



UNIVERSIDAD DE SONORA

Escuela de Ingeniería
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

**GEOLOGÍA ESTRUCTURAL EN EL
DEPÓSITO LA CARIDAD, NACÓZARI, SON.**

TESIS

Reg. 1000

Que para obtener el Título de

GEÓLOGO

Presenta

Juan Hernández Peña

Hermosillo, Sonora

1979



**EL SABER DE MIS HIJOS
HARA MI GRANDEZA
BIBLIOTECA DE CIENCIAS
EXACTAS Y NATURALES**



**EL SABER DE MIS HIJOS
HARA MI GRANDEZA
Escuela de Ingeniería
Depto. Geología
BIBLIOTECA**

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



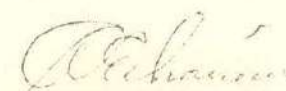
Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

Octubre 10, 1979

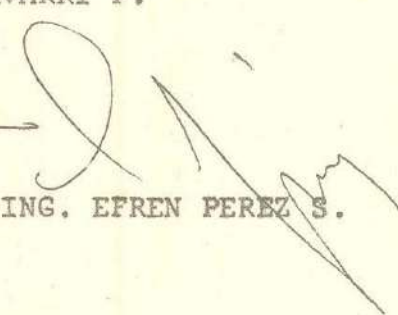
SR. ING. GABRIEL IBARRA FELIX
Coordinador Ejecutivo de la
Escuela de Ingeniería
Universidad de Sonora
P r e s e n t e

Los suscritos integrantes de la Comisión Revisora del tema de tesis que lleva como título "GEOLOGIA ESTRUCTURAL EN EL DEPOSITO LA CARIDAD, NACÓZARI, SONORA", que presentará para recibir el título de Geólogo el Pasante Juan Hernández Peña, nos dirigimos a usted de la manera más atenta con el fin de comunicarle que habiéndosenos designado dicha revisión y después de haber revisado, corregido, y discutido su contenido, lo hemos encontrado satisfactorio.

A T E N T A M E N T E,


DR. ARIEL ECHAVARRRI P.


ING. J. RUBEN VELASCO


ING. EFREN PEREZ S.

C.c.p. Sr. Dr. Guillermo A. Salas, Jefe Depto. Geología.

'mcs

GEOLOGIA ESTRUCTURAL EN EL DEPOSITO
"LA CARIDAD", NACUZARI, SONORA

Juán Hernández Peña

Octubre, 1979

A la memoria de mi madre
formadora de mis estudios

A mi querida esposa
por brindarme su es-
tímulo



EL SABER DE MIS HIJOS
HARA MI GRANDEZA
BIBLIOTECA DE CIENCIAS
EXACTAS Y NATURALES

A mi pequeña Gaby
principal acicate
de mi vida

I L U S T R A C I O N E S

Lista de Tablas

Tabla I	Determinación de edades de rocas y eventos en el área del depósito "La Caridad" por el método K-Ar
---------	--

Lista de Planos

Plano I	Geología en el área del depósito "La Caridad"
---------	---

Lista de Figuras

Figura 1	Plano de localización del área de estudio
Figura 2	Principales depósitos de cobre en la franja cuprífera del NE de Sonora y Arizona
Figura 3	Sección estructural NE-SW viendo al NW
Figura 4	Sección estructural N-S viendo al W
Figura 5	Geología en banco 1665
Figura 6	Bloques mineralizados en banco 1665
Figura 7	Estructuras brechadas en el depósito "La Caridad"
Figura 8	Diagrama cronológico de eventos geológicos en el depósito "La Caridad"
Figura 9	Esquema idealizado de la génesis de los depósitos de cobre porfídico en el modelo de Tectónica de placas

C O N T E N I D O

RECONOCIMIENTOS

RESUMEN

INTRODUCCION-----	i
1.0 GEOLOGIA REGIONAL-----	1
1.1 Unidades litológicas-----	1
1.2 Geología estructural-----	3
2.0 GEOLOGIA LOCAL-----	5
2.1 Unidades litológicas-----	7
2.2 Geología estructural-----	23
3.0 GEOLOGIA ESTRUCTURAL DEL DEPOSITO MINERAL-----	25
3.1 Clasificación de las estructuras-----	28
3.2 Estructuras brechadas en el depósito "La Ca- ridad"-----	29
3.3 Edad y formación de las estructuras brecha-- das según su relación con las intrusiones -- múltiples-----	35
3.4 Relación temporal de las estructuras y las - soluciones mineralizantes y alterantes. Con- figuraciones de minerales de alteración, me- na y ganga en el tiempo. Ensayo de paragé-- nesis-----	38
3.4.1 Configuración de minerales de alteración,- mena y ganga en el tiempo-----	39

4.0	HISTORIA GEOLOGICA DEL DEPOSITO "LA CARIDAD"-----	40
4.1	Los inicios de su formación-----	41
4.2	La evolución hasta su forma actual-----	43
	BIBLIOGRAFIA-----	45

A G R A D E C I M I E N T O S

Mi más sincero agradecimiento al Dr. Ariel Echávarri Pérez por comunicarme sus amplios conocimientos sobre éste depósito, y por dirigirme de la mejor manera en ésta tesis, por sus valiosos consejos y orientaciones durante todo el tiempo de elaboración de éste trabajo.

Agradezco al Ing. José Contla J., por su ayuda prestada tanto en el campo como de gabinete, debido a su conocimiento y amplia experiencia en éste depósito.

A la Compañía Mexicana de Cobre, S.A., le agradezco las facilidades que me brindó para desarrollar ésta tesis y para su publicación.

También quiero agradecer a todas aquellas personas y compañeros que, sin saberlo, me ayudaron para la mejor formación de ésta tesis, por sus trabajos sobre el depósito y sus comentarios.

A la Señorita Martha Olivia Córdova S., le agradezco por dedicarme parte de su trabajo y de su tiempo para mecanografiar éste trabajo.

RESUMEN

La litología en la región de Nacozari es muy extensa y complicada, sin embargo, existe una predominancia de rocas volcánicas ácidas e intermedias consistentes en derrames, tobas, ignimbritas y brechas; de probable edad Cretácico tardío-Terciario medio y se encuentran intrusionadas por varios plutones y troncos de composición variable, la mayoría del Terciario medio.

60-70% { La evolución tectónica se puede reconocer desde el Jurásico hasta el Cuaternario, que según Rangin (1978) se caracteriza por tres períodos tectónicos: Un período Jurásico-Cretácico medio, un período Cretácico tardío-Paleoceno y un período Eoceno-Cuaternario.

El yacimiento mineral de La Caridad se encuentra en una serie de intrusiones múltiples de composición monzonítica de cuarzo emplazadas en rocas intrusivas con composición variable de diorita-andesita a granodiorita, las cuales intrusionan a una secuencia volcánica de composición andesítica a riolítica. La descripción de estas unidades litológicas se basó en trabajos previos y en observaciones directas del autor durante los levantamientos geológicos efectuados en los niveles expuestos al minar el depósito.

Las rocas volcánicas del Terciario inferior comprende a los miembros Andesita Rosario, Pórfido Andesítico, Traquita y Riolita. El Terciario medio se caracteriza por intrusiones y extrusiones de composición riolítica, que según Berchenbriter -

(1976) se puede dividir en tres facies texturales: Toba riolítica vítrea, toba brechada y toba lapilli, y pórfido riolítico.

Las rocas intrusivas Terciarias son las más importantes en el área de La Caridad, ya que proveyeron las soluciones hidrotermales que dieron origen al depósito y crearon los principales rasgos estructurales típicos de un depósito de cobre porfídico diseminado. La secuencia intrusiva fue: Diorita, granodiorita, pórfido de monzonita de cuarzo y pegmatita.

El pórfido de monzonita de cuarzo se emplazó en tres pulsos intrusivos, cada uno de los cuales jugó un papel importante en la formación del depósito, siendo el último de estos pulsos el que estuvo íntimamente relacionado con el período de alteración y mineralización, encontrándose fuertemente mineralizado, principalmente en las zonas donde está mezclado con la diorita de cuarzo.

La pegmatita se encuentra como cuerpos irregulares en la parte central noreste del depósito, compuesta esencialmente de cristales de biotita de grano grueso mezclada con cuarzo piramidal en forma masiva.

Estructuralmente, en el área del depósito el rasgo sobresaliente es la Falla La Caridad, una gran estructura de rumbo general N 45°W y buzamiento promedio de 40° NE, identificable a lo largo de 13 kms y que se encuentra en la parte norte del depósito mineral, fuera de él.

Dentro de este depósito la geología estructural es análoga a la de muchos de los depósitos de cobre porfídico existentes, los

cuáles conforman bajo un modelo genético para éste tipo de depósitos, enunciado por Gustafson y Hunt (1975) y cuyos elementos son: 1) Emplazamiento somero de una compleja serie de - - troncos porfídicos en la cúpula y arriba de ésta de un batolito calcoalcalino; 2) Separación de fluidos magmáticos y simultánea introducción metasomática de cobre, azufre, otros metales y álcalis dentro de los pórfidos y rocas adyacentes; 3) La formación de un sistema circulante de aguas subterráneas; 4) El establecimiento de un colapso interno.

En éste depósito los rasgos estructurales importantes son: Fallamiento y fracturamiento de rumbo N-S con inclinaciones tanto al W como al E; fallamiento NE-SW y NW-SE con inclinaciones variables; fracturamiento escalonado en la parte sur del depósito de rumbo general E-W con inclinación al sur; fracturamiento intenso en la mayor parte del depósito con diferentes direcciones, predominando hacia el NW-SE y echados desde 70° hasta verticales, y un brechamiento de tipo intrusivo hidrotermal en la mayor parte del depósito. Estas últimas estructuras se consideran como las más importantes en la formación de las zonas mineralizadas, y se encuentran en forma de stock-work, como brecha monogenética, brecha poligenética con fragmentos angulares y con fragmentos arredondados. Todas estas brechas se relacionan al período de las intrusiones múltiples en el Eoceno terminal, tanto en el tiempo de las intrusiones como en sus etapas finales de consolidación, en donde los fluidos hidrotermales encontraron condiciones propicias para su circulación y emplazamiento, debido a un fracturamiento casi vertical pro-

ducido en el proceso de enfriamiento de las masas intrusivas semiconsolidadas, formándose los primeros minerales de alteración y posteriormente los primeros minerales de mena acompañando a una fuerte alteración sericitica.

La génesis del depósito de cobre porfídico de La Caridad se incluye dentro de la teoría moderna de la tectónica de placas, relacionada a una zona de subducción de una placa oceánica bajo la corteza continental, en donde se generaron los magmas - conteniendo los metales que originalmente formaban parte de la corteza oceánica, y que ascendieron durante la fusión parcial hasta las cercanías de la superficie para formar las típicas zonas verticales de mineralización.

