

- PROPUESTA PARA LA NORMATIZACION DE LA INFORMACION
GEOLOGICO-MINERA UTILIZANDO MODELOS DE DEPOSITOS
MINERALES.

- DEFINICION DEL GRADO DE POTENCIALIDAD DE UN RECURSO
MINERAL Y ESTIMACION CONFIABLE DE SU MAGNITUD.

POR

DANIEL H. DELPINO

SECRETARIA DE MINERIA

Dpto. GEOLOGIA

1989

INTRODUCCION

La construcción de modelos de depósitos minerales surgió como una necesidad de las organizaciones que se dedican a la prospección mineral en los países desarrollados.

Uno de los principales requerimientos de estas organizaciones es la de manter en sus grupos profesionales la capacidad de identificar y evaluar nuevas áreas favorables para la formación de depósitos minerales.

La realización de modelos de depósitos minerales aparece cubriendo esta necesidad pues permite a un geólogo comparar sus propias observaciones con el conocimiento colectivo y la experiencia de un grupo mucho más amplio de geocientíficos.

Desde los comienzos de la humanidad los geólogos y otros profesionales que se dedican a la prospección han utilizado las características de los diferentes depósitos en forma empírica para realizar nuevos hallazgos.

La pregunta que surge a partir de esta aseveración es ¿que hay de nuevo ahora en el empleo de este mecanismo?

Si bien los modelos aún no pueden considerarse completos, la diferencia está dada en el control riguroso de los mismos efectuado por los conocimientos adquiridos en variados campos; que han modificado o directamente destruido antiguos dogmas sobre el mecanismo de formación de los depósitos minerales.

Los ejemplos son muchos pero entre los más importantes merecen citarse:

- 1) Los estudios de inclusiones fluídas han demostrado que los clásicos depósitos de tipo MISSISSIPPI VALLEY no pueden ser originados ni por procesos singenéticos ni por aguas superficiales no modificadas.
- 2) Los depósitos epitermales de metales preciosos, se forman por la acción de aguas meteoricas que formaban sistemas geotermales fósiles, esto ha sido probado por estudios isotópicos.
- 3) Investigaciones de campo y laboratorio muestran claramente que los sulfuros masivos volcanogénicos son el producto de procesos singenéticos, submarinos y exhalativos y no reemplazamientos epigenéticos de rocas sedimentarias o volcánicas.

Las descripciones y la denominación de los modelos de depósitos minerales es todavía experimental y todavía está evolucionando.

Probablemente nunca estarán o serán consideradas completas, pero es la mejor y más concisa forma de expresar el conocimiento actual sobre los depósitos minerales.

La lista completa de los modelos de depósitos minerales y sus correspondientes subclases pueden consultarse en Cox y Singer, (1986).

Varias conclusiones y experiencias pueden obtenerse a partir de la compilación realizada por estos autores y Eckstrand, (1984). Una de las más importantes quizás sea que cuando más variaciones busquemos dentro o entre los depósitos minerales y cuanto más grande es nuestro conjunto de observaciones reconocemos cada vez mas relaciones entre los distintos procesos formadores de depósitos.

Es probable, que en el futuro varios grupos de depósitos que se consideran en la clasificación actual no relacionados y por lo tanto asignados a clases diferentes sean los productos de un único proceso que ha operado en diferentes ambientes, o en un mismo ambiente pero en diferentes niveles.

Como ejemplos pueden mencionarse algunos depósitos de sulfuros masivos volcanogénicos que pueden formarse simultaneamente como resultado de un mismo sistema genético con los "porphyry copper" y los depósitos epitermales de oro.

Ejemplos recientes de este tipo de asociaciones entre varios tipos de depósitos han sido demostrados por Christiansen et al, (1986), relacionados a riolitas topácicas en Estados Unidos y en Argentina por Malvicini y Delpino, (1986) relacionados a complejos volcánico-plutónicos de composición ácida.

En el Bloque de San Rafael y el Macizo Nordpatagónico .

VENTAJAS PRINCIPALES QUE SE OBTENDRAN DEL USO SISTEMATICO DE LOS MODELOS DE DEPOSITOS MINERALES

La normatización de la información utilizando los parámetros definidos en cada modelo permitiría:

- 1) Conocer el estado real de la información existente y su actualización rápida.
- 2) Poner en evidencia las falacias en el grado de confiabilidad y el tipo de información. Esto sería útil para la programación de futuros planes de trabajo prospectivos con la consiguiente optimización en la utilización del RECURSO FINANCIERO.
- 3) Asignar el depósito en caso de existir información suficiente a un modelo específico y poder realizar la comparación de potencialidad con otros pertenecientes al mismo modelo presentes en otras regiones del país y del mundo.
- 4) En caso de tener información suficiente y no poder encasillarla dentro de un modelo dado construir uno propio, con los parámetros similares a las utilizadas internacionalmente.
- 5) La interacción inevitable de geólogos; mineros, petrólogos y geólogos regionales en esta tarea de normatización.
Este intercambio enriquecería a todos, permitiendo superar las tradicionales diferencias y el aislamiento a través de una tarea concreta.
- 6) Eliminar la subjetividad del autor de un trabajo técnico sobre evaluación de un recurso.
- 7) Incorporar algún tipo de información adicional dado que el sistema es flexible y abierto.
- 8) La introducción de la información en el programa de computación utilizado internacionalmente, ya que el modelo posee la información suficiente y es el requisito mínimo para poder utilizar los programas de inteligencia artificial, denominados PROSPECTOR (PROSPECCION MINERA), que será de uso masivo en los próximos años.
- 9) Su aplicación a minerales no metelíferos y rocas de aplicación con pequeñas adaptaciones.
- 10) Acceder al inversor potencial a un grado de información normatizado de calidad similar al que se brinda internacionalmente lo que le dará guías firmas

para definir su accionar futuro.

