

11
2ej.



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

**Prospección Minera en el
Distrito Minero de
Cananea, Sonora**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO GEOLOGO
P R E S E N T A
JOSE GUADALUPE PAEZ HERNANDEZ



MEXICO, D. F.

ENERO 1992

**TESIS CON
SERIE DE ORIGEN**



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E G E N E R A L

RESUMEN	1
I. INTRODUCCION	4
I. A. - OBJETIVO DEL ESTUDIO	7
I. B. - TRABAJOS ANTERIORES	7
I. C. - METODO DE TRABAJO	9
II. GEOGRAFIA	11
II. A. - LOCALIZACION GEOGRAFICA Y EXTENSION	12
II. B. - VIAS DE COMUNICACION	12
III. FISIOGRAFIA	15
III. A. - RAZCOS OROGRAFICOS	16
III. B. - RAZCOS HIDROGRAFICOS	18
IV. GEOLOGIA REGIONAL	19
IV. A. - ESTRATIGRAFIA	20
a) - PALEOZOICO	21
1. - CUARCITA CAPOTE	21
2. - CALIZA ESPERANZA	21
3. - CALIZA RECRISTALIZADA INFERIOR	22
4. - CALIZA RECRISTALIZADA SUPERIOR	22
5. - ZONA MINERALIZADA CHIVATERA	22
6. - CALIZA PUERTECITOS	23
b) - TERCIARIO	24
1. - ROCAS IGNEAS EXTRUSIVAS	24
2. - ROCAS IGNEAS INTRUSIVAS PLUTONICAS	25

IV.B.- GEOLOGIA HISTORICA	31
IV.C.- TECTONICA	34
V. GUIAS MINERALOGICAS	37
V.A.- ALTERACION SECUNDARIA	38
V.B.- ALTERACION PRIMARIA	40
a).- ALTERACION PROPILITICA	41
b).- ALTERACION ARGILICA	46
c).- ALTERACION FILICA	51
d).- ALTERACION POTASICA	53
VI. GUIAS ESTRUCTURALES	57
VI.A.- VETILLAS TIPO "A"	60
VI.B.- VETILLAS TIPO "B"	60
VI.C.- VETILLAS TIPO "D"	60
VII. GUIAS GEOFISICAS DE EXPLORACION	61
VII.A.- METODO ELECTRICO	62
a).- POLARIZACION INDUCIDA	64
VIII. YACIMIENTOS MINERALES	69
VIII.A.- PARAGENESIS	70
VIII.B.- ALTERACION SUPERGENICA	71
VIII.C.- LEYES Y TONELAJES	73
VIII.D.- ROCA ENCAJONANTE	74
VIII.E.- ESTRUCTURAS	76
VIII.F.- HIPOTESIS GENETICA	80

IX. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	84
BIBLIOGRAFIA	88
PLANOS E ILUSTRACIONES	92
APENDICE PETROGRAFICO	95
INDICE GENERAL	

RESUMEN

Durante más de dos siglos, el distrito minero de Cananea se ha venido explotando por diferentes elementos, dentro de los cuales el de mayor importancia ha sido el cobre. Cananea, forma parte de una serie de yacimientos, los cuales abundan en la porción sur occidental de los Estados Unidos de Norteamérica. Las características litológicas, estructurales y mineralógicas, así como su distribución en tiempo y espacio permite correlacionarlos entre sí y considerarlos como una gran provincia de pórfidos cupríferos. La distribución de este tipo de depósitos en el planeta permite observar una relación estrecha con zonas de alto tectonismo, como puede observarse a lo largo de la cadena circumpacífica desde Alaska hasta Chile.

La geología a nivel regional proporciona información desde el Paleozoico, representado por rocas metamórficas y una serie de calizas, las cuales se encuentran cubiertas por derrames de rocas volcánicas, cuya naturaleza varía de intermedia a ácida. La edad de estos derrames se ubica a fines del Cretácico y principios del Terciario; posteriormente, toda esta secuencia fue afectada por un intenso tectonismo, durante el cual fueron empla-

1954

zados los intrusivos que se localizan en el área. Durante una etapa final de enfriamiento, los mencionados intrusivos proporcionaron los elementos suficientes para dar origen a la mineralización que se encuentra en el distrito. Debido a la distribución espacio-temporal se puede decir que no toda se llevó a cabo al mismo tiempo, sino que fue en distintos periodos y con diversas intensidades. Un periodo estable posterior, bajo la acción de los agentes meteóricos, ha permitido que las zonas así mineralizadas hayan sufrido un enriquecimiento supergénico.

Las guías mineralógicas para la localización de este tipo de yacimientos han sido los grandes capotes de hierro, la extensa e intensa alteración hidrotermal: la presencia de elementos nativos como cobre, oro y plata, en la superficie y la disseminación de sulfuros de cobre y hierro, así como las estructuras brechoides mineralizadas que con frecuencia se localizan en el distrito.

La baja ley y el gran tonelaje, entre otras características, los distinguen de otros tipos de yacimientos. En esto se basa su explotación, la cual se lleva a cabo a gran escala mediante tajos a cielo abierto. Su minera-

logía es muy sencilla: los minerales primarios son: pirita, calcopirita y bornita con menor cantidad de molibdenita. El producto de enriquecimiento secundario es básicamente calcocita y covelita (sulfuros de cobre). Además de la diseminación y enriquecimientos secundarios existen otros tipos de estructuras mineralizadas, como son brechas, reemplazamiento en calizas (skarns), en menor proporción estructuras vetiformes y concentraciones mecánicas; éstas últimas algunas ocasiones han sido motivo de explotación a nivel gambusinaje.

La roca encajonante por lo regular es un pórfido de composición cuarzomonzonítica muy alterado, con variaciones locales a diorita de cuarzo y en ocasiones rodeado por estructuras brechoides o bien zonas muy fracturadas que constituyen estructuras de stockwork y presentan una serie de vetillas rellenas de cuarzo, óxidos, sulfuros o bien, una combinación de ellos. Precisamente el estudio detallado y cuantificación de estas vetillas, constituyeron una guía estructural para la localización de depósitos explotables en otras zonas del distrito.

CAPITULO I INTRODUCCION

I. INTRODUCCION

Durante muchos años el distrito minero de Cananea ha sido explotado y estudiado; se ha realizado la interpretación de su complicada geología de acuerdo con los conocimientos y adelantos que para cada época se presentan en relación con las disciplinas geológicas.

El distrito minero de Cananea, forma parte de una gran provincia de yacimientos de cobre porfídico, los cuales son especialmente numerosos en la porción sur-oeste de los Estados Unidos de Norteamérica. La observación de la ocurrencia de estos tipos de depósitos y la correlación de ellos entre sí en el planeta, permite pensar, que existe una estrecha relación de estos tipos de depósitos con zonas de intenso tectonismo; se observa un paralelismo entre las franjas cupríferas y los contactos entre placas tectónicas. Esto puede comprobarse si se observa la existencia de estos depósitos a lo largo de la cadena circumpacífica del Continente Americano, desde Alaska hasta Chile.

Existen algunas teorías que tratan de explicar la forma de la ocurrencia de estos tipos de depósitos, pero la que mejores elementos de juicio proporciona para que

pueda ser mas aceptada, es la que propone Sillitoe, (1972), quien asocia el origen de estos yacimientos con la tectónica de placas.

En cuanto a mineralización y alteración hidrotermal de estos modelos de yacimientos, Lowell-Guilbert en 1970, determinaron la distribución tanto vertical como lateral en el depósito de San Manuel Kalamazoo en E.E. U.U., comparando el resultado de éste con 27 yacimientos de su tipo.

En la exploración de estos tipos de depósitos existen algunas guías tanto estructurales como mineralógicas, que permiten su localización. El motivo del presente trabajo es el de presentar una metodología para la exploración de estos tipos de depósitos, al precisar la distribución de la mineralización, modelo de yacimiento patrón de alteración hidrotermal basados en estudios de campo y observación de láminas delgadas, de los principales rasgos observados en el yacimiento de Cananea.

Aunque actualmente, la explotación del mineral de Cananea está orientada hacia los depósitos de cobre diseminado de baja ley, existen algunas estructuras mineralizadas con leyes algo más elevadas, las cuales fueron explotadas en épocas anteriores por minados subterráneos.

como es el caso de la mina la Colorada y algunas otras; así mismo, se presentan depósitos de metasomatismo de contacto en calizas, cuyo reemplazamiento en horizontes favorables por minerales de rendimiento económico, ha permitido que actualmente su exploración y cuantificación sea más intensa.

I.A.- OBJETIVO DEL ESTUDIO

El objetivo del presente trabajo es el de poder implementar una metodología en la exploración de estos tipos de yacimientos, tomando en cuenta las características geológico y metalogénicas, así como su correlación en tiempo y espacio con otros yacimientos que presentan el mismo modelo de depósito, con el fin de poder lograr un mejor conocimiento de ellos y orientar su exploración hacia otras áreas susceptibles de ser explotadas.

I.B.- TRABAJOS ANTERIORES

Si se toma en cuenta el tiempo durante el cual el distrito ha sido explotado, es natural que exista una gran cantidad de trabajos realizados para el mejor entendimiento de la génesis del yacimiento. No obstante se pueden citar algunos trabajos que por su importancia han sido trascendentes y de gran impacto. Dentro de ellos destacan los estudios de geología regional, hechas

por Emmons en 1910 quien hizo el primer levantamiento estratigráfico del distrito. Valentine en 1936 reafirma el estudio hecho por Emmons haciéndolo más detallado y conciso. Mulchay y Velasco en 1954 llevaron a cabo un estudio en el que se pudo observar la correlación que existe entre los afloramientos de Cananea y los de Bisbee, Naco y al Sur de Arizona.

Por otra parte, los estudios detallados con relación a las brechas mineralizadas, se deben en gran parte a Vicente D. Perry. (1961).

Los estudios detallados de la brecha La Colorada (famosa en el mundo entero), se deben a Sevilla y Velasco. Varela en 1972, realiza estudios sobre la turmalina y secuencia paragenética entre vetillas. Meinert (1978) estudia los depósitos de Skarns del distrito y da una relación histórica de éstos.

Navarro y Ochoa (1980), recientemente han realizado trabajos a nivel distrito con el fin de interpretar la evolución geológica del mismo, haciendo un estudio mas detallado de la zona de los Tajos Kino y Colorada-Veta.

I.C. - METODO DE TRABAJO

La elaboración del presente trabajo se llevó a cabo en tres etapas:

- 1).- Trabajo de campo
- 2).- Trabajo de gabinete
- 3).- Laboratorio

1.- El trabajo de campo consistió en el caminamiento de líneas con rumbo aproximado N45E, las cuales se trazaron en un plano geológico-topográfico escala - - - 1:10,000; se procuró que dicho caminamiento cubriera totalmente la zona mineralizada. Durante esta etapa se constataron contactos litológicos, estructuras y zonas de alteración hidrotermal. Se ubicaron áreas cuyas características presentaron cierto interés para la localización de mineralización económicamente explotable. Se colectaron y ubicaron muestras de roca para análisis petrográfico.

2.- El trabajo de gabinete consistió en el traslado de la información a mapas topográficos escala 1:20,000; interpretación de las condiciones geológicas, mineralógicas, de alteración, estructurales, etc.; así como la interpretación de secciones transversales, con base en la información superficial y la de algunos barrenos de

perforación, recopilación de información etc.

3.- El trabajo de laboratorio estuvo restringido a la observación de láminas delgadas al microscopio petrográfico, con el fin de determinar en forma más precisa las características de las unidades litológicas, para su mejor conocimiento a nivel local y regional para poder determinar asociaciones mineralógicas de alteración y su grado de penetración. Se llevaron a cabo algunos análisis cuantitativos por ciertos elementos, tanto de muestras tomadas en superficie, como de algunos núcleos de barrenos previamente escogidos.

CAPITULO II
GEOGRAFIA

II. GEOGRAFIA

II. A.- LOCALIZACION GEOGRAFICA Y EXTENSION

El distrito minero de Cananea se localiza en la parte norte central del estado de Sonora. Sus coordenadas geográficas son 30°00' y 30°57' de latitud norte, 110°18' y 111°00' de longitud oeste del meridiano de Greenwich. Está situado en las serranías que forman la Sierra Madre Occidental en su porción más al NW. Se encuentra como a 220 Km de la ciudad de Hermosillo, capital del estado, a 80 Km de la ciudad fronteriza de Agua Prieta, Son. y como a 40 Km de la línea internacional con Estados Unidos de América. (Fig. No. 1)

La zona mineralizada comprende una extensión de 10 Km de largo por 3.5 Km de ancho, orientándose en una dirección aproximada noreste-suroeste.

II. B.- VIAS DE COMUNICACION

El distrito minero de Cananea queda comunicado a la red carretera Nacional, por medio de la carretera estatal No. 2, misma que comunica a las poblaciones de Agua Prieta, Naco e Imuris, Sonora; en ésta última población dicha carretera entronca con la carretera federal No. 15 México-Noqaes.

De la ciudad de Cananea, salen algunos caminos vecinales

que la comunican con Arizpe, Nacozari y algunas ranche-
rías que la circundan.

Cananea posee una pista de aterrizaje para avionetas,
algunas de las cuales dan servicio a la ciudad de Hermo-
sillo y a otras poblaciones cercanas.

CAPITULO III
FISIOGRAFIA

III. FISIOGRAFIA

El distrito minero de Cananea, se encuentra en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Occidental, en la subprovincia de sierras alargadas (Fig. No. 2, Provincias Fisiográficas). Su máxima elevación está representada por el pico de la sierra La Elenita, con una altura de 2,483 (m.s.n.m.). Al distrito lo circundan otras sierras como son: la sierra de Los Ajos, sierra del Manzanal, sierra de El Alacrán (continuación de las sierras de Cananea), y sierras de Huachuca y San José. Geomorfológicamente, las sierras de Cananea se encuentran en una etapa de juventud a madurez temprana, se observa un aparente rejuvenecimiento de las mismas, como se puede constatar en los arroyos que las atraviesan, donde muchos de ellos se encuentran cortando su propio lecho; asimismo, se puede observar cómo los depósitos de plomonte se encuentran cortados por numerosas corrientes pequeñas.

