



UNIVERSIDAD DE SONORA

Departamento de Geologia



ESTUDIO GEOLOGICO DETALLADO
DEL YACIMIENTO LA CARIDAD

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

TESIS



Que para obtener el Titulo de
GEOLOGO

EL SABER DE MIS HIJOS
HARA MI GRANDEZA
DEPTO. GEOLOGIA

Presentan

Luis Armando Reina Guerrero

Abelardo Mayboca Esparza

Hermosillo, Son.

Noviembre de 1986

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

7191
Geología ✓



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



EL SABER DE MIS HIJOS
HARA MI GRANDEZA
DEPTO. GEOLOGIA

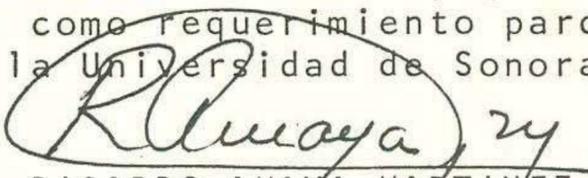


Departamento de Geología

NOMBRE DE LA TESIS: "ESTUDIO GEOLOGICO DETALLADO DEL YACIMIENTO -
LA CARIDAD".

NOMBRE DEL SUSTENTANTE: ABELARDO MAYBOCA ESPARZA
LUIS ARMANDO REINA GUERRERO

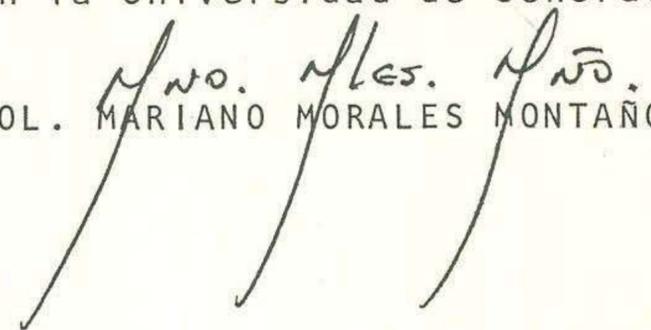
El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada como requerimiento parcial para obtener el Título de Geólogo en la Universidad de Sonora.


ING. RICARDO AMAYA MARTINEZ

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada como requerimiento parcial para obtener el Título de Geólogo en la Universidad de Sonora.

ING. EFREN PEREZ SEGURA

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada como requerimiento parcial para obtener el Título de Geólogo en la Universidad de Sonora.


GEOL. MARIANO MORALES MONTAÑO

A T E N T A M E N T E

ING. EFREN PEREZ SEGURA
COORDINADOR EJECUTIVO

Biblioteca Depto. de Geología

ESTUDIO GEOLOGICO DETALLADO
DEL YACIMIENTO DE
LA CARIDAD



EL SUELO DE SONORA
ENCUENTRO DE LA
BIBLIOTECA DE CIENCIAS
EXACTAS Y NATURALES

I N D I C E

EL INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES Pag.

LISTA DE FIGURAS	iV
LISTA DE TABLAS	V
RESUMEN	Vi
CAPITULO I	
INTRODUCCION	1
LOCALIZACION DEL YACIMIENTO	2
RESEÑA HISTORICA DEL YACIMIENTO	2
PROPOSITO DEL TRABAJO	4
METODO DE INVESTIGACION	4
CAPITULO II	
ESTRATIGRAFIA DEL DISTRITO NACUZARI	6
BLOQUE SUROESTE	7
BLOQUE CENTRAL	7
BLOQUE NORESTE	8
CAPITULO III	
GEOLOGIA LOCAL	9
UNIDADES LITOLÓGICAS	9
ROCAS PREMINERALES	9
ANDESITA	10
DIORITA	11
GRANODIORITA	12
APLITA	13
COMPLEJO INTRUSIVO DE PORFIDOS CUARCIFEROS. 13	
PORFIDO DE TEXTURA FINA	14
PORFIDO TEMPRANO	15
PORFIDO DE TEXTURA GRUESA	16
PORFIDO CREMA	16
PEGMATITA	17
ROCAS POSTMINERALES	19
DIQUES DE ANDESITA	19
CONGLOMERADO LA CARIDAD	19
TOBAS RIOLITICAS	20

	Pag.
CONGLOMERADO FERRUGINOSO	20
ESTRUCTURAS GEOLOGICAS	20
BRECHAS	20
BRECHAS DE DIORITA-ANDESITA	21
BRECHA DE PORFIDO DE TEXTURA FINA	22
BRECHA INTERMEDIA	23
BRECHA TARDIA	24
FALLAS Y FRACTURAMIENTO	25
 CAPITULO IV	
ALTERACIONES HIDROTERMALES Y SU RELACION CON LA MINE RALIZACION	27
TIPOS DE ALTERACION EN EL DEPOSITO	27
ALTERACION POTASICA	28
ALTERACION FILICA	29
ALTERACION ARGILICA	30
ALTERACION PROPILITICA	31
TURMALINIZACION	31
TIPOS DE MINERALIZACION	32
SULFUROS PRIMARIOS	32
SULFUROS SECUNDARIOS	35
RELACIONES ZONALES DE MINERALIZACION-ALTERACION, ..	36
ZONA DE ALTERACION POTASICA	36
ZONA DE ALTERACION FILICA	37
ZONA DE ALTERACION ARGILICA	37
ZONA DE ALTERACION PROPILITICA	38
 CAPITULO V	
GENESIS DEL DEPOSITO LA CARIDAD	39
PREPARACION Y FORMACION DEL YACIMIENTO	39
 CAPITULO VI	
GEOLOGIA ECONOMICA	42
EVALUACION DEL YACIMIENTO	42
FORMA Y TAMAÑO	43
 CAPITULO VII	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	44
 CAPITULO VIII	
REFERENCIAS CITADAS	46