- 11) Acceder a la definición del GRADO DE POTENCIALIDAD MINERA y a la ESTIMACION CONFIABLE de su magnitud, dado que se ha conseguido definir y/o aproximar a un Modelo de Depósito.

MODELOS DE DEPOSITOS MINERALES

Un modelo de depósito es un listado completo de las características que se presentan en la mayoría de los ejemplos de un tipo de depósito mineral. El modelo incluye todas las características que pueden ser descriptas en el ambiente geológico, ya sea en pequeña o gran escala, tipos de rocas asociadas, mineralogía, textura del depósito, alteración de la roca de caja, control estructural de la depositación mineral, características geoquímicas, rango de edades y otros.

Un esquema de un depósito tipo "hot spring" Au-Ag puede verse en la Fig. (1).

Los grandes ambientes geológicos-tectónicos dentro de los cuales se ordenan y clasifican los 39 modelos de depósitos minerales (clases), y sus 99 subclases son expuestos en el cuadro 1.

Fig. 1. Tomada de Cox y Singer, 1986

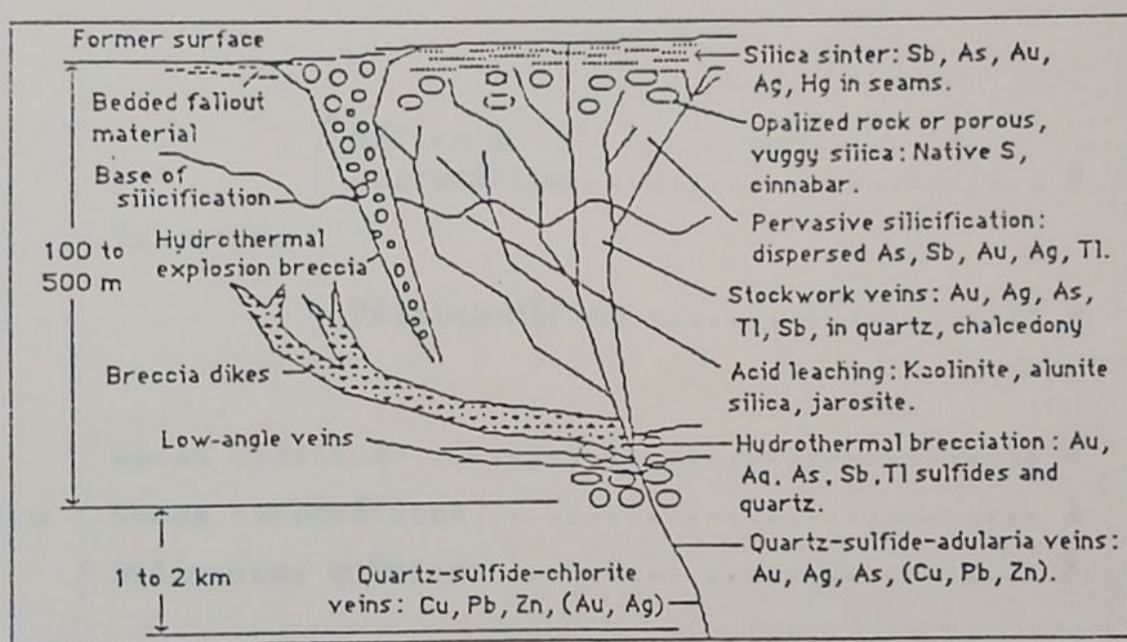


Figure 105. Cartoon cross section of hot-spring Au-Ag deposit.