III. A. - RASGOS OROGRAFICOS

La orografía del distrito minero de Cananea está representado por montañas, serranías y pequeñas cordilleras que vienen a ser la prolongación de la Sierra Madre Occidental. El conjunto parecer ser una serie de bloques fallados que forman pilares y fosas tectónicas, orientadas en dirección norte-sur o noroeste-sureste. Los valles-

intermontanos están cubiertos por depósitos aluviales del Reciente, forman amplios valles extendidos, algunos de ellos por varios kilómetros.

III. B.- RASGOS HIDROGRAFICOS

El drenaje fluvial está representado por una serie de corrientes dendríticas interminentes, con un escurrimiento al este que dan origen a otros arroyos de mayor caudal; éstos a su vez, vienen a ser tributarios de los principales ríos que atraviesan la región, como son el río San Pedro, río Sonora y río Magdalena.

Hacia la porción norte de la Sierra Cerro del Cobre, los arroyos son afluentes del río San Pedro; éste a su vez forma parte del Sistema Gila Colorado en Arizona, E.U.A.; hacia el sur del Distrito los arroyos son tributarios del río Sonora. Al este del Distrito, los arroyos forman parte del sistema río Magdalena.

CAPÍTULO IV
GEOLOGIA REGIONAL

IV. GEOLOGIA REGIONAL

La interpretación de la geología del distrito minero de Cananea ha sido materia de controversia, debido a que las rocas de la región, evidencian una historia geológica compleja, aunado a éste se observa una concurrencia de diversas etapas de hidrotermalismo gracias a lo cual, se han borrado rasgos importantes que complican la interpretación de su evolución geológica. No obstante lo anterior, la constante búsqueda de mayores reservas de cobre de baja o alta ley, ha contribuido a que constantemente se planteen distintas teorías respecto a la evolución geológica de la región.

IV. A.- ESTRATIGRAFIA

La estratigrafía para el distrito minero de Cananea, se encuentra representada por rocas sedimentarias del Paleozoico, algunas parcial o totalmente metamorfoseadas, derrames lávicos, rocas piroclásticas y brechas del Terciario. Tanto las rocas sedimentarias como las volcánicas, han sido intrusionadas por rocas plutónicas e hipabisales, que van desde composición granítica hasta diabásica. Todo este conjunto de rocas se encuentran distribuidas en tiempo y en el espacio, conforme a la siguiente secuencia:

a).- Paleozoico:

1.- Cuarcita Capote.- Esta formación aparentemente es la más antigua que aflora en el distrito: está compuesta por cuarzo y feldespatos en su parte baja, con algunos horizontes laminares en su parte media y una parte superior compuesta por estratos medianos de cuarcita pura. Su espesor es de 120 m. y se correlaciona con la Cuarcita Bolsa del Cámbrico Medio en áreas vecinas. Por posición estratigráfica a ésta formación le corresponde una edad Cámbrico Medio.

2.- Caliza Esperanza.- En forma concordante y sobreyaciendo a la Cuarcita Capote se encuentra la Caliza Esperanza, caracterizada por estratos gruesos en su base, con aislados estratos de estructura laminar. Hacia la cima de esta formación formalizan estratos delgados, lo que representa una característica distintiva, además de la fuerte granatización y mineralización. En los aislados estratos gruesos que se presentan en esta parte, se han encontrado trazas de fósiles pero debido a la fuerte alteración y mineralización, no se han podido clasificar. El espesor para esta formación es de 90 m. y se correlaciona con la Formación Abrigo, del Cámbrico Superior en áreas vecinas. Por posición estratigráfica a ésta formación le corresponde una edad Cámbrico Superior

3.- Caliza Recristalizada Inferior.- En aparente concordancia con la Caliza Esperanza, se encuentra una serie de estratos de caliza arenosa con intercalaciones de caliza recristalizada. Es particular de esta formación un horizonte fosilífero con *Claudópóra*, el cual la hace distinta entre las demás formaciones. Su espesor es de 75 m. y se correlaciona con la Caliza Martín del Devónico en el estado de Arizona. Por posición estratigráfica a esta formación le corresponde una edad Devónico.

4.- Caliza Recristalizada Superior.- El contacto de esta formación con la caliza recristalizada inferior, es concordante y trancional; se marcó con base en un cambio litológico y textura de la caliza. En la parte superior de esta formación se encuentran algunos horizontes granatizados y concentraciones de sílice; también ocurre un horizonte de crinoides. Su espesor es de 30 m. y se correlaciona con la parte inferior de la Formación Escabrosa del Mississípico, en el estado de Arizona. Por posición estratigráfica a esta formación le corresponde una edad Mississípico.

5.- Zona Mineralizada Chivatera.- La Zona Mineralizada Chivatera; sobreyace a las calizas recristalizadas en forma lenticular; realmente se trata de horizontes de

calizas que fueron favorables para la mineralización. Su espesor promedio es de 30 m. y se correlaciona con parte de la Formación Escabrosa del Mississípico, en el estado de Arizona. Por posición estratigráfica a esta formación le corresponde una edad Mississípico.

6.- Caliza Puertecitos. - La porción superior de la serie sedimentaria y en contacto por falla con las calizas recristalizadas, se encuentra la Caliza Puertecitos. Está caracterizada por una serie de calizas gruesas de espesor uniforme: arenosa en su parte baja, cristalina y arenosa en su parte media donde abundan las concentraciones de sílice y granate, con nódulos de calcita y wollastonita. La parte superior se caracteriza por contener cavidades por disolución y brechamientos. Asimismo, pueden observarse horizontes mineralizados con tactitas. Se han encontrado restos de crinoides y braquiópodos mal conservados en calizas recristalizadas. El contacto, tanto en el Capote como en Puertecitos, es estructural por falla con las suprayacentes formaciones volcánicas del mesozóico (Meinert, 1980). Esta edad se correlaciona con la formación Horquilla la cual corresponde a la unidad inferior del grupo Naco del Pensilvánico en áreas vecinas. La Caliza Puertecitos tiene un espesor de 610 m. Por posición estratigráfica a esta formación le corresponde una edad Pensilvánico.

b).- Terciario:

El Terciario en el distrito minero de Cananea, está representado por rocas ígneas volcánicas, plutónicas e hipabisales; cuya secuencia y distribución se describe a continuación:

1.- Rocas Ígneas Extrusivas.

A estas rocas, Valentine (1986), las agrupó en tres formaciones:

Formación Elenita.- La Formación Elenita es la más antigua de la secuencia volcánica, aflora en la porción oeste y sur del distrito y discordante sobre las calizas del Paleozoico. su composición es ácida y consiste generalmente por flujos de riolita y traquita. Dentro de esta formación se pudieron observar rocas bien estratificadas, que por apariencia presentan un carácter sedimentario, con areniscas o grauvacas. Valentine estima para esta formación un espesor de 1.800 a 2.100 m.

Formación Henrieta.- La Formación Henrieta, Valentine la subdividió en tres partes principales.

a).- Una parte inferior compuesta por corrientes de dacitas y latitas, rocas volcánicas fragmentarias gruesas y tobas finas.

b).- En la parte media una emisión riolítica de considerable espesor, llamada "Corriente Riolítica Elisa".

c).- En la parte superior se presentan una serie de derrames traquiandesíticos, brechas de flujo y tobas de composición andesítica principalmente.

Formación Mesa.- La Formación Mesa está constituida por tobas bien estratificadas de composición andesítica y volcánicas fragmentarias gruesas. En su parte superior se encuentra una corriente de gran espesor llamada andesita de San Pedro. El espesor de esta formación se calcula en algo más de 1.500 m. pues la parte superior de esta formación se encuentra cubierta por el aluvión de un amplio valle, que se localiza al este y noreste del distrito minero de Cananea. La edad relativa para las formaciones volcánicas es dudosa, pero se infiere que éstas son posteriores al Paleozoico, de fines del Mesozoico o principios del Terciario.

2.- Rocas ígneas intrusivas plutónicas.

Las rocas plutónicas que se han reconocido hasta la fecha en el distrito son: Granodiorita Cuitaca, Sienita Torre, Diorita Tinaja y Granito Cananea.

Granodiorita Cuitaca.- Se trata de un cuerpo batolítico que presenta una orientación aproximada noroeste-sureste, de varias decenas de kilómetros de longitud. La porción sureste de este cuerpo ha sido estudiada con más detalle. Normalmente consiste de plagioclasa, cuarzo,

algo de biotita y cantidades menores de otros ferromagnesianos y minerales accesorios. En las proximidades de los contactos, la textura muestra leves cambios y las zonas marginales se caracterizan por numerosos diques aplíticos y porfídicos, los cuales se extienden más allá de los contactos hacia las rocas volcánicas y sedimentarias. Estudios de U-Pb en Zircones, han dado una edad de 64 ± 3 m.a. (Anderson y Silver 1977).

Sienita Torre.- La Sienita Torre es de grano mas fino que la Granodiorita Cuitaca. Consiste principalmente de feldespatos (ortoclasas y oligoclasas) y hornblenda, con menos biotita, cuarzo y minerales accesorios. Localmente presenta facies con un contenido abundante de cuarzo, en donde la roca puede clasificarse como granito. Las zonas marginales son de textura algo más fina y existen algunos apófisis afaníticos y porfídicos.

Diorita Tinaja.- La Diorita Tinaja, presenta variaciones notables y considerables en su composición mineralógica, de tal manera que se presentan facies de gabro y anortosita a monzonita y localmente a granito como apófisis marginal. Asimismo, presenta variaciones texturales en cuanto al tamaño del grano, la diorita en sí, es de grano medio y consiste de andesina y hornblenda, con cantidades menores de magnetita, apatita y esfena.

Las facies monzonítica presentan una coloración rosada, debido a que poseen mayor cantidad de ortoclasa que la diorita y se asocia con biotita y hornblenda (Lámina J-15). Las facies básicas son de color gris a gris verdoso y en algunas secciones delgadas, se ha observado augita con lo cual su composición se asemeja a la de un gabro. Una variedad más común que la anterior está compuesta mayormente por labradorita, clasificándose como una anortosita. (Lámina J-16).

Granito Cananea.- El Granito Cananea, es un cuerpo masivo que muestra una zona prominente de fracturas paralelas con leve buzamiento. Este cuerpo tiene dos facies principales: una que varía de granítica gruesa a pegmatítica y está compuesta por ortoclasa, oligoclasa, cuarzo y cantidades menores de hornblenda, magnetita y apatita. En estas facies se han observado feldespatos hasta de 2cm. de largo. La otra facies que es más abundante, presenta hábito porfídico. Los fenocristales son de cuarzo redondeado y la matriz microgranítica está compuesta de ortoclasa, microclina cuarzo y oligoclasa. Asimismo, se observan cantidades menores de biotita, hornblenda, muscovita, zircón y magnetita; pero en términos generales se trata de una roca cuarzofeldespática. El Granito Cananea, contiene segregaciones irregulares y diques densos de aplita, cuya composición es de ortoclasa y cuarzo o solamente ortoclasa. Su edad ha sido bastante

discutida, ya que Emmons (1910), le asignó una edad precámbrica debido a que se encuentra subyaciendo la Cuarcita Capote, que es de edad Cámbrica, sin observarse aparentemente en discordancia con éste. Valentine (1936), lo ubicó en el Terciario, basado en nuevos descubrimientos en superficie y relaciones intrusivas en la mina Capote. Siendo esta consideración la que ha sido aceptada por los geólogos que han llevado a cabo estudios del distrito. Posteriormente, Anderson y Silver (1977), haciendo estudios de U-Pb a zircones de la facies pegmatítica, le asignaron una edad de 1440 ± 15 m.a., comprobándose una vez más su edad precámbrica.

Por las características que presenta, da la impresión de que se trata de un granito de "anatexis", esto es, un cuerpo intrusivo que ha sido parcialmente convertido en un cuerpo con características plásticas, debido a que fue sometido a altas presiones y temperaturas, una vez que ya fue emplazado.

Rocas ígneas intrusivas hipabisales que han sido identificadas en el distrito, normalmente se presentan a manera de diques o "stocks", con una inconfundible textura porfídica y composición variada.

Formación Mariquita.- La Formación Mariquita es un cuerpo tabular que aflora en el flanco suroeste de la sierra Mariquita y al noreste de la principal zona mineralizada;

sigue un rumbo general noroeste-sureste y se extiende hasta la porción noreste del cerro del Teocalli. Presenta en la parte inferior una textura amigdaloidal, en la parte central porfídica y en lo que se considera la parte superior presenta cierto brechamiento; su composición es por lo general andesítica, con algunas facies gabroicas. Se acuerdo con la ocurrencia de afloramiento se considera como una corriente de gran espesor acumulada poco antes de la extrusión de las rocas que componen a la Formación Mesa.

Diques de Diabasa Campana.- Son rocas hipabisales máficas en su mayoría lamprófidos y algunas diabasas. Tienen una orientación NW-SE y un espesor no mayor a los 6 metros (Valentine 1936); afloran entre Puertecitos y la cuenca Capote.

Pórfidos Cuarzo-Monzoníticos.- Valentine (op. cit.) consideró a estas rocas, como una serie de apófisis que se orientan en una franja con rumbo aproximado NW-SE, desde la cuenca Capote hasta el área Sonora Hill y que observa una graduación mineralógica; en el centro de esta franja se observa un buen contenido de fenocristales de cuarzo; éste decrece hacia los extremos y aumenta la relación de fenocristales de feldespato-cuarzo. Estudios más detallados en este tipo de rocas han permitido diferenciar cuatro pórfidos:

- a).- Pórfido feldespático
- b).- Pórfido cuarcífero, tipo La Colorada
- c).- Pórfido 8-110
- d).- Pórfido cuarzo feldespático de grano grueso.