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1: PLANO DE LOCALIZACION
Escala gráfica
- FIGURA 2: DISTRIBUCION DEL OROGENO WASATCH-JEROME
Schmitt, 1966
Escala gráfica
- FIGURA 3: GEOLOGIA DEL DISTRITO NACOZARI
Minera de Nacozari, 1970
Escala 1: 50,000
- FIGURA 4: GEOLOGIA LOCAL
Escala 1: 10,000
- FIGURA 5: FORMA TRIDIMENSIONAL DE LA PEGMATITA, MOSTRANDO
ZONEAMIENTO EN EL TAMAÑO DE LOS FENOCRISTALES
DE BIOTITA
Escala gráfica
- FIGURA 6: SECCION A-A', VIENDO AL NORTE, MOSTRANDO LA DIS
TRIBUCION DE LAS DIFERENTES UNIDADES LITOLÓGICAS
Escala 1: 10,000
- FIGURA 7: SECCION A-A', VIENDO AL NORTE, MOSTRANDO LA DIS
TRIBUCION DE LOS DIFERENTES TIPOS DE ALTERACION
Y DE CIERTOS SULFUROS METALICOS
Escala 1: 10,000
- FIGURA 8: SECCION A-A', VIENDO AL NORTE, MOSTRANDO LA DIS
TRIBUCION DE VALORES MAYORES A 0.3% DE COBRE
Escala 1: 10,000
- FIGURA 9: SECCION A-A', VIENDO AL NORTE, MOSTRANDO LA DIS
TRIBUCION DE VALORES MAYORES A 0.02% DE MOLIBDENO
Escala 1: 10,000
- FIGURA 10: DISTRIBUCION DE LA CALCOPIRITA EN EL DEPOSITO
Echávarri, 1973
Escala 1: 10,000
- FIGURA 11: DISTRIBUCION DE MOLIBDENO EN EL DEPOSITO
Escala 1: 10,000
- FIGURA 12: MODELO DE LOWELL Y GUILBERT (1970), MOSTRANDO EL
POSIBLE NIVEL DE EROSION EN LA CARIDAD
Escala 1: 10,000
- FIGURA 13: ETAPAS DE FORMACION DEL DEPOSITO; MUESTRA LOS DI
FERENTES EVENTOS QUE POSIBLEMENTE ACTUARON EN EL
DEPOSITO HASTA TOMAR SU FORMA ACTUAL
Escala gráfica



LISTA DE TABLAS

- TABLA 1: RESUMEN DE LOS RASGOS PETROGRAFICOS DE LAS ROCAS DE LA CARIDAD, POR GUILBERT Y ECHAVARRI, 1970.
- TABLA 2: CARACTERISTICAS DE LOS PORFIDOS EN LA CARIDAD. MUESTRA LOS TIPOS, LA FORMA Y EL TAMAÑO DE LOS FENOCRISTALES, LA COMPOSICION DE SU MATRIZ, SU ALTERACION Y MINERALIZACION.
- TABLA 3: CARACTERISTICAS DE LAS BRECHAS EN LA CARIDAD. MUESTRA EL TIPO, FORMA Y TAMAÑO DE SUS COMPONENTES, EL TIPO DE CEMENTANTE Y EL TIPO Y FORMA DE MINERALIZACION.

R E S U M E N

El depósito La Caridad es un depósito típico de pórfido cuprífero que ha sido formado en el Cretácico Tardío-Terciario Temprano.

Instrusiones múltiples son responsables de la forma actual del depósito. En este trabajo 4 unidades de pórfidos cuarzomonzoníticos se diferencian, tratando a la vez de relacionarlos con los diferentes eventos de alteración-mineralización. Se hace énfasis en la importancia que las estructuras brechadas presentan para retener a las soluciones mineralizantes, diferenciando así, 4 brechas ígneas, con particulares características que influyen en el volumen de mineralización que albergan. Las brechas que llamamos Brecha Intermedia y Brecha Tardía son las más importantes desde el punto de vista económico. La alteración hidrotermal juega un papel importante con la distribución de los eventos mineralizantes. Por ende, un análisis de estos 2 efectos: Alteración-mineralización se presenta y se visualiza en una sección este-oeste.

