calizas esquistosas, con capas y lentes concordantes de diabasas y gabrodiabasas porfiríticas, representativas de un magmatismo efusivo. En esta formación se alternan paquetes terrígenos y carbonatados. Los primeros se componen de areniscas, limolitas areno-arcillosas, algunos lentes de calizas e intercalaciones de pizarras negras, mientras que los segundos tienen calizas carbonosas esquistosas con intercalaciones de pizarras carbonosas y lentes de areniscas. En esta formación son frecuentes y variados los cambios faciales entre sus componentes terrígenos y carbonatados. La Formación Esperanza es rica en materia carbonosa, encontrándose los contenidos más altos en calizas (7 – 30 %) y pizarras (10 - 30 %). La parte superior de esta unidad presenta capas y lentes de gabrodiabasas y diabasas, generalmente concordantes con el medio encajante, dominando la variedad porfirítica entre ellas. Los cuerpos ígneos tienen dimensiones muy variadas, presentando xenolitos de rocas encajantes en su interior y zonas endurecidas a lo largo de sus contactos.

En la Formación Esperanza predominan los depósitos sedimentarios piríticos con Cu y Co, entre los que sobresalen los que forman el Campo Mineral Unión – Juan Manuel (Unión I y II, Juan Manuel, Cayo Alto) y el Campo Mineral Hierro (Hierro Mantua, Copales, Carril, Olga). Algunos autores han clasificado los mismos dentro del tipo Besshi (Russell et al, 2000). También hay pequeñas acumulaciones cupríferas asociadas a cuerpos intrusivos subvolcánicos de composición básica, como Chiquita, Río Rosas y otros.

Los depósitos de esta formación suelen contar con varios horizontes minerales, siendo la secuencia encajante de limolitas, argilitas, pizarras y calizas carbonosas, con abundantes



sulfuros diseminados y en forma de concreciones, siendo característica la presencia de estratos poco potentes y lentes de chamoisita, hematita, siderita y concreciones ferruginosas. En los cuerpos minerales predominan las menas piríticas con cobalto en unos casos y las piritos - calcopiríticas en otras, siempre con mayor o menor presencia de Co. Sus límites son graduales y sus acunamientos suaves. En algunos casos, estos contactan con cuerpos subvolcánicos gabro-diabásicos concordantes, plegados junto con la secuencia encajante. El Co se asocia con la pirita. Las menas también contienen impurezas pesadas (Ni, Cr, Mn, Ti, Ba), así como Ag y Au. Las alteraciones hidrotermales tienen poca propagación alrededor de los cuerpos minerales. La yacencia concordante de las menas, plegada conjuntamente con el medio encajante, la morfología estratiforme de los cuerpos minerales y su distribución en varios niveles mineralizados, la abundancia de la pirita globular, la presencia de pirita framboidal, el carácter difuso de los contactos mena – rocas encajantes, entre otros elementos, indica una génesis singenética primaria para estos depósitos, con variable mineralización hidrotermal superpuesta. Los valores de ^{34}S obtenidos en el Campo Mineral Unión oscilan entre +7,5 y +11,5 ‰, sugieren una reducción inorgánica del SO_4 marino, como resultado de la interacción del agua de mar con el material efusivo básico caliente (García, 1989).

DISCUSION

Hasta ahora, el Miembro Castellano ha sido considerado parte integrante, junto a zonas de la Formación San Cayetano, de diversas unidades metalogénicas definidas por diferentes autores dentro de la Zona Metalogénica Guaniguanico. Sin embargo, existen elementos suficientes, en términos de ambiente deposicional, contenido de materia orgánica, tipo de depósitos hospedados, así como de especialización geoquímica y metalogénica, para considerar al Miembro Castellano como una unidad metalogénica independiente, con personalidad propia.

El Miembro Castellano, representa un ambiente deposicional litoral - lagunal, a diferencia de la Fm. San Cayetano, caracterizada por una variedad de ambientes deltáicos y litorales sumergidos y emergidos, tales como llanura de inundación, canales de marea, planicie de marea, litoral de playa, lacustre, lagunal costero y de abanico deltáico submarino. El mismo se distingue en este aspecto de la vecina Formación Esperanza, representativa de sedimentos terrígenos y carbonatados depositados en un ambiente de mar abierto.

Como puede verse, existen claras diferencias en lo que a ambiente deposicional se refiere entre el Miembro Castellano y las unidades litoestratigráficas que lo rodean, aunque todas tienen como denominador común la presencia de condiciones anóxicas y euxínicas durante la acumulación de sus sedimentos. En este aspecto, el Miembro Castellano se destaca por presentar las condiciones medioambientales más reductoras. Un elemento que distingue radicalmente a la Fm Esperanza de las otras dos unidades analizadas aquí es la presencia de cuerpos ígneos subvolcánicos (a veces efusivos) básicos, generalmente concordantes con la estratificación, ausentes en las otras.

Aunque las tres unidades litoestratigráficas mencionadas son ricas en materia orgánica, el Miembro Castellano se destaca por tener contenidos muy elevados de materia orgánica carbonosa, a veces acompañada por bitúmenes. En este aspecto, ella contrasta fuertemente con el resto de la Formación San Cayetano, la cual, aunque rica en materia orgánica, presenta contenidos claramente inferiores. La Formación Esperanza tiene un enriquecimiento en materia orgánica similar al Miembro Castellano, pero ambos se distinguen claramente por el ambiente deposicional.



El Miembro Castellano es portador de depósitos estratiformes pirítico - polimetálicos exhalativo - sedimentarios (Sedex), del tipo Selwyn de Zn - Pb - Cu - Ag - Au \pm Ba, de génesis primaria singenética, con variable mineralización hidrotermal epigenética superpuesta, albergados en secuencias de pizarras y limolitas negras calcáreas, frecuentemente silicificadas (en ocasiones hasta su conversión en cuarcitas). Estos depósitos se formaron en cuencas deposicionales de aguas someras, bajo condiciones reductoras, en ocasiones muy marcadas, a partir de salmueras reducidas de cuenca. Los mismos suelen poseer contenidos significativos de plata y oro (40 – 480 g/t, llegando hasta 1000 g/t, y 0,3 - 4,4 g/t respectivamente), así como zonas de stockwork cupríferas variablemente desarrolladas en sus flancos yacentes, tener menas bandeadas y laminadas, con distribución rítmica de los componentes útiles y una bien marcada zonación vertical química y mineralógica. En cambio, en la Formación San Cayetano, están ampliamente desarrollados los depósitos pirito - calcopiríticos, siendo subordinada la pirítico - polimetálica. En ellos también hay presencia de metales preciosos en cantidad variable. La Formación Esperanza alberga, por su parte, depósitos piríticos con Cu y Co estratiformes, de génesis sedimentaria singenética, con variable mineralización hidrotermal superpuesta, formados en un ambiente reductor de cuencas marinas moderadamente profundas, en la vecindad de cuerpos subvolcánicos, a veces efusivos, concordantes con el medio encajante, los que aportaron a las soluciones mineralizantes Co y otros elementos pesados presentes en dichas menas. Las otras dos unidades analizadas aquí se distinguen en este sentido por la ausencia de manifestaciones de actividad ígnea cercana a los depósitos minerales y sus secuencias portadoras.

En cuanto a la especialización geoquímica, es de destacar la presencia en el corte terrígeno - carbonatado de la zona metalogénica Guaniguanico de contenidos, en general, muy por encima del Clark de Cu, Ba y Co y por encima del Clark de Pb, y Zn. Los elementos principales en el Miembro Castellanos son Ba, Co, Cu, Pb, Zn y Ag, mientras que en la Formación San Cayetano (parte indiferenciada) son Ba, Co, Cu, Ni, Mo. En la Formación Esperanza son Ba, Co, Cu, Ni, Mo y Cr. Aunque los tres primeros elementos principales son iguales en ambas unidades, así como en la Formación Esperanza, El Miembro Castellano se distingue por la presencia de Pb, Zn y Ag. En cuanto a la especialización metalogénica, en el Miembro Castellanos los depósitos son portadores de S, Pb, Zn, Ba, Cu, Ag y Au. Los de la Formación San Cayetano, por su parte, contienen S, Cu, Ag y Au, con Pb y Zn en menor grado y a veces Co. La Formación Esperanza se distingue de las otras dos unidades porque sus depósitos son portadores de S, Cu, Co, Au y Ag.

Sobre la base de todo lo anterior, los autores consideran a la Formación Esperanza como una subzona metalogénica independiente dentro de la zona Metalogénica Guaniguanico, tal como ha sido ya reconocida por autores anteriores (Cabrera et al, 1989). Igualmente, proponen considerar el territorio abarcado por el Miembro Castellano como una nueva subzona metalogénica, denominada Subzona Metalogénica Castellano, ubicada dentro de la Zona Metalogénica Guaniguanico. Esta nueva unidad metalogénica se destaca por su alto potencial de recursos polimetálico - preciosos (más de 39 millones de t de mena evaluados hasta el momento), de ahí la gran importancia de su diferenciación.

CONCLUSIONES

EL Miembro Castellano representa un ambiente deposicional costero - lagunal de aguas someras anóxicas y/o euxínicas, mientras que la Formación San Cayetano es caracterizada por una variedad de ambientes deltáicos y litorales sumergidos y emergidos, tales como llanura de inundación, canales de marea, planicie de marea, litoral de playa, lacustre, lagunal costero y de



abanico deltáico submarino. También se distingue de la Formación Esperanza, representativa de sedimentos terrígenos y carbonatados depositados en un ambiente de mar abierto.

Las tres unidades litoestratigráficas analizadas son ricas en materia orgánica, siendo en Miembro Castellano la de mayores contenidos y la Fm. San Cayetano la menos abundante en sustancia carbonosa.

El Miembro Castellano es portador de depósitos polimetálicos y pirito - polimetálicos exhalativo - sedimentarios del tipo Selwyn, portadores de Zn - Pb - Cu - Ag - Au \pm Ba, hospedados en pizarras negras, limolitas y cuarcitas o areniscas muy silicificadas. Ellos suelen ser química y mineralógicamente bandeados.

El Miembro Castellano se distingue por su especialización geoquímica (dada por los elementos Ba, Co, Cu, Pb, Zn y Ag), diferente a la especialización de la subzona Esperanza (Ba, Co, Cu, Ni, Mo, Cr) y de la presentada por la Fm. San Cayetano (Ba, Co, Cu, Ni, Mo) en las Alturas Pizarrosas del Norte, así como por su especialización metalogénica polimetálica.

Existen elementos suficientes, en términos de ambiente deposicional, contenido de materia orgánica, tipo de depósitos hospedados, así como de especialización geoquímica y metalogénica, para considerar al Miembro Castellano como una subzona metalogénica independiente, con personalidad propia, dentro de la Zona Metalogénica Guaniguanico.

Se reafirma la validez de la Subzona Metalogénica Esperanza y se propone una nueva unidad metalogénica, denominada Subzona Metalogénica Castellano, que abarca toda el área de propagación del Miembro Castellano en el Terreno Guaniguanico, perteneciente a la Zona Metalogénica Guaniguanico.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Barzana, J. A., E. Rodríguez, A. Salinas, D. Méndez, N. Estrada, C. Romero, A. Martínez, J. Cuní (1988): *Informe búsqueda detallada de sulfuros de Cu y polimetálicos entre los yacimientos Matahambre y Nieves y flanco oeste de Nieves*. Inédito, Oficina Nacional de Recursos Minerales.
- Cabrera R, I.N. Tijomirov, R. M. Lavandero, F. Formell, J. Montenegro, J. M. López, D. García, M. Pardo, G. Correa, K. P. Stanek, S. Gil, F. Bravo, X. Casañas, G. Pantaleón, A. N Barishev, Y.Y. Bulguelskiy, G. G. Gue, I. Lozanov, A.R Morales, O Vázquez, D. Sosa, D. González, N. Cuellar, U. Roque, L. Murguía, J. Díaz(1989): *Mapa Metalogénico de la República de Cuba a escala 1: 500000*. Instituto de Geología y Paleontología. Inédito.
- García, C. (1989): *Resumen de la Tesis por la obtención del título Candidato a Doctor en Ciencias Geólogo – mineralógicas “Geología del campo mineral Unión y perspectivas de yacimientos sulfurosos de la Fm. Esperanza”*. Inédito. Instituto de Geología y Paleontología.
- García, L., N. Escalona, G. Seisdedos (1979): *Exploración detallada del flanco NE del yacimiento Santa Lucía, Pinar del Río*. Inédito.
- Haczewski, G.(1987): *Reconocimiento sedimentológico de la Formación San Cayetano. Un margen continental acumulativo en el Jurásico de Cuba occidental. Contribución a la Geología de Pinar del Río*, Pszezolkowski, A., K. Piostrowska, J. Piostrowski, A. De la Torre, R. Myczynski, G. Haczewski (eds): Editorial Científico – Técnica, La Habana, 228 – 247.
- Iturralde – Vinent, M. A. (1996): *Introduction to cuban geology and tectonics. Cuban ophiolites and volcanic arcs*. Iturralde-Vinent, M.A. (ed): IUGS/UNESCO International Geological Correlation Programme. Project 364, Special Contribution No 1, 3 - 35.



- Kerr, A. C., M. A. Iturralde Vinent, A. D. Saunders, T. L. Babbs & J. Tarney (1999): A new plate tectonic model of the Caribbean: Implications from a geochemical reconnaissance of Cuban mesozoic volcanic rocks. *Geol. Soc. Amer. Bulletin*. III Vol.11, 1581 - 1599.
- Lara, J., M. Izquierdo, C. Padrón, N. Martínez, R. Córdova (1989): Informe sobre los resultados de la búsqueda evaluativa de sulfuros en los sectores Baja – Vegueta – La Vitrina, dentro del campo mineral Santa Lucía – Castellano. Inédito.
- Lobanov, P., A. Zhidkov, M. Estrugo, G. Vavilov, V. Shelagurov, J. Ruizhkov (1976): Informe sobre la exploración preliminar del yacimiento pirita – polimetálico Castellano durante los años 1972 – 74 con el cálculo de reservas según estado el 1 – 1 – 75. Inédito.
- Ovchinnikov, V., M. Robaina, A. Hernández, M. Valdivia, A. Rodríguez, A. Salinas, R. Fernández, N. Estrada, A. Martínez (1993): Informe sobre los resultados de la exploración detallada del yacimiento pirítico – polimetálico Santa Lucía en la provincia Pinar del Río, realizados durante los años 1982 – 1987 con el cálculo de reservas hasta el 1 de Dic. De 1993. Inédito.
- Puentes, R., J.V. Pedraza, A.M. Barrios, J. A. Castañeda, A. Valido, A. Salinas, E. Rodríguez, R. González, D. Díaz, J. Guerra, S. Solier, R. Barrios, N. Hernández, J. L. Hernández, J. L. González (1991): Informe prospección preliminar de Cu en las Alturas Pizarrosas del Norte. Inédito.
- Russell, N., J. Moreira, R. Sánchez (2000): Volcanogenic massive sulphide deposits of Cuba. VMS Deposits of Latin America. R. Sherlock, M. A. V. Logan (Eds). Geological Association of Canada Mineral Deposits Division, Special Publication No 2, 241 – 258.
- Valdés, E. L., A. Díaz, J. F. Davies, R. E. Whitehead, L. Fonseca (1993): Cogenetic Sedex Zn – Pb and stockwork Cu ores, Western Cuba. *Exploration, Mining and Geology*, Vol 2, No 4, 297 – 305.
- Vershigora, N., A. Prianjin, N. A. Fernández, Y. Karpov, R. Fernández, L. Oubiña, J. Castañeda, T. Ayata, M. Valdivia, J.R. Rosas, A. Klimov, L. Kranin, N. Escalona, L. Santamaría, A. Kumalakov, D. Konoplin (1983): Informe de búsqueda a escala 1:10000 realizada en el campo mineral Castellano – Santa Lucía. Inédito.
- Whitehead, R. E., J. F. Davies, E. L. Valdés, A. Díaz (1996): Mineralogical and chemical variations, Castellanos shale – hosted Zn – Pb – Ba deposit, Northwestern Cuba. *Economic Geology*, Vol 91, No 4, 713 – 722.
- Yurpalov, G., M. Zamaschikov, V. Sedov, S. Antoneev, V. Shulzhenko, Y. Anisimov (1972): Informe con el cálculo de reservas de las menas de plomo – zinc del yacimiento Santa Lucía según los trabajos de exploración geológica realizados en 1969 – 1972. Inédito.



LOS ESQUISTOS GRAFITICOS NEGROS DEL TERRENO ESCAMBRAY, CUBA CENTRAL

Jorge Luis Torres Zafra, Justo Luis Montano Pérez, Rafael Miguel Lavandero Illera

Instituto de Geología y Paleontología, Vía Blanca y Línea del Ferrocarril S/N, San Miguel del Padrón, Ciudad de La Habana, Cuba, C. E mail: zafra@igp.minbas.cu

RESUMEN

En Cuba las secuencias ricas en materia orgánica, están ampliamente representadas (terrenos Guaniguanico, Pinos, Escambray y margen continental pasivo de Norteamérica), constituyendo ambientes favorables para la ocurrencia de lutitas, pizarras y esquistos negros metalíferos. Las principales manifestaciones de grafito en el país se encuentran en la Isla de la Juventud y en el Escambray, reportándose su presencia en las provincias de Pinar del Río y Guantánamo. Los trabajos realizados por los autores en los años 2000 y 2001, se caracterizaron seis localidades del Terreno Escambray (incluido el depósito Algarrobo IV), mediante muestras litogeoquímicas, mineralógicas y petrográficas. La comparación de los resultados obtenidos con algunos patrones internacionales de pizarras negras metalíferas, permitió establecer que, en todos los casos, estas localidades están enriquecidas en 1 a 4 metales, siendo los esquistos presentes de alto y bajo calcio. La abundancia de materia orgánica en el corte litoestratigráfico y la presencia de concentraciones anómalas de Au, sugieren que las soluciones mineralizantes eran del tipo Selwyn. La fuente principal de metales fue el magmatismo subcalcalino de margen continental. La región estudiada, por todo lo dicho, es perspectiva para depósitos de esquistos negros con contenidos significativos de oro. En cuanto al grafito, se determinó, a partir de los resultados de muestras mineralógicas tomadas, que la calidad de la materia prima gráfica había sido subvalorada durante la realización de trabajos anteriores dirigidos a su estudio y evaluación.

ABSTRACT

Rock sequences rich in organic matter are broadly represented In Cuba (Guaniguanico, Pinos and Escambray terrains, as well as the passive continental margin of North America). They represent favorable environments for the occurrence of metalliferous black shales and black schists. Most remarkable graphite outcrops of the country occur in the Isla de la Juventud and in Escambray. Its presence have been reported in the Pinar del Río and Guantánamo provinces as well. As a result of the works carried out by the authors between the years 2000 and 2001, six localities of the Escambray Terrain were characterized (included the Algarrobo IV deposit) based on the analysis of litogeochemical, mineralogic and petrographic samples. The comparison of the results obtained with some international patterns of metal-bearing black shales, allowed as to settle down that, in all the cases, these localities are enriched in 1 to 4 metals, being the present schists of high and low calcium. The main source of metals was the subalkaline magmatism of continental margin. The studied region, is considered as perspective for deposits of black schists with significant contents of gold. Otherwise, in the case of graphite, basing on mineralogical samples results, it was determined that, during the previous works, the quality of the graphitic matter was not appropriately valued.

Introducción

La importancia económica de los yacimientos de menas metálicas de metales bases y preciosos hospedados en ambientes sedimentarios ricos en materia orgánica experimentó un gran crecimiento en los últimos 20 años del siglo XX. Yacimientos industriales y prospectos de metales asociados a lutitas negras y rocas metaterrígenas derivadas de ellas han sido



encontrados en muchas partes del mundo, representando importantes fuentes de metales como Cu, Zn, Pb, Au, Ag, U, V, Hg, Sb, Mn, Ni y otros. Igualmente son de gran importancia las secuencias carbonatadas ricas en materia orgánica, las que albergan depósitos polimetálicos sedimentarios de varias clases, entre ellos los de tipo Carlin y MVT, suministradores de grandes cantidades de metales base y de apreciables volúmenes de oro en el ámbito mundial. En ellas, además, se forman petróleo y carbón, estando el grafito asociado a las variedades metamorizadas. De ahí la extraordinaria importancia de su estudio.

En Cuba las secuencias sedimentarias y metasedimentarias (en menor grado metavolcanógeno – sedimentarias), ricas en materia orgánica, están ampliamente representadas en los fragmentos de margen continental situados en el SW de Cuba (terrenos Guaniguanico, Pinos y Escambray) y en el margen continental pasivo de Norteamérica, así como en el Macizo Metamórfico Sierra del Purial. La posible existencia en el país de secuencias de lutitas o pizarras negras metalíferas (black shales) fue argumentada por primera vez en el trabajo “Posibilidades teóricas para la detección de Yacimientos de Oro - Plata en esquistos negros en la República de Cuba” (Lavandero, et al, 1996). En el mismo se analizan las principales premisas geológicas para la detección en Cuba de oro y plata en esquistos negros. Sus autores llegaron a la conclusión que las áreas favorables para esta clase de mineralización se localizan en la región occidental de Cuba (terrenos Guaniguanico y Pinos) y en la parte sur de la región central (Terreno Escambray), así como la zona de La Asunción, en la provincia Guantánamo.

Materiales y métodos

Para identificar los esquistos negros metalíferos en el Terreno Escambray, los autores utilizaron como patrones de referencia las lutitas negras metalíferas de Vine y Tourtelot (Huyck, 1991); el Marine Sciences Group Black-Shale Composite (MSG-BSC); el North America Shale Composite (NASC), publicadas por Quimby-Hunt et al (1997); así como el USGS Devonian Ohio Shale, from Kentucky (SDO-1), dado a conocer por Huyck (1991). Con fines comparativos, también se consultaron los datos de Turekian & Wedepohl, Taylor & Mc Lennan (Huyck, 1991 y Quimby-Hunt et al, 1997) y de Coveney Jr et al (1987).

El contenido en metales en las localidades estudiadas fue determinado a través de muestras litogeoquímicas, las que fueron analizadas por ICP para los elementos Cu, Pb, Zn, Ag, Hg, Bi, As, Sb y Mo y para Au mediante ensayo al fuego terminado en absorción atómica. Los límites de detección para estas determinaciones fueron de 1 ppm para todos los elementos analizados, excepto para el Bi (7 ppm) y el Au (10 ppb). La caracterización de las localidades fue complementada con el estudio de secciones delgadas petrográficas y de concentrados mineralógicos artificiales. El presente estudio fue completado con datos colectados por Pardo et al (1993) en el área de La Ventana (SW de la Cúpula Trinidad), quienes analizaron catorce elementos, y por Stanik et al (1981), en la manifestación Eugenio (NE de la Cúpula de Sancti Spiritus), los que determinaron cuatro elementos. En ambos casos, los contenidos fueron obtenidos por los citados autores mediante análisis espectrales por absorción atómica.

El contenido de grafito y otros minerales en las localidades estudiadas se realizó a través del examen al microscopio de concentrados mineralógicos artificiales (50 g), obtenidos a partir de muestras de afloramientos tomadas con ese fin. Fueron analizadas dos fracciones (+0,2 mm y 0,1 - 0,2 mm), determinándose el contenido de mineral mediante el promedio ponderado de los resultados de ambas fracciones.



Resultados

El Terreno Escambray, al igual que los terrenos Guaniguanico y Pinos, es un fragmento de margen continental, que, según varios autores (Iturralde – Vinent, M. A., 1996; Kerr *et al*, 1999), representa un fragmento del margen oriental del Bloque Maya (Plataforma de Yucatán). El mismo está compuesto por secuencias terrígenas y carbonatadas depositadas en ambientes de aguas someras, que pasaron progresivamente a ser de mar abierto. En ambos casos, dominaron las condiciones reductoras durante la mayor parte del tiempo. El magmatismo, de composición básica subalcalina (Stanik *et al*, 1981), representado por metagabros y metadiabasas, refleja una actividad ígnea en condiciones geotectónicas extensionales, propia del desarrollo del margen continental al que perteneció.

En el Terreno Escambray pueden distinguirse tres unidades estructurales (nappes o mantos tectónicos). En su conjunto, en este terreno el metamorfismo va disminuyendo de afuera hacia adentro. (Millán, 1993). Su evolución tectónica puede ser comprendida como el resultado del desprendimiento y arrastre de un segmento o microplaca continental y su colisión con el Arco Volcánico Insular Cretácico Antillano (dentro de su porción cubana). Durante esta colisión tuvo lugar el plegamiento múltiple de las secuencias del Terreno Escambray y la formación de las dos antiformal cupuliformes y la estructura nappe - escamada actual.

Este terreno constituye una unidad metalogénica independiente (Zona Metalogénica Escambray), que se caracteriza por ser portadora de menas piríticas con Cu, Zn, Pb \pm Au, Ag y Co, localizados principalmente en la Cúpula Trinidad (Campo Mineral Carlota – Guachinango). Estos depósitos han sido muy discutidos. Así, diferentes autores los han clasificado dentro de los tipos Besshi y Sedex, sugiriéndose incluso su posible pertenencia al tipo Chipre (Russell *et al*, 2000). Recientemente, los mismos han sido considerados también como depósitos semejantes al tipo Irish por los autores del presente trabajo (Montano *et al* 2001).

En todas las unidades litoestratigráficas del Terreno Escambray, excepto Loma Quivicán y Yayabo, es posible encontrar secuencias con concentraciones apreciables de grafito, siendo las unidades metaterrígenas las más favorables para ello. Las más perspectivas para la ocurrencia de depósitos de esquistos grafiticos metalíferos son las formaciones Loma La Gloria y La Sabina. La Fm Loma La Gloria ($J_1 - J_3^{ox}$) es una secuencia de esquistos metaterrígenos. En algunas partes del corte aparecen esquistos cristalinos poliminerale calcáreos y esquistos moscovítico – calcíticos, frecuentemente grafiticos. Son abundantes las intercalaciones ecológicas y de otras rocas. Esta formación aflora en las zonas externas de ambas cúpulas, con un grado mayor de metamorfismo regional de alta presión. La Fm. La Sabina (K_1) consiste en cuarcitas metasilicíticas bien estratificadas, con intercalaciones subordinadas de esquistos metasilicíticos - micáceos y aisladas de mármoles y metareniscas plagioclásicas.

Otras secuencias favorables son: Fm. La Chispa ($J_1 - J_3$). Es una secuencia de esquistos metaterrígenos cuarzo - micáceos, con intercalaciones de metasilicitas, esquistos metasilicíticos micáceos, esquistos verdes metavolcanógenos y mármoles o esquistos calcáreos. Esta formación se distribuye ampliamente en el interior de las dos cúpulas. Fm La Llamagua ($J_1 - J_3^{ox}$). Compuesta por metareniscas cuarcíferas con intercalaciones subordinadas de filitas lustrosas. Fm. San Juan (J_3 , - K_1 ?). Es un conjunto de mármoles grises a negros, generalmente bien estratificados, fétidos o con mucho grafito algunas veces. Fm. Los Cedros (K_1). Constituye una secuencia formada por mármoles foliados, generalmente bien estratificados, laminados o finamente bandeados, de color gris y de grano fino a medio, con diminutas escamas de mica blanca.



El contenido normal de grafito en las rocas grafitizadas del Terreno Escambray oscila entre 1 y 7 %. En las secuencias de esquistos negros de este terreno, sin embargo, es normal hallar contenidos entre 10 y 30 % de grafito, el que en algunas localidades llega a superar el 90 %. En el mismo hay esquistos negros de composición terrígena (de bajo calcio) y carbonatada (de alto calcio), por lo que en este estudio se describen localidades representativas de ambos tipos.

A continuación se describen las localidades incluidas en el presente estudio (ver figura No 1).

Arroyo Junco: Aquí afloran esquistos grafiticos negros intercalados con esquistos carbonático-cuarzo-grafíticos bien laminados de color gris, con vetillas de cuarzo metamórfico. Están compuestos por carbonatos, con granos y agregados aislados de cuarzo. El grafito se distribuye formando bandas paralelas. El horizonte grafitico es sobreyacido, en la parte más alta de los cortes observados, por una capa de esquistos carbonáticos de color crema oscuro a pardusco. El contenido de grafito (3 muestras), varía de 4,87 a 33,63 %.

Grafito Sector Algarrobo IV: En este depósito, prospectado para grafito (Montano et al, 1995; Albelo et al, 1997), hay estratos de esquistos muy ricos en grafito de 1,0 m de espesor, separados por 2 - 3 m de esquistos micáceo-grafíticos. Los esquistos grafiticos tienen aspecto terroso en las partes más intemperizadas y hojoso en las más frescas. La parte más pura de los estratos grafiticos tienen de 0,3 a 0,4 m de espesor. El contenido de grafito va de 30,63 % a 99,84 %.

En este depósito se ha reportado mineralización metálica sulfurosa en 10 de los pozos perforados durante los trabajos de prospección. Esta mineralización consiste en pirita cúbica diseminada, con tamaño entre 1 mm y 1,5-2 cm. La misma se localiza entre 20 y 60 m de profundidad. En dos de los 10 pozos mencionados, aparece calcopirita junto con la pirita (Montano et al, 1995; Albelo et al, 1997). Desdichadamente, no fue posible verificar el contenido de metales de este horizonte mineralizado.

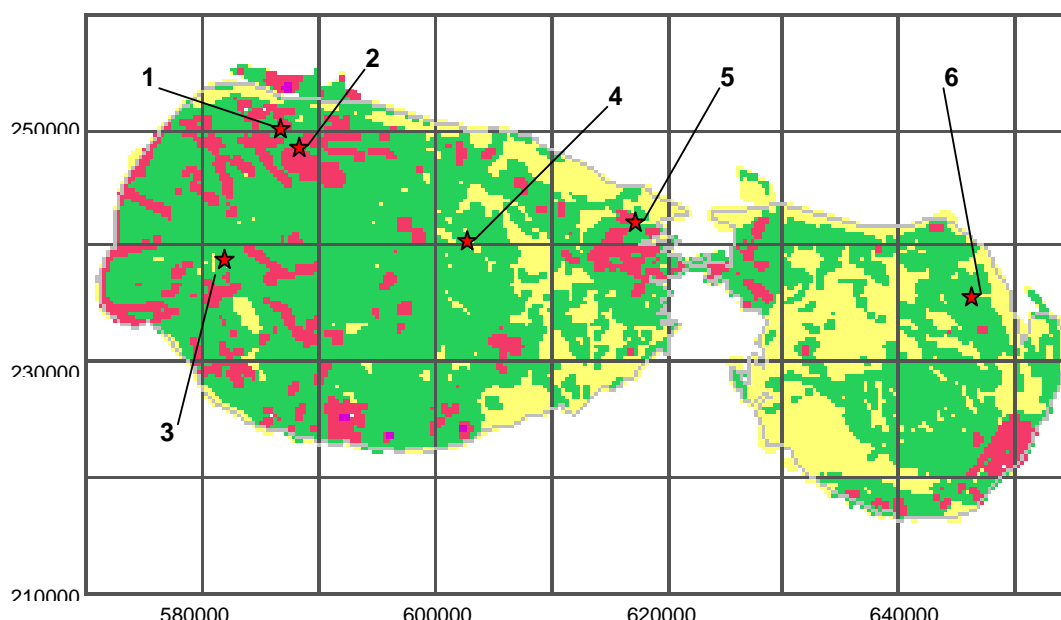
El Mamey A. Consiste en un corte natural de 10 m de altura y 20 m de longitud. Los esquistos grafiticos, ricos en calcio, están fuertemente plegados y en ocasiones contorsionados. El carbonato se dispone en agregados de granos alargados, presentando, al igual que el cuarzo, huellas de afectación tectónica. Diseminados en la roca, aparecen granos irregulares de pirita de hasta 1,0 mm. Se observa también mica blanca (moscovita y/o sericita) en aisladas y pequeñas escamillas, mientras que el grafito se distribuye formando bandas paralelas. Las rocas contienen 17,6 - 24,21 % de grafito, 0,32 - 0,41 % de pirita (fresca y limonitizada), hasta 1,21 % de moscovita y algo de limonita y sillimanita.

El Mamey B: Se trata de un afloramiento de 80 m de largo y 6 m de alto compuesto por esquistos carbonático-grafíticos, más calcáreos que los de la ocurrencia anterior. A poca distancia hacia el N, aparecen grandes y extensos afloramientos de calizas, muy grafiticas y esquistosas. Su potencia visible oscila entre 4 y 8 m, con una longitud total cercana a los 500 m. Las mismas presentan color gris acero oscuro. Contienen un 22,50 % de grafito, 0,16 % de pirita y alguna mica, plagioclasa y sillimanita. **Eugenio:** Se halla en la Cúpula de Sancti Spiritus y según Stanik et al (1981), consiste en una secuencia, pobre en calcio, de cuarcitas y esquistos cuarcíticos de coloración gris a negra, la cual está plegada isoclinalmente, con vergencia hacia el N. Las alas del pliegue buzan al S con 30 - 40 grados.




La Ventana: Se encuentra en la parte SW de la Cúpula Trinidad. Se trata de secuencias de esquistos silíceos grafiticos (de bajo calcio), que contactan con calizas marmolizadas grafiticas



al N y NE, haciéndolo al SW y S con metavolcanitas máficas (Pardo y Rodríguez, 1993, comunicación escrita).



LEYENDA

- | | |
|---|--|
|  | Area de bajo potencial de recursos |
|  | Area de alto potencial de recursos |
|  | Area de moderado potencial de recursos |

- | | |
|---------------|-----------------|
| 1. El Mamey A | 4. Arroyo Junco |
| 2. El Mamey B | 5. Algarrobo IV |
| 3. La Ventana | 6. Eugenio |

Figura No 1. Mapa clasificado de potencial para depósitos de esquistos negros metalíferos y ubicación de las localidades estudiadas.

Discusión

Para determinar si hay o no secuencias de esquistos negros metalíferos en el Terreno Escambray se confeccionó la tabla I, la cual ilustra el grado de enriquecimiento en metales de los esquistos gráficos carbonatados y terrígenos del Terreno Escambray. Como puede observarse en dicha tabla las seis ocurrencias estudiadas están enriquecidas en más de un metal (hasta cuatro). Tres corresponden a esquistos gráficos de composición carbonatada (de alto calcio) y las otras a esquistos gráficos de composición terrígena (de bajo calcio).

Arroyo Junco (4 muestras). El Bi, supera 4,42 veces su concentración media en el SDO-1 metalífero, mientras que el Au supera 2,74 veces su concentración media del MSG-BSC. El contenido de Zn, aunque supera con amplitud el umbral "metalífero" del SDO-1, solo se acerca



al contenido medio para este metal en el MSG-BSC y es muy inferior al umbral para las lutitas negras metalíferas de Vine y Tourtelot. Por lo anterior, se considera que su contenido en esta localidad es normal.

El Mamey A (1 muestra). Los esquistos gráfiticos (de alto calcio) están enriquecidos en tres metales (Cu, Pb y Sb). Los contenidos de Cu y Pb superan 2,1 y 1,17 veces sus respectivas concentraciones en las lutitas metalíferas de Vine y Tourtelot, así como los umbrales metalíferos, más bajos, para el SDO-1. El contenido de Sb, por su parte supera 8,77 veces la media del MSG-BSC, 5,5 veces la del SDO-1 metalífero y 23 veces su contenido medio en el NASC. Ellos están empobrecidos en As y Bi con relación a todos los patrones de referencia usados. El contenido de Mo es similar al reportado para el MSG-BSC y deprimido con respecto al SDO-1.

El Mamey B (1 muestra). Los esquistos gráfiticos (de alto calcio) están enriquecidos en Cu, Pb, Sb y Hg. El Cu y el Pb superan respectivamente en 3,8 y 2,1 veces su media en las lutitas metalíferas de Vine y Tourtelot. El Sb supera 9,3 veces su concentración media en el MSG-BSC y 5,9 veces la del SDO-1 metalífero. Por su parte, el Hg supera 1,6 veces su contenido medio en el SDO-1 metalífero, lo cual es significativo, por ser este un elemento indicador para el Au, cuya concentración aquí supera 1,87 veces la media en el MSG-BSC.