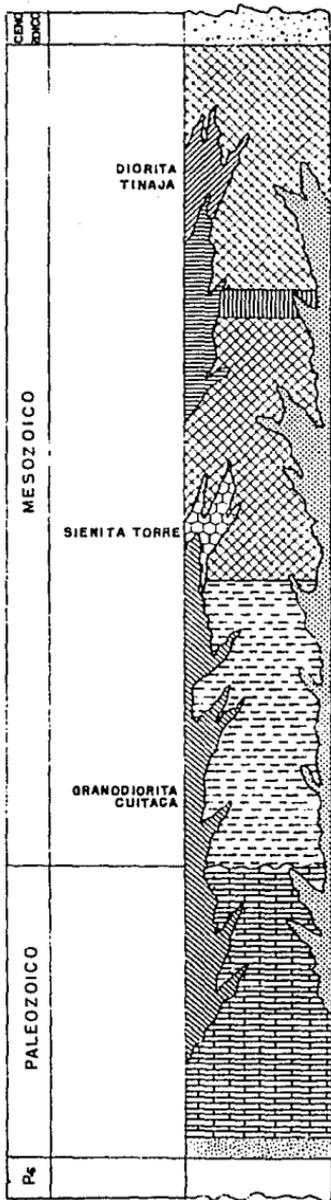
El primero está constituido por 40 a 45% de feldespatos en una matriz afanítica de cuarzo-sericita. El segundo contiene un 3-5% de fenocristales de cuarzo y un 30% de feldespatos en una matriz afanítica de cuarzo sericita. En el pórfido tipo 8-110 sobresalen (hasta un 5% de la roca) fenocristales de cuarzo de 2 mm de diámetro y 35% de feldespatos hasta de 5 mm en una matriz granular media de cuarzo y sericita. El pórfido cuarzo feldespático de grano grueso está constituido por fenocristales grandes y bien definidos de ortoclasa hasta de 4 cm, representando del 10 al 15% del volumen total de la roca, 25% fenocristales de plagioclasa y 2-5% de fenocristales de cuarzo contenidos en una matriz de cuarzo-sericita.

La secuencia de intrusión de los cuerpos descritos anteriormente, no se ha podido precisar. Lo que sí se puede decir es que todas son posteriores a la Formación Henrieta. La diorita Tinaja corta a la Formación Mesa en la porción sureste del distrito. Tampoco se ha podido determinar la edad relativa entre el granito Cananea y la granodiorita Cuitaca, no obstante haberse encontrado buenos contactos, pues éstos aunque bien definidos, no

muestran evidencia de intrusión; esto permite pensar que bien puede tratarse de una diferenciación magmática. La edad relativa entre la diorita Tinaja y la granodiorita Quitaca, no se ha podido determinar debido a que no se observan contactos entre estos dos cuerpos en ninguna parte del área estudiada. (Ver plano geológico anexo). La figura No. 3 muestra la columna estratigráfica para el distrito minero de Cananea y en la figura No. 4 se observa la tabla de correlación estratigráfica para la parte norte central del estado de Sonora, según Mulchay y Velasco (1954).

IV.B.- GEOLOGIA HISTORICA

Sobre un basamento incierto que bien puede ser el granito Cananea, se depositaron una serie de sedimentos calcáreos, de ambientes marinos en apariencia concordantes, los cuales acusan edades que corresponden al Paleozoico. Posteriormente sobrevino un retiro de los mares y quedaron sujetas las rocas a los agentes erosivos, lo que ocasionó un amplio período de erosión. La superficie erosionada fue cubierta por una serie de rocas volcánicas, cuyas edades pueden ser Cretácico Superior o Terciario. Las características que presentan las rocas volcánicas, hacen suponer que durante su extrusión se presentaron fenómenos volcánicos de carácter explosivo (rocas piroclásticas) y algunos flujos eyectados por fisuras. Enseguida vino



CONGLOMERADOS Y GRAVAS

VOLCANICA MESA

DIABASA MARIQUITA

VOLCANICA HENRIETA

PORFIDOS
CUARZO MONZONITICOS

VOLCANICA ELENITA

CALIZAS MARMOLES Y TACTITAS

CUARZITA CAPOTE
GRANITO CANANEA

UNAM
FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL

COLUMNA ESTRATIGAFICA DEL DISTRI-
TO MINERO DE CANANEA SONORA.

DAVID SAUCEDA S. 1984

S/ Esc. J. G. PA EZ. H. Fig. No. 3

un período de intrusión que ocasionó el emplazamiento de los plutones equigranulares, los cuales afectaron a las rocas volcánicas y sedimentarias. Las etapas durante las cuales se depositaron los minerales metálicos, parece ser que ocurrieron a la par o quizás ligeramente posterior a la época de emplazamiento de los pórfidos cuarzo-monzoníticos.

En esta misma época ocurrió la intensa alteración hidrotermal que se presenta en el distrito. La mineralización primaria fué controlada por patrones estructurales bien definidos; asimismo el enriquecimiento que se ha producido sobre la mineralización primaria fue y está siendo gobernada por estos elementos estructurales.

IV.C.- TECTONICA

La geología estructural en el distrito está representada por una serie de fallas normales, las cuales dividieron la zona en grandes bloques dislocados, para dar lugar a la formación de fosas y pilares tectónicos. Las fallas mencionadas tienen orientaciones que van desde noroeste a sureste y se han separado en dos grupos principales: Un grupo con rumbo $N60^{\circ}W$ y otro $N40^{\circ}W$ a $N50^{\circ}W$ (fig.5). El primer grupo está representado por la falla y monoclinnal Elisa, la falla del Capote y la falla del arroyo Tinaja. Las primeras de las fallas forman los límites

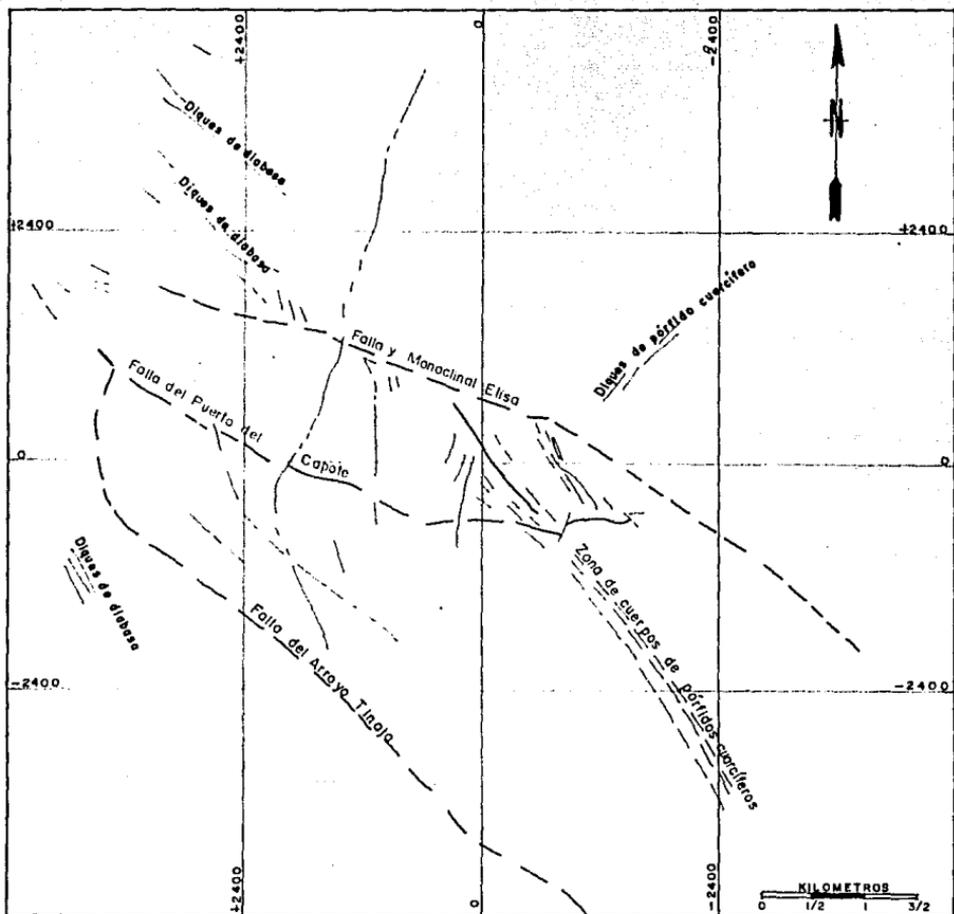


Figura No. 5 FALLAS PRINCIPALES Y ZONAS PROMINENTES DE DIQUES DE PORFIDO CUARCIFERO Y DIABASA DEL MINERAL DE CANANEA SONORA MEX. (Valentine 1936)

del granito Cananea y la cuenca del Capote. La falla del arroyo Tinaja separa la formación Elenita de la Formación Henrieta. Estas fallas tuvieron desplazamientos considerables, probablemente de varios cientos de metros. El segundo grupo está representado por un mayor número de fallas cortas con desplazamientos menores. La falla Ricketts en la cuenca del Capote es un buen ejemplo; está cubierta donde puede observarse que aparentemente forma el control de algunos pórfidos cuarcíferos. Al noreste y en la cuenca del Capote, los diques de diabasa fueron controlados por fracturas de este tipo.

Otro grupo de fallas, corta los sistemas de fallas noroeste-sureste, los rumbos de este nuevo grupo de fallas varían entre norte-sur y N30°E, algunas de las más prominentes y continuas observan una tendencia a ser ocupadas por pórfidos cuarcíferos en forma de diques.

Fracturas en apariencia menos importantes, se encuentran en todas partes del distrito. Algunas fallas parecen contemporáneas a las estructuras prominentes (noroeste-sureste) y otras observan una relación con la mineralización.

CAPITULO V
GUIAS MINERALOGICAS

V. GUIAS MINERALOGICAS

Dentro de las características físicas que presentan los depósitos de cobre porfídico, las guías mineralógicas juegan un papel muy importante en su prospección, ya que presentan asociaciones típicas debido a los productos de un enriquecimiento secundario y la asociación de minerales de alteración que se produce en las rocas pre-existentes, por las soluciones hidrotermales que acompañan a una etapa mineralizante.

V. B. - ALTERACION SECUNDARIA

Normalmente los productos de alteración secundaria están representados por los "sombreros de hierro", que son una mezcla de limonitas jarosílicas, goethíticas y hematíticas; se observan además algunos elementos nativos como son: cobre, oro y plata.

La identificación de las asociaciones mineralógicas contenidas en la limonitas, puede dar una idea de la mineralización subyacente. Así la limonita indígena indica presencia anterior de cobre y la transportada una proporción de hierro superior al cobre, o bien falta de éste. La tabla V-1 muestra los residuos de la oxidación de sulfuros comunes, que permanecen en los sombreros de hierro y que sirven para predecir que tipo de mineralización cabe esperar a profundidad.*

MINERAL	HUECOS	LIMONITA	RETICULADO	C O L O R	COMPOSICION
Pirita	Vacios	Transportada; Halos o dispersa.	Ninguno	Rojo ladrillo	Oligisto + Jarosita +
Pirrotita	Vacios	Transportada; Halos o dispersa.	Masas esponjosas gruesas.	Rojo ladrillo	Oligisto + Jarosita +
Calcopirita	Ocupados	Indígena	Reticulado grueso; fino; pez de limonita	Ocre	Goethita + Oligisto
Bornita	Ocupados	Indígena	Triangular; - costras esponjosas, relieve	Ocre a anaranjado.	Goethita + Oligisto -
Calcocita	Ocupados	Indígena	Relieve, costras	Castaño a -- pardo foca	Goethita +
Tetraedrita	Ocupados	Indígena	Contorno; coagulado	Chocolate	Goethita
Blenda (Ganga inerte)	Vacios	Transportada	Limonita musgo	Amarillo a - pardo	Goethita + Silice +
Blenda (Ganga reactiva)	Ocupados	Indígena	Reticulado - basto; fino; esponja celular	Amarillo a - pardo	Goethita + Silice +
Galena	Ocupados	Indígena	Exfoliado, -- costras, red de diamante - esponja reticular	Ocroso o anaranjado; pardo foca, chocolate obscuro.	Goethita Oligisto
Molibdenita	Ocupados	Indígena	Laminado granudo	Castaño	Goethita
Siderita	Ocupados	Indígena	Exfoliado placa de mica	Amarillo; pardo obscuro	Goethita

TABLA V. 1

Por otra parte, en la mayoría de los capotes de hierro que se localizan en el área, se ha observado la presencia predominante de limonita indígena en forma de masas celulares y costras (chicharrones), de color castaño a ocre, con un contenido mayor de goethita. En otras zonas y en particular en obras de minado subterráneo y a cielo abierto, se hace patente la presencia de sulfato de cobre.

V. B.- ALTERACION PRIMARIA

La alteración primaria se refiere al cambio que sufren las rocas debido a soluciones ascendentes, ricas en agua y volátiles que acompañan a una etapa mineralizante en general, producto del emplazamiento de rocas intrusivas. El tipo de alteración está en relación con la composición original de la roca, la naturaleza química de las soluciones hidrotermales, distancia de la fuente de origen y las variantes físicas, presión y temperatura. El cambio de los minerales es "in situ" y se realiza a nivel molecular, produciéndose un intercambio iónico, de donde el producto final corresponde a un mineral nuevo con características físicas y químicas diferentes, aunque es posible en la mayoría de los casos, identificar el

* (Apuntes de Yacimientos Minerales F.I. Página 308.

Leovigildo Zepeda).

mineral que fué alterado por ejemplo, la alteración de las plagioclasas por sericita, típica en estos depósitos, ya que la sericita se encuentra a manera de "libros", reemplazando a la plagioclasa pero guardando la forma original de la misma.

Con el propósito de explicar la ocurrencia de la alteración primaria en este tipo de depósitos, Lowell y Gilbert en 1970, llevaron a cabo un estudio bien detallado de los depósitos de San Manuel y Kalamazoo (estado de Arizona), y compararon los resultados de éstos con 27 depósitos de su tipo. El modelo que ellos proponen es el que se observa en la figura No. 6. En este mismo modelo se trata de definir el nivel medio de erosión que presentan los depósitos del distrito minero de Cananea, comparándolo con los de Nacozari y El Transval, en Sonora.

a). - ALTERACION PROPILITICA

En esta zona, los principales minerales de alteración están representados por asociaciones tales como:

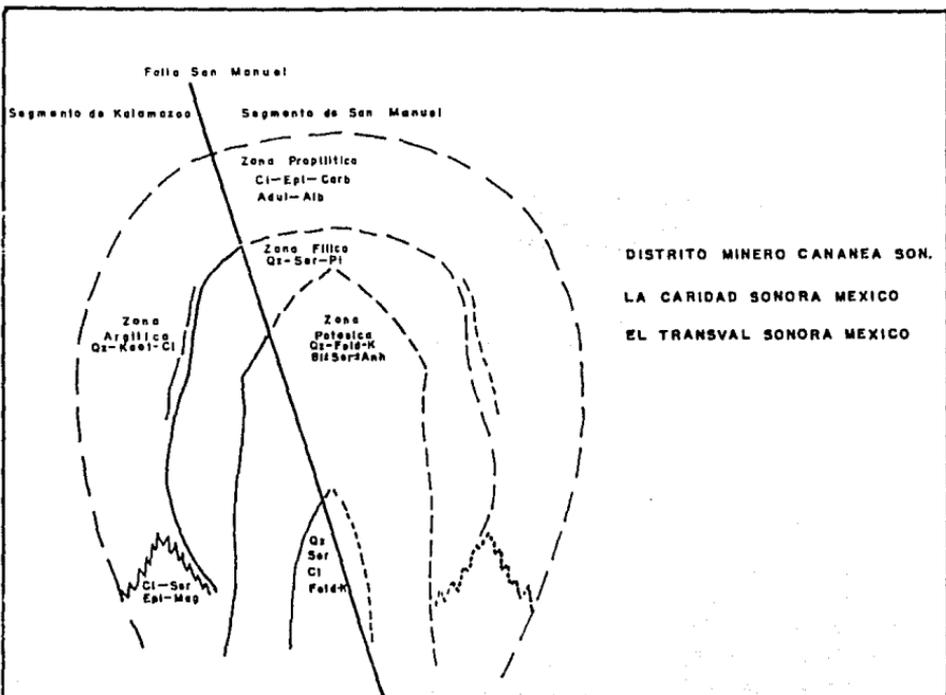
Clorita - Calcita - Caolinita

Clorita - Calcita - Talco

Clorita - Epidota - Calcita

Clorita - Epidota

Cuando existe biotita en la roca original, ésta es reemplazada a lo largo del crucero por clorita y calcita.