INTRODUCCION

HISTORIA DE LA EXPLORACION Y DESCUBRIMIENTO DEL YACIMIENTO " LA CARIDAD "

En Octubre de 1962, México se vió en la imperiosa necesidad de ejecutar un reconocimiento en busca de minerales metálicos, especialmente de hierro. La necesidad de dicho reconocimiento surgió como resultado de los esfuerzos de México por industrializarse con mayor rapidez, pues es bien conocido que el alma -- del patrón de la producción mineral la constituye el hierro y los minerales del grupo combustible.

Si una sociedad ha de ser altamente productiva, deberá estar dotada pródigamente de maquinaria motorizada, lo que significa que debe disponer de cantidades abundantes de hierro.

Como ocurre con frecuencia cuando decae la producción mineral, también disminuye la actividad desplegada en la prospección de minerales. En México, este estancamiento es acentuado por el hecho de que en las últimas dos décadas sólo dos descubrimientos minerales de importancia han sido hechos, en un país rico en recursos de este tipo.

Por otro lado, en Julio de 1963; los estudios económico-estadísticos de la Industria Nacional del Cobre, mostraron clara evidencia de que en 1966 el consumo de cobre electrolítico rebasaría la producción nacional.

Lo anterior forzó la determinación de explorar por cobre a la mayor brevedad y en forma intensa y extensa. Así, se tomó la

decisión de buscar mineralización de cobre en la parte Noreste de Sonora. La selección de esta zona, se debió, a consideraciones geológicas y económicas debido a su gran historial minero y principalmente por su ubicación a lo largo del lineamiento cortical WASATCH-JEROME que tiende hacia el Norte y que se caracteriza por la gran distribución de depósitos diseminados de cobre. (Fig. 2).

Así, al dar principio la exploración coordinada por cobre, por el Consejo de Recursos Naturales No Renovables (actualmente -- Consejo de Recursos Minerales) con la cooperación de las Naciones Unidas, en Octubre de 1966 se trabajó en una región reservada para este objeto, de 50,000 km², la cuál se dividió en 7 zonas, tratando de ajustarse a la morfología del terreno y se designaron grupos de geólogos para estudiar cada una de ellas. La primera fase de este estudio consistió en un reconocimiento aéreo sobre la zona para ir marcando en planos las áreas que merecían atención inmediata, ya sea por estructuras geológicas favorables o por anomalías de color causadas por alteración -- hidrotermal o meteórica.

En esta forma, se seleccionaron más de 300 ubicaciones de mineralización mediante procesos hidrotermales, todos los cuales fueron eventualmente visitados en tierra. Debe advertirse que en las 7 zonas en que se dividieron los 50,000 km² para su estudio preliminar, se jerarquizaron los prospectos a estudiar según su posición geográfica y geológica, así como su apariencia de intensidad de alteración vista desde el aire.

En esta forma, se dio interés a aquellas anomalías de mayor --

atractivo, como "La Caridad" fué una de las de mayor atracción. Siguiendo esta secuencia exploratoria, se eliminaron cientos de pequeños prospectos, bien porque no contenían cobre, que era uno de los objetivos principales de este proyecto, porque resultaron de poca importancia para resolver el problema nacional, o porque resultaron ya específicamente analizados, ser prospectos de otros minerales.

En el estudio de todos estos prospectos, se efectuaron primero estudio de detalle con fotogeología verificada en el campo, simultáneamente con un muestreo intenso para estudio geoquímico.

Si las anomalías geoquímicas de sedimentos o de rocas indicaban alguna zona interesante, se intensificaba el muestreo obteniendo muestras de roca frescas en todos los arroyos dentro de la anomalía. Si el estudio petrológico y geoquímico de éstas indicaban actividad hidrotermal, se exploraba inmediatamente después con métodos geofísicos, con énfasis en el de polarización inducida y resistividad superficial. Si la evidencia concordaba entre el estudio geológico, petrológico, geoquímico y geofísico, se seleccionaban localidades para perforar barrenos de diamante con el objeto de ratificar o rectificar la interpretación respecto a la mineralización comercial del área.

LOCALIZACION

El Distrito Minero de "La Caridad" se localiza en la porción Noreste del Estado de Sonora, dentro del Municipio de Nacozari, teniendo el centro del depósito las coordenadas geográficas $30^{\circ} 20' 00''$ latitud Norte y $109^{\circ} 31' 15''$ longitud Oeste, que corresponden a las coordenadas decimales de 3,356,000 Norte y 642,200 Este (Fig. 1).

El acceso a la Unidad "La Caridad" parte de la población de Nacozari de García por una carretera pavimentada con una longitud de 22 kilómetros hacia el E-SE.

Agua Prieta se encuentra comunicada con esta población por medio de una carretera pavimentada de 125 kms de longitud hacia el Sur, así como por una línea de ferrocarril.

De Hermosillo a Nacozari de García se llega por medio de una carretera pavimentada de 250 kms de longitud.

Para la comunicación aérea existen dos pistas de aterrizaje, en el poblado de Cumpas y otra en la mesa de San Antonio a 26 kms al Norte de Nacozari.

Este proyecto es el más grande en su tipo que se ha emprendido en México. La Planta Concentradora tratará 72,000 toneladas diarias de mineral que producirán alrededor de 1650 toneladas de concentrado con contenido de 305 kilogramos de cobre por tonelada. La capacidad de la planta de Fundición, será para producir 200,000 toneladas de cobre amollado por año, y la de la Refinería para producir 150,000 toneladas de cobre electrolítico por año. Es una distinción única para este proyecto el que será el primero que incluya en una sola unidad Planta Concentradora, Fundición y Refinería.

El material de mina con contenido de 2 a 4 kilogramos de cobre por tonelada se separará y se acumulará en un terrero marginal al depósito, para posteriormente beneficiarse por el proceso de lixiviación. El material estéril se acumula en otro terrero para este caso y también se usa para rellenar valles y aumentar los sitios para futuras construcciones y vías de acceso a las diferentes partes del área de mina.

La altura original de la montaña en que se localiza el depósito era de 1821 metros sobre el nivel del mar, actualmente los trabajos se llevan a cabo en los bancos 1650, 1635, 1620, 1605 y 1590, por lo que se ha removido material en una distancia vertical de 201 metros en promedio.

El mineral de alta ley se ha localizado entre los niveles - 1650 y 1200.

Para el proceso de fragmentación del material se emplean 170 gramos de explosivo para quebrar una tonelada de roca.

El camino principal de la mina, llamado Rama "A", construido con material proveniente del descapote y acumulado en las laderas del lado Sur del depósito, tiene 2700 metros de longitud y 32 metros de ancho, con pendiente de 9% y sirve como acceso general para la mina; para llevar el tepetate y material lixiviable a los terreros correspondientes y también servirá como vía de acarreo para el mineral a las quebradoras primarias que se ubican en el lugar llamado "Puerto Chino".

Naturalmente que el desarrollo de este proyecto ha traído beneficios tanto para el país como para el Estado de Sonora

y el Municipio de Nacozari al haber una nueva y muy importante fuente de trabajo que fortalece la economía en general, al generarse nuevos ingresos de divisas y con un pago de impuestos y regalías considerables. Desde el punto de vista técnico se están implantando en "La Caridad" los sistemas más modernos de explotación a Tajo Abierto y de beneficio de cobre. Así, "La Caridad" ha sido y seguirá siendo campo fértil para la preparación de técnicos e ingenieros en estos avanzados sistemas de explotación.

1.0 GEOLOGIA REGIONAL

1.1 UNIDADES LITOLÓGICAS

A nivel regional la litología es muy extensa y complicada, sin embargo, existe una predominancia de rocas volcánicas ácidas e intermedias, consistentes en derrames, tobas, ignimbritas y brechas; todas ellas son probablemente del Cretácico superior-Terciario medio y se encuentran intrusionadas por varios plutones y troncos de composición variable, la mayoría del Terciario medio.

Una serie prevolcánica de calizas silíceas y dolomitas interestratificadas con capas de cuarcita marca el basamento estratigráfico de la región. Se encuentra en la Sierra "Copercuin", 3 kilómetros al Noroeste de Nacoza-ri de Garcia. Son de edad Paleozoico Terminal, posiblemente del Pérmico. Estas rocas sedimentarias se encuentran con las rocas volcánicas suprayacentes por intermedio de contactos de fallas.

Una gran parte de la región está caracterizada por un ambiente volcánico de composición andesítica principalmente. El área mejor conocida es la que se encuentra en los alrededores de la Mina "Pilares", localizada aproximadamente a 8 kilómetros al Oeste del depósito de "La Caridad". Aquí existe una potente secuencia volcánica del Cretácico superior-Terciario inferior de composición principalmente andesítica. Esta secuencia está cortada por una falla, denominada Falla Pilares, de rumbo general NNW que divide al Distrito Pilares en dos partes, la

Oeste y la Este: la parte Oeste la forman derrames andesíticos y dacíticos, brechas volcánicas y depósitos de lahar. Al centro de esta parte afloran areniscas andesíticas y hacia el Sur afloran derrames andesíticos con aisladas áreas de areniscas andesíticas. La parte Este se caracteriza por una serie estratificada de ignimbritas, areniscas andesíticas, derrames andesíticos con brechas de flujo y derrames latíticos también con brechas de flujo, que forman la serie Pilares.

Todas estas unidades presentan un buzamiento de 20° - 25° al SE y están intrusiónadas por pequeños cuerpos de andesita porfídica, diques de latita, pequeños troncos riolíticos y monzoníticos de cuarzo con textura porfídica. Cerca del poblado de Nacozari de García, hacia el Este, se encuentra una unidad volcánica considerada como una fase laharítica de la Latita Pilares, descansando discordantemente en rocas andesíticas del Valle de Nacozari (Chiapa, 1971).

Los cuerpos intrusivos del Terciario medio se encuentran hacia el Sur y el Este del Distrito de La Caridad, formados por grandes plutones de composición granítica, con algunos troncos monzoníticos de cuarzo, dioríticos, dacíticos y de alaskita (Bolích, 1969).

El Norte y Noreste de este distrito se caracteriza por afloramientos del Terciario superior y Cuaternario. Fanglomerados sedimentarios con fragmentos de rocas volcánicas principalmente (Formación Baucarit), subyaciendo discordantemente a otros fanglomerados, acumulaciones

de terrazas, talud y aluvión de edad reciente.

1.2 GEOLOGIA ESTRUCTURAL

En la historia geológica del Estado de Sonora, están bien marcados los efectos tectónicos desde el Precámbrico la zona de Caborca (Rangin, 1978) hasta el Cuaternario.

En la región de Nacozari la evolución tectónica puede seguirse desde el Jurásico hasta el Cuaternario.

Rangin (1978, p. 43) divide esta evolución tectónica en 3 grandes períodos, cada uno de los cuáles finalizó con una fase tectónica distintiva: Un período Jurásico-Cretácico medio con su fase Austríaca, un período Cretácico tardío-Paleoceno con su fase Laramide, y un período Eoceno-Cuaternario caracterizado esencialmente por su volcanismo con una fase tectónica de grandes sistemas de fallas, que en parte originaron la apertura del Golfo de California.