En base a la forma de ocurrir, distribución y composición de ciertas unidades geológicas (brechas y litología), se presenta en forma esquemática seis diferentes etapas de formación por las cuales el depósito pudo haber pasado para tomar su forma actual. Para finalizar el estudio, se discute la validez relativa del concepto "yacimiento económico" tomando en cuenta aspectos políticos, tecnológicos y financieros relacionados con el depósito La Caridad.

INTRODUCCION

A cerca de 15 años de definirse como un típico pórfido cuprífero el yacimiento de La Caridad, no ha sido completamente entendido geológicamente. En el momento de su exploración muchas teorías fueron desarrolladas apegándolas a modelos existentes sobre todo a la de la mayoría de los depósitos similares en el suroeste de los Estados Unidos. Ciertamente, las teorías generalizadas basadas en la ubicación del depósito y en la semejante composición petrológica son aceptables, sin embargo, ningún depósito es idéntico a otro; cada uno tiene su particularidad que lo hace diferente, interesante o, tal vez, de mayor dimensión de lo que se había pensado.

Desafortunadamente no se ha considerado con la debida importancia la información que proporciona un estudio detallado del comportamiento textural y mineralógico de las unidades geológicas a profundidad. El logro principal de este trabajo es la descripción actualizada de las unidades litológicas de cada banco en operación, haciendo énfasis en la relación que existe entre la alteración, mineralización y las anteriores unidades litológicas. Esta descripción elaborada desde la superficie del yacimiento hasta el actual desarrollo o avance del minado (aproximadamente 300 m abajo del punto más elevado de la montaña), nos ha hecho posible observar un zoneamiento, tanto horizontal como vertical.

El depósito presenta un volumen considerable de mineralización. Sin embargo, por definición un yacimiento no se considera simplemente por la cantidad de mineral que contenga, sino porque este sea económicamente explotable. Una visualización económica general del depósito, tanto en la situación económica imperante en el momento de su exploración como en la situación actual, se ilustrará.

LOCALIZACION DEL YACIMIENTO

EL SERVICIO DE MINAS
Y ENERGIA
EXACTAS Y NATURALES

El yacimiento de La Caridad se encuentra localizado a 22 km al oriente de Nacozari, en la porción más elevada de la cresta noroeste de la Sierra Juriquipa. Ocupa un área de forma elíptica que se encuentra limitada por las coordenadas geográficas $30^{\circ} 18' 28''$ y $30^{\circ} 19' 39''$ de latitud norte; y $109^{\circ} 33' 05''$ y $109^{\circ} 34' 16''$ de longitud oeste (Fig. 1).

La elevación original más alta del yacimiento correspondía al identificado como Vértice 13, que se encontraba a 1822 m sobre el nivel del mar. Actualmente, bajo este punto, la elevación es de 1560 m sobre el nivel del mar.

Nacozari es una población de 22,000 habitantes, aproximadamente, y se localiza en la porción nororiental del Estado de Sonora 107 km en línea recta al sur del límite internacional con los Estados Unidos de Norteamérica. Se comunica con la ciudad de Agua Prieta, 125 km al norte, por la carretera estatal No. 012, así como por medio de una línea ferroviaria. Hacia el suroeste se comunica con la ciudad de Hermosillo por medio de 240 km de carretera pavimentada que toca las poblaciones intermedias de Ures, Mazocahui, Moctezuma y Cumpas, en un recorrido de aproximadamente 4 horas.

Nacozari es un centro minero por excelencia y la base de su economía depende principalmente de ésto. La ganadería influye a menor escala, sin embargo no deja de ser importante. El comercio ocupa el tercer lugar en la base económica.

RESEÑA HISTORICA DEL YACIMIENTO

El yacimiento de La Caridad se encuentra dentro del distrito minero Nacozari cuyo historial minero se remonta al siglo XVII con la explotación de plata de las minas de Churuni**u**babi que fue explotada casi continuamente por el período de 300 años, suspendiendo sus operaciones en 1954.

La explotación de cobre se vuelve importante a finales del siglo XIX (1880-1890) con la llegada al distrito de la Moctezuma Concentrating Co., la cual compró algunas de las minas existentes en ese tiempo como La Fortuna (considerada la más antigua de las de cobre), San Pedro y otras. Además, compró propiedades en Los Pilares, mina cuya riqueza enorme en cobre marcaría el mayor apogeo conocido hasta ese momento. Esta compañía instaló en Nacozari Viejo, por primera vez, un molino pequeño y un horno de soplo.

En 1890 el coronel John Weir adquirió una opción de propiedades de la Moctezuma Concentrating Co., quien a su vez, interesó a los Guggenheim, vendiéndole sus derechos. Estos forman en 1895 la compañía minera de la Moctezuma Cooper Co. En 1897 la Phelps Dodge And Co. compra todas las propiedades de la Moctezuma Copper Co.

En 1904 una vía ferroviaria estándar es terminada de Douglas, Arizona a Nacozari, lugar hasta donde una estrecha vía traía el material desde Los Pilares. Por este mismo tiempo, se termina la construcción de un nuevo molino y una fundición con una capacidad de 500 ton. diarias. En 1907 se amplía a 1,500 ton. y más tarde se modifica a 2,500 ton.