DISTRITO MINERO CANANEA SON.
 LA CARIDAD SONORA MEXICO
 EL TRANSVAL SONORA MEXICO

ABREVIATURAS

Adel	Adelita
Alb	Albita
Ank	Anhidrita
Bl	Biotita
Carb	Carbonatos
Ci	Clorita
Epi	Epidota
Feld-K	Feldespato Potosico
Keol	Caolinita
Mag	Magnetita
Pi	Pirita
Qz	Cuarzo
Ser	Sericita

U N A M FACULTAD DE INGENIERIA TESIS PROFESIONAL		
ALTERACION VERTICAL Y LATERAL QUE SE OBSERVAN EN LOS YACIMIENTOS DE TIPO PORFIDO CUPRIFERO. (Segun Lowell y Gilbert 1962)		
SIN ESCALA	J. O. PAEZ.H.	FIG. No 6

Los feldespatos tambien son reemplazados por los mismos minerales. El cuarzo no es atacado en esta zona; la pirita se encuentra reemplazando a la magnetita y rellenando oquedades de las rocas en forma masiva. La epidota se presenta alterando a los anfíboles y piroxenos o bien, en forma intersticial, todo depende de la composición mineralógica original de la roca.

En el área de estudio la alteración propilítica se encuentra formando un halo externo a la principal zona mineralizada con algunas variaciones en cuanto al contenido y abundancia de los minerales de alteración. En la proción sur del distrito, sobre el arroyo Guajolote se observaron concentraciones masivas de pirita rellenando oquedades de las rocas de la Formación Henrieta con abundante clorita y epidota; no se observó calcita pero en lámina delgada (J-68) se pudo observar calcita intersticial en rocas de la Formación Mesa.

En las inmediaciones de la brecha Cananea Duluth, la alteración propilítica se manifiesta alterando a las rocas de la Formación Mesa. Se pudieron observar buenos afloramientos que presentan este tipo de alteración. La clorita y la epidota son predominantes y se presentan alterando principalmente a los feldespatos. Megascópicamente no se observó calcita, pero en lámina delgada se pudo observar en forma un tanto difusa. La pirita se

presenta como un mineral de alteración, en forma diseminada y origina una zona definida que determina un halo de mayor dispersión que la mineralización. En áreas cercanas se observaron zonas de contacto de la diorita, con rocas volcánicas en donde algunas oquedades se encuentran drusas, conteniendo cristales bien desarrollados de epidota (lámina G-27); de acuerdo a la presentación de este mineral se infiere su ocurrencia debido a fases deutéricas, durante el emplazamiento de la diorita más sin embargo, se observa la clorita y epidota como producto de alteración en la roca. Hacia la principal zona mineralizada la alteración propilítica se hace un tanto difusa y difícil de identificar, debido a que se encuentran las rocas afectadas por una fuerte oxidación, observándose los feldespatos y plagioclasas de las mismas totalmente destruidas.

A partir de la breccia Cananea Duluth, el contacto de la zona propilítica con la zona argílica, se extiende hacia el este, perdiéndose en el aluvión. No obstante lo anterior, se pudieron observar algunos afloramientos pequeños dentro del límite establecido, en áreas cercanas a las oficinas generales de la Compañía Minera de Cananea. En la porción NE del distrito, el contacto es predominantemente con la zona filica y se extiende con algunas variaciones en una franja paralela a la principal zona mineralizada. La alteración que presentan las rocas que

aflojan en esta área, parece estar controlada por una zona de breccias, las cuales se alinean en una dirección NW-SE. (Ver plano geológico y de alteraciones anexo.) A la altura del Km. 9 de la carretera Imuris-Cananea, se observa una alteración de rocas arcillosas y propilitizadas de la Formación Mariquita y también sobre la carretera, se observaron zonas propilitizadas con un buen contenido de pirita (2-3%), asociada con epidota. Los fenocristales de plagioclasa se muestran bastante frescos, con algunas inclusiones de epidota, clorita y pirita (p-51). Mas hacia el SE y en rocas aglomeráticas de la Formación Mesa, se observa que la clorita es el principal mineral de alteración, con epidota, arcilla y algunas trazas de pirita. A mayor distancia del contacto con la zona filica y en dirección al NE se observa un aumento en el contenido de calcita (p-28) de (p-27) y hacia el este se penetra a una zona de calcita, cuya ocurrencia es predominantemente en vetillas con algunas variaciones a relleno de cavidades. En dirección sur a partir de esta zona y como a 300 m. el contacto se desvía hacia el NE. y penetra en uno de los repesos de aguas cobrizas. Esto es ocasionado por la presencia de un dique de pórfido cuarcífero, que se orienta en una dirección NE-SW. Más hacia el SE, el contacto se continúa hasta el cerrito de La Cruz de Cananea Vieja, rodeándolo para después tomar una dirección aproximada

E-W y penetrar hacia el pueblo de Cananea.

Desde el p-31 hasta p-20, parecer ser que la alteración fue ocasionada por las soluciones que acompañaron durante el emplazamiento, al pórfido cuarífero que constituye el cerro del Teocali.

En general, la alteración propilítica de esta zona, presenta ligeras variaciones. Se observa un contenido mayor de clorita y epidota, con pirita y arcilla; hacia el contacto con la zona filica, observándose que al alejarse de este contacto es considerable el contenido de calcita. En la porción suroeste del distrito, el contacto entre la alteración propilítica con la alteración argílica, se presenta algo más definido. Se orienta con un rumbo general al SE, siguiendo una alineación con el arroyo Guajolote. Megascópicamente se puede observar cómo la epidota y clorita presentan una asociación característica, en muchas ocasiones con facies silíceas y un contenido variable de pirita.

La figura No. 7 muestra tres diagramas triangulares en donde se ejemplifica en forma esquemática la compatibilidad y estabilidad de los minerales de alteración en la zona propilítica.

b).- ALTERACION ARGILICA

La alteración argílica, como se ha observado en otros depósitos de cobre porfídico, se presenta menos abundante

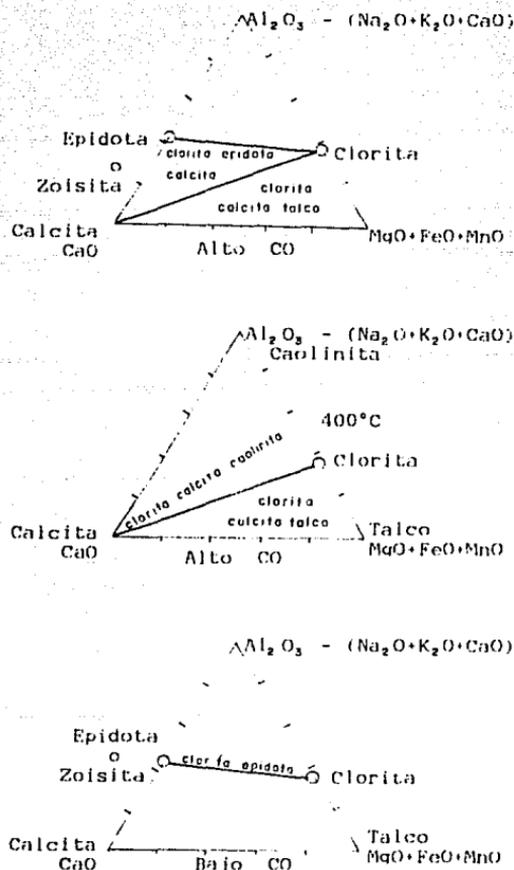


Fig. No 7

Representación gráfica que muestra la compatibilidad y estabilidad de los minerales de alteración en la zona propilitica. El H_2O y SiO_2 se presentan en exceso. La muscovita y la albita son fases comunes adicionales con Na_2O y K_2O como componentes del sistema. (De Tittle-Hicks).

y menos bien desarrollada. Está caracterizada por la presencia de caolinita y montmorillonita, como alteración de las plagioclasas, de clorita reemplazando a la biotita y por encontrarse inafectados el cuarzo y el delospato potásico.

En el área del Guajolote y Campo Frio, la alteración argílica es predominante, abarcando desde el cerro del Guajolote hasta el Alamito. Dicha alteración se encuentra en rocas de la Formación Henrieta, observándose la textura casi totalmente destruidas. Los minerales de alteración que se observaron en esta zona son arcillosos del grupo del caolín y la montmorillonita, así como algo de sericita en menos proporción. La pirita se observa escasa y en algunas zonas casi totalmente ausente. Es característico un buen contenido de alunita, la cual se presenta en vetillas finas y algo más gruesas; las vetillas generalmente se presentan entrelazadas y las más gruesas se observaron con una cierta orientación N-S y NW-SE; esta alunita es probablemente de origen hidrotermal y su apariencia en estructura es la de un stockwork, las cuales en algunas ocasiones se presentan tan nutridas, que por erosión diferencial conforma pequeños promontorios abruptos (fig. No. 9). Cabe hacer notar que en el lado oeste del pórfido 8-110 y casi al nivel del arroyo Guajolote, actualmente se han desarrollado obras mineras a nivel gambusinaje, en donde se extrae turquesa.

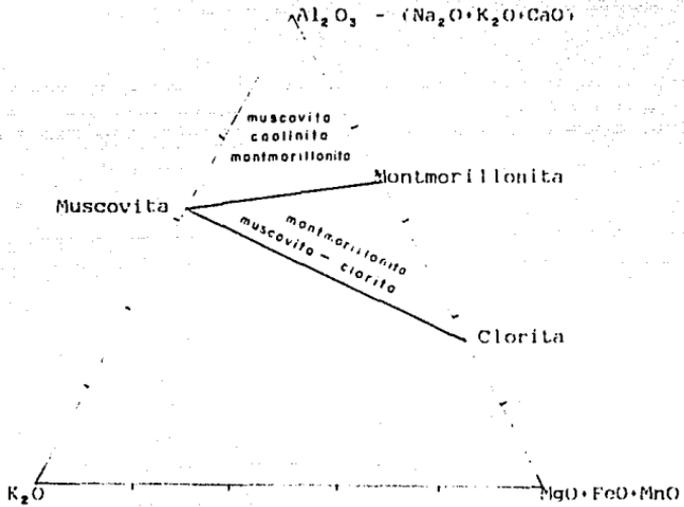


Fig. No 8

Representación gráfica que muestra la compatibilidad y estabilidad de los minerales de alteración en la zona arálica. (De Title-Hicks: 1966)



Fig. No. 9

La turquesa que se observa en esta zona es de origen super genético y se presenta en vetillas de diferentes tamaños, sin una predominancia en su arreglo y orientación. Hacia la porción más al sur del distrito, el contacto de esta zona con la alteración propilítica penetra en los terrenos de lixiviación del tajo Cananea. Hacia el este el contacto de la alteración argílica con la alteración filica es difícil de distinguir; es muy probable que exista un control, debido a fuertes zonas de oxidación que se localizan en esta área. En esta zona, la alteración filica se pone de manifiesto, por la predominancia de los minerales de arcilla.

Hacia la porción norte del distrito la alteración argílica está ausente, pues la zona propilítica se observó en contacto con la zona filica.

La figura No. 8 muestra un diagrama triangular en el cual se observa la compatibilidad y estabilidad de los minerales de alteración en la zona argílica.

c).- ALTERACION FILICA

La alteración filica, como se ha observado en los depósitos del sureste de los Estados Unidos, (con excepción de Ajo), es el resultado del desarrollo de cuarzo, sericita y pirita. La transformación del feldespato potásico en cuarzo y sericita, libera potasio en cantidades suficientes para contribuir a sericitizar el resto de la roca.

En rocas donde se presenta este tipo de alteración, en ocasiones se torna un poco difícil la identificación de la roca original, pero petrográficamente se puede discernir la distribución de los minerales originales; por ejemplo, la plagioclasa se puede distinguir del feldspato potásico, por el arreglo y orientación de los microcristales de sericita, los cuales se presentan siguiendo un patrón budamente concéntrico por el zoneamiento que ocurre en el crecimiento de las plagioclasa, aparte de que, las escamas de sericita son mayores en el feldspato potásico, la sericita que proviene de la biotita se reconoce porque guarda la morfología de la biotita original, independientemente de la presencia del rutilo y la pirita, la cual se libera de la sulfuración del hierro expulsado en el cambio mineral. Este tipo de alteración está presente en el distrito de Cananea, y se distribuye muy ampliamente, ocurriendo en ella la mayoría de los depósitos de cobre de baja ley, que han sufrido enriquecimiento. El contacto de ésta con la zona argílica es transitoria, pero puede definirse por la disminución del contenido de cuarzo, como mosaico ó en vetillas y en ocasiones una disminución en el contenido de pirita, aparte de que, algunas veces se puede observar la presencia de montmorillonita y caolín y algunos otros minerales arcillosos, las rocas con alteración filica poseen un grado de dureza un tanto mayor que las rocas con altera-

ción argílica, salvo raras excepciones, pues en ocasiones zonas altamente oxidadas se localizan en rocas con alteración filíca; las soluciones que son producidas durante la oxidación atacan principalmente los feldespatos ya sericitizados y los destruyen parcial o totalmente. Las rocas así afectadas se encuentran más blandas y algunas veces forman pequeños promontorios debido precisamente a los efectos de la erosión diferencial.