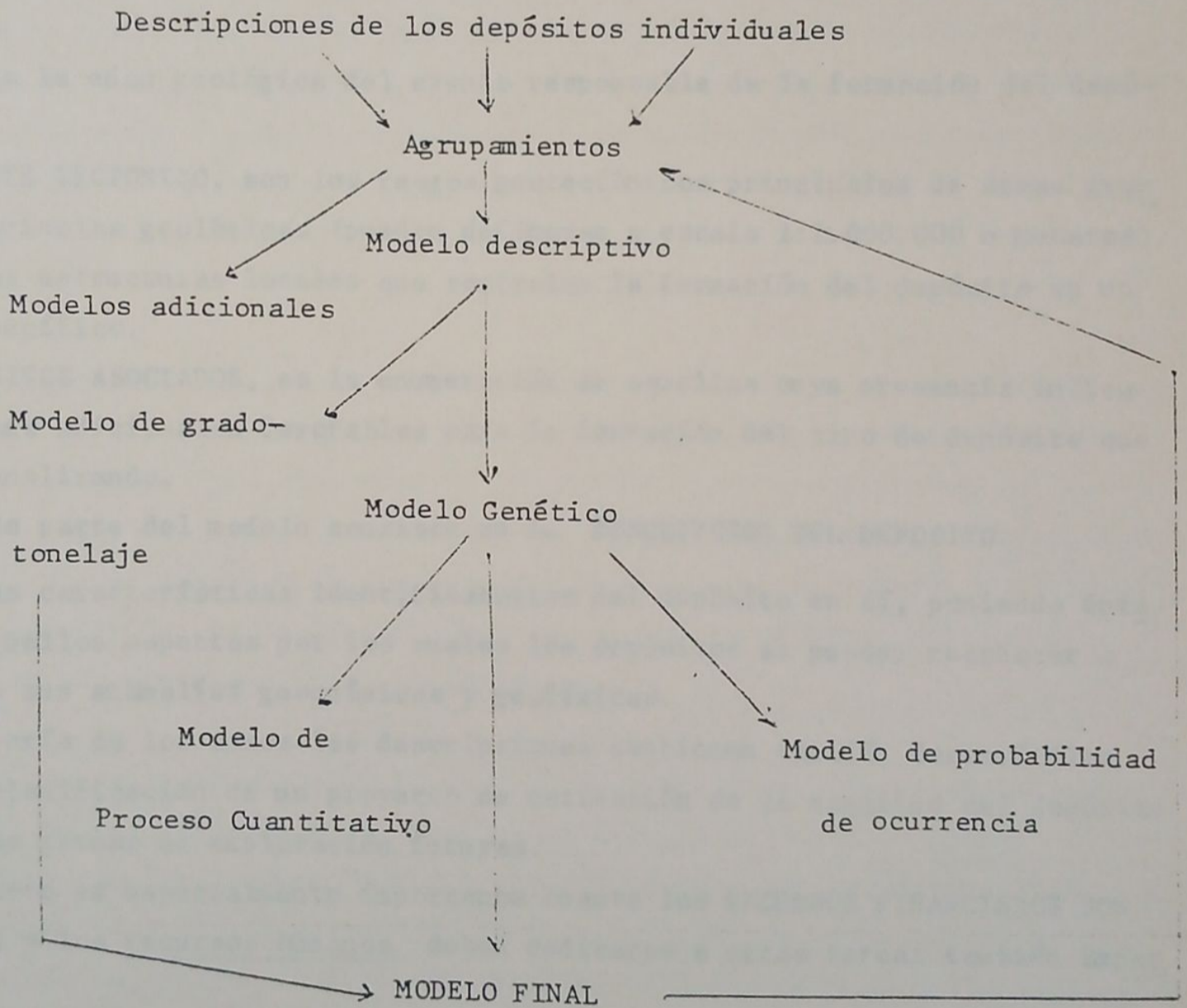
CUADRO 1

| AMBIENTE GEOLOGICO | | N° de modelos de depósitos |
|-----------------------|--|--|
| Igneos | Intrusivo | Máfico y Ultramáfico { Región estable 4 |
| | | Máfico y Ultramáfico { Región inestable..... 6 |
| | | Básico y Alkalino 2 |
| | | Félsico { fanerocríсталino 3 |
| | Félsico { Porfírico..... 7 | |
| | Extrusivo | Máfico y Ultramáfico 2 |
| | | Félsico-Máfico 4 |
| | Sedimentario | Rocas clásticas 3 |
| | | Rocas carbonáticas 1 |
| | | Sedimentos químicos 3 |
| Metamorfismo Regional | Metavolcanico y Metasedimentario 1 | |
| | Metapelitas y neta-arenita 1 | |
| Superficial | Residual 1 | |
| | Deposicional 1 | |

Los pasos seguidos en la construcción de los modelos hasta llegar al final son mostrados en el Diagrama 1.

DIAGRAMA 1 según Cox y Singer, (1986)

Evolución de los tipos de modelos



Los modelos descriptivos tienen dos partes principales.

La primera es el AMBIENTE GEOLOGICO. Se describen los ambientes o ámbitos geológicos en los cuales se encuentran los depósitos.

Esta sección comprende:

a) TIPOS DE ROCAS

b) TEXTURAS

Consiste en la descripción de las rocas potencialmente favorables para ser alojantes de un depósito y también el origen de las rocas que pueden ser fuente de origen de fluidos hidrotermales que pueden formar depósitos epigenéticos.

La EDAD es la edad geológica del evento responsable de la formación del depósito.

El AMBIENTE TECTONICO, son los rasgos geotectónicos principales de áreas grandes o provincias geológicas (pueden definirse a escala 1:1.000.000 o menores).

No son las estructuras locales que controlan la formación del depósito en un sitio específico.

Los DEPOSITOS ASOCIADOS, es la enumeración de aquellas cuya presencia indica condiciones adicionales favorables para la formación del tipo de depósito que estamos analizando.

La segunda parte del modelo consiste en la DESCRIPCION DEL DEPOSITO.

Indica las características identificatorias del depósito en sí, poniendo énfasis en aquellos aspectos por los cuales los depósitos se pueden reconocer a través de sus anomalías geoquímicas y geofísicas.

En la mayoría de los casos las descripciones contienen también datos útiles para la planificación de un proyecto de estimación de la magnitud del depósito o para las tareas de exploración futuras.

Este aspecto es especialmente importante cuando los RECURSOS FINANCIEROS SON LIMITADOS y los recursos humanos deben dedicarse a otras tareas también importantes.

DEFINICION DEL GRADO DE POTENCIALIDAD DE UN RECURSO MINERAL

Y ESTIMACION CONFIABLE DE SU MAGNITUD

Grados de potencialidad de un recurso mineral

Arbitrariamente se han asignado cinco categorías a los grados de potencialidad minera: 1) Bajo; 2) Moderado; 3) Alto; 4) Desconocido; 5) Sin Potencialidad.

- 1) Una potencialidad minera BAJA es asignada a las áreas en las cuales las características geológicas, geoquímicas y geofísicas definen un ambiente geológico en el cual la existencia de recursos minerales es improbable. Esta amplia categoría incluye áreas con rocas mineralizadas poco significativamente y también aquellas con pocas o sin evidencias de mineralización.

- 2) Un potencial minero MODERADO es asignado a las áreas en las cuales las características geológicas, geoquímicas y geofísicas indican un ambiente geológico favorable para la ocurrencia de un recurso mineral. En estas áreas las interpretaciones de los datos indican una probabilidad razonable de acumulación del recurso y/o donde una aplicación de los modelos de depósitos minerales señala un ambiente favorable para algún o algunos determinados tipos de depósitos.

- 3) Un potencial minero ALTO es asignado a áreas donde las características geológicas, geoquímicas y geofísicas indican un ambiente geológico favorable para la ocurrencia de un recurso mineral. En estas áreas las interpretaciones de los datos indican un alto grado de probabilidad de acumulación del recurso y permiten su asignación a un modelo de depósito indicando la presencia de recursos.
Además las evidencias indican que ha tenido lugar la concentración mineral. La asignación a un área de un potencial minero alto requiere un conocimiento real de que los procesos formadores de depósitos han actuado en por lo menos una parte del área.