Eugenio (20 muestras). Los esquistos cuarcíticos presentan enriquecimientos muy significativos en Ni, Cu, Zn y Mn. El Cu, Ni, y Zn superan en 4; 7 y 1,6 veces sus correspondientes contenidos en las lutitas ricas en metales de Vine y Tourtelot, superando, con gran amplitud, los umbrales respectivos en el SDO-1. Finalmente, el Mn supera 41 veces el contenido medio en las lutitas ricas en metales de Vine y Tourtelot. Esta localidad no pudo ser muestreada por los autores del presente artículo, por lo cual se desconoce su contenido de Au y otros metales.

La Ventana (4 muestras). Los esquistos gráfiticos (de bajo calcio) están enriquecidos en Mn y Ag (2,27 y 1,71 veces su concentración media en las lutitas metalíferas de Vine y Tourtelot). Aunque hay que tomar en cuenta la baja confiabilidad del método analítico empleado para su determinación, los contenidos de Au reportados son muy altos (hasta 3000 ppb). El Y alcanza 1,87 veces su media en las lutitas metalíferas de Vine y Tourtelot y 1,61 veces la del SDO-1 metalífero.

Algarrobo IV (4 muestras). Las muestras tomadas de los esquistos gráfiticos (de bajo calcio) de este depósito de grafito, resultaron enriquecidas en Bi y en Au. El primero supera 1,19 veces el contenido medio en el SDO-1 metalífero. El contenido de Au es 2,22 veces mayor que la media en el MSG-BSC.

Al interpretar estos resultados, hay que tener presente que la acción del intemperismo en el Terreno Escambray alcanza los 15 - 25 m de profundidad, por lo que el contenido de metales en los afloramientos debe estar disminuido con relación a su concentración en esquistos negros frescos.

Aunque la cantidad de muestras analizadas no fue grande, los resultados presentados permiten a los autores afirmar que en el Terreno Escambray existen secuencias de esquistos gráfiticos ricos en metales, en no pocos casos derivadas de lutitas y pizarras negras metalíferas modificados por el metamorfismo regional, a semejanza de lo que ocurre con los esquistos negros metalíferos de los macizos metamórficos de Bohemia Central (Pasava et al, 1996) y otras partes del mundo.



El conjunto de resultados obtenidos sugiere que los esquistos grafiticos de composición carbonatada se caracterizan por presentar contenidos anómalos de Cu, Pb, Mo y Au \pm Zn, Bi, Sb, Hg y As, mientras que en los de composición terrígena presentan concentraciones anómalas de V, Cr, Ni, Mn, Zn y Cu \pm Au, Ag e Y.

Sobre la génesis de las acumulaciones de metales en los esquistos grafiticos del Terreno Escambray solo puede sugerirse un posible carácter exhalativo-sedimentario para el mismo. La amplia preponderancia de las secuencias reducidas ricas en materia orgánica en el corte litoestratigráfico del Terreno Escambray y la presencia de concentraciones anómalas de Au en ellas, sugieren que las soluciones mineralizantes portadoras de metales eran del tipo Selwyn. El magmatismo básico subalcalino de margen continental, contemporáneo con el desarrollo de las cuencas sedimentarias, fue la probable fuente principal de abastecimiento de metales para los fluidos mineralizantes (salmueras de cuenca + fluidos hidrotermales). Todo lo anterior permite pronosticar la posible presencia en el Terreno Escambray de secuencias de esquistos grafiticos metalíferos, terrígenos y carbonatados, con concentraciones significativas de oro microdisperso. Los resultados obtenidos en lo relacionado con el contenido de grafito presente en las localidades estudiadas y su comparación con los datos anteriores existentes revelaron los siguientes hechos:

- Que el contenido de grafito en el depósito Algarrobo IV oscila entre 30,63 y 99,84 %, lo cual contrasta fuertemente con el 1 - 5 % de C reportado en los trabajos de prospección realizados anteriormente en este depósito (Montano et al, 1995; Albelo et al, 1997). Es de notar que el grafito, como mineral, normalmente contiene un 80 % o más de carbono, de modo que un 30 % de grafito representaría siempre más de 20 % de C.
- Que en contenido "normal" de grafito en las rocas grafitizadas del Terreno Escambray, es de 1 a 7 %, llegando con frecuencia hasta el 10 %. Este contenido "normal" es lo que se correspondería con el 1 - 5 % de C reportado durante la realización de los trabajos de prospección para grafito mencionados.
- La determinación del contenido de C durante la prospección de Algarrobo IV se realizó en el laboratorio químico de la empresa de fundición Enrique Villegas, perteneciente al SIME. Estas determinaciones se hicieron utilizando un patrón de grafito industrial. En este sentido es probable que errores metodológicos en la ejecución de los ensayos incidieran en los bajos valores reportados.
- El contenido de grafito en las otras tres ocurrencias visitadas oscila entre 17 y 33 %.

Todo esto significa que en los trabajos anteriormente realizados la calidad de los esquistos grafiticos como materia prima para grafito, fue subvalorada. Esta conclusión es respaldada por los resultados positivos obtenidos en las pruebas de uso realizadas durante la realización de dichos trabajos. Así, la misma está evaluada como separador de moldes, agente de desmoldeo en mezclas autofraguantes a partir de silicato de Na como agente aglutinante en la fabricación de madres para vasos de filtros, poleas de cigüeñal y múltiples de escape a escala industrial. También está evaluada como material para espolvorear los moldes de arena y evitar la interacción molde – metal en el acabado de las piezas fundidas. Igualmente, en el Laboratorio de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Mecánica de la Universidad Central de Las Villas se realizaron estudios sobre la preparación de grasas lubricantes especiales con estos esquistos grafiticos.



Conclusiones

En el Terreno Escambray existen secuencias de esquistos gráfiticos metalíferos, enriquecidos en 1 a 4 metales, con Cu (hasta 1400 ppm), Zn (hasta 2500 ppm), Ni (hasta 1200 ppm), Au (hasta 0,3 g/t), Ag hasta 16 ppm), Mn (hasta 4,1 %) e Y (hasta 152 ppm),

Los esquistos gráfiticos metalíferos del Terreno Escambray pueden ser divididos en dos grupos: 1) De alto Ca (carbonatados), caracterizados por contenidos anómalos de Cu, Pb, Mo, Au \pm Zn, Bi, Sb, Hg y As. 2) De bajo Ca (terrígenos), con anomalías asociadas de V, Cr, Ni, Mn, Zn, Cu \pm Au, Ag, e Y.

Los esquistos gráfiticos metalíferos de las localidades Arroyo Junco, La Ventana, El Mamey B y Algarrobo IV presentan anomalías geoquímicas de Au (43-94 ppb). El contenido de grafito en los esquistos gráfiticos ricos en este mineral en el Terreno Escambray oscila entre 10 y 99 %.

El predominio de las secuencias reducidas ricas en materia orgánica en el corte litoestratigráfico del Terreno Escambray y la presencia de concentraciones anómalas de Au en ellas, sugiere que las soluciones mineralizantes portadoras de metales eran del tipo Selwyn. Por tanto, la región estudiada es perspectiva para la localización de posibles depósitos de esquistos gráfiticos metalíferos con concentraciones significativas de oro.

El Terreno Escambray constituye una zona metalogénica caracterizada por la presencia en ella de depósitos piríticos con Cu, Zn, Pb \pm Au, Ag y Co y esquistos gráfiticos negros metalíferos.

En los trabajos anteriormente realizados la calidad de los esquistos gráfiticos como materia prima para grafito, fue subvalorada. Su reevaluación podría permitir la sustitución de importaciones, especialmente en la esfera de la industria sidero – mecánica.

Bibliografía

- Albelo, A., C. Vázquez, A. Suarez, T. García, M. Lewis (1997): Informe exploración orientativa y detallada Grafito Escambray sector Algarrobo IV. Inédito
- Bloomstein, E. I., Clark, J. B., 1991, Geochemistry of the ordovician high – calcium black shales hosting major gold deposits of the Getchell Trend in Nevada, en Metaliferous black shales and related ore deposits – proceedings, 1989 United States Working Group Meeting, International Geological Correlation Program Porject 254. Grauch R. I. And Holly LO. Huyck Eds: US. Geological Survey Circular 1058, p 1 – 5.
- Coveney Jr, R. M., J.S. Leventhal, M. D. Glascoćk, & J. R. Hatch (1987): Origins of metals and organic matter in the Mecca Quarry Shale Member and stratigrafically equivalent bed across the Midwest. Economic Geology, Vol. 82, 915 - 933.
- Huyck, H. L. O. (1991): When is a metalliferous black shales not a black shale?. Metaliferous black shales and related ore deposits - Proceedings, 1989 United States Working Group Meeting, International Geological Correlation Program Porject 254. Grauch R. I. y Holly LO. Huyck Eds: US. Geological Survey Circular 1058, 42 - 56.
- Iturralde – Vinent, M. A. (1996): Introduction to cuban geology and tectonics. Cuban ophiolites and volcanic arcs. Iturralde-Vinent, M.A. (ed): IUGS/UNESCO International Geological Correlation Programe. Project 364, Special Contribution No 1, 3 - 35.
- Kerr, A. C., M. A. Iturralde Vinent, A. D. Saunders, T. L. Babbs & J. Tarney (1999): A new plate tectonic model of the Caribbean: Implications from a geochemical reconniassance of cuban mesozoic volcanic rocks. Geol. Soc. Amer. Bulletin. III Vol.11, 1581 - 1599.



- Lavandero, R. M., G. Millán & G. Ardanza (1996): Posibilidades teóricas para la detección de yacimientos del tipo de oro – plata en esquistos negros en la República de Cuba. Primer Seminario de tecnología de oro TecnoOro 96, 284 - 289.
- Leyva, J., M. Lewis, R. Moya (1992): Informe preliminar de la prospección preliminar y detallada Grafito Escambray (cancelado). Inédito
- Millán, G. (1993): Evolución del macizo de Escambray, Sur de Cuba central. Ciencias de la Tierra y del Espacio. No 21 – 22, 26 - 45.
- Montano, J. L., A. Albelo, M. Lewis, A. Suarez, M. Pérez, R. Barea, T. García, J. R. González, M. De los Angeles (1995): Informe prospección preliminar y detallada Grafito Escambray sector IV Algarrobo. Inédito.
- Montano, J. L., J. L. Torres, A. Suarez, I. Altarriba, R. M. Lavandero, J. Moreira, M. Pardo, D. González, X. Casañas, F. Bravo, G. Puentes (2001): Reevaluación metalogénica de los recursos minerales de oro, plata y polimetálicos asociados en esquistos negros (secuencias ricas en materia orgánica) Escambray. Inédito.
- Pasava, J., J. Hladíková, P. Dores (1996): Origin of proterozoic metal – rich black shales from the Bohemian Massif, Czech Republic: Economic Geology, Vol.91, No 1, 63 - 79.
- Quimby-Hunt, M. S., P. Wilde, C. J. Orth & W. B. N. Berry (1997): Elemental geochemistry of black shales-Statistical comparisom of low-calcic shales with other shales: Modificado para la WWW del U.S. Geological Circular 1037 Metalliferous black shales and related ore deposits. Grauch, R.I. y S. Leventhal (Eds,1989), 8 – 15.
- Smeth, J. B., 1997, Exploration Geochemistry. ITC, Neederland
- Russell, N., J. Moreira, R. Sánchez (2000): Volcanogenic massive sulphide deposits of Cuba. VMS Deposits of Latin America. R. Sherlock, M. A. V. Logan (Eds). Geological Association of Canada Mineral Deposits Division, Special Publication No 2, 241 – 2



Tabla No I. **Enriquecimiento en metales de los esquistos gráficos del Terreno Escambray.**

Localidad	As (g/t)	Ni (g/t)	Bi (g/t)	Y (g/t)	Cu (g/t)	Hg (g/t)	Mo (g/t)	Pb (g/t)	Mn (g/t)	Sb (g/t)	Zn (g/t)	Ag (g/t)	Au (ppb)
Arroyo Junco	1-312		44,2		70,7	-1	10	18,2		-1 a 10	238,3	-1	63
El Mamey A	1		-7		419	3	61	117		50	38	-1	39
El Mamey B	1		-7		767	8	59	126		53	99	-1	43
Algarrobo IV	1		19,8		10,5	-1	-1 a 15	9,5		-1 a 2	6,8	-1	51
Eugenio (5)		1200			1400				41000		2500		
La Ventana (4)		83 - 154		131	49-122			42 - 45	2724		59-132	12	1680
Lutitas(1)	15	50	0,18	30	70	0,5	10	20	150	1	350	1	4
Lutitas N (2)		300		70	200		200	100	1000		1500	7	
MQ (3)	19-35	370-530					690-2500		100-360		1300-3350		
MSG - BSG (6)	28,8						65,0		383		310		23
T y W (7)							2,6		850		95		
T y M (8)							1,0		850		85		
NASC (9)	28,4								465	2,09			
SDO-1 met (10)	137	199	10	81	120	5	134	56		9	128	0,262	6
High-Ca Nv. (11)	312	88			164	6	60	20		42	198	0,64	

- (1) Lutitas medias. Vine y Tourtelot (1970) *fide* H. L. O. Huyck (1991) y Levison (1980) *fide* Smeth (1997).
- (2) Lutitas ricas en metales. Vine y Tourtelot (1970) *fide* H. L. O. Huyck (1991).
- (3) Mecca Quarry shale Member. Coveney, Leventhal, Glascoćk y Hatch (1987).
- (4) M. Pardo, G. Millán y A. Rodríguez (1993, comunicación escrita)
- (5) Stanik et al (1981)
- (6) Marine Sciences Group Black-Shale Composite (Quimby-Hunt et al, 1997)
- (7) Turekian y Wedepohl (1961) *fide* Quimby-Hunt et al (1997)
- (8) Taylor y McLennan (1985) *fide* Quimby-Hunt et al (1997); Taylor y McLennan (1988) y Quimby-Hunt et al (1989) *fide* H.L.O. Huyck (1991)
- (9) North America Shale Composite (*fide* Quimby-Hunt et al,1997)
- (10) USGS Devonian Ohio Shale (from Kentucky). H. L. O. Huyck (1991)
- (11) Lutitas negras de alto calcio de Nevada (Comus Fm, Pilot Shale Fm. y Woodruff Fm.). Bloomstein y Clark (1991).



POTENCIAL PARA DEPOSITOS DEL TIPO KUROKO EN LAS FORMACIONES DEL ARCO VOLCÁNICO CRETACICO DE CUBA CENTRAL

Justo Luis Montano Pérez⁽¹⁾, Jorge Luis Torres Zafra⁽¹⁾, Rafael Lavandero⁽¹⁾, Jesús Moreira⁽¹⁾.

(1) Instituto de Geología y Paleontología, Vía Blanca s/n, e/ Carretera Central y Línea de F.F.C.C., Virgen del Camino, San Miguel del Padrón, Ciudad de la Habana, Cuba, C. Eléct: montano@igp.minbas.cu

RESUMEN

El análisis integrado de datos geológicos, aeromagnéticos, geoquímicos, de imagen de satélite e información de las ocurrencias minerales fue realizado en las rocas volcánicas - sedimentarias de la región central de Cuba, implementando un SIG. Estas secuencias de rocas representan una estructura regional con alta potencialidad para hospedar mineralización del tipo VMS, aseveración apoyada por la presencia de numerosos depósitos, manifestaciones minerales y anomalías que poseen esos rasgos distintivos. Para la realización de este trabajo se asume el modelo conceptual de depósitos VMS (del tipo Kuroko). Los diferentes factores que caracterizan la mineralización esperada fueron agrupados en mapas derivados o de evidencias, a los cuales les fueron asignados diferentes pesos basándonos en un sistema de expertos. Para la adición final de los mapas se usó el modelo de superposición indexada. La combinación de las diferentes particularidades espaciales fue útil para la obtención de áreas con un alto potencial para mineralización del tipo VMS. Basados en la coincidencia y relaciones cercanas entre esas particularidades, algunas áreas perspectivas fueron finalmente establecidas.

ABSTRACT

The application of conceptual mineral exploration models in the GIS environment to generate mineral potential maps is illustrated in this paper. The different criteria provided by a conceptual mineral exploration model for volcanogenic sulphide massive (VMS) Kuroko-type mineralization were implemented here to classify the potential of an area within the volcano-sedimentary rock sequences in the central part of Cuban archipelago. Geological map data, geochemical data, geophysical data, TM-Landsat imagery and mineral occurrences database were used as data input to the GIS. Processing of the data yielded the derivative maps, which were used as indicators of VMS-type mineralization. Weights were assigned to the derivative maps on the basis of an expert-based model and then were combined using index overlay model. Sites with well-known mineralization, as well as some new targets were outlined as highly favourable.

Introducción

Generalidades

El análisis de la información geográfica no constituye un nuevo concepto sino que, por centurias, algunas individualidades con habilidades en las matemáticas, geografía, cartografía y disciplinas afines han analizado las relaciones espaciales y creado en base a ello mapas especializados. Sin embargo han sido relativamente pocas las personas que se han destacado por poseer las habilidades necesarias para realizar esta tarea de manera efectiva. La superposición de transparencias es la manera mas común para la realización de los análisis manuales. Estos análisis son considerados por muchos como análogos de los sistemas de información geográfica (SIG) actuales. Los avances en la rama de la computación posibilitan



que los SIG digitales realicen las tareas inherentes a estos análisis mucho mejor y más rápido que utilizando los métodos manuales tradicionales. El uso de los SIG ha mejorado la eficiencia en la evaluación y combinación de las evidencias para la predicción de zonas favorables para la exploración mineral (Bonham-Carter, 1994). Los diferentes estadios en el proceso de los SIG son guiados por los modelos conceptuales, de ahí que su formulación en la fase inicial de la investigación sea extremadamente importante. La selección de los datos a ser analizados y la determinación de las características asociadas con la mineralización esperada, así como la asignación de los pesos a esas características dependen del modelo de yacimiento escogido. En el presente trabajo se ilustra la aplicación del modelo conceptual de depósitos tipo volcánico de sulfuros masivos (VMS), implementando el ILWIS, software desarrollado por el Instituto Internacional de Ciencias de la Tierra y el Espacio (ITC) de Holanda. Para la clasificación del potencial de VMS en el área investigada fueron integrados datos geológicos, geoquímicos, geofísicos, de imágenes de satélite TM-Landsat y una base de datos de ocurrencias minerales.

Modelo de depósitos del tipo VMS (Subtipo Kuroko)

Los depósitos Kuroko representan un ejemplo particular de depósitos del tipo volcánico de sulfuros masivos (VMS). Una descripción general con las principales particularidades de tales depósitos, de acuerdo a la clasificación de Hōy (1995) del Servicio Geológico de Columbia Británica (Canadá), fue adoptada para este trabajo. En los depósitos tipo Kuroko la distribución de metal ha sido comúnmente reportada en uno o mas lentes de sulfuros masivos, representados por esfalerita, galena y calcopirita, dentro de rocas volcánicas félsicas en una secuencia de arco del tipo bimodal calcoalcalina. Los lentes pueden estar zonados, con una base rica en Cu y una parte superior rica en Pb-Zn. Zonas de stockwork con contenidos de baja Ley sobreyacen a los lentes, mientras que capas de barita o chert ferruginoso pueden yacer más arriba.

Los depósitos volcánico de sulfuros masivos del tipo Kuroko se forman en una fase de volcanismo marino, durante un período más félsico, en una asociación predominantemente andesita - basáltica (riolita o dacita asociados con andesita o basalto). Ellos están generalmente asociados a fallas o fracturas prominentes.

Según Watkins (1997), dentro de los rasgos estructurales y litológicos que reflejan el ambiente geológico de deposición y guardan estrecha relación con los depósitos tipo VMS se destacan: a) enjambres de diques, diatremas y estructuras anulares, indicadoras todas de la proximidad de los centros volcánicos, b) rasgos asociados con el colapso de los aparatos volcánicos (calderas o grabens), domos félsicos, brechas piroclásticas, que ocupan los centros volcánicos, c) intrusiones subvolcánicas dentro de las rocas de caja.

De acuerdo a la clasificación asumida (Hōy, 1995), la mineralogía de mena de los depósitos tipo VMS - Kuroko, esta representada por dos zonas: una masiva superior y la otra masiva inferior. La zona masiva superior incluye pirita, esfalerita, galena, calcopirita, pirrotina, tetraedrita-tennantita, bornita y arsenopirita, en tanto que la zona masiva inferior incluye pirita, calcopirita, esfalerita, pirrotina y magnetita. Los cuerpos meníferos incluyen barita, chert, yeso y carbonatos cerca del tope de los lentes y carbonatos, cuarzo, clorita y sericita como minerales de ganga cerca de su base.

La presencia de halos de Zn, Hg y Mn, el incremento de K y Na y la descarbonatización en las rocas de caja caracterizan la señal geoquímica de los depósitos tipo Kuroko. El Cu, Ag, As, y



Pb están presentes en las proximidades mientras que los elementos Cu, Zn, Pb, Ba, As, Ag, Au, Se, Sn, Bi y As son comunes dentro de ellos.

Los lentes de sulfuros masivos usualmente muestran señales electromagnéticas o de polarización inducida, en dependencia del estilo de la mineralización y de la presencia en ella de sulfuros conductores.

Area de estudio

El área investigada se corresponde con las secuencias de rocas volcánogeno - sedimentarias del Arco Volcánico Cretácico de Cuba central y abarca aproximadamente unos 2000 km². El carácter del volcanismo es principalmente submarino, con manifestaciones locales de volcanismo subaereo. El mismo esta representado por las fases primitiva de arco y una posterior calcoalcalina, propia de un arco mas maduro (Iturralde-Vinent, 1996). La fase primitiva, de edad pre-Albiana, consiste de una secuencia bimodal de basaltos y andesito - basaltos y dacitas y/o riolitas (Donnelly y Rodgers, 1980), dentro de la cual se incluye la formación Los Pasos.

La fase calcoalcalina posterior consiste en andesito - basaltos y andesitas con importantes zonas locales de dacitas. Las rocas intrusivas presentes están compuestas predominantemente por granodioritas (Simon et al, 1999). Sus principales cuerpos fueron emplazados durante el Cenomaniano (Eguipko et al, 1984; Pérez et al, 1986) Cuerpos subvolcánicos y diques de posterior generación y composición básica y ácida atraviesan la secuencia de rocas volcánogeno -sedimentarias.

Dentro de las rocas del Arco Volcánico Cretácico de Cuba central han sido identificadas áreas de intensa alteración hidrotermal (silicificación, limonización, caolinitización y sericitización).

Basados en el modelo conceptual adoptado en el presente trabajo, los principales indicadores del potencial de VMS en el área son: 1). Su ubicación en un ambiente de arco de isla volcánico, 2). La presencia de rocas de origen submarino, 3). Presencia de fallas y zonas de fracturas con alteración hidrotermal, 4). Valores anómalos de Cu, Zn, Pb y Ba, 5). Valores anómalos en el campo magnético así como anomalías locales de polarización inducida y de resistividad, 6). Presencia de estructuras anulares, 7). Presencia de diques y cuerpos subvolcánicos tardíos, de diferente composición, 8). Presencia de mineralización con rasgos distintivos del tipo VMS - Kuroko.

Materiales y métodos

Clasificación del potencial de VMS

Para la clasificación del potencial de mineralización del tipo VMS en el área, se asumió la metodología multiestadío (Bonham-Carter, 1994), que incluye tres estadíos principales (ver figura 1). El primer estadío comprendió la entrada de todos los datos apropiados para la creación de la base digital de datos espaciales. El segundo tuvo como objetivo el procesamiento de esa base de datos, para extraer de ellos los rasgos distintivos del tipo de mineralización esperada, a ser utilizados como evidencias. Finalmente, el tercer estadío comprendió la combinación de todas las evidencias previamente extraídas y la creación de los mapas potenciales predictivos.

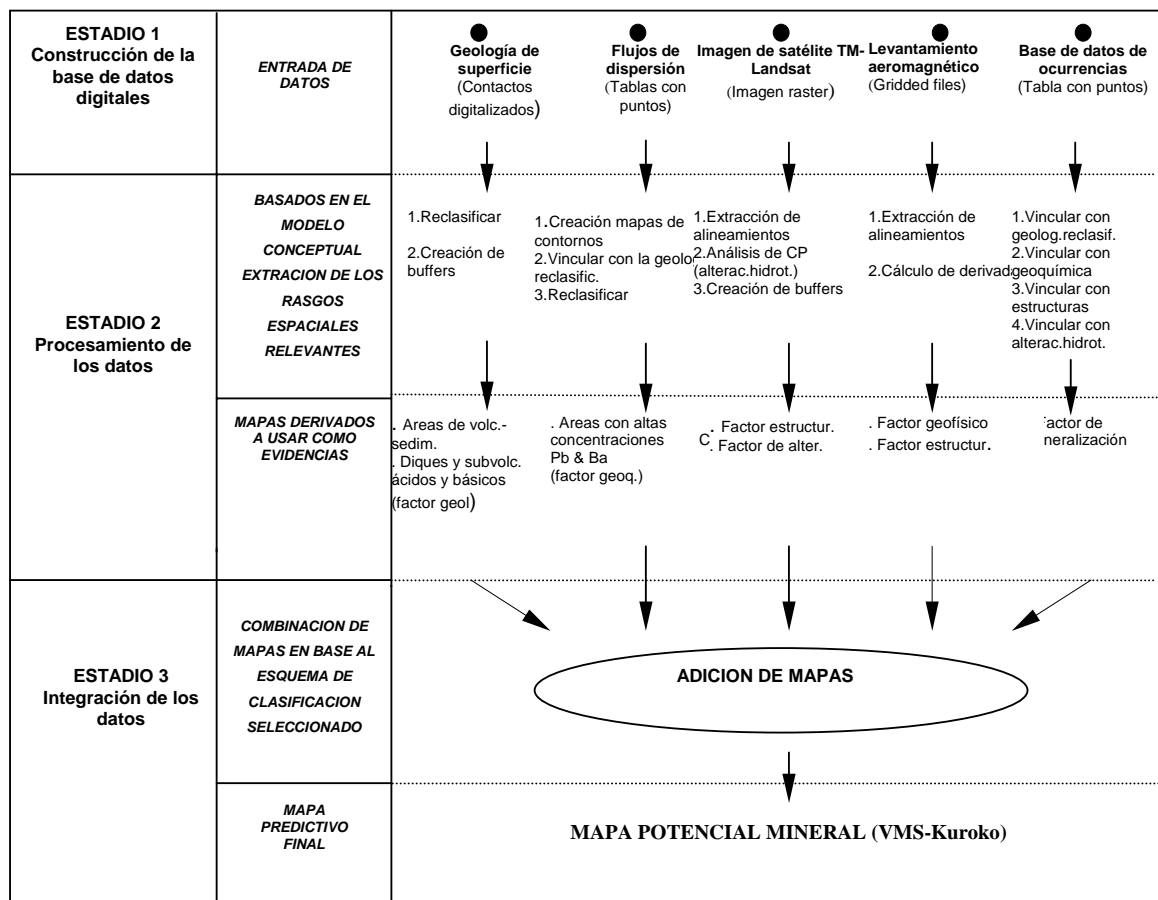


Figura 1 Metodología multiestadio para la clasificación del potencial mineral implementando un SIG (modificado de Bohnam – Carter, 1994).

Entrada de datos y creación de la Base de Datos Digital

Bohnam-Carter (1994) define este estadio como el mayor consumidor de tiempo en la ejecución de cualquier proyecto de SIG, pues conlleva a la adquisición de todos los datos necesarios de diferentes fuentes y su conversión a formato digital (en bases de datos digital - SIG). En esta fase de trabajo establecer las proyecciones de trabajo y georreferenciar los datos digitales son de extrema importancia ya que hacen posible la superposición de los componentes espaciales de una manera correcta.

Como fuente de información para la creación de la base de datos digital fueron utilizados: 1) Mapa geológico de la parte central de Cuba, a escala 1:250 000, 2) Datos del muestreo de sedimentos de fondo a escala 1:50 000, realizado como parte del levantamiento geológico regional Las Villas II (1985), 3) Una imagen de satélite TM-Landsat que incluye esa parte del territorio, 4) Datos del levantamiento aeromagnético a escala 1:500 000 (Liubi, 1981) y 5) Base de datos con las ocurrencias minerales conocidas (Batista y Montano, 1997).

El mapa geológico fue digitalizado en formato vectorial (como polígonos) y posteriormente llevado a formato raster. En al menos un tercio de la extensión total del área estudiada se



produce la superposición de tres levantamientos geoquímicos realizados a escalas diferentes y en distintas fechas. Por razones prácticas, se decidió procesar la base de datos correspondiente al levantamiento mas reciente (Levantamiento geológico Las Villas II). Previo a cualquier procesamiento, esta base de datos fue sometida a una operación de "cruzamiento" con el mapa geológico reclasificado (en el SIG ILWIS), lo que permitió que los 10 327 registros iniciales, fueran filtrados y dieran origen a una nueva sub-base de datos, donde fueron incluidos solo los 1961 puntos de muestreo que ocurren dentro de las secuencias de rocas volcánogeno-sedimentarias. En ella fueron almacenados todos los atributos espaciales (coordenadas X, Y) y no espaciales de los puntos de muestreo (No de muestra y contenidos de cada uno de los elementos analizados).

La imagen de satélite TM-Landsat inicial consta de 3785 líneas y 5301 columnas. Debido a su desviación de 8 ° hacia el oeste, la imagen fue geométricamente corregida usando la operación de "remuestreo" en el ILWIS. Para facilitar los posteriores análisis e interpretación, fue creada una nueva sub-imagen que consta de 1344 líneas y 3447 columnas y se centra en el área de interés.

A pesar de la alta resolución de la aerogeofísica de levantamiento de Liubi (1981), solo disponemos de información en formato "grd", de ahí que muchos detalles a lo largo de las líneas de vuelo se hayan perdido, no obstante, con el procesamiento de las imágenes es posible la obtención de nueva información litoestructural.

Las localidades con mineralización metálica conocida fueron recogidas en tabla de atributos en Microsoft Excel (DBF) y convertida posteriormente en mapa de puntos en el software ILWIS.

De acuerdo a las exigencias del ITC, la proyección de trabajo establecida fue la de UTM, por lo que las imágenes fueron georreferenciadas utilizando ese sistema de coordenadas, mientras que los atributos espaciales que tenían previamente establecidos el sistema de coordenadas Lambert fueron también transformados. La transformación se realizó utilizando el software Oasis Montaj.

Procesamiento de datos espaciales

El procesamiento de la base de datos digitales tuvo como objetivo la determinación de los rasgos característicos de la mineralización VMS - Kuroko a ser utilizados como evidencias. Debido a que las áreas donde están expuestas las secuencias de rocas volcánogeno-sedimentarias representan el ambiente geodinámico mas importante para la clasificación del potencial del tipo esperado, el mapa geológico fue reclasificado, preservando solo la información significativa. Las secuencias no volcánicas fueron enmascaradas, mientras que los diques y cuerpos subvolcánicos, considerados como posible fuente térmica, responsable de la circulación de los fluidos mineralizantes son un elemento importante en el nuevo mapa. Luego de establecida la posible relación entre la mineralización conocida y los diques y cuerpos subvolcánicos (utilizando la operación "cálculo de distancias" en ILWIS), estos fueron dilatados.

Los datos de sedimentos de fondo fueron inicialmente procesados en las hojas de trabajo de Microsoft Excel para determinar los parámetros estadísticos y geoestadísticos básicos. La información puntual fue convertida en mapas temáticos usando la rutina de interpolación de ILWIS ("vecino mas cercano"). Los mapas de área - concentración resultantes fueron clasificados para cada elemento por separado (Cu, Zn, Pb y Ba), según los umbrales previamente determinados por la estadística.



El procesamiento de la imagen TM-Landsat permitió la extracción de fallas y alineamientos (factor estructural). La transformación de componentes principales aplicada a las seis bandas que representan el terreno en términos de radiación reflejada (bandas TM 1-5 y TM 7), fue usado para el reconocimiento de las alteraciones hidrotermales asociadas con la mineralización (Crosta y Moore, 1989). Las bandas TM1, TM3, TM4 y TM5 fueron usadas para mapear los minerales portadores de óxidos de hierro. La banda TM7 fue omitida en este análisis para evitar el reflejo de los minerales portadores de hidróxidos. Por otra parte, la utilización de las bandas TM1, TM4, TM5 y TM7 fue efectiva para el mapeo de los minerales portadores de hidróxidos, aquí se omitieron las bandas TM2 y TM3 evitando así el mapeo de los minerales portadores de óxidos de hierro.

Dada la naturaleza regional de los datos aerogeofísicos, con una baja densidad de puntos de muestreo (500 x 500 m), los cuerpos mineralizados con máximos magnéticos locales no tuvieron reflejo en el perfil modelado realizado al mapa de intensidad magnética total usando el programa MAGMOD. Las técnicas del "relieve sombreado" fueron aplicadas en la identificación de rasgos estructurales. Las imágenes de escala de grises del campo magnético total facilitaron la extracción de alineamientos.

Producto del análisis integral de las características geológicas de las ocurrencias minerales conocidas del área, se creó una nueva sub-base que incluye solo las localidades con los rasgos distintivos de la mineralización tipo VMS - Kuroko, de manera que al ser combinada ésta con el resto de las variables, permitió en cada caso por separado contar con los suficientes criterios para la determinación de los índices a integrar que realmente caracterizan ese tipo de mineralización.

Integración de datos espaciales

El modelo de superposición indexada con mapas binarios de evidencias fue asumido para la integración de los datos en el presente estudio. Los mapas binarios fueron creados a partir de la clasificación realizada en los mapas rasterizados de las diferentes variables (mapas geoquímicos de área-concentración y mapas de alteración hidrotermal), o a partir de la dilatación (buffers) en base a los cálculos de distancia, o mapas de proximidad (diques y cuerpos subvolcánicos y fallas extraídos del mapa geológico, alineamientos y estructuras anulares interpretados de la imagen de satélite y alineamientos interpretados por aerogeofísica). Los pesos asignados a los mapas de evidencia se crearon en base a un sistema de expertos.

Con el uso de este modelo de integración cada mapa binario es multiplicado por un factor de peso, posteriormente los mapas son adicionados, combinados y normalizados por la suma de esos pesos. El mapa resultante obtenido muestra valores en el rango entre 0 y 1. Los valores cercanos a cero implican la desfavorabilidad extrema, en tanto que los valores cercanos a 1 significan una alta favorabilidad (Bonham-Carter, 1994). La operación se define como:

$$S = \frac{\sum_i^n class(Map_i)}{\sum_i^n W_i}$$



Donde W_i es el peso asignado y $class (Map_i)$ indica la presencia o ausencia de la condición binaria.

Resultados

Dos mapas potenciales de la mineralización tipo VMS-Kuruko se originan como producto de la integración de las evidencias. La naturaleza local de algunos de los rasgos extraídos, dan respuesta al carácter también local del análisis y procesamiento de determinados datos (mapas de alteraciones hidrotermales), que fueron realizados solo en pequeños sectores del área total (ver figura 2b). Es esa la razón por la que esos rasgos fueron tomados en cuenta solo para la integración local de los datos (estructuras circulares, mapas de alteraciones hidrotermales, conjuntamente con la señal geoquímica y los factores litológicos y estructural), mientras que para la integración regional se adicionaron todas (ver figura 2 a), exceptuando aquellas mencionadas como de carácter local.