La figura No. 10 muestra un diagrama triangular en donde se observa la compatibilidad y estabilidad de los minerales de alteración en la zona filíca y potásica.

d).- ALTERACION POTASICA:

La alteración potásica viene a ser el centro del modelo propuesto por Lowell-Guilbert. Los minerales que caracterizan a este tipo de alteración son la biotita, feldespato potásico, cuarzo, sericita, anhidrita, calcopirita, molibdenita, pirita, clorita, (intercrecida con la biotita) bornita (en el centro de la alteración) y magnetita.

La hornblenda es reemplazada por la biotita. La pirita normalmente se presenta en una relación 1:3 en el centro, con la calcopirita; así mismo, estos minerales constituyen del 2 al 4% de volúmen total de los minerales.

Este tipo de alteración se espera encontrar en barrenos de exploración profundos. Velasco y Sevilla (1957), en

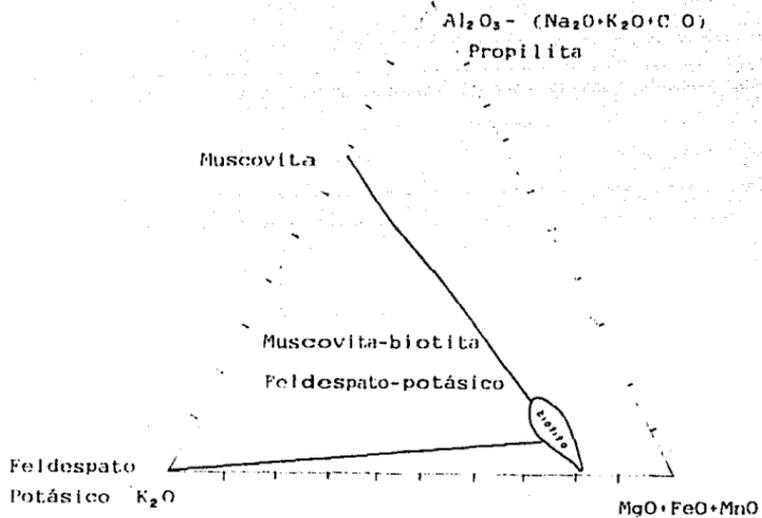


Fig. No 10

Representación gráfica que muestra la compatibilidad y estabilidad de los minerales de alteración de las zonas Filica y Potásica.

estudios de exploración profunda del pórfido de la Colorada, reconocieron un zoncamiento bien marcado. El pórfido lo clasificaron como una monzonita de cuarzo, con fenocristales de feldespato potásico de 5 mm. de longitud en promedio y localmente con 25 mm. Fenocristales de cuarzo abundantes y redondeados de 2 a 4 mm. de diámetro, éstos se encuentran implantados en una matriz que varía de aplítica a cristalina fina, consistente de cuarzo y feldespato potásico; la biotita se encuentra como un constituyente común del pórfido. Existen cantidades menores de flogopita, carbonatos, apatita, zircón y rutilo. Estos autores observaron que el cuerpo principal del pórfido, se encuentra directamente abajo del yacimiento de alta ley de la Colorada. Así mismo observaron que la periferia y en la parte superior del cuerpo principal del pórfido, presenta fuerte sericitización y que el contenido de biotita y feldespato potásico, aumenta hacia la parte central y a profundidad del pórfido. Por otra parte, en la porción norte-central del pórfido B-110, se presenta feldespato potásico, parcialmente fresco y disseminación débil de rosetas de turmalina. A profundidad el feldespato potásico así como la biotita, aumentan. Como se puede observar, las características que presentan estos pórfidos, podrían evidenciar una alteración potásica hacia la porción central del cuerpo; pero de acuerdo con la asociación mineralógica que se ha observado

en otros depósitos, ésta no guarda la proporción y relación adecuada para poderlas definir como alteración potásica.

CAPÍTULO VI
GUIAS ESTRUCTURALES

VI. GUIAS ESTRUCTURALES

Los elementos estructurales considerados como guías están representados por una serie de pequeños cuerpos intrusivos a manera de "stocks" con textura esencialmente porfídica y composición ácida a intermedia, rodeados por lo general de zonas brechadas. La mineralización, extensa e intensa alteración que se encuentra en el distrito, está muy relacionada con estos elementos estructurales. Las brechas mineralizadas, que con suma frecuencia se localizan en el área y que generalmente están asociadas con los pórfidos, constituyen buenas guías para la prospección de estos tipos de depósitos. Se considera que estas estructuras fueron los principales conductos por donde ascendieron las sustancias mineralizantes y a su vez, fueron los principales receptáculos en la concentración de mineral de rendimiento económico. En general se distinguen tres tipos de brechas: La tipo Capote, Cananea-Duluth y La Colorada. Las brechas tipo Capote son chimeneas casi verticales y circular en planta; la mineralización ocurre erráticamente distribuida a lo largo de la estructura en forma de mantos. Los fragmentos de roca, que constituyen la brecha Capote, consisten de cuarcita, caliza, granito y pórfido cementados por calcopirita-bornita-calcocita-cuarzo y carbonatos.

Las brechas tipo Cananea-Duluth tienen una forma ovalada vertical, la mineralización por lo regular se encuentra

en la orilla de la chimenea y se presenta cementando fragmentos brechados de roca volcánica; su interior se compone de rocas volcánicas brechadas y débilmente mineralizada. La mineralización consiste de calcopirita-esfalerita-cuarzo y menor galena, carbonatos y adularia. Algunas brechas similares son América-Bonanza, Demócrata y Henrieta.

La brecha Tipo La Colorada es bastante distintiva en el aspecto estructural y mineralógico. Esta íntimamente relacionada a un apófisis de pórfido de cuarzo el cual se abre a profundidad. Presenta una capa exterior compuesta principalmente de cuarzo vítreo y flogopita con mineralización de sulfuros dentro de esta cobertura. Sulfuros masivos y brechados forman una gran parte de núcleo. La mineralización consiste principalmente de calcopirita, bornita, molibdenita con abundante pirita en la periferia (Perry 1961).

Otros de los elementos estructurales que se pueden considerar como guías en la prospección de pórfidos cupríferos son las vetillas. Estas estructuras son pequeñas fracturas rellenas de mineral, las cuales se han formado, regularmente, por el emplazamiento de los pórfidos. De acuerdo con la ocurrencia en tiempo y espacio y contenido mineralógico, se han podido distinguir tres tipos de vetillas en el distrito:

Vetillas tipo "A".- Se encuentran constituidas esencialmente por cuarzo anedral o subedral. De acuerdo con su ocurrencia, es posible relacionarlas con zonas mineralizadas de alto rendimiento económico y se considera que fueron las primeras que se formaron durante la etapa de mineralización.

Vetillas tipo "B".- Estas estructuras se encuentran constituidas por cuarzo y óxidos o bien cuarzos y sulfuros guardando tanto los sulfuros como los óxidos una simetría concéntrica respecto al cuarzo. La ocurrencia de éstas en el campo permite inferir una formación posterior a las vetillas tipo "A" y su relación con la mineralización es muy estrecha, pues se localizan en zonas económicamente explotables.

Vetillas tipo "D".- Estas estructuras se encuentran constituidas esencialmente por sulfuros u óxidos o bien una mezcla de ellos sin tomar en cuenta un contenido mayor o menor de los mismos, pues todo depende del grado de penetración de la oxidación. Su ocurrencia en el campo permite observar una formación posterior a las vetillas tipo "B" ya que con suma frecuencia se les encuentra cortándolas y su relación con la mineralización indican que se localizan en zonas mineralizadas con bajo contenido de cobre. Algunas de estas vetillas presentan una franja de alteración a ambos lados; dicha alteración generalmente es de cuarzo-sericita.

CAPÍTULO VII
GUIAS GEOFISICAS DE EXPLORACION

VII.- GUIAS GEOFISICAS DE EXPLORACION

La aplicación de la geofísica a la prospección minera en general, es muy importante, ya que mediante su empleo es posible localizar depósitos minerales en el subsuelo, aprovechándose para ello de algunas de las propiedades físicas de dichos minerales como son: su densidad, sus propiedades magnéticas o eléctricas, su elasticidad, su radio actividad, etc. Se puede decir que hoy en día, no existe programa de prospección minera en donde no sea incluido algún método geofísico que complemente o de mayor apoyo a dicha prospección. Existen varios métodos de prospección tales como el gravimétrico, magnético, sísmico, eléctrico, radiométrico etc.; dentro de éstos, y para el caso que nos ocupa el método eléctrico es uno de los mas empleados y dentro de sus modalidades el método de polarización inducida, se ajusta más a las características del yacimiento ya que en esencia los minerales de mena son sulfuros de cobre y, aunque su ocurrencia es diseminada existen concentraciones locales que permiten su explotación.

VII. A.- METODO ELECTRICO

El método eléctrico de prospección geofísica, se basa en el estudio de campos de potencial eléctrico ya sean éstos naturales, o sea los ya existentes en la corteza terrestre, o bien los provocados artificialmente dentro

de la misma. Mediante la medición de estos campos es posible interpretar las variaciones de los mismos y así poder determinar la situación en el subsuelo de criaderos minerales o reconocer estructuras o accidentes geológicos. Dentro de las modalidades del método, más empleadas, se puede decir que son aquellas en donde se produce un campo eléctrico dentro de la corteza terrestre.

Los campos de potencial eléctrico, que se estudian en prospección son muy variados. En primer lugar un criadero mineral puede actuar como una batería y crear su propio campo eléctrico, constituyendo un método especial llamado de autopotencial; pero lo más frecuente es crear un campo eléctrico artificial de distintos tipos mediante el envío de energía eléctrica al terreno. De la deformación que se observa de dicho campo se pueden deducir las características geológicas mineras del subsuelo.

Los instrumentos que hoy se emplean se basan en los principios bajo los cuales fueron construidos los primeros instrumentos, implementándose una serie de modificaciones de acuerdo a éstos, en función de los adelantos de la electrónica.

Una ventaja que contienen los métodos eléctricos sobre los gravimétricos y magnéticos es el poder controlar la profundidad de penetración y en alguna de las modalidades se llega a hacer de un modo bastante concreto, como ocurre, por ejemplo, en el método de resistividades con

el que se ha llegado hasta la técnica de los sondeos eléctricos, llamados así porque de ellos pueden deducirse resultados comparables a los de los sondeos mecánicos (barrenos de exploración).

Desde el principio de su desarrollo, estos métodos se han aplicado principalmente a la exploración minera; primero limitándose a la localización de sulfuros más conductores y a éstos siguieron los estudios estructurales pero hoy se emplean mucho para seguir filones no conductores, como los de fluorita o los diques de cuarzo aurífero y otros de tipo similar. Además, en obras públicas, se aplican los métodos eléctricos en la determinación de la profundidad de la roca firme, en las presas y túneles, en localizar escapes de aguas en presas, en ciertas investigaciones en los puertos y en otros muchos problemas.

a).- POLARIZACION INDUCIDA

Dentro de las modalidades de los métodos eléctricos el de polarización inducida se puede decir que es uno de los más recientes. Su descubrimiento se remonta hacia el año de 1920, cuando Schlumberger, padre de los métodos eléctricos, al estar realizando un estudio de resistividad sobre una masa de pirita encontró que, al aplicar una diferencia de potencial a los electrodos AB de corriente de un dispositivo AMNB y efectuar la medida de los electrodos de potencial MN, Fig. VII-1, el potencial detectado en ellos no caía bruscamente al interrumpir el circuito,

sino que tardaba un cierto tiempo en desaparecer, siguiendo

una curva exponencial parecida a una hipérbola equilátera.

Schlumberger atribuyó este fenómeno a una "polarización del volumen que afectaba a toda la masa del electrolito alrededor de las tomas de tierra". (Cantos Figuerola 1974).

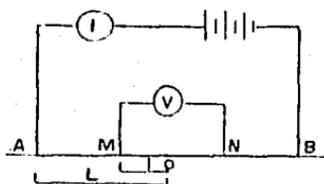


Fig. VII-1.

Posteriormente, tanto en Estados Unidos como en la Unión Soviética principalmente, se han venido aplicando técnicas e implementando algunos instrumentos, tendientes a ir mejorando el método. Quienes probablemente fueron los primeros en desarrollar un aparato y una técnica operativa para la práctica del método en la investigación de sulfuros de baja ley fueron D.F. Bleil y A.A. Brant en 1952 (op.cit.).

El marco técnico bajo el cual se lleva a cabo el método es el siguiente:

Los efectos de P.I. (Polarización Inducida), ocurren siempre que en una determinada masa de terreno sobre la que efectuamos la medida existen conductores iónicos y metálicos a la vez.

Los conductores iónicos o electrolíticos son aquéllos que conducen la electricidad por medio de iones. Estos

iones llenan los espacios impregnados de agua de las rocas tales como los silicatos (arcillas).

Los conductores metálicos o electrónicos son aquéllos que conducen la electricidad por medio de electrones. Los conductores electrónicos naturales incluyen la mayoría de los sulfuros de los metales base algunos óxidos y el grafito. Este grupo de minerales se llama comúnmente minerales metálicos.

El método de P.I. está basado en las propiedades eléctricas mostradas por los conductores electrónicos embebidos en una matriz conductora electrolítica. La figura VII.2 ilustra el fenómeno:

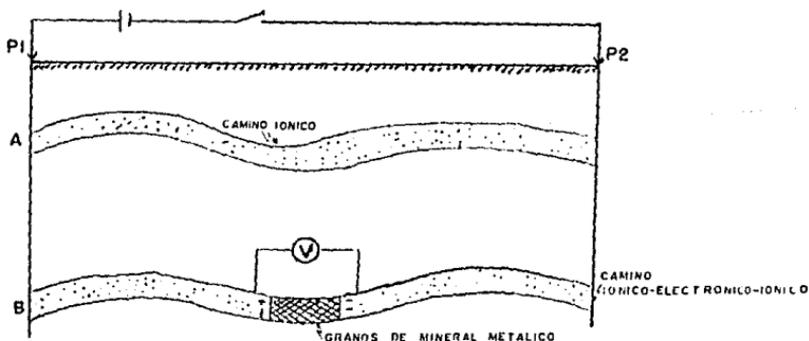


Figura VII.2

En una sección del terreno se inyecta una corriente continua por medio de los electrodos P1 y P2. En la capa A la corriente es transmitida por los electrolitos presentes en los poros de las rocas de esa capa. En la capa B, sin embargo, el paso de estos iones es interrumpido por

un grano mineral metálico que, como los metales, conduce la corriente por medio de electrones.