- 4) Un potencial minero DESCONOCIDO es asignado a áreas donde la información es inadecuada como para categorizar el recurso minero.
- 5) Un área SIN POTENCIALIDAD es una categoría reservada para un tipo específico de recurso mineral, en un área bien definida.

| | 1971 | 1972 | 1973 |
|----------------------|------|------|------|
| 1. Área | 100 | 100 | 100 |
| 2. Potencial | 100 | 100 | 100 |
| 3. Sin potencialidad | 100 | 100 | 100 |
| 4. Desconocido | 100 | 100 | 100 |
| 5. Sin potencialidad | 100 | 100 | 100 |
| 6. Desconocido | 100 | 100 | 100 |
| 7. Sin potencialidad | 100 | 100 | 100 |
| 8. Desconocido | 100 | 100 | 100 |
| 9. Sin potencialidad | 100 | 100 | 100 |
| 10. Desconocido | 100 | 100 | 100 |

Grado de Potencialidad MInera vs. Nivel de confiabilidad de la Infórmación

Las relaciones entre estas dos variables determinan 11 posibles grados de conocimiento, que se expresan por letras.

| | | | | |
|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Grado de Potencialidad Minera | U/A Potenc. Desconocida | H/B Potenc. Alta | H/C Potenc. Alta | H/D Potenc. Alta |
| | | M/B Potenc. Moderada | M/C Potenc. Moderada | M/D Potenc. Moderada |
| | | L/B Potenc. Baja | L/C Potenc. Baja | L/D Potenc. Baja |
| | | | | N/D Sin Potenc. |
| A | B | C | D | |

Niveles de confiabilidad de la información

abreviaturas: Potenc. Potencialidad

Nota: La caracterización por letras del grado de potencialidad minera es la utilizada por el Servicio Geológico de Estados Unidos de Norteamérica. No se realizó su traducción para permitir la utilización directa de las categorías que tienen amplia difusión internacional.

Significado y traducción de los términos

U - Unknown = desconocida
 H - High = alta
 M - Moderate = Moderada
 L - Low = Baja
 N - No = Sin

Ejemplos de utilización durante la descripción.

"Las rocas cristalinas del área estudiada tienen una potencialidad minera baja (L) con un nivel de confiabilidad de la información de Grado C".

Niveles de confiabilidad de la información

Se han definido cuatro niveles o grados de confiabilidad de la información.

En orden decreciente de magnitud se han denominado con las letras A, B, C y D.

- A. La información disponible no es adecuada para la determinación de la categoría de la potencialidad minera.
- B. La información disponible sugiere la categorización del potencial minero.
- C. La información disponible da una buena indicación del nivel del potencial minero.
- D. La información disponible define claramente la categoría de la potencialidad minera.

En el Anexo I.

Se muestra como ejemplo el modelo completo de cobre porfírico Cu-Au; tal como es presentado en Cox y Singer, (1986).

La clasificación de los recursos minerales en relación con sus reservas no ha sido analizada en este informe. A modo de información en el anexo II se muestra el sistema utilizado por Organismos Mineros y el Servicio Geológico de Estados Unidos.

Por último se sugiere la utilización de un mismo cuadro estratigráfico por los diferentes profesionales intervinientes. El presentado en el anexo III, lo es solamente a modo de ejemplo.

BIBLIOGRAFIA

- Christiansen, Sheridan y Burt, 1986.
Geological Society of America. Special Paper 205.
- Cox, D.P. y Singer D.A. (Eds) 1986. Mineral Deposit Models. U.S. Geological Survey Bulletin 1693, 379 p.
- Ekstrand O.R. (Ed.) 1984. Canadian Mineral Deposits types: A geological Synopsis - Geological Survey of Canada. Economic Geology Report 36, 86p.
- Gardarzi, G.H. (compilador) 1984. Guide to preparation of Mineral Survey Reports on Public Lands: U.S. Geological Survey Report 84-0787; p.7-8.
- Malvecini L. y Delpino D., 1987 - Metalogénesis de los complejos riolíticos de la Provincia Geológica San Rafaelino-Pampeana y la comarca norpatagónica. Argentina.
I Congreso Geológico Argentino. San Miguel de Tucumán. Argentina.
Tomo Simposio de Procesos metalogenéticos. En prensa.
- Taylor, R.B. y Steven, T.A., 1983 - Definition of mineral resource potential: Economic Geology U. 78, n°6, P: 1268-1270.
- Taylor, R.B.; Stoneman, R.J. y Marsh, S.P., 1984 - An Assessment of the mineral resource potential of the San Isabel National Forest, South-Central Colorado U.S. Geological Survey Bulletin, 1638, p.40-42.

ANEXO I

Model 20c

DESCRIPTIVE MODEL OF PORPHYRY Cu-Au

By Dennis F. Cox

DESCRIPTION Stockwork veinlets of chalcopyrite, bornite, and magnetite in porphyritic intrusions and coeval volcanic rocks. Ratio of Au (ppm) to Mo (percent) is greater than 30 (see fig. 77).

GENERAL REFERENCES Sillitoe (1979), Cox and Singer (in press).

GEOLOGICAL ENVIRONMENT

Rock Types Tonalite to monzogranite; dacite, andesite flows and tuffs coeval with intrusive rocks. Also syenite, monzonite, and coeval high-K, low-Ti volcanic rocks (shoshonites).

Textures Intrusive rocks are porphyritic with fine- to medium-grained aplitic groundmass.

Age Range Cretaceous to Quaternary.

Depositional Environment In porphyry intruding coeval volcanic rocks. Both involved and in large-scale breccia. Porphyry bodies may be dikes. Evidence for volcanic center; 1-2 km depth of emplacement.