Por motivos sindicales en 1949 la mina Los Pilares sufre un paro de labores definitivo y con ésto un desvanecimiento completo en la vida económica de la región. El pueblo de Los Pilares contaba entonces con cerca de 8,000 habitantes y quedó reducido a unas cuantas familias. Este mismo fenómeno se observó en Nacozari, aunque en menor proporción, de 6,500 habitantes a cerca de 3,000.

En el período de 1962-1967 el gobierno mexicano en colaboración con Las Naciones Unidas, emprende un reconocimiento de algunos yacimientos minerales en zonas seleccionadas en toda la República Mexicana. Una de estas zonas es la parte norte del estado de Sonora y en particular el Distrito de Nacozari, cuyo historial minero lo distinguía enormemente. Fue por

medio de este programa como pudo llegarse al descubrimiento del yacimiento La Caridad.

PROPOSITO DEL TRABAJO

El estudio detallado de este yacimiento es fundamentalmente con el fin de utilizarlo como requisito parcial para obtener el título de geólogo en la Universidad de Sonora y a la vez, con información geológica actualizada, mostrar la relación que existe entre alteración, mineralización y las diferentes unidades de roca. De esta manera podremos conocer la distribución de estos aspectos geológicos, los cuales permitirán utilizarlos en la operación de la mina. Por ejemplo, cuando los efectos de alteración sean causa directa de los problemas de recuperación de los concentrados.

METODO DE INVESTIGACION

Para lograr los objetivos trazados, fue necesario cartografiar en forma detallada el tajo, haciendo un levantamiento de la litología, estructuras y alteraciones en cada banco en operación. El minado de cada banco se realiza con palas de 16 yardas cúbicas, las cuales avanzan en intervalos de 25 m entre "voladura y voladura" hacia el interior del banco, por lo tanto, nuestros levantamientos quedan espaciados ésa distancia.

Los levantamientos del tajo se elaboran con cinta métrica de 50m, brújula Brunton y pequeñas banderolas utilizadas como estaciones de referencia de una poligonal. Esta se traza sobre la pared del banco (o corte) y los rasgos que se describen (espaciados aproximadamente 2 m entre rasgo y rasgo), se refieren a las estaciones por medio de radiaciones. En promedio se deja una distancia de 30 m entre estación y estación. La información de campo es graficada a escala 1:500 y transferida a hojas especiales mediante las coordenadas de cada banderola, previamente localizadas por el departamento de topografía. Estas hojas especiales son únicas para cada banco y correlacionables con las hojas del banco superior. El conjunto de informa

ción en un determinado banco nos muestra el yacimiento en dos dimensiones; sobreponiendo la información de los bancos superiores, el yacimiento se muestra en tres dimensiones. Obviamente, la información real corresponde a los bancos que han sido minados por lo tanto, la interpretación hacia los bancos no minados parte de las informaciones tomadas de los "testigos" de barrenos de diamante efectuados en el área y adaptados a secciones previamente seleccionadas.

Las unidades litológicas descritas corresponden a las unidades utilizadas previamente por geólogos de Asarco Mexicana y Anaconda en los trabajos de exploración y se han adaptado a los levantamientos geológicos que detalladamente, banco por banco, se están realizando.

ESTRATIGRAFIA DEL DISTRITO NACUZARI

El distrito Nacozari se encuentra en el extremo sur del Orógeno Wasatch-Jerome (Fig. 2) que incluye depósitos tales como La Caridad, Pilares, Cananea, Red Mountain, Pima, Misión, Esperanza, Twín Buttes y otros. La estructura regional es confusa. Sin embargo, la Sierra Juriquipa posiblemente representa un bloque levantado en la extensión sur de la provincia Cuencas y Sierras (Basin and Range).

Las rocas volcánicas más antiguas fueron intrusionadas por plutones graníticos de edad laramídica. El depósito de La Caridad está bordeado por rocas predominantemente volcánicas que consisten de una gruesa secuencia de flujos de andesita y latita, de probable edad Cretácica, cubiertas por flujos de riolitas y tobas del Terciario Medio. Dentro del distrito depósitos minerales como Pilares, La Caridad, Santo Domingo, La Guadalupe y la mina La Caridad se encuentran relacionados a troncos subvolcánicos de cuarzomonzonita y pórfidos cuarcíferos emplazados en un conjunto volcánico representado por una gruesa secuencia volcánica constituida de lavas andesíticas, depósitos de lahar, areniscas volcánicas e ignimbritas silíceas (Chiapa y Thoms, 1971). Este terreno volcánico e intrusivo está expuesto desde Nacozari, en el poniente, hasta el oriente del depósito La Caridad. Es separado en 3 bloques controlados por 2 grandes fallas con tendencia NW-SE.

Chiapa y Thoms (1971) basados en petrografía, estratigrafía y relaciones estructurales observaron que las rocas de estos tres bloques decrecen en edad de W a E y que posiblemente son del Cretácico Tardío al Terciario Temprano, mientras que las rocas postminerales son del Terciario Medio. Esto es claramente visible en el área del depósito donde al oeste de la falla La Caridad, se observan las rocas preminerales, mientras que hacia el este las rocas postminerales.

