



**CRITERIOS DE EXPLORACIÓN DE  
DEPÓSITOS MINERALES TIPO IOCG  
YACIMIENTO DE REFERENCIA:  
SALOBO CARAJAS BRASIL**

EXPLORATION CRITERIA OF IOCG MINERAL DEPOSIT  
TYPES. DEPOSIT OF REFERENCE: SALOBO CARAJAS  
BRAZIL

**FECHA DE RECIBIDO: 8 DE OCTUBRE DE 2014**  
**FECHA DE APROBADO: 16 DE OCTUBRE DE 2014**

**AMAT DAVID ZULUAGA GUERRA**

Director del Proyecto

**JUAN RAFAEL ALCO CER ROCIO**

Estudiante Investigador de la carrera de Ingeniería

**MARLI OBIS HAIDID SARAVIA MILLAN**

Estudiante Investigador de la carrera de Ingeniería

## RESUMEN

La mineralización del depósito de Salobo es de tipo IOCG (Iron Oxide Copper Gold), está alojado en sobre sulfuros de cobre asociado a esquistos magnéticos y se compone de disseminaciones de bornita-calcosina y calcopirita bornita- en zonas ricas de magnetita. El esquisto de biotita (BDX) es la roca huésped mineralizada predominante, siendo la mineralización en el esquisto anfíbolítico (XMT) subordinada. La mineralización se produce en las sombras de presión de los minerales, llena micro fracturas de olivino, magnetita, y granate o los encierra, llena fracturas en las formaciones de hierro, cuarcitas y esquistos, y existe como inclusiones también. Los procesos tectonometamórficos fueron responsables de la redistribución de cobre en estructuras frágiles. El contenido de cobre y hierro es  $>0,8\%$  en magnetita esquisto (XMT), mientras que en gneises y esquistos (BDX y DGRX) es  $<0,8\%$ . Existe una correlación positiva entre el cobre y el contenido de uranio en el depósito.

El cobre es ampliamente difundido, con grados más altos a lo largo del núcleo del eje, asociados con el reemplazo masivo de magnetita de un esquisto de granate-anfíbolita-biotita. El oro se produce en partículas finas estrechamente asociados con la mineralización de sulfuro. El oro se distribuye de una manera más desigual que el cobre.

## ABSTRACT

The Salobo deposit is IOCG type (Iron Oxide Copper Gold), it is hosted over copper sulphide associated to magnetite schist and is composed by disseminated Bornite-Chalcocite and Chalcopyrite-bornite in zones enriched in magnetite. The biotite schist (BDX) is the main mineralized host rock, being subordinated the mineralization in amphibolitic schist (XMT). The mineralization is produced in the pressure shadow of the minerals, filling micro fractures of olivine, magnetite, and garnet. Furthermore, it fills fractures in iron, quartzites and schist formations and also those exist as inclusion. The tectonometamorphic processes were responsible of redistribution of the copper in more fragile structures. The concentration of copper and Iron in magnetite schist (XMT) is  $>8\%$ , while in gneisses and biotite schist (DGRX y BDX) is  $<8\%$ . Also, there is a positive correlation among copper and uranium content in the deposit.

Copper is widely diffused with higher grades along the core of the axis, associated to the massive replacement of magnetite of the garnet-amphibolite-biotite schist. Gold is produced in fine particles narrowly associated with the mineralization of sulphides. Gold is distributed in a more unequal way than copper.

## INTRODUCCIÓN

Los depósitos de oro y cobre Salobo se encuentran dentro del cinturón de Carajás del cratón amazónico con depósitos de hierro, cobre, manganeso, oro, níquel, estaño y bauxita. El Cu (-Au) depósito de óxido de hierro Salobo está situado en la parte norte de la provincia mineral de Carajás. Es el más grande depósito de cobre de Brasil. La mineralización de Salobo es de tipo IOCG (iron oxide coppergold),

El yacimiento Salobo presenta un ambiente tectónico por cizalla, fluidos hidrotermales potásico y está compuesto por sulfuros volcanogénicos, tipo (IOCG). En Colombia existe gran diversidad de ambientes geológicos en los cuales haremos una analogía con el depósito de Salobo y buscaremos criterios de exploración válidos para aplicarlos a la geología Colombia, para encontrar zonas con características geológicas similares que nos puedan indicar posibles ambientes de formación de este tipo de depósitos en el país.

## METODOLOGÍA

Este trabajo investigativo fue realizado en base a recopilación bibliográfica de la información relacionada con el depósito mineral de referencia "Salobo", para su posterior síntesis, análisis e interpretación. A través de la caracterización de los rasgos generales del depósito tipo IOCG se lograron obtener y analizar datos relevantes como la geología, ambientes tectónicos, aspectos mineralógicos, tipo de magmatismo y características geoquímicas de la roca hospedadora, lo cual nos ayudó a definir criterios de

exploración válidos como el ambiente tectónico en el cual se formó el yacimiento, la geología estructural regional y local, las litologías presentes en el yacimiento y las mineralizaciones asociadas que nos permitieron determinar zonas que posean un ambiente tectónico, litológico, geoquímico y geofísico similar o equivalente en Colombia para así determinar áreas con potencial para la formación de este tipo de yacimiento.

## LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL YACIMIENTO DE REF.

La mina Salobo se basa en un yacimiento de cobre y oro ubicado a unos 80 km al noroeste de Carajás, situada a lo largo del borde sur de la cuenca del Amazonas, en el norte central de Brasil, en la parte sureste del estado de Pará. Se encuentra ubicado en el micro-región Parauapebas en el municipio de Marabá.

El depósito Salobo encuentra dentro de la provincia mineral de Carajás, que es la sede de las principales minas de mineral de hierro en Brasil, y depósitos significativos de manganeso, oro, sulfuro de cobre y níquel.

El área de Carajás tiene una excelente infraestructura. La energía hidráulica-eléctrica es suministrada por generadores en la represa de Tucuruí. La mina Salobo está conectado a través de una red de caminos de todo tiempo a las ciudades de Parauapebas (80 km), Marabá (240 km) y el aeropuerto comercial en Carajás (70 km), desde donde servicios regulares volar a la ciudad de Belém (la capital del estado de Pará) y varias otras ciudades brasileñas. La zona está bien comunicada por los

ferrocarriles que unen Carajás con la ciudad portuaria de São Luis. Hay abundantes recursos hídricos, los asentamientos bien desarrollados y las instituciones sociales.

**FIGURA 1.1**

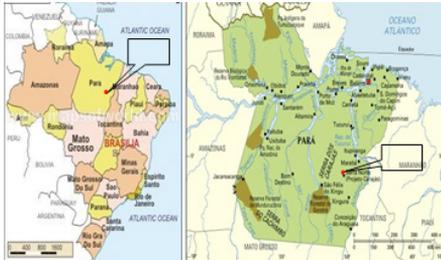


FIGURA 1.1. Jason Ché Osmond, C.Geol., FGS, EurGeol. Barnard Foo, P. Eng. James Turner y Christopher Jacobs, CEng, MIMMM. Informe técnico sobre las reservas minerales y recursos minerales de la mina de salobo carajas de cobre y oro, estado de para Brasil.

**GEOLOGÍA**

La región de Carajás se encuentra en la margen sureste del craton amazonico Arcaico, limitándose en la parte este con el cinturón plegado Neo proterozoicoAraguaia y en el Oeste de la superposición de secuencias Proterozoico. Al norte, se encuentra rodeado de Proterozoico y rocas sedimentarias del Cenozoico de la cuenca del Amazonas y en el sur se encuentra en contacto con el terreno-granitoide piedra verde Río María.

**FIGURA 1.2**

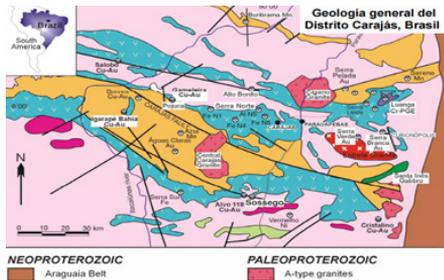


FIGURA 1.2. Nota sobre yacimiento de tipo óxido de Hierro Cobre y Oro y su prospectiva en Colombia. { Geología general del distrito de carajas, Brasil}.

El depósito Salobo se encuentra dentro del sistema de desgarre Cinzento, que es posterior a la formación de la zona de cizalla Itacaiúnas, y se desarrolló bajo dúctil- frágil a las condiciones frágiles. La evolución tectónica de la zona Salobo incluye una deformación transpresivasinEstral dúctil, desarrollado bajo altas condiciones de facies anfibolita, seguido por la deformación de cizalla sinEstraltransteNsivA dúctil-frágil (Figura 1.4). La deformación dúctil a lo largo de la zona de cizalla Itacaiúnas, que ha afectado a las rocas del basamento y las rocas del Grupo Salobo, probablemente se produjo entre 2850 y 2760 Ma. Produjo generalizada, subvertical, con esquistosidad noroeste-sureste, que afecta a todas las litologías en el depósito, a excepción del joven Salobo Granito y los diques de diabasa.

La deformación transtensiva a lo largo del sistema de fallas de desgarre Cinzento reactivado viejas estructuras. Esto forma una zona de cizalla dúctil frágil subparelela en la parte norte del depósito en alrededor 2,550Ma y la zona de cizalla frágil en el sur (2.497 ± 5 Ma).

**FIGURA 1.3**

**Evolutionary Concept**

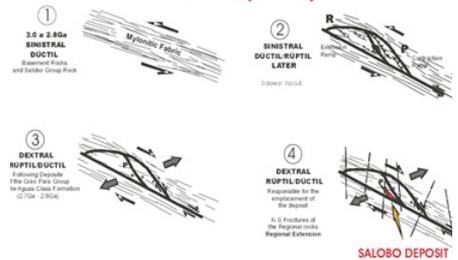


FIGURA 1.3: Informe técnico sobre las reservas minerales y recursos minerales de la mina de salobo carajas de cobre y oro, estado de para Brasil. {ASPECTOS ECONÓMICOS Y MINERO-METALÚRGICOS}.