Tectonic Setting(s) Island-arc volcanic setting, especially waning stage of volcanic cycle. Also continental margin rift-related volcanism.

Associated Deposit Types Porphyry Cu-Mo; gold placers.

DEPOSIT DESCRIPTION

Mineralogy Chalcopyrite ± bornite; traces of native gold, electrum, sylvanite, and hessite. Quartz + K-feldspar + biotite + magnetite ± chlorite ± actinolite ± anhydrite. Pyrite + sericite ± clay minerals ± calcite may occur in late-stage veinlets.

Texture/Structure Veinlets and disseminations.

Alteration Quartz ± magnetite ± biotite (chlorite) ± K-feldspar ± actinolite, ± anhydrite in interior of system. Outer propylitic zone. Late quartz + pyrite + white mica ± clay may overprint early feldspar-stable alteration.

Ore Controls Veinlets and fractures of quartz, sulfides, K-feldspar magnetite, biotite, or chlorite are closely spaced. Ore zone has a bell shape centered on the volcanic-intrusive center. Highest grade ore is commonly at the level at which the stock divides into branches.

Weathering Surface iron staining may be weak or absent if pyrite content is low in protore. Copper silicates and carbonates. Residual soils contain anomalous amounts of rutile.

Geochemical Signature Central Cu, Au, Ag; peripheral Mo. Peripheral Pb, Zn, Mn anomalies may be present if late sericite pyrite alteration is strong. Au (ppm):Mo (percent) 30 in ore zone. Au enriched in residual soil over ore body. System may have magnetic high over intrusion surrounded by magnetic low over pyrite halo.

EXAMPLES

| | |
|-----------------------|------------------------------|
| Dos Pobres, USAZ | (Langton and Williams, 1982) |
| Copper Mountain, CNBC | (Fahrni and others, 1976) |
| Tanama, PTRC | (Cox, 1985) |

GRADE AND TONNAGE MODEL OF PORPHYRY Cu-Au

By Donald A. Singer and Dennis P. Cox

COMMENTS See figs. 78-81.

DEPOSITS

| Name | Country | Name | Country |
|-----------------|---------|------------------|---------|
| Afton | CNBC | Mamut | MDGS |
| Amacan | PLPN | Mapula | PLPN |
| Atlas Lutopan | PLPN | Marcopper | PLPN |
| Basay | PLPN | Marian | PLPN |
| Bell Copper | CNBC | Mountain Mines | PLPN |
| Boneng Lobo | PLPN | Ok Tedi | PPNG |
| Cariboo Bell | CNBC | Panguana | PPNG |
| Copper Mountain | CNBC | Red Chris | CNBC |
| Cubuagan | PLPN | Rio Vivi | PTRC |
| Dizon | PLPN | Saindak South | PBTN |
| Dos Pobres | USAZ | San Antonio | PLPN |
| Fish Lake | CNBC | San Fabian | PLPN |
| Frieda River | PPNG | Santo Nino | PLPN |
| Galore Creek | CNBC | Santo Tomas | PLPN |
| Hinobaan | PLPN | Star Mt.-Fubilan | PPNG |
| Ingerbelle | CNBC | Star Mt.-Futik | PPNG |
| Kennon | PLPN | Tanama | PTRC |
| Alumbrera | AGTN | Tawi-Tawi | PLPN |
| Lorraine | CNBC | Taysan | PLPN |
| Umbay | PLPN | Toledo | PLPN |

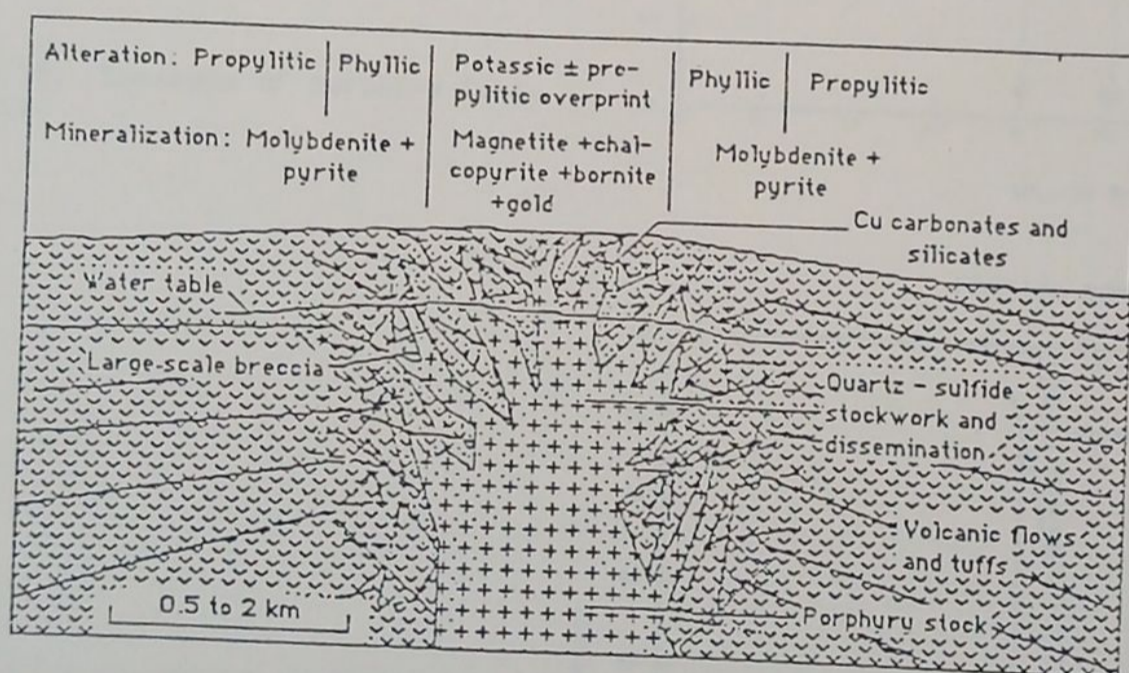


Figure 77. Cartoon cross section of porphyry Cu-Au deposit. Modified from Langton and Williams (1982).