Por ello en la cara izquierda, de entrada de corriente se apilan iones positivos y negativos en la derecha, por donde sale la corriente. Las cargas iónicas formadas crean un voltaje que tiende a oponerse al flujo de corriente que cruza la partícula y ésta se dice que está polarizada.

Cuando se interrumpe la corriente sigue existiendo un cierto tiempo un voltaje residual debido a que estas cargas iónicas depositadas sobre las caras de las partículas se difunden lentamente dentro de los poros del electrolito. Este voltaje residual que decrece rápidamente con el tiempo es el que origina el efecto de P.I.

Se han desarrollado dos métodos principales para medir los efectos de P.I. en la exploración minera: el Método de Impulso Transitorio y el Método de Frecuencia Variable. En el M.I.T. la polarización se detecta como una pequeña corriente amortiguándose, que fluye después que una corriente continua es aplicada conectándose y desconectándose a intervalos regulares de tiempo. La medida real se hace en términos de la pequeña cantidad de tiempo en que esta corriente fluye. Esta medida se describe en la literatura geofísica como realizada en el dominio del tiempo (Seigel 1959).

En el M.F.V., se efectúa la medida en términos del efecto

producido por el cambio de frecuencia de la corriente aplicada (el dominio de la frecuencia) y la polarización en el terreno se detecta por la disminución de la resistividad aparente cuando se aumenta la frecuencia de la corriente aplicada (Marshall y Madden, 1959).

De acuerdo con José Cantos Figuerola 1974 (tratado de Geofísica Aplicada). La técnica de P.I. se desarrolló en un principio para investigar depósitos de tipo porfídico y es quizás el único procedimiento seguro de detección de sulfuros diseminados ocultos. Sin embargo, el método trabaja también o quizás mejor sobre sulfuros cuya ocurrencia puede ser de semimasivos a masivos, contrariamente a lo que se creía en un principio, porque da una mayor respuesta cuanto mayor es el porcentaje de volumen de sulfuro. De igual manera comenta este autor en su obra que en los últimos años se han hecho estudios comparativos sobre la utilidad de ambos métodos (M.I.T. y M.F.V.) realizando prospecciones con uno y otro en una misma zona mineralizada, dando sorprendentemente resultados similares tanto en la delimitación del área mineralizada como en el efecto de P.I. de la masa mineralizada.

CAPITULO VIII
YACIMIENTOS MINERALES

VIII.- YACIMIENTOS MINERALES

VIII. A.- PARAGENESIS.-

Las múltiples intrusiones que han ocurrido en el distrito minero de Cananea tanto en tiempo como en espacio, han ocasionado fracturamiento y traslape de zonas de alteración y mineralización reflejándose como vetillas cortadas o desplazadas por otras.

De la observación de la mineralogía de las vetillas, Navarro y Ochoa (1980), proponen una secuencia paragenética, basada en estudios de los tajos Kino y Colorada-Veta, así como en las observaciones paragenéticas estudiadas por Varela (1971) y los criterios utilizados por Hunt Gustafson Langerfeldt y otros (1971), para El Salvador, República de Chile, y modificada y ampliada por los geólogos de Cananea. Esta secuencia está definida por las siguientes generaciones de vetillas:

Vetillas Tipo A.- Presentan cuarzo subedral y anedral.

Vetillas Tipo B.- Cuarzo con sulfuros y cuarzo con óxidos guardando tanto los sulfuros como los óxidos una simetría concéntrica respecto al cuarzo.

Vetillas Tipo Bm.- Cuarzo con molibdeno guardando este último una simetría concéntrica respecto al cuarzo.

Vetillas Tipo M. Molibdeno.

Vetillas Tipo D. Sulfuros y óxidos de fierro.

Vetillas Tipo Dm. Sulfuros y molibdeno.

Vetillas Tipo DI. Sulfuros con una franja de alteración sericitica en los bordes.

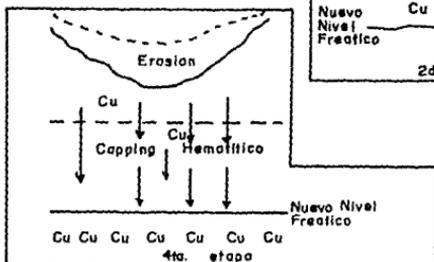
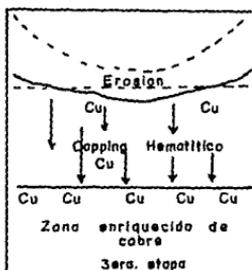
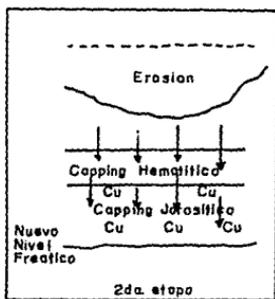
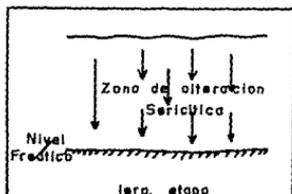
VIII. B.- ALTERACION SUPERGENICA

La alteración supergénica en este tipo de yacimientos es típica y constituye uno de los ejemplos más significativos para la determinación de los elementos que intervienen en su formación; se caracteriza por el "capping" o sombrero de alteración que aparece sobre el pórfido cuprífero. El sombrero de alteración puede ser:

a).- Capping hematítico.- Se forma cuando hay suficiente pirita, misma que al combinarse con el agua meteórica rica en bióxido de carbono, proporciona el suficiente ácido sulfúrico para lixiviar y redepositar mas abajo el cobre que pudiera contener durante este proceso.

Al parecer este proceso se efectúa en varias ocasiones para así lograr concentraciones económicamente explotables, interviniendo además una fluctuación más o menos constante del nivel freático, durante su formación - (fig. No. 11).

El proceso de alteración hematítica se presenta por lo general en donde ha ocurrido una alteración hipogénica filica.



U N A M
FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL

CICLOS DE ALTERACION SUPERGENICA

SIN ESCALA

J. G. PAEZ.H.

FIG. No 11

b).- Capping jarosítico.- Presenta un contenido mayor de sulfuros (pirita y calcopirita) no hay enriquecimiento multicíclico de cobre hacia abajo. Se presenta en zonas de alteración filica.

c).- Capping goethítico.- Generalmente este tipo de alteración contiene pocos sulfuros. Se forma sobre una alteración hipogénica potásica o propilitica. No hay enriquecimiento multicíclico hacia abajo sino que el cobre queda "in situ". Su mineralogía es limonita autógena o transportada, malaquita, óxidos de manganeso, hierro y cobre. Lo cual nos hace pensar que la geoquímica de sedimentos de arroyo no es apropiada en esta zona ya que su dispersión es muy restringida.

VIII. C.- LEYES Y TONELAJE

A excepción de las estructuras brechoides mineralizadas y las zonas de reemplazamiento en calizas, generalmente los yacimientos de pórfidos cupríferos se caracterizan por la mineralización de cobre diseminado principalmente, constituyendo por lo tanto depósitos de gran tonelaje y baja ley. Las zonas económicamente explotables presentan leyes de cobre mayores al 0.5% y comúnmente se presentan en zonas de contacto pórfido-volcánica y rocas volcánicas.

En el caso particular el mayor volumen de mineral de cobre ha sido localizado en rocas volcánicas de la Formación Mesa.

Los intrusivos, cuarcíferos y cuarzo feldespáticos, generalmente presentan un bajo contenido de mineral de cobre (menos del 0.3%) y en ocasiones son estériles. En ellos se localiza la mayor concentración de mineral primario que consiste generalmente de pirita en volumen mayor, calcopirita, galena en menor cantidad y molibdenita.

La mineralización secundaria (supergénica) se presenta formando franjas enriquecidas de calcopirita, se localizan a lo largo de fracturas y zona de cizallamiento con dirección norte-sur a menudo cortadas por zonas de brechamiento en cuyo caso la mineralización toma la forma circular o irregular de la estructura brechada (Velasco 1966). En estas zonas de cizallamiento la oxidación penetra a una profundidad considerablemente mayor del nivel normal de oxidación. Las chimeneas brechoides han sido los cuerpos mineralizados más ricos que se han encontrado en Cananea-Duluth y la Colorado, las cuales fueron descritas en el capítulo de guías estructurales. Hasta 1980 se estimaba un total de 1,850 millones de toneladas métricas de mineral con una ley promedio de 0.70% de cobre, y a la fecha se considera que las reservas ascienden a más de 2,000 millones de toneladas.

VIII. D. - Roca Encajonante.- En la gran mayoría de este tipo de yacimientos, las rocas encajonantes las constituyen volcánicas de composición intermedia y ácida, así

como pórfidos cuarzomonzoníticos, feldespáticos y cuarzo feldespáticos; algunos yacimientos (Morenci, ajo, etc.), presentan modelos en cuyo caso se apegan más al modelo de la granodiorita. El yacimiento de Cananea observa una relación más directa con el modelo de pórfidos para lo cual se han identificado cuatro tipos de rocas porfídicas:

- 1.- Pórfido feldespático.
- 2.- Pórfido cuarcífero tipo la Colorada.
- 3.- Pórfido cuarcífero tipo 8-110.
- 4.- Pórfido cuarzo feldespático de grano grueso.

El pórfido feldespático está constituido de 40 a 45% de fenocristales de feldespatos incluidos en una matriz afanítica de cuarzo y sericita. El pórfido cuarcífero tipo la Colorada, contiene de 3 a 5% de fenocristales de cuarzo y un 30% de fenocristales de feldespatos implantados también en una matriz afanítica de cuarzo-sericita. El pórfido cuarcífero tipo 8-110 presenta hasta un 5% de fenocristales de cuarzo con un diámetro de 2 mm., y un 35% de fenocristales de feldespatos de hasta 5 mm. de largo, incluidos también en una matriz de cuarzo sericita. El pórfido cuarzo feldespático de grano grueso está constituido por fenocristales grandes y bien definidos de ortoclasa, hasta de 4 cm. representando del 10 al 15% de volumen total de la roca; 25% de fenocristales de plagioclasa y 2-5% de fenocristales de cuarzo conteni-

dos en una matriz de cuarzo sericita. En la secuencia de emplazamiento de las rocas porfídicas, se sugiere que se inició con el pórfido feldespático, generalmente rico en pirita, seguido por los pórfidos cuarcíferos tipo la Colorada y 8-110 en los cuales se observa una mineralización de calcopirita, bornita, molibdenita y poca pirita. Finalmente, se considera que el pórfido cuarzo feldespático de grano grueso intrusionó al pórfido 8-110, presentando el primero un escaso contenido de calcopirita y abundante pirita. La secuencia de emplazamiento de estos pórfidos observa un marcado control estructural a nivel regional.

VIII. E.- ESTRUCTURAS

Si se toma en cuenta el sistema estructural que constituye los complejos yacimientos de pórfido cuprífero, las estructuras brechoideas juegan un papel muy importante ya que, generalmente, forman depósitos con un alto contenido de mineral económicamente explotable. Es por esto que en el presente capítulo se presenta en forma más detallada, las descripciones y contenido mineralógico de las diversas estructuras brechoideas que se localizan en la zona de estudio.

Una chimenea brechoide mineralizada es una estructura brechada premineral, la cual ha controlado la circulación y la depositación de minerales. Se compone de fragmentos de roca angulares o redondeados, implantados en una matriz

mineralizada. Una chimenea vista en planta puede tener una forma circular, ovalada o una forma poligonal aproximada, con un eje fuertemente inclinado o vertical proporcionalmente mucho mayor que sus dimensiones horizontales. La chimenea es una estructura casi vertical de roca brechada cementada con minerales de mena y ganga.

Hay numerosos estados de desarrollo de las chimeneas brechoides relacionados conjuntamente en tiempo y espacio a actividades magmáticas. Una compilación de similitudes y diferencias en varias chimeneas, sugiere que la proximidad o distancia de un magma proporciona sólidas bases genéticas para la descripción de los siguientes tipos representativos. (Vicente D. Perry 1961).

TIPO CANANEA DULUTH.- La estructura es un anillo de forma ovalada que tiene 356 m. x 90 m. en planta, que corta con un ángulo bajo, a capas de tobas y otras rocas volcánicas. Esto ha sido definido por sondeos hasta una profundidad de 610 m. No existen rocas intrusivas dentro o cerca de la chimenea, por lo tanto la distancia de cualquier magma profundo que esté relacionado con la estructura, debe ser inferido. La mena sigue la periferia de la chimenea, se encuentra como cementante de rocas intensamente brechadas y está compuesta por escasa galena, esfalerita, calcopirita, cuarzo, carbonados y escasa adularia. Hay definitivamente un zoneamiento vertical de sulfuros con poca galena, continuando esfalerita e

incrementándose el contenido de calcopirita a niveles mas profundos. Hacia el interior de la estructura se observa un decremento en la intensidad del brechamiento presentándose débil y grueso, lo cual indica un suave derrumbamiento relativo de capas delgada de tobas conservando una orientación en forma de losa dentro de la brecha. A través del núcleo central se encuentran distribuidas grandes cavidades, las cuales están frecuentemente forradas con cristales de cuarzo y carbonatos.

La chimenea a profundidad asume una forma algo angular y poligonal, determinada por la actitud (rumbo y echado), de planos de intersección de fracturas regionales. Sin embargo, a cada intersección el límite de la chimenea curva gradualmente de un plano de fractura al otro, redondeando así las esquinas y preservando un cercado toscamente elíptico.

TIPO CAPOTE.- Dentro de las estructuras brechoideas que se observan en el área de estudio, la tipo Capote fue localizada como una estructura relativamente plana echada hacia el este y compuesta de un depósito de calizas reemplazadas, las cuales cambian hacia abajo a un brechamiento en forma de óvalo bien desarrollado que corta a una sección gruesa de cuarcita y que continúa al granito. En sondeos profundos (490 m.), la chimenea brechoide está confinada por una pared de granito y está compuesta de fragmentos subangulares o bien redondeados de granito

y cuarcita. Debido a que la base de la formación de cuarcita fuera de la chimenea, está a 355 m. debajo de la superficie, los fragmentos de cuarcita dentro de la chimenea brechoide deben haber caído un mínimo de 355 m. para alcanzar la presente localización. Todos los fragmentos de roca están apretadamente cementados con calcopirita, bornita, calcocita, cuarzo y carbonatos. Cabe hacer notar que el depósito mineral localizado en esta estructura fue uno de los primeros yacimientos ricos en Cananea. Otras estructuras que presentan similitud con ésta son: El Oversight que se localiza 610 m. al sur-este de El Capote y la brecha 301 que se encuentra localizada en la porción sureste del distrito.