La mina Salobo se basa en un yacimiento de cobre y oro ubicado a unos 80 km al noroeste de Carajás, situado a lo largo del borde sur de la cuenca del Amazonas, en el norte central de Brasil. Las coordenadas geográficas de la propiedad son  $5^{\circ} 47'25''$  de latitud S y  $50^{\circ} 32'5''$  W de longitud. (Figura 1.5). El clima tropical, típico de la región amazónica, es húmedo y caliente con una temperatura que oscila entre  $17^{\circ} \text{C}$  a  $32^{\circ} \text{C}$ , y un promedio de  $27^{\circ} \text{C}$ .

La minería de Salobo está bien comunicada por vías férreas y carreteras que conectan el puerto marítimo y otras ciudades. El servicio aéreo está disponible en el aeropuerto de Carajás, que es de aproximadamente 70 km al sureste de Salobo y es capaz de recibir aviones comerciales.

**FIGURA 1.4**



FIGURA 1.4. Jason Ché Osmond, C.Geol., FGS, EurGeol. Barnard Foo, P. Eng. James Turner, CEng, MIMMM. Christopher Jacobs, CEng, MIMMM. Informe técnico sobre las reservas minerales y recursos minerales de la mina de Salobo Carajás de cobre y oro, estado de para Brasil. {ASPECTOS ECONÓMICOS Y MINERO-METALÚRGICOS}.

La Provincia de Carajás es una importante cuenca Arcaico, deformado en una forma sigmoide, con tendencia al oeste-noroeste - este-sureste. La forma sigmoide de Carajás se define además por varios de los principales oeste-noroeste - lineamientos al este-sureste,

como las zonas de fallas sinestral Carajás y Cigano.

La secuencia volcano-sedimentaria Carajás Arcaico, se compone principalmente de volcánica bimodal, sedimentos químicos, incluyendo las gigantescas formaciones con bandas de hierro (BIF) que albergan los depósitos de hierro más grandes del mundo, piro clástico y sedimentos clásticos. Varias unidades intrusivas Arcaico, la placa suite calco alcalino, y los granitos alcalinos de Salobo y Estrella, se sabe que tienen una fuerte correlación con la mineralización de cobre y oro en Carajás. Hay muchas generaciones de cuerpos máficos incluyendo algunos que son diques post-minerales. Una suite Proterozoico de granitos alcalinos, el granito central de Carajás, granitos Cigano y Pojuca, también interfiere la secuencia de Carajás. Varias generaciones de diques máficos más jóvenes cortan a toda la secuencia.

Los depósitos de oro y cobre Salobo y Sossego se encuentran dentro del cinturón de Carajás del cratón amazónico. Rocas Sótano comprenden gneises y migmatitas del Complejo Xingú y orthogranulites del Complejo Pium que se metamorfoseó en alrededor de 2,8 Ga. En el cinturón de Carajás, el conjunto sótano define un amplio buzamiento, de Este a Oeste tendencia zona de cizalla dúctil (zona de cizalla Itacaiúnas), que experimentó varios episodios de reactivación durante el aqueo y Paleo proterozoica. Discordancia que recubre el sótano es una secuencia de rocas volcano-sedimentarias de edad Arcaica (2,75 Ga), el Itacaiúnas supergrupo. La

unidad basal es el Grupo Grão Pará que incluye esquisto verde-facies metamorfoseadas rocas meta volcánica y BIF. Arenisca y limolita depositado en una marina poco profunda con el medio ambiente fluvial (Aguas Claras Formación), fechado en 2.645 a 2.681 Ga, recubren las rocas volcánicas del Grupo Grão Pará. La secuencia volcano-sedimentario ha sido invadida por rocas graníticas de diversas edades. Intrusiones Paleo proterozoica (ca. 1,88 Ga) incluyen varios plutones graníticos anorogénica, como los granitoides Carajás Central y Cigano. Intrusiones aqeos incluyen granitoides y dioritas de la placa Suite (ca. 2,74 Ga), granitoides alcalinas más jóvenes (ca. 2,57 Ga), como el Complejo Estrella, el Antiguo Salobo Granito (2.573 ± 0.002 Ga) y el Itacaíúnas granito.

## LITOLOGÍAS

La mineralización Salobo se encuentra alojado en esquistos de biotita-magnetita (BDX) y de magnetita anfíbolita a lo largo de la tendencia de una secuencia de buzamiento de las rocas metamórficas. Intrusivos graníticos (granitoides, GR), que ocurren junto a la parte norte de la secuencia de rocas y una serie de diques de diorita mucho más jóvenes (diabasa, DB) cortan a la formación de zonas áridas mineralización. La mineralización de cobre se produce como calcosina y bornita, con cantidades subordinadas de calcopirita, junto con proporciones variables de molibdenita, cobaltita, covelita, oro y plata, contenidas en esquistos con proporciones variables de magnetita, anfíbol, olivino, granate, biotita, cuarzo y plagioclasas.

La deformación de cizalla dúctil frágil zonal ha dado lugar a brotes de mineral en forma lenticular que muestran característicamente estrecha relación entre la mineralización de cobre y el contenido de magnetita.

Intemperie cerca de la superficie de la roca madre en la zona de depósito arcilloso ha producido una capa superficial saprolita húmedo. La mineralización de sulfuro a 20 m y 25 m, parte superior de la saprolita se ha oxidado, mientras que la inferior 5 m a 10 m de la saprolita contiene sulfuro de saprolita es una unidad de transición para que la lixiviación también haya reducido el contenido de cobre y oro.