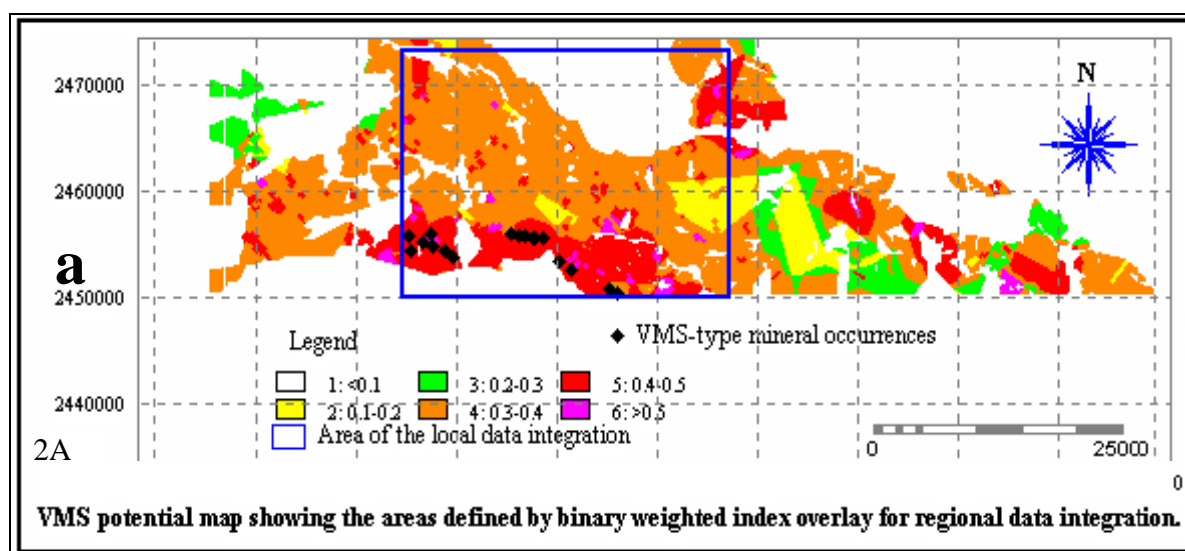


Fig. 2a) Mapa Potencial Final. Integración de los datos a escala regional

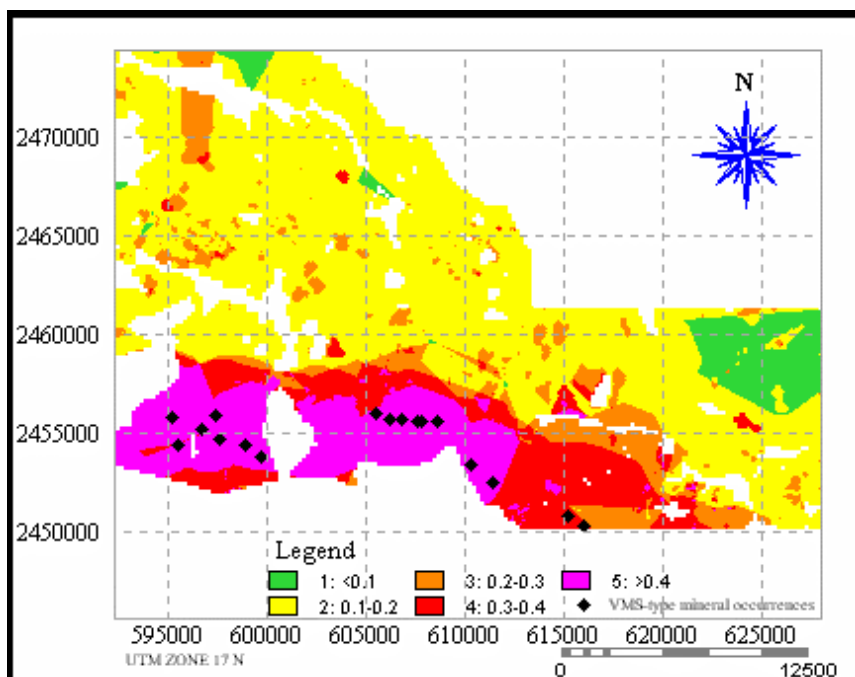


Fig. 2b) Mapa Potencial Final. Integración de datos a escala local

Discusión

El esquema presentado para la determinación del potencial de mineralización del tipo VMS - Kuroko en este trabajo es una metodología rápida, barata y relativamente simple, pero sensible a los tipos de variables indicadoras usadas (evidencias). Los criterios que se establecen en base a un modelo conceptual, lejos de ser específicos de un área determinada constituyen una generalización (Carranza et al, 1999).

Los mapas resultantes de la integración regional y local no muestran grandes diferencias aún cuando en el de integración local, la clase de favorabilidad más alta aparece mas acentuada, lo que se debe al mayor peso asignado a rasgos distintivos particulares, en un área restringida, que están estrechamente vinculados al tipo de mineralización esperada, tales como la presencia de estructuras anulares o zonas con alteración hidrotermal (Montano, 2000).

La clasificación del potencial que se ofrece en este estudio pudiera sufrir modificaciones por la incorporación de nuevos criterios y/o por la incorporación de nuevos elementos de juicio que afecten en mayor o menor grado a los criterios ya utilizados en el presente análisis integrado de datos.

Conclusiones

La combinación de las diferentes particularidades espaciales fue útil para la obtención de áreas con un alto potencial para mineralización del tipo VMS-Kuroko. Basados en la coincidencia y relaciones cercanas entre esas particularidades, algunas áreas perspectivas fueron finalmente establecidas. El modelo para la integración espacial de datos usado en este estudio resultó apropiado.



Se recomienda utilizar en la totalidad del área el conjunto de métodos que permitan el análisis y procesamiento de datos para la obtención de evidencias confiables que conduzcan a una posterior integración espacial basada en modelos estadísticos.

Bibliografía

- Batista, R., J. L. Montano (1997): Mapa de Yacimientos Minerales de Cuba Central a escalas medias. Memorias II Congreso Internacional de Geología y Minería. Habana 1998. Pág.53-56
- Bonham-Carter, G.F.(1994): Geographic information systems for Geoscientists, modelling with GIS, Computer methods in the Geosciences, Volume 13, Elsevier Science Ltd. 398 p.
- Carranza, J., C. Jerrysal, M. Hale (1999): Application of Mineral Exploration Models and GIS to Generate Mineral Potential maps as Input for optimum Land-use planning in the Philippines. Natural Resources Research. Vol. 8, No. 2. Pp 165-173.
- Crosta, A. and J. McM. Moore (1989): Enhancement of Thematic Mapper Imagery for residual soil mapping in Gerais State, Brazil: A prospecting case history in G. terrain. Proceeding of the Seventh (ERIM) Thematic Conference of Remote Sensing for Exploration Geology. Calgary, 2-6 Oct.
- Donnelly, T., J. J. W. Rodgers (1980): Igneous series in island arcs: The northeastern Caribbean compared with worldwide island arc assemblages: Bulletin volcanologique, v. 3. Pp 347-382.
- Eguipko, O., M. Pérez, K. Sukar (1984): Principales particularidades petroquímicas de los granitoides del eugeosinclinal cubano y sus formaciones: Revista: Ciencias de la Tierra y el Espacio (9). Pág. 59-73.
- GeoCore (1999): University of Miami. GeoCore GIS & Remote Sensing Facility. (Internet WebPage: www.geocore.rsmas.miami.edu).
- Höy, T. (1995): Noranda/Kuroko Massive Sulphide Cu-Pb-Zn, in Selected British Columbia Mineral Deposit Profiles, Volume 1 - Metallics and Coal, Lefebvre, D.V. and Höy, T, Editors, British Columbia Ministry of Energy of Employment and Investment, Open File 1995-20, pages 53-54 (B.C.G.S.-Internet WebPage, last updated April 06, 1999).
- Iturralde-Vinent M. (1996): Geología de las ofiolitas de Cuba en su: Ofiolitas y Arcos Volcánicos de Cuba, project 364. Inter-geol. Correl. Prog. Pág. 190-227.
- Liubi, L. (1981): Levantamiento aeromagnético y aerogamma espectrométrico en Cuba Central.
- Montano J.L. (2000): Spatial integration of mineral exploration data for prediction of VMS-type mineralisation in the Cretaceous volcanic arc of central Cuba. Unpublished MSc. Thesis. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC), Delft, The Netherlands, 112p.
- Pérez, M., T. Soto, K. Sukar (1986): Particularidades petrológicas de los granitoides de las provincias Villaclareñas: Serie geológica del Centro de Investigaciones Geológicas (3). Pág 3-14.
- Simon, G., S. Kesler., N. Russel, C. Hall, D. Bell, E. Piñero (1999): Epithermal Gold Mineralization in an Old Volcanic Arc: The Jacinto Deposit, Camagüey-district Cuba. Economic Geology. Vol. 94. Pp 487-506.
- Watkins, D. (1997): Principle characteristics of volcanogenic massive sulphide (VMS) deposits. Notes from the prospecting school on the Web. B.C.& Yukon Chamber of Mines (www.bc-mining-house.com).



CARACTERIZACION GEOQUIMICA DE LA FACIES SUBVOLCANICA DEL SECTOR LOS MANGOS EN LA REGION CENTRAL DE CUBA.

Graciela Aguirre Guillot

Instituto de Geología y Paleontología. Ministerio de la Industria Básica. Vía Blanca y Línea del Ferrocarril s/n . CP 11000. e-mail chely@lacemi.cu

RESUMEN

El estudio geoquímico realizado a la facie subvolcánica, correspondiente a los pórfidos de composición desde intermedia hasta ácida y las tobas correspondientes, del sector Los Mangos, permitió identificar seis grupos de rocas: basaltos, andesito-basaltos, andesitas, dacitas, riolitas y las tobas correspondientes a cada una de estas composiciones.

Las rocas del sector son claramente metaluminosas hasta medianamente peraluminosas, con una tendencia evolutiva fuertemente calco-alkalina, con un carácter fundamentalmente sódico.

El comportamiento de los elementos mayores sugiere el fraccionamiento del anfíbol, de los óxidos ferro-titanados y de la plagioclasa.

El patrón de las Tierras Raras revela fraccionamiento, con un significativo enriquecimiento de la Tierras Raras ligeras en relación a las pesadas, característico de los magmas calco-alkalinos. La semejanza de las curvas en estos diagramas son indicadoras de la cogneticidad de las rocas del sector.

Un estudio preliminar sobre el grado de alteración de las rocas analizadas, sugiere que las modificaciones ocurridas pueden ser atribuidas al metamorfismo de bajo grado o a la presencia de fluidos hidrotermales.

ABSTRACT

The geochemical study made on the subvolcanic facies, corresponding to the composition porphyry from intermediate to acid, of Los Mangos sector, allowed to identify six groups of rocks: basalts, basaltic-andesite, andesites, dacites, rhyolites and the tuffs corresponding to each one of these compositions.

The rocks of the sector are clearly metaluminous until fairly peraluminous, with a strongly calco-alkaline evolutionary tendency, with a fundamentally sodic character.

The behavior of the major elements suggests the fractionation of the amphibole, of the ferro-titaniferous oxides and of the plagioclase.

The pattern of the Rare earth reveals division, with a significant enrichment of the slight Rare earth in relation to the heavy ones, characteristic of the calco-alkaline magmas. The resemblance of the curves in these diagrams is indicative of the cogneticidad of the rocks of the sector.

A preliminary study on the degree of alteration of the analyzed rocks, suggests that the modifications that take place can be attributed to the metamorfismo of low degree or the presence of hydrothermal fluids.

Introducción

El sector Los Mangos está localizado totalmente en la formación Los Pasos, situada en la región central del territorio cubano y que representa el inicio del corte estratigráfico volcánico de edad cretácica en esta región.

Este trabajo tiene como objetivo presentar y discutir los datos de campo y geoquímicos de algunos tipos litológicos correspondientes a la facie subvolcánica de este sector, perteneciente al depósito de Cu y Zn de San Fernando. Se pretende con este estudio contribuir al conocimiento del magmatismo de arco de islas de la región, posibilitando la comparación con otras áreas similares, dentro y fuera del territorio cubano.



Materiales y métodos

Para este trabajo fueron muestreados cinco pozos de perforación, analizándose 630 intervalos, además de ocho (8) muestras de la mina ya cerrada y de su cuenca de desechos.

La preparación previa de las muestras y los análisis químicos para elementos mayores fueron realizados en el Laboratorio Central de Minerales "José Isaac del Corral". En estas determinaciones fueron utilizados los métodos de fluorescencia de rayos X y de absorción atómica. Los análisis para Tierras Raras fueron realizados en el consorcio canadiense en Brasil Lakefield Geosol Ltda.

Resultados

El análisis de las características litogeoquímicas de las muestras estudiadas son realizadas en conjunto, resaltándose las particularidades que ellas puedan manifestar cuando sea necesario.

Se debe destacar que en los diagramas presentados a lo largo del presente trabajo fueron solamente utilizadas aquellas muestras cuyo porcentaje de pérdida por ignición (PPI), fuera menor al 2%, con una suma total de óxidos comprendida entre 98 y 102%.

Grado de alteración

El efecto del agua en las diferentes fases de cristalización de los sistemas que contienen sílice es substancial. Existen evidencias directas y circunstanciales sobre los elevados contenidos de la misma en los magmas. Particularmente en aquellas zonas de subducción donde esta presente la cristalización de fases hidratadas (por Ej. hornblenda), y la constante naturaleza explosiva de muchas erupciones volcánicas en este ambiente geodinámico.

La presencia de minerales del grupo de las zeolitas y de carbonatos en venas o diseminados en las rocas del sector de estudio hablan sobre la existencia de fluidos durante y después de la cristalización del magma, provocando alteraciones, en algunos casos mas o menos ligeras, en las rocas de la región. Finalmente la mineralización de sulfuros diseminados o macizos en áreas del sector de estudio, indican que los valores de azufre durante la cristalización fueron suficiente para permitir junto con el oxígeno la captura de elementos calcófilos (Silva, M.G, 1983).

Las apreciaciones antes expuestas llevan a concluir que valores anómalos en la composición química de algunas rocas del sector objeto de estudio, pueden ser relacionados a la movilidad de algunos elementos provocados por la presencia del agua de mar y de fluidos durante y después de la cristalización de este magma.

Para definir el tipo predominante de alteración que abarca las rocas del sector estudiado, fue preciso seleccionar una muestra que sirviese de patrón comparativo con el conjunto rocoso en general. La elección patrón se realizó teniendo en cuenta la poca presencia de minerales productos de alteración en su constitución, lo cual se refleja en el bajo valor de pérdida por ignición (PPI=0.21), obtenido durante el análisis químico de los elementos mayores.

En el diagrama que relaciona el sílice con el total de Fe y Mg (Fig.1) todos ellos calculados como % catiónico, se observan las rocas ácidas situadas cerca de la línea sericita-cuarzo, mostrando que estas alteraciones son dominantes en este conjunto. Ya las rocas más básicas se aproximan a la línea sericita-clorita, revelando la presencia de minerales máficos también alterados en este sector. Se destaca que en este diagrama se puede reconocer el grado de alteración de las rocas del sector como moderado. Como el Al es inmóvil, la abundancia de clorita y sericita esta limitada al valor inicial de este elemento en las rocas, se puede verificar entonces en el diagrama Al vs Si (Fig.2), también recalculados como % catiónico, que no existió una fuerte pérdida de sílice en estas rocas causada por la lixiviación del cuarzo, mientras se observa una migración de los conjuntos más básicos para la línea cuarzo-clorita.



Resumiendo, se puede decir que en las etapas iniciales de la alteración las plagioclasas son transformadas en clorita y sericita. Estas mismas rocas mantuvieron sus contenidos iniciales de sílice indicando que no hubo entrada ni salida de este elemento químico. Es

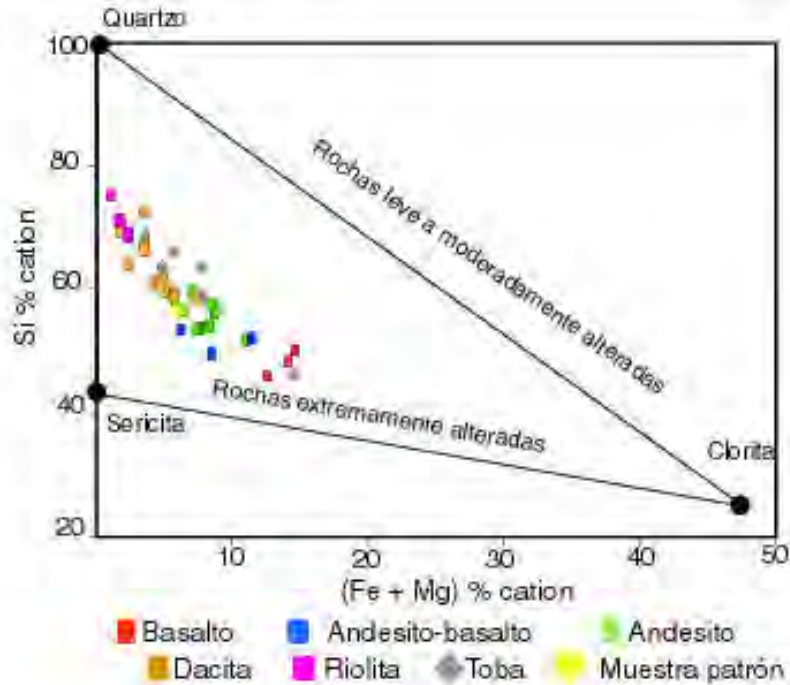


Figura 1 : Relación Si vs (Fe + Mg), según MacLean & Barret (1991), mostrando el grado de alteración de las rocas del sector *Los Mangos*.

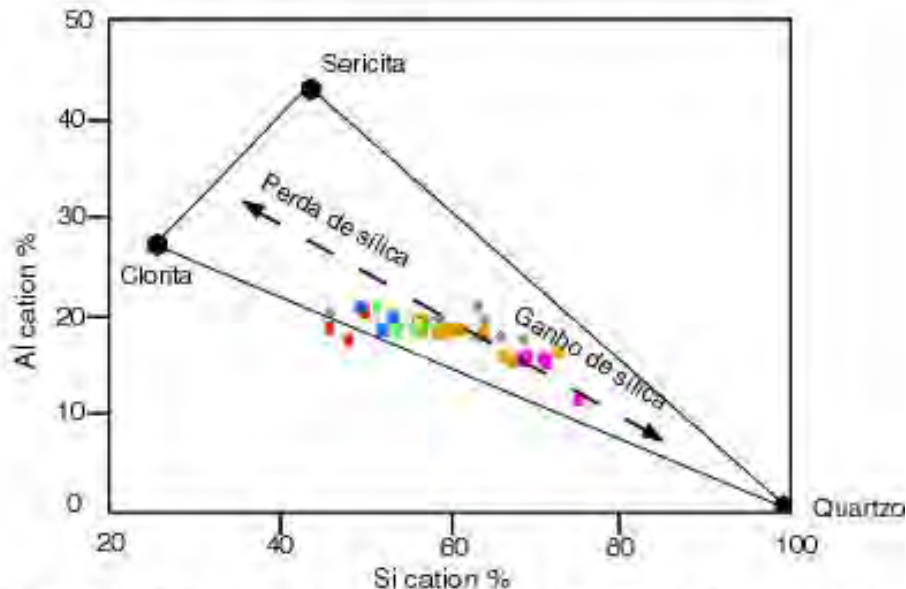


Figura 2: Diagramma Al vs Si, según MacLean & Barret (1991), mostrando la alteración de las rocas del sector *Los Mangos*. Igual leyenda que en la figura 1.



necesario además señalar que la clorita y la sericita se mantuvieron estables bajo condiciones de alteración hidrotermal, con actuación del agua de mar, cuando sucede la reducción del S presente. En este proceso el S y los metales de transición presentes en la solución hidrotermal generan las concentraciones anómalas de estos elementos y, en algunos casos depósitos de sulfuros masivos.

Además de los procesos antes mencionados, la presencia de leucoxeno sustituyendo la ilmenita, refuerza la idea de la alteración de estas rocas por la presencia de fluidos; pero también pudiera sugerir las modificaciones que ocurren durante el metamorfismo de bajo grado. Las rocas del sector Los Mangos tanto en micro como en macro escala, indican estar relacionadas con los procesos antes descritos como son la paragénesis de clorita, calcita, cuarzo, epidota, leucoxeno, venas de clorita y epidota y presencia de venas de zeolita con cuarzo subordinado.

Diagramas de clasificación

Diversos autores han propuesto la división de las rocas volcánicas según su alcalinidad, estableciendo así límites de entre las diferentes series. Entre estos, la sugerida por Irvine & Baragar (1971) está entre las más aceptadas.

De acuerdo con éste diagrama (Fig.3), que relaciona el total de álcalis ($K_2O + Na_2O$) con el silicio (SiO_2) y reconocido por las siglas TAS, todas las muestras son clasificadas como subalcalinas.

La posibilidad de restringir la discriminación, de las rocas del sector estudiado, esta dada cuando se consideran las concentraciones de K_2O y SiO_2 (Pecerillo & Taylor, 1976). Según esta clasificación, la serie subalcalina puede ser dividida en rocas de bajo potasio (toleíticas y calco-alcalina), calco-alcalina de medio y alto potasio y shoshoníticas. La mayoría de las muestras de las rocas analizadas, se sitúan en el campo de las rocas de bajo K (Fig.4), con excepción de las tobas, localizadas tanto en el campo de medio como de alto potasio. Esto refleja probablemente la presencia del proceso de sericitización.

La relación (K_2O / Na_2O), permite diferenciar el carácter sódico o potásico de las rocas estudiadas (Fig.5) La propuesta de división de Le Maitre *et al.* (1989), basada en la relación $K_2O = Na_2O - 2$, donde se considera una roca como potásica cuando $K_2O > Na_2O$ y sódica cuando $K_2O < Na_2O$. De acuerdo con éste criterio las rocas del sector Los Mangos son sódicas con excepción de las tobas con valores de potasio mas elevados y dos muestras de basaltos con valores de sodio bajos en relación a la media para éste tipo de roca.

Diagramas de variación

La evolución geoquímica de las rocas analizadas, fue realizada a partir del estudio litogeoquímico de las muestras tomándose como índice de diferenciación el SiO_2 . La tendencia general, sugiere el proceso de cristalización fraccionada como el más importante en la evolución del magma responsable de la formación de las rocas analizadas.

El dominio de la textura pórfirica en estas mismas rocas es considerado como evidencia de la actuación de éste proceso. Los óxidos de Fe, Ca y Mg muestran una disminución constante con el aumento del SiO_2 , sugiriendo el fraccionamiento del anfíbol y la plagioclasa. Por su parte los óxidos de Ti y Al presentan una evolución más compleja, marcada inicialmente por un aumento de hasta 50% y 54% respectivamente y a partir de estos mismos valores una disminución constante con el aumento de SiO_2 . Este comportamiento, asociado con la disminución continua del FeO, descrito anteriormente, puede indicar que la ilmenita tiene su cristalización más precoz que la plagioclasa.

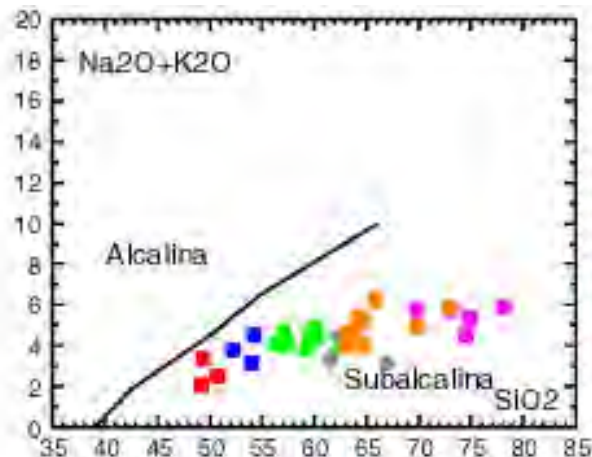


Figura 3: Diagrama total de álcalis versus sílice para la definición de las series subalcalinas y alcalinas, según Irvine & Baragar (1971).

- Basalto
- Andesito-Basalto
- Andesita
- Dacita
- Riolita
- Tobas

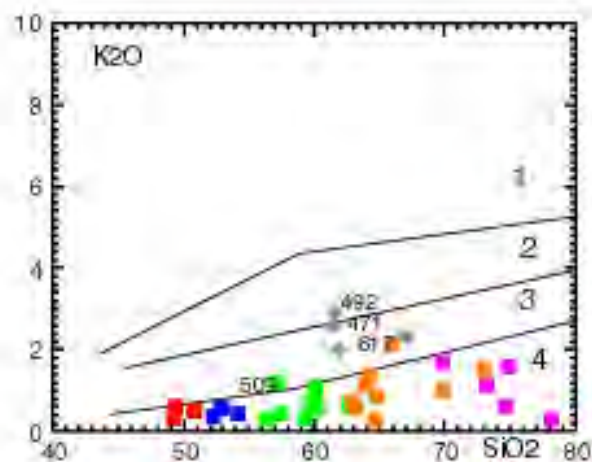


Figura 4: Diagrama relacionando K_2O versus SiO_2 aplicado a las rocas del sector Los Mangos, depósito San Fernando. Los campos separados por las líneas corresponden a los definidos por Pecerillo & Taylor (1976). Rocas shoshoníticas (1): rocas calco-alkalinas de alto potasio (2); medio potasio (3) y bajo potasio (4). Igual leyenda que en la figura 3.

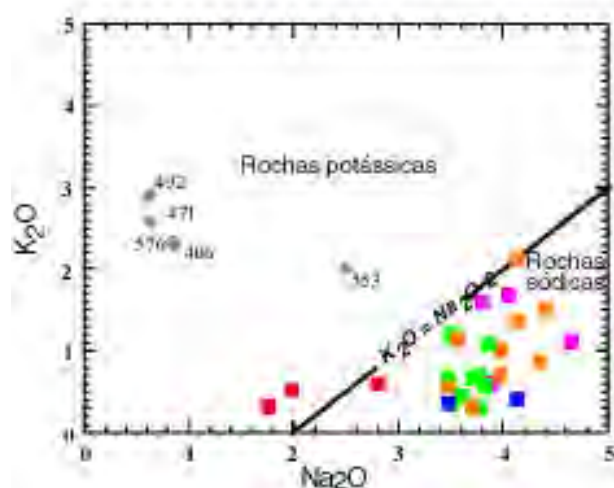


Figura 5: Diagrama K_2O versus Na_2O con la propuesta de clasificación entre rocas sódicas y potásicas según Le Maitre *et al.* (1989). La recta correspondiente a $\text{K}_2\text{O} = \text{Na}_2\text{O} - 2$, separa las rocas potásicas de las sódicas. Igual leyenda que en la figura 3.



El comportamiento general de los óxidos de Na y K son de aumento con el incremento del SiO₂, junto al empobrecimiento de las tobas en Na₂O y enriquecimiento en K₂O de las mismas, pueden indicar los efectos de las alteraciones hidrotermales.

Elementos tierras raras

Cuando los elementos Tierras Raras son normalizados en relación a los condritos, todas las rocas estudiadas presentan un enriquecimiento de hasta 70 veces. Ellas muestran patrones fraccionados con significativo enriquecimiento de los elementos Tierras Raras ligeras en relación a los pesados, con razones de LaN/LuN entre 3.3 y 10.9 para andesito-basalto y andesitas, entre 10.4 y 16.4 para las rocas ácidas y en el caso de las tobas, valores de LaN/LuN=5.0.

Diagramas de discriminación de ambientes

A través de los diagramas para la clasificación química (Fig. 6) de las rocas del sector Los Mangos, se pudo identificar que las mismas presentan una tendencia hacia la serie calco-alcalina de bajo potasio.

Fueron utilizados otros diagramas considerando las relaciones entre Ti-Cr, Ti-Zr, y Ti/1000-V queriendo restringir el ambiente de enfriamiento de estos magmas, comprobándose el sello de arco de islas de estas rocas. En el diagrama de Shervais (1982), que relaciona Ti y V para distinguir entre toleítas de arco de islas, basaltos alcalinos y MORB, que muestra un campo definido para los basaltos calco-alcalinos, se observa como las rocas analizadas se sitúan en la intercepción de los campos de los basaltos de cuencas marginales con el de los basaltos calco-alcalinos con bajos contenidos de Ti, reforzando la idea de que pertenecen a un ambiente de arco de islas más alejado de la línea frontal del arco y por tanto de dominio de los magmas calco-alcalinos.

Se debe destacar que la selección constante del Ti, esta basada en la inmovilidad de este elemento en condiciones de alteración hidrotermal y de metamorfismo de bajo grado.

Discusiones

No obstante el sector Los Mangos formar parte de la formación Los Pasos, presenta características que difieren en general de las encontradas en dicha formación. Los datos obtenidos sugieren que el sector pudiera ser una fase mas avanzada del vulcanismo en esta región, con afinidad alcalina.

Tanto las rocas de la formación Los Pasos, como del sector Los Mangos presentan un carácter subalcalino. Mientras que las rocas del sector Los Mangos clasifican como metaluminosas, con tendencia peraluminosa las rocas de la formación Los Pasos presentan un predominio en el campo peraluminoso

Los espectros de elementos Tierras Raras de las rocas de la formación Los Pasos, dibujan curvas con enriquecimientos suaves, 5 a 20 veces los valores de los condritos, mientras que las rocas del sector Los Mangos presentan patrones de enriquecimiento de hasta 70 veces los valores de los condritos. El enriquecimiento de la TR ligeras respecto a las pesadas es una tendencia presente en los dos conjuntos, fácilmente visualizada en la relación La/Yb. En las rocas de la formación Los Pasos esta relación exhibe valores cercanos a la unidad, indicando menor fraccionamiento de los elementos Tierras Raras. Ya en el sector Los Mangos esta relación puede llegar a ocho (8), aludiendo a que la hornblenda pudiera ser responsable del enriquecimiento de las Tierras Raras ligeras con respecto a las pesadas. un menor fraccionamiento de las Tierras Raras. Las características geoquímicas mostradas por las rocas



más evolucionadas del sector Los Mangos reflejan, probablemente, el resultado del fraccionamiento de un magma hidratado.

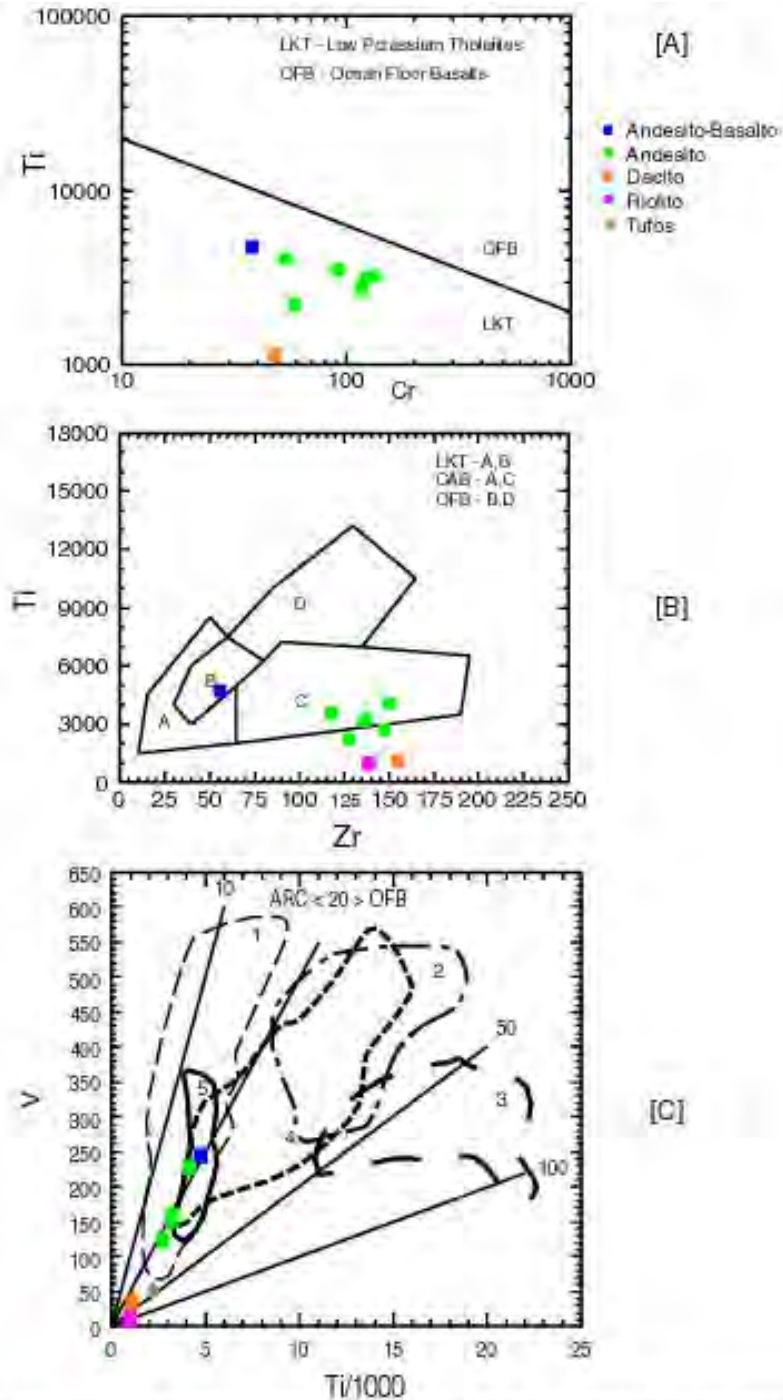


Figura 6: Diagramas de determinación de ambientes aplicados a las rocas del sector estudiado: [A] Ti vs Cr (Pearce & Cann, 1973); [B] Ti vs Zr (Pearce & Cann, 1973) y [C] V vs Ti (Shervais, 1982), arco toleítico (1); derrames de basáltos continentales (2); basáltos alcalinos y islas oceánicas (3); MORB y basáltos de curvas back-arc (4); basáltos calco-alcalinos (5).



Las diferencias del quimismo del sector Los Mangos y la formación Los Pasos, verificados en los patrones de abundancia de Tierras Raras, normalizados según condritos (Fig.7), indican la posibilidad de que estas rocas estén relacionadas a magmas con composiciones diferentes, provenientes de distintas fuentes del manto o formadas por diferentes grados de fusión en una fuente de composición uniforme.

Con el objetivo de analizar más detalladamente el comportamiento del sector Los Mangos, fueron efectuadas comparaciones entre las rocas de este sector y el vulcanismo calco-alcalino de Sunda (Hutchinson, 1982), en Indonesia; del sudeste de Pará (Souza & Dall'Ágnol, 1996), y de las Islas South Sándwich (Luft, 1982).

Todos los conjuntos siguen la tendencia calco-alcalina y en el caso de las rocas del sudeste de Pará presentan enriquecimiento en sodio.

Los patrones de abundancia de Tierras Raras normalizados en relación a los condritos presentan fraccionamiento acentuados con enriquecimientos significativos de ETR ligeros en relación a los pesados prácticamente igual para todos los conjuntos. Se pueden observar de forma general anomalías de Eu, controladas por la plagioclasa. (Fig.8). Las comparaciones efectuadas entre las rocas del sector Los Mangos

Conclusiones

Finalmente, con los datos obtenidos durante la realización de esta pesquisa es posible establecer algunas consideraciones sobre el sector Los Mangos. Las principales conclusiones son: 1) El sector Los Mangos situado geográficamente dentro de los límites de la formación Los Pasos, está caracterizado por una gran variedad de rocas que pueden ser agrupadas, según su composición en tres grandes grupos: básicas, intermedias y ácidas, además de las formaciones piroclásticas presentes en estos grupos. 2) Las rocas de este sector presentan una tendencia fuertemente calco-alcalina, con afinidad sódica, sendo ellas mataluminosas a peraluminosas y saturadas en sílice. 3) Las curvas obtenidas para las Tierras Raras de las diferentes facies, revelan paralelismo, reflejando la cogneticidad entre ellas. Exhiben también enriquecimiento de las TR ligeras en relación con las pesadas, apuntando al carácter calco-alcalino de las rocas el sector.

Es de destacar que si bien dentro de la formación Los Pasos (TH) fueron descritas anteriormente ocurrencias calco-alcalinas (Díaz, 1988), la comprobación de la tendencia calco-alcalina de las rocas del sector estudiado, pudiera indicar la probabilidad de que este sector represente una transición entre las Formaciones Los Pasos y Matagua (CA). Para confirmar esta hipótesis se sugieren en el futuro los siguientes estudios: 1) un estudio químico de las principales facies minerales y accesorias con el objetivo de definir la naturaleza química y cuantificar sus condiciones de cristalización; 2) estudios específicos y más profundos de los procesos póst-magmáticos, considerando la movilidad de los principales elementos.

Referencias bibliográficas

- DÍAZ DE VILLALVILLA, L. (1988) Caracterización geológica y petrológica de las asociaciones vulcanógenas del Arco Insular Cretácico en Cuba Central. Instituto de Geología y Paleontología. Tesis para el grado de Dr. en Ciencias Geológicas 1-161. Resumen de la tesis 1-28.
- HUTCHINSON, C. S. (1982) Indonesia. In: Thorpes, R.S. ed. Andesites. New York: Wiley. 207-224.
- IRVINE, T.N. & BARAGAR, W.R.A. (1971) A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Can. J Earth Sci., 8, 523-548.
- LE MAITRE, R. W., BATERMAN, P., DUDEK, A., SÉLLER, J., LAMIERE, Le BAS, M. J., SABINE, P., SORESEN, H., STRECKEISEN, A., WOOLLEY, A., ZENETTIN, B. (1989) A classification of igneous and glossary of terms. Blackwell., Oxford. 178p.