El período Jurásico-Cretácico medio la define el depósito de una gruesa secuencia volcánica-plutónica y volcanoclástica, seguida en el Cretácico temprano por un avance del mar de la cuenca de Chihuahua hacia el Noreste de Sonora, y a su regresión.

El período Cretácico tardío-Paleoceno se distingue por el depósito de molasas continentales y por un volcanismo -hipabisal, afectados por una tectónica de compresión que produce una superposición de las secuencias del Cretácico temprano sobre los depósitos molásicos del Cretácico ter-

minal, con un avance de estas unidades hacia el SW.

La fase Laramide se caracteriza por un plutonismo granodiorítico y por una tectónica destructiva que plegó y a veces produjo corrimientos de los depósitos del Cretácico basal y su basamento Paleozoico sobre los depósitos molásicos del Cretácico terminal.

El período Eoceno-Cuaternario se caracteriza en sus inicios por el emplazamiento de un conjunto volcánico-plutónico, al que se encuentra íntimamente ligado el depósito de "La Caridad", en una alineación NNW-SSE que continúa hasta Cananea y que forma parte de la franja cuprífera del Noroeste de Sonora y Suroeste de Arizona (Figura 2), seguido por una fase de grandes fallas de rumbo NNW antes y después de un extenso volcanismo principalmente riolítico emplazado en el Mioceno. Las erupciones volcánicas se iniciaron probablemente en el Eoceno basal compuestas esencialmente por derrames e intrusiones hipabisales andesíticas y riolíticas, afectadas por una tectónica de compresión que ocasionó el desarrollo de fallas de rumbo NNW, tal como la Falla Pilares, que siguió a la extrusión de la secuencia andesítica de "Pilares" y que tuvo un desplazamiento normal hacia el SW, produciendo un graben en donde se acumuló una secreción de andesita. Se observa la formación de domos en estas rocas volcánicas debido posiblemente a intrusiones de asiento profundo, o más seguramente a la tectónica de compresión que produjo un ligero plegamiento. Este conjunto volcánico andesítico y riolítico fue intrusionado en el Eoceno medio



FIG. 2- PRINCIPALES DEPOSITOS DE COBRE EN LA FRANJA CUPRIFERA DEL NE DE SONORA Y ARIZONA.

por varios troncos de composición similar, relacionados genéticamente a la misma cámara magmática que dió origen a las extrusiones, y que es la causante de la mineralización de cobre diseminado y a la formación de la mayoría de los depósitos de cobre porfídico en el Noreste de Sonora.

Durante el Terciario medio ocurrió un extenso volcanismo constituido principalmente por riolitas e ignimbritas que hacia el Este inmediato forma las partes altas de las Sierrra Madre Occidental. Este volcanismo fué seguido por una importante red de fallas de rumbo general NNW durante el Plioceno-Cuaternario, a la que se debe la forma actual de la región, con depresiones rellenas de sedimentos continentales (Formación Báucarit).

2.0 GEOLOGIA LOCAL (DISTRITO DE "LA CARIDAD")

El yacimiento mineral de "La Caridad" se encuentra en una serie de intrusiones múltiples de composición monzonítica de cuarzo emplazadas en rocas intrusivas con composición variable de diorita-andesita a granodiorita, que están relacionadas a un plutón localizado al Sur del depósito. Todas estas rocas intrusionan a una potente secuencia volcánica de composición andesítica a riódacítica que representa a las rocas más antiguas encontradas en el depósito y áreas adyacentes.

McAnulty (1970) menciona que estas rocas volcánicas descansan discordantemente sobre un basamento complejo de

sedimentos marinos Cretácicos hacia el Noroeste y fuera del área de estudio. Estos depósitos marinos son el producto del avance de un mar proveniente de la cuenca de Chihuahua hacia el Noreste de Sonora, como lo muestran los grandes depósitos carbonatados en el área de Agua Prieta, seguido por el depósito de areniscas que marcan la regresión de este mar en el Cretácico temprano. (Rangin, 1978).

La serie volcánica del Terciario inferior es muy variable en litología. Ignimbritas, tobas, flujos de lava y brechas, de composición fluctuante entre andesita, riolita y latita. Esta variabilidad nos sugiere varios episodios volcánicos dentro de un mismo período de tiempo, así como diferencias en la evolución química de las rocas que cambió las proporciones de minerales en ellas. Estas rocas volcánicas se encuentran en su mayoría hacia el NW del depósito mineral.

Las unidades sedimentarias del Terciario medio son principalmente fanglomerados compuestos de rocas volcánicas preminerales y de menor cantidad de rocas intrusivas en tamaños desde guijarros hasta bloques, aflorando al Norte y Noreste del depósito. El volcanismo del Terciario superior está representado por extensos afloramientos de flujos y tobas riolíticas e ignimbritas hacia el Norte-Noroeste del depósito. Los sedimentos cuaternarios se forman por depósitos de talud, terrazas, aluvión y fanglomerados recientes, en la parte Norte-Noreste del depósito y hacia el Noreste-Este fuera del área de estudio.

2.1 UNIDADES LITOLÓGICAS

La siguiente descripción de estas unidades se basa en trabajos previos y en observaciones directas hechas por el autor durante los levantamientos geológicos efectuados en los niveles que se han expuesto al minar el depósito.

ROCAS VOLCÁNICAS DEL TERCIARIO INFERIOR

Representan a las rocas más antiguas del área y aunque su espesor no es bien conocido se observan tanto en el Valle de Nacozari como en las partes más altas de los Montes Juriquipa.

Andesita Rosario

Corresponde al miembro más inferior de la secuencia volcánica encontrada en el área. El afloramiento más notable se localiza en el lado W del depósito de "La Caridad". También se observa hacia el S y SE de la antigua Mina "La Caridad", y en afloramientos irregulares en la parte NW del área del depósito. (Plano 1).

Realmente se trata de un pórfido andesítico con cristales de plagioclasa distribuidos al azar en una matriz de grano fino altamente biotitizada, lo que le da un color verde oscuro. La textura de esta unidad nos da pocas evidencias de que haya sido extrusionada a la superficie, por lo que puede tratarse de un cuerpo intrusivo hipabisal o subvolcánico,

Pórfido Andesítico

Ocurre como pequeños cuerpos en la parte NW del área del depósito en los alrededores del pico "El Globo", cubierta por la riolita "El Globo" hacia el E y W y en partes intrusionadas por ella misma. Puede tratarse de una facies de la Andesita Rosario, ya que en el campo se observan estratigráficamente iguales, con pequeñas diferencias texturales y de composición. Sin embargo, no se puede descartar que se trate de un flujo verdadero hacia el W y NW de la Andesita Rosario.

En muestra de mano se observan una gran cantidad de fenocristales de plagioclasa de forma rectangular en una matriz de color gris oscuro.

Traquita

Se encuentra al NW del depósito mineral en contacto con la Andesita Rosario y arriba de ella. Su textura es muy fina, por lo que la observación de los minerales en muestra de mano es difícil. Es una roca afanítica homogénea de color gris oscuro. No hay evidencias de discordancia con la Andesita Rosario. Según Berchenbriter (1976) la edad de la Traquita está muy ligada a la edad del depósito de la Andesita Rosario, debido a que siempre se le encuentra en contacto con ella. Lo anterior nos hace pensar en la posibilidad de que sea un equivalente de las partes superiores de la Andesita Rosario, con enfriamiento muy cerca de la superficie o tal vez en ella.

Riolita

Es la unidad mejor expuesta en el área. Se trata de una toba riolítica premineral y se encuentra encima de la Andesita Rosario. Es el miembro más joven de la secuencia volcánica del Terciario inferior. Se localiza en los alrededores de la antigua Mina de "La Caridad" en contacto por falla con las rocas intrusivas. Su espesor puede ser mayor de 400 metros evidenciado por la diferencia de altura entre los afloramientos de las partes más altas a las más bajas.

Su textura es variable y se encuentra generalmente como toba cristalina y toba lítica, siendo más abundante la primera, con cuarzo corroído aproximadamente en 10% del volumen de la roca. Los feldespatos son cristales subedrales y euedrales de ortoclasa y plagioclasa, a veces fuertemente reemplazados por serícita y arcillas.

También ocurre como variedad lítica con gran cantidad de fragmentos de tamaño desde guijarros hasta granos, en ocasiones ocupando gran parte de la roca. Los cristales de cuarzo no son muy abundantes y se encuentran corroídos.

La variedad cristalina se encuentra rodeando a la antigua Mina de "La Caridad" y a veces también contiene esporádicos fragmentos líticos de tamaños de ceniza y lapilli. Se encuentra así mismo en los afloramientos al Sur de la Falla "La Caridad", en las partes más altas y como una delgada capa encima de la Andesita Rosario.

En general la ignimbrita Riolítica se encuentra muy alterada y manchada por óxidos de fierro derivados de los sulfuros, lo que hace difícil a veces observar claramente las características primarias de la roca.

ROCAS VOLCANICAS DEL TERCIARIO MEDIO

En el último episodio ígneo en el área de "La Caridad" se formaron una serie de intrusiones y extrusiones de composición riolítica, cuya mejor evidencia es un cuello volcánico conocido como el Pico "El Globo". Esta roca cubre e intrusión a las rocas volcánicas del Terciario inferior y en algunas partes se encuentra encima del conglomerado "La Caridad". No ha sido afectada por la alteración hidrotermal asociada con las intrusiones del Eoceno.

Según Berchenbriter (1976) la riolita "El Globo" se puede dividir en tres facies texturales: 1) Toba Riolítica vítrea, 2) Toba brechada y Toba lapilli, 3) Pórfido Riolítico.

La toba Riolítica vítrea es la facies más abundante encontrándose al W y NW del Arroyo "Coloradito" y limitada al Sur por la Falla "La Caridad" (Plano 1). En muestra de mano se ve de color café amarillo a gris claro, de textura áspera cuando se le encuentra como derrames de lava semejanado la corteza de un árbol petrificado. La textura fluidal se observa como capas intercaladas de cuarzo y ortoclasa, ocurriendo estos minerales también como formas corroídas.

La toba brechada y toba lapilli son comunes cerca de la base de los derrames "El Globo", presentando una textura fina a veces en capas muy contorsionadas. Se compone principalmente de fragmentos de toba riolítica vítrea en una matriz muy fina, vítrea también.

La facies de pórfido riolítico es la que caracteriza al Pico "El Globo", un cuello volcánico que presenta diques radiales. Es de color café rojizo a crema, de grano medio, con cristales de cuarzo y ortoclasa con un promedio de 2 mm de tamaño y en cantidad más o menos iguales, haciendo alrededor del 10% del volumen de la roca. En las paredes de algunos acantilados se le observa un sistema de fracturas casi verticales.

ROCAS INTRUSIVAS TERCIARIAS

Se considera a estas unidades litológicas como las más importantes en el área de "La Caridad", ya que fueron las portadoras de las soluciones alterantes y mineralizantes que dieron origen al depósito, además de crear los principales rasgos estructurales típicos de un depósito de cobre porfídico diseminado.