La secuencia volcano-sedimentaria Carajás ha sido nombrado localmente súper grupo Itacaíúnas, que se ha dividido provisionalmente desde la parte superior hasta el fondo en:

Igarapé Bahia Grupo - Está compuesto por volcánica máficas: lavas, tobas y brechas, meta-sedimentos y BIF, con depósitos de Cu, Cu-Fe, Cu-Au-Mo-Ag incluyendo el Igarapé Bahia (18 Mt a 4,0 g / t de oro en el Perfil de la intemperie) y los depósitos Alemão / Bahia (120 Mt en el 1,1% de Cu y 1,5 g / t de oro). El depósito de óxido de oro de Serra Pelada es recibido por una secuencia clástica meta sedimentaria supra yacente.

Grão Pará Grupo - Consiste en la basal Parauapebas Formación compuesta por rocas volcánicas bimodales con diversos grados de alteración hidrotermal, metamorfismo y deformación. El Parauapebas está cubierta por la Formación Carajás, que alberga los depósitos de Fe gigantes (18 Bt en un 15% Fe).

Igarapé Pojuca Group - comprende básica para volcánicas intermedias (frecuentemente con alteración-cordierita antofilita), anfibolitas, gneises y sedimentos químicos (cherts), BIF de facies y esquistos de varias composiciones de óxido de silicato. La unidad BIF alberga el depósito Pojuca Cu-Zn.

El Salobo Grupo Igarapé - Se compone de sedimentos ricos en Fe asociados con cuarcitas y gneis, facies anfibolita de metamorfismo, que incluye el depósito Salobo Cu-Au, ver Figura 1.6. Carajás comprende un terreno gnéisico con restos de cinturones de piedra verde Arcaico. El cobre y el oro de mineralización dentro de la provincia se asocia con intrusivos félsicos Arcaico (placa y Estrela Granitos). Proterozoico anorogénica intrusivos félsicos (diques) y diques máficos Mesozoico cortan a la secuencia de Carajás y el terreno gnéisica.

**FIGURA 1.5 MAPA GEOLÓGICO SIMPLIFICADO DE LA FAJA ITACAIUNA.**

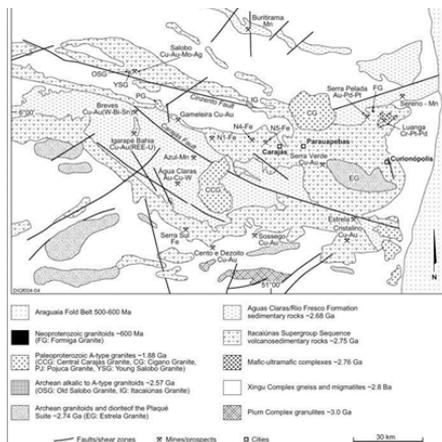


Figura 1.5: Informe técnico sobre las reservas y recursos minerales de la mina de salobo carajas de cobre y oro, estado de para Brasil. { Después Docegea, 1988, Araújo&Maia, 1991 y Barros y Barbey, 1998}.

**ESQUISTO MAGNETITA (XMT)**

XMT está representado por masivas, foliadas y bandas rocas, con magnetita predominante, fayalita, grunerita, almandino y biotita secundaria. Texturas granoblásticas con contactos poligonales en magnetita y fayalita son comunes. La presencia de fayalita se caracteriza por la sustitución de grunerita y greenalite y transformación en magnetita y otros sulfuros. Alteración potásica-hierro es común, la creación de esquistosidad en unidades de biotita.

La parte sureste de la hastingsite anfitriones de depósito, reemplazado en parte por minerales actinolita, grunerita y sulfuro. Fluorita, apatita, grafito y uranio óxidos están asociados con este conjunto, minerales Fe-silicato y productos de alteración de fayalita.

**FIGURA 1.6 PLAN DE GEOLOGÍA Y CORTE TRANSVERSAL SIMPLIFICADO DEL DEPÓSITO SALOBO.**

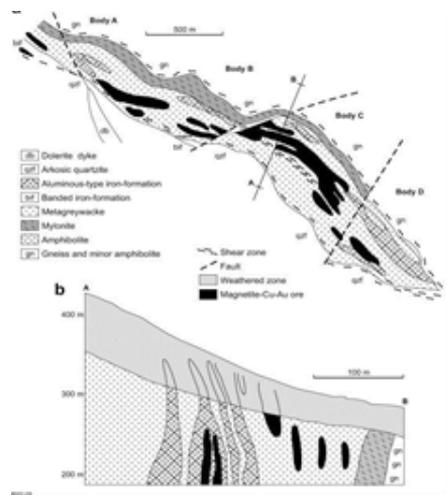


Figura 1.6: Informe técnico sobre las reservas minerales y recursos minerales de la mina de salobo carajas de cobre y oro, estado de para Brasil. { Plan de Geología y Corte transversal simplificado del Depósito Salobo. }

**Granate-Grunerita Esquisto (DGRX)**

Estas son rocas masivas con el desarrollo local de esquistosidad. Las rocas con almandino significativa y contenido grunerita tienen textura isotrópica o muy pocas estructuras esquistosidad, con la textura nematoblastica y granoblástica. La composición mineralógica principal consta de almandino y cummingtonite-grunerita, con magnetita, hematita, ilmenita, biotita, cuarzo, clorita, turmalina y allanita subordinado. Fluorita y uraninita generalmente ocurren en vetillas relacionadas con pylonmelana, calcita y grunerita.