Chiapa, y Thoms (1971), reportan las siguientes secuencias de rocas, desde la más joven a la más antigua, para el área de Pilares: Latita Pilares, Andesita Porvenir, Andesita Rosario, Ignimbrita Lítica Paulina, Ignimbrita Riolítica Esperanza, arenisca andesítica y andesita del área oeste de Pilares. Todas estas unidades se encuentran dentro del bloque central, con excepción de la andesita del área oeste de Pilares, que aflora en el bloque suroeste. La figura 3 muestra la distribución de las rocas y estructuras geológicas desde el área de Pilares en el oeste hasta la mina La Caridad antigua al este.

BLOQUE SUROESTE

Dentro de este bloque aflora la unidad separada como andesitas del área oeste de Pilares. Aflora hacia el norte y en general ésta constituida en su parte norte por derrames andesíticos y dacíticos, brechas volcánicas y diques de basalto. En su parte centro, por areniscas andesíticas y areniscas conglomeráticas; hacia el sur, por derrames andesíticos y áreas aisladas de areniscas andesíticas. La Falla Pilares, con un rumbo N 23° W y con un echado de 88° al suroeste, separa estas rocas de las del bloque central.

BLOQUE CENTRAL

El área de Pilares dentro de este gran bloque central está formada de una serie pseudoestratificada de ignimbrita, arenisca andesítica, derrames andesíticos masivos y autobrechados y derrames autobrechados de latita. La unidad inferior es la arenisca andesítica con un espesor aproximado de 20 m. La sobreyace la ignimbrita riolítica Esperanza con cerca de 65 m de espesor. Esta unidad ha sido fechada en 52.2 ± 1.9 m.a. (Livingstone, 1973). Continúa la Ignimbrita Lítica Paulina, la cual es sobreyacida por la Andesita Rosario. Estratigráfica

mente arriba de esta última se encuentra la Andesita Porvenir con 160 m aproximadamente de espesor. La unidad más superior, que sobreyace en forma discordante sobre la Andesita Porvenir, se le ha denominado Latita Pilares con un espesor mayor de 200 m muestra un ejemplo de derrame de lava autobrechado.

El complejo intrusivo de La Caridad se encuentra en la parte este del bloque central. La Falla La Caridad cuyo rumbo general es N50°W con echado de 42° al noreste aunque posiblemente a profundidad aumente a mayor de 60° (J. Contla, comunicación oral) y con una extensión reconocible de 6 km (R. Martínez, 1970) separa las rocas del bloque central con las del bloque noreste.

BLOQUE NORESTE

Este bloque representa al tercer bloque estructural y dentro de éste afloran rocas tanto preminerales como postminerales con discordancia erosional entre ambas. Las rocas volcánicas preminerales son divididas en dos unidades: andesita e ignimbrita riódacítica, las cuales son cubiertas por el Conglomerado La Caridad que representa las primeras fases de las rocas postminerales. El conglomerado en su porción norte es a la vez cubierto por la Riolita El Globo, la cual fué fechada en 24.0 ± 0.4 m.a. (Livingstone, 1973).

GEOLOGIA LOCAL

La Caridad es un depósito de pórfido cuprífero que ocurre exclusivamente en rocas ígneas de composición intermedia a silícea. Los tipos de roca varían desde diorita a monzonita de cuarzo y localmente aplitas y pegmatitas. Son similares tanto en composición como en textura a muchos de los depósitos de pórfido cuprífero del suroeste de Estados Unidos. Las rocas intrusivas calcoalcalinas de La Caridad ocurren entre las rocas volcánicas de la región de Los Pilares hacia el suroeste y la Falla La Caridad hacia el noreste.

La nomenclatura de las unidades litológicas ha sido tomada de los trabajos de exploración tanto de Asarco Mexicana como de Minera Nacozari (Anaconda) y modificada parcialmente por los autores. Los estudios petrográficos realizados en el depósito son los de Guilbert y Echávarri (1970) y Echávarri (1973) los cuales nos han servido de apoyo para la elaboración de esta tesis.

UNIDADES LITOLÓGICAS

ROCAS PREMINERALES

En el presente estudio se han considerado como rocas preminerales, de la más antigua a la más joven, las siguientes: andesita, diorita, granodiorita y los pórfidos cuarzomonzónicos ampliamente relacionados al principal evento de mineralización. La distribución de estas unidades se puede observar en la Fig. 4, en donde se muestra que hacia el poniente las rocas de composición diorítica y hacia el oriente las rocas de composición granodiorítica afloran, mientras que en el centro se observa el complejo intrusivo. La relación composicional de las rocas dioríticas y granodioríticas fue tema de confu-

sión en los trabajos pioneros, llegándose a considerar como perteneciente a un mismo evento intrusivo. Sin embargo, Guilbert y Echávarri (1970) manifiestan que estas unidades pertenecen a diferentes procesos, aunque admiten que las dioritas, aún las de textura más fina, no pueden considerarse como representantes de un evento extrusivo.