Estas rocas de edad Laramide son el producto de varios pulsos intrusivos provenientes de una cámara magmática ligada a un batolito calcoalcalino, que dió origen a varios troncos de composición monzonítica de cuarzo con variantes en la textura y en la proporción de sus minerales esenciales. Así la secuencia intrusiva fué: Diorita, Granodiorita, Pórfido de Monzonita de Cuarzo y

Pegmatita.

Diorita

Presenta diferencias texturales y en el depósito de "La Caridad" se le encuentra como diorita de cuarzo y pórfido de diorita de cuarzo. Ocurre en la parte NW del depósito, al W como bloques o entrantes dentro de la andesita y hacia el E en contacto gradual con la granodiorita.

Megascópicamente la roca como pórfido de diorita de cuarzo se caracteriza por su textura de sal y pimienta, que resulta del contraste de la biotita de grano fino con los cristales de plagioclasa. El cuarzo se encuentra como pequeños cristales subedrales.

Al Sur del depósito se encuentra una diorita de grano fino a medio, fuertemente biotitizada y que en contacto con la granodiorita forma una brecha de fragmentos tanto angulosos como redondeados de ambas rocas.

En los niveles actuales del depósito el pórfido de diorita de cuarzo pierde algo de su textura característica debido a la fuerte alteración que ha sufrido, observándose de color gris crema a gris verdosa, con fuerte biotitización en la matriz y en los fenocristales. Los cristales de cuarzo presentan bordes de corrosión y son de 1 a 3 mm de diámetro. Turmalina en forma de finas agujas alojadas en cavidades, fracturas y menos frecuente disseminada. La sílice residual se presenta en forma de cristales anedrales, en vetillas y como componente de la ma-

triz. Por alteración supergénica la biotita está parcialmente reemplazada por clorita y arcillas de tipo sericitico. En general esta unidad se encuentra con una alteración potásica casi borrada por una fuerte alteración de cuarzo y sericita hidrotermal y por procesos supergénicos.

Granodiorita

Se localiza en su mayor parte hacia el E y SE del depósito mineral y está limitada por la falla "La Caridad". Su contacto con la diorita hacia el NW y W no es claro, aunque a veces es reconocible por las zonas de brechas formadas entre ellas. La textura es variable y por lo común se presenta como pórfido de granodiorita debido a las grandes tabletas de hasta 2 cm de plagioclasa y de feldespato potásico que contiene.

Los fenocristales de menor tamaño de plagioclasa son subedrales y se encuentran en forma desordenada en la matriz. El cuarzo se presenta como pequeños cristales y no son muy abundantes. En algunas zonas del depósito esta roca se encuentra sin los grandes fenocristales de feldespatos, presentando una textura media homogénea en una matriz granular, lo que la hace parecer muy similar al pórfido de monzonita de cuarzo tipo C. En la parte E fuera del depósito en afloramientos sobre el Arroyo "Guadalupe" se le observa alteración potásica como efecto de introducción de feldespato potásico en vetillas y sobre los fenocristales de plagioclasa reemplazándolos modera-

damente. Al igual que la unidad anteriormente descrita la alteración potásica está en su mayoría cubierta por la alteración de cuarzo y sericita con gran cantidad de vetillas de cuarzo de hasta 5 mm de espesor.

Pórfido de Monzonita de Cuarzo

Esta unidad se encuentra irregularmente emplazada en la parte central del depósito dentro de los otros cuerpos intrusivos y en contacto con la Andesita Rosario, así como en afloramientos aislados dentro de la granodiorita y de las rocas volcánicas del Terciario basal. Está íntimamente ligada genéticamente con los períodos de alteración y mineralización, en una gran variedad de texturas y grados de alteración, lo cuál nos proporciona algunas evidencias sobre su forma de emplazamiento. De acuerdo a esto y en apoyo de observaciones de campo se ha delimitado la existencia de al menos tres pulsos intrusivos de pórfido de monzonita de cuarzo claramente reconocibles en el depósito mineral y áreas adyacentes. Para la descripción de estas unidades se les ha designado arbitrariamente como pórfido tipo A, B y C, y aunque la secuencia de intrusión no es bien conocida, comparando este depósito con otros ampliamente conocidos cuyo modelo genético en general es similar, se piensa que esta secuencia sigue el mismo orden de la descripción. Así, un primer pulso intrusivo de pórfido de monzonita de cuarzo, el tipo A, fué de dimensiones colosales y abarcó una zona mucho más amplia que la del presente de-

pósito conocido, portando gran cantidad de soluciones hidrotermales que causaron una extensa alteración potásica y que dieron origen a las grandes concentraciones de molibdeno en la parte Este del depósito y que posteriormente causaría la mineralización primaria en los pórfidos adyacentes, principalmente hacia el Oeste por introducción metasomática de iones de cobre y azufre. En algunos lugares marginales al yacimiento los sulfuros primarios de cobre ocurrieron en concentraciones económicas junto con galena y esfalerita.

Esta roca es de textura gruesa, color gris claro a rosa, con grandes fenocristales euedrales de plagioclasa y feldespato potásico casi fresco, cristales de cuarzo de 1 a 3 mm de diámetro a veces redondeados por reabsorción.

La biotita se presenta raramente como pequeños fenocristales y generalmente se le encuentra en una matriz granular compuesta por feldespatos y abundante sílice.

Actualmente el pórfido tipo A no aflora en los niveles del presente depósito y su mejor exposición se encuentra hacia el NE en la localidad conocida como Puerto Chino a una diferencia de altura de aproximadamente 400 metros de la parte más alta del depósito en su forma original. Hacia el NW dentro de las rocas volcánicas del Terciario Inferior y en su contacto con la diorita se encuentran pequeños salientes de este pulso intrusivo conteniendo gran cantidad de cristales euedrales de biotita que le da a la roca una apariencia moteada, con turmalina radial y mineralización fuerte de pirita, calcopirita y

cobre nativo. Parte de la biotita es secundaria debido a que a veces se le observa en cristales de crecimiento muy irregular, lo que nos puede indicar un evento posterior o una etapa tardía de alteración potásica, evidenciado también por la mineralización de molibdeno en fracturas de cuarzo con pirita. La turmalina es claramente premineral pues los sulfuros primarios están alojados entre los cristales radiales de los agregados y a veces cubriéndolos parcialmente.

Los siguientes pulsos de Pórfido de Monzonita de Cuarzo fueron intrusiones de extensión más restringida abarcando únicamente lo que es el actual depósito mineral y presentando una variedad textural que puede deberse a la diferencia de presión y temperatura a la que se emplazaron.

El Pórfido tipo B se encuentra en la parte central del depósito mineral emplazado en el contacto de la Diorita de Cuarzo con la Granodiorita. Es de textura fina con cristales de cuarzo hasta 2 mm de diámetro, pequeños y numerosos fenocristales de plagioclasas euedrales, con feldespatos potásicos en menor cantidad que la plagioclase de hasta 4 mm de longitud en una matriz de grano muy fino con abundante sílice. La biotita se encuentra raramente en pequeñas hojuelas y la turmalina aparece como delgadas agujas en forma diseminada principalmente. Esta roca cambia gradualmente hacia el E a una textura media cerca del contacto con la zona de brechamiento intrusivo, y hacia el S en contacto con la Andesita Rosario.

Diorita de Cuarzo y Granodiorita, en donde se le encuentra con mineralización débil de Calcopirita y Molibdenita en forma diseminada.

Tal parece que esta intrusión fue de emplazamiento pasivo, ya que no se observa la formación de zonas de brecha con las rocas adyacentes, aunque sí produjo un fracturamiento en la Diorita de Cuarzo y aumentó el brechamiento previamente formado entre esta última roca y la Granodiorita. Es posible que este Pórfido tipo B sea el resultado intrusivo de una etapa secundaria o tardía de las soluciones remanentes del pulso anterior, evidenciado por la gran cantidad de sílice de que está compuesta y por la escasa mineralización de sulfuros que contiene. Al mismo tiempo este pulso intrusivo fue el que produjo una incipiente alteración de Cuarzo-Sericita en el depósito y que puede considerarse como derivado de la alteración potásica en sus partes superiores. Según Sillitoe (1973) en las partes más profundas de un típico depósito de cobre porfídico la alteración potásica tiende a ser el tipo de alteración preponderante, gradando hacia los niveles superiores a un tipo de alteración potásica dentro de una presión modificada en donde la biotita es menos común y consiste en un arreglo de cuarzo, feldespatos potásicos, sericita y clorita. Esto es que la alteración sericitica y argílica toma un incremento importante hacia arriba a expensas de la alteración potásica.

El tercer pulso intrusivo de Pórfido de Monzonita de Cuarzo ocupó la porción E y NE del depósito mineral y

sus efectos fueron los que realmente conformaron el actual yacimiento, ya que originó una extensa alteración sericitica y produjo las mayores estructuras brechadas que posteriormente serían el principal control para el emplazamiento de la mineralización primaria y para el proceso de enriquecimiento secundario.

Este Pórfido tipo C se emplazó dentro de la unidad fracturada de Diorita de Cuarzo, formando una zona de brecha de ambas rocas y en algunos lugares también con bloques y fragmentos de Pórfido tipo B y zonas brechadas de Pórfido tipo C. En la porción NE del depósito se encuentran entrantes sin brechamiento de este pulso en donde se pueden observar claramente sus características primarias. Es de textura gruesa con gran cantidad de fenocristales de plagioclasa y de feldespatos potásico con centro fresco y bordes de alteración sericitica, ambos de hasta 2 cm de largo. Los cristales de cuarzo son de 2 mm en promedio, siendo los mayores de 4 mm con bordes de sobrecrecimiento que les da forma redonda u oval. La matriz es afanítica en donde solo se distingue un arreglo uniforme de feldespatos y abundante sílice.

Este pulso es el que está relacionado directamente con el período de alteración y mineralización en el área del depósito, encontrándose fuertemente mineralizado, principalmente en las zonas donde está mezclada con la Diorita de Cuarzo, debido a que aportó el mayor volumen de soluciones hidrotermales conteniendo la suficiente concentración de iones metálicos para formar el depósito

mineral en forma diseminada.

Pegmatita

Cuerpos irregulares de pegmatita ocurren en la parte central NE del depósito y en zonas marginales. Se compone esencialmente por cristales de biotita de grano grueso mezclada con cuarzo piramidal en forma masiva. La biotita está fuertemente cloritizada en fracturas y en agregados masivos y moderadamente sericitizada. Esta unidad es notable por su deficiente contenido de feldespato. El nombre de pegmatita se aplica solo en sentido textural, debido a que en el depósito de "La Caridad" se le observa ocupando a manera de cementante los espacios entre los fragmentos en la zona brechada, así como en estructuras de forma alargada sugiriendo su emplazamiento en fracturas. Por lo anterior la pegmatita en el depósito "La Caridad" (Pegmatita Santa Rosa) se emplazó durante o inmediatamente después de la intrusión del Pórfido de Monzonita de Cuarzo y antes del período de alteración y mineralización.