**Esquisto Biotita (BDX)**

Esta unidad es la litología más común en Salobo y consta de medio a grueso de grano de material con foliación anastomosado. El conjunto de mineral se caracteriza por biotita (responsable de la foliación observada en las rocas), granate, cuarzo, magnetita y clorita. La asociación con el granate, magnetita, grunerita y biotita se sustituye parcialmente por una segunda generación de biotita y magnetita con clorita, feldespato potásico, cuarzo, hematita y sulfuros. Turmalina, apatita, Allanita, grafito y fluorita generalmente ocurren a lo largo de esta unidad.

**Feldespato-Clorito milonita (ML)**

La milonita feldespato-clorito de cuarzo se caracteriza por foliación milonítica, producido por la orientación de las llantas de biotita cloritizadas deformadas, hastingsita, cuarzo y plagioclasas alargadas sericitizadas (feldespato potásico, epidota y alteración moscovita

sustituye parcial o totalmente por clorita y epidota. Allanita y apatita generalmente ocurren en toda esta litología.

**Metavolcánicas Básica (MTB)**

Este grupo de enormes rocas de grano grueso se caracteriza por Fe-hastingsita y / o hornblenda y plagioclasas con alteración clorito. Se produce de forma irregular en el sistema, pero es concordante con otros tipos en los contactos abruptos, probablemente alteraciones hidrotermales relictas básicas intrusivas dentro del paquete de rocas volcánicas.

**Cuarzo milonitas (QML)**

Milonitas cuarzo son de color gris o de color blanco, pasando por verde a rojo. Cuando presentes, Fe-óxidos son de medianas a grano fino, foliado y compuesto predominantemente de cuarzo, moscovita, sericita, silimanita y clorito. Accesorios, como biotita, feldespato, magnetita, almandino, turmalina, circón y allanita son comunes. Es posible diferenciar: rocas (a) de cuarzo-feldespática rojo formado por K-feldespato y cuarzo y que puede ser un producto de la esquila entre el sótano gnéssica y las rocas supracristales; y (b) esquistos de clorito, compuestos principalmente de clorita y cuarzo, que representan intensa alteración hidrotermal. Esta unidad se encuentra cerca de la frontera sur de los depósitos, cerca de importantes zonas de cizalla frágiles, que pueden ser interpretadas como conductos para fluidos hidrotermales.

**Antiguo Salobo Granito (GR)**

El Antiguo Salobo granito se produce como stockwork de aproximadamente  $2.573 \pm 2$  Ma. Las rocas aparecen sin color rosa a gris, de grano grueso y con milonitización en algunas áreas. La mineralogía principal se compone de feldespato potásico (ortoclasa-microclino), oligoclasa, cuarzo, augita, hornblenda, clorito y, rara vez, magnetita. No hay evidencia de metamorfismo de contacto con las rocas de acogida. Los aspectos miloníticos que aparecen tanto en granito y de acogida rocas es probable que se han formado durante la fase de deformación.

**Joven Salobo Granito (GR)**

El joven Salobo Granito ocurre como pequeñas repisas de noroeste-tendencias, organizado por la secuencia supra cortical y por los gneises de sótano. Corresponde a la intrusión granítica más joven detectado por la perforación en el área Salobo. En algunas partes porfídicos, la matriz es afanítica, que contiene un pórfido de albita rojo (Fe-óxido de micro fracturas) y clorita pseudomorfizada por biotita. Esta asociación mineral se compone de fina de grano medio, granos equigranular, hipidiomorfo de albita / oligoclasa, ortoclasa, cuarzo, clorita, epidota con menor, circón, fluorita, magnetita, calcopirita y pirita. La deformación no fue observada y la estructura es isotrópica. Edad de citas indica una edad de  $1880 \pm 80$  Ma.

**Diabasa (DB)**

Diabasa se encuentra en el sureste de la fianza, golpeando a unos  $N70^\circ E$ ,

mientras que en el noroeste de la llamativa depósito cerca de  $N20^\circ W$ . Los minerales predominantes que conforman el tipo de roca son augita, plagioclasas, magnetita, ilmenita y cuarzo. La diabasa grano fino tiene una edad de  $553 \pm 32$  Ma, mientras que los márgenes más granulares están fechados en  $561 \pm 16$  Ma. Esta unidad representa el último evento magmático de la zona. Los diques se establecen dentro de geometrías laterales cizalla / fallas a ( $N70^\circ E$ ) y geometrías frontales ( $N20^\circ W$ ), probablemente desarrollaron antes de los ataques, en un régimen de compresión modificado por un amplio régimen.

**Riolita (RIO)**

Diques de riolita de color gris-rojizo, la textura porfídica en dentro de una matriz afanítica. La mayoría se compone de K-feldespato, plagioclasa, cuarzo, anfíboles en una matriz cortada por vetillas de cuarzo.