A continuación describimos de acuerdo a su posible secuencia de formación las unidades de roca con sus características megascópicas de coloración, alteración, mineralización y su forma de ocurrencia. La descripción petrográfica de todas estas unidades se resume en la Tabla 1.

ANDESITA.

Esta unidad aflora en la parte mas occidental del depósito y corresponde a la descrita petrográficamente como diorita de cuarzo porfídica de grano muy fino. Guilbert y Echávarri (1970) manifiestan que puede ser clasificada como dacita porfídica.

Las muestras de mano estan compuestas por cantidades iguales de feldespatos y "racimos" de biotita anhedral intersticial, que dan la característica apariencia de "sal y pimienta". Aunque esta roca parece deficiente en cuarzo los estudios petrográficos muestran de 15-20% que ocurre en forma anhedral en parches diminutos. La alteración principalmente es biotita con sílice, clorita, sericita, arcilla y turmalina. Localmente se observa un aspecto moteado producido por concentraciones de finas laminillas de biotita y comunmente con turmalina asociada.

Esta unidad se encuentra fracturada en una dirección preferencial N 10° W, rumbo que concuerda con el eje mayor del cuerpo intrusivo (pórfido de textura fina) inmediato. Las fracturas se encuentran rellenas de óxidos de fierro con menores cantidades de óxidos de cobre.

DIORITA.

Esta unidad se relaciona con la anterior, diferenciándose únicamente en el tamaño del grano. Aflora en cuerpos aislados hacia el noroeste y suroeste y raramente en cuerpos pequeños al este del depósito. Megascópicamente es de color gris verdoso cuando fresca y de un color blanco terroso cuando alterada (sericitizada). Es de grano grueso, observándose plagioclasas euhedrales de aproximadamente 3 mm de largo y pequeños cristales de biotita menores de 3 mm de diámetro. Texturalmente es porfídica con fenocristales de plagioclasa, dentro de una matriz rica en biotita, la cual muestra alteración a clorita. En las cercanías del contacto con el pórfido de textura fina, es posible observar alto contenido de cuarzo y sericita, donde la sericita probablemente es un producto de hidrotermalismo de la biotita. Localmente se notan concentraciones de turmalina negra y estructura radiada probablemente también como producto de hidrotermalismo. La mineralización concuerda en estas áreas con altos valores de fierro y bajos de cobre. Los cuales se presentan principalmente en gran cantidad de vetillas de cuarzo que varían en espesor desde menores de 1 mm hasta cerca de 1 cm, y, excepcionalmente, mayores de 1 cm. Como todas las unidades preminerales esta ha sido afectada por fracturas y fallas.

Por definición estrictamente petrográfica estas rocas son pórfidos. Sin embargo, para evitar confusión con la idea más convencional de el pórfido (cuarzomonzonítico) "típico", genéticamente asociado con los depósitos de pórfido cuprífero, suprimimos el término pórfido para esta unidad.

Esta unidad parece ser una facies de la descrita anteriormente como andesita, sin embargo, es difícil diferenciar cuál de las dos es la más antigua, aunque es posible que representen una secuencia comagmática. Esta, al igual que la andesita, es un componente de la brecha intermedia y está ampliamente relacionada a las áreas diferenciadas con alteración argílica.

GRANODIORITA.

Esta unidad ha sido ampliamente observada al este y sur este del depósito. Los contactos con las rocas adyacentes son confusos debido a la fuerte alteración que presentan. Hacia el sur, en el contacto con la diorita y la brecha tardía, la roca se presenta con alto contenido de cuarzo y sericita produciendo una roca de textura sacaroide de grano medio, con sus componentes feldespáticos casi totalmente destruidos, que evitan definir exactamente los límites, tanto de la diorita como de la granodiorita. El límite con la brecha tardía es poco menos difícil, ya que la rugosidad y huecos son visibles.

Megascópicamente es gris claro con un grano medio, dentro de una textura equigranular. Consiste principalmente de plagioclasa subhedral con cuarzo intersticial y biotita anhedral. En el campo la abundancia de cuarzo es notable y esta puede ser un criterio para diferenciar la granodiorita de la diorita. Cuando esta ha sido alterada intensamente se observa recristalizada con una textura sacaroide de grano medio y con una composición predominante de cuarzo granular y sericita intersticial. Localmente cuando este tipo de alteración ha enmascarado la textura original de la granodiorita la confusión en el campo es fácil. Se ha llegado a clasificar como diorita de cuarzo, sin embargo, por relictos aislados de roca menos alterada, se ha concluido que corresponde a la misma granodiorita. En el estudio petrográfico de Gilbert y Echávarri (1970) se hace el análisis de un pórfido de granodiorita en donde prácticamente la textura es la única diferencia con la granodiorita. En el campo no se han separado estas dos litologías sino que se incluyeron como granodiorita.