TIPO BRECHA ESTE.- Este tipo de estructura es la más común dentro de la zona de estudio, siendo descubierta la primera de ellas inmediatamente al noreste de la chimenea mineralizada La Colorada. Su existencia se limita a un brechamiento ocasionado por esfuerzos durante la intrusión del cuerpo plutónico; en este lugar se observan lengüetas irregulares y diques de pórfido cuarzo-monzonítico que penetran y asimilan fragmentos de rocas volcánicas preexistentes.

Un rasgo característico de esta estructura en su terminación ascendente como dos apófisis separadas que ocurren debajo de un techo de roca no brechada. Estos dos apófisis se extienden hacia abajo y se unen cerca de 366 metros

debajo de la superficie y a niveles profundos, el sistema íntegro se conforma como una sola chimenea cuyas dimensiones en planta son aproximadamente de 240 metros por 90 metros.

VIII. F.- HIPOTESIS GENÉTICA.- Observando la relación que hay entre los diferentes yacimientos de tipo pórfido cuprífero a nivel mundial, se ha podido constatar que están íntimamente relacionados con zonas de alto tectonismo. (Sillitoe 1971).

De acuerdo con la tectónica de placas, estos yacimientos tienen como origen una acumulación de minerales a uno y otro lado de los "RIFTS", producto de la emanación de soluciones ricas en elementos mineralizantes que provienen del manto superior. Al ser acumulados en la placa oceánica, son trasladados hacia los bordes de la placa continental. En esta zona, la placa oceánica se desliza por debajo de la placa continental por ser más densa que ésta, arrastrando además consigo misma los sedimentos que se acumulan en la zona de subducción, los cuales provienen principalmente, de la desintegración de las rocas continentales. Al llegar a una profundidad de más o menos 10 Km., los sedimentos y la acumulación de minerales, debido a la presión, temperatura y contraste de densidad, comienzan a ascender hasta ser emplazados muy cerca de la superficie; en ella se observa una gran actividad vulcanogénica. Durante la etapa neumatolítica-

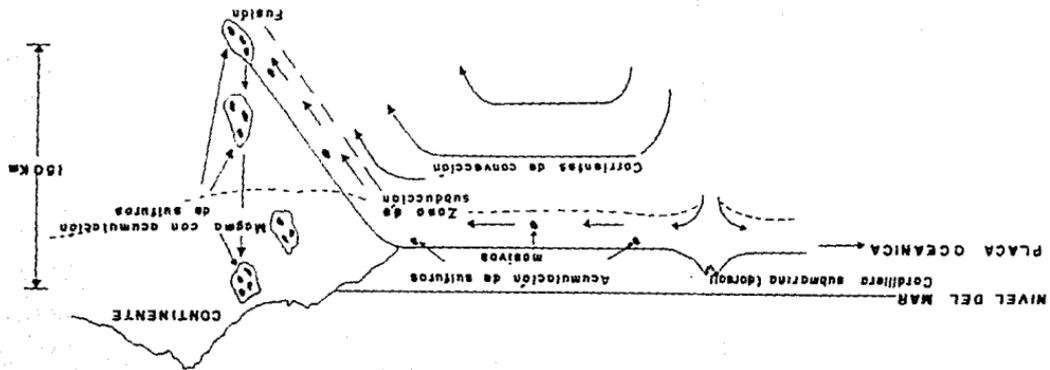
hidrotermal que acompaña al emplazamiento de los cuerpos intrusivos, es cuando se lleva a cabo la concentración de la mineralización, acumulándose en las oquedades de las rocas, fracturas, fallas, etc. En el caso del distrito minero de Cananea, se observan lineamientos debilmente definidos en una dirección hacia el noroeste con algunas fracturas secundarias que se intersectan, pero sin tener un fallamiento de importancia. De esta manera, las soluciones hidrotermales mineralizantes al no encontrar conductos por los cuales se pudiera efectuar su emplazamiento, tuvieron que excavar sus propios conductos, dando como resultado estructuras brechoides a manera de chimeneas tan frecuentes en el distrito. El modelo esquemático regional de la génesis de este tipo de yacimientos se observa en la figura No. 12.

MODELO LOCAL DE FORMACION DE LOS COBRES PORFIDICOS

Cuando el intrusivo llega a condiciones hipabisales, empieza una expulsión de fluidos a alta presión. Estos fluidos hidrotermales suelen encontrarse con fluidos de origen meteórico; esto origina importantes cambios físico-químicos que provocan la depositación del cobre. Además, el contacto entre estos dos tipos de fluidos establece los límites entre las alteraciones potásica y sericitica.

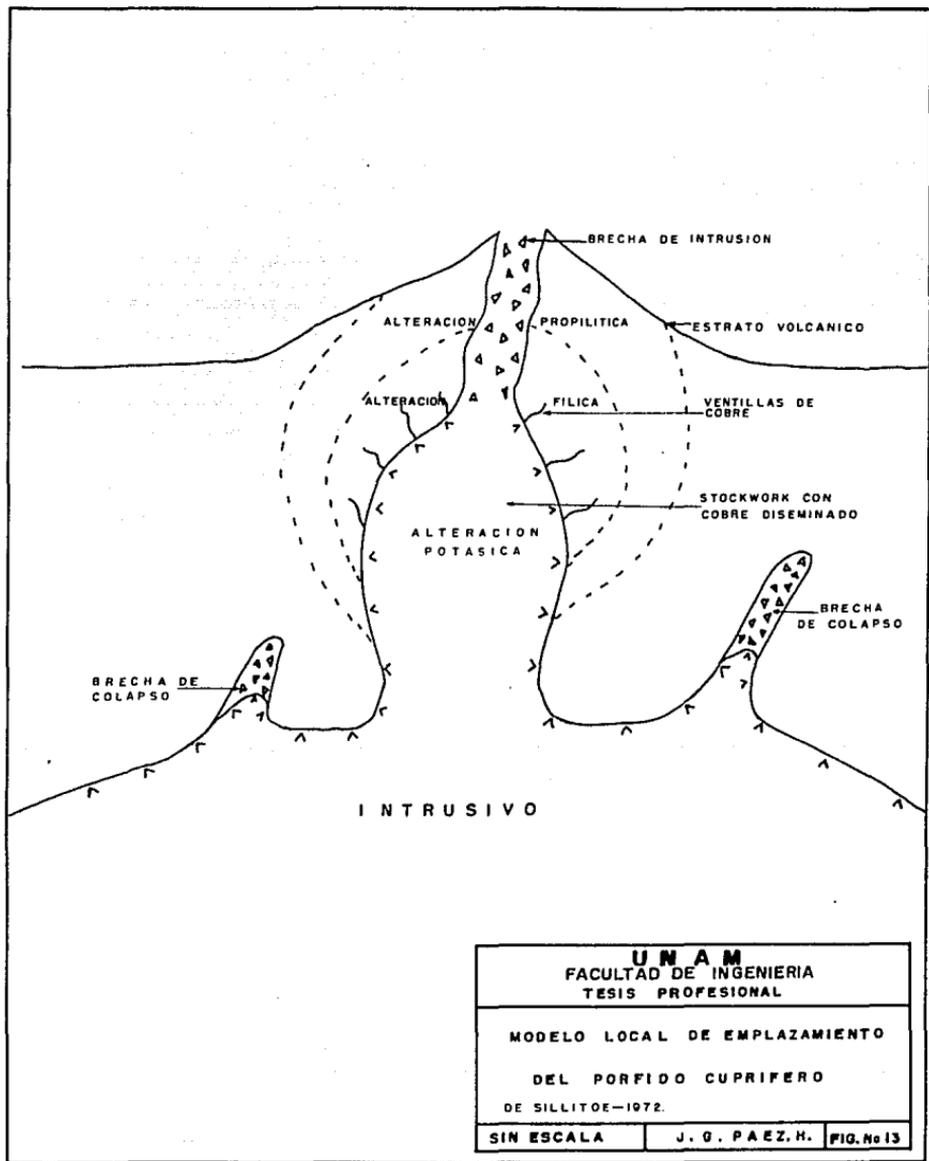
El enfriamiento del intrusivo origina el fracturamiento de éste; al propio tiempo, los fluidos escapan a elevadas

SIN ESCALA	J. O. PAEZ. H.	PIO NO. 12
ORIGEN Y EVOLUCION DE LOS PORFIDOS CUPRIFEROS. Segun Smith 1971.		
U N A M FACULTAD DE INGENIERIA TESIS PROFESIONAL		



-78-

presiones y suelen fracturar la roca encajonante. De esta manera se forma una zona fracturada con gran porcentaje de espacios vacíos (hasta un 30%) que son ocupados por el cobre. Esta es la zona de Stockwork, con grandes cantidades de cobre diseminado. (figura No. 13).



UNAM	
FACULTAD DE INGENIERIA	
TESIS PROFESIONAL	
MODELO LOCAL DE EMPLAZAMIENTO	
DEL PORFIDO CUPRIFERO	
DE SILLITOE-1972.	
SIN ESCALA	J. G. PAEZ. H. FIG. No 13

CAPITULO IX
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

IX CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

IX A. - CONCLUSIONES

- a).- El granito Cananea es un cuerpo ígneo intrusivo de edad Precámbrica y que corresponde al basamento sobre el cual se depositaron sedimentos en un medio ambiente somero, mismos que dieron origen a las calizas del Paleozoico que afloran en el área de estudio y que son correlacionadas con rocas de su tipo en áreas vecinas.
- b).- Los derrames de rocas volcanoqénicas así como las rocas piroclásticas que se encuentran ampliamente distribuidas en el área y que a su vez se encuentran en forma discordante con las calizas del Paleozoico muestran un período de intenso volcanismo en un tiempo que comprende de fines del Cretácico y parte del terciario.
- c).- Los cuerpos plutónicos mayores (granodiorita Quitaca, diorita Tinaja y sienita Torre), pueden ser el resultado de una diferenciación magmática y anteceden al emplazamiento de cuerpos intrusivos someros tales como los pórfidos cuarzo monzoníticos.

- d).- La mineralización primaria está íntimamente relacionada con cuerpos intrusivos someros de composición ácida a intermedia (pórfidos cuarcíferos, cuarzo feldespáticos y feldespáticos), y está constituida por sulfuros de hierro, cobre y molibdeno principalmente.
- e).- La mineralización primaria fue afectada por el fenómeno de enriquecimiento secundario por medio del cual se incrementaron los contenidos de sulfuro de cobre (Calcocita, covelita) de gran tonelaje aunque de baja ley, ya que la ocurrencia de la mineralización es diseminada.
- f).- Los sombreros o capotes de hierro (Hematíticos goethíticos y jarosíticos) constituyen una buena guía mineralógica en la prospección de estos tipos de yacimientos.
- g).- La alteración hidrotermal muestra un zoneamiento, que se apega al modelo propuesto por Lowell y Gilbert (op.cit.) para estos tipos de yacimientos, ocurriendo la mayor concentración de mineral económicamente explotable en la zona filica.
- h).- Las chimeneas brechoides son comunes en el área de estudio y se encuentran relacionadas con los pórfidos cupríferos. Se considera que éstos fueron formados, debido principalmente

a que los fluidos que escapan del intrusivo en proceso de enfriamiento corroen a la roca encajonante creando pequeños huecos y dan origen a pequeños colapsos. Tras una serie de colapsos se forma la chimenea brechoide.

IX. B. - RECOMENDACIONES

- a).- Realizar estudios geológicos a detalle de la zona de Puertecitos, en donde se encuentra aflorando las calizas del mismo nombre complementando este con un estudio de polarización inducida y de acuerdo con los resultados obtenidos definir un programa de barrenación.
- b).- Hacer un estudio a detalle del granito Cananea con el fin de establecer su ubicación en la columna estratigráfica, empleando para ello estudios radiométricos en zircones.
- c).- Hacer una evaluación geológica minera de las brechas que se encuentran en el área de estudio, con el fin de determinar el potencial económico que éstas representan.
- d).- Correlacionar las anomalías de color, (las cuales corresponden a zonas de oxidación), con áreas vecinas con el fin de saber si existe alguna extensión del yacimiento y de esta manera incrementar el potencial del mismo, para lo cual se emplearía imágenes de satélite.

BIBLIOGRAFIA

CANTOS FIGUEROLA. J., 1974. Tratado de Geofísica Aplicada, Madrid, España 2da. Edición.

CORREA GARCIA. J. P., 1983, Distribución de Molibdeno en el Distrito Minero de Cananea, Sonora. Tesis Profesional, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora.

GUSTAFSON, L.B. and HUNT, J.P. 1975, The Porphyry Copper Deposit at El Salvador, Chile Economic Geology Vol. 70 No. 5 pp. 857-912.

LOWELL, J. D., and GUILBERT, J. M. 1970. Lateral and Vertical Alteration- Mineralization Zoning in Porphyry Ore Deposits. Economic Geology Vol. 65 pp. 373-408.

LOWELL, R. J. 1974. Regional Characteristic of Porphyry Copper Deposit of the Southwest Economic Geology Vol. 66 pp. 601-617.

MULCHAY, R. B. and VELASCO, J. R., 1954 Sedimentary Rocks at Cananea, Sonora, México, and Tentative Correlation with the Section at Bisbee and the Swisshelm Mountains, Arizona; A. I. M. E. Tr., V. 199, pp. 628-632, (Mining Engineering V.6, No. 6).

PERRY, V. D., 1961. The Significance of Mineralized Breccia Pipes. Min. Engng. Vol. 113 pp. 366-376.

ROSE, A., 1970. Zonal relation of well alteration and sulfides distribution at porphyry copper deposit. Economic Geology Vol. 65 pp. 920-936.

SAUCEDA SALDIVAR, D. 1984, Modelación Matemática para la Evaluación del Yacimiento Cuprífero Diseminado de Compañía Minera de Cananea, S.A. Tesis Profesional Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora.

SILLITOE, R. H. and SAWKINS, F. J. 1971 Geologic, Mineralogic and fluid inclusion studies relating to the origin of copper-bearing tourmaline breccia pipes in Chile. Economic Geology Vol. 66 pp. 1028-1047.