## **GEOMETRÍA DE LOS CUERPOS MINERALIZADOS**

La mineralización de sulfuro consisten en un conjunto de magnetita calcopirita-bornita y magnetita calcosina-bornita, cantidades variables de molibdenita, cobaltita, safflorita, Oro y plata, también existente organizadas por las rocas que contienen magnetitas, Fayalita, grunerita, granate, biotita, cuarzo y plagioclasas. La mineralización está Relacionado con rocas ricas en Fe y se producen por cizallas lenticulares y zona de alteración hidrotermal. La calcopirita se asocia con esquistos de magnetita ricos en fayalita y magnetita.

Diferentes estilos de mineralización se pueden encontrar: diseminada, con estructuras planas (largueros) paralela a la roca, asociado a concentraciones locales de magnetita y / o granate, llenando o rodeando las fracturas de los granos minerales (stockwork); en las divisiones de los anfíboles y minerales laminares, que consta de un sulfuro masivo, paralelas a la estratificación de las rocas alojados en algunos casos, así como de mineralización Re movilizado en zonas de cizalla. Calcopirita, bornita, calcosina y ocurren intersticialmente de minerales de silicato. Estos minerales de sulfuro se encuentran comúnmente para llenar planos de exfoliación de biotita y grunerita.

### ALTERACIÓN DE LA ROCA CAJA Y MINERALIZACIÓN ASOCIADA

La alteración hidrotermal parece ser mucho más importante que previamente reconocida. La distribución espacial de alteración hidrotermal en el depósito Salobo muestra que las zonas afectadas por los hierros intensos y anfitrión potásica-metasomatismo la mayor parte del mineral de cobre y oro de óxido de hierro.

En general, la magnetita masiva asociada con la mineralización es el núcleo del sistema hidrotermal y está rodeado por rocas menos intensamente alteradas.

La magnetita se produce principalmente como idiomorfos a los granos-sub dio mórfico, intersticial de minerales de silicato o en las fracturas, o forma bandas de rocas miloníticas.

Cristales subidiomorfico biotita, comúnmente estrangulada, se asocian con alteración potásica y espacialmente relacionados con la mineralización de cobre y oro. Además, uraninita y circón inclusiones pueden ser localmente abundante en biotita. Cuarzo muestra la extinción ondulante, y se asocia con biotita en muestras de mineral o constituya venas concordantes dentro de las rocas de acogida.

Dentro del cuerpo de magnetita masiva son pequeñas venas y masas irregulares de biotita secundaria. Los granate está completamente reemplazado por magnetita, formando pseudomorfos obvias. Lejos de la magnetita masiva, la magnetita disminuye gradualmente, dando paso a la biotita granate esquistos y / o granate grunerita esquistos. Cuando no está oscurecida por la magnetita, esquistos de biotita-granate y esquistos granate grunerita, son muy característicos y fácilmente conectados. Alcalis metasomatismo se reconoce en las rocas anfíbolita del depósito Salobo. Se expresa por la debilidad de sodio con intensa alteración superpuesta potasio ( $\leq 4,6\%$  en peso de  $K_2O$ ). Potasio-feldespatos, biotita y oligoclasa están en los principales minerales de alteración. Un aumento significativo en el contenido

FIGURA 1.7

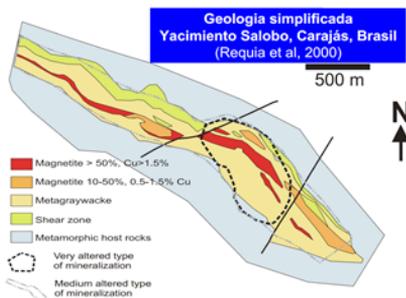


Figura 1.7: Informe técnico sobre las reservas minerales y recursos minerales de la mina de salobo carajas de cobre y oro, estado de para Brasil.

de FeO ( $\leq 35\%$  en peso) acompañó a la alteración de potasio en anfíbolita y estuvo marcada por la sustitución de cálcica-anfíbol (principalmente de magnesio-hornblenda y hastingsita) por anfíbol hierro y magnesio (cunningtonita), y por la formación de biotita y magnetita. La química de la meta-grauvaca en el depósito indica que también se sometieron hierro significativo y alteración de potasio. Ensamblajes de alteración se caracterizan por almandino, granate, biotita y grunerita, turmalina subordinada y menor magnetita. La zona de mineral más rico, situado en la parte central del depósito, corresponde a la zona más alterado.

### **MINERALES DE MENA Y GANGA**

La mineralización de mena son los sulfuros que consisten en un conjunto de magnetita-calcopirita-bornita y magnetita bornita –calcosina, cantidades variable de molibdenita, cobaltita, safflorita, oro y plata, también existente organizadas por la roca que contiene magnetita, fayalita, grunerita, granate, biotita, cuarzo y plagioclasa.

Los minerales de ganga son almandino, granate, grunerita y turmalina, lo que refleja el intenso metasomatismo de hierro. Cantidades menores de fayalita y hastingsita se pseudomorfizaron por grunerita y magnetita. Turmalina, con una composición chorlítica dominante se produce en forma de cristales idiomorfos orientados preferentemente paralela a la foliación milonítica, en asociación con biotita, granate y grunerita.