Esta unidad aflora hacia el este del depósito La Caridad, y probablemente intrusione a la diorita a lo largo de una línea norte-sur a través de la parte central del depósito. Este contacto debió haber sido una zona de debilidad que controló a los eventos intrusivos subsecuentes, principalmente al em-

plazamiento del pórfido de textura fina (cuarzomonzonítico) que intrusióna tanto a la granodiorita como a la diorita a lo largo del posible contacto entre ambas unidades.

APLITA.

Aflora al noreste del área. Su color predominante es rosa claro, megascópicamente presenta una textura fina sacaroide con intercrecimiento de cuarzo anhedral y granos de feldespato de 1 mm con cantidades menores de biotita.

La aplita ocurre en cuerpos pequeños e irregulares en forma de dique, intrusionando a la granodiorita principalmente. El contacto entre ambas unidades es pobremente definido, y generalmente se presenta en zonas silíceas transicionales, lo cual indica que la aplita fue emplazada como una funsión silícea, altamente fluída que asimiló las márgenes de su intrusión. En esta unidad no se ha observado ninguna relación con las unidades involucradas en la mineralización.

COMPLEJO INTRUSIVO DE PORFIDOS CUARCIFEROS.

Suponemos que el proceso intrusivo de pórfidos cuarciferos se inicia, como se explicó arriba, en el posible contacto de la granodiorita y el complejo diorítico. El pórfido cuarzomonzonítico es el tipo de roca más importante dentro del yacimiento, ya que se encuentra asociado con la mineralización más importante. Cuatro tipos diferentes de pórfidos cuarzomonzoníticos se diferencian en este estudio, siendo éstos de acuerdo a la posible secuencia de intrusiones: pórfido de textura fina, pórfido temprano, pórfido de textura gruesa y pórfido crema. Esta secuencia de pórfidos creó confusiones y polémicas, en el inicio de la exploración, ya que se llegó a suponer que en realidad las diferencias de textura y composición representaban una única intrusión heterogénea (Gilbert y Echávarri, 1970 p. 21), explicando que las diferencias observadas eran producto de un ambiente de formación

turbulento. Sin embargo, en un estudio posterior, Echávarri (1973) hace la distinción de 5 unidades de pórfidos cuarzomonzoníticos, a los que denomina tipos: A, B, C, D y E, y acepta definir a este complejo como de intrusión múltiple. Posteriormente, Chiapa (1976) hace la separación de 4 pórfidos cuarzomonzoníticos. Cabe mencionar que, tanto estas últimas unidades como las de Echávarri (1973) y las de este estudio, se corresponden unas a otras.

Describimos a continuación cada uno de los pórfidos con sus características particulares. En la Tabla 1 se describe la petrografía de un pórfido cuarzomonzonítico de textura media, el cual fue utilizado como modelo para la comparación de dos diferentes tipos. La tabla 2 resume las características que separan a los 4 diferentes pórfidos en el yacimiento La Caridad, como son el tipo y tamaño de los fenocristales, la matriz, la alteración y la mineralización.

PORFIDO DE TEXTURA FINA.

El color de este pórfido es gris claro, mientras que el tamaño de los fenocristales es variable; hacia el lado sur se presenta con fenocristales no mayores de 3 mm, tanto con ojos de cuarzo ovoides como con plagioclasas euhedrales en una matriz aparentemente recristalizada, con alto contenido de cuarzo secundario y sericita. Hacia el lado norte persiste el tamaño de los fenocristales, pero en algunos lugares los feldespatos en forma euhedral llegan a alcanzar hasta 10 mm. La matriz contiene abundante cuarzo y feldespato y se observa granular. La mineralización dentro de esta unidad es de pirita con cantidades menores de calcopirita y calcosita en forma diseminada; asociada con ésta se tiene una alteración muy fuerte de cuarzo-sericita.

Como se observa en la fig. 4, esta unidad aflora principalmente en la parte más occidental del complejo porfídico. Tiene una forma elongada con un rumbo general NNW-SSE, par-

cialmente emplazado en lo que fue el contacto original entre la granodiorita y la diorita,

Probablemente una parte considerable del área que actualmente ocupa la brecha tardía fue originalmente ocupada por este intrusivo. Esto explica el porqué esta brecha contiene fragmentos intensamente alterados que han sido identificados como parte del pórfido de textura fina,

El emplazamiento de este pórfido, probablemente estuvo acompañado de un contenido bajo en cobre y alto en fierro. Aparentemente es el más importante, ya que se supone que este formó las estructuras que servirían como "retén" de la mineralización.

PORFIDO TEMPRANO.

A la intrusión del pórfido de grano fino, suponemos que siguió el emplazamiento del pórfido cuarzomonzonítico temprano. Su distribución se concentra al este del área. Cuando no está alterado presenta un color rosado claro, con una textura granular compuesta por numerosos fenocristales de feldespato (hasta 2 cm. de longitud), numerosos ojos de cuarzo (hasta 6 mm de diámetro) y cristales de biotita en una matriz finamente cristalina con biotita y hematita diseminadas. La mineralización primaria diseminada, generalmente está compuesta por pirita, calcopirita y molibdenita; notablemente, el contenido de calcopirita es mayor que el que se presenta en el pórfido de textura fina. La alteración potásica es más notoria en este pórfido, aunque en los límites con la brecha tardía, la alteración fílica es predominante. El contacto que presenta con la granodiorita es difuso, especialmente cuando ésta última se encuentra con una alteración de cuarzo-sericita muy fuerte.