Model 20c--Con.

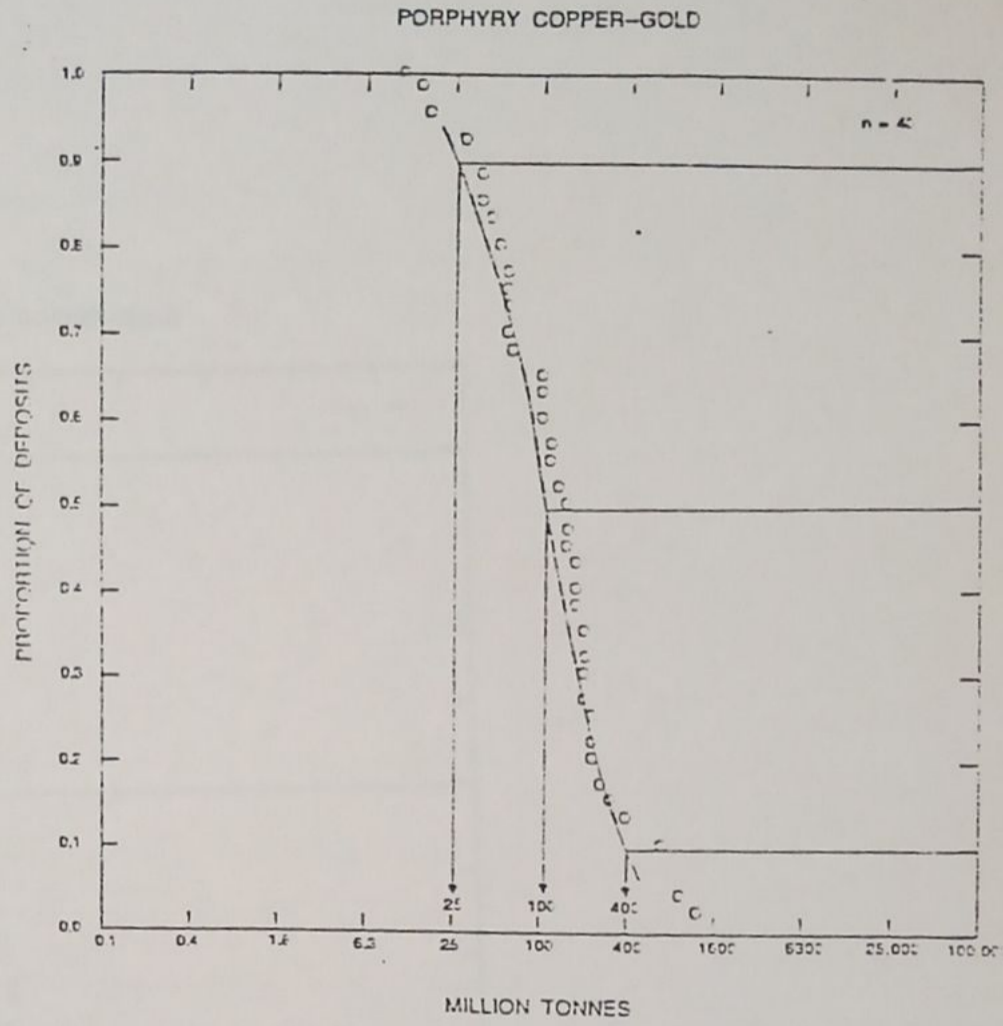


Figure 78. Tonnages of porphyry Cu-Au deposits.