### **EDAD DE LA MINERALIZACIÓN**

El yacimiento de Salobo es una cuenca arcaica, la placa suite calcoalcalino (2,77 Ga), y los granitos alcalinos Salobo y Estrella (2,5 Ga), se sabe que tienen una fuerte correlación con la mineralización de cobre y oro en Carajás. Hay muchas generaciones de cuerpos máficos, incluyendo algunos que son diques post-minerales. Una suite Proterozoico (1,88 Ga) de granitos alcalinos, el granito central de Carajás, granitos Cigano y Pojuca, también interfiere la secuencia de Carajás. Varias generaciones de diques máficos más jóvenes cortan a toda la secuencia.

### **RESULTADOS**

Implicaciones en la exploración de nuevos depósitos minerales de similares características. Criterios (Guías, Vectores) de Exploración

#### **Complejo Ofiolíticos un 20 %,**

Las ofiolitas son asociaciones de rocas ultramáficas, máficas y máfico volcánicas, ocurren asociadas a zonas de orogénesis tanto en zonas de subducción y colisión continental.

En la cordillera occidental existen rocas de estas características de formación, localmente afloran complejos de rocas ultramáficas a máfica de afinidad komatítica, lo que nos da un criterio de exploración claro para esa región.

#### **Rasgos estructurales 7%**

Los yacimientos hidrotermales están relacionados a la zona de actividad tectónica, la cual es consecuencia del choque entre la placa nazca y la placa suramericana, y en nuestro país está representada por la falla romeral.

Convirtiéndose esta en un ambiente geológico más favorable para localizar este tipo de yacimiento.

### **Litología 28%**

Secuencia Volcano-sedimentaria, en esquistos de biotita-magnetita y de magnetita anfibolita a lo largo de la tendencia de una secuencia de buzamiento de las rocas metamórficas. Intrusivos graníticos, Diques de dioritas. Las alteración hidrotermal potásica desarrollada por la formación de nuevos silicatos de potasio, tales como feldespato potásico secundario o mica (biotita) secundaria con posible presencia de anhidrita nos indican otro criterio clave en aras de determinar las áreas potenciales.

### **Minerología 45%**

La mineralización de sulfuro consisten en un conjunto de magnetita calcopirita-bornita y magnetita calcosina- bornita, cantidades variables de molibdenita, cobaltita, safflorita, Oro y plata, también existente organizadas por las rocas que contienen magnetitas, Fayalita, grunerita, granate, biotita, cuarzo y plagioclasas.

El criterio mineralógico depende de tener en la zona propuestas, sulfuros masivos volcanogenicos, manganeso volcanogenico, bauxita, magnetita, oro vetiforme y placeres auríferos y auro-platiníferos.

En el territorio colombiano las condiciones favorables para estos depósitos son:

Las ofiolitas de la cordillera occidental, zona donde se puede formar los Sulfuros Masivos Volcanogénicos, en la región de Colombia, (choco, Valle del Cauca,

Risaralda, Antioquia). En Colombia en la cordillera occidental existen varios tiempo de edades desde el cretácico, terciario y cuaternario.

Cretácico en Colombia se refiere predominantemente a rocas sedimentarios e intrusivas y solo localmente roca metamórficas.

**FIGURA 2: CORDILLERA OCCIDENTAL**



En la cordillera occidental, el basamento está constituido por basaltos y diabasas (a veces con metamorfismo de muy bajo grado) a veces con intercalaciones de chert y calizas, cubiertos por grauvacas, limolita o chert. Los depósitos de sulfuros masivos y manganeso volcanógeno, se asocian a este ambiente, localmente afloran complejos de rocas ultramáficas a mafica de afinidad komatitica. Durante el cretácico, un ambiente marino de fondo oceánico rico en magnesio y cobre permitió la formación de concentraciones locales importantes de estos minerales.

En la cordillera occidental aparecen variaciones a tipos de rocas desde grauvacas a rocas calcáreas y detríticas, es frecuente la presencia de rocas ígneas plutónicas tales como tonalitas, granodiorita y cuarzomonzonita, a las cuales se relaciona depósitos hidrotermales vetiformes de oro y pórfidos cuplíferos tipo cobre y tipo cobre-oro. Existen cuerpos aislados de los denominados complejos ultramaficos zonados. los cuales representan la roca fuente del platino aluvial existente en la margen occidental de la cordillera. También afloran rocas volcánicas piro clásticas de composición intermedia.

Sobre este ambiente oceánico han ocurrido dos etapas de mineralización (Paleógeno y Neógeno). En el paleógeno, cinturones cupríferos (Cu, Au) se alejaron, a lo largo de la sub provincia payande-farallones. En el Neógeno, pequeños cuerpos intrusivos dioríticos ampliamente espaciado son los portadores de mineralización hidrotermal de oro y cobre vetiforme en la provincia. Estas provincia justifica exploración de pórfidos cupríferos (Cu, Cu-Au), sulfuros masivos volcanogenicos, manganeso volcanogenico, bauxita, magnetita, oro vetiforme y placeres auríferos auríferos y auro-platiníferos.