Según Sillitoe (Inédito) los desarrollos pegmatíticos en el depósito "La Caridad" parecen ser contemporáneos con la alteración potásica. Dicha alteración probablemente es sin embargo de origen hidrotermal. Es interesante notar que las edades radiométricas sugieren que la pegmatita "Guadalupe" se emplazó un millón de años antes que la alteración sericitica, de acuerdo con la interpretación hecha por Sillitoe. Sin embargo, en el depó-

sito "La Caridad" la edad radiométrica de la pegmatita "Santa Rosa" no concuerda con esta hipótesis. (Tabla I).

Latita de Cuarzo

Esta roca se encuentra en forma de pequeños troncos en la parte NE del área, rodeada por la riolita del Terciario inferior. En uno de estos troncos se encuentra la antigua mina de "La Caridad". Es de grano medio con gran cantidad de ojos de cuarzo y feldespatos de color claro en una matriz verde grisácea. Está bañada con abundantes óxidos de fierro y al igual que las demás rocas vecinas presenta fuerte y penetrante alteración sericitica. Texturalmente y en composición es similar al pórfido de monzonita de cuarzo del depósito, por lo que tal vez se trate de un equivalente subvolcánico de esta roca, emplazada en forma de pequeños dedos provenientes de la intrusión principal.

Existe la hipótesis generalizada por la mayoría de los geólogos de que esta área constituyó la parte superior del depósito "La Caridad" que fue cortada y desplazada en el Oligoceno por la Falla de La Caridad. Hay muchas evidencias que favorecen esta hipótesis, sin embargo, no está plenamente comprobada. Una evidencia a favor es que la andesita en la parte Norte de la falla y la andesita en el depósito son muy similares megascópicamente. Otra indicación que apoya esta hipótesis es la mineralización de enargita y rodocrosita que se encuentra en la Mina antigua de "La Caridad", mencionada por Martínez

TABLA I.- Determinación de edades de rocas y eventos en el área del Depósito "La Caridad" por el método K-Ar.

Roca o Evento	Edad (m.a.)	Fuente
Riolita "El Globo"	24.0 ± 0.4	Livingston, D.E., 1973
Diorita de Cuarzo	48.9 ± 1.2	" " " "
Granodiorita	48.9 ± 1.9	" " " "
Pegmatita "Santa Rosa"	50.4 ± 1.9	Thoms, J.A., 1970
Latita de Cuarzo	51.3 ± 1.0	Livingston, D.E., 1973
Alteración Sericitica	53.0 ± 0.4	" " " "
Pórfito de Monzonita de Cuarzo	53.1 ± 0.4	" " " "
Pegmatita "Guadalupe"	54.0 ± 0.8	Damon, P.E., 1968

Tomado de Berchenbriter y modificado por el autor.

(1970), ya que la enargita es de origen primario y se deposita cerca de la superficie y la rodocrosita generalmente se le encuentra también cerca de la superficie. Sin embargo, cabe la posibilidad de que estos minerales se hayan formado en el lugar que ocupa actualmente la Mina antigua de "La Caridad". Tal vez la más clara evidencia sobre esta hipótesis es la posición que ocupa la latita de cuarzo, ya que ésta se encuentra casi directamente abajo del depósito "La Caridad" y sobre el buzamiento de la Falla de "La Caridad", sugiriendo su desplazamiento por la falla y con un menor desplazamiento sobre su rumbo.

Segun Berchenbriter se necesitaría una distancia de casi 4 1/2 kilómetros buzamiento arriba para restaurar al tronco de latita de cuarzo a su original posición, tomando como promedio un buzamiento de 39°, obtenido por el método de los tres puntos y basada en datos obtenidos por núcleos de barrenación a diamante.

SEDIMENTOS TERCIARIOS

Después del levantamiento general ocurrido en la región durante el Terciario medio se formaron valles y depresiones en las cuales se depositaron una serie de sedimentos fanglomeráticos.

En el área del depósito se encuentra una de estas unidades sedimentarias,

Fanglomerado "La Caridad"

Es la unidad sedimentaria más notable en el área debido

a su fuerte coloración rojiza que presenta, así como a lo escarpado de sus afloramientos. Se puede describir como una unidad bien cementada, pobremente clasificada y burdamente estratificada, compuesta de fragmentos angulosos y semiredondeados de tamaños desde guijarros hasta bloques de rocas volcánicas preminerales fuertemente alteradas con cantidades menores de fragmentos de rocas intrusivas. Está fuertemente cementada por arcilla y hematita que es la que le da su característico color rojo.

La mejor localidad de exposición de ésta unidad se encuentra en el Arroyo "Coloradito", en posición discordante con las rocas volcánicas del Terciario Inferior y en partes cubierta por las riolitas del Terciario medio al W. Su extensión al S termina en la Falla "La Caridad". Tiene una ligera inclinación al NW entre 15° y 30°. Por relaciones estratigráficas parece ser de edad Pre-Mioceno, más seguro Eoceno medio.

Se desconoce su espesor real pero se ha perforado hasta 480 metros de esta unidad por barrenos de exploración cerca del Arroyo "Coloradito" (Contla, 1974; p. 12).

SEDIMENTOS CUATERNARIOS

Estos sedimentos están representados por el depósito de varios tipos de materiales no consolidados. Depósitos de talud de rocas de forma angular, material de aluvión no consolidados relleno los arroyos, pequeños afloramientos distribuidos al azar de fanglomerados, terrazas

semiconsolidadas en la parte E del área con fragmentos de más de medio metro de tamaño y compuesta de clastos rodados de varios tipos de rocas con un promedio de espesor de 5 metros.

2.2 GEOLOGIA ESTRUCTURAL

El distrito minero de "La Caridad" se caracteriza por un ambiente volcánico y subvolcánico en su mayor parte, compuesta por derrames, tobas y brechas andesíticas y riolíticas emplazadas en el Cretácico terminal-Terciario basal, las cuales fueron intrusionadas en el Eoceno basal por varios troncos de composición granítica que produjeron un levantamiento y fallamiento en la zona que actualmente ocupa el depósito, creando los primeros rasgos estructurales en el área de estudio, como las fuertes zonas de brecha y sistemas de fallas y fracturas de rumbo general NW.

Una de estas fallas constituye el rasgo sobresaliente en esta área: La Falla "La Caridad", una gran estructura de rumbo general N 45° W y buzamiento promedio de 40° NE, que se puede identificar a lo largo de 13 kilómetros de afloramientos claros y semicultos. Fue formada en el Oligoceno, ya que corta a los Conglomerados "La Caridad" (Eoceno medio) y está intrusionada y cubierta por la Riolita "El Globo" (Mioceno), la cual se cree que se emplazó en una zona de debilidad formada por la Falla "La Caridad" y una estructura intersectante de rumbo aproximado N 60° W que posiblemente se formó por los efectos de

extensión producidos por el desplazamiento normal de la falla.

Esta intersección coincide en el lugar donde se erigió el cuello volcánico formado por la intrusión riolítica que dio lugar a los derrames.

Un fallamiento posterior en menor escala se observa en el área de estudio, evidenciado solo por pronunciadas cañadas y acantilados casi aproximadamente perpendiculares a la Falla "La Caridad", que en algunos lugares se encuentra cortada y desplazada. (Plano 1 y Fig. 4).

En la esquina NW del área de estudio una de estas fallas está descubierta por el corte del camino que conduce al depósito, en donde se observa la zona de falla compuesta por material arcilloso muy intemperizado y que pone en contacto a la Riolita "El Globo" al NE con el Pórfido Andesítico al W y SW. Esta pequeña serie de fallas pueden haberse producido por movimientos posteriores de la Falla "La Caridad" o a la tectónica del Terciario final que tuvo lugar en la región y que fue responsable de la topografía de Sierras y Valles paralelos en una alineación casi N-S.

La Falla "La Caridad" tuvo sus primeros desplazamientos en el Oligoceno, siguiendo a las intrusiones y como resultado de un deslizamiento por gravedad de las rocas plutónicas al producirse el levantamiento y la formación de las unidades fangloméricas.

En resumen el área de estudio ha experimentado tres períodos de fallamiento: 1) Fallamiento del Terciario ba-

sal asociado a los derrames volcánicos y caracterizado por planos de fallas rellenas parcialmente con soluciones mineralizantes, y a lo largo de las cuales se encuentra una alineación de pequeños prospectos y que se encuentran cortados por la Falla "La Caridad", 2) Fallamiento del Eoceno terminal-Oligoceno acompañando al levantamiento del área del depósito, y evidenciado por la Falla "La Caridad", 3) Fallamiento del Terciario terminal por movimientos posteriores de reacomodo de la Falla "La Caridad", donde la Riolita "El Globo" se encuentra desplazada y en contacto con el pórfido andesítico hacia el W; o por la tectónica de Sierras y Valles paralelos ocurridos en la región y que caracteriza a la topografía actual.

3.0 GEOLOGIA ESTRUCTURAL DEL DEPOSITO MINERAL

A la luz de los trabajos recientes que se han llevado a cabo durante el minado del depósito, se han observado importantes rasgos estructurales cuya interpretación ocasionará, entre otras cosas, una mas clara comprensión de su génesis y evolución geológica, incluyendo en esto un mejor conocimiento sobre los factores que influyeron en la distribución y emplazamiento de las soluciones mineralizantes.

En términos generales, la geología estructural presenta analogías con la de muchos de los depósitos de cobre porfídico existentes. La geología estructural se incluye en un modelo genético para este tipo de depósitos, enun-

ciado por Gustafson y Hunt (1975) y cuyos elementos esenciales son: 1) Emplazamiento somero de una compleja serie de troncos porfídicos en la cúpula y arriba de ésta de un batolito calcoalcalino; 2) Separación de fluidos magmáticos y simultánea onroducción metasomática de cobre, azufre, otros metales y álcalis dentro de los pórfidos y rocas adyacentes; 3) La formación de un sistema circulante de aguas subterráneas que reacciona con las rocas mineralizadas en proceso de enfriamiento; 4) El establecimiento de un colapso interno.

El depósito "La Caridad" parece corresponder a las partes más superiores de un típico depósito de cobre porfídico, debido a que en ella se observa aún parte de su cubierta volcánica y porque al presente nivel de erosión se encuentra una serie de estructuras brechadas de tipo intrusivo hidrotermal con una fuerte alteración fílica y débiles halos de alteración argílica y propilítica. El tipo predominante de alteración es sericitica, consistente de cuarzo, sericita, pirita, turmalina y calcopirita. Es abundante y penetrante en la parte central del depósito, decreciendo hacia los márgenes hasta un halo débil de alteración propilítica conteniendo clorita, epidota y pirita.