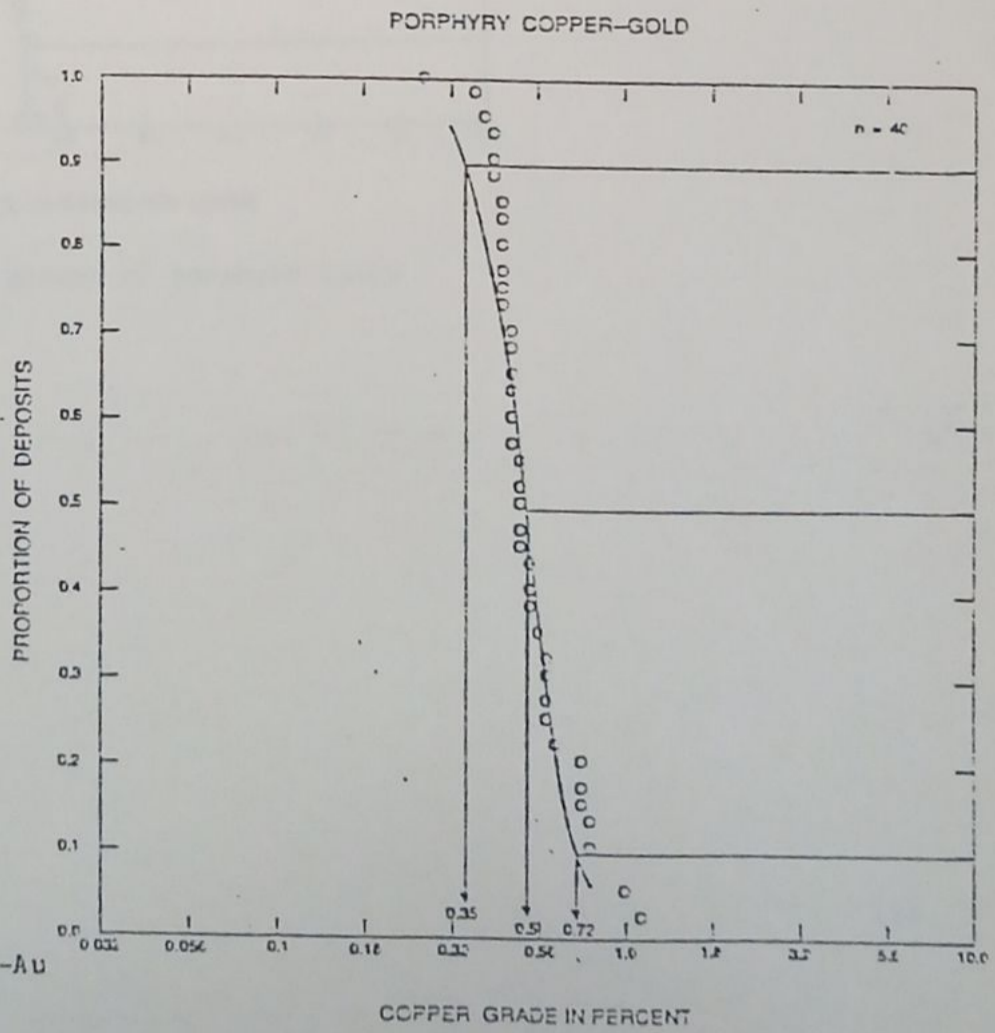


Figure 79. Copper grades of porphyry Cu-Au deposits.

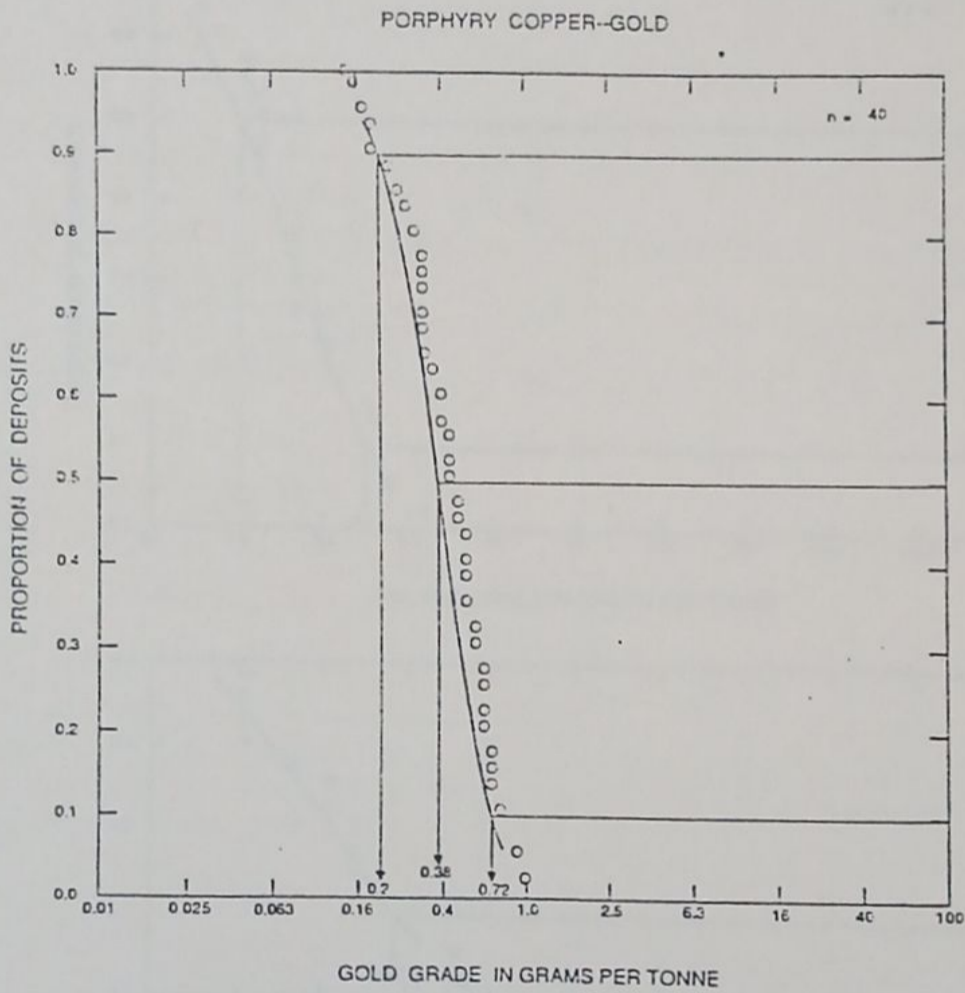
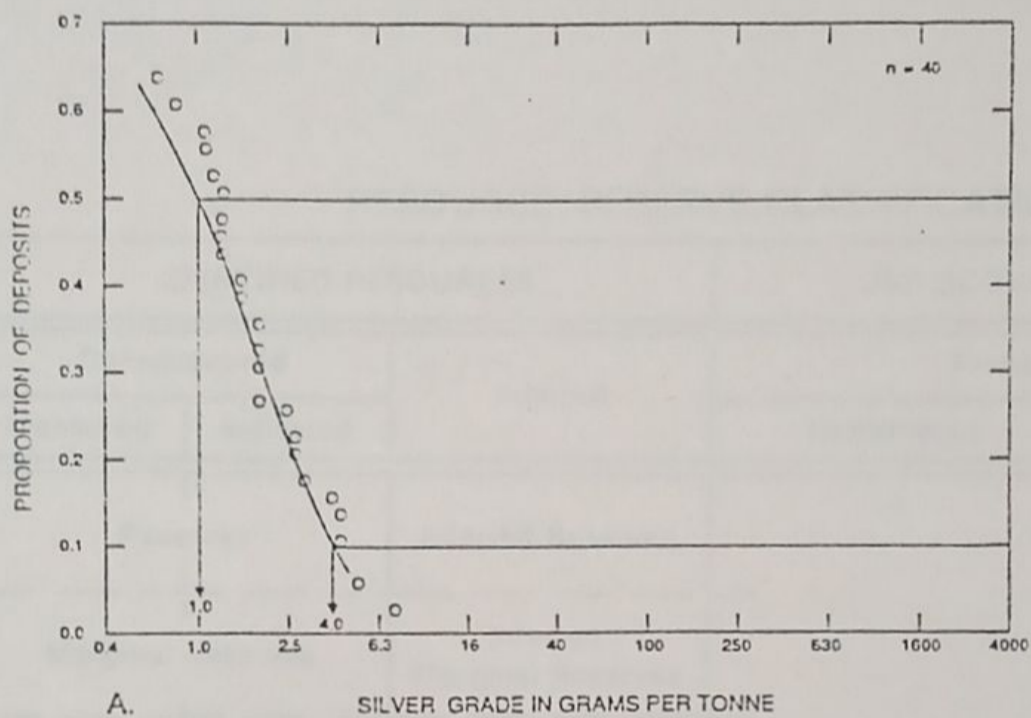
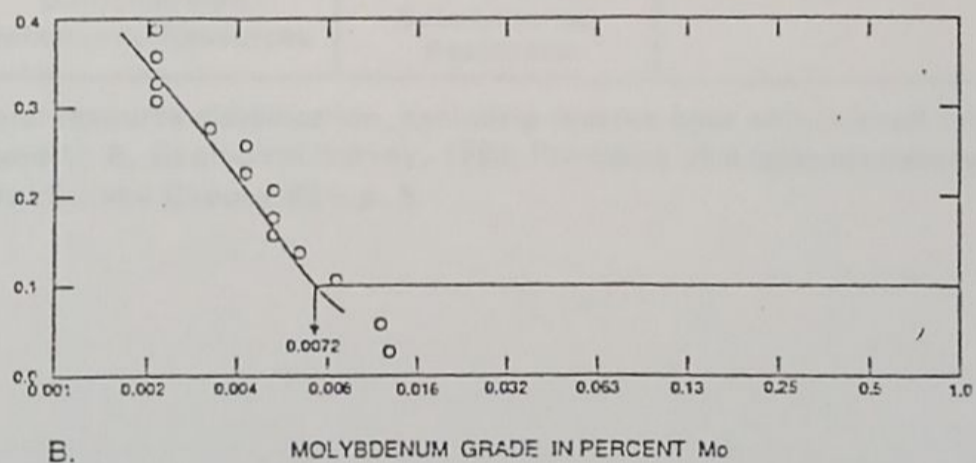