En Uramita Antioquia se forman basaltos, brechas, aglomerados y tobas intercalas con cherts, limolitas, lodolitas calcáreas y caliza, En Pradera en el valle del cauca se generan esquistos cloríticos y anfibolíticos, filitas, cuarcitas, mármoles y serpentina. En Bagado en Choco se genera por granodioritas que varían a cuarzo diorita y cuarzo

monzonita y en la Celia en Risaralda que se forman granodiorita, cuarzodiorita y granitos alcalinos con variaciones a diorita y tonalitas.

**FIGURA 2.1**



**FIGURA 2.1** Mapa de áreas potenciales en Colombia  
 Color verde: Uramita Antioquia  
 Color rojo: pradera valle del cauca  
 Color Negro: Bagado Choco  
 Color Azul: La Celia Risaralda

Esta zona cumple las condiciones favorables donde se puede formar este tipo de yacimiento de Cobre y Oro, por cizalla, fluidos hidrotermales y sulfuros vulcano génicos, características geológicas similares, los sulfuros aparecen en forma de stockwork y mineralización de cobre y oro originado por fluidos hidrotermales y metasomatismo. Sulfuros masivos de CU-AU se encuentran en la interface de rocas sedimentarias-basaltos, ambas de edad cretácicas a terciarias.

## CONCLUSIONES

El depósito de Salobo está compuesto por fluidos hidrotermales potásicos, un ambiente tectónico de cizalla y sulfuros volcanogénicos. En Colombia se pueden formar este tipo de yacimientos en la cordillera occidental en los alrededores de los municipios de Uramita Antioquia, Pradera en el valle del Cauca, Bagado en Chocó y en la Celia en Risaralda, estas zonas cumplen con las condiciones favorables para formar este tipo de yacimiento, ya que en la cordillera occidental podemos encontrar complejos ofiolíticos, característicos de ambientes oceánicos en los cuales se han encontrado formaciones de sulfuros masivos volcanogénicos, además un ambiente tectónico y litologías similares al yacimiento de Salobo Brasil.

La Provincia de Carajás es reconocida como resultado de la yuxtaposición de un manto Paleoproterozoico, un arco Arcaico vulcano-plutónico de tipo andino. Procesos hidrotermales asociados con las fases de reactivación tectónica y rocas de origen graníticas son responsables de varios estilos de mineralización tipo IOCG, que son parte del proceso de reciclaje de la corteza terrestre en la región desde la era neoarcaica.

## BIBLIOGRAFÍA REFERENCIADA

- 1) <http://www.bdigital.unal.edu.co/32566/1/32105-117867-1-PB.pdf>
- 2) <http://www.unalmed.edu.co/rrodriguez/METALOGENIA/Metalogenia-Colombia.pdf>
- 3) <http://www.unalmed.edu.co/rrodriguez/METALOGENIA/metalogenia-colombia.htm>
- 4) [http://www.lapluma.net/es/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2247:anglo-gold-ashanti-amenaza-al-tolima&catid=91:multinacionales&Itemid=423](http://www.lapluma.net/es/index.php?option=com_content&view=article&id=2247:anglo-gold-ashanti-amenaza-al-tolima&catid=91:multinacionales&Itemid=423)
- 5) <http://www.unalmed.edu.co/rrodriguez/geologia/economica/Polimetalicos-Colombia.pdf>
- 6) <http://www.cec.uchile.cl/~vmaksaev/SULFUROS%20MASIVOS%20VOLCANOGENICOS.pdf>
- 7) <http://www.unalmed.edu.co/~rrodriguez/METALOGENIA/metalogenia-colombia.htm>
- 8) Jason Ché Osmond, C.Geol., FGS, EurGeol. Barnard Foo, P.Eng. James Turner, CEng, MIMMM. Christopher Jacobs, CEng, MIMMM. Informe técnico sobre las reservas minerales y recursos minerales de la mina de Salobo Carajás de cobre y oro, estado de para Brasil. {ASPECTOS ECONÓMICOS Y MINERO-METALÚRGICOS}.
- 9) Jason Ché Osmond, C.Geol., FGS, EurGeol. Barnard Foo, P. Eng. James Turner, CEng, MIMMM. Christopher Jacobs, CEng, MIMMM. Nota sobre yacimiento de tipo óxido de Hierro Cobre y Oro y su prospectiva en Colombia. { Geología general del distrito de Carajás, Brasil}.

10) Jason Ché Osmond, C.Geol., FGS, EurGeol. Barnard Foo, P.Eng. James Turner, CEng, MIMMM. Christopher Jacobs, CEng, MIMMM. Informe técnico sobre las reservas minerales y recursos minerales de la mina de salobo carajas de cobre y oro, estado de para Brasil.{ ASPECTOS ECONÓMICOS Y MINERO-METALÚRGICOS}.

11) Jason Ché Osmond, C.Geol., FGS, EurGeol. Barnard Foo, P.Eng. James Turner, CEng, MIMMM. Christopher Jacobs, CEng, MIMMM. Informe técnico sobre las reservas minerales y recursos minerales de la mina de salobo carajas de cobre y oro, estado de para Brasil.{ Después Docegeo, 1988, Araújo&Maia, 1991 y Barros y Barbey, 1998}.