



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

Dr. C. 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: jnmunoz@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 serpentinización 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 serpentinización 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, chalcopyrite, 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); (Dzubera, 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 Potosí. 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:

- a) Early magmatic phase of the crystallization and solidification of the chromium spinels
- b) Lastly phase of crystallization and fracturation of the chromites mineralization



- c) Serpentinization phase of the mafic and ultramafic lithologies ophiolitic complex
- d) 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 y extranjeros: 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, Donqiao, 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 dunítica 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 (RuS₂ - OsS₂) 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 serpentinizado.

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, eskolaita, 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

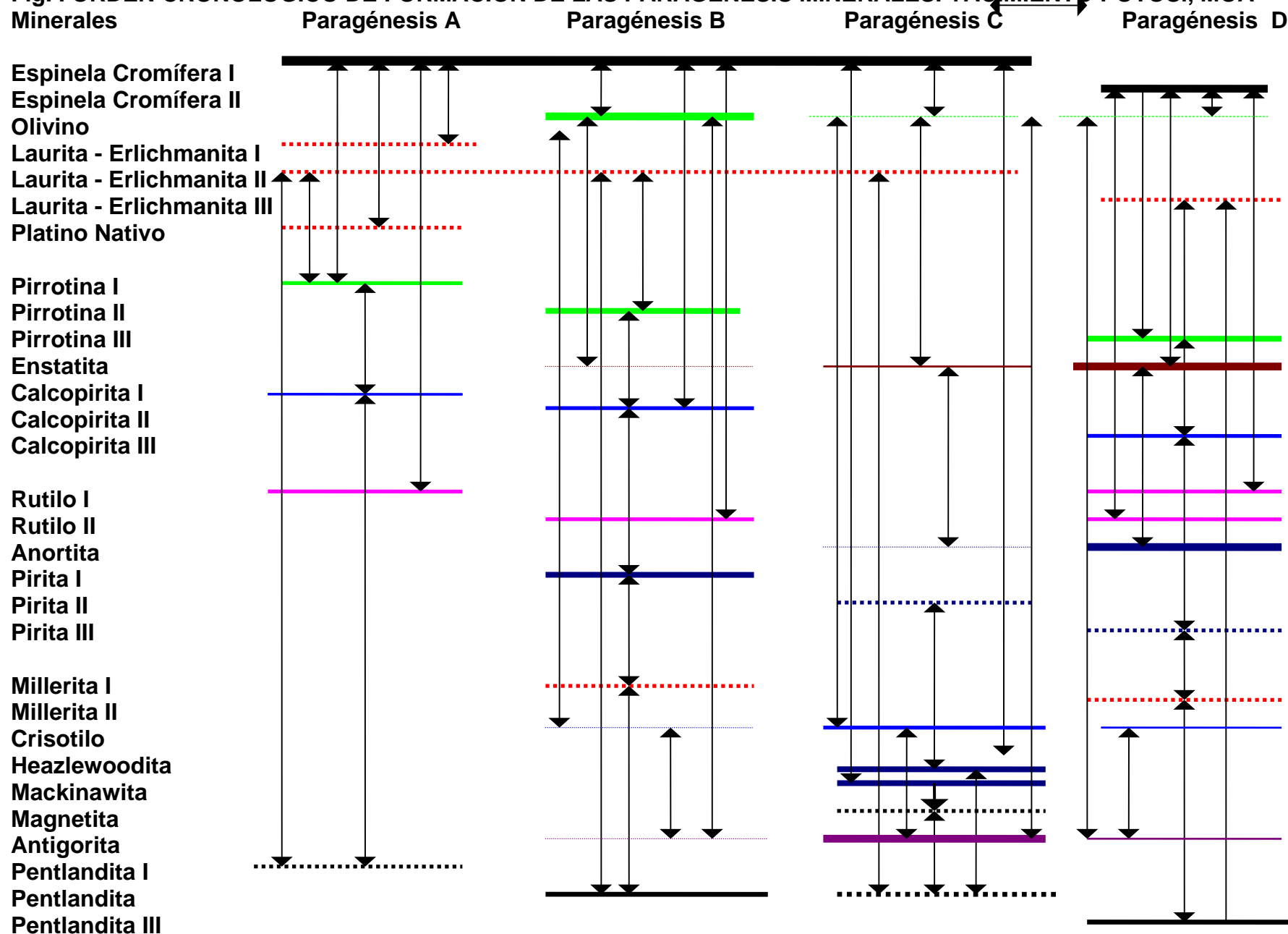
La elaboración del modelo genético teórico del yacimiento Potosí, contribuirá al conocimiento de la mineralización cromífera y constituye un aporte a la metalogenia endógena del complejo ofiolítico en la región de Moa - Baracoa, al ser el primer modelo genético que se elabora en los yacimientos de cromititas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

Referencias Bibliográficas

- Ash, C. (1996) Mineral deposit profile, podiform chromite, MO3, 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.
- Ramdorhr, 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 CRONOLOGICO DE FORMACIÓN DE LAS PARAGÉNESIS MINERALES. YACIMIENTO POTOSÍ, MOA





CONTROL GEOQUIMICO DE LA OCURRENCIA NATURAL DE ARSENICO EN SEDIMENTOS DE PIRIRICA, CUENCA DEL RIO RIBEIRA DE IGUAPE, SAO PAULO, BRASIL

Regla Toujaque⁽¹⁾ y Bernardino Figueiredo⁽²⁾

(1) Grupo de Aguas Terrestres, Instituto de Geofísica y Astronomía, Calle 212 No. 2906 e/. 29 y 31, La Coronela, La Lisa, Ciudad de la Habana. CP 11 600, Cuba, C.Elect: regla@geoastro.inf.cu

(2) Instituto de Geociencias, Universidad Estadual de Campinas, UNICAMP, P.O Box 6152, CEP 13083-970, Campinas, Sao Paulo, Brasil, C.Elect: berna@ige.unicamp.br

RESUMEN

Fueron medidas altas concentraciones de arsénico (As) (hasta $355 \mu\text{g.g}^{-1}$) en sedimentos de Piririca ,cuenca del río Ribeira de Iguape, al sur de Sao Paulo, Brasil. La principal fuente de As son los minerales del depósito aurífero de Piririca, considerado una anomalía natural de arsénico.

Con el uso de petrografía convencional y de microscopía electrónica de barradura (MEV) fue identificado As en arsenopirita como principal fase de arsénico, en tennantita, en neominerales como scorodita y beudantita portadora también de plomo (Pb) y en oxihidróxidos de hierro–(Fe).

Estudios de mapeo (MEV) en arsenopirita mostraron sus principales transformaciones dando lugar a neominerales. En la mena oxidada la asociación de As con beudantita y con oxihidróxidos de Fe, y de Pb solamente con beudantita sugiere que para que el Pb sea readсорbido por los capturadores finales, los oxihidróxidos–Fe, será necesario mas tiempo y mayor acción de las aguas meteóricas. De cualquier manera, las bajas concentraciones de As y Pb en las aguas superficiales de la region ($< 10 \mu\text{g. L}^{-1}$) indican que bajo las condiciones actuales la oxidación de los sulfuros del depósito Piririca es el proceso controlador del aporte de ambos metales a las aguas del río Ribeira de Iguape, impidiéndose a su vez la liberación del As presente en los sedimentos. No obstante, tanto los oxihidróxidos de Fe como los sedimentos de Piririca podrían constituir otra fuente potencial de As y Pb en la región en caso de que se propicien condiciones reductoras.