SILLITOE, R. H., 1972 A Plate Tectonics Model for the Origin of Porphyry Copper deposits Economic Geology Vol. 67 pp. 184-197.

SILLITOE, R. H., 1973. Geology of the Los Pelambres Porphyry Copper Deposit. Economic Geology Vol. 68 pp. 1-10.

SILLITOE R. H., 1973. The tops and bottoms of porphyry Copper Deposits. Economic Geology Vol. 68 pp. 799-815.

SILLITOE, R. H., 1975. Subduction and porphyry copper deposit in South-Western North America a really to recent objections. Economic Geology Vol.20 pp. 1474-1477.

VALENTINE, W. G., 1936. Geology of the Cananea Mountains. Sonora, México. Geological Society of America, Bulletin V. 47, pp. 53-86.

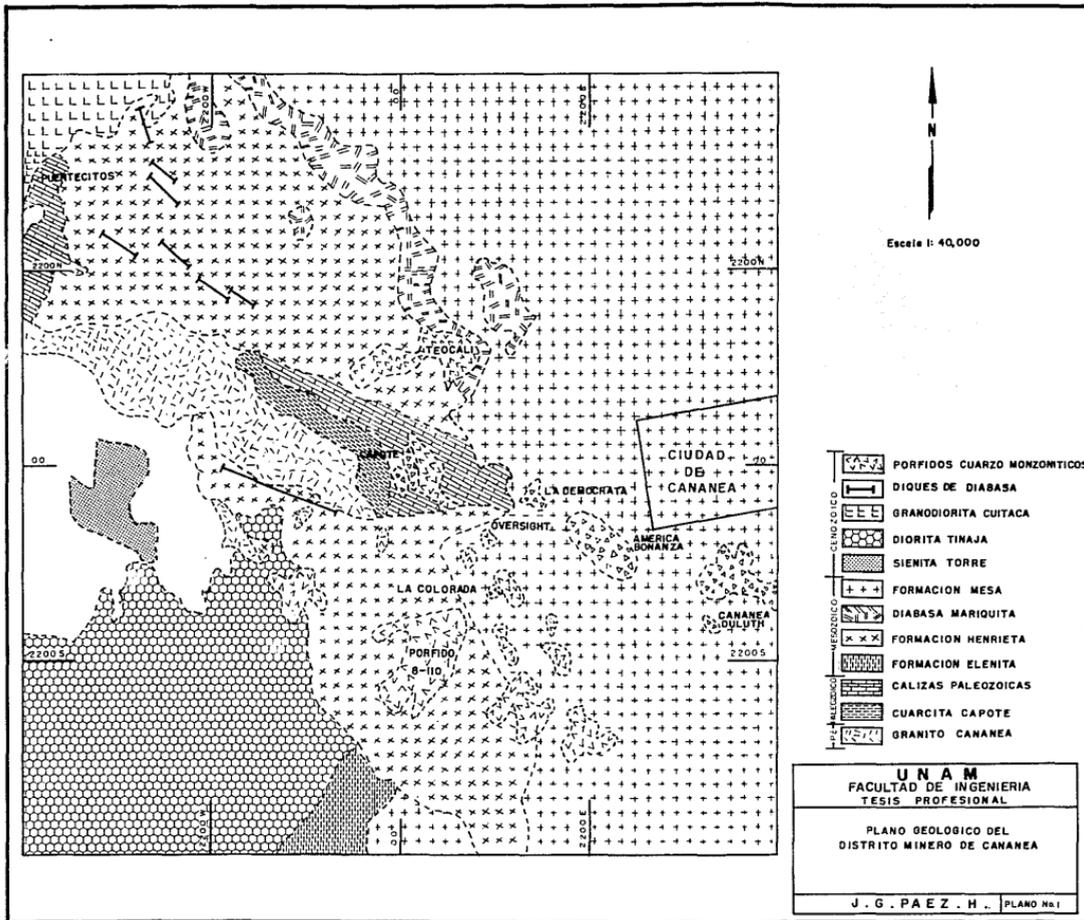
VARELA JR., F. E. 1972. Tourmaline in the Cananea Mining District, Sonora, México, MS Thesis, University of California, Berkley, California.

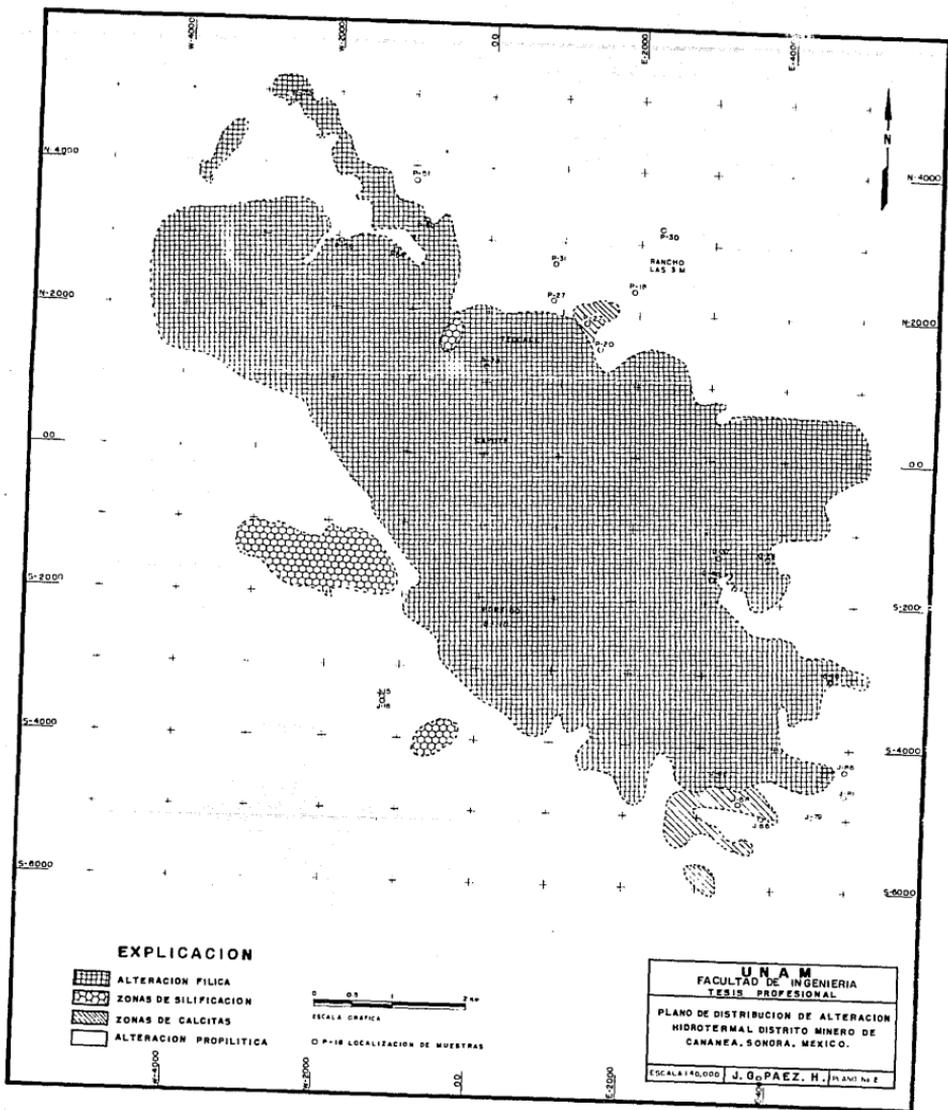
VELASCO, J. R., 1956, Geología del Mineral de Cananea. Sonora, México. XX Congreso Geológico Internacional. Folleto Guía de Excursiones A-1 y C-4, p. 43-51.

VELASCO, J. R. y SEVILLA, A., 1957. Exploración Profunda en la Mina La Colorada, Cananea, Sonora, México, II Convención Nacional de la Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas, Petroleros y Geólogos de México. Guadalajara, Jalisco.

VELASCO, J. R.. 1966. Geology of the Cananea District,
Geology of the Porphyry Copper Deposits, Southwestern
North America, Spencer R. Titley and Carol L. Hicks,
University of Arizona Press, Tucson, Arizona p. 245-
249.

PLANOS E ILUSTRACIONES





EXPLICACION

-  ALTERACION FILICA
-  ZONAS DE SILIFICACION
-  ZONAS DE CALCITAS
-  ALTERACION PROPILITICA



ESCALA GRAFICA
O P-18 LOCALIZACION DE MUESTRAS

UNAM
FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL

PLANO DE DISTRIBUCION DE ALTERACION
 HIDROTHERMAL DISTRITO MINERO DE
 CANAEA, SONORA, MEXICO.

ESCALA 1:50,000 J. O. PAEZ, H. PLANO No. 2

APPENDICE PETROGRAFICO



LN



NC

G-27.- Microgranodiorita de hornblenda alterada.- Minerales primarios: cuarzo, feldespato potásico, oligoclasa-andesina. Accesorios ferromagnesianos alterados (anfíboles), apatita, magnetita. Secundarios epidota, sericita, minerales arcillosos, hematita.



LN



NC

J-15.- Granito calcoalkalino de hornblenda. Textura equigranular albitomórfica. Minerales esenciales: cuarzo feldespato potásico, hornblenda.



LN

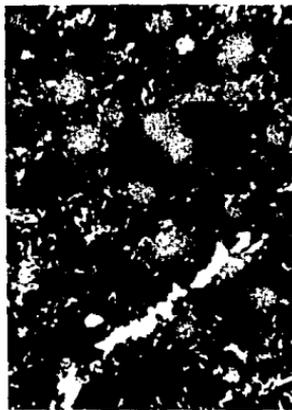


NC

P-31.- Arenisca tobácea.- Agregados granulares, cuarzo -- oligoclasa, andesina, vidrio volcánico (matriz vítrea con clorita y minerales arcillosos), minerales de alteración: hematita, minerales arcillosos, clorita.



LN



NC

J-68.- Toba dacítica.- Minerales primarios: cuarzo, feldspatos (oligoclasa-andesina), vidrio, fragmentos de roca, cenizas volcánicas. Secundarios: calcita, hematita, sericita, minerales arcillosos, pirita.



LN



NC

J-16.- Diorita normal. Minerales esenciales andesina oligoclasa, feldespato potásico (microclina), hornblenda. Minerales accesorios: ferromagnesianos alterados.



L.N



NC

J-66.- Arenisca lílica (litarenita).- Se observa en la muestra una textura epiclastica Psamítica, constituida por fragmentos de roca y plagioclasas, cementados por calcita, clorita, sericita, minerales arcillosos, hematita magnetita y pirita.



L.N



NC

J-81.- Brecha.- Fragmentos de roca (andesitas y Traquiandesitas), cuarzo, oligoclasa-andesina, magnetita, micas alteradas (sericita, clorita), minerales secundarios hematita, pirita, sericita, clorita minerales arcillosos, zeolitas.



LN



NC

J-86.- Brecha dacítica. (Textura piroclástica). cuarzo oligoclasa-andesina, vidrio. Minerales secundarios hematita, minerales arcillosos, clorita, sericita.



LN



NC

G-16.- Toba dacítica.- Minerales esenciales cuarzo, oligoclasa-andesina.- Minerales accesorios: ferromagnesianos alterados (micas, vidrios), minerales secundarios: Minerales arcillosos, hematita, clorita, sericita.



LN



NC

G-37.- Material de veta, cuarzo, hematita, pirita, minerales arcillosos.



LN



NC

G-40.- Toba dacítica.- Minerales esenciales: cuarzo, oligoclasa-andesina vidrio. Minerales secundarios, sericita, clorita, minerales arcillosos



LN



NC

P-18.- Ignimbrita.- Minerales esenciales: Cuarzo, oligoclasa-andesina, ceniza volcánica, vidrio, fragmentos de roca, ferromagnesianos alterados, (micas), minerales secundarios: Sericita, clorita, minerales arcillosos.



LN



NC

P-23.- Toba lítica.- Fragmentos de roca de tipo andesítico y dacítico. Vidrios, oligoclasa-andesina, micas alteradas, cuarzo, minerales de alteración; calcita epidota clorita, minerales arcillosos.



LN



NC

P-50.- Pórfido Dacítico Milonitizado.- Presenta fenocristales de plagioclasas (andesina-oligoclasa), cuarzo primario y de alteración, clorita epidota, sericita. Se observa efecto de dinamometamorfismo.

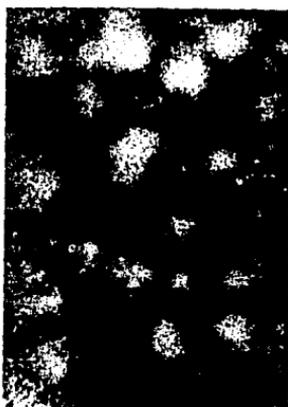


LN



NC

P-54.- Milonita.- Minerales esenciales: cuarzo, oligoclasa andesina, feldespato potásico, magnetita, minerales accesorios sericita, minerales arcillosos, clorita, hematita.



LN



NC

J-62.- Pórfido Dacítico.- Minerales esenciales: Cuarzo, Plagioclasas, (oligoclasa-andesina); Accesorios: Apatita ferromagnesianos alterados, magnetita; Secundarios: Sericita, minerales arcillosos, clorita, hematita, epidota. Observaciones: Las plagioclasas se encuentran con efecto de esfuerzo, lo cual indica la presencia del fenómeno de dinamometamorfismo.



LN



NC

J-79.- Pórfido latítico de hornblenda y biotita. Minerales esenciales.- Oligoclasa-andesina, feldespato potásico. Minerales accesorios, hornblenda, cuarzo y biotita, minerales secundarios hematita, clorita y minerales arcillosos, no presenta una alteración penetrante.



L.N



NC

P-56.- Toba arenosa (o arenisca lobacea), minerales esenciales: cuarzo, oligoclasa-andesina, vidrio, feldespato potásico. Minerales secundarios: sericita, minerales arcillosos, clorita, hematita.



L.N



NC

P-72.- Pórfido andesítico con metamorfismo de tipo dinámico.- Minerales esenciales: oligoclasa-andesina, minerales accesorios: ferromagnesianos alterados, anfíboles. Minerales secundarios: epidota-clorita, hematita, minerales arcillosos, sericita.



LN



NC

P-76.- Latita de cuarzo alterada.- Calcita, minerales arcillosos, hematita.- Minerales esenciales, cuarzo, oligoclasa-andesina, feldespato potásico alterado.- Minerales accesorios, ferromagnesianos, alterados (micas), magnetita.