Figure 80. Gold grades of porphyry Cu-Au deposits.

PORPHYRY COPPER-GOLD



A.



B.

Figure 81. By-product grades of porphyry Cu-Au deposits. A, Silver. B, Molybdenum.

ANEXO II

RESOURCE / RESERVE CLASSIFICATION

| | IDENTIFIED RESOURCES | | UNDISCOVERED RESOURCES | | |
|---------------------|------------------------------------|-----------|--------------------------------|-------------------|-------------|
| | Demonstrated | | Inferred | Probability Range | |
| | Measured | Indicated | | Hypothetical | Speculative |
| | | | | (or) | |
| ECONOMIC | Reserves | | Inferred Reserves | | |
| MARGINALLY ECONOMIC | Marginal Reserves | | Inferred Marginal Reserves | | |
| SUB-ECONOMIC | Demonstrated Subeconomic Resources | | Inferred Subeconomic Resources | | |

Major elements of mineral resource classification, excluding reserve base and inferred reserve base. Modified from U. S. Bureau of Mines and U. S. Geological Survey, 1980, Principles of a resource/reserve classification for minerals: U. S. Geological Survey Circular 831, p. 5.

ANEXO III

GEOLOGIC TIME CHART
Terms and boundary ages used in this report

| EON | ERA | PERIOD | EPOCH | BOUNDARY AGE IN MILLION YEARS | | |
|--------------------------|-----------------|--------------------------|------------------------|-------------------------------------|--------------------|------|
| Pranerozoic | Cenozoic | Quaternary | | Holocene | 0.010 | |
| | | | | Pleistocene | | |
| | | Tertiary | Neogene Subperiod | Pliocene | 1.7 | |
| | | | | Miocene | 5 | |
| | | | Paleogene Subperiod | Oligocene | 24 | |
| | | | | Eocene | 38 | |
| | | | | Paleocene | 55 | |
| | | | Mesozoic | Cretaceous | | Late |
| | | Early | | | | |
| | | Jurassic | | Late | 138 | |
| | Middle Early | | | | | |
| | Triassic | | | Late | 205 | |
| | | | | Middle Early | | |
| | Paleozoic | Permian | | Late | ~ 240 | |
| | | | | Early | | |
| | | Carboniferous Periods | Pennsylvanian | Late | 290 | |
| | | | Mississippian | Middle Early | | |
| | | Devonian | | Late | ~ 330 | |
| | | | | Early | | |
| | | Silurian | | Late | 360 | |
| | | | | Middle Early | | |
| | | Ordovician | | Late | 410 | |
| | | | | Middle Early | | |
| | Cambrian | | Late | 435 | | |
| | | | Middle Early | | | |
| | Proterozoic | Late Proterozoic | | | 500 | |
| | | Middle Proterozoic | | | ~ 570 ¹ | |
| Early Proterozoic | | | 900 | | | |
| Archean | Late Archean | | | 1600 | | |
| | Middle Archean | | | 2500 | | |
| | Early Archean | | | 3000 | | |
| pre-Archean ² | | | | 3400 | | |
| | | | | 3800? | | |
| | | | | 4550 | | |

¹ Rocks older than 570 m.y. also called Precambrian, a time term without specific rank.

² Informal time term without specific rank.