- LUFT, I. (1982) Petrogenesis of the Island arc tholeiitic series of the South Sandwich Islands. Unipubl. PhD thesis Univ. Leeds. UK.
- PECCERILLO, R. & TAYLOR, R.S. (1976) Geochemistry of Eocene calc-alkaline rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 58:63-81.
- SHERVAIS, J. W. (1982) Ti-V plots and the petrogenesis of modern and ophiolitic lavas. *Earth Planet. Sci. Lett.* 39:101-118.
- SILVA, M.G. (1983) A sequência Vulcano sedimentar do Médio Itapicuru: Caracterização petrográfica. Considerações petrogenéticas preliminares e Zoneografia metamórfica. Dissertação do Mestrado. CPG em Geologia. IGEO-UFBA. Salvador. Bahia. Brasil. 88p.

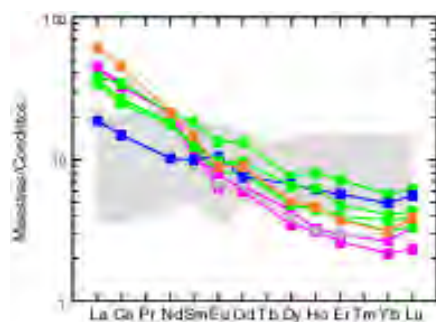


Figura 7: Diagrama multielementar para los elementos tierras raras de la Formación *Los Pasos* (área gris) y el sector *Los Mangos* (muestras insertadas) normalizados según condritos de Evensen *et al.* (1978), mostrando el comportamiento de ambos conjuntos.

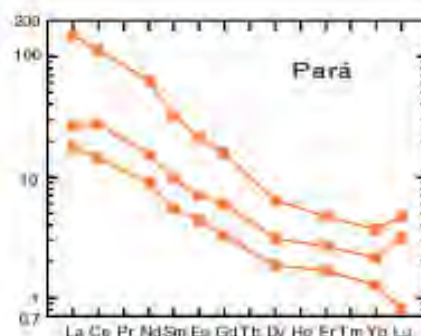
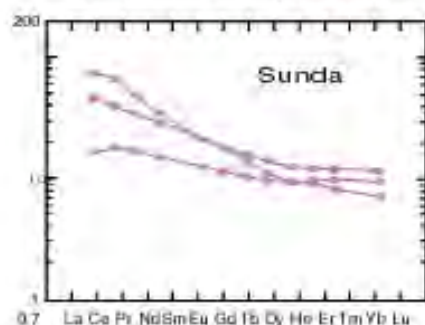
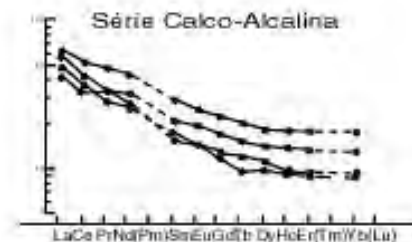
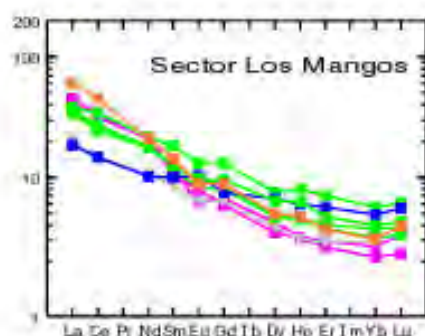


Figura 8: Espectros de ETR de diferentes arcos normalizados de acuerdo con valores definidos por Evensen *et al.* (1978). El gráfico en la parte superior derecha exhibe el comportamiento de la serie Calco-Alcalina clásica (Wilson, 1989).



MAPA DE ROCAS Y MINERALES INDUSTRIALES DE CUBA.

Rolando Batista, Diana Sosa, Esther M. González, Miguel A. García, Jesús Martínez, Virginia González.

Instituto de Geología y Paleontología. Vía Blanca s/n y Carretera Central San Miguel del Padrón. CP 11 000 La Habana. Cuba. CElect: rolando@igp.minbas.cu

RESUMEN

La constitución geológica de Cuba condiciona que exista una gran variedad de depósitos minerales, de diferentes génesis, tamaños, características físicas, químicas, mineralógicas, petrográficas. El último mapa publicado sobre el tema en el país es el "Mapa de Yacimientos y Manifestaciones Minerales No-Metálicos y Combustibles de la República de Cuba" escalan 1:500 000 editado en 1988. De esa fecha hasta el presente se han descubierto nuevos depósitos de Rocas y Minerales Industriales en el territorio. Conocida es la gran importancia económica que revisten estas materias primas para el desarrollo de nuestro país, de ahí la necesidad de actualizar esta información, soportado en el avance tecnológico digital, y su publicación para su conocimiento como una forma de atraer a clientes e inversionistas y potenciar nuestra industria minera, sustituir importaciones, abrir nuevas fuentes de empleo y asimilar nuevas tecnologías, etc.

Las nuevas tecnologías digitales como los Sistemas de Información Geográficas, Bases de Datos, AUTOCAD, etc. nos brindan la posibilidad de editar este mapa de una forma rápida y personalizada de acuerdo a las necesidades del cliente (según sus usos, tipos de materias primas, regiones, escala, etc.) previéndose la edición y venta en soporte digital y tradicional.

Para la confección de este mapa se diseña una nueva tecnología, que implica la creación de bases de datos georeferenciados, con datos y características específicas de los depósitos minerales presentes en Cuba, lo que entre otras permite la confección de modelos descriptivos que pueden ser utilizados para definir criterios para el pronóstico y la prospección.

El mapa contará con información referente a la geología de Cuba, mineragenia, estadísticas de estas materias primas, catálogo con datos más explícitos por cada depósito, fotos y gráficos, montado en una aplicación SIG.

ABSTRACT

The geologic constitution of Cuba conditions the occurrence of a great variety of mineral deposits of different genesis, sizes, physical and chemical properties, mineralogic, petrographic characteristics. The last map published on the topic in Cuba was "Mapa de Yacimientos y Manifestaciones Minerales No-Metálicos y Combustibles de la República de Cuba" escala 1:500 000 in 1988. Since that date until the present have been discovered many new deposits of rocks and industrial minerals. Acquaintance is the great economic importance of these raw materials for the development of the country, from of this is the necessity to modernize this information supported on the digital technological advance and its publication for the knowledge like a way of attracting to clients and investors to increase our mining industry, to substitute imports, to open new employment sources and to assimilate new technologies, etc.

The new digital technologies as the Geographic Information Systems, databases management, AUTOCAD software, etc. offers us the possibility to publish this map in a quick way and personalized according to the client's necessities (taking in account its uses, types of raw materials, geographic regions, scales, etc.) and the edition and sale of this in digital and traditional support.

For the making of this map a new technology is designed which involve the creation of georeferenced databases, where the data and specific characteristics of the mineral deposits present in Cuba is compiled that allows the making of descriptive models which can be used to define criterias useful for the prediction and exploration.

The map will have information with respect to the geology of Cuba, minerageny, statistical of these deposits, catalog with more explicit data for each type of deposit, pictures and graphics, supported on a GIS application.



INTRODUCCION

La práctica de editar mapas temáticos es parte indispensable de la cartografía geológica. Dentro de estos mapas constituyen objeto de nuestro interés los mapas metalogénicos y mapas pronóstico que tienen como base los mapas de Yacimientos, donde se reflejan de una manera sintética y práctica la mayor información posible sobre los depósitos minerales de un país o región. Saber el potencial con que cuenta una región es de vital importancia no solo para el conocimiento geológico sino también para las implicaciones que tiene en otras ramas del saber y las economías territoriales. De ahí la importancia de la publicación periódica de este tipo de estudio.

METODOS Y MATERIALES

Una de las herramientas fundamentales para la confección del mapa como producto final de esta maqueta, lo constituye la base de datos INFOYAC. "Sistema Informativo para los Recursos Minerales de Cuba" del IGP, (fig1) donde se logra integrar una gran cantidad de información relacionada con los recursos minerales del país: Minerales metálicos, Rocas y minerales industriales, Aguas Minero Medicinales y Peloides, teniendo en cuenta la clasificación sobre los recursos minerales vigente en la actualidad.

Se crea una base de datos asociada a sus correspondientes elementos espaciales, con la implantación de un Sistema de Información Geográfica a escalas 1:100 000 o menores. Esta base de datos Georreferenciada puede ser actualizada, visualizada y cuestionada para crear nueva información en diferentes escenarios.

La base geológica para este mapa lo constituye el nuevo mapa geológico en soporte Digital, resultado de los trabajos de regionalización y actualización geológica a escala 1: 100 000 en las distintas regiones del país, actualmente en confección, Este mapa geológico digital se está simplificando con el propósito de confeccionar un esquema a escala 1:500 000 de toda Cuba que servirá de base para el mapa final de yacimientos. Siendo esta la variante mas adecuada para este tipo de mapas con información regional temática, aunque existe la posibilidad de editar mapas por hojas a escala 1:100 000, de común acuerdo con el usuario.

El software de soporte para la integración de toda la información es el sistema de información geográfica CARIS, permitiendo la manipulación de la misma, así como la elaboración de mapas y reportes especializados.

Aunque se ha utilizado el CARIS GIS, el sistema INFOYAC está diseñado para interactuar con otros GIS o utilizar otros softwares, como por ejemplo el AUTOCAD.

Principales regularidades Estructuro-Formacionales y Geólogo Tecnológicas de los depósitos de rocas y minerales industriales de Cuba.

En Cuba están presentes diferentes tipos de materias primas No- metálicas, con diferentes génesis y ambientes geológicos.

Estos depósitos están asociados a diferentes Zonas Estructuro Formacionales como: Relictos de Corteza Continental, Platafórmico, Margen Continental, Corteza Oceánica, Basamento del Arco Volcánico Cretácico, Arco Volcánico del Cretácico, Cuenca Superpuesta Basal, Arco



Volcánico del Paleógeno, Cuenca Superpuesta Oriental, Colisión, Cobertura Paleógeno Medio- Neógeno Tardío, Cobertura Plio- Cuaternaria. Muchas veces afectados por procesos tectónicos, intemperismo y metamorfismo local y regional.

A continuación se muestra una breve panorámica de los depósitos de rocas y minerales industriales presentes en Cuba.

Arcillas rojas- 280 depósitos (110 yacimientos). De los tipos genéticos sedimentario, residual con edades del Pre- Cuaternario hasta Plioceno- Cuaternario y algunos hidrotermales. Su uso principal es en la industria cerámica, cemento. De composición montmorillonítica- illítica con contenidos variables de caolín.

Bentonitas- 24 depósitos (7 yacimientos). Sus tipos genéticos son sedimentario y volcanógeno- sedimentario. Las bentonitas *sedimentarias* forman parte de los depósitos del Plio- Cuaternario. De composición montmorilloníticas con alta plasticidad, favorable intercambio catiónico, buena dispersión, granulometría fina y buen hinchamiento, la hace apta para fundición, lodos e impermeabilizante. El tipo genético *volcano- sedimentario* se asocia a las rocas tobáceas vitroclásticas y cristalovitroclásticas, alteradas.

Caolín- 38 depósitos (15 yacimientos). Los 38 depósitos se agrupan en los tipos genéticos residual e hidrotermal. El caolín *residual* es el de mayor importancia. Su composición es caolinita con variables contenidos de cuarzo y montmorillonita e impregnaciones de hierro. El tipo *hidrotermal* se forma a expensas de la alteración de las lavas medias- ácidas. Ambos tipos genéticos son utilizados en cerámica blanca, no obstante sus parámetros de calidad variables.

Ocres- 5 depósitos. Su tipo genético es residual Su composición es una mezcla de arcillas, hematitas y limonitas con ocasionales concreciones de hierro. Conforman suaves elevaciones en el terreno. Su granulometría fina y composición los hacen aptos como pigmentos naturales.

Paligorskita- 6 depósitos (1 yacimiento). Génesis sedimentaria marina, dentro de secuencias arcillosas monmorillonítico- magnesiales o margosas. Petrográficamente son paligorskita- pilolitas o lutita- paligorskitas y paligorskitas margosas. Por su blancura, grano fino y propiedades sortivas es útil como tierra filtrante en las industrias de la pintura, licorera y alimenticia.

Arenas polimícticas y carbonatadas. 199 depósitos (88 yacimientos). Son de génesis sedimentaria y residual. Las arenas *sedimentarias*, su composición depende de las litologías que corta el río y varía de polimíctica hasta carbonatada. El tipo sedimentario también forma depósitos marinos de dunas y playas. Su composición en el occidente cubano es generalmente cuarzosa y en el oriente polimíctica. Las arenas *residuales* están desarrolladas como corteza de intemperismo a expensas de granitoides del Cretácico y del Paleógeno. Tienen composición polimíctica con predominio de feldespatos y plagioclasas y poco cuarzo. Por su granulometría y composición las arenas son utilizadas para áridos y cemento.

Arenas cuarzosas- 68 depósitos (25 yacimientos). De tipo genético sedimentario se hallan en los depósitos aluvio- marinos- deluviales. Están bien clasificadas, de grano medio- fino y presentan gran pureza. Son utilizadas en la producción de vidrio, cerámica, áridos, cemento blanco, abrasivos y metalurgia.

Asbesto crisotílico- 116 depósitos (2 yacimientos). De génesis hidrotermal se vincula a peridotitas serpentinizadas que pueden estar o no cortadas por diques de diabasas o gabro-



diabasas. Forman vetas de fibras cortas y filones complejos a modo de lentes donde la mineralización está contenida en la masa agrietada de la roca.

Asbesto anfibólico- 49 depósitos. De génesis metamorfogénica se asocia con los esquistos verdes y cuerpos apointrusivos serpentinizados. Forman vetas de fibras largas con espesor de pocos centímetros asociándose con talco y actinolita en cuerpos de limitado desarrollo. Ambos tipos genéticos son utilizados como aislantes y para asbesto- cemento.

Asfaltita, Rocas asfálticas y Rocas bituminosas- 105 depósitos (23 yacimientos). De tipo genético caustobiolíticos. Su composición es grahamita o gibsonita, formando vetas, filones y bolsones de un material duro brillante o blando pastoso, ocasionalmente semilíquido, asociado a zonas de fracturas tectónicas y agrietamiento. Se utiliza como aislante, combustible (directo o para obtener gasolina) y en la construcción de carreteras.

Barita- 92 depósitos. (7 yacimientos). Es de tipo genético hidrotermal. La mineralización es de barita, cuarzo- barita o barita- polimetálicos, asociándose a zonas tectonizadas y agrietadas en aleurolitas, areniscas cuarzosas, cuarcitas, esquistos y rocas vulcanógeno- sedimentarias. Forman vetas, nidos, lentes, y bolsones, con dimensiones variables. Como acompañante de los polimetálicos se presenta en ocasiones formando cuerpos independientes. Se usa en medicina, química y lodos.

Grafito- 37 depósitos (1 yacimiento). Génesis metamorfogénico. De tipo microcristalino, forma parte de esquistos grafitizados dentro de secuencias metaterrígenas, con potencia de 10-35 cm y bajo contenido mineral. Se observa también como bandas en gneises, como lentes en esquistos contactando con serpentinitas o como esquistos ricos en magnetita. Se propone su uso para metalurgia e industrias varias.

Mica- 36 depósitos (2 yacimientos). Su tipo genético es aplito- pegmatítico donde el mineral principal es muscovita relacionada a esquistos micáceo- cuarzosos greisenizados producto de intrusiones plagiograníticas en los esquistos. Forma capas muy mineralizadas o vetas cuarzo- micáceas en las cercanías de la aplita, donde la mica forma cristales con tamaño promedio de 2-5 cm. Presenta potentes cortezas de intemperismo donde abunda la mica como sedimento suelto. Es utilizada en la industria electrónica. El metamorfogénico esta asociado al gránate en esquistos cristalinos o en esquistos calcáreos acompañándose cuarzo y anfíbol.

Cianita- 16 depósitos (1 yacimiento). De tipo genético metamorfogénico se halla impregnando los esquistos formados por un alto grado de metamorfismo tales como cuarzo- cianíticos, clorito- cianíticos, grafitizados o cianíticos. Los cuerpos formados sólo de cianita son raros y de poca potencia. Los cristales llegan hasta 3 y 4 cm de largo, pero comúnmente son de 0,5-0,7 mm. Se propone su uso para cerámica especial.

Calcedonia- 58 depósitos. Sus tipos genéticos son hidrotermal, sedimentario y residual. Las *hidrotermales*, forman vetas, lentes, nidos y amígdalas en compañía de cuarzo, ágata y amatista, vinculadas a andesitas, dacitas, aglomerados basálticos y ocasionalmente calizasaporcelanadas. Las del tipo *sedimentario* constituyen cantos rodados que llegan a formar conglomerados. Las *residuales* se forman a expensas de la meteorización de las ofiolitas formando vetas en las propias serpentinitas. En general las calcedonias tienen color del gris al verdoso y rojo.

Opalos- 28 depósitos. De origen residual (infiltración) se forman por el intemperismo de las serpentinitas. Sus vetas ocupan grandes extensiones pero también aparecen como bloques,



nidos, bolsones, cuerpos irregulares y fragmentos en cimas y pendientes montañosas. Tienen color del verde al naranja y a veces negro.

Gránate- 50 depósitos (1 yacimiento). Sus tipos genéticos son; metamorfogénico y metasomático. El *metamorfogénico* es del tipo espesartita en esquistos cristalinos o en esquistos calcáreos acompañándose por micas, cuarzo y anfíbol. El *metasomático* es del tipo skarn de grossularita formado en el contacto de dacitas con granitoides. Uso propuesto como abrasivo.

Jadeíta- 2 depósitos. De génesis metamorfogénica se asocia a rocas jadeíticas formando una masa monomineral de agregados radiales, compacta, masiva y de grano fino, yaciendo con mármoles y rocas carbonatadas esquistosas.

Jaspes- 13 depósitos. De génesis exhalativo- sedimentaria se asocia a secuencias tobáceas de carácter medio, así como restringida a algunas capas de calizas. Se conocen con el popular término de *bayates*. En todo caso son cuerpos, de lentiformes a nidos, de cuarzo criptocristalino de color marrón - marrón rojizo. Se asocian a la misma actividad hidrotermal que dio origen a los depósitos de óxidos de Mn con los cuales guardan estrecha relación. En general las piedras semipreciosas se utilizan en joyería y en el caso del gránate como abrasivo.

Calizas y calizas dolomíticas- 511 depósitos. (169 yacimientos). Componen la mayoría de las formaciones carbonatadas que participan de las estructuras cubanas y en proporción variable en las vulcanógeno- sedimentarias. Su composición es calcítica con variables contenidos de dolomita. Litológicamente representan tipos tales como organógenas, biodetríticas, pelitomórficas, margosas, tobáceas y brechas, entre otras. Forman capas masivas en formaciones con amplio desarrollo carbonatado, pero en otras regiones pueden estar estratificadas con variado ritmo y potencia junto a otras litologías. Afectadas en grado variable por intemperismo, agrietamiento, tectónica, recristalización y dolomitización. Se asocian a cuencas, macizos, terrazas, mogotes y olistolitos. Se utilizan en la construcción, cemento, metalurgia, química, agricultura, decorativo.

Calcarenitas- 38 depósitos. (20 yacimientos). Son conglomerados, gravelitas calcáreas y areniscas que forman capas potentes con estratos de otras litologías estériles. Se utiliza como arena artificial.

Dolomita y dolomita calcárea- 29 depósitos. (6 yacimientos). Génesis sedimentaria-bioquímicas. Forman cuerpos masivos, gruesos, en capas extensas y potentes, generalmente carsificadas y agrietadas. Se utilizan en la construcción, metalurgia y agricultura.

Margas- 38 depósitos. (13 yacimientos). Génesis sedimentarias, derivadas de la mezcla de calcita y montmorillonita tales como margas arcillosas, calcáreas y calizas margosas. Forman capas masivas o estratificadas con sus propios tipos litológicos u otros estériles. De plasticidad variable a poca pueden presentar dolomitización. Útiles en cerámica roja, cemento, construcción.

Magnesita- 11 depósitos. (4 yacimientos). Presenta tipos genéticos residual y sedimentario. El tipo *residual* se forma por alteración de serpentinitas. Forma cuerpos irregulares, lentes, nidos, vetas y nódulos. El contenido de MgO es alto y presenta hidróxido de hierro. El tipo *sedimentario* se vincula a las series arcillosas donde forma grandes y potentes masas irregulares horizontales. Se usan para fertilizantes y se estudian para metalurgia.



Mármol- 13 depósitos. (5 yacimientos). Su composición varía de calcítica a dolomítica con grano promedio de grueso a muy grueso. Forman mogotes conjuntamente con algunos esquistos. , pero en otras regiones solo son lentes intercalados en capas de calizas o areniscas. Se usan como roca ornamental, construcción, agricultura.

Rocas Feldespáticas- 66 depósitos. (15 yacimientos). Sus tipos genéticos son *aplito-pegmatítico* y *magmático- extrusivo*. El tipo *aplito- pegmatítico*, de composición cuarzo-feldespática (albita- oligoclasa o microclina- ortosa). Forman diques, vetas o lentes suficientemente grandes encajados en anfibolitas, granitoides, rocas volcánicas o esquistos cuarzo- micáceos. El tipo *magmático- extrusivo* se vincula a los cuerpos de lavas liparítico-dacíticas. El feldespato se utiliza para cerámica blanca.

Roca Fosforica - 17 depósitos. (3 yacimientos). Son genéticamente residuales, del tipo silíceo- arcilloso con variables contenidos de fluor- apatito. Forman estratos, con más de 40 m de espesor, de una masa amorfa mezclada con arcillas y material fosfático en concentración de hasta un 25% de P_2O_5 . Se usan como fertilizantes.

Calizas fosfatadas- 34 depósitos. (4 yacimientos). Génesis bioquímica. La variable fosfatización se asocia a fosforitas granulares y calcarenitas llegando hasta conglomerados. La mineralización oscila de 1-19% de P_2O_5 . Se usan como fertilizantes.

Granitoides- 80 depósitos (10 yacimientos). Vinculados a los intrusivos cretácicos y eocénicos. Compuestos por cuarzo, plagioclasas y biotita, mientras los tipos sieníticos contienen además feldespatos y anfíboles. Sus enormes cuerpos forman llanuras con suaves colinas tectonizadas y meteorizadas, con potentes cortezas arenosas. También forman macizos montañosos o están como bloques exóticos incluidos en serpentinitas a modo de cerros aislados. Se usan en la construcción y decorativa.

Gabros y troctolitas- 32 depósitos. (5 yacimientos). Vinculados a los macizos ultrabásicos. Compuesto de plagioclasas labrador, pirones y anfíboles. Son rocas tectonizadas, serpentinizadas en grado variable y meteorizadas, formando cortezas de variable potencia. Usos construcción y decorativo.

Andesitas- 59 depósitos. (19 yacimientos). Compuestas por plagioclasas (andesina y oligoclasa), anfíboles y epidota. Forman mantos de lavas masivas, lavabrechas, cuerpos subvolcánicos o diques, muchas veces con relaciones complicadas, con tobas y aglomerados, en zonas llanas a colinosas. están tectonizadas y alteradas. Se usan en la construcción.

Basaltos- Diabasa- 16 depósitos. (4 yacimientos). Son cuerpos subvolcánicos, duros, de grano medio, que forman grandes macizos o pequeños cuerpos de relieve suavemente ondulado a colinoso. Se hallan tectonizados, agrietados y meteorizados, dando una cobertura arcillosa irregular quedando aún suficiente potencia útil de roca fresca. Se usan en la construcción y se proponen para petroquímica.

Areniscas silíceas- 13 depósitos. (6 yacimientos). Es una roca sedimentaria de composición cuarzo- feldespática, tipo grauwa, de grano fino a grueso y cemento arcilloso. Forman capas con suficiente potencia industrial que se alternan con aleurolitas y argilitas calcáreo- margosas de aspecto general flyshoide. Se usan en la industria del cemento y construcción.



Cuarcita- 42 depósitos. (4 yacimientos). Sus tipos genéticos son metamórfico e hidrotermal. El *metamorfogénico*, son rocas cristalinas compuestas por granos muy finos de calcedonia o cristobalita- tridimita. El tipo *hidrotermal* son cuarcitas secundarias formadas a expensas de rocas volcánicas andesíticas y andesito- dacíticas... Su uso propuesto es para cerámica y metalurgia.

Cuarzo- 186 depósitos. (3 yacimientos). Génesis hidrotermal. La mineralización se presenta en vetas de tipo alpino, irregulares y fracturadas, y en vetas asociadas a procesos magmáticos o como lentes y cuerpos de tamaño variado de estructura interna compleja. Se utiliza en metalurgia y propuesto para el vidrio, la óptica y la electrónica.

Silicita- 7 depósitos. (1 yacimiento). Génesis sedimentaria compuesta por cuarzo y calcedonia, están intensamente plegados, triturados y meteorizados. Se propone su uso como fundente para la metalurgia del cobre.

Vidrio volcánico- 6 depósitos. Del tipo magmático extrusivo. Sus cuerpos son de poca extensión y potencia. Se propone para producir perlita.

Tobas vítreas- 89 depósitos. (5 yacimientos). Génesis volcanógeno- sedimentario. Potentes paquetes de tobas vitroclásticas fundamentalmente, ligeras, porosas. Se propone usar como filtrante de aceites, licores y gases, relleno inerte, aislante térmico y cemento puzolánico.

Sal Gema- 7 depósitos. (1 yacimiento). Su composición es halítica con ínfimos contenidos de MgCl. Es una brecha de fragmentos de caliza dolomítica, anhidrita, dolomita y lutita, en una matriz de sal granuda. Se propone para la industria química y en el consumo humano.

Yeso- 6 depósitos. (3 yacimientos). Como brecha policomponente con predominio de matriz yesífera, sobreyace transitivamente, a brechas salinas en la estructura diapírica. En otras regiones, forma lentes en brechas emplazadas tectónicamente entre serpentinitas y areniscas, forman capas de potencia variable entre margas y calizas. Los yesos son utilizados para cemento y algún caso excepcional en medicina.

Serpentinita- 24 depósitos. (2 yacimientos). Asociada a los grandes macizos ultrabásicos. Son del tipo antigorítico, Forman cerros aislados o lomas alargadas. Estas serpentinitas son utilizadas con fines decorativos.

Anfibolita- 13 depósitos. Compuesta por anfíbol y pocas plagioclasas. Por sus buenas propiedades mecánicas se propone usar como áridos y algunos sectores para decorativo.

Talco- 68 depósitos. (2 yacimientos). De origen hidrotermal. Los lentes y bolsones de talco tienen potencia y dimensiones irregulares, asociándose al contacto entre esquistos verdes y metaterrígenos o cercanos al contacto con rocas carbonatadas. Se proponen usar para el papel, la pintura y los cosméticos.

Tobas zeolitizadas- 89 depósitos. (25 yacimientos). Rocas vulcanógeno- sedimentarias. Tienen composición predominante Mordenítica- clinoptilítica con variables contenidos de celadonita, montmorillonita y cuarzo. Son rocas vitroclásticas y cristalovitroclásticas, ligeras, porosas y masivas. La zeolitización es irregular. Se utilizan en agropecuaria, cemento y múltiples usos exigentes.



Turba- 6 depósitos. (5 yacimientos). De origen caustobiolítico está asociada a los depósitos palustre- parálidos. Se hallan mezclados con arcillas turbáceas, limos, sapropel, arenas y otros. Se utiliza principalmente en la agricultura, pero podría aprovecharse como fuente energética.

Wollastonita- 3 depósitos. (1 yacimiento). Génesis skarn metasomático del Cretácico. Son rocas de skarn wollastonítico- granatífero asociadas a calizas intravulcanógenas marmorizadas y skarnificadas como consecuencia de la intrusión de un macizo de granitoides. Forma potentes bandas de mármoles- skarn con variables contenidos de wollastonita y granates, según las bandas en cuestión. Alternan con basaltos skarnificados. El contenido de wollastonita en la roca es del 60-70 %. Por sus características químicas el mineral se puede utilizar en la industria cerámica (bujías y azulejos), en la fabricación de plásticos y pinturas, entre otros.

Nota: Cuando se refiere a depósito se incluyen las manifestaciones y puntos de interés. Los yacimientos son los depósitos con reservas y recursos avalados por la Oficina Nacional de Recursos Minerales " ONRM" de Cuba en su balance de Reservas del 2000.

CONCLUSIONES.

En el mapa están representados 1571 depósitos entre yacimientos y manifestaciones, distribuidos por todo el país. Siendo los recursos mas abundantes las rocas carbonatadas, utilizadas para áridos de trituración, cemento y otros usos más exigentes. Le siguen en volumen las arcillas y arenas además de los depósitos de tobas zeolitizadas entre otras. Por la información procesada y representada en este mapa, se llega a la conclusión de que Cuba cuenta con gran potencial de rocas y minerales industriales, algunas por desarrollar como la wollastonita y la paligorskita.

BIBLIOGRAFIA.

D.P. Coutin, J. Martínez, et al. 1988. Mapa de Yacimientos y Manifestaciones Minerales No- Metálicos y Combustibles de la República de Cuba. escala 1:500 000. CIG.

R. Batista, D. Sosa et al. 2000. Sistema Informativo para los Recursos Minerales de Cuba. "INFOYAC" IGP.

Ley No. 76 Ley de Minas. 1995.



SISTEMA EPITERMAL JACINTO: RAZONES GEOFÍSICAS PARA RECONSIDERAR SU UBICACIÓN ESPACIAL.

Roberto Sánchez Cruz, Noel Petrus Marcos

Instituto de Geología y Paleontología, Vía Blanca y Línea del Ferrocarril, s/n, San Miguel del Padrón, CP 11 000, Ciudad de la Habana, Cuba. E Mail: rscruz@igp.minbas.cu

RESUMEN

La loma Jacinto enclavada a media distancia entre los poblados de Guáimaro y San Miguel de Bagá se considera un enorme silica cap de aproximadamente 3 Km.² de extensión, relictos de la actividad magmática cretácica. La constatación de la capacidad aurífera de las vetas de cuarzo fue comprobada por N.Russell y otros en 1994, y desde entonces el centro epitermal del sistema se asocia a la cima de loma Jacinto. Los pozos JAC-1, 1A y 2, de 1998, tratando de localizar el centro del sistema epitermal, obviando la interpretación geofísica, no resultaron exitosos.

Se demuestra mediante la interpretación de los resultados de HEM reprocesados según N.Petrus 1998 a partir de K.P.Sengpiel, 1988, lo acertado de la interpretación geofísica inicial al obtenerse pseudocortes de resistividad, que dadas las propiedades de las rocas del sector alcanzaron más de 75m. de profundidad. La interpretación base involucra los métodos de Magnetometría, Espectrometría, VLF, EM y otros. Se pudo observar que las anomalías de hasta 500ohm/m. localizadas a lo largo del tope de la loma se extienden solamente hasta los primeros 80m. del corte, comprobándose las ideas iniciales sobre la no existencia de correspondencia entre el silica cap aflorado y el centro epitermal.

La interpretación realizada muestra la perspectividad de los alrededores de Loma Jacinto, la cuál permanecía sin revelarse, confirmándose la posibilidad de la localización de las partes de bonanza del sistema epitermal. Adicionalmente se muestran los primeros resultados del pronóstico de oro en los flancos de Loma Jacinto.

ABSTRACT

Jacinto Hill, located between Guáimaro and San Miguel de Bagá, is a cretaceous magmatic activity relictus and forms a big silica cap with around 3 Km.² The confirmation of the auriferous capacity of its quartz veins and veinlets system was probed for N.Russell et.al. in 1994 and since then the epithermal system's core is correlated with to the top of Jacinto Hill itself. The holes JAC-1, 1A y 2, in 1998 trying to locate the epithermal system's center, passing over geophysical considerations, were a fault.

With the implementation of the new interpretation methodology for HEM, based on the reprocessing of HEM data, as N.Petrus 1998 and K.P.Sengpiel 1988 recommended, it can obtain resistivity profiles up to 75m. depth and bigger. The interpretation is based on different geophysical methods: Magnetic, Spectrometric, VLF, EM and others. EM anomalies up to 500 ohm/m. intensity, located along the top of Jacinto hill shows that the silica cap there has less than 80 meter of thickness, probing graphically the initial ideas over the unexistent correspondence between silica cap and the epithermal center there, probing at last that the first data interpretation was correct.

This interpretation shows the perspectivity for auriferous mineralization around Jacinto hill, which it were not clear yet, and let it open the possibility for bonanza deposit inside the epithermal system. The first results about gold veins appearance forecast in the Jacinto hill flanks are showed too in addition.

Introducción

Los eriales de la Loma Jacinto, donde alrededor de 3 km.² de cuarcitas y su aureola mecánica eluvial impiden el desarrollo de suelos y por lo tanto vegetación productiva, son un típico producto de la actividad volcánica hidrotermal del Cretácico. Estas alteraciones hidrotermales



de las formaciones efusivo-sedimentarias y volcánicas de la región son a su vez el único asidero para la interpretación de los métodos geofísicos por el contraste de propiedades físicas que representan (Ref.1, 10).

Las líneas del vuelo a la que se refiere la interpretación de HEM mostrada son propiedad de CaribGold Mines Inc.- Geominera S.A. y se presentan por cortesía de ambos. Los trabajos aerogeofísicos fueron realizados por Scintrex-Caribe en 1995, pero aquí solo se incluye el reprocesamiento de 5 líneas de vuelo (210, 220,230,240 y 250) con espaciamiento de 200 m. dentro de la concesión de Prospección Jacinto de unos 82 km². de extensión, perteneciente a la A.E.I. CaribGold Mining Inc.-Geominera S.A. El resto de los mapas aerogeofísicos del área incluyen toda la información restante.

El descubrimiento del depósito de oro epitermal de adularia sericita en Jacinto indujo inmediatamente a pensar en la necesidad de la localización del centro epitermal del sistema por la potencialidad que representa para la economía del depósito en cuestión, de ahí que muchos esfuerzos de prospección y dinero se hallan vertido en esta tarea. Para tratar de ayudar en la localización de ese centro epitermal se utilizan diferentes técnicas de interpretación basados fundamentalmente en los datos aerogeofísicos.

Materiales y Métodos

A finales de los '80 se realizaron en el sector Jacinto trabajos de prospección de cuarzo para elementos de la electrónica los que a la postre sirvieron para el descubrimiento de las vetas de cuarzo, aparentemente ligadas al sistema epitermal Jacinto, que hoy nos ocupa (Ref. 14). Los trabajos en el sector Santa Elena, que revelaron el depósito epitermal Jacinto comenzaron en 1994 con la Evaluación Regional de las perspectivas de mineralización aurífera llevada a cabo por la A.E.I. CaribGold-Geominera dentro del proyecto Camagüey NE. J.I. Torres 1995 (Ref. 14,1), quién había participado en la prospección de cuarcitas en la región, enfrentó, en conjunto con J.Soler 1995 (Ref. 14,1) y otros, el muestreo geoquímico del área y la localización de las vetas de cuarzo datadas positivas al oro y posteriormente cortadas en profundidad por Russell N.; A.Simón; J. Soler; J. Alonso; J.I. Torres; P.Donet; E.Piñero; R.Sánchez; J.P.Lledías; F.Pereira; J.M.Gómez, C. Balbis; en distintas etapas y con diferente participación a lo largo de los trabajos de prospección-exploración. El oro se encontró asociado a vetas epitermales, con dirección 330° y 290°, en Sur de Elena, Elena, Beatriz y El Limón fundamentalmente, localidades situadas hacia el flanco E de loma Jacinto.

El sector de trabajo fue cubierto con aeromagnetometría, y aeroespectrometría en escala 1: 50000 durante los trabajos del LAGC de Cuba en los años '80 (Ref. 10, 11) y 10 años después, cubierto por los métodos de magnetometría, espectrometría, EM, y VLF, (Helicopter) a las escalas de 1:25000 y 1:10000 para CaribGold Mines Inc. - Geominera S.A. por Scintrex-Caribe (1994-1995). La primera interpretación de los materiales aerogeofísicos de estos últimos trabajos fue realizada por O.P. Seigel (SCINTREX Ltd.) en 1995, en ella no se brindó soporte geológico a la interpretación geofísica y lo único útil es el trazado de los principales ejes conductores a partir de EM.