Consideramos que a este pórfido se asocia la introduc-

ción de soluciones silíceas, las cuales producen la mineralización de calcopirita. Estas soluciones posiblemente fueron absorbidas por la depresión originada en el sistema de brechas. Tal vez ésto explique el porqué la brecha tardía que se encuentra en contacto con esta unidad presenta silicificación tan fuerte, así como alto contenido de calcopirita.

PORFIDO DE TEXTURA GRUESA.

Este intrusivo, presenta color gris claro, con una textura granular compuesta principalmente por un contenido relativamente alto de fenocristales ovoides de cuarzo, que alcanzan hasta 1 cm de diámetro, fenocristales euhedrales de feldespatos potásicos hasta de 4 cm de longitud y biotita sericitizada dentro de una matriz cristalina muy fina. Localmente, dentro de este cuerpo se ha observado una especie de seudoestratificación con leve inclinación hacia el noroeste. La mineralización es, principalmente la pirita y el contenido de cobre registrado en esta unidad se encuentra en delgadas vetillas con gruesos halos de alteración. La alteración cuarzo-sericitica es notable en este pórfido.

Se encuentra principalmente en la parte central del depósito.

Posiblemente este cuerpo fue emplazado inmediatamente después del evento principal de mineralización. Su textura y estructura son rasgos distintivos que sirven para determinar su área.

PORFIDO CREMA.

Esta unidad se define como el pórfido más ^{posterior} ~~posterior~~ dentro del yacimiento. Comúnmente se encuentra de un color gris rosado, aunque en forma esporádica presenta oxidación que le da un tinte naranja a la roca. Localmente se observan fenocristales de feldespatos potásicos de 2 cm de largo y ojos de cuarzo ovoides de aproximadamente 7 mm de diámetro. Estas caracterís

ticas hicieron que se confundiera con el pórfido de textura gruesa, sin embargo, la matriz de éste puede considerarse microcristalina. En forma esporádica, se observó a los fenocristales de feldespato con macla de carlsbad, con sus márgenes frecuentemente corroídos. Esta corrosión, tal vez evidencia un emplazamiento de este pórfido cercano a la superficie (Echávarri, comunicación oral). Otro rasgo importante que lo diferencia de las demás unidades es su forma de emplazamiento, ya que éste se presenta cortando a diferentes unidades en forma de diques irregulares. Su mineralización, casi exclusivamente, es de pirita y comunmente ésta se encuentra oxidada, tiñendo de color ladrillo a estos diques, mostrando así una mayor facilidad para su distinción. Debido a la ausencia de valores comerciales de cobre, este pórfido concuerda con "dedos" de cuerpos de "tepetate" dentro de cuerpos de alta ley. Dentro de la brecha de diorita-andesita (Fig. 4) este dique es distintivo, no sólo por sus contrastes en coloraciones, sino porque éste no ha sido atacado por la fuerte alteración fílica de esta área, además de la notoria diferencia en la composición de ambas unidades.

Este cuerpo no ha sido observado fuera del centro del depósito, sino principalmente en el área de brechas, lo que nos da idea de que aprovecharon zonas de debilidad dentro de este sistema brechoide para su emplazamiento.

PEGMATITA.

Esta unidad es un rasgo notable en la parte central del depósito (Fig. 4). Formada por zonas concéntricas, esta unidad parece estar constituida por un núcleo formado esencialmente por cristales hasta de 20 cm de largo de biotita, asociado con cuerpos de cuarzo color gris hasta de 1 m de diámetro y cristales de feldespato alcalino en menor proporción. Hacia el exterior y en la parte media disminuye el tamaño de los cristales sin que se modifique la composición. Se presentan en veti

llas de 3 - 4 cms de ancho con biotita-cuarzo y feldespatos potásicos, el cual es menos visible. Notablemente, en esta zona se observa la presencia de un alto contenido de valores de molibdenita que eleva las leyes comerciales de este mineral. La zona externa de esta unidad está compuesta por cristales diminutos de biotita y cuarzo con finos hilillos de cuarzo-molibdenita. La fig. 5 nos muestra en forma tridimensional la forma de este cuerpo. Es menester hacer notar que esta unidad está emplazada dentro de una zona de brecha y que las soluciones residuales formadas en este cuerpo, además de rellenar los huecos existentes produjeron, sobre todo en la parte del núcleo, un nuevo brechamiento. Este brechamiento se debió, tal vez, a las altas presiones y a la viscosidad del flujo intrusivo. Si tomamos en cuenta este criterio, asumimos que la pegmatita fue formada en la parte final del proceso magmático. Este argumento es apoyado por la ausencia de sericitación en la biotita, que es la característica esencial de las rocas que atraviesa.

Desde el punto de vista económico, la pegmatita representa a un cuerpo de baja ley de cobre, pero