Una característica notable en este depósito es la forma como se presenta la alteración potásica, la cuál ocurre en su mayor parte como un extenso halo alrededor de la alteración sericitica y como pequeños parches dentro de ella, esperándose interceptarla a una profundidad de

aproximadamente 400 metros en el depósito. Está representada por vetillas y agregados de biotita, feldespato potásico, cuarzo, pirita, calcopirita y molibdenita y se le puede observar en las cañadas existentes al Sur del depósito como biotita en agregados en las cavidades de una brecha de diorita y granodiorita con mineralización primaria de pirita, calcopirita, molibdenita y trazas de galena y esfalerita. Aproximadamente a 1500 metros al Este se encuentra una localidad con grandes hojuelas masivas de biotita, con feldespato potásico, también masivo y cuarzo dentro de la granodiorita. En el arroyo de Puerto Chino, hacia el Este del depósito, la alteración potásica consta de vetillas de biotita y feldespato potásico dentro del pórfido de monzonita de cuarzo mineralizado con pirita, molibdenita y poca calcopirita. Hacia la parte NW del depósito mineral se encuentran pequeños afloramientos de pórfido de monzonita de cuarzo dentro de la unidad andesítica y riolítica, con pequeñas hojuelas de biotita y con feldespato potásico, con mineralización de pirita, calcopirita, y turmalina. La pegmatita Santa Rosa, en el centro del depósito, compuesta de biotita y cuarzo se cree es contemporánea con la alteración potásica, debido a que la biotita se encuentra parcialmente alterada a sericita, aunque esto también puede ocurrir dentro de los procesos supergénicos. Por lo anterior, es obvio asentar que en este sentido el depósito "La Caridad" no concuerda con el modelo propuesto por Lowell y Guilbert, debido a que la altera-

ción potásica no se encuentra confinada como un núcleo de zonas de alteración sino que ella se extiende más allá de las zonas fillicas y propilíticas, rodeándolas tanto en sus partes inferiores como marginales, simulando un enorme embudo.

3.1 CLASIFICACION DE LAS ESTRUCTURAS

Los rasgos estructurales más sobresalientes son un sistema principal de fallamiento y fracturamiento de rumbo aproximado N-S con inclinaciones tanto al W como al E; un sistema menor de fallamiento de rumbo NE-SW y NW-SE con inclinaciones variables; un fracturamiento de tipo escalonado en la parte Sur del depósito, de rumbo general E-W con inclinación al Sur; un fracturamiento intenso en la mayor parte del depósito con diferentes direcciones pero predominando un rumbo hacia el NW-SE con echado desde 70° hasta verticales; y un brechamiento de tipo intrusivo hidrotermal abarcando la mayor parte del área del depósito. Con excepción de las brechas intrusivas, todas las estructuras son post-minerales o contemporáneas al período de mineralización, encontrándose fallas y fracturas preminerales desplazadas o escondidas en las primeras, por lo que no se puede hacer una descripción exacta de ellas. Sin embargo, en la parte W del depósito se encuentra un fuerte fracturamiento en stock-work producida por el efecto de las intrusiones múltiples en la andesita, por lo que se cree que esta estructura es una de las primeras formadas en el depósito mi-

neral, considerándosele como un brechamiento intrusivo hidrotermal.

Tanto el fallamiento N-S como NE-SW son post-mineralización primaria pero posiblemente sean contemporáneas con el enriquecimiento secundario y sirvieron como vías para la circulación de las soluciones lixiviantes, debido a que la mayoría de ellas contienen limonitas procedentes de pirita y de calcopirita. Las fallas de rumbo NW-SE y el fracturamiento escalonado son francamente post-minerales o formadas en el último ciclo de enriquecimiento, presentándose las últimas como relices estériles arcillosas y tal parece que sirvieron como zonas controladas para la mineralización, ya que ellas se orientan y limitan al bloque mineral que atraviesa el depósito en una dirección NW-SE y a veces también limitan zonas no mineralizadas, sugiriendo desplazamientos verticales en dichas zonas.

3.2 ESTRUCTURAS BRECHADAS EN EL DEPOSITO "LA CARIDAD"

Debido a que las estructuras brechadas abarcan la mayor parte del depósito mineral se les considera como el principal control en el emplazamiento de los sulfuros tanto primarios como secundarios, por lo que se les clasifica como las estructuras más importantes para la formación de las zonas mineralizadas. Estas brechas son de tipo intrusivo hidrotermal producidas por las sucesivas intrusiones de los troncos porfídicos y por la acción de gases y soluciones calientes que circularon por ellas, lo que

les ocasionó diferencias tanto en su forma estructural como en su litología y aún en su mineralización, y en su observación se han distinguido las siguientes clases:

Brecha en stock-work

Brecha monogenética

Brecha poligenética

a) Brecha con fragmentos angulares

b) Brecha con fragmentos arredondados

Brecha en stock-work. Se presenta en la parte W del depósito mineral dentro de la unidad andesítica y se caracteriza por un intenso fracturamiento en "stock work" producido por las intrusiones de diorita y pórfido de monzonita de cuarzo, pues en ella se encuentran aún remanentes de éstas rocas. La alteración es de tipo propilítico con escasas y pequeñas zonas de alteración sericitica con mineralización fuerte de pirita en delgadas vetillas, pirita y cuarzo en vetillas también, así como de pirita y calcopirita con débil reemplazamiento de calcocita, turmalina muy fina en forma de aguja acompañando al cuarzo en vetillas y en paredes de fracturas. La diseminación de los minerales es muy poca y se presenta marginal a los enrejados de vetillas.

El brechamiento no es homogéneo, tampoco es completo ya que se observan bloques de diorita sin brechar o con muy poco brechamiento. Esto hace resaltar, los diferentes eventos tectónicos que ha experimentado esta parte del depósito, observándose por lo menos tres principales períodos de fracturamiento. El primero fue producido por

la intrusión diorítica descrito anteriormente, seguido por un fracturamiento también en enrejado con fracturas más grandes y continuas el cuál se encuentra cortado por un tercer fracturamiento en un sistema rectangular observándose que corta tanto a las zonas brechadas como a los bloques de diorita sin brechar. Este fracturamiento es el responsable de la circulación de fluidos hidrotermales que dieron origen a la mineralización de sulfuros primarios, y fué producido por uno de los primeros pulsos del pórfido de monzonita de cuarzo. Sin embargo, esta brecha en sí es casi estéril.

Brecha monogenética. Hacia la parte Sur del actual depósito mineral se encuentra una unidad brechada compuesta exclusivamente por fragmentos desde angulosos a redondeados, con mayor predominancia de los últimos, de diorita de cuarzo de textura fina con tamaños desde guijarros a bloques. Presenta alteración sericitica no muy penetrante acompañando a una fuerte silicificación, con biotita anedral en aglomerados en pequeñas cantidades dentro de la roca y en el cemento junto con cuarzo. Debido a que la matriz de la roca está biotitizada, esto nos sugiere que la biotita de la roca y del cementante tienen un origen común, probablemente en una etapa en la que existieron grandes cantidades de sustancias volátiles y que fueron las responsables del brechamiento de la roca. La hematita no es muy abundante y se le observa en fracturas, turmalina en rosetas diseminada en la roca y en cavidades dentro de ella. La mineralización de sul-

furos es escasa, con pirita y calcopirita en delgadas vetillas y gran cantidad de limonitas, de pirita in situ. La calcocita se presenta como reemplazamiento en los sulfuros en delgadas películas.

Dentro de esta unidad se encuentran estructuras lineales casi verticales de aproximadamente un metro de espesor, formada por numerosos y pequeños fragmentos muy bien redondeadas de diorita de cuarzo, semejando zonas de cizallamiento o pequeñas intrusiones del tipo pebbles dikes. Una característica en esta brecha es la gran fuerza con que están cementados los fragmentos, sin observarse material arcilloso ni de roca, lo que evidencia su formación por medio de la circulación de fluidos hidrotermales.

Brecha poligenética. Están formados por fragmentos desde pequeños clastos hasta grandes bloques de pórfido de monzonita de cuarzo mezclados con los de diorita, diorita de cuarzo, granodiorita y a veces con andesita. Existen diversas variantes de esta brecha pero se distinguen dos principales clases: a) Brecha con fragmentos angulares. Se compone de fragmentos de pórfido de monzonita de cuarzo de textura media y de diorita de cuarzo que se presenta como bloques dentro de la primera, con pequeños bloques de granodiorita. Esta última roca hacia el Este del depósito forma la totalidad de la brecha con entrantes de pórfido de monzonita de cuarzo. En general la brecha angular ocupa la parte central del depósito y parece una variación de la brecha redondeada, que ha su-

frido rotación de bloques o desplazamientos tectónicos. La mayoría de los fragmentos son de forma angular con pocos fragmentos redondos o semiredondos, todos ellos cementados por abundante material de roca, arcilla y por sílice residual. Presenta fuerte alteración sericitica y silicificación, con turmalina diseminada en la roca, hematita terrosa en vetillas y fracturas. Las limonitas son en su mayoría provenientes de pirita, aunque existen los de calcopirita y calcocita alojados en los huecos de la brecha, transportados e in situ. Se caracteriza por contener la mayor parte de la mineralización económica del depósito en forma de cavidades y vetillas por pirita y calcocita, siendo una estructura que la controló, ya que en su contacto al W con el pórfido de monzonita de cuarzo termina la zona de mineralización económica.

b) Brecha con fragmentos arredondados. Se le encuentra hacia el N y S de la brecha anterior y se forma desde pequeños fragmentos hasta bloques de pórfido de monzonita de cuarzo y diorita de cuarzo.

Es la brecha más abundante en el depósito aunque no toda ella está mineralizada. En general este tipo de brecha presenta las mismas características litológicas que la anterior, con la diferencia de que sus fragmentos son arredondados y muy juntos entre sí, cementadas por material de roca y sílice residual. La alteración es sericitica fuerte con cristales de cuarzo secundario en agregados, turmalina abundante en rosetas en cavidades y di-

seminada en la roca, con delgadas vetillas de cuarzo. Las limonitas son de tipo Jarosítico en fracturas y bañando a la roca. Se observan bandas de alteración de cuarzo y sericita posteriores al brechamiento. Hacia la parte Sur del depósito gradúa a una brecha con predominancia de fragmentos de diorita de cuarzo y granodiorita sobre lo de pórfido de monzonita de cuarzo cementados fuertemente por sílice y presentando pocas cavidades. La alteración es moderada a fuerte de sericita y fuerte silicificación.

Una variación de esta brecha se observa en la zona de pegmatita, la cuál se encuentra mezclada dentro de las unidades de pórfido de monzonita de cuarzo y diorita de cuarzo y que en algunos lugares actúa como cementando entre ellas, aunque generalmente se presenta como aglomerados o en estructuras lineales, sugiriendo su emplazamiento dentro de la zona brechada en cavidades y fracturas. La mineralización se presenta en la parte Sur del depósito en vetillas de pirita y calcocita, controlada por un fracturamiento de rumbo E-W y por fallas N-S. En el depósito "La Caridad" existe un posterior brechamiento del tipo de colapso, que tuvo lugar en la zona de contacto de las brechas con el pórfido de monzonita de cuarzo al W y que fue producido por un fracturamiento de rumbo N-S como efecto de esfuerzos de la intrusión del pulso que provocó el brechamiento angular que afectó principalmente la parte central del depósito. El pórfido de monzonita de cuarzo, de textura fina y fuertemente

silicificado, sufrió desplazamientos verticales y rotación de bloques en el contacto de la intrusión.