Los principales volúmenes de los trabajos geológicos realizados, se vinculan a los estadios de prospección-exploración de las vetas de cuarzo con oro en el sector Santa Elena, entre ellos: muestreos de suelos (3 km²); 12,000m. de perforación de diamante; 15000m. de stripping; más de 5000 muestras de ICP y otros. Además tres pozos estructurales de prospección de hasta 400 m de profundidad sobre la loma con el fin de develar la mineralización profunda (Ref. 1). En el 2002 se completó el levantamiento Topográfico a escala 1: 500 del sector (Ref. 7). El

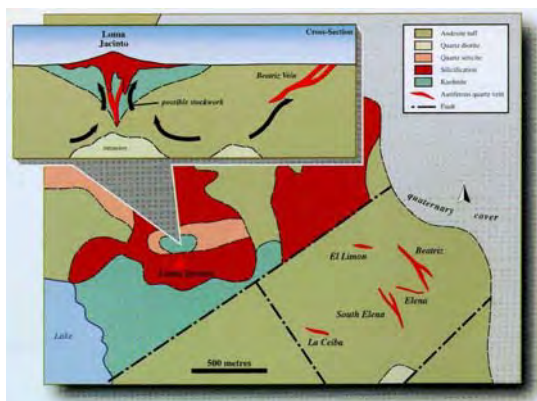


yacimiento Jacinto tiene cumplimentado su estudio de prefactibilidad, (Ref. 1).

En la región, la unidad volcánica principal, parece ser la Formación Camujiro, de edad Albiano –Turoniano (Iturralde-Vinent 1995, Ref. 4), que está constituida por basaltos submarinos y flujos de andesitas, aglomerados y tobas (Díaz de Villalvilla et. al. 1994, Ref. 2) en la periferia norte del batolito Camagüey. Las secuencias superiores incluyen a las formaciones Aguilar, Piragua y Caobilla que se consideran de edad Santoniano – Campaniano y consisten fundamentalmente de rocas volcánicas felsíticas, tobas bien estratificadas y rocas sedimentarias.

Las secuencias volcánicas citadas incluyendo las del plutón, fueron intruídas a su vez y están sobreyacidas por flujos lávicos desde riolitas y hasta dacitas de la Formación La Sierra. Todas las rocas, las intrusivas y las volcánicas fueron a su vez inconformemente cubiertas por rocas sedimentarias desde finales del Campaniano hasta el Eoceno, presentes en la cuenca de Magantilla (Ref. 9, 1).

En el sector Jacinto, (Fig.1) la mineralización está encajada en rocas de la formación Camujiro, cercanas al contacto del plutón Cascorro. En la dirección NE se desarrollan las rocas de la formación La Sierra, cuyos cuerpos volcánicos fisurales, pueden haber sido la fuente de las soluciones hidrotermales portadora de la mineralización. Los 2 Km² de rocas volcánicas brechadas de la formación Camujiro que rodean Jacinto se pensaba (Ref.1,5,13) estaban silicificadas hasta las partes más bajas de la elevación en dirección al N, y rodeadas por alteración argílica avanzada y sericítica. En Jacinto se detectan las rocas hidrotermalmente alteradas: silicificadas, caolinitizadas, sericíticas y cuarzo-sericíticas, típicas de la parte central del sistema epitermal (?), rodeadas por rocas volcánicas de composición media-ácida, generalmente propilitizadas, en las que aparecen esporádicamente pequeñas zonas de rocas alteradas (silicificadas o cuarzo-sericíticas). Se comprobó que las rocas en el centro del sector y coincidentes con la elevación Jacinto, son estériles en oro, sin embargo la alteración propilítica puede ser seguida hacia la profundidad de la Loma Jacinto como se observó en los pozos J -1, J -1A y J-2. Se detectan contenidos de oro entre los 60.5m. y 64.5 m. de profundidad (70, 75, 111 y 15 ppb); en J-1A alrededor de los 385 m. y los 401 m. 20 y 60 ppb respectivamente y en J-2 alrededor de los 140m. de profundidad con 30 ppb. (Ref.1).



Cortesía de CaribGold Mines Inc.-Geominera S.A.

Figura 1. Modelo Geológico de Loma Jacinto

Una vez comprobado el origen epitermal del depósito de vetas Jacinto al Este, (Ref. 13) se reactivó el interés en la localización del propio centro del sistema epitermal del sistema. Las ideas iniciales soportadas por los reconocimientos geológicos realizados y por el análisis de los datos que se poseían fueron interpretados como indicadores de que el centro del sistema coincidía con los alrededores cercanos a la cima de Jacinto. La interpretación geofísica inicial desdeñó desde el inicio esta posibilidad dada la falta de reflejo en los campos físicos notoria de los alrededores de la cima de Jacinto hill. Si lo que se pretendía encontrar era un centro silicificado, este no estaba bajo Jacinto, cuyas anomalías de ρ_a para la frecuencia de 4180 Hz coplanar alcanzaban

escasamente los 200 ohm/m. en una zona donde las resistividades de los granitoides del plutón Cascorro llegan a los primeros miles de ohm/m.... si lo que se quería hallar era la mineralización de bonanza, entonces se necesitaba determinar los sectores de baja resistividad



y alta conductividad dentro de mínimos magnéticos.

En el campo magnético pueden diferenciarse dos tipos principales de campo: uno variable de carácter alterno, generalmente entre - 500 η T. y + 1000 η T. asociado a la presencia del plutón Cascorro de dioritas y granodioritas de edad Cr. y otro tranquilo que oscila entre 0 η T. y -200 η T. asociado a los depósitos de cuenca, sobre la de Magantilla, cuyo límite sur es adyacente al borde N del sector. Las vulcanitas de La Sierra, Camujiro, etc. según su composición y texturas presentan un campo magnético intermedio entrabos extremos (Ref 10). Como es de esperar las zonas de alteración hidrotermal se cartografían como disminuciones de la intensidad del campo magnético (CM).

Asimismo los valores de la intensidad total de radiación gamma (I_γ) son máximos sobre las rocas intrusivas (entre 6.0 μ r/h. - 8.0 μ r/h.) siendo mucho menores sobre el resto de las litologías presentes. La mayor contribución en la intensidad de radiación total la tienen los contenidos de potasio presentes en las rocas, incrementados sobre los intrusivos (Ref.10). Las zonas de alteración hidrotermal dentro de las vulcanitas se cartografían también por anomalías en la concentración de potasio y pueden alcanzar sobre Beatriz hasta un 3%, aunque en ése sector, como en todo el Camagüey, parece que el contenido de potasio está más relacionado con la alcalinidad de las rocas presentes en los sectores que con las alteraciones hidrotermales. Esto quizás está a su vez relacionado con la poca aflorabilidad de toda la región, no es el caso de Jacinto, donde las isolíneas de 0.5% de contenido de K son quiénes contornean la loma aproximadamente por la cota 100 m.

Los resultados de los trabajos aerogeofísicos sobre el sector Jacinto, bajo condiciones de procesamiento normal, posibilitan en general una pobre segregación de los campos físicos(Ref.11), entonces, para superar esa dificultad solo el reprocesamiento de la información, bajo algoritmos especiales, combinado con otros métodos de apoyo podría ayudar a definir el corte resistivo y por lo tanto el mínimo de resistividad aparente que debe coincidir con los canales de ascenso de las soluciones mineralizantes del sistema amén de apoyar la detección directa de las vetas cuarzo-auríferas Jacinto en el bloque Santa Elena (Ref. 11). Se utilizaron variantes de reprocesamiento de métodos aerogeofísicos que tuvieran relación directa con la silicificación y la mayor resistividad y competencia que ella produce en las rocas y que a la larga parecen ser además las únicas propiedades físicas cartografiables, asociadas a las posibles ocurrencias minerales del yacimiento.

Los mapas de Resistividad EM obtenidos durante el vuelo, dado el procesamiento usado, **diluyen** demasiado las características resistivas de las secuencia y vetas dentro de las resistividades del medio encajante, producto precisamente a que **pesan** (o influyen) más los **muchos valores** respuestas del medio encajante, respecto a los **pocos valores altos** (anómalos) asociados a los **muy estrechos** objetos buscados. Para el reprocesamiento se aprovechó el desarrollo de una función de transferencia compleja "c" ó "skin depth" generalizado, realizado por K.P.Sengpiel en 1986 para determinar la relación existente entre la resistividad aparente ρ_a , la frecuencia de trabajo (f) y su componente en fase (ip), para un modelo multiestratificado (Ref. 12) y la programación automática de su solución (Ref. 8), así como experiencias anteriores en la solución de diferentes tareas de prospección (Ref. 8, 11), utilizándola para la cartografía de los objetos resistivos, léase canales de ascenso de mineralización, vetas y capas minerales, vetas cuarcíferas y otros dentro de un medio "estratificado" (secuencias tobáceo - lávicas).

El reprocesamiento utilizado en este trabajo, según K.P. Sengpiel 1986 (Ref. 12) y programado por N. Petrus (Ref.8), permite a partir de las muchas mediciones de HEM, en base a las 5



frecuencias de trabajo medidas y por lo tanto diferente poder de penetración, calcular los valores de resistividad a diferentes profundidades, obteniéndose los mapas de la resistividad en profundidad del terreno. Al mismo tiempo permite a lo largo de las líneas de vuelo tener el corte resistivo ρ_a a lo largo de las líneas de vuelo. Para el reprocesamiento realizado no bastan las matrices de los datos como habitualmente se reciben de las compañías de trabajos Aerogeofísicos, sino que se necesitan los datos "crudos" del vuelo, con las respuestas directas de las 5 frecuencias EM utilizadas. El procesamiento llamémosle "clásico" que hacen estas compañías de Airborne Geofísica, involucra generalmente solo las frecuencias coplanares, entregando a los clientes tres mapas independientes, uno para cada una de ellas y además un mapa de anomalías, los que en la mayoría de los casos resuelven las necesidades de la prospección o la cartografía para las que fueron realizados. En Jacinto, conspiran contra la mejor respuesta del terreno las dimensiones de los objetos buscados y el hecho de que las líneas de vuelo, de dirección N-S, no son totalmente perpendiculares a la dirección de las estructuras principales. Los cinco perfiles interpretados, coinciden con la parte central de la elevación y la atraviesan en dirección N.

El sistema HEM, GEOTECH, utilizado incluyó 5 frecuencias (3 Coplanares y 2 Coaxiales):

- f_1 - 890 Hz. coaxial (Cx).
- f_2 - 980 Hz. coplanar (Cp).
- f_3 - 4784 H. coaxial (Cx).
- f_4 - 4180 Hz. coplanar (Cp).
- f_5 - 35.5 KHz. coplanar (Cp).

La información recolectada para cada frecuencia incluyó los componentes en fase (IP, in phase) y cuadratura (QD) en ppm. de ellas en intervalos de 0.1 seg. (10 canales). Todos los datos de HEM existentes cumplían con las características exigidas, obteniéndose los pseudocortes de ρ_a citados a lo largo de las líneas de vuelo y luego en cualquier dirección, así como la confección de los mapas de ρ_a para cualquier profundidad deseada. Paralelamente en la interpretación geofísica se utilizan los datos del Levantamiento Aerogeofísico Complejo (LAGC) escala 1:50000 de Cuba.

Resultados y Discusión

Las perforaciones estructurales de prospección sobre Loma Jacinto pretendían cortar el centro de silicificación del sistema epitermal y se ubicaron a 300m. una de la otra, casi en su cima y en dirección meridional sobre el flanco E de la loma, de mejor accesibilidad. Ambas se dirigieron con el menor ángulo posible hacia el poniente para tratar de atravesar todo el espesor silicificado que según sus curvas de nivel sugería un emplazamiento fundamentalmente submeridional. Los pozos perforados fueron J -1; J -1 A y J -2, con profundidades respectivas de: 111.0 m.; 444.5 m. y 278.5 m.

Los resultados fueron desalentadores ya que el paquete de rocas silicificadas en ninguno de los casos sobrepasó los 30m - 40m. de espesor en los pozos, dándole paso, bajo él, a una secuencia volcánica con piritita diseminada cuyos ensayos para oro fueron negativos. Al parecer, apoyados en los resultados de estas perforaciones, el "sistema epitermal" Jacinto no tiene raíz... o, ella no se encuentra debajo de la loma de igual nombre, como sugiere la interpretación geofísica (Ref. 9).

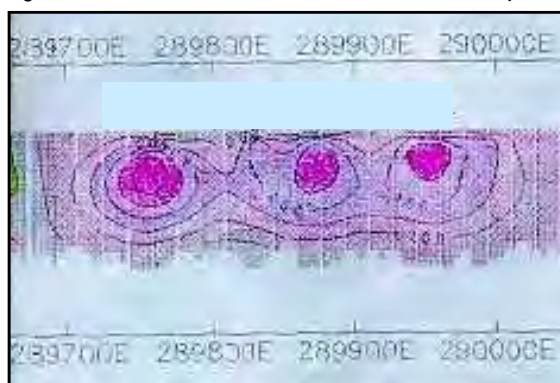


Si se observan las características de la resistividad aparente de las rocas del área a partir del procesamiento de los mapas de EM coaxial en fase, para la frecuencia de 4180 Hz. lo primero que salta a la vista son las diferencias en la morfología e intensidad de las anomalías de ρ_a sobre Jacinto Hill: Jacinto Hill presenta en la dirección de su cresta, N franco, una pequeña anomalía alargada de 60 ohm/m casi coincidente con la cima de la elevación, pero en nada correlacionable con la extensión de la silicificación cartografiada sobre la loma.

El reprocesamiento realizado permitió obtener el perfil de resistividad sobre el casquete resistivo o silica cap, (Fig. 2); la línea de vuelo 230 de dirección N franco, cumple con las mejores condiciones para ello. El perfil de ρ_a muestra entre las ordenadas $Y_1 = 289675$ y $Y_2 = 290025$ una anomalía en forma isométrica que contorneada por la isohma 200 posee dimensiones de 300m. x 80m.; la tercera dimensión, utilizando el line spacing de 200m. y la ausencia de la anomalía en los perfiles laterales (220 y 240), puede suponerse de 200m. La anomalía presenta tres máximos bien diferenciados de hasta 600 ohm/m. el más sureño, que coincide con la cima de Jacinto y de 500 ohm/m. los dos restantes. La isohma 100 delimita el tope inferior a una profundidad de 80m.-90m. en la parte norte algo más potente. La referencia entre las líneas de vuelo 220 al W y 240 hacia el E sirve para estimar la extensión del silica cap asimétricamente hacia el W.

La cartografía geológica superficial no es comprobada con la resistividad de las secuencias interpretadas, la silicificación según este perfil, muy débil puede seguirse hasta la ordenada 290300 muy lejos de la mostrada en el mapa geológico. La cartografía de la silicificación en base al mapa de contenidos de K sí contornea bien la elevación cuarcificada y silicificada, lo que habla a favor de potencias del orden de los 0 – 5m. Considerando las alturas relativas entre el tope de la elevación y las cotas de las bocas de los pozos, la potencia cercana a los 100 m. calculada en base a al perfil de resistividad aparente parece ser adecuada con la realidad. La aparición en los mapas de resistividad de un segundo centro anómalo de hasta 140 ohm/m. a unos 500 m. al SW del tope de Jacinto indica que el silica cap puede poseer dos centros bien diferenciados. Es de destacar que las características de los campos físicos en este sector son más interesantes que las propias de la cima de Jacinto.

Figura 2. Corte de Resistividad en ohm-m sobre Loma Jacinto



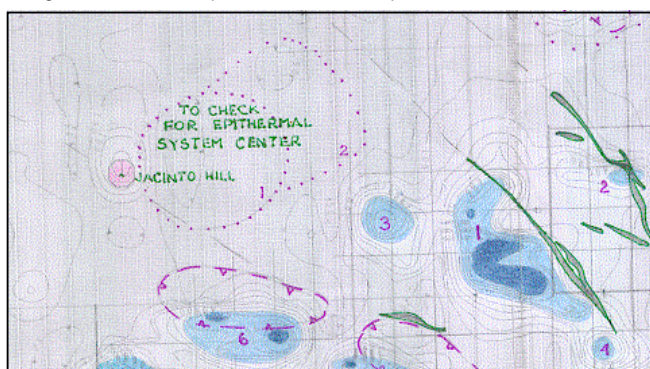
El perfil obtenido (Line 230) demuestra que el silica cap de Jacinto es mucho menos potente de lo supuesto. La carencia de anomalías magnéticas en las cercanías que induzcan a pensar en la existencia de plutones cercanos no se ve corroborada por los datos magnéticos: las rocas plutónicas cartografiadas al S de Jacinto tampoco tienen reflejo en el campo magnético de la zona. Las intensidades medidas de entre 0 y 200 0T. (LAGC 1:50000) no explican la susceptibilidad magnética de las rocas ígneas presentes. Las resistividades cartografiadas hacia el S con EM Helicopter (CaribGold Mines-Geominera, 1; 25000), sin embargo sí pueden ser interpretadas como pertenecientes a rocas ígneas (ρ_a hasta 2000 ohm/m.). El cálculo de las profundidades y de la susceptibilidades de las fuentes magnéticas profundas, no mostró resultados remarcables. La utilización de la variante de contacto fue la más expresiva, destacándose una morfología de anomalías de profundidad que podría ser interpretada como caldera en la zona NW de Jacinto. Esta zona, llamada Ogún y Miradero presenta pequeñas anomalías de oro en las muestras metalométricas de alrededores de los 100 ppb. y las muestras



más representativas de oro en las jaguas en el sector. Sin embargo la lejanía al silica cap pudiera ser una causa para no considerar menos probable su relación.

El sector más interesante cercano al tope de Jacinto está aproximadamente hacia el E de la elevación, a escasos 400m. - 500m. de la cima (Fig. 3) y puede tener estrecha vinculación con el centro del sistema epitermal buscado. En esta zona se revelan anomalías EM coaxial en fase de más de 14 ppm. con una conductancia de entre 10 -100 siemens para una frecuencia de 890 Hz. y una anomalía magnética residual de $-140 \eta T$. coincidentes con mínimos de la resistividad aparente de 20 ohm/m. (Ref. 10). La combinación de estas características son típicas del modelo buscado; la posible dirección NW de emplazamiento coincide mejor con lo que debía esperarse basados en la tectónica regional y con la dirección de la falla Las Carolinas (Ref. 11).

Figura 3. Ubicación posible del centro epitermal



Las rocas sobre Jacinto pueden ser cartografiadas por su baja radiactividad con valores anormalmente bajos de potasio, como corresponde a rocas silicificadas, pero a su vez no son informativos respecto a los procesos de alteración hidrotermal acompañantes, los que parecen no muy relevantes.

Resultados análogos se obtienen al analizar los mapas del campo magnético total (Reducción al Polo). No puede observarse relación alguna del campo

magnético con la estructura de Jacinto Hill, queda clara al menos, la desmagnetización de las rocas de la región por los procesos hidrotermales sufridos.

Los paquetes menos resistivos, localizados a lo largo de las líneas de vuelo, se detectan siempre en el extremo norte de ellas con valores menores de 75 -100 ohm/m. (hasta 25 ohm/m.) y suponemos están vinculados a la aparición de las secuencias de cuenca (Magantilla Basin). Las líneas 400 y 410 en el flanco E son las que presentan mayores espesores de estas secuencias de cuenca.

La mayor potencia y extensión de las lavas y tobas en las porciones meridionales de los perfiles, así como la cercanía y presencia de pequeños cuerpos intrusivos de granitoides, satélites del Plutón Cascorro, hacen que sobre esa porción de los perfiles, los valores de la resistividad aparente sean más elevados, oscilando entre los 100 ohm/m. - 200 ohm/m. de fondo. Los valores máximos de la resistividad, entre 1000 ohm/m. - 2000 ohm/m. son los que vinculamos a la presencia de objetos muy resistivos como los canales silicificados, vetas de cuarzo y rocas ígneas.

El mejor resultado del reprocesamiento se logra con la detección, de los objetos vinculados con las vetas conocidas, en el depósito Jacinto, cuyo resultado puede extrapolarse en la detección de similares objetos en los flancos N y S de la loma Jacinto, que por la morfología de sus anomalías, análogas en intensidad y forma a la de los patrones son, en alto grado identificables como nuevos objetos de prospección. La aparición en algunos puntos al NW, cercanos a la elevación, de resultados de hasta 100 p.p.b. de oro en muestras de suelos, apoyan esta hipótesis. Los sectores con nuevas vetas pronosticadas en los flancos N y S de Jacinto, merecen sin duda una atenta mirada pues pueden significar el aumento de las reservas del



yacimiento.

Conclusiones

1. Las diferentes transformaciones realizadas a los mapas aerogeofísicos ya mencionadas a partir del uso del Sistema Geosoft Mapping, y Oasis Montage en los alrededores de Loma Jacinto, así como el uso de otros algoritmos de interpretación a partir del abanico de frecuencias obtenido de HEM y utilizado para el cálculo de la profundidad del casquete resistivo Jacinto brindó detalles acerca de lo somero de su yacencia, hasta 100 m. de profundidad lo que implica que Jacinto Hill efectivamente no tiene raíz resistiva, o al menos, esta no está relacionada directamente con sus partes apicales.
2. Los datos adicionales suministrados permiten localizar al menos un sector interesante en las inmediaciones de la loma Jacinto, (X= 444500; Y= 289850) con posibilidades de ser huésped de mineralización de bonanza dadas las características de sus campos físcos.
3. Las herramientas aquí brindadas si bien no resuelven todas las tareas de la prospección, al menos focalizan el interés hacia sectores con una mayor probabilidad de ocurrencia, restringiendo los volúmenes de futuros trabajos a su mínima expresión, recomendando la utilización inicial de métodos de la geofísica terrestre antes de pasar a etapas de perforación.
4. Los métodos utilizados y la metodología de interpretación pueden ser considerados como **resolutivos plenamente** para las condiciones análogas a las del sector y extrapolados para el resto del arco volcánico cretácico (AVC) en semejantes condiciones y para el arco volcánico paleogénico (AVP) en condiciones montañosas.
5. Los trabajos de reprocesamiento de la información HEM han posibilitado la detección de objetos al parecer ligados a la mineralización aurífera por su posición morfoestructural los que habilitan los flancos N y S del sillica cap Jacinto como perspectivas para la prospección de nuevos objetos meníferos, confirmándose la potencialidad de la región para la prospección de oro y otros metales básicos.

Referencias Bibliográficas

- CaribGold Mines Inc. - Geominera S.A. 2000: "Reportes Anuales de los trabajos Regionales, de Prospección y Exploración realizados desde los años 1995-2000". Cortesía del Sr. Norman Russell, Gerente de Operaciones.
- Díaz de Villalvilla, L., M. Pérez, K. Sukar, R. Rodríguez, I. Méndez, T. Marí, G. Aguirre, I. Miliá, M.E. Quintana, B. Echevarría y E. Piñero, 1994: Consideraciones geoquímicas acerca de los arcos volcánicos de Cuba. II Congreso Cubano de Geología y Minería, Memorias. Santiago de Cuba 1994.
- GMG.Geominera-Geofísica. 1998: "Informe sobre la realización de Trabajos Experimentales de Electroperfilaje de doble abertura sobre la veta Beatriz". (Informe para la A.E.I. CaribGold – Geominera)
- Iturralde Vinent, M.A., 1995. Ofiolitas y arcos Volcánicos de Cuba, 1996: IUGS-UNESCO, IGCP, Project 364, Special Contribution.
- Kesler S.E., Ch. M. Hall, N. Russell, E. Piñero, R.Sánchez Cruz & M. Pérez, 2001: "Preliminary Ar - Ar ages of igneous rocks and hydrothermal alteration zones, Camagüey Batholith, Cuba. IV Congreso Cubano de Geología y I de Minería. La Habana.
- Pardo M., R.Stout, E.Kessell, et.al. 2001: "Resultados preliminares del Tema de Investigación 227 del



- Instituto de Geología y Paleontología, I.G.P. (Comunicación Verbal).
- Pereira F. 2002: "Informe sobre el levantamiento topográfico 1:500 del depósito Jacinto". AEI. CaribGold-Geominera.
- Petrus Marcos N. 1998: "Efectividad y posibilidades del método HEM en la búsqueda de yacimientos minerales de sulfuros". Tesis de Maestría en Geofísica Aplicada. I.S.P.J.A.E. La Habana.
- Piñero E. et.al. 1992: "Informe sobre los Trabajos de Levantamiento Geológico (Cancelados) del Sector Loma Jacinto". O.N.R.M. La Habana.
- Sánchez Cruz R. 2000: "Características geofísicas del sector Loma Jacinto". Resúmenes del Primer Congreso Cubano de Geofísica. La Habana 2000.
- Sánchez Cruz R., N.Petrus. 2002.: "Nueva perspectiva del yacimiento de oro Jacinto a partir de la revaloración de EM aéreo en sus flancos N y S. IV Conferencia Latinoamericana de Geofísica y II Congreso Cubano de Geofísica, La Habana 2002.
- Sengpiel K.P. 1986: "Groundwater prospecting by multifrequency airborne EM techniques". Geological Survey of Canadá. Paper 86-22, "Airborne resistivity mapping".
- Simón, G., S.Kesler, N.Russell, C.M. Hall, D.Bell & E. Piñero. 1999: "Epithermal Gold Mineralization in an Volcanic Arc: The Jacinto Deposit, Camagüey District, Cuba". Economic Geology - Vol.94, No.4, June-July 1999, p487- p506.
- Torres J., F. Pereira .1997: Comunicación verbal.



LOS DEPÓSITOS DE CROMITA DE SAGUA DE TÁNAMO (CUBA ORIENTAL): UN EJEMPLO DE CONEXIÓN ENTRE CROMITITAS RICAS EN Cr Y RICAS EN Al?

J.A. Proenza⁽¹⁾, F. Gervilla⁽²⁾, J.C. Melgarejo⁽¹⁾, A. Rodríguez-Vega⁽²⁾, R. Díaz-Martínez⁽³⁾, J.A. Batista⁽³⁾, R. Ruiz-Sánchez⁽⁴⁾, W. Lavaut⁽⁴⁾

(1) Departament de Cristal·lografia, Mineralogia i Dipòsits Minerals. Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona. Martí i Franquès, s/n, 08028, Barcelona. Joaquin@natura.geo.ub.es

(2) Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra y Departamento de Mineralogía y Petrología (CSIC-Universidad de Granada), Avda. Fuentenueva, s/n, 18002 Granada.

(3) Departamento de Geología, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Las Coloradas, s/n, 83320, Moa, Holguín, Cuba.

(4) Empresa Geominera de Oriente, Alturas de San Juan, Km 2 ½, Carretera de Siboney, Santiago de Cuba, Cuba

RESUMEN

El distrito de Sagua de Tánamo es uno de los tres distritos de cromita que forman la Faja Ofiolítica Mayarí-Baracoa (FOMB) en el noreste de Cuba. En este distrito se han descrito hasta 35 depósitos de cromita, algunos ricos en Cr y otros ricos en Al. Los cuerpos de cromititas se caracterizan por ser lentes de pequeño tamaño y presentar una envolvente dunítica. Las cromititas encajan en harzburgitas con texturas de tectonitas mantélicas y, frecuentemente incluyen, y/o son cortadas, por cuerpos de gabbro-hornblenda ("hornblenditas").

En los depósitos estudiados en el distrito de Sagua de Tánamo, el #Cr de la cromita varía entre 0.46 y 0.75. Estas variaciones composicionales se producen entre depósitos de cromita separados por una distancia inferior a 3 km, y son similares a las descritas para los depósitos de cromita de la FOMB, desde cromitas ricas en Cr (tipo Mayarí) hasta ricas en Al (tipo Moa-Baracoa). En las cromititas que presentan valores relativamente altos de Cr ($\#Cr \geq 0.6$), el Cr# aumenta progresivamente, desde la cromita accesorio en las harzburgitas encajantes, a la accesorio en las dunitas, y hasta la cromita del cuerpo de cromitita. Contrariamente, en las cromititas ricas en Al ($\#Cr \leq 0.6$) el #Cr disminuye. Estas variaciones ponen de manifiesto que las harzburgitas, las dunitas y las cromititas no están en equilibrio con el mismo tipo de magma sino que la composición del fundido fue variando progresivamente.

En el distrito de Sagua de Tánamo, la ΣEGP (elementos de grupo del platino) varía entre 19 y 539 ppb, existiendo una perfecta correlación positiva entre el #Cr y el contenido de EGP de la cromitita (Fig. 4). El incremento en los contenidos de EGP se correlaciona con una variación en la forma de los patrones normalizados a condritos debido, principalmente, a un incremento en la relación $(Os + Ir + Ru)_N / \Sigma EGP_N$.

Las marcadas variaciones composicionales, en una distancia inferior a 3 km, presentes en las cromititas del distrito de Sagua de Tánamo no pueden ser explicadas invocando modelos que sustentan contextos de zona axial de arcos volcánicos para las cromitas ricas en Cr, y cuenca trasera de arco para las cromitas ricas en Al. Sin embargo, estas variaciones, y en general las variaciones existentes a lo largo de la FOMB pueden ser explicadas asumiendo que las cromititas han cristalizado (debido a cambios en la fO_2) a partir de un fundido híbrido (fundidos altamente hidratados + calcoalcalinos) que va cambiando progresivamente a diferentes niveles de un manto litosférico localizado en una zona de suprasubducción.



En base a estos datos, las cromititas de Sagua de Támamo y sus peridotitas encajantes pueden interpretarse como un nivel del manto que ocupaba posiciones intermedias entre los niveles mantélicos presentes en Mayarí (niveles profundos) y los presentes en Moa-Baracoa (zona de transición manto-corteza), o bien como el producto de un estadio intermedio de la estructuración del arco volcánico.



ROCAS ORNAMENTALES DE LA REGION ORIENTAL DE CUBA

M.Sc. Juan Ventura Rams Veranes⁽¹⁾, Ing. Ramona Rodríguez Crombet⁽²⁾, Ing. Jorge Sosa Díaz⁽³⁾

⁽¹⁾ Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales de Construcción, Filial Santiago de Cuba, Calle 7 esquina M, Terrazas, Vista Alegre, Santiago de Cuba, Cuba. 90400.

⁽²⁾ Geominera de Oriente, Carretera Siboney, Km. 2^{1/2}, Santiago de Cuba, Cuba. 90400.
C. Elect: rrodriguez@geom.stg.minbas.cu.

⁽³⁾ Empresa de Explotación de Materiales (EXPLOMAT), Oriente, Carretera de la Refinería Km. 2^{1/2}, Santiago de Cuba, Cuba.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo la descripción generalizada de todas las rocas ornamentales conocidas hasta el momento en la región Oriental de Cuba a la luz de las modernas concepciones sobre tectónica de placas y la geodinámica del Caribe, nuevo léxico estratigráfico, clasificaciones actuales de las rocas y el modelaje geólogo industrial de sus yacimientos.

Es una unificación de todos los trabajos efectuados en la industria de materiales de la construcción sobre rocas ornamentales por diferentes autores (Rams Veranes, J.1994 y Sosa. J. 1994 y otros) incluyendo tesis de maestrías y doctorados.

Con el mismo se espera despertar el interés por nuevas prospecciones en las regiones orientales, así como que posibles instituciones nacionales y extranjeras se interesen en su comercialización dada la actualización en su estudio, características y aplicación.

Este trabajo puede ser de importancia no solo para la región Oriental de Cuba sino también para el resto del Caribe, ya que similares estructuras geológicas podemos observarlas en República Dominicana, Haití, Puerto Rico y Antillas Menores.

La geología de la parte Oriental de Cuba es menos conocida que la del resto del país, este territorio difiere del resto de Cuba, no solo por la presencia del arco volcánico del Paleógeno que es un vulcanismo joven, sino por el metamorfismo del arco volcánico cretácico y de las unidades continentales, además del neoautoctóno.

En este trabajo se presenta el modelaje preliminar teórico geólogo-industrial de los yacimientos y/o manifestaciones de las rocas ornamentales, que incluye: las estructuras geológicas, formaciones, edad, clasificación de las rocas, tipos de rocas, propiedades físico mecánicas, tablas y gráficos.

Rocas ornamentales tratadas:

- ⇒ Rocas ornamentales del arco volcánico Cretácico.
- ⇒ Rocas ornamentales del arco volcánico Paleógeno y magmatismo intrusivo.
- ⇒ Rocas ornamentales ofiolíticas.
- ⇒ Rocas ornamentales de las unidades continentales.
- ⇒ Rocas ornamentales del neoautoctóno.

ABSTRACT

The objective of the present work is the generalized description of the known ornamental rocks up to now in the Eastern Region of Cuba on the light of the modern conceptions of plate tectonics and the Geodynamic of the Caribbean, new stratigraphical lexicon, current classifications of the rocks and the industrial-geologic modeling of their locations.

It is an unification of all the works made about ornamental rocks from the viewpoint of the industry of materials of the construction by different authors (Rams, J.1994 and Sosa. J. 1994 and others) including the results of masters and doctorate thesis.

We also hope to encourage the interest for new prospecting in the eastern region, and that national and foreign institutions became interested for its commercialization given the up to date status in their study, characteristic and application.



This work could be of importance not only for Eastern Cuba but also for the rest of the Caribbean, as similar geological structures can be observed in the Dominican Republic, Haiti, Puerto Rico and Lesser Antilles.

The geology of the Eastern part of Cuba is the less known than the rest of the country, this territory differs from the rest of Cuba, not only for the presence of the Paleogene volcanic arc, which is a young vulcanism, but for the metamorphism of the volcanic Cretaceous arc and of the continental units, besides the neo-autochthonous.

We present in this paper the theoretical preliminary industrial - geologic modeling of the ornamental rocks deposits and/or manifestations including: the geologic structures, formations, age, rock classification, rocks types, physic-mechanical properties, charts and graphics.

Ornamental rocks treated:

- ⇒ Ornamental rocks of the Cretaceous volcanic arc.
- ⇒ Ornamental rocks of the Paleogene volcanic arc and intrusive magmatic.
- ⇒ Ophiolitic ornamental rocks.
- ⇒ Ornamental rocks of the continental units.
- ⇒ Ornamental rocks of the neo-autochthonous.

Introducción

La geología de Cuba es la más compleja de las islas en el Noroeste del Caribe, al norte la orogenia cubana está suturada a la parte sureste de la plataforma de Bahamas, al oeste está íntimamente relacionada con la plataforma de Yucatán e incluye terrenos separados del margen NE de la plataforma. En el sur del cinturón alpino típico compresional está relacionado a la estructura de la cuenca de Yucatán, la dorsal del Caimán, mientras que al este es muy similar sobre todo la parte Oriental con La Española. Según Iturralde-Vinent (1994-1996), en la constitución geológica del archipiélago cubano se pueden conocer dos elementos estructurales principales, el cinturón plegado y el neoauctóctono. Dentro del cinturón plegado se presentan elementos continentales y elementos oceánicos, estos últimos se encuentran representados por los arcos de islas Cretácicas y Paleogénicas además de las Ofiolitas del Cinturón Norte (Ver fig. 1). El neoauctóctono es post orogénico constituido por rocas que van desde el Eoceno tardío al reciente con pequeña deformación de los sedimentos. Las unidades continentales forman parte de la plataforma de las Bahamas y Yucatán, representados por Guaniguanico, Socorro, Escambray, Camaján, Gibara, Asunción, Terreno Pinos (Ver fig. 1).

En la región Oriental de Cuba vamos a tener representado los dos elementos estructurales principales el cinturón plegado y el neoauctóctono. El cinturón plegado está compuesto por los arcos de islas tanto Cretácicas como Paleogénicas, Ofiolitas y unidades continentales. (Ver fig. 2). Dentro de los arcos volcánicos la zona de back arc es la más importante tanto las del arco volcánico Cretácico (Formación Manacal), como las del Paleógeno (Formación Charco Redondo), que son las que poseen más importancia para las rocas ornamentales, en menor cantidad en las unidades continentales (Formación Chafarina), arco volcánico Cretácico zona axial (Formación Sierra del Purial), neoauctóctono (Formación Jaimanitas), y los intrusivos Eocénicos de la Asociación Tonalítica Granodiorítica relacionados con el arco volcánico Paleogénico. (Ver fig. 2). Para las rocas ornamentales es de gran importancia el metamorfismo que presentan los arcos volcánicos, ofiolitas y las unidades continentales, ya que en la región oriental las calizas se recrystalizan e incluso se convierten en mármoles adquiriendo resistencia y belleza que necesitan, las ofiolitas pasan a serpentinitas en su último estadio de recrystalización, tornándose duras y resistentes con decoratividad. Se realizó el modelaje preliminar teórico geólogo industrial de los yacimientos y/o manifestaciones que presentan las rocas ornamentales por estructuras geológicas constituyendo un aporte, ya que basándonos en los criterios de modelaje de yacimientos de Cox y Singer, utilizados mundialmente para la



prospección de yacimientos minerales, hemos creado el modelo general para la evaluación de las rocas ornamentales.