SUMMARY

High arsenic (As) concentrations were measured (up to $355 \mu\text{g.g}^{-1}$) in silts of Piririca, basin of the river Ribeira de Iguape, in the south of Sao Paulo, Brazil. The main source of As are the minerals of the auriferous deposit of Piririca, considered a natural anomaly of arsenic.

With the use of conventional petrography and electronic microscopy of sweeping (MEV) was identified **As** in arsenopyrite as a main arsenic phase, in tennantite, in neominerals like scorodite and beudantite contain also of lead (**Pb**) and in iron oxihidroxides.

Studies of mapping (MEV) in arsenopyrite have showed their main transformations giving place to neominerals. In the rusty ore the association of with beudantite and iron oxihidroxides, and of **Pb** only with beudantite suggests that the **Pb** is reabsorbed for the final captors, the iron oxihidroxides, will be necessary more time and bigger action of the meteoric waters. Any way, the drops concentrations of **As** and **Pb** in the superficial waters of the region ($10 \mu\text{g. L}^{-1}$) indicate that the current conditions the oxidation of the sulphurs of the deposit Piririca is the process controller of the contribution from both metals to the waters of the river Ribeira de Iguape, being impeded the liberation of the present **As** existing in the silts. Nevertheless, the iron oxihidroxides like the silts of Piririca could constitute another potential source of **As** and **Pb** in the region in the case of the reducing conditions were created.

INTRODUCCION

Al sur del estado de Sao Paulo, en el límite con Paraná se encuentra la cuenca del río Ribeira de Iguape (Fig.1). Después de recorrer un área de aproximadamente $25\,000 \text{ Km}^2$ este



río desemboca en el mar donde se encuentra el estuario Lagunar-Cananéia dedicado a la cría de frutos del mar.

Durante años y hasta mediados de los años 90 la parte alta de esta cuenca fue escenario de una intensa actividad minera de Cu, Pb y Zn con Au y Ag asociadas. Tanto en este local como a lo largo del río Ribeira de Iguape autores como Tessler et al., (1987) y Eysink et al., (1988) evidenciaron la contaminación por metales pesados Cu, Pb y Zn en aguas, sedimentos y especies marinas. En todos los casos se indicaba como fuente probable de los metales la citada actividad minera.

Trabajos más recientes de Silva & Figueiredo (1996) demostraron una relación entre las concentraciones elevadas de As en sedimentos de corriente de la porción media- superior del río con las características de los depósitos sulfurosos del alto valle. Por su parte, Moraes et al (1997) identificaron coincidencia entre las edades isotópicas de Pb en sedimentos de corriente del río y el estuario con las edades de galena de los depósitos más trabajados de la región. Todos estos trabajos indican el material en suspensión presente en el agua como el medio más probable de transporte de metales pesados a lo largo del río Ribeira de Iguape, proceso que se hace más notable durante las grandes crecidas anuales a las que está sometida la cuenca.

Estudios realizados por la CETESB (1990-91) mostraron una tendencia general de disminución de la contaminación con la distancia de la fuente. A pesar de esto, fue notable un incremento en las concentraciones de Pb, Cu, Zn y As en sedimentos en el medio curso del río entre las ciudades de Iporanga y Eldorado (Fig.1). Esta región alberga la mineralización aurífera de Piririca considerada por la compañía de pesquisas y recursos minerales de Sao Paulo CPRM (1982) una anomalía natural de arsénico. La misma está compuesta por venas de cuarzo con sulfuros diversos conteniendo As, Au, Cu, Pb, Zn.

Durante el presente trabajo fue estudiada esta anomalía con el objetivo de identificar y describir las fuentes locales del As y de otros metales asociados así como también evaluar la influencia de estas sobre los drenajes locales y regionales de la cuenca del río Ribeira de Iguape.

MATERIALES Y MÉTODOS

Entre Septiembre/1997 y Noviembre/1998 trece estaciones de muestreo distribuidas entre las ciudades de Iporanga y Eldorado fueron muestreadas para un total de 26 muestras de agua y 19 de sedimentos de corriente. El muestreo fue realizado al final de los períodos lluvioso (Marzo) y seco (Septiembre). Antes de cada colecta fueron medidos los parámetros físico-químicos de las aguas (pH y conductividad).

En todos los casos fue determinado As total con el uso de generación de hidretos acoplado a espectrofotometría de absorción atómica (HG-AAS).

Los sedimentos fueron secados, tamizados y analizados (fracc. < 63 μ m) posterior a su digestión total en agua régia. Cu, Pb y Zn fueron determinados en este caso vía plasma de inducción acoplado a espectrofotometría de emisión óptica (ICP-OES).



Fueron colectadas también un total de 31 muestras entre afloramientos y testigos de perforación. Las mismas fueron estudiadas a partir de petrografía convencional y microscopía electrónica de barradura con microanalizador (MEV-EDS) para estudios de detalle.

RESULTADOS

Los valores de pH (6.40-7.72) cumplen en todos los casos con los parámetros establecidos por la comisión nacional del medio ambiente CONAMA (1986). Los valores bajos de conductividad (33-96 $\mu\text{S}/\text{cm}$) también son aceptables para muestras ambientales.

Las concentraciones de As total en agua son bajas variando entre < 0.7 y $8.11 \mu\text{g.L}^{-1}$. En todos los casos los valores son inferiores a los límites nacionales de $50 \mu\text{g.L}^{-1}$ establecidos por CONAMA (1986) para la conservación de la vida acuática. Estos valores son también inferiores al límite estipulado por la organización mundial de la salud OMS para agua potable de $10 \mu\text{g.L}^{-1}$ Williamns (1997). A pesar de esto debe considerarse que estos límites pueden ser disminuidos. Actualmente la agencia de protección ambiental (EPA) analiza la propuesta de disminuir el límite permisible de As en agua de 50 para $5 \mu\text{g.L}^{-1}$ (Federal Register, 2000)¹.

En sedimentos de corriente los resultados obtenidos (Tab.1) mostraron concentraciones anormalmente altas de As, Cu, Pb y Zn superando en la mayoría de las estaciones los niveles de base regionales establecidos por la CETESB (1991) y utilizados por Moraes (1997) en estudios anteriores en el valle, As: $8 \mu\text{g.g}^{-1}$, Cu: $45 \mu\text{g.g}^{-1}$, Pb: $40 \mu\text{g.g}^{-1}$ y Zn: $118 \mu\text{g.g}^{-1}$.

El As varió entre 17,04 y $390,01 \mu\text{g.g}^{-1}$ llegando a sobrepasar en Sept.97 el límite permisible en la estación 4 en hasta 40 veces. El valor más bajo se obtuvo en la estación 2 en el río Ribeira de Iguape en Marzo/98. En general se observó un incremento en la concentración de As en el período de seca.

El Cu mostró variaciones entre 28 y $128 \mu\text{g.g}^{-1}$ correspondiendo el valor más bajo a la estación 8 en período de seca mientras que el valor más alto fue dado en la estación 4 en el mismo período. Excepto las estaciones 8 y 12 las restantes sobrepasaron los límites CETESB.

Las concentraciones de Pb variaron entre 32 y $333 \mu\text{g.g}^{-1}$. El valor más bajo está asociado a la estación 5 en el período de seca y el más elevado fue dado en el mismo período en la estación 2 en el río Ribeira de Iguape. Excepto la estación 5 las restantes estaciones sobrepasaron los límites de la CETESB. En el caso del Zn las concentraciones variaron entre 55 y $235 \mu\text{g.g}^{-1}$ presentando el mismo comportamiento que el Pb.