3.3 EDAD Y FORMACION DE LAS ESTRUCTURAS BRECHADAS SEGUN SU RELACION CON LAS INTRUSIONES MULTIPLES

Todos los tipos de brechas están relacionados al período de las intrusiones múltiples en el Eoceno Terminal, sin embargo, cada una de ellas presenta características diferentes que son los rasgos que la identifican en el modo de emplazamiento de los pulsos intrusivos que le dieron origen.

La secuencia de formación de las estructuras brechadas puede inferirse por la observación litológica de ellas, tomando en cuenta que las primeras brechas formadas deben de contener fragmentos de los primeros pulsos intrusivos que se emplazaron en el depósito,

Por observaciones directas y por evidencias de la secuencia intrusiva se considera que la primer brecha se formó hacia el W del depósito dentro de la andesita y como consecuencia de la intrusión de un tronco de composición diorítica. Esta brecha, aunque contiene remanentes de diorita, no se encuentra formada con fragmentos de ella, sino que sólo sufrió un fuerte e intenso fracturamiento en stock-work, que nos indica un emplazamiento lento y en forma pasiva del pórfido diorítico.

El brechamiento monogenético es el resultado de la intrusión de un gran cuerpo granodiorítico que abarca la mayor parte hacia el E del depósito mineral. Tal parece

que esta intrusión fué pasiva y portando una cantidad considerable de fluídos hidrotermales, a juzgar por la forma redondeada de los fragmentos de la brecha, compuesta enteramente de diorita y diorita de cuarzo en la que no se observan material molido de roca ni material arcilloso, y sí fuertemente cementada por sílice residual, lo que significa que estos fluídos hidrotermales circularon consistentemente dentro de la unidad diorítica por medio de fracturas y pequeñas cavidades, ocasionando mayor división entre los fragmentos y redondeamiento de los mismos.

Dentro de esta unidad brechada se observa una estructura que se le identifica como pebbles dike, formada por clastos redondeados de diorita de cuarzo. Su formación no es muy clara actualmente ya que no son abundantes y no se han estudiado lo suficiente, sin embargo es posible que se hayan emplazado en grandes fracturas de la diorita de cuarzo como resultado de los esfuerzos de presión de la intrusión granodiorítica, la que se transportó fragmentos de diorita de cuarzo por las fracturas hasta los niveles superiores de este cuerpo. Una evidencia favoreciendo lo anterior sería encontrar fragmentos o material de composición granodiorítica en los niveles inferiores de esta estructura. También es posible que los pebbles dikes se hayan formado como consecuencia de cizallamientos a lo largo de una zona de fractura por movimientos verticales en ambos sentidos, arrancando y redondeando material de roca de las paredes. La

síto es el formado por los sucesivos pulsos intrusivos de pórfido de monzonita de cuarzo, dando origen a una brecha poligenética de diferentes formas y tamaños de los fragmentos que la componen. Tal parece que en sus orígenes esta brecha fué homogénea estructuralmente en

primera interpretación parece la más acertada debido a que en las paredes de la estructura no se observa material arcilloso ni evidencias de desplazamientos.

La intrusión del cuerpo granodiorítico provocó también zonas de brechas poligenéticas, con fragmentos de diorita de cuarzo en forma de bloques semiredondeados a rectangulares, existiendo en las partes S y SE del depósito, en lugares donde la diorita de cuarzo se encontraba con mayor fracturamiento.

El brechamiento predominando en la mayor parte del depósito es el formado por los sucesivos pulsos intrusivos de pórfido de monzonita de cuarzo, dando origen a una brecha poligenética de diferentes formas y tamaños de los fragmentos que la componen. Tal parece que en sus orígenes esta brecha fue homogénea estructuralmente en el depósito y que por movimientos posteriores o por una mayor circulación de fluidos hidrotermales en la parte central transformó a los fragmentos de roca a una distribución al azar y de formas angulosas tanto en las unidades anteriores como en el mismo pórfido de monzonita de cuarzo. La granodiorita en la parte E del depósito se encuentra con un fuerte brechamiento mezclada con grandes bloques de diorita de cuarzo y fragmentos de pórfido de monzonita de cuarzo. Hacia el N y S de esta zona, el brechamiento existente es el causado por la fuerza de la intrusión monzonítica de cuarzo con la ayuda de las soluciones hidrotermales que fluyeron por ella, formando una brecha cerrada con la mayoría de

los fragmentos de forma redondeada y muy juntas entre sí. Al iniciarse el proceso de la formación de pegmatitas, estas encontraron un excelente sitio de emplazamiento en las zonas brechadas hacia el NE del depósito mineral, en donde se le observa como cementante entre los fragmentos de la brecha y en grandes cavidades dentro de ella, así como en masas irregulares cuyos límites con las rocas es muy tenue.

3.4 RELACION TEMPORAL DE LAS ESTRUCTURAS Y LAS SOLUCIONES MINERALIZANTES Y ALTERANTES. CONFIGURACIONES DE MINERALES DE ALTERACION, MENA Y GANGA EN EL TIEMPO. ENSAYO DE PARAGENESIS

Las primeras brechas formadas en el depósito "La Caridad" ocurrieron un poco antes de el completo emplazamiento de los pórfidos de monzonita de cuarzo, al término de las cuales se formaron las pegmatitas, emplazándose en estas zonas brechadas.

Como se menciona en el capítulo anterior, hubo un segundo período de brechamiento relacionado a posibles movimientos tectónicos o más seguramente a movimientos de reacomodo de los pórfidos en sus etapas finales de consolidación y enfriamiento cuando aún contenían un núcleo de material semiconsolidado, lo que causó un sistema de fracturamiento casi vertical por los que se liberaron los fluidos hidrotermales, dando origen a las estructuras brechadas del tipo intrusivo hidrotermal, y a la formación de los primeros minerales de alteración como

FIG. 8-DIAGRAMA CRONOLOGICO DE EVENTOS GEOLOGICOS EN EL DEPOSITO LA CARIDAD

ROCAS Y BRECHAS

Porfidos Cuarzo Monzonita

Pegmatitas

Brechas

MINERALES METALICOS

Magnetita

Pirita

Calcopirita

Molibdenita

Esfalerita

Galena

MINERALES DE ALTERACION Y GANGA

Turmalina

Feldespato Potasico

Biotita

Cuarzo-Sericita

Cuarzo (vetillas)

turmalina, biotita y feldespato potásico en cantidades - apreciables, seguido por la cristalización de magnetita y de molibdenita. La turmalina continuó cristalizando, emplazándose en vetillas acompañada de cuarzo.

Al término de esta primer fase de alteración de las rocas, empezó una intensa y penetrante alteración sericitica en el depósito mineral, y con ella la formación de los primeros minerales de mena, con pirita y calcopirita alojándose en fracturas principalmente, siguiéndole en importancia como relleno de cavidades y disseminada. Al finalizar esta nueva fase de alteración y mineralización, la mayor parte de las zonas brechadas estaban ya completamente formadas y estabilizadas.

Después vino un período de mineralización de molibdenita en forma disseminada y en fracturas con cuarzo solo y también con pirita y cuarzo. La mineralización de pirita y calcopirita siguió depositándose en forma disseminada y en vetillas de cuarzo, en cuyas etapas finales estuvieron acompañadas por la cristalización de los últimos sulfuros en depositarse como son la galena y esfalerita. El cuarzo continuó su emplazamiento hasta las etapas finales de la mineralización, presentándose en forma de vetillas estériles.

3.4.1 CONFIGURACION DE MINERALES DE ALTERACION, MENA Y GANGA EN EL TIEMPO

Los siguientes minerales y asociación de minerales han sido observados en el depósito "La Caridad",

ordenados según su secuencia paragenética.

Alteración

Turmalina

Turmalina-Feldespató potásico-Biotita

Turmalina-Cuarzo

Cuarzo - Sericita

Mena

Magnetita

Molibdenita

Pirita

Pirita - Calcopirita

Molibdenita-Pirita-Calcopirita

Calcopirita-Galena-Esfalerita

Galena-Esfalerita

Ganga

Cuarzo

4.0 HISTORIA GEOLOGICA DEL DEPOSITO "LA CARIDAD"

Puede decirse que las raíces genéticas del depósito "La Caridad" empiezan con el emplazamiento de una potente secuencia volcánica de composición principalmente andesítica en el Cretácico terminal-Terciario basal. Es ahora ampliamente aceptado que este tipo de efusiones ligadas a un depósito de cobre porfídico están relacionadas a una zona de subducción de una placa oceánica bajo la corteza continental. Los magmas fueron generados por fusión parcial debido a las altas temperaturas por la profundidad y la fricción de la corteza oceánica en

la zona de subducción al ir descendiendo. El origen de este magma proviene de la parte superior del manto, el cuál surgió en las cordilleras oceánicas y transportado lateralmente hacia las fosas oceánicas (Fig. 9). Los materiales más probables que formaron los magmas de composición calcoalcalina y que son características en un depósito porfídico, provienen en su mayoría de los sedimentos pelágicos de la capa 1 y material de composición básica de las capas 2 y 3 (Fig. 9).

Sillitoe (1972) dice que un gran porcentaje de los metales fueron extraídos de la corteza oceánica como componentes de la capa 1 y de pequeñas concentraciones en la capa 2, las cuáles durante la fusión parcial fueron liberadas y ascendieron como componentes de los magmas calcoalcalinos en donde se concentraron en fases fluídas ricas en iones complejos de cloro, que se encuentran asociadas a las raíces de las intrusiones cerca de la superficie de la Tierra. Esta fase fluída fué liberada hacia arriba en las etapas finales de la consolidación del magma para dar origen a las típicas zonas verticales de mineralización en depósitos porfídicos de cobre y molibdeno.

4.1 LOS INICIOS DE SU FORMACION

Así, en el área del depósito "La Caridad" después de las grandes emanaciones de material andesítico sobre la superficie de la Tierra y sus cercanías, le siguieron una serie de troncos intrusivos en el Eoceno basal provenientes de la misma cámara magmática que dió lugar a las efu-

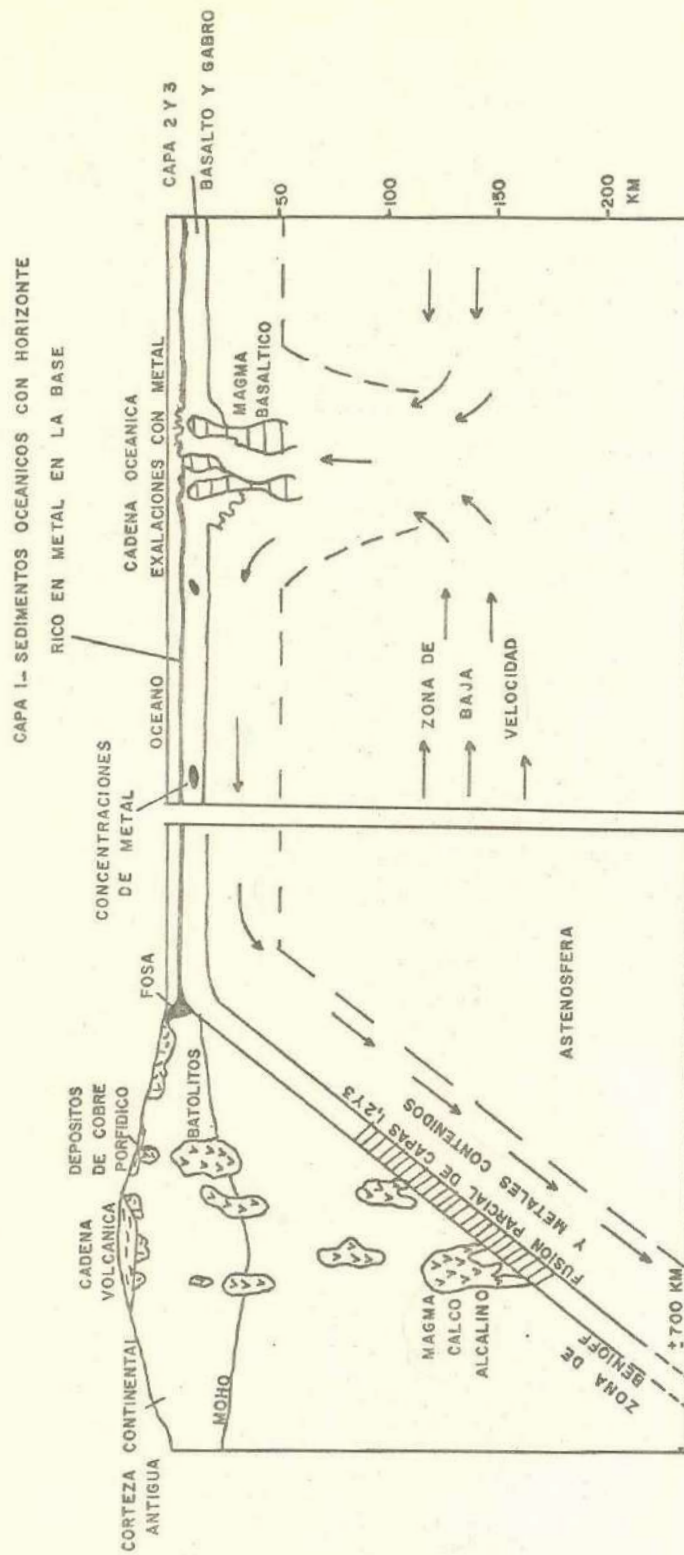


FIG.9 (FIG. 3 DE SILLITOE, 1972).- ESQUEMA IDEALIZADO DE LA GENESIS DE LOS DEPOSITOS DE COBRE PORFIDICO EN EL MODELO DE TECTONICA DE PLACAS.

siones.

Estas intrusiones múltiples produjeron una serie de estructuras brechadas de tipo intrusivo hidrotermal y un fuerte fracturamiento en stock work con mineralización diseminada de sulfuros primarios, principalmente de pirita y calcopirita, al igual que de cuerpos pegmatíticos. Un cuerpo de diorita fué el primer tronco que intrusionó a la secuencia volcánica hacia el W de lo que es el depósito mineral, produciendo cambios mineralógicos y estructurales en ella en forma de una intensa red de vetillas de cuarzo y sulfuros en stock work.

En seguida vino una gran intrusión de composición granodiorítica emplazándose hacia el E de la diorita, la cuál sufrió como consecuencia un fuerte fracturamiento y brechamiento compuesto por fragmentos de ambas rocas. Después de esta intrusión le siguieron una serie de pulsos intrusivos de composición monzonítica de cuarzo relacionados con la misma cámara magmática de las intrusiones anteriores pero en una nueva reactivación de ella, debido tal vez a nuevos movimientos en la zona de subducción infrayacente, ya que estos pulsos fueron los que transportaron la gran mayoría de las soluciones hidrotermales que alteraron y mineralizaron a las demás rocas, soluciones que fueron controladas por un importante sistema de brechas intrusivas.

Las estructuras pegmatíticas se formaron por la acción de soluciones residuales y de gases en las etapas finales de la consolidación de los cuerpos intrusivos.

4.2 LA EVOLUCION HASTA SU FORMA ACTUAL

Después de la completa consolidación de las rocas plutónicas en el Eoceno terminal, vinieron una serie de acontecimientos que cambiaron por completo el panorama original. Siguiendo a las intrusiones múltiples y tal vez contemporáneos a ellas se produjo un levantamiento en el área del depósito "La Caridad" el cuál, aunado a un ciclo erosional, removió parte de la secuencia volcánica que ocultaba la cumbre de los troncos porfídicos. Esto ocasionó que las aguas meteóricas y el nuevo ambiente oxidante actuaron sobre la parte descubierta, cambiando la mineralogía de los sulfuros primarios y transportándolos hacia abajo hasta un horizonte donde encontraron condiciones propicias para su estabilidad.

Posteriormente, en el Oligoceno se produjo una nueva remoción de las partes superiores en el área del depósito, causadas por los primeros movimientos de la falla "La Caridad" y que pudo ocasionar un nuevo levantamiento de las rocas al verse liberadas de parte de su cubierta tanto de las volcánicas como de partes de la cúpula de los cuerpos intrusivos plutónicos, dejando nuevamente al descubierto y ante los procesos supergénicos a la mineralización primaria y a el incipiente enriquecimiento secundario, lo que produjo un nuevo cambio en los sulfuros, tanto mineralógicamente como espacialmente, produciendo a profundidad un horizonte enriquecido con mineralización de Pirita-calcocita-calcopirita y dejando en

la superficie un casquete oxidado exhibiendo limonitas indígenas de pirita y calcopirita, así como zonas de hematita en las partes centrales del depósito; con las partes marginales conteniendo un encape de jarosita y goethita, indicando movimientos laterales de las soluciones portadoras de cobre durante el proceso de oxidación. La presencia de limonitas de calcocita en los niveles actuales del depósito mineral, así como a las zonas de hematita nos sugieren que la formación del depósito mineral tuvo un origen multicíclico, debido a que este último mineral puede formarse por la alteración de las limonitas dando lugar a hematita terrosa, o también como resultado de la meteorización de rocas conteniendo hierro, formando masas o capas irregulares.

BIBLIOGRAFIA

- ✓ AMBRUS, J., 1977, Geology of the El Abra porphyry copper deposit, Chile: Economic Geology. Vol. 72, pag. 1062 - 1085.
- ✓ BERCHENBRITER, D.K., 1976, The geology of the Caridad fault, Sonora, Mexico: M.S. Thesis, University of Iowa.
- ✓ BOLICH, L.C., 1969, Petrography of the Western portion of the Juriquipa Stock, Nacozari, Sonora: M.S. Thesis.
- ✓ CONTLA, J.J., 1970, Barrenación y control de núcleos en el depósito de cobre diseminado de "La Caridad", Nacozari, Sonora: Tesis profesional.
- CHIAPA, CH. A., 1968, Estudio geológico minero del yacimiento cuprífero de Bella Unión, Nacozari de García, Son.: Tesis profesional.
- CHIAPA, CH. A., y THOMS, J.A., 1971, Bosquejo geológico del distrito minero de Nacozari: Libreto guía de excursiones IX Convención Nacional A.I.M.M.G.M.
- ECHAVARRI, P.A., 1971, Petrografía y alteración en el depósito de La Caridad, Nacozari, Son., Mex. Memoria de la IX Convención Nacional de la A.I.M.M.G.M. Hermosillo Son., pag. 49-72.
- GUSTAFSON, G.L., y HUNT, P.J., 1975, The porphyry copper deposit at El Salvador, Chile: Economic Geology, Vol. 70, No. 5.
- HERNANDEZ, P.J., 1978, Informe de estudio geológico-estructural y obras de exploración en Socavón No. 2, Lote "San Carlos": Mexicana de Cobre, S.A. Unidad "La Caridad", Nacozari, Sonora, México, 3 páginas, 2 planos.
- HERNANDEZ, P.J., 1978, Informe final sobre descripción de núcleos de barrenación de la Mina "Pilares". Observaciones: Mexicana de Cobre, S.A. Unidad "La Caridad", Nacozari, Sonora, México, 5 páginas, 2 tablas, 2 planos, 1 sección.
- MC ANULTY JR. W., 1970, Geology of the Northern Nacozari District, Son. Mexico: PhD Geology Thesis.
- OCHOA, L.H., y ECHAVARRI, P.A., 1978, Observaciones preliminares sobre la secuencia de las intrusiones hipabisales en el tajo Colorada-Veta del Distrito Minero de Cananea: Boletín del Departamento de Geología, Uni-Son. Vol. 1, No. 1, Octubre de 1978, pag. 57-60.

OSORIO, H.A., y DE LA CAMPA, G., 1968, Investigación geológica minera sobre cobre en el prospecto "La Caridad": Boletín No. 79, Proyecto Cobre en Sonora, C.R.N.N.R. pag. 23-47.

RANGIN, C., 1978, Consideraciones sobre la evolución geológica de la parte septentrional del Estado de Sonora: En resúmenes y libretto guía del Primer Simposio sobre la Geología y Potencial Minero en el Estado de Sonora. Instituto de Geología UNAM - Oficina Regional del Noroeste.

SILLITOE, R.H., 1972, A plate tectonic model for the origin of porphyry copper deposits: Economic Geology. Vol. 67, No. 2, pag. 184-197.

SILLITOE, R.H., 1973, The tops and bottoms of porphyry copper deposits: Economic Geology. Vol. 68, pag. 799-815.

SILLITOE, R.H., 1973, Geology of the Los Pelambres porphyry copper deposit, Chile: Economic Geology. Vol. 68, No. 1, pag. 1-10.

TITLEY, S.R. y HICKS, C.L., 1968, (2a. Edición), Geology of the porphyry copper deposits. Southwestern North America: The University of Arizona press. Tucson, Arizona.

VAZQUEZ QUEZADA, J.F., 1973, Estudio geológico del área propuesta como zona de tepetate del depósito de cobre diseminado de "La Caridad" Nacozari de García, Sonora: Tesis profesional.



EL SABER DE MIS HIJOS
PARA MI GRANDEZA

BIBLIOTECA
DE CIENCIAS EXACTAS
Y NATURALES

EL SABER DE MIS HIJOS
PARA MI GRANDEZA
BIBLIOTECA DE CIENCIAS
EXACTAS Y NATURALES

46