Desarrollo

ROCAS ORNAMENTALES DEL ARCO VOLCANICO CRETACICO- Las rocas ornamentales del arco volcánico Cretácico se localizan en mayor cantidad en Santiago de Cuba y en menor cantidad en Las Tunas. La región de Santiago de Cuba es rica en rocas ornamentales tanto por su volumen como por la variedad de colorido de estas y el brillo exquisito que toman cuando se le aplica el proceso de pulido adecuado, representado por los yacimientos: Mapú y La Campana; y las manifestaciones Antoñica, Alto Verraco, Sigua y Ocaña ligadas a la zona de Back Arc del arco volcánico y pertenecientes a la formación Manacal que se desarrolla en la Sierra Maestra, provincia Granma y Santiago de Cuba, que según datos de fósiles índices presenta una edad Cretácico Superior (Campaniano- Maestrichtiano) y se encuentran representadas por calizas recrystalizadas y mármoles que han sufrido metamorfismo de contacto de colores muy variados y vivos que van desde el blanco al negro pasando por grises, rojos, violetas. Esta formación se depositó en una cuenca de mediana profundidad, cercana o al pie del talud continental, con variaciones en el nivel del mar. (Ver fig. 3). La mayoría de estos yacimientos estuvieron en explotación antes de 1959, tanto para la extracción de bloques como en Sigua y Mapú, como para la producción de rajón ornamental y la elaboración de áridos para elementos de piso (terrazos) como la Campana y Ocaña. Estos mármoles adquirieron gran popularidad en las décadas del 40 y 50: todas las obras más importantes de esos años los usaron y pueden ser admirados en muchos edificios importantes: Funeraria Bartolomé, Joyería Nieto, Peletería la Reina, Pisos de terrazo de todas las tiendas de la calle Enramadas, La Universidad de Oriente, Hospitales de Santiago de Cuba, Hotel Habana Libre y Biblioteca Nacional entre otros en la Habana. Las de las Tunas están representadas por la formación Guaímaro. (Ver fig. 3 y tabla 1).

ROCAS ORNAMENTALES DEL ARCO VOLCANICO DEL PALEOGENO Y SU MAGMATISMO INTRUSIVO. Se pueden localizar en mayor cantidad en Granma y en menor cantidad en Santiago de Cuba. Las mismas están ligadas a la formación Charco Redondo en la zona de Back Arc del arco volcánico, caracterizada por la presencia de calizas recrystalizadas de Baconao, según datos de fósiles índices presenta una edad Eoceno medio. Se depositó en aguas poco profundas en un ambiente litoral y sublitoral. El yacimiento de Santiago de Cuba es El Ají, y las manifestaciones La Gloria, La Ceiba, La Poza, Caimitón, Guaranal, La Unión, La Piedra, La Tabla, La Pimienta, Mucaral, los yacimientos de Granma son: Lego, Orquídea Sierra, Rosa Aurora, Rosado del Río, Nodal Yara y Cayo Espino que pertenece a la formación Puerto de Boniato. En Santiago de Cuba relacionados con la formación Sabaneta, en Palmarito de Cauto dentro del gran yacimiento de tobas para la producción de cemento, se observan rocas zeolitizadas, con propiedades para ser utilizadas como rocas ornamentales, las cuales ya se emplean como elementos de pisos, de pared y esculturas^[15]. Relacionado con el magmatismo intrusivo del arco volcánico Paleógeno tenemos rocas ornamentales pertenecientes a la Asociación Tonalítico- Granodiorítica, localizadas en el Macizo Daiquirí, las rocas mas abundantes son las Tonalitas, aunque en general a este tipo de rocas se le ha denominado granitos. (Ver fig. 4 y tablas 2).

ROCAS ORNAMENTALES OFIOLITICAS. La manifestación de rocas ornamentales relacionadas con las Ofiolitas se encuentran en la Sierra del Convento Guantánamo, presentan una edad Jurásico Cretácico Inferior (J-K₁), representan el afloramiento más meridional de la faja Mayarí Baracoa según Iturralde - Vinent, yacen como una escama alóctona sobre las metavulcanitas Cretácicas de la Sierra del Purial, presentándose fuertemente serpentinizadas,



formándose serpentinitas en su ultimo estadio de serpentización, tornándose duras y resistentes. (Ver fig. 3 y tabla 1).

ROCAS ORNAMENTALES DE LAS UNIDADES CONTINENTALES. La manifestación Río Ovando, esta relacionada con la formación Chafarina, de edad probable Jurásico superior en la parte este de la Sierra del Purial, al nivel del puente sobre el río Ovando, son mármoles de color negro a gris oscuro y bandeados. (Ver fig. 3 y tabla 1).

ROCAS ORNAMENTALES DEL NEOAUTOCTONO. El yacimiento que la representa, denominado Cabo Lucrecia esta relacionado con la formación Jaimanitas, son Calizas Biogénicas Coralinas (Rudstone). Es bien conocida en nuestro país, un ejemplo de ello son las fachadas en el Hotel Nacional y el Hospital Hermanos Almejeiras; también se emplea con frecuencia en la pavimentación en los alrededores de las piscinas por sus propiedades antirresbalantes y sensación de frescura. (Ver fig. 3 y tabla 1).

MODELO DESCRIPTIVO PRELIMINAR GEOLOGO-INDUSTRIAL DE ROCAS ORNAMENTALES REGION ORIENTAL DE CUBA.

REFERENCIA GENERAL: Tablas 1 y 2, ver bibliografías ^{[1], [2], [3], [4], [5], [6], [7]}

ATRIBUTOS GEOLOGICOS GENERALES

Ambiente Tectónico: Zona de Back Arc de los arcos volcánicos, así como de las rocas intrusivas calcoalcalinas asociadas, sedimentos post orogénicos, bloques continentales y ofiolitas.

Formaciones: Charco Redondo, Puerto de Boniato, Manacal, Asociación Tonalítico Granodiorítica, Jaimanitas, Chafarina y Guaimaro.

Rango de edad: K2 cp-m hasta N-Q, desde el Cretácico al Cuaternario.

ATRIBUTOS GEOLOGICOS LOCALES

Tipos de rocas: Sedimentarias, intrusivas, metamórficas

Litologías: Calizas organógenas recristalizadas y calizas recristalizadas, calizas biogénicas coralinas (rudstone), mármoles, serpentinitas, granitoides.

Alteraciones: Metamorfismo de contacto e hidrotermal (manganeso, bitumen, sulfuros, hematita, sílice).

Colores: Crema, rosa crema, rosa amarillento, marrón, malva, gris claro, gris oscuro, rojo, rosado, negro, beige, gris, gris bandado, tonos verdes, blanco, blanco grisáceo, gris verdoso.

Decoratividad: Muy buena

Posible salida de bloques: Media a alta

Particularidades texturales y estructurales: Masiva, masiva con texturas organógenas, microcristalinas, pelitomórficas, de granos finos y gruesos, cavernosa con abundantes fósiles.



Tabla III PROPIEDADES FISICO MECANICAS:

Ensayos	Rocas ornamentales ligeras		Mármoles	Granitos
	Tobas Zeolitizadas	Rudstone(Calizas Coralinas biogénicas)		
Resistencia a la compresión(Mpa)	21	19	100	240
Resistencia a la flexión (Mpa)	9.08	2.68	12	20
Resistencia al desgaste(g/cm ²)	0.4	0.3	0.15	0.1
Densidad (g/cm ³)	1.59	1.65	2.5-2.8	2.75
Absorción (%)	12	13.4	0.07-2.5	0.9

Tabla IV REQUERIMIENTOS PARA SU PROCESAMIENTO (NORMAS)

Ensayos	Rocas ornamentales ligeras	Mármoles	Granitos
Resistencia a la compresión(Mpa)	>15	>60	>130
Resistencia a la flexión (Mpa)	>1	4-8	> 8
Resistencia al desgaste(g/cm ²)	< 0.7	< 0.2	< 0.2
Densidad (g/cm ³)	< 2	> 2.5	> 2.5
Absorción (%)	<15	< 0.3	< 1.4

Conclusiones

Luego del trabajo realizado arribamos a las siguientes conclusiones:

1. La región oriental de Cuba es rica en rocas ornamentales, las cuales cumplen con los requisitos para este tipo de material.
2. Existen nuevas áreas donde se pueden prospectar este tipo de rocas.
3. Por primera vez se realiza el modelaje geológico- industrial teórico preliminar de las rocas ornamentales de la región oriental del país a la luz de la modernas concepciones geológicas.

Bibliografía

- Colectivo de autores, 1993. Nuevo léxico estratigráfico de la isla de Cuba. La Habana.
- Cox, D., D. Singer, 1986. Modelo de depósitos minerales. Canadá.
- Iturralde-Vinent, M., 1996. Ofiolitas y arcos volcánicos de Cuba. IGCP proyecto 364, Museo Nacional de Historia Natural, La Habana, Cuba.
- Norma Ramal de la Industria Básica, NRIB, 872, 1986. Prospección geológica de los yacimientos de rocas decorativas. Clasificación.
- Norma Ramal de la Industria Básica, NRIB, 960, 1987. Yacimientos de rocas ornamentales. Evaluación tecnológica.
- Oris, G.J., J.D. Bliss, 1991. Some industrial mineral deposits models. Descriptive deposit models. U.S. Geological survey, Tucson, Arizona.
- Rams, J., 1994. Perfeccionamiento de la explotación de los yacimientos de mármol en la región oriental de Cuba. Tesis de Maestría, M.I.M.C, I.S.M.M, Holguín, Cuba.

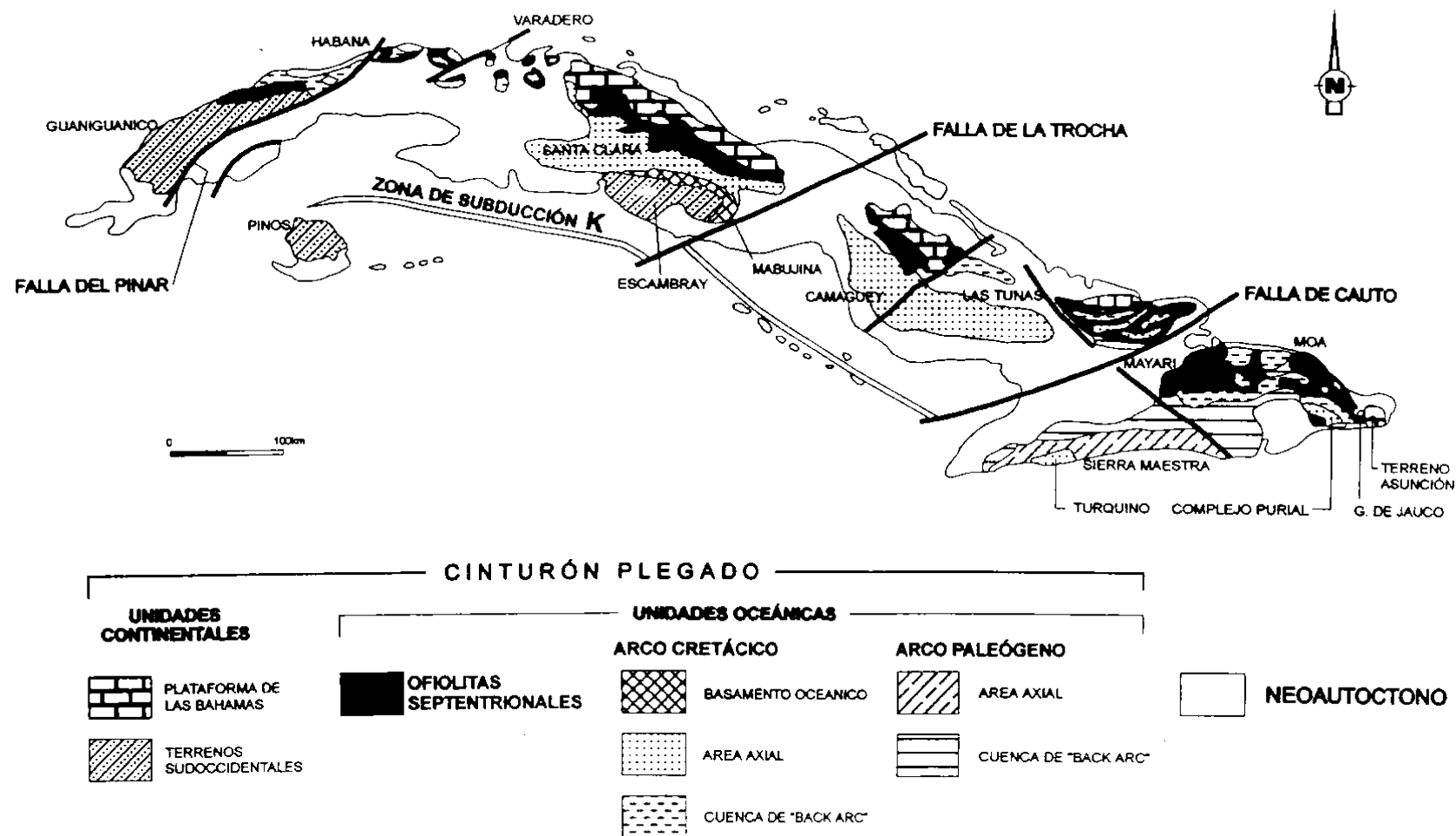
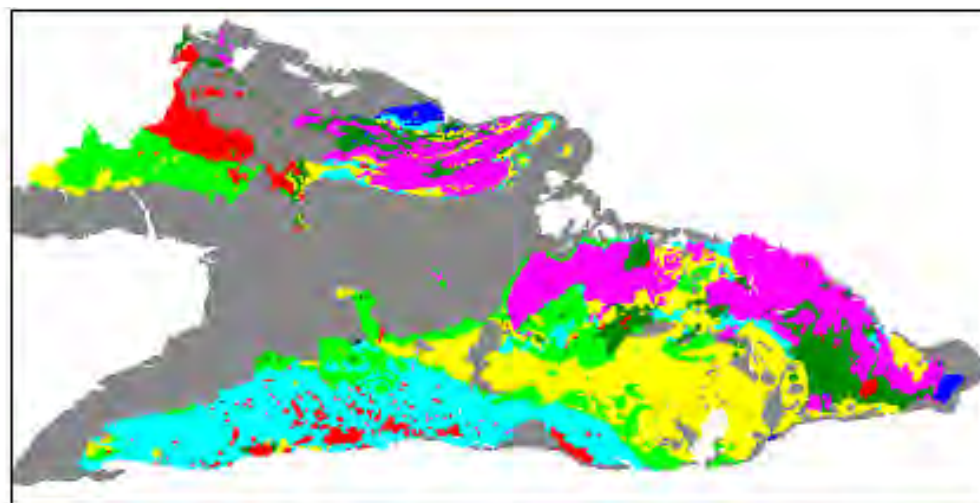


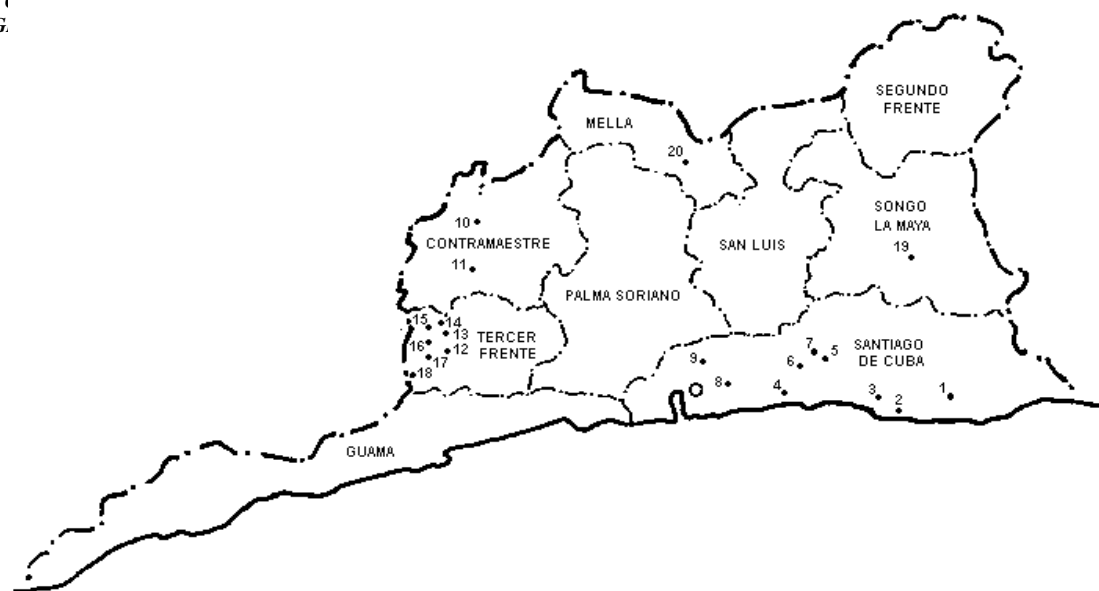
Figura 1 MAPA GEOLÓGICO ESQUEMÁTICO DE CUBA

* Tomado de Proenza Fernández y adaptado de Iturralde Vinent, 1996, 1997



- | | |
|---|----------------------------|
| ■ Unidad Continental | ■ Arco Volcánico Cretácico |
| ■ Arco Volcánico Paleógeno Cuencas
superpuestas en la 1ra generación | ■ Intrusivos |
| ■ Arco Volcánico Paleógeno Cuencas
superpuestas en la 2da generación | ■ Ofiolitas |
| ■ Cobertura Neógeno- cuaternaria | |

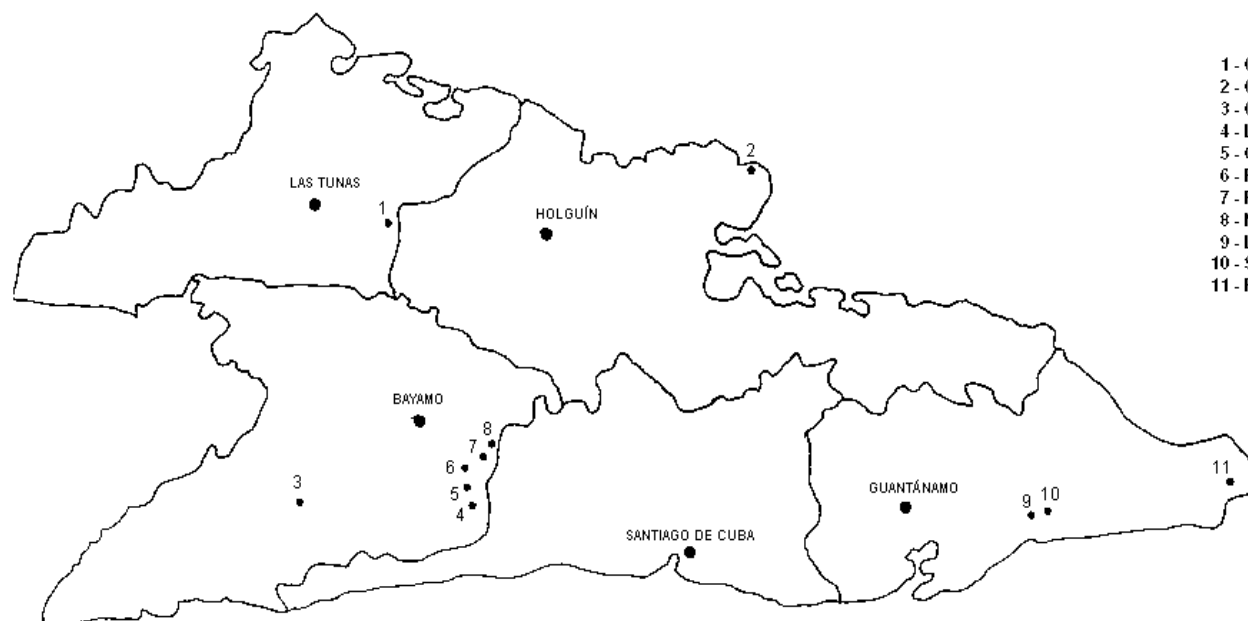
Figura 2 ASOCIACIONES ESTRUCTURO- FORMACIONALES DEL EXTREMO ORIENTAL DE CUBA

**LEYENDA**

- 1 - SIGUA
- 2 - RIO UVERO (PLAYA LARGA)
- 3 - ALTO DE VERRACO
- 4 - GRANITO LAS GUASIMAS
- 5 - MAPU
- 6 - ANTONICA
- 7 - OCANA
- 8 - LA CAMPANA
- 9 - LAS LAJAS
- 10 - EL AJI
- 11 - LA GLORIA
- 12 - LA CEIBA
- 13 - CIMITON
- 14 - GUARANAL
- 15 - LA UNION
- 16 - LA TABLA
- 17 - LA PIEDRA
- 18 - LA PIMIENTA
- 19 - MUCARAL
- 20 - PALMARITO DE CAUTO



Figura 4 UBICACIÓN DE LOS YACIMIENTOS DE ROCAS ORNAMENTALES DE LA PROVINCIA SANTIAGO DE CUBA

**LEYENDA**

- 1 - CAÑADA HONDA
- 2 - CABO LUCRECIA
- 3 - CAYO ESPINO (RIO JIBACOA)
- 4 - LEGO
- 5 - OROUIDEA SIERRA
- 6 - ROSA AURORA
- 7 - ROSADO DEL RIO
- 8 - NODAL YARA (TRAVERTINO)
- 9 - LAS MARIANAS
- 10 - SIERRA DEL CONVENTO
- 11 - RIO OVANDO

Figura 3 ROCAS ORNAMENTALES DE LAS PROVINCIAS LAS TUNAS, HOLGUÍN, GRANMA Y GUANTÁNAMO



TABLA I CARACTERÍSTICAS GENERALES ROCAS ORNAMENTALES:

DEL ARCO VOLCÁNICO CRETÁSICO										
Yacimiento y/o Manifestación	Formación	Tipo Rocas	Litología	Color	Mpa	SC	Absorción %	Abrasividad	Decoratividad	Salida de Bloques
					g/cm3	g				
Manifestación Sigua	Manacal	Sedimentarias	Calizas Recristalizadas	Brechas Rojas, Verdes y Grises	100	2.8	-	-	Muy Buena	Media
Manifestación Alto Berraco	Manacal	Metamórficas	Marmóles	Blanco y Gris	81	2.72	-	-	Buena	Media
Yacimiento Alto Mapú	Manacal	Metamórficas	Marmóles	Blanco, Negro y Gris	82	2.8	-	-	Muy Buena	Alta
Manifestación Ocaña	Manacal	Metamórficas	Marmóles	Blanco y Gris	80	2.7	-	-	Muy Buena	Media
Yacimiento La Campana	Manacal	Sedimentarias	Calizas Recristalizadas	Rojo, Negro y Gris	90	2.78	≤ 2.5	≤ 2.2	Muy Buena	No Alta
Manifestación Cañada Honda	Guaímaro	Sedimentarias	Calizas Recristalizadas Silificadas	Gris, Gris oscuro y Negro	88.3	2.64	-	-	Media	No Alta
OFIOLITICAS										
Manifestación Sierra del Convento	Ofiolitas	Metamórficas	Serpentinitas	Verde oscuro	-	-	-	-	Muy Buena	Media
CONTINENTALES										
Manifestación Río Ovando	Chafarinas	Metamórficas	Marmóles	Gris, Gris bandeado y Negro	82	2.75	-	-	Muy Buena	Alta
DEL NEOAUTÓCTONO										
Cabo Lucrecia	Jaimanitas	Sedimentarias	itoides	Crema	30	2.35	-	-	Buena	Media



TABLA II CARACTERÍSTICAS GENERALES ROCAS ORNAMENTALES DEL ARCO VOLVÁNICO PALEÓGENO

Yacimiento	Formación	Tipo Rocas	Litología	Color	$\frac{\text{Mpa}}{\text{g/cm}^3}$ $\frac{\sigma_c}{\rho}$	Absorción %	Abrasividad	Decoratividad	Salida de Bloques
El Ají	Charco Redondo	Sedimentarias	Calizas Recristalizadas	Crema	$\frac{\geq 40}{\geq 2.65}$	<2.5	<0.48	Muy Buena	Alta
Lego	Charco Redondo	Sedimentarias	Calizas Organógenas Recristalizadas	Beige	$\frac{\geq 40}{2.64}$	-	0.13	Buena	Alta
Orquídea Sierra	Charco Redondo	Sedimentarias	Calizas Organógenas Recristalizadas	Lila de diferentes tonos	$\frac{10.8}{2.62-2.72}$	0.07 - 2.04	-	Muy Buena	Alta
Rosa Aurora	Charco Redondo	Sedimentarias	Calizas Organógenas Recristalizadas	Rosa Crema y sus combinaciones	$\frac{66.4-90.8}{2.62}$	0.53	0.68 - 1.03	Muy Buena	Alta
Rosado del Rio	Charco Redondo	Sedimentarias	Calizas Organógenas Recristalizadas	Rosa Crema y sus combinaciones	$\frac{84.8}{2.61}$	0.81	-	Muy Buena	Alta
Nogal Yara	Charco Redondo	Sedimentarias	Calizas Organógenas Recristalizadas	Rojizo, Rosado y Crema	$\frac{\geq 100}{2.7}$	-	-	Muy Buena	Alta
Las Coloradas	Charco Redondo	Sedimentarias	Calizas Organógenas Recristalizadas	Crema Rojizo	$\frac{87.3}{2.54}$	0.31 - 0.66	0.55 - 0.80	Muy Buena	Media
Cayo Espino Cayo Jibacoa	Puerto Boniato	Sedimentarias	Calizas Organógenas Silicificada	Amarillo Brechado en pardo, Gris, Rojo	$\frac{83.4}{2.54}$	0.79	0.59	Muy Buena	Media
Las Guasimas	Asociación TG	Ígneas	Granitoides	Gris	$\frac{240}{2.73}$	-	-	Buena	Muy Alta
Palmarito	Sabaneta	Ígneas	Tobas Vítreas Zeolitizadas	Verde, Verde Claro	$\frac{170}{1.59}$	12	0.4	Excelente	Buena (Losas)



ESTUDIO DE INCLUSIONES FLUIDAS EN EL STOCKWORK DEL SECTOR LA UNIÓN. PROVINCIA DE CAMAGÜEY. CUBA

***Miriela Ulloa Santana*¹, *Márcia Abrahão Moura*², *Nilson Francisquini Botelho*², *Jorge Alonso*³**

1- Instituto de Geología y Paleontología, Ministerio de la Industria Básica. Vía Blanca y Línea del Ferrocarril s/n CP 11000; e. mail: ulloa@lacemi.cu

2- Instituto de Geociência, Universidade de Brasília. Campus Universitário Darcy Ribeiro. Brasília-DF CEP: 70910-900

3- Empresa Geominera Camagüey :e-mail: geominera@geomin.cmg.minbas.cu

RESUMEN

El sector La Unión se encuentra ubicado en la región centro-oriental de Cuba, en el municipio Najasa, provincia de Camagüey. Las rocas de alteración están representadas por una zona de cuarzo-sericita con vetas de cuarzo, relacionada a cuerpos intrusivos y localmente el stockwork La Unión.

La mineralización cuproaurífera del stockwork fue definida por estudios de geoquímica de suelo, existiendo una estrecha correlación entre los contenidos de oro y cobre.

Estudios petrográficos hechos en base a número, naturaleza y proporciones de las fases a temperatura ambiente y estudios microtermométricos preliminares de las inclusiones fluidas (IF) de las vetas de cuarzo mineralizados del stockwork, permitieron identificar tres tipos de inclusiones fluidas, tipo 1 (V), tipo 2 (V+L), tipo 3 (V+L+Ss).

La asociación de IF ricas en vapor (tipo 2) y IF tipo 3 (THL) hipersalina sugiere la posible relación con un fluido magmático inmiscible (L+V+H), alojado en un ambiente subvolcánico, relacionado a rocas pórfido cuarzo dioríticas, donde el fluido primario se dividió (*boiling*) en dos fases: una acuosa de baja densidad y otra hipersalina (30-40 wt % NaCl eq.) a una temperatura de 300° – 400°C, condiciones típicas de fluidos asociados a mineralización del tipo porfírico.

ABSTRACT

Study of fluid inclusions in La Unión stockwork. Province of Camagüey. Cuba.

La Unión is located in the center-oriental region of Cuba, municipality of Najasa, in Camagüey province. Alteration rocks are represented by zoned quartz-sericite with quartz veins, related to intrusive bodies and locally La Unión stockwork.

The porphyry copper (Cu-Au) stockwork mineralization was defined by studies of ground geochemistry, occurring a close correlation between gold and copper contents.

Petrography studies based on phases number, nature and proportions at room temperature and preliminary microthermometric studies of the mineralized stockwork's quartz veins fluid inclusions (IF) allowed us to identify three types of fluid inclusions, type 1 (V), type 2 (V+L), type 3 (V+L+Ss).

The association of vapor rich IF (type 2) and high-salinity inclusion (type 3 THL) suggests the relationship with an immiscible magmatic fluid (L+V+H), hosted in a subvolcanic environment, related to granitic rocks (quartz diorite porphyries), where the primary fluid boiled in two phases, one low density aqueous and another of high salinity (30 to 40 % wt eq. NaCl) at a temperature around 300° - 400°C, typical condition of fluids associated to porphyry type mineralization.



Introducción

El sector La Unión se encuentra ubicado en la región centro-oriental de Cuba, en el municipio Najasa, provincia de Camagüey, donde afloran las rocas volcánicas de la formación Guaimaro K₁^{ap²-al} (Miembro Najasa), intruidas por pórfido cuarzo diorítico. Las rocas de alteración están representadas por una zona de cuarzo-sericitica con vetas de cuarzo, relacionadas a rocas intrusivas que localmente forman una zona de stockwork (Stockwork La Unión).

Estas vetillas de cuarzo, estudiadas en las trincheras TU-3, TU-4 y TU-5 (Fig.1), forman una zona de stockwork dentro de los pórfidos dioríticos cuarcíferos, con contactos bruscos entre ellos.

El carácter cuproaurífero de la zona de stockwork, quedo demostrado por los resultados del muestreo de las trincheras, donde los contenidos de oro y cobre son perfectamente correlacionables, revelando contenidos de oro con promedios que van desde 0,37 hasta 0,44 g/t, y valores aislados que alcanzan hasta 1,18 g/t (Fig.1). Análisis de los contenidos de oro obtenidos del muestreo selectivo de las vetillas no demostraron un aumento significativo con relación al resto de las muestras del surco, tomadas de forma consecutiva en las trincheras, lo cual demuestra que el aporte del oro no parte solamente de las vetillas de cuarzo, sino que es un producto de una diseminación de este metal en toda la masa. El cobre por su parte, presenta contenidos relativamente estables por encima de 0,1 % dentro de la zona de stockwork, con contenidos que oscilan entre 250 y 2080 ppm. (Jorge Alonso et al. , 2001).

El estudio de inclusiones fluidas en las vetas de cuarzo del stockwork, con mineralización diseminada de pirita, calcopirita, covelita, se realizó con el objetivo de conocer las propiedades físico-químicas de las inclusiones fluidas y de la composición de los fluidos responsables de la mineralización.

Materiales y métodos

La metodología de trabajo contó con la selección de las muestras para el estudio de las inclusiones fluidas, en vetas de cuarzo de la zona de stockwork La Unión, con mineralización de sulfuros. Fueron confeccionadas láminas bipulidas, para la visualización de las inclusiones y posteriormente fue realizado un minucioso estudio petrográfico, con el fin de identificar las mejores poblaciones de inclusiones a ser analizadas, en cuanto a origen, morfología, número de fases y naturaleza. En las láminas escogidas para el estudio, fueron realizados diversos mapas de localización de las regiones a ser analizadas.

Para el estudio microtermométrico se utilizó la platina LINKAM TMS 93 en el Laboratorio de Inclusiones Fluidas del Instituto de Geociencias de la Universidad de Brasilia (IG-UnB). El equipamiento fue calibrado utilizándose inclusiones fluidas sintéticas, con precisión variando de $\pm 0,1$ °C para congelamiento hasta -120 °C y de ± 5 °C para calentamiento hasta 450 °C.

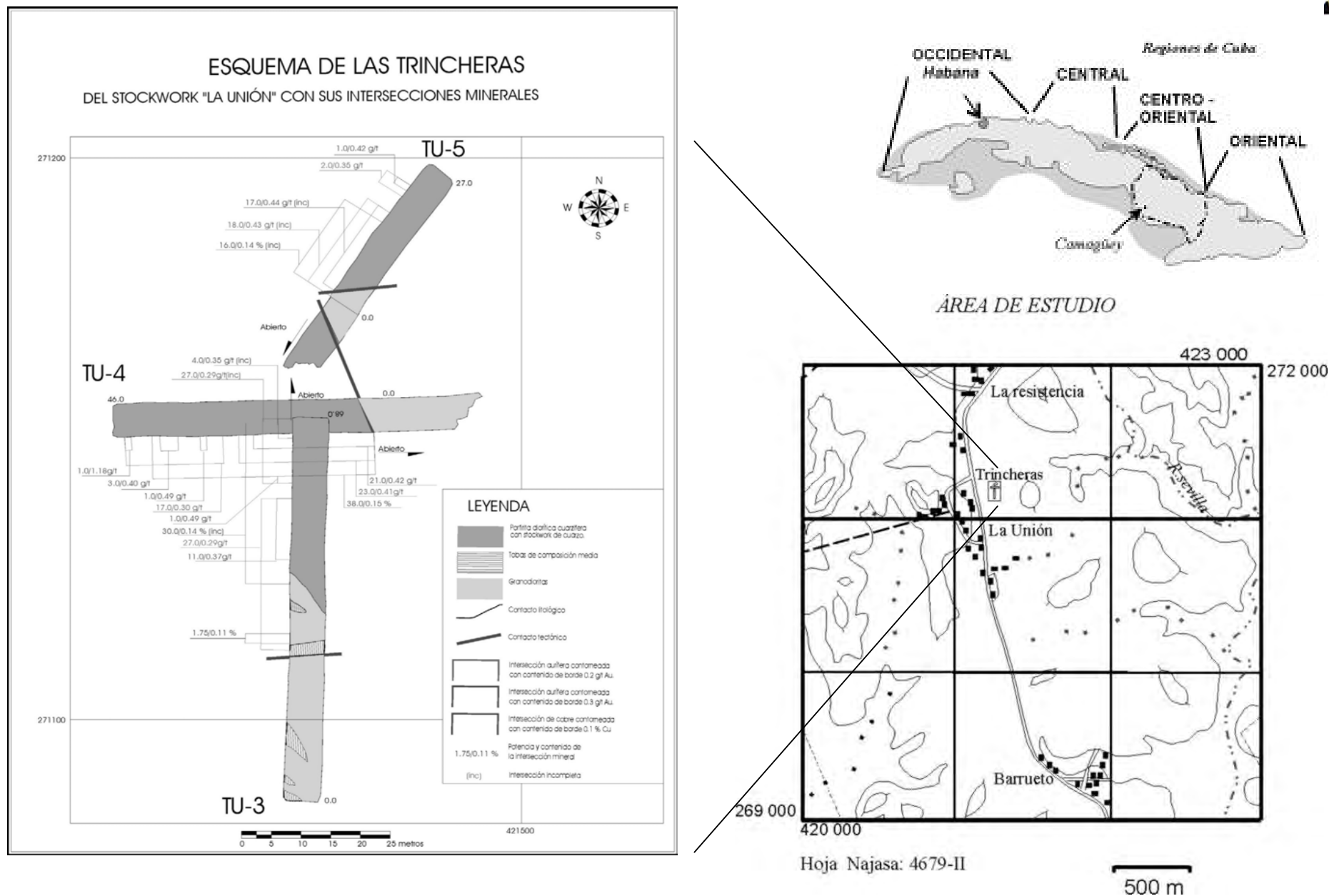


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio y esquema de las trincheras del Stockwork La Unión



Resultados

Con base a las características petrográficas de las inclusiones fluidas (IF) a temperatura ambiente ($\pm 25\text{ }^{\circ}\text{C}$) y estudios microtermométricos preliminares, fueron identificados tres tipos de inclusiones fluidas primarias en las vetas de cuarzo del stockwork, con tamaños variados y formas irregulares, angulosas, semi-redondeada y de cristal negativo, monofásicas, bifásicas, trifásicas y multifásicas de naturaleza acuosa, presente en las vetas de cuarzo del stockwork La Unión (Tabla I; Fig. 2).

Estas inclusiones ocurren normalmente aisladas, o alineadas a lo largo de planos de crecimiento del cristal. Por otro lado las inclusiones fluidas consideradas como secundarias también de naturaleza acuosa, están alineadas a lo largo de planos de fractura que normalmente ultrapasan los límites del cristal. Debido a que las inclusiones fluidas secundarias no están vinculadas con la mineralización en este trabajo no fueron estudiadas con detalle, los datos obtenidos solo se restringen a las IF primarias.




Tipos de inclusiones fluidas	Morfología	Tamaño (μm)	Fases presentes	Datos microtermométricos
Tipo 1		5-10	V (H_2O vapor)	
Tipo 2		35-60	V+L (vapor + líq. H_2O)	Tf: $-0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-4,4\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\text{TH}_{(l+v-v)}$: 247 ° - $487\text{ }^{\circ}\text{C}$; salinidad: $1,57 - 7,02\text{ wt \% NaCl eq.}$; φ : $0,02 - 1,04\text{ g/cm}^3$
Tipo 3		10-55	L+V +Ss (líq. + vapor H_2O + sólidos)	$\text{Th}_{(l)}$: 306 ° - $484\text{ }^{\circ}\text{C}$; Td: 280 ° - $472\text{ }^{\circ}\text{C}$; TH: 280 ° - $484\text{ }^{\circ}\text{C}$; salinidad: $36,68 - 56,05\text{ wt \% NaCl eq.}$; φ : $1,01 - 1,37\text{ g/cm}^3$.

Tabla I. Características de las inclusiones fluidas. Sistema H_2O -NaCl (KCl)

Nota: Tf = temperatura de fusión del hielo; $\text{TH}_{(v+l-v)}$ = temperatura de homogenización total para la fase vapor; TH= temperatura de homogenización total; $\text{Th}_{(l)}$ = temperatura de homogenización para la fase líquida; Td = temperatura de disolución de la halita; φ = densidad.

Petrografía: A través de estudios petrográficos fueron identificados tres tipos de inclusiones fluidas:

IF tipo 1: Son IF monofásicas (V), son las menos abundantes de todas las IF estudiadas. Estas ocurren de forma aislada (Fig.2A), con tamaños entre $5\text{-}10\mu\text{m}$, compuesta por una fase vapor.

IF tipo 2: IF bifásicas (L+V), de forma irregular, angulosa y de cristal negativo, compuesta por una fase líquida incolora a levemente gris y una fase vapor de color oscuro. Caracterizada por inclusiones ricas en vapor, con la fase vapor excediendo el 50 % del volumen de la inclusión ($\text{Vg} = 20\text{-}90\%$), con tamaños entre $35\text{-}60\mu\text{m}$ (Fig. 2B, 2C)

IF Tipo 3: Son IF trifásicas (L+V+S) y multifásica (L+V+Ss), saturadas, la fase sólida esta formada por un cristal de saturación (Halita), de forma cúbica. Las inclusiones trifásicas tienen forma semi-redondeada a elíptica, con tamaños de $10\text{-}20\mu\text{m}$, con fase líquida mayor que la fase vapor ($\text{Vl} > \text{Vg}$).



Las IF multifásicas representan el 60 % de las inclusiones estudiadas, con tamaños entre 20-55 μm , con uno o varios cristales de saturación de forma cúbica (halita) (Fig. 2G-H). Algunas de estas inclusiones contienen minerales opacos (Fig. 2H), y otros no identificados de color rojo (Fig. 2D) y amarillo claro (Fig. 2F). Todas estas inclusiones tienen forma irregular, semi-redondeada a ovaladas.

La relación entre las fases de este tipo de inclusión varía, donde generalmente el volumen del líquido excede la fase vapor, entre 3-70 %. El volumen ocupado por el sólido de saturación oscila entre 10-25 % llegando en algunas inclusiones al 40 % del volumen de la inclusión.

Datos microtermométricos

Los datos preliminares obtenidos por la microtermometría en las inclusiones fluidas estudiadas están representados en la tabla I. El tipo de sistema presente se determinó basándose en la comparación de las medidas de temperaturas obtenidas por el apareamiento de los primeros líquidos (punto eutéctico) con las temperaturas experimentales existentes en la literatura para varios sistemas (Shepherd *et al* 1985).

Las inclusiones fluidas monofásicas (tipo 1) no presentan cambios de sus fases durante el congelamiento, lo cual representan un sistema de H_2O puro para este tipo de IF.

Temperaturas eutécticas (T_e) determinadas en las inclusiones fluidas tipo 2 y tipo 3, con valores entre $-23,0^\circ$ a $-20,8^\circ\text{C}$ permitieron definir el sistema de tipo H_2O -NaCl, sugiriendo la adición de otras sales como KCl. Las salinidades del fluido son bastante variables y fueron calculadas mediante la ecuación de Bodnar (1993), utilizándose la temperatura de fusión del hielo (T_f) para inclusiones bifásicas (tipo 2) y la temperatura de disolución de la sal (T_d) para inclusiones trifásicas y multifásicas (tipo 3).

Las IF bifásicas (Tipo 2), con temperaturas de fusión del hielo entre $-4,4$ a $-0,9^\circ\text{C}$, corresponden a salinidades entre 1,6 a 7,0 % en peso de NaCl eq. (Fig. 3D). Inclusiones fluidas con fase vapor inferior al 50 % homogenizan para la fase líquida ($TH_{L+V\rightarrow L}$) con temperatura mínima de aprisionamiento (TH) de 247°C y las IF ricas en vapor homogenizan para la fase vapor ($TH_{V+L\rightarrow V}$) a temperaturas de 310° – 487°C (Fig. 3B).

Las IF trifásicas y multifásicas (Tipo 3), contienen cristal de halita determinada por la petrografía observándose la forma cúbica de estos cristales y por datos microtermométricos. Estas IF homogenizan de tres modos diferentes, hacia la fase líquida con el desaparecimiento de la bola de vapor (Th_L) en un rango de temperatura comparable a las IF bifásicas (Tipo 2) de 244° – 484°C (Fig. 3A), con la disolución de la halita (T_d) a temperaturas de 280° – 484°C , y menos común homogenizando contemporáneamente. Estas IF (tipo 3) presentan una salinidad elevada de 37 a 56 Wt % NaCl eq. (Fig. 3C). Algunas de estas inclusiones (tipo 2 y tipo 3) no homogenizan a temperaturas mayores de 500°C .

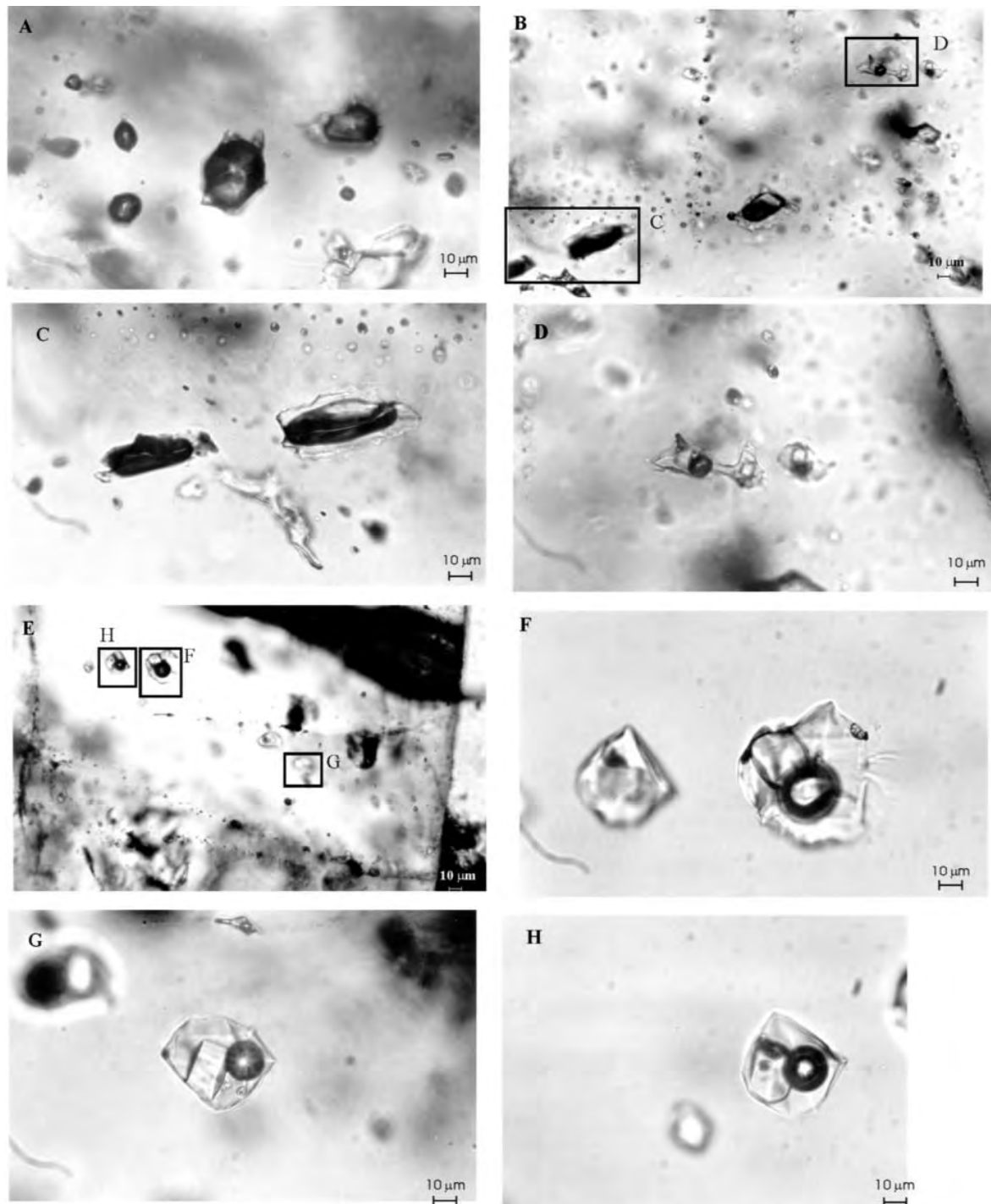


Figura 2. Fotomicrográficas de los tipos de inclusiones fluidas (IF) presentes en las vetas de cuarzo del stockwork La Unión. **A:** IF tipo 1 monofásica acuosa y IF bifásica tipo 2. **B:** vista general de inclusiones fluidas bifásicas coexistiendo con inclusiones multifásicas. **C:** vista ampliada de IF bifásica tipo 2. **D:** IF tipo 3 multifásica con más de un cristal de halita y otro mineral no identificado. **E:** vista general de IF del tipo 3 trifásicas y multifásicas. **F-G-H:** vista ampliada de IF tipo 3 con cristales de forma cúbica de halita, opacos y otros sólidos no identificados.



Discussion

Los datos petrográficos y microtermométricos, obtenidos por el análisis de los diferentes tipos de inclusiones fluidas presentes en las vetas de cuarzo mineralizadas del stockwork La Unión permitieron caracterizar el tipo de fluido responsable de la mineralización.

Las temperaturas eutécticas en un rango de $-23,0$ a $-20,8$ °C definieron el sistema como de tipo $H_2O-NaCl$, con la posible adición de otras sales como KCl.

La asociación de inclusiones fluidas ricas en vapor (tipo 2) y inclusiones fluidas de alta salinidad (tipo 3), homogenizan a un mismo rango de temperatura (Fig. 3) sugiriendo que el fluido mineralizante estaba en ebullición (*boiling*) cuando fueron aprisionadas según Roedder (1984) y Bodnar *et al* (1984), así como las diferentes proporciones entre las fases de un mismo tipo de IF.

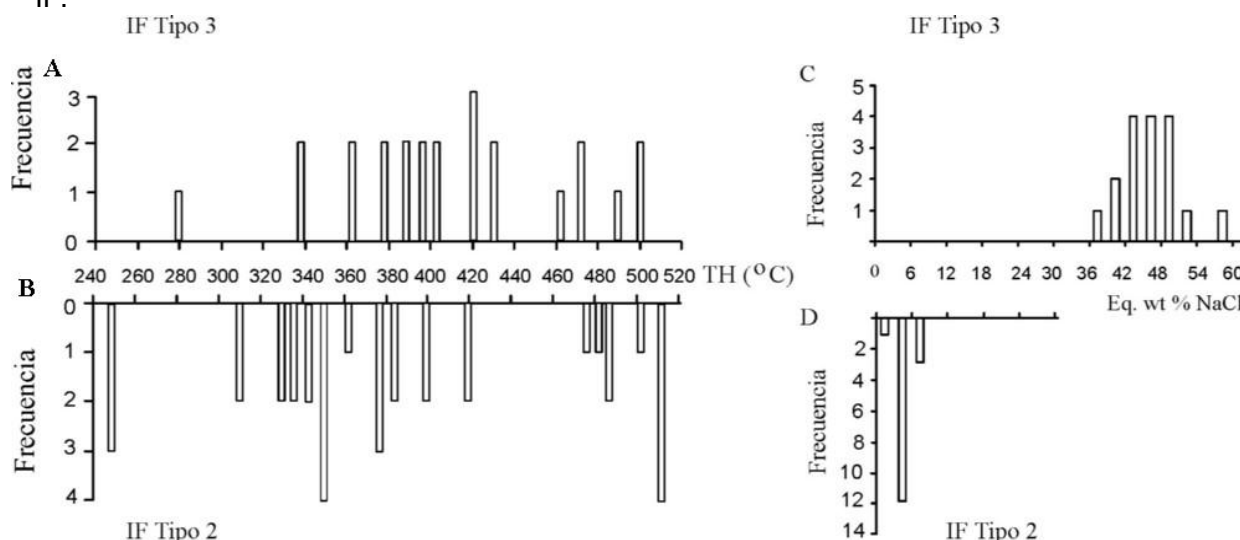


Figura 3. Datos microtermométricos de IF tipo 3 y IF tipo 2 en vetas de cuarzo del stockwork La Unión.

A. Histograma de temperatura de homogenización total para IF tipo 3. B. Histograma de temperatura de homogenización para IF tipo 2. Algunas de las inclusiones no homogenizan a temperaturas mayores de 500 °C. C. Histograma de salinidad para IF tipo 3. D. Histograma de salinidad IF tipo 2.

Las inclusiones fluidas trifásicas y multifásicas (tipo 3), presentan tres modos diferentes de homogenización, lo cual depende de la densidad de las inclusiones fluidas, y del aprisionamiento de las inclusiones, con presión, temperatura y salidades características (Fig. 4). Estas inclusiones homogenizan con la disolución de la halita (Fig. 5), otras inclusiones homogenizan por el desaparecimiento de la bola de vapor (Fig. 5) y pocas homogenizan contemporáneamente. Las inclusiones fluidas tipo 2 y tipo 3 presentan inclusiones que no homogenizan a temperaturas mayores de 500 °C, lo cual puede ser explicado como producto de un aprisionamiento heterogéneo de ambas IF ricas en vapor y ricas en líquido con IF ricas en líquido y ricas en vapor respectivamente, como es el caso de un sistema dinámico caracterizado por una rápida descompresión por ejemplo, un cambio de la presión litostática por presión hidrostática, puede ser responsable de este fracturamiento. (Darimont & Coipel, 1982).

Según Roedder & Bodnar (1980); Bodnar (1994), las IF conteniendo halita que homogenizan por la disolución de la sal y IF ricas en vapor homogenizando hacia la fase vapor, no



representan un par inmiscible, dado por condiciones termonámicas (P y T) que no permiten que IF que homogenizan por la disolución de la sal aprisionen en equilibrio IF ricas en vapor, si se asume que se está en un campo de inmiscibilidad de (L+V+H) y que las IF que homogenizan por la disolución de la sal aprisionaron el líquido de un par inmiscible (IF tipo 2 y IF tipo 3 [TH(l)]) figura 5. La composición de estas inclusiones es determinada por la temperatura de disolución de la sal [TH(d)] definida como la temperatura de aprisionamiento ya que el líquido que ellas contienen forma parte de ese fluido inmiscible en ebullición, de ahí su mismo rango de temperatura de homogenización (300 ° - 400 °C) con salinidades entre 30 – 45 wt % en peso de NaCl eq.

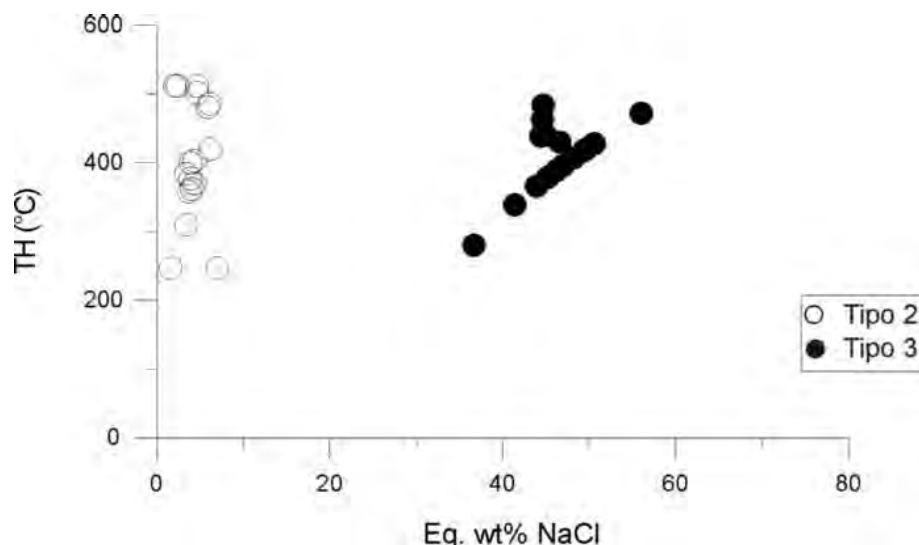


Figura 4. Gráfico de distribución de las temperaturas de homogenización total contra salinidad para el sistema H₂O-NaCl, mostrando la distribución de las IF tipo 2 e IF tipo 3.

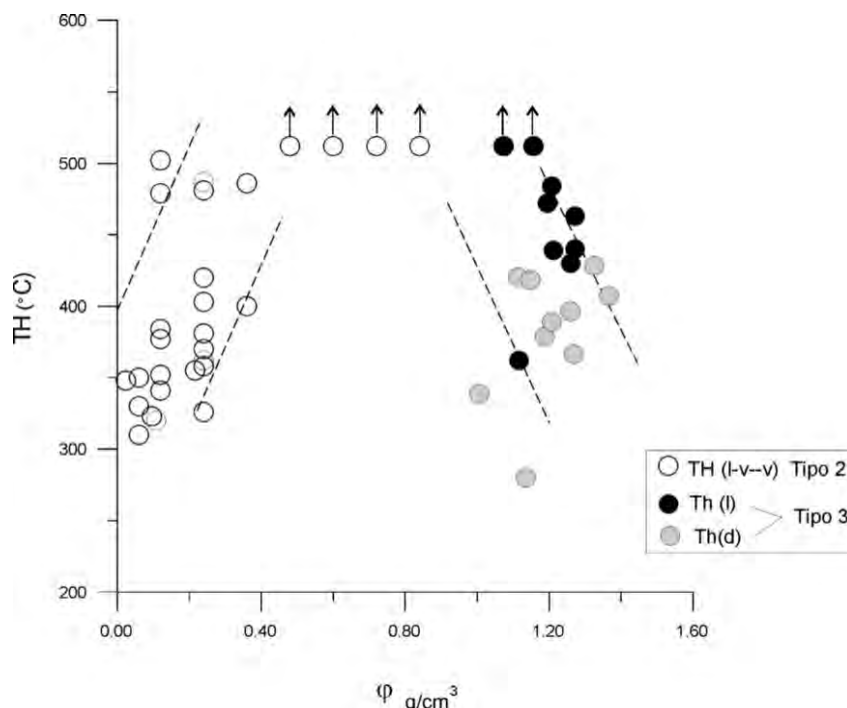


Figura 5. Diagrama de densidad contra temperatura total de homogenización. Las IF tipo 2 homogenizan para la fase vapor, las IF tipo 3 presentan generalmente dos modos diferentes de homogenización, unas a la fase líquida y otras por la dilución de la halita. Algunas de estas inclusiones no homogenizan a temperaturas mayores de 500 °C (flecha). La temperatura del fluido en ebullición (*boiling*) es de aproximadamente 300 ° - 400 °C. Con salinidad desde 30-40 wt% NaCl eq.



Conclusiones

El estudio de inclusiones fluidas en las vetas de cuarzo del stockwork La Unión, permitió conocer las características del fluido responsable de la mineralización según datos preliminares, extraídas del presente estudio.

Tres tipos de inclusiones fluidas (IF) fueron identificados: IF tipo 1, monofásicas; IF tipo 2, bifásicas, con la fase vapor mayor del 50 % del volumen de la IF; IF tipo 3, trifásica y multifásica de alta salinidad, con más de un cristal de saturación (halita) y la presencia de minerales opacos y otros no identificados. Los diferentes tipos de inclusiones fluidas son de naturaleza acuosa, con composición predominante $H_2O-NaCl$, y temperaturas eutécticas de -23 a -20.8 °C, lo cual sugiere la adición de otras sales como KCl. Las IF bifásicas (tipo 2) homogenizan generalmente por la desaparición de la fase vapor a temperaturas entre 247 ° – 489 °C. Las IF trifásicas y multifásicas (tipo 3), presentan tres modos diferentes de homogenización. El rango de temperatura de homogenización total es de 280 ° – 484 °C. Las IF tipo 2 y tipo 3 presentan IF que no homogenizan a temperaturas mayores de 500 °C, lo cual puede ser explicado como producto de un aprisionamiento heterogéneo de vapor y líquido en IF ricas en vapor y ricas en líquido durante la ebullición. La coexistencia Inclusiones fluidas ricas en vapor de baja salinidad (tipo2) con IF trifásicas y multifásicas (tipo3 TH(I)) de alta salinidad ($47wt$ % NaCl), atrapadas contemporáneamente, homogenizando a un mismo rango de temperatura y con diferentes proporciones entre las fases de un mismo tipo de IF, sugirieren la posible relación con un fluido magmático inmiscible (L+V+H) alojados en un ambiente subvolcánico, relacionado a rocas pórfido cuarzo dioríticas, donde éste fluido magmático primario se dividió (*boiling*) en dos fases: una acuosa de baja salinidad y otra de alta salinidad, condiciones típicas de fluidos asociados a mineralización del tipo porfírico.

Recomendaciones

En este trabajo se contó con datos preliminares por lo que se necesitan más resultados sobre todo de las inclusiones fluidas tipo 3, por lo que se recomienda obtener datos adicionales tanto de petrografía como de termometría de este tipo de inclusión fluida, para poder afirmar que las IF que homogenizan por la disolución de la sal son el resultado de un aprisionamiento del líquido inmiscible (L+V+H) durante la ebullición, así como continuar con el estudio de las inclusiones fluidas presentes en las vetas de cuarzo mineralizadas del Stockwork La Unión.

Referencias bibliográficas

- Alonso, J., Barroso, A., Molina, R., Valle, C., Donet, P., (2001): Informe de reconocimiento geológico para oro y otros metales en el sector Colombia-Barrueto. Provincia de Camagüey.
- Bodnar, R. J.(1994): Synthetic fluid inclusions. XII. Experimental determination of the liquids and isochors for a 40 Wt % $H_2O-NaCl$ solution. *Geochim. Cosmochim. Acta*, No 58, p. 1053-63
- Darimont, A., and Coipel, J. (1982): Dispersion des températures d'homogénéisation des inclusions aqueuses- ebullition ou division par e'trangement. *Chemical Geology*, V. 37, p. 151-163.
- Roedder, E. and Bodnar, R. J. (1980): Geologic pressure determinations from fluid inclusion studies. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, No 8, p. 263-301
- Roedder, E. (1984): Fluid Inclusions. *Reviews in mineralogy*, No. 12, p. 644.
- Shepherd T. J., Rankin A. H., Alderton D. H. H.(1985): Michigan, Mineralogical Society of America, p. 646. (reviews in Mineralogy series, 12)



MORFOLOGÍA, TEXTURA Y COMPOSICIÓN DE PARTÍCULAS DE ORO ASOCIADAS A DEPÓSITOS DE PLACERES EN EL NE DE CUBA: UN DEBATE ENTORNO A SU ORIGEN.

R. Díaz-Martínez⁽¹⁾, A.R. Vila-Sánchez⁽¹⁾, J.A. Proenza⁽²⁾, J. C. Melgarejo⁽²⁾

⁽¹⁾Departamento de Geología, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Las Coloradas, s/n, C.P. 83 320, Moa, Holguín, Cuba. E-mail: rdmart@ismm.edu.cu

⁽²⁾Departament de Cristal·lografia, Mineralogia i Dipòsits Minerals. Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona. Martí i Franquès, s/n, 08028, Barcelona.

RESUMEN

Estudios recientes dirigidos a esclarecer aspectos tales como morfología, textura y química mineral sugieren dos mecanismos de formación de las partículas de oro asociadas a depósitos de placeres de diferentes tipos genéticos (marino-costeros, aluviales y eluviales) en la región noreste de Cuba; uno relacionado con los procesos mecánicos de destrucción de menas primarias de oro y otro con procesos de lixiviación y redeposición por vía química del oro que se concentra en vetas, en las rocas de la asociación ofiolítica, y en sus productos de alteración (corteza laterítica). La presencia de granos con formas cristalinas, hojuelas, alambres y laminillas con superficies lisas muy pulidas sugieren la formación mecánica de las partículas de oro, mientras que formas redondeadas a subredondeadas con bordes cóncavos o convexos y cariadas que evidencian fenómenos de corrosión, así como texturas rugosas, porosas y espongiiformes apuntan hacia un mecanismo químico de formación.

El análisis de las muestras mediante microscopía electrónica de barrido (imágenes de electrones retrodispersados) y microsonda electrónica (imágenes de rayos X y análisis cuantitativo) arrojó formas y texturas muy peculiares y una composición química muy heterogénea de las partículas con contenidos variables de Au, Ag, Hg y Cu. Las partículas de oro, en su mayoría, representan aglomerados de diversos granos de dimensiones micrométricas, cuyas composiciones son muy variables, desde las correspondientes a oro mercurial ("amalgama") y/o electrum hasta composiciones próximas a los términos extremos, oro o plata.

El estudio morfológico, textural y composicional de las partículas de oro indican un proceso multiepisódico de formación de las mismas y por tanto, varios mecanismos deben ser considerados para explicar su historia de formación o génesis: (1) lixiviación y transporte, (2) coalescencia (acreción mecánica), (3) enriquecimiento supergénico, (4) extracción selectiva de Ag y/o Au en presencia de agua marina (extraída en forma de complejos clorurados).



HETEROGENEIDAD PETROGRÁFICA Y GEOQUÍMICA DE LOS MAGMAS EMPLAZADOS EN LAS CUENCAS DEL SURESTE DE MÉXICO.

Jorge Jacobo Albarrán ⁽¹⁾ jjacobo@imp.mx ; Juan José Valencia Islas ⁽¹⁾
jjvalen@imp.mx y Julio Cerrillo Cruz ⁽²⁾

1. Instituto Mexicano del Petróleo Gerencia de Geociencias. Eje Central Lázaro Cárdenas 152 Delegación Gustavo A. Madero C. P. 07730 México D. F.
2. Petróleos Mexicanos. Centro Administrativo Región Sur. Av. Campo Grande N° 2000 Edif. 3 Primer nivel coordinación Fraccionamiento Carrizales. Villahermosa, Tabasco. C. P. 86030 México

RESUMEN

Este trabajo forma parte de una serie de estudios del basamento cristalino de las cuencas del sureste de México y de la actividad Volcánica asociada a posibles reactivaciones del mismo, así como su influencia térmica y su riesgo en la exploración y producción de Hidrocarburos.

Las cuencas del Sur y Sureste de México (Veracruz, Papaloapan, Salina del Istmo, Comalcalco y Macuspana), tienen un origen común asociado a las últimas etapas de apertura del Golfo de México, durante este proceso evolutivo los factores que controlaron la geometría del basamento fueron un fuerte adelgazamiento de la corteza continental y la oceanización de la misma lo que dio origen a un basamento de carácter transicional posiblemente hasta la formación de una corteza Oceánica. Hasta hace poco tiempo el vulcanismo localizado en las cuencas del sur y sureste de México y aun hasta la fecha se asocian al Arco Volcánico Transmexicano (TMVB), sin embargo dada las relaciones geoquímicas de elementos mayores en traza y las relaciones isotópicas de Sr y de Nd realizados en estudios más recientes de petrología se ha demostrado que efectivamente se tiene una fuerte componente de arco volcánico pero además de una fuerte componente de tipo OIB así como de procesos de fuerte contaminación por rocas sedimentarias particularmente de carbonatos.

El primer caso está presente en El Complejo Volcánico de Los Tuxtlas (CVLT) localizado entre la cuenca de Veracruz y la cuenca salina del Istmo, el primero en su parte norte está formada por 200 conos cineríticos alineados con una dirección NW-SE y constituido por basanitas y basaltos alcalinos, todos ol-ne normativos; la parte sur está formada por 7 grandes calderas alineadas en dirección N-S y constituidas por basaltos andesíticos y mugearitas todos ol-hy normativos, otros casos documentados por petrografía en las cuencas del sureste son el tronco de Santa Fé el cual está formado por andesitas de CPX y OPX lo que evidencia una contaminación de magmas, otro más dentro de la cuenca de Macuspana en la Región Marina es la presencia de púmicitas en el Pozo Chukta-1 y finalmente en el caso del Volcán Chichónal también se han reportado altos contenidos de Mg y Fe en rocas saturadas en sílice y valores altos de algunos elementos en traza que se han explicado a la asimilación de calizas.

Petrography and geochemistry heterogeneity of magmatic intrusions in the basins of the Southeast of Mexico.

ABSTRACT

This work is part of a series of studies of the crystalline basement of the basins of the southeast of Mexico and of the volcanic activity associated to possible reactivations of the same one, as well as its thermal influence and its risk in the exploration and production of Hydrocarbons.

The basins of the South and Southeast of Mexico (Veracruz, Papaloapan, Saline of the Isthmus, Comalcalco and Macuspana), they have a common origin associated to the final stages of opening of the Gulf of Mexico, during this evolutionary process the factors that controlled the geometry of the basement were a strong weight loss of the continental bark and the oceanizations of the same one what possibly gave origin to a basement of transitional character until the formation of an Oceanic bark. Until time recently the volcanism located in the basins of the south and southeast of Mexico and even so far



associate to the Volcanic Arch Transmexicano (TMVB), however given the relationships bigger geochemicals of elements in appearance and the relationships isotópicas of some of isotopes of Sr and of Nd carried out in studies but recent of petrology it has been demonstrated that indeed one has a strong component of volcanic arch but besides a strong type component OIB as well as of processes of strong contamination for sedimentary rocks particularly of carbonates.

The first case this present in The Volcanic Complex of The Tuxtlas (CVLT) located between the basin of Veracruz and the saline basin of the Isthmus where the north part this formed by 200 cones cineritic aligned with an address NW-SE and constituted by basanitics and alkaline basalts, all Ol-Ne normative; the south part this formed by 7 big boilers aligned in address N-S and constituted by basalts andesitics and mugearites all Normative ol-hy, other cases documented by petrography in the basins of the southeast are the trunk of Santa Fé the one which this formed by andesitics of CPX and OPX what evidences a magmas contamination, other more inside the basin of Macuspana in the Regions Marina is the pumice presence in the Well Chukta-1 and finally in the case of the Chichonal vulcano high contents of Mg and Fe have been reported also in rocks saturated in silica and high values of some elements that have been explained to the assimilation of calcareous.



DISTRIBUCIÓN DE ELEMENTOS MAYORITARIOS Y TRAZAS EN SEDIMENTOS COSTA AFUERA DEL DELTA DEL ORINOCO

J.A. Alfonso, M. Martínez, Z. Benzo, S. Flores

Centro de Química, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, Apartado 21827, Caracas 1020-A, Venezuela.

E-mail: jalfonso@ivic.ve

RESUMEN

Se presenta la distribución de 19 elementos mayoritarios y trazas (Al, Ba, Br, Ca, Cr, Cu, Fe, Hf, K, Mg, Mn, Na, Ni, Rb, Si, Sr, V, Zn, y Zr) en sedimentos superficiales tomados de 60 estaciones de muestreo en aguas territoriales del Océano Atlántico, entre los 100 y los 2 000 m de profundidad, en el área denominada como Fachada Atlántica Venezolana, al sur de la frontera con Trinidad-Tobago y al noreste del Delta del Orinoco. Las determinaciones elementales fueron realizadas utilizando Fluorescencia de Rayos-X sobre muestras de sedimento total. En el análisis de los resultados se utilizaron técnicas estadísticas de análisis multivariable. En este trabajo, se sugiere la presencia de una franja arenosa rica en conchas marinas y otros restos calcáreos, paralela a la costa, situada aproximadamente entre los 80 y los 150 m de profundidad y a partir de 160 Km. de la costa. El resto de los núcleos estudiados, correspondientes a estaciones ubicadas antes y después, de esta franja, muestran generalmente características típicas de lodo arcillosos. Los resultados fueron corroborados con Difracción de Rayos-X, Microscopía Electrónica de Barrido y mediante análisis vía láser de distribución de tamaño de partículas. Se presentan también, valores de línea base para esta región, una zona compleja y muy poco estudiada.



SOBRE LA MINERALOGIA Y GEOQUÍMICA DE LA MANIFESTACIÓN DE CROMO METALÚRGICO CAMARIOCA II, EN LA PROVINCIA DE MATANZAS

Deysy De la Nuez, María Santa Cruz Pacheco, Angélica Isabel Llanes

IGP Vía Blanca y Línea del Ferrocarril San Miguel del Padrón C. Habana. E-mail deysy@lacemi.cu

RESUMEN

Con el fin de profundizar en la petrología y la mineralización asociada a las ofiolitas de Habana–Matanzas, entre 1999 – 2001, se desarrolló un complejo de estudios mineralógicos, mineragráficos, petrográficos y geoquímicos. Este trabajo se basa esencialmente en los resultados del estudio mineralógico realizado a la manifestación de cromita metalúrgica Camarioca II, situado en la escama ofiolítica Tetas de Camarioca.

Al estudiar las secciones delgadas en la masa mineral, se encontró entre 5-7 % de granos vermiculares de cromoespinelas de color rojizo-pardo oscuro, lo cual refleja sus características metalúrgicas.

En esta manifestación, la mineralización se ubica en la zona de tránsito, siendo la cromita el mineral más abundante según el examen de las secciones pulidas, donde alcanza un 75%. En las grietas de mena se observaron raros granos de vaesita (NiS_2), formadas durante el proceso de serpentización. Por su composición química de Cr_2O_3 (52%) y por los valores del número de Cr y Mg (81 y 55 respectivamente), se clasifica esta manifestación como alpinotípica, tipo metalúrgico, evidenciándose además la formación de un magma altamente magnésico, tipo boninitico.

El hallazgo de esta nueva ocurrencia en áreas circundantes al depósito Tetas de Camarioca nos corrobora la potencialidad de esta escama, recomendándose realizar trabajos para la búsqueda y prospección de cromitas del tipo metalúrgico.

ABSTRACT

With the purpose of deepening in to the petrology and the mineralization associated with the ophiolites of Habana–Matanzas, between 1999–2001, it was developed a complex mineralogic, microscopic ore, petrographic and geochemical studies. This work is based essentially on the results of the mineralogical study carried out to the manifestation of metallurgical chromite Camarioca II, located in the ophiolitic scale Tetas de Camarioca.

When studying the thin sections in the mineral mass, it was found among 5-7% of grains vermicular of chromian spinel of dark reddish-brown color, which reflects their metallurgic characteristic.

Mineralization composed dominantly of chromite (75%) according to the analysis of polished sections, and secondary vaesite (NiSO_2) occurs in serpentinized transition zone. Chromites with high Cr and Mg numbers (81 and 55 respectively) are classified like alpinotipic, metallurgic type and believed to be crystallized from highly magnesian magmas (boninitic type).

The discovery of this new occurrence in surrounding areas to the deposit Tetas de Camarioca proves us the potentiality of this scale, recommending to carry out works for metallurgist chromites exploration.



Introducción

La manifestación de cromita metalúrgica Camarioca II, es un nuevo sector (De la Nuez, D., Santa Cruz Pacheco, M. en Llanes, A, et al 2001) ubicado a 1,5 Km al NE del depósito cromitítico Tetas de camarioca, en la porción septentrional de la provincia de Matanzas. Situados ambos en la escama ofiolítica Tetas de camarioca. Fig. 1

Estas cromitas son la única materia prima empleada para la obtención de ferrocromo, utilizado como adición en la fundición de aceros especiales de alta calidad al cromo y al cromoníquel. Además, en la industria del metal tiene enorme importancia el cromado, es decir, el revestimiento con una delgada capa de cromo metálico de los distintos artículos de metal para evitar la corrosión.

Cierta parte de las cromitas tiene aplicación en la industria química en la fabricación de distintas pinturas estables, en la industria de curtido y en la fabricación de preparados químicos (Ej. dicromato)

Actualmente el único cromo exportable de nuestro país es el de la región oriental, por lo que la búsqueda de nuevos sectores en el occidente, proporciona nuevas perspectivas de desarrollo que abaratan los costos de trasportación de este mineral por encontrarse más cerca de la capital.

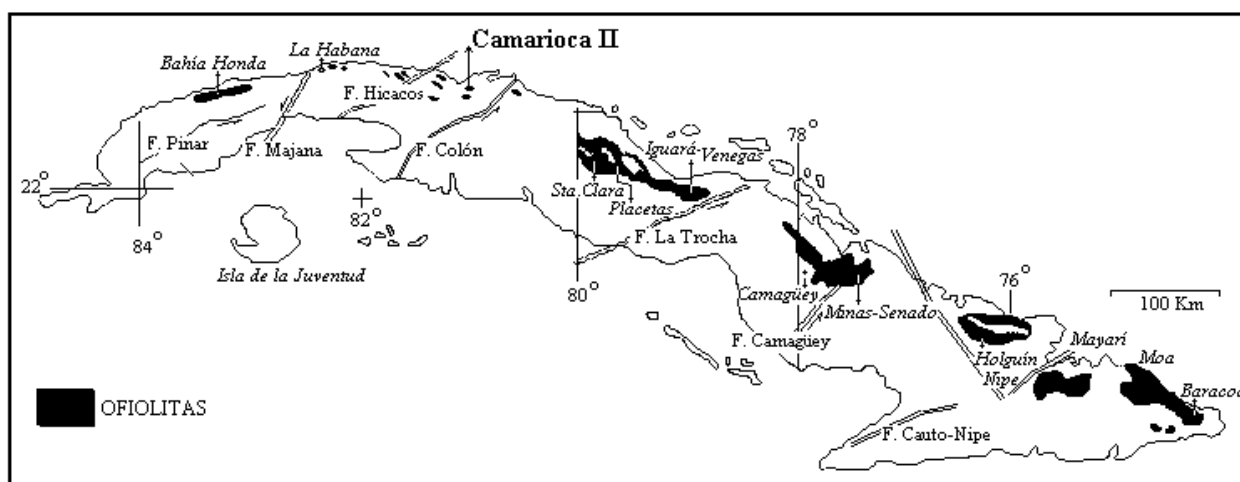


Fig. 1 Mapa esquemático de distribución de las ofiolitas de Cuba.

Objetivos:

Determinación de la composición mineralógica, los tipos químicos de mena, y las particularidades de la secuencia encajante. De esta forma se pretende contribuir a un mejor diseño de la potencialidad cromífera de esta escama ofiolítica, así como en el proceso de beneficio de este tipo de mineralización.



El método investigativo se basa en los resultados del estudio mineralógico realizado a las muestras fragmentarias seleccionadas en el frente de cantera de la manifestación, e integrado por determinaciones de la composición mineralógica y los tipos químicos de mena, así como las particularidades de la secuencia encajante.

Resultados y Discusión

Petrología y geoquímica:

Las rocas encajantes de la mineralización de cromita están representadas por serpentinitas harzburgíticas que constituyen la base de la Zona de Transición Manto – corteza oceánica o Zona de Transición Moho, en la región de Habana – Matanzas.

Estas rocas con textura reticular, fibrosa y hojosa están compuestas por Lizardita en forma de Serpofita, que constituye entre 60 – 70 % de la masa rocosa; en proporción subordinada se observa crisotilo y antigorita como agregados microgranulares y en forma hojosa, respectivamente y muy aislados granos irregulares de clinopiroxeno. Aparecen pseudoporfiroclastos, de bastita en formas irregulares, entre 15 - 20 % de la roca. Los granos de bastita muestran huellas de deformación plástica que se evidencia en la extinción ondulante, lámelas de exolución y flexionamiento de los bordes de los granos.

Entre un 5 – 7 % aproximadamente ocurren granos vermiculares de cromoespinelas de color rojizo – pardo oscuro que da un rasgo de su composición metalúrgica (Moqueaba, 1974).

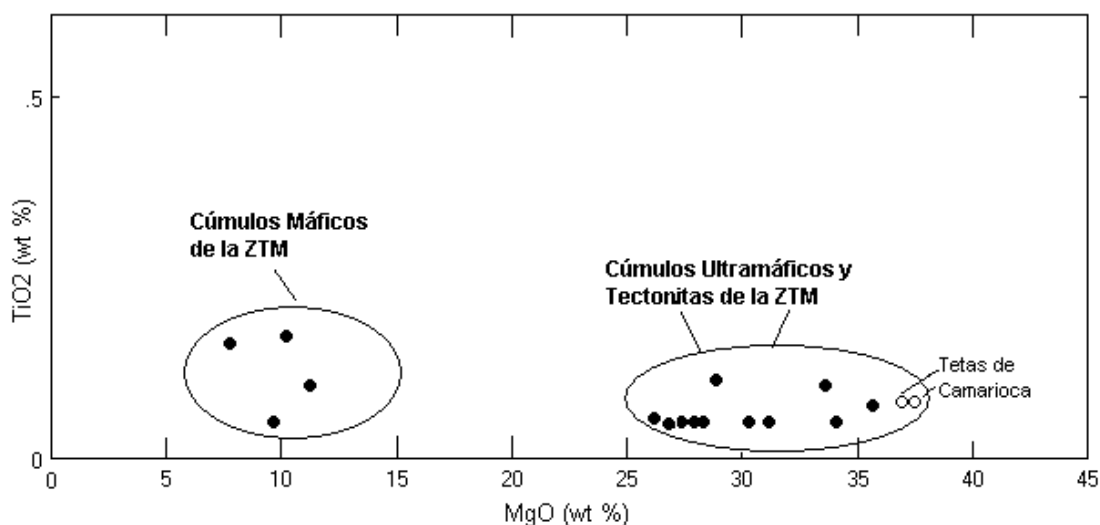


Fig.2 Diagrama TiO₂ - MgO de las rocas ultramáficas y máficas de la ZTM en Habana - Matanzas

Estas formas dactiloscópicas (vermiculares) de la cromoespinela accesoria, en la roca encajante, han sido reveladas como criterio mineralógico para la búsqueda y exploración de cromita, en otras regiones de Cuba (Camagüey y Moa – Baracoa), (Fonseca et al., 1992).

La presencia de bastita (ortopiroxeno serpentinizado) en un 15 – 20 % sugiere que la composición primaria de la roca, previa a la serpentización fue harzburgítica, lo que señala el



carácter agotado de la fuente mántica generalizada de los fluidos, a partir de los cuales cristalizan las menas de cromitas.

En el diagrama de TiO_2 – MgO las muestras de Camarioca II se plotean en el campo de cúmulos ultramáficos y máficos de la ZTM en Habana – Matanzas. Fig 2.

Mineralización

La mineralización magmática de cromitas podiforme metalúrgicas representados por los pequeños depósitos Tetas de Camarioca y Camarioca II se ubica en la zona de tránsito (parte superior de la tectonitas – cúmulos ultramáficos) Fig. 3 (Sta Cruz P. M. y De la Nuez D., en Llanes A. et al 2001).

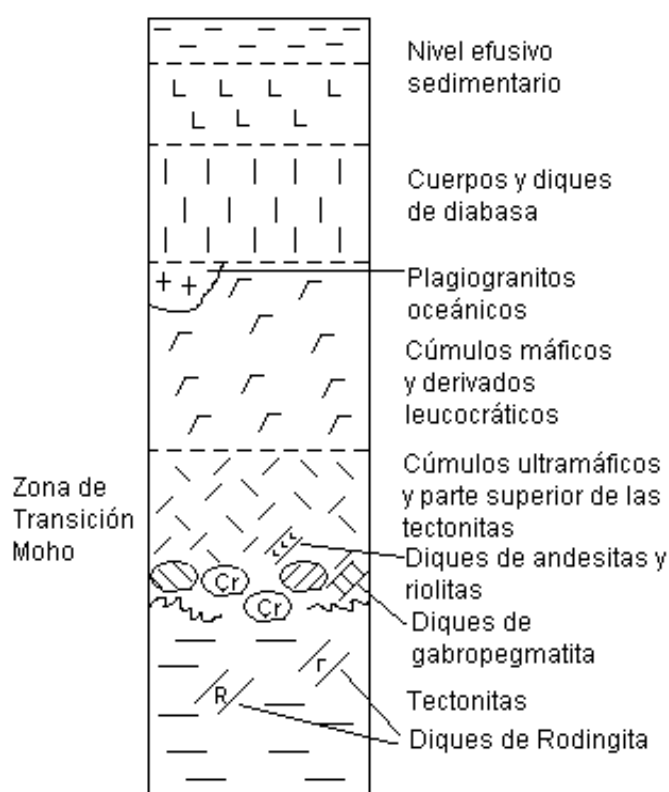


Fig. 3 Columna esquemática idealizada de la asociación ofiolítica y su mineralización en la ZTM (Llanes, I. et al., 2002)

Los pods cromíticos generalmente son pequeños y lenticulares, asociados a estrechas segregaciones de dunitas intensamente serpentinizadas. Las menas presentan texturas diseminadas y masivas. El contacto mena roca resulta gradual, transicionando desde masiva, en la parte central de los cuerpos, hasta más diseminada en la parte más exterior. En general los procesos post magmáticos de formación están representados en la mena masiva por huellas de fracturas, cizallas y en algunos casos brechamiento. Figuras 4 y 5.



La cromita es el mineral primario más abundante. Su contenido según secciones pulidas alcanza los 75%. Sus granos presentan formas euhedrales y muy cataclastizados con bordes angulosos fotos 1 y 2. Su tamaño alcanza hasta 0.81mm. Entre sus grietas se observa raros granos de **vaesita** (NiS_2) formadas durante el proceso de serpentización con tamaños de hasta 0.005mm.

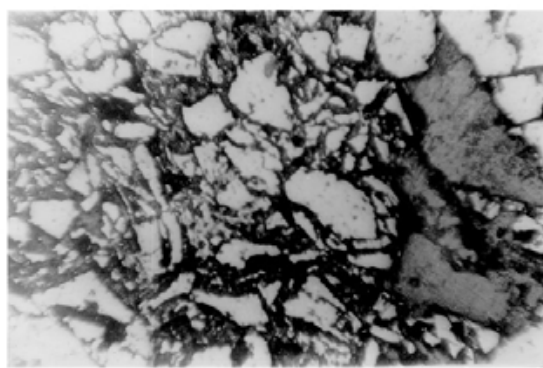


Fig. 4. Foto. Cromita (gris claro). Muy cataclastizada, rodeada por serpentinita.

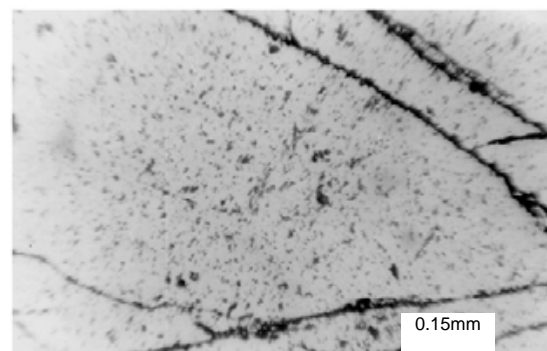
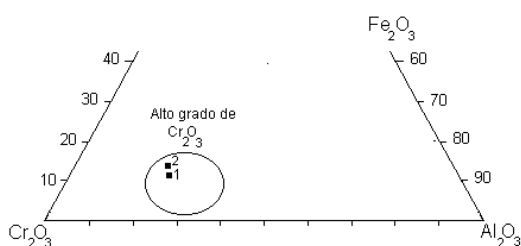


Fig. 5. Foto. Cristales euhedrales de cromita masiva. Depósito Tetas de Camarioca.



La figura 6 y la tabla I muestran la composición química de las cromititas, para el caso de Camarioca II corresponde al grupo de las cromitas metalúrgicas muy similar a las de Tetas de Camarioca

Tabla I Análisis químico de cromitas (%)

#	Nombre del Punto	Tipo de cromita	SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	Fe_2O_3 (Fe total)	FeO	MgO	MnO	CaO	Cr_2O_3	NiO
1	Tetas de Camarioca	Metalúrgica	3.96	16.18	0.24	18.96	10.25	13.83	0.06	0.28	49.95	0.11
2	Camarioca II	Metalúrgica	2.73	15.39	0.12	12.50	11.24	17.75	0.15	0.28	52.72	-

Caso similar sucede en la figura 7 donde puede observarse que por los valores del Cr y Mg (81 y 55 respectivamente) se clasifica esta manifestación como alpinotípica, tipo metalúrgico, evidenciándose además la formación de un magma altamente magnésico, tipo boninitico como plantea Dick and Bullen 1984, Zhou, M.F. et al. 1994 para este tipo de cromititas. También las cromititas con alto número de cromo son interpretadas como producto de la cristalización de magmas formados por alto grado de fundido parcial, particularmente dunitas y harzburgitas agotadas Zhou, et al. 1994.

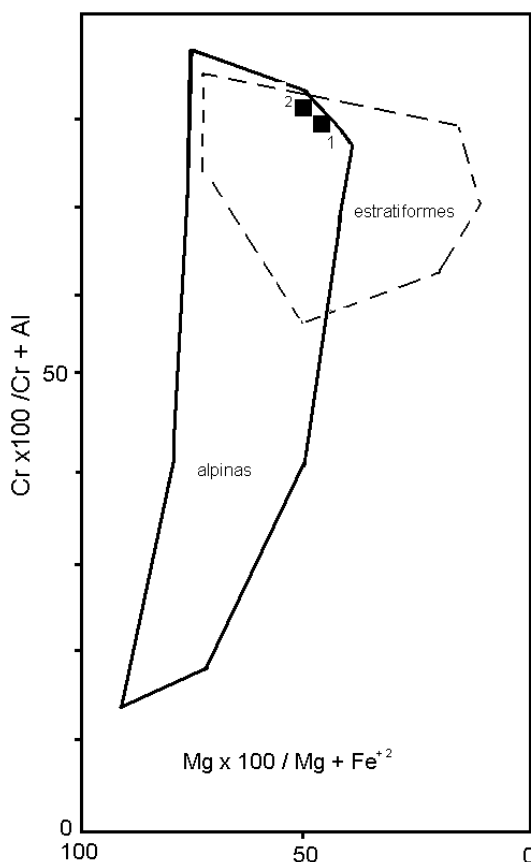


Fig. 7. Comparación entre la composición química de las cromititas metalúrgicas. 1 –Tetas de Camarioca. 2 –Camarioca II.

Este nuevo depósito estudiado corrobora la potencialidad metalífera para el hallazgo de cromititas metalúrgica en la escama Tetas de Camarioca como anteriormente fue planteado por Sta. Cruz P. M. En Llanes, A. et al 1997.

Conclusiones

- 1- Se clasifica el depósito Camarioca II como cromititas alpinotípicas tipo metalúrgico
- 2- El hallazgo de nuevos depósitos en áreas circundantes a los depósitos conocidos (Tetas de Camarioca) nos corrobora la potencialidad de esta escama para la búsqueda y prospección de cromititas de tipo metalúrgica.

Recomendaciones

- 1- Realizar trabajos de reconocimiento geológicos para cromo metalúrgico, en las áreas de ocurrencia de la mineralización de cromitita de Camarioca atendiendo a la potencialidad cromífera de esta estructura geológica.

Referencias Bibliográficas

- Dick, H. J. B., T. Bullen, 1984 Chromium spinel as a petrogenetic indicator in abyssal and alpine-type peridotites and spatially associated lavas. Contrib. Mineral. Petrol. 86:54-76.
- Fonseca, E., B. Sladhevich, M. Santa Cruz Pacheco, A. Morales, R. Rodríguez, C. Capote, M. Navarrete,



- I. García, 1992. Informe Geología de los yacimientos cromíticos con evaluación pronóstico en la región Moa-Baracoa. Archivo del IGP. La Habana.
- Llanes, A. I., M. Santa Cruz Pacheco, I. García, A Morales, B. Palacios, 1997. Petrología y Mineralización de la asociación ofiolítica en la región Habana- Matanzas. Archivo del IGP, Pág. 1-65.
- Llanes, I, I. García, M. Santa Cruz Pacheco, C. Capote, I. Milia, A. Morales, D. De la Nuez, 2001. Valoración petrólogo-mineralógica de la zona límite manto -corteza oceánica y su implicación en la metalogenia de Au, Ag, Cu, Ni, Fe y Cr, en la región Habana Matanzas. Archivo del IGP. La Habana.
- Zhou M. F., P. T Robinson. , W. J. Bai, 1994. Formation of podiform chromitites by melt/rock interaction in the upper mantle. Mineral Deposita 29, pág. 98-101.



POTENCIALIDAD DE LOS ÁRIDOS EN CUBA.

Esther María González Rodríguez, Rolando Batista González, Jesús Martínez Salcedo, Miguel García Saborit .

Instituto de Geología y Paleontología, Vía Blanca y Línea del Ferrocarril, San M. Del Padrón, Ciudad de La Habana, Cuba. Email: esther@igp.minbas.cu

RESUMEN

Son diversas las fuentes de abastecimiento de los materiales de construcción, donde la actividad geólogo minera juega un papel primordial, ofertando diferentes materias primas como; rocas para áridos de trituración, aglomerantes, arcillas y arenas, entre otros. Entre todos estos materiales, los áridos tienen un gran peso debido al volumen empleado y la diversidad de su uso. En este sentido existen numerosos trabajos para la evaluación de estas materias primas, que han dado como fruto el descubrimiento de numerosos depósitos (un gran número de ellos llevados a la categoría de yacimientos) y se ha deducido el potencial con que cuenta el país al respecto.

Bajo la denominación de "áridos", en Cuba se agrupan un variado conjunto de tipos litológicos tales como; calizas, calizas dolomíticas, dolomitas, dolomitas calcáreas, calizas margosas, calcarenitas, arenas, tobas, basaltos, gabros, granitos, andesitas y mármoles, encontrándose distribuidos por todo el país y ocupando diferentes ambientes geológicos, estando presentes en toda la columna estratigráfica, desde el Jurásico hasta el Holoceno

En general existen un total de 510 ocurrencias, (252 yacimientos, de ellos 109 actualmente en explotación y 258 manifestaciones), según la última variante del Mapa de Rocas y Minerales Industriales de Cuba. del año 2002.

La necesidad de áridos y la propia existencia de materiales para producirlos en el país, requieren de la divulgación de su potencialidad y de las posibilidades reales de su empleo en la construcción, principal objetivo pretendido en este artículo.

ABSTRACT

They are diverse the sources of supply of the construction materials, where the mining activity geologist plays a important paper, offering different raw materials as; rocks for aggregates , binding agents, clays and sands, among others. Among all these materials, the aggregates ones have a great weight due to the used volume and the diversity of their use. In this sense numerous works exist for the evaluation of these raw materials that they have given as fruit the discovery of numerous deposits (a great number of them taken to the category of locations) and the potential has been deduced with which it counts the country in this respect.

Under the denomination of aggregates, in Cuba they group a variate set of lithologic types as; limestones, dolomitic limestones, dolomites, calcareous dolomites , dolomitic limestones, calcarenites, sands, tuffs, basalts, gabbros, granites, andesites and marbles, being distributed by the whole country and occupying different geologic environments, being present in the whole stratigraphic column , from the Jurassic one until the Holocen

In general they exist a total of 510 occurrences (252 ore deposits, of them 109 at the moment in exploitation and 264 manifestations), according to the last variant of the Map of Rocks and Industrial Minerals of Cuba. of the year 2002.

The necessity of aggregates and the own existence of materials to produce them in the country, they require of the popularization of their potentiality and of the real possibilities of their employment in the construction, main objective sought in this paper.



Introducción

En Cuba se emplean tres tipos de áridos: los áridos de trituración (rocas con peso volumétrico mayor de 2 kg/cm²), los áridos ligeros (rocas con peso volumétrico menor de 2 kg/cm²), y los áridos naturales, siendo los primeros los más abundantes tanto por la cantidad de sus depósitos como por la diversidad de las materias primas evaluadas para ese uso (ver gráficos No 1, 2, 3 y 4).

Gráfico No 1. Cantidad de depósitos por tipos de áridos.

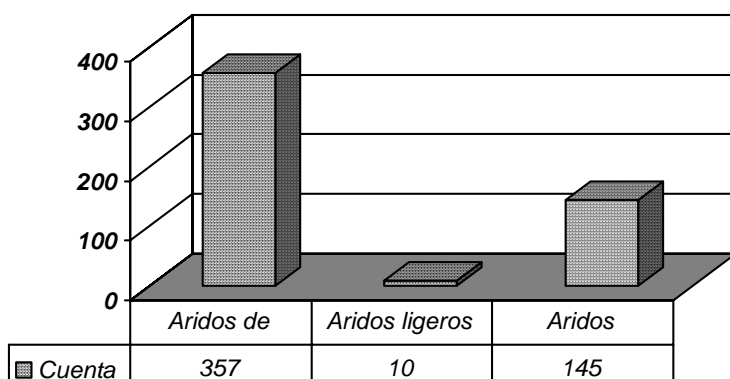


Gráfico No 2

Cantidad de depósitos por materias primas para áridos de truturación

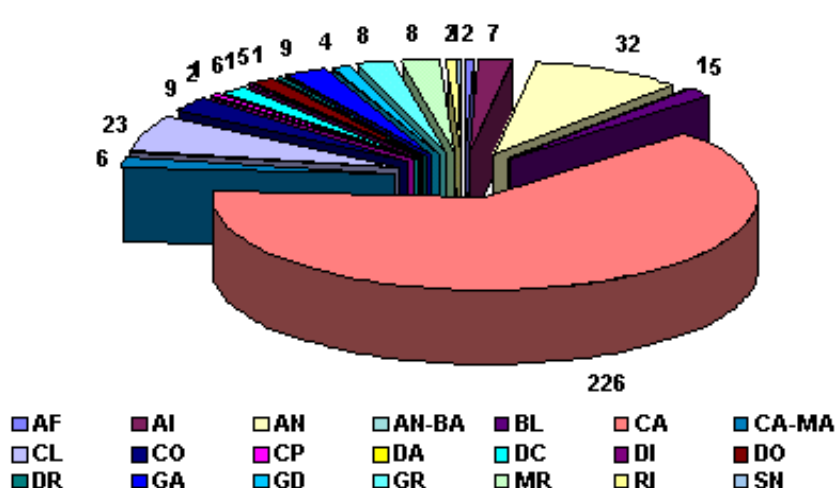




Gráfico No. 3

Cantidad de depósitos por materias primas para áridos ligeros

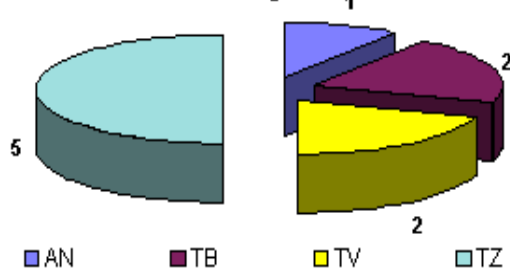
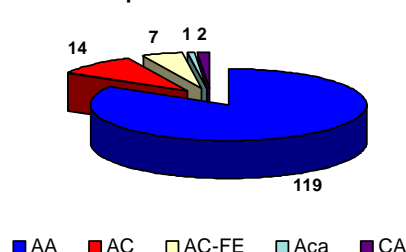


Gráfico No. 4

Cantidad de depósitos por materias primas para áridos naturales



Ocurrencias de estas materias primas están distribuidas en todo el país, ocupando diferentes ambientes geológicos, pero no todos tienen igual perspectiva, por lo que un estudio deficiente podría provocar una explotación no racional de estos recursos.

Esta situación unido a la necesidad de utilizar racionalmente los recursos naturales no renovables, hace que sea necesario la divulgación de varios aspectos como son; las zonas estructuro formacionales con mayor perspectiva, la situación actual de cada depósito, las áreas con posibilidades de incrementar las reservas, su distribución, para lo cual se ha realizado un análisis estadístico, cuyos resultados se exponen mediante gráficos, tablas y comentarios.

Materiales y métodos.

Como materiales fundamentales se utilizaron los trabajos Mineragénicos Pronósticos más recientes y la base de datos para las rocas y minerales industriales de Cuba, ambos realizados en el departamento de Yacimientos Minerales del Instituto de Geología y Paleontología. En el primer caso se seleccionaron las zonas estructuro formacionales más perspectiva.

De la base de datos se seleccionaron todas las ocurrencias evaluadas o con perspectivas para su empleo como áridos en Cuba, la cual sirvió de base para el análisis estadístico que nos demostró datos tales como; tipos de áridos, perspectiva de las unidades litoestratigráficas según el grado de conocimiento o tamaño de los depósitos, tipos litológicos empleados para la obtención de los diferentes tipos de áridos, estado actual, uso y tamaño de los depósitos, reflejando las regiones con mayor perspectiva de estas materias primas.

Resultados.

De la información recopilada de la base de datos, se pudieron conocer tanto las manifestaciones como los depósitos con recursos calculados (grandes, medianos y pequeños)



empleados en la producción de los áridos en Cuba, estos últimos incluidos en el balance de reservas de la Oficina Nacional de Recursos Minerales.

Del análisis de las unidades litoestratigráficas portadoras de los diferentes depósitos, se pudieron determinar las zonas estructuro- formacionales más perspectivas conjuntamente con las formaciones geológicas que las representan, para cada tipo de árido. La relación de las formaciones geológicas con su carga de depósitos aparece en la tabla No 1.

Tabla No 1. Unidades litoestratigráficas portadoras de materias primas para los diferentes tipos de áridos. Tamaño de sus depósitos.

Leyenda - G grande, M mediano, P pequeño, MF manifestación.

 Unidades litoestratigráficas más perspectivas.

Unidades	Tamaño						Unidades	Tamaño					
Litoestratigráficas	G	M	P	MF	Total		Litoestratigráficas	G	M	P	MF	Total	
Áridos Ligeros													
Cantabria				1	1		Duran				1	1	
Chirino				4	4		Sabaneta	4				4	
Áridos Naturales													
Aluvio	3	14	37	38	92		Guane		1	1	1	3	
Aluvio - marino	1		1	1	3		Guevara		1			1	
Cauto		1		2	3		Marino			1	2	3	
Eluvio/Granit. K	5	7	11	5	28		Siguanea		2	1	2	5	
Eluvio/Granit. P	1	1	2		4								

Áridos de Trituración

Unidades Litoestratigráficas	Tamaño				Total		Unidades Litoestratigráficas	Tamaño				Total
	G	M	P	MF				G	M	P	MF	
Agua Santa			1	1	2		La Cruz			1		1
Arimao	2		2	2	6		La Sierra				2	2
Arroyo Blanco			1		1		Los Negros	1				1
Artemisa	2	1		1	4		Mabujina				2	2
Banao			1		1		Maquey				5	5
Baracoa			1		1		Margarita				1	1
Bitirí		1			1		Marroquí				1	1
Bruja		1		2	3		Martín Mesa	1			2	3
Cacarajicara	2				2		Mata			1	1	2
Caibarién				2	2		Matagua	1			1	2
Camazán	1		1	2	4		Meyer	1				1
Camujiro		1	1		2		Mucaral				4	4
Cantabria		1	3	4	8		Ofiolitas	2	1	2	4	9
Caobilla			2	4	6		Palenque	1	2	1	10	14
Capdevila			3		3		Paraíso				2	2
Carmita				1	1		Peñalver	3	2	14	5	24
Chafarina			1	2	3		Piragua			1	9	10
Chambas	1	1		6	8		Playa Bibijagua				1	1
Charco Redondo	3	3	5	2	13		Pons	1				1
Chirino				1	1		Presa Jimaguayú	1		2	8	11
Cojimar				1	1		Provincial				4	4
Colombo			1		1		Purio	2			2	4



Colon		1			1	Remedios, grupo		1	2		3
Cotorro				1	1	Río Maya			2	2	4
Crucero Contramaest.		1	1	3	5	San Juan, grupo			1		1
El Caney			1	1	2	San Luis				1	1
El Cobre, grupo.	5	2	6		13	San Mateo			3		3
Embarcadero		1	2		3	Sierra Chiquita				1	1
Farallón Grande				1	1	Sierra de Caballos				2	2
Florida				1	1	Sierra del Purial			1		1
Gibara	1		1	2	4	Siguaney			1	1	2
Granitoides k	1	2	4	6	13	Tinajita	1	1	1	6	9
Granitoides p			1		1	Trocha		1	2	4	7
Guaimaro	1			6	7	Vázquez				2	2
Guajabón			1		1	Vedado		1			1
Guaos		1		1	2	Vega	2	1	1	5	9
Guasasa		1	3	1	5	Veloz	2	1	5	1	9
Guines	3	5	19	11	38	Vilató	1			1	2
Isabel	2		1	1	4	Yaguaneque	1			3	4
Jagua				3	3	Yateras				7	7
Jaimanitas			1	1	2	Zaza		1	6		7
Jaruco	1			2	3	Zurrapandilla				1	1
Jucaro		1	1	1	3						

Discusión y conclusiones

Según lo expuesto en la tabla No1, la perspectividad por zonas estructuro - formacionales se comporta de la siguiente forma:

Para los áridos ligeros.

Arco volcánico del Paleógeno _ Fm. Sabaneta (tobas vítreas-2, tobas zeolitizadas-2).

Para los áridos naturales.

Cobertura del neógeno tardío al cuaternario reciente.

Aluvio (arena polimíctica-92, arena cuarzosa-5, arena cuarzo-feldesp-7)

Eluvio granitoides K (Arena polimíctica-23, arena cuarzo feldesp-5)

Guane (arena polimíctica-1, arena cuarzosa-2)

Siguanea (arena cuarzosa-5)

Para los áridos de trituración (tabla No 2).

Tabla No 2. Análisis por zonas estructuro - formacionales para los áridos de trituración

ZONA ESTRUCTURO - FORMACIONAL	UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS	MATERIAS PRIMAS	total
Cobertura del Paleógeno Medio al Neógeno Tardío.	Fm Camazán Fm Maquey Fm. Guines Fm. Chambas Fm. Yateras Fm. Jaruco	caliza-4 caliza-5 (caliza-25, caliza dolomítica-7, dolomita-2, dolomita calcarea-4) caliza-7, caliza – marga-1 caliza-7 caliza-3	CA-51 CO-7 DO-2 DC-4 CA-MA-1



<i>Colisión</i>	Fm. Vega	caliza-7, caliza dolomítica-1, caliza-marga-1	CA-7 CO-1 CA-MA-1
<i>Arco volcánico del Paleógeno</i>	Gr. El Cobre Fm. Charco Redondo	andesita-6, caliza-5, basalto-2 caliza-13	CA-18 AN-6 BA-2
<i>Cobertura del Arco Volcánico del Cretácico</i>	Fm. Cantabria Fm. Isabel Fm. Tinajita Fm. Peñalver Fm. Yaguaneque Fm. Presa Jimaguayú	caliza-8 caliza-4 caliza-9 calcarenita-22, arenisca-1 caliza-4 caliza-11, arenisca-1	CA-36 CL-22 AI-1
<i>Arco volcánico del Cretácico</i>	<i>Fm. Piragua</i> Fm. Guaimaro Fm. Caobilla Fm. Arimao Fm. Crucero Contramaestre Fm. Mataguá Fm. Camujiro Granitoides K	caliza-8, conglomerado polimictico-1, arenisca-1). andesita-4, basalto-1, caliza-2 andesita-3, dacita-1, caliza-2 andesita-3, basalto-1, caliza-2 andesita-4, basalto-1 andesitas-2 andesita-2, andesito – basalto-1, caliza-2) granitoide-7, granodiorita-4, sienita-1, diorita-1)	CA-16 AN-18 BL-5 TB-1 AN-BL-1 GR-7 GD-4 SN-1 DI1 CP-1 AI-1
<i>Cobertura del Márgen Continental</i>	Fm. Cacarajicara	caliza-2	CA-2
<i>Márgen Continmmental</i>	Fm. Artemisa Fm. Guasasa Fm Trocha	caliza-4 caliza-5 caliza-9	CA-18
<i>Platafórmico</i>	Fm Gibara Gr. Remedios (Fm. Palenque, Fm. Vilató, Fm Purio)	caliza-3 dolomita-1 caliza-14, dolomita calcárea-2, caliza dolomítica-1, caliza-marga-1, dolomita-2.)	CA-17 DO-3 DC-2 CO-1 CA-MA-1
<i>Asociación ofiolítica</i>	Ofiolitas	gabro-9	GB-9

De los resultados expuestos en las tablas No1 y el análisis por zonas estructuro formacionales, se puede ver, que aunque se describen las zonas de mayor perspectiva, en la extracción de rocas carbonatadas para áridos de trituración se deben dirigir los trabajos hacia las áreas ocupadas por la Cobertura de los Arcos Volcánicos del Paleógeno y el Cretácico, los propios Arcos Volcánicos, estos también para las rocas magmáticas y el Complejo Platafórmico, fundamentalmente.

En el caso de los áridos naturales, la cobertura del Neógeno Tardío al Cuaternario y en el caso de los áridos ligeros, el Arco Volcánico del Paleógeno.

Con respecto a la cantidad de depósitos por materias primas para cada tipo de árido, no todas las materias primas tienen las mismas condiciones con respecto a la abundancia de sus depósitos y de sus recursos. Para los áridos de trituración, aunque cuentan con una amplia



gama de litologías, las más abundantes son las calizas (226 depósitos), presentes en todas las zonas estructuro formacionales de interés, las andesitas (32 depósitos) de los arcos volcánicos paleógeno y cretácico y las calcarenitas (23 depósitos) de la cobertura del arco volcánico del cretácico, también son de interés las calizas dolomíticas, gabros, granitoides y mármol con una ocurrencia entre 7 y 9 depósitos. En el caso de los áridos naturales, las arenas polimícticas desarrolladas en los depósitos aluviales fundamentalmente y las arenas cuarzosas. Con respecto a los áridos ligeros, son útiles principalmente las tobas zeolitizadas, pertenecientes a la formación Sabaneta, conjuntamente con sus tobas sin alteración o tobas vítreas, por la amplia distribución de esta formación en las provincias orientales y los potentes espesores que posee de esta materia prima, se puede esperar un incremento notable de esos recursos en esta región.

La información obtenida a través de los análisis estadísticos presentados en este trabajo, es de gran utilidad en las estrategias de producción del sector minero y de la construcción, así como para futuros trabajos de investigación encaminados al aseguramiento, no sólo de estas materias primas, sino también de nuevas áreas potenciales con desarrollo de rocas favorables para la actividad pretendida. Esto redundará en un mejor aprovechamiento de estas rocas y minerales industriales con el ánimo de evitar el despilfarro de áreas y recursos ya prospectados, teniendo en cuenta que estos son recursos no renovables y que una inteligente política de desarrollo y extracción abarataría no sólo los costos, sino también conduciría al cuidado del medio natural en el cual todos vivimos.

Referencias bibliográficas.

- Coutín D. P., Martínez J., Lippstreu L. et al. 1985. **Mapa de yacimientos y manifestaciones minerales no metálicos y combustibles de la república de Cuba. Escala 1: 500000.** Centro de Información Geológica. CIG. Ministerio de la Industria Básica, La Habana, Cuba.
- Martínez J. Klen L. 1990. **Texto y Mapa mineragénico pronóstico de Cuba a escala 1: 500000 .** Instituto de Geología y Paleontología. Ciudad Habana.
- Batista R., González V., González E. et al. 2000. **Sistema Informativo para los recursos minerales de Cuba. INFOYAC.** Instituto de Geología y Paleontología. Ciudad Habana.
- Batista R. Martínez J. et al. 2002 (inédito) **Texto y Mapa de rocas y minerales industriales de Cuba a escala 1:100000 .** Instituto de Geología y Paleontología. Ciudad Habana.