En las menas primarias el As fue identificado solamente en la arsenopirita y asociado a las sulfosales. De manera general fueron descritas tres asociaciones minerales principales: a) pirita (Py)- arsenopirita (Apy)- oro (Au) y galena (Gn) b) Py- calcopirita (Ccp)-sulfosales (Ss) - esfalerita (Sp) y c) pirrotita (Po) – (Ccp) – (Ss).

La Apy, segundo mineral en importancia del depósito seguido de la pirita, aparece generalmente formando granos euhedrales a subhedrales ($25\text{-}70 \mu\text{m}$) en la matriz cuarzo-micácea-carbonática (Fig. 2) . Las Ss forman granos sub-microscópicos limitados a venas de

¹ Federal Register, 2000 : <http://www.epa.gov/safewater/ars/implement.html>



Ccp y dada la presencia de S, Pb, As, Sb, Fe, Ni, Co, Bi y Ag en estos es probable que se trate de Ss del grupo de la Tennantita-Tetrahedrita.

En las menas de transición fueron identificados dos procesos de transformación de la Apy hacia arsenatos. En el primero, la identificación de O, As y Fe en el mineral neoformado indica que probablemente se trate de escorodita $\text{FeAsO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Esta transformación fue observada (Fig.3) en menor proporción y ocurre tanto en la superficie como en las grietas del mineral. El segundo proceso, el más observado, (Fig.4) fue hacia minerales de la familia Alunita-Jarosita, probablemente del grupo de la Beudantita (Bdtt) debido a la identificación a través del MEV-EDS de elementos como O, S, As, Pb y Fe.

Como se muestra en la figura 4 esta alteración se manifiesta desde los bordes hacia el núcleo del cristal afectando ya algunas grietas. En el grano de la extrema derecha un cristal de Apy en estado bien avanzado de alteración siendo casi totalmente transformado a Bdtt, aquí la Apy solo fue identificada en el núcleo del cristal.

En la mena oxidada fue identificado As en bandas de oxi-hidróxidos de Fe y en cristales euhedrales de composición similar a la de los minerales de la familia Alunita-Jarosita (Aln-Jar) ya descritos en la mena de transición. Esto puede sugerir la permanencia de dichos minerales aún en la mena oxidada.

DISCUSIÓN

Las bajas concentraciones de As en las aguas y contrariamente, los altos valores de este metal en los sedimentos sugiere la inexistencia de condiciones físico-químicas que propicien la solubilización de estos metales en agua, siendo las condiciones amenas de pH neutro a alcalino una de las más importantes. Otro aspecto es la conductividad cuyo comportamiento podría indicar en este caso baja estabilidad de iones en solución. Desde el punto de vista analítico el bajo límite de detección de la técnica HG-AAS ($0,7 \text{ ng.L}^{-1}$) permitió analizar el As aún en concentraciones bajas, permitiendo una mejor caracterización de las aguas de la región. En trabajos anteriores en el Vale do Ribeira el límite utilizado era de $30 \text{ } \mu\text{g.L}^{-1}$. Por lo tanto las aguas de la región de Piririca, pueden ser consideradas aptas para el consumo humano y sin riesgos para la vida acuática de acuerdo con los parámetros aquí analizados.

Los sedimentos, por su parte, se encuentran altamente contaminados en As, Pb, Cu y Zn constituyendo una fuente potencial de estos metales para el río Ribeira de Iguape en el trecho localizado entre las ciudades de Iporanga y Eldorado. Esta fuente en el momento se encuentra controlada gracias a la presencia de minerales de arcilla y hidróxidos de Fe los cuales son excelentes captadores naturales de metales, impidiendo así la solubilización de estos en agua bajo las condiciones actuales de pH.

Las concentraciones de estos metales en sedimentos demuestran que además de las mineralizaciones de Pb y Zn del alto Valle del río Ribeira, consideradas por Moraes (1997) y Silva (1997) como las principales fuentes de Pb, Zn y As para este río, en su medio curso, la región de Piririca puede ser responsable también de una parte significativa del As, Cu, Pb y Zn que hoy está presente en los sedimentos del río Ribeira de Iguape.



El estudio detallado a través del MEV-EDS permitió identificar las fases portadoras de As en las menas, demostrando que el mismo solo ocurrió en concentraciones detectables en la mena primaria en arsenopirita y en tennantita. En las menas de transición y oxidada el As se asocia a arsenatos como escorodita y a minerales de la familia alunita-jarosita y del grupo de la beudantita.

La identificación de sulfosales del grupo tennantita-tetrahedrita ya había sido indicada anteriormente por Nogueira (1992). Los minerales de la familia alunita -jarosita y del grupo de la beudantita fueron identificados aquí por primera vez en la región de Piririca.

En la parte alta del Vale do Ribeira en los *gossans* de las menas de Pb y Zn del yacimiento de Canoas, Paraná, Oliveira et al., (1996) identificaron sulfatos de Pb de la citada familia como jarosita y plumbojarosita. Minerales de esta familia fueron también identificados en la región de Irecê-Lapão, Bahía. Scott (1987) también identificó minerales de esta familia en el nordeste de Australia. En el caso de Piririca tanto la escorodita como los minerales de la citada familia son minerales neoformados que tuvieron como fuentes de As, S y Fe minerales como arsenopirita, pirita y tennantita fundamentalmente. Como principal fuente de Pb para los sulfoarsenatos se encuentra la galena. Otros elementos como K, Al y P presentes también en los neominerales provinieron de otros minerales de ganga atacados químicamente por las soluciones oxidantes.

El trayecto del As en las menas de Piririca fué observado a través del paso de arsenopirita y sulfosales (As^{3-}) en la mena primaria, coexistiendo en desequilibrio en la mena de transición, tanto como parte de estos minerales primarios en fase de alteración, (As^{3-}) como de los minerales neoformados arsenatos y sulfoarsenatos (As^{+5}), hasta llegar a la mena oxidada donde aún permanece como parte no solo de oxihidróxidos de Fe sino también como minerales propios de la familia alunita-jarosita donde permanece conjuntamente con el Pb.

A diferencia de la mina Canoas, donde ocurrió la oxidación total de los neominerales jarosita y plumbojarosita, apareciendo finalmente el Pb solamente en la goethita, en Piririca tanto el As como el Pb y el Fe permanecen en la mena oxidada en forma de arsenatos, indicando que necesitarán de más tiempo y de mayor percolación de aguas meteóricas para que pueda ocurrir la desestabilización total de estos minerales y la consecuente disponibilización de los metales tóxicos As y Pb y su readsorción en los captadores finales, los oxihidróxidos de hierro.

CONCLUSIONES

Las fuentes de As en la región de Piririca son las rocas conteniendo minerales como arsenopirita y tennantita en sus menas primarias así como también escorodita y minerales de la familia alunita -jarosita y del grupo de la beudantita en las menas de transición y oxidada. Los oxihidroxidos de Fe presentes en esta ultima, los cuales están enriquecidos en minerales de As y Pb, la hacen una importante fuente potencial de estos metales para las aguas superficiales y subterráneas de la región. La liberación de estos tendría lugar si fuesen establecidas condiciones reductoras. En las condiciones actuales la oxidación de los sulfuros



constituye el proceso controlador del aporte de estos metales tóxicos al medio acuático de la región.

Los sedimentos de corriente también constituyen una importante fuente potencial de As en la región así como de Pb, Zn y Cu. Bajo las citadas condiciones estos metales, no deben comprometer el medio ambiente de la región. A pesar de esto en caso de futuras actividades de minería en la región se recomienda un monitoreo cuidadoso de los efluentes de las minas que propicie la disposición de los residuos arseníferos en condiciones favorables para la retención de As y Pb en su forma de arsenatos o adsorbidos en oxihidróxidos de hierro. Se debe prevenir también la formación de drenajes ácidos que faciliten la disponibilidad de estos metales al medio acuático de la región.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brasil. 1986. Resolução CONAMA n.20, de 18 de junho de 1986, Brasília, publ. D.O.U de 30/06/86, p. 72-89.
- CETESB. Qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo. Relatórios Cetesb, (volumes editados anualmente entre 1978 e 1995), São Paulo.
- CPRM. 1982. Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais. *Projeto Eldorado. Relatório Integrado Final de Pesquisa*. São Paulo. Superintendência Regional, 1, 220 p.
- Eysink, G.G.J.; et al. 1988. Metais pesados no Vale do Ribeira e em Iguape -Cananéia . *Revista Ambiente.*, 2: 7-13.
- Moraes, R.P. 1997. *Transporte de chumbo e metais associados no rio Ribeira de Iguape, São Paulo*. Inst. de Geociências, Universidade de Campinas, São Paulo, Dissertação de Mestrado, 94 p. *In: Anais do VI Congresso Brasileiro de Geoquímica, Salvador-Bahia, 1997, 1:318-321.*
- Nogueira, S .A. A. 1990. *Estudo das Mineralizações Filonianas Auríferas do Depósito de Piririca, Vale do Ribeira, SP*. Inst. de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 91 p.
- Oliveira, S. M. B. De; Magat, P.; Blot, A. 1993. O gossan de Irecê-Lapão (BA). *Geoch. Brasl.*, 7 (2):131-149.
- Scott, K.M. 1987. Solid solution in, and classificatio of, gossan-derived members of the alunite-jarosite family, northwest Queensland, Australia. *Am. Mineral.*, 72: 178-187.
- Silva, R.H.P. 1997. *Geoquímica e Impacto Ambiental do Arsênio no Vale do Ribeira (SP-PR)*. Inst. de Geociências, Universidade de Campinas, São Paulo, Dissertação de Mestrado, 100 p.
- Silva, R.H.P & Figueiredo, B. 1996. Arsenic pollution in the Ribeira Valley Pb-Zn Province, State of São Paulo, Brazil. International Symposium, 2, Environmental Geochemistry in Tropical Countries, Cartagena, Colombia, CD-Rom *In: Anais do VI Congresso Brasileiro de Geoquímica, Salvador-Bahia, 1997, 1:318-321.*
- Tessler, G. M.; Suguio, K.; Robilotta, P. R. 1987. Teores de alguns elementos traços metálicos em sedimentos pelíticos da superfície de fundo da região Lagunar Cananéia Iguape. *In: Simpósio sobre Ecossistemas da Costa Sul e Sudeste Brasileira. Cananéia, ACIESP, São Paulo, Anais, 2:255-263.*
- Williamns, M. 1997. Mining - related srsenic hazards: Thailand case-study Summary Report. Keyworth, Nottingham, UK. British Geological Survey, 36 p.

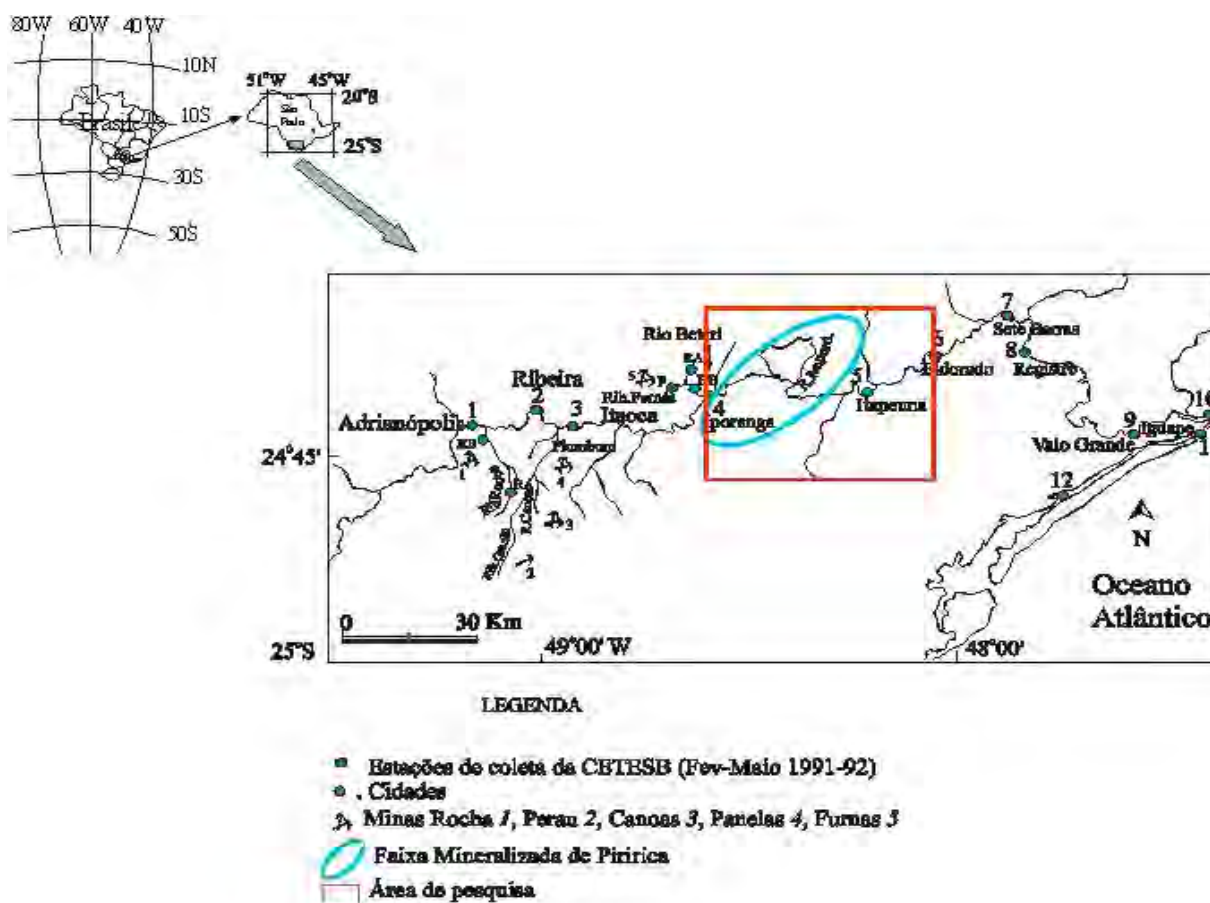


Figura 1.1 Localização da área de pesquisa no Vale do rio Ribeira de Iguape, PR-SP.



Tabla 1. Concentraciones ($\mu\text{g.g}^{-1}$) de As, Cu, Pb y Zn en sedimentos de corriente del área de Piririca vía ICP-OES, As vía (HG-AAS)

Estaciones	HG-AAS As ($\mu\text{g.g}^{-1}$)		ICP-OES ($\mu\text{g.g}^{-1}$)					
			Cu		Pb		Zn	
	Sep/97	Mar/98	Sep/97	Mar/98	Sep/97	Mar/98	Sep/97	Mar/98
2	23,15 \pm 0,53	17,04 \pm 0,75	46	29	333	237	235	124
3	255,02 \pm 8,91	211,45 \pm 4,58	66	73	88	83	111	108
4	390,01 \pm 4,60	295,33 \pm 3,63	128	117	132	126	145	121
5	66,35 \pm 1,45	45,96 \pm 1,43	48	115	32	40	55	106
6	70,94 \pm 1,91	63,68 \pm 0,30	70	63	118	100	161	141
7	73,11 \pm 1,23	78,67 \pm 0,94	98	112	104	111	143	128
8	18,90 \pm 0,58	20,17 \pm 0,21	28	44	40	58	79	109
9	110,06 \pm 0,86	206,94 \pm 5,16	91	85	69	95	126	140
10	223,69 \pm 4,34	80,13 \pm 3,73	81	105	98	68	111	123
12	nd	42,84 \pm 0,53	-	36	-	132	-	118

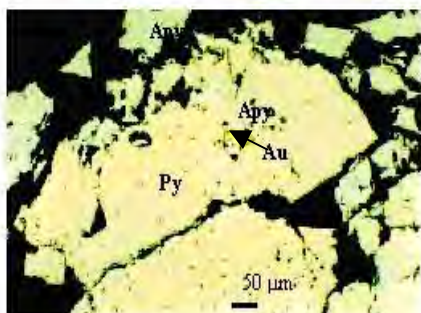


Figura 2. Fotomicrografía (LN) muestra RT/P-M-18 mena primaria de Piririca mostrando grano de pirita euhedral (Py) con inclusión de arsenopirita (Apy) y oro (Au).

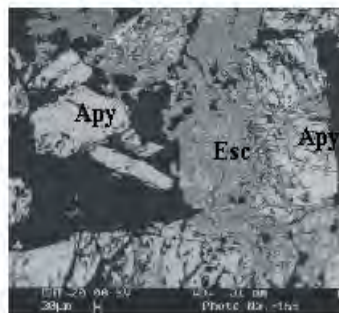


Figura 3. Imagen del MEV, muestra RT/P-M-18, mena de transición mostrando alteración de la arsenopirita (Apy) a escorodita (Esc).

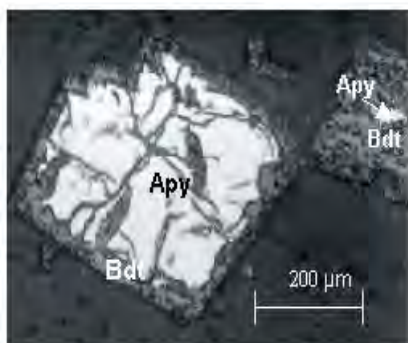


Figura 4. Imagen del MEV, muestra RT-P-M-15, mena de transición, mostrando alteración de arsenopirita (Apy) en sus bordes y fracturas para sulfato de Pb y Fe, posible beudantita (Bdt).

APLICACIÓN DEL CAROTAGE NUCLEAR EN LA PROSPECCION Y EL MINADO EN LA CORTEZA LATERITICA DEL NORTE DE ORIENTE

Ing Marcial Guerra Piñeiro, Dr. Waldo Lavaut Copa

Empresa Geominera de Oriente, Carretera de Siboney Km 2½, Santiago de Cuba. mguerra@geom.stg.minbas.cu

Resumen

El chequeo de la efectividad del carotage en las determinaciones químicas de Fe, Ni, Co, SiO₂, Al₂O₃, MgO, Humedad y Peso Volumétrico en la laterita se realizó por dos vías: a través de los métodos de estadística descriptiva valorando los principales estadígrafos con el paquete computacional **STATISTICA**; y por la vía de la aplicación de las herramientas computacionales usuales para los cálculos de reservas de menas lateríticas con el programa **CORTE** del paquete **SGVISION**, para la obtención del corte de menas por pozo; y del programa **CONTROLE** para el cálculo de los parámetros del error sistemático de las determinaciones analíticas, los cuales han sido fehacientemente comprobados en las aplicaciones de múltiples cálculo de reservas, tanto de mineral laterítico como de otras materias primas metálicas.

Abstract

The checkup of the fitness of carotage in the faith of laboratory determinations of Fe, Ni, Co, SiO₂, Al₂O₃, MgO, humidity and volumetric weight in laterite has been accomplished by two paths:

- a) Through the method of descriptive statistics valuing the main with the computational package **STATISTICA**, and
- b) Via the application of the usual computational tools for the lateritic ore calculations with the **CORTE program** of the **SGVISION package**, for the obtaining of the ore cutting edge in the wells, and of the **CONTROLE program** for the calculus of the parameters of the systematic error of the analytic determinations. These programs have been authentically verified in the applications of multiple ore calculations of lateritic ore deposits and of other ore species in Cuba.

Introducción

En los últimos años se han desarrollado diferentes trabajos en las investigaciones de laterita niquelífera utilizando las técnicas de carotage nuclear, demostrando efectividad en las investigaciones del método, en la solución de numerosos problemas geológicos que enfrentan los geólogos y mineros en la prospección y explotación niquelífera en la región oriental, constituyendo una novedad en el campo de las investigaciones geofísicas de las lateritas.

El presente documento recoge los resultados obtenidos en la primera aplicación de producción del **SISTEMA DE CAROTAGE RADIATIVO PARA LATERITAS**, en vías de desarrollo por la Empresa Geominera de Oriente, en este caso concretamente utilizado para el desarrollo de la red de escombreo de una parte del yacimiento Punta Gorda que será asimilada próximamente por la industria niquelífera "Comandante Ernesto (Che) Guevara".

METOLOGIA DE LA INVESTIGACION

Se utilizó el siguiente complejo de métodos:

- ♦ Método Gamma-Gamma Densidad.
- ♦ Método Neutrón-Neutrón.
- ♦ Método Gamma del Neutrón.
- ♦ Método de Inducción Eléctrica.
- ♦ Método Cavernometría.
- ♦ Método Gamma Natural.

Desarrollo de mediciones patrones en pozos especialmente escogidos, representativos del área a investigar.

Se seleccionaron 19 pozos patrones para la calibración y control de laboratorio de las determinaciones químicas por el sistema de carotage, lo que representa el 10 % de control respecto al total de pozos (186) medidos, lo que está ligeramente por encima de los requerimientos de la norma cubana ramal NR-MG 5-04 para el caso de control analítico de determinaciones químicas con fines de cálculo de reservas.

El chequeo de la efectividad del carotage en las determinaciones químicas de Fe, Ni, Co, SiO₂, Al₂O₃, MgO, Humedad y Peso Volumétrico en la laterita se realizó por dos vías: a través de los métodos de estadística descriptiva valorando los principales estadígrafos con el paquete computacional STATISTICA; y por la vía de la aplicación de las herramientas computacionales usuales para los cálculos de reservas de menas lateríticas con el programa CORTE del paquete SGVISION, para la obtención del corte de menas por pozo; y del programa CONTROLE para el cálculo de los parámetros del error sistemático de las determinaciones analíticas.

Como se puede ver de las tablas de resultados del cálculo de los errores, (ver Tabla Nº I ,II) chequean perfectamente las determinaciones químicas por la vía del carotage en comparación con el laboratorio “Elio Trincado” de la EGMO, en la forma en que esto se hace usualmente para fines de cálculo de reservas geológicas, o sea, tanto para el nivel del error medio absoluto, como relativo, comprobándose, además, que los niveles de error medio absoluto en las determinaciones del Fe, Ni, Co, SiO₂, Al₂O₃, MgO, Humedad y Peso Volumétrico son del mismo orden de los errores comúnmente encontrados en las determinaciones por vías químicas de las muestras de control analítico geológico, realizado durante las exploraciones geológicas de los yacimientos lateríticos, incluso en ocasiones inferiores, así también como coherentes con las establecidas por el Instituto de Proyectos de la UNI en documentos recientes (H. Rodés y otros, 1998-99).

El cálculo de los errores se hizo desglosadamente por las litologías del perfil laterítico, para la mena y en total para todas las muestras(ver Tabla Nº I,II) Se comprobó también, que las diferencias observadas con el laboratorio químico no portan carácter sistemático, por lo que son casuales, ya que la t-Student

empírica (calculada), implícita en los resultados del carotage, en todos los casos es inferior al valor tabulado de la función.

Por consiguiente, los resultados al nivel de perfiles de minería (de menas), así como al nivel de bloques, depósitos y yacimiento son totalmente aceptables en los contenidos promedios de Fe, Ni, Co, SiO₂, Al₂O₃, MgO, Humedad y Peso Volumétrico y potencias de escombros y menas determinados por la vía del carotage. Las diferencias mayores se observaron en algunos promedios de Ni por pozos para la mena, relacionados evidentemente con la diferente cantidad de material laterítico que interviene en la muestra analizada, ya que las determinaciones de laboratorio se realizan en unos 5-10 g de laterita, proveniente de una muestra de surco, mientras que el carotage realiza su determinación en condiciones de pilares in situ, abarcando una masa y volumen de muestra mucho mayor. (ver Tabla N° III)

Esto mismo, condiciona fluctuaciones mayores en muestras aisladas, para el laboratorio con mayor frecuencia que para el carotage, según se puede observar en las graficaciones adjuntas de los valores de Fe, Ni, Co, SiO₂, Al₂O₃, MgO, Humedad y Peso Volumétrico por muestras de 1.0 m de longitud (ver gráficos N° 1, 2, 4). También, se comprobó que las mayores diferencias observadas en las medias de los elementos químicos, Humedad y Peso Volumétrico en algunos pozos se condicionan por valores excepcionales del laboratorio, no usuales para la litología concreta de la muestra y/o para la secuencia de valores de los mismos. No obstante, la secuencia de valores de Fe, Ni, Co, SiO₂, Al₂O₃, MgO, Humedad y Peso Volumétrico reportados por el carotage, en estos casos, son geoquímicamente más aceptables y, en general, se observa una sobrevaloración del contenido en las medias de pozos por parte de las determinaciones del laboratorio en comparación con las determinaciones por la vía del carotage.

Cálculo de los pozos ordinarios de la red de escombros.

La base de datos con amarre espacial planimétrico y de altura-profundidad en el terreno, se regularizó a 10 cm y se calcularon los contenidos de Fe, Ni, Co, SiO₂, Al₂O₃, MgO, Humedad y Peso Volumétrico para cada 10 cm de espaciamiento. Luego, se promediaron los resultados a 1.00 m para conformar los registros de pozos a someter al cálculo de reservas para la delimitación de la potencia de escombros y mena. Los pozos se ordenaron en perfiles de Este a Oeste (Ver Gráfico N° 12).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Conclusiones

En base a la revisión e interpretación de los resultados obtenidos en el presente trabajo, se concluye:

1. Las determinaciones de potencias del escombros con fines del desarrollo minero de lateritas tienen la suficiente precisión para la aplicación del carotage como método de apoyo durante el desarrollo de la red de escombros.

2. Los resultados del cálculo de reservas de menas lateríticas al nivel de perfil, bloque, depósito y yacimiento son tan válidos como los realizados por análisis químicos, incluyendo determinaciones de laboratorio con técnicas modernas como ICP.
3. Las diferencias observadas al nivel del promedio de muestras de 1.00 m de longitud, incluso en muestras estadísticas de pequeño tamaño y mediano tamaño, están totalmente dentro de las tolerancias de los análisis químicos de III categoría, cumpliendo las exigencias para el cálculo de las reservas.
4. Las diferencias observadas en las medias de pozos se deben evidentemente a las diferencias entre ambos métodos de muestreo fundamentalmente, lo que puede descartarse con el empleo de determinaciones globales de los contenidos.
5. El complejo de métodos geofísico de pozo (Carotage): Gamma-Gamma densidad, Neutrón-Neutrón, Gamma-Neutrón, Cavernometría, Inducción y Gamma Natural, utilizados de forma multivariada resuelve las tareas geológicas en la determinación de los contenidos de los elementos químicos Fe, Ni, Co, SiO₂, Al₂O₃, MgO y los parámetros físicos Humedad y Peso Volumétrico con una tolerancia de los análisis químicos de III categoría.

Recomendaciones.

1. EL **SISTEMA DE CAROTAGE PARA LATERITAS**, incluyendo nuevos métodos de carotage nuclear como: Fluorescencia de Rayos X, Gamma Espectral por activación neutrónica por su alta resolución y la Susceptibilidad magnética ,deben ser utilizado en la determinación de los contenidos de los elementos químicos y los parámetros físicos.

Tabla I. RESULTADOS DEL CALCULO DEL ERROR MEDIO EN LA DETERMINACION DE LOS CONTENIDOS DE LOS ELEMENTOS QUIMICOS POR CAROTAGE Y LABORATORIO EN MUESTRAS DE 1m DE POZOS PATRONES EN EL YACIMIENTO PUNTA GORDA

LITOLOGIA (O.I.C.P)														
YACIMIENTO	ELEM.	D	H	PB	PC	EA	ER	S	TCAL	TCRIT	K	CMTRA	CMTRAT	PAC
PUNTA GORDA	FE	0	100	46.84	47.22	-0.371	-0.792	3.224	0.671	2.037	1.008	34		
	Total												34	56.7
PUNTA GORDA	NI	0	10	0.640	0.660	-0.020	-3.109	0.095	1.219	2.037	1.031	34		
	Total												34	56.7
PUNTA GORDA	CO	0	10	0.036	0.036	0.000	0.164	0.019	0.018	2.037	0.998	34		
	Total												34	56.7
PUNTA GORDA	SIO2	0	2	1.491	1.496	-0.006	-0.390	0.042	0.652	2.080	1.004	22		
	Total												22	73.3
PUNTA GORDA	AL2O3	0	100	12.010	12.105	-0.095	-0.790	1.536	0.289	2.080	1.008	22		
	Total												22	73.3
PUNTA GORDA	MGO	0	0.499	0.309	0.309	0.000	-0.032	0.017	0.026	2.093	1.000	20		
	Total												22	73.3
LITOLOGIA (O.I)														
YACIMIENTO	ELEM.	D	H	PB	PC	EA	ER	S	TCAL	TCRIT	K	CMTRA	CMTRAT	PAC
PUNTA GORDA	FE	0	100	49.72	49.49	0.225	0.452	2.199	0.646	2.024	0.995	40		
	Total												41	66.7
PUNTA GORDA	NI	0	10	0.975	0.977	-0.002	-0.205	0.224	0.057	2.021	1.002	41		
	Total												41	68.3
PUNTA GORDA	CO	0	10	0.070	0.074	-0.004	-4.998	0.043	0.527	2.021	1.050	41		
	Total												41	68.3
PUNTA GORDA	SIO2	0	2.0	1.782	1.869	-0.087	-4.865	0.350	1.108	2.093	1.049	20		
	Total												26	86.7
PUNTA GORDA	AL2O3	0	100	8.751	8.752	-0.001	-0.010	2.407	0.002	2.059	1.000	26		
	Total												26	86.7
PUNTA GORDA	MGO	0	1.0	0.699	0.698	0.000	0.011	0.231	0.002	2.059	1.000	26		
	Total												26	86.7
LITOLOGIA (O.E.F)														
YACIMIENTO	ELEM.	D	H	PB	PC	EA	ER	S	TCAL	TCRIT	K	CMTRA	CMTRAT	PAC
PUNTA GORDA	FE	0	100	46.51	46.53	-0.014	-0.030	4.177	0.036	1.984	1.000	115		
	Total												117	89.2
PUNTA GORDA	NI	0	10	1.354	1.376	-0.022	-1.597	0.266	0.874	1.984	1.016	115		
	Total												117	89.2
PUNTA GORDA	CO	0	10	0.156	0.161	-0.006	-3.688	0.071	0.879	1.984	1.037	117		
	Total												117	90.0
PUNTA GORDA	SIO2	0	5.0	2.140	2.183	-0.043	-1.991	0.784	0.317	2.037	1.020	34		
	Total												35	85.0
PUNTA GORDA	AL2O3	0	100.0	8.044	8.041	0.002	0.029	0.311	0.045	2.032	1.000	35		
	Total												35	87.5
PUNTA GORDA	MGO	0	1.0	0.642	0.620	0.022	3.431	0.108	1.194	2.037	0.966	34		
	Total												35	85.0

Tabla II .CALCULO DEL ERROR EN LA DETERMINACION DE LA HUMEDAD Y EL PESO VOLUMETRICO SECO EN LA MUESTRA DE APRENDIZAJE CON LOS DATOS DE CAROTAGE Y LABORATORIO EN LA RED DE ESCOMBRO BLOQUE M47 Y M48

LITOLLOGLIA O.I.C.P. Y O.I CON LOS DATOS DE CAROTAGE Y MONOLITO

YACIMIENTO	ELEM.	D	H	PB	PC	EA	ER	S	TCAL	TCRIT	K	CMTRA	CMTRAT	PAC
PTA GORDA	HUMC	0	10	24.73	24.52	0.2	1	3.130	0.4	2.1	0.992	28		
													28	93.333
PTA GORDA	PVSC	0	10	1.55	1.64	-0.1	-6	0.212	2.3	2.1	1.061	28		
													28	93.333

LITOLOGIA O.E.F CON LOS DATOS DE CAROTAGE Y MONOLITO

YACIMIENTO	ELEM.	D	H	PB	PC	EA	ER	S	TCAL	TCRIT	K	CMTRA	CMTRAT	PAC
PTA GORDA	HUMC	0	10	36.74	37.01	-0.3	-1	6.106	0.2	2.0	1.007	30		
													30	75
PTA GORDA	PVSC	0	10	1.07	1.14	-0.1	-6	0.186	1.9	2.0	1.060	30		
													30	75

CALCULO DEL ERROR EN LA DETERMINACION DEL PESO VOLUMETRICO SECO CON LOS DATOS DE CAROTAGE Y POZO CRIOLLO ESTIMADO EN LOS POZOS PATRONES DE LOS BLOQUES M47 Y M48 DEL YAC. PUNTA GORDA ESCOMBRO

YACIMIENTO	ELEM.	D	H	PB	PC	EA	ER	S	TCAL	TCRIT	K	CMTRA	RECHA	PAC
PTA GORDA	PVSC	0	10	1.4970	1.421	0.1	5.087	0.258	2.0	2.0	0.949	53		
	Total												0.000	88.333

MENA LB

YACIMIENTO	ELEM.	D	H	PB	PC	EA	ER	S	TCAL	TCRIT	K	CMTRA	RECHA	PAC
PTA GORDA	PVSC	0	10	1.0970	1.085	0.0	1.076	0.247	0.6	2.0	0.989	136		
	Total												2.158	97.143

Tabla III RESULTADOS ESTADISTICOS POR LITOLOGIA DE LOS RESULTADOS DEL CAROTAGE Y LABORATORIO EN LOS BLOQUES M-47 Y 48 DE LA RED DE ESCOMBRO DEL YACIMIENTO PUNTA GORDA

**RESULTADOS CONTROLADOS CON
APRENDIZAJE
LITOLOGIA O.I.C.P**

	N	Mean	Min.	Max.	Std.Dev.
LITOLOGIA	34	1.000	1.000	1.000	0.000
FEC	34	46.844	40.820	50.690	1.913
FE	34	47.215	39.900	51.700	3.037
NIC	34	0.641	0.255	1.056	0.177
NI	34	0.660	0.230	1.150	0.203
COC	34	0.036	0.025	0.111	0.021
CO	34	0.035	0.008	0.137	0.027
SIO2C *	34	1.540	1.069	1.966	0.199
AL2O3C *	34	7.373	2.036	14.319	3.610
MGOC *	34	0.222	0.006	0.496	0.122
HUMC *	34	22.458	12.566	30.474	4.816
PVSC *	34	1.642	1.288	1.787	0.127
PVNIG	34	1.450	1.090	1.660	0.217
GD1	34	5462	3511	10916	1863
GD2	34	5924	5169	8085	635
GD	34	1.940	1.620	2.239	0.138
GNEUT	34	4062	1307	8188	2027
NN1	34	30081	21728	48525	7789
IND	34	405	148	709	131
CAV	34	4358	1732	7168	1437
GNAT	34	1027	285	2597	621

* Parámetro con una muestra de aprendizaje de menor tamaño.

LITOLOGIA O.I

	N	Mean	Min.	Max.	Std.Dev.
LITOLOGIA	41	2.000	2.000	2.000	0.000
FEC	41	49.738	47.690	53.140	1.273
FE	41	48.700	17.000	54.100	5.662
NIC	41	0.976	0.797	1.196	0.113
NI	41	0.977	0.530	1.500	0.240
COC	41	0.070	0.020	0.114	0.023
CO	41	0.072	0.009	0.212	0.046
SIO2C	41	2.090	1.678	2.436	0.243
AL2O3C	41	8.796	5.829	11.198	1.241
MGOC	41	0.701	0.559	0.876	0.064
HUMC	41	28.655	20.788	37.565	4.393
PVSC	41	1.347	0.781	1.755	0.226
PVNIG	41	1.187	0.910	1.660	0.178
GD1	41	5316	3458	8566	1431
GD2	41	6145	5249	8194	651
GD	41	1.938	1.574	2.278	0.160
GNEUT	41	2881	1077	7128	1940
NN1	41	30714	22081	53721	9571
IND	41	456	114	1105	237
CAV	41	4156	2993	6281	1228
GNAT	41	444	50	1186	271

**RESULTADOS ESTADISTICOS DE LA APLICACION
PRACTICA
PRACTICA EN EL YACIMIENTO PUNTA GORDA
LITOLOGIA O.I.C.P**

	N	Mean	Min.	Max.	Std.Dev.
LITOLOGIA	237	1.000	1.000	1.000	0.000
FEC	237	47.852	39.940	56.550	1.764
NIC	237	0.695	0.351	5.357	0.349
COC	237	0.033	0.024	0.127	0.016
SIO2C	237	1.531	0.966	3.799	0.221
AL2O3C	237	8.108	1.529	19.037	2.754
MGOC	237	0.198	0.100	0.501	0.078
HUMC	237	25.964	9.989	41.497	2.438
PVSC	237	1.644	1.057	1.968	0.156
PVNIC	237	1.440	1.090	1.660	0.224
GD1	237	4373	1846	10479	1292
GD2	237	5704	3150	7298	498
GD	237	2.061	1.026	2.463	0.177
GNEUT	237	2457	1082	8518	1042
NN1	237	23073	5181	50184	5063
IND	237	331	32	2972	218
CAV	237	3497	1336	7639	756
GNAT	237	857	110	2569	504

LITOLOGIA O.I

	N	Mean	Min.	Max.	Std.Dev.
LITOLOGIA	474	2.000	2.000	2.000	0.000
FEC	474	49.532	41.760	56.260	1.419
NIC	474	0.987	0.414	1.703	0.214
COC	474	0.071	0.019	0.213	0.026
SIO2C	474	2.247	1.550	2.746	0.159
AL2O3C	474	8.023	1.840	20.678	1.796
MGOC	474	0.694	0.511	0.964	0.072
HUMC	474	30.454	15.208	42.809	2.542
PVSC	474	1.393	1.012	1.791	0.182
PVNIC	474	1.192	1.090	1.660	0.163
GD1	474	5079	1695	12131	1292
GD2	474	5998	2955	7883	618
GD	474	1.984	1.021	2.418	0.169
GNEUT	474	1732	399	6538	721
NN1	474	24326	911	46703	4452
IND	474	389	41	3088	292
CAV	474	3395	1394	8000	765
GNAT	474	390	85	1651	244

LITOLOGIA O.E.F

	N	Mean	Min.	Max.	Std.Dev.
LITOLOGIA	115	3.000	3.000	3.000	0.000
FEC	115	46.466	41.360	49.280	1.264
FE	115	46.290	24.100	51.800	4.704
NIC	115	1.352	0.886	1.789	0.209
NI	115	1.357	0.630	2.170	0.280
COC	115	0.156	0.127	0.223	0.023
CO	115	0.163	0.043	0.502	0.073
SIO2C	115	1.992	1.367	2.559	0.260
AL2O3C	115	8.569	6.154	12.231	1.191
MGOC	115	0.453	0.157	0.739	0.132
HUMC	115	34.895	24.028	51.153	5.059
PVSC	115	1.132	0.425	1.468	0.193
PVNIG	115	1.094	0.910	1.660	0.071
GD1	115	6332	3765	11470	1470
GD2	115	6458	5400	8950	595
GD	115	1.885	1.516	2.221	0.131
GNEUT	115	2232	369	7567	1563
NN1	115	23426	495	63879	12168
IND	115	332	19	1020	156
CAV	115	4273	302	7312	1408
GNAT	115	293	23	829	207

LITOLOGIA O.E.F

	N	Mean	Min.	Maxm	Std.Dev.
LITOLOGIA	950	3.000	3.000	3.000	0.000
FEC	950	46.016	21.270	52.000	3.066
NIC	950	1.325	0.647	1.773	0.228
COC	950	0.156	0.127	0.243	0.024
SIO2C	950	1.971	1.251	2.896	0.206
AL2O3C	950	8.428	5.199	12.127	1.009
MGOC	950	0.375	0.126	0.868	0.098
HUMC	950	32.108	17.287	51.997	4.434
PVSC	950	1.236	0.267	1.664	0.156
PVNIG	950	1.094	0.910	1.660	0.051
GD1	950	5871	2787	12823	1424
GD2	950	6262	3262	8066	638
GD	950	1.919	1.452	2.376	0.152
GNEUT	950	1477	37	7472	652
NN1	950	23027	31	53471	7022
IND	950	330	44	741	126
CAV	950	3381	1375	8000.000	687
GNAT	950	315	22	1635	183

Gráfico N° 1

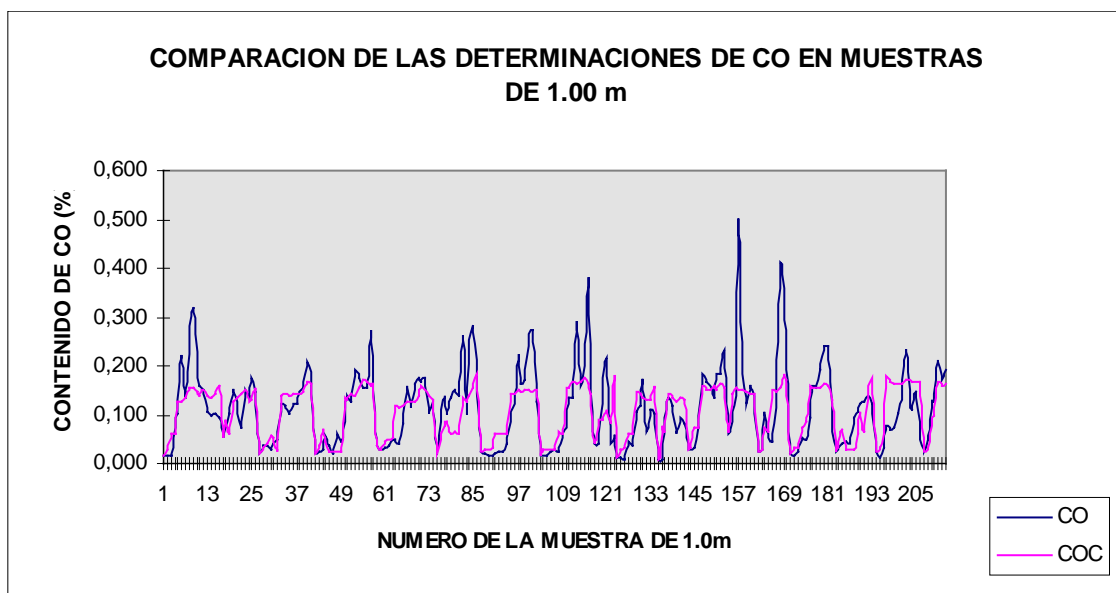


Gráfico N° 2

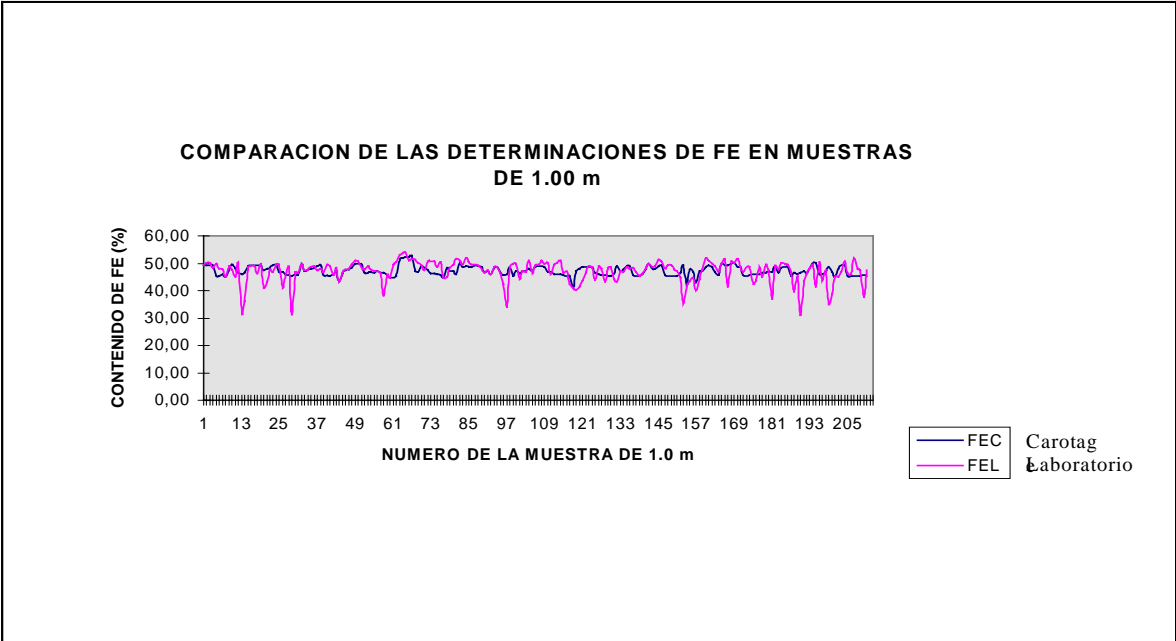


Gráfico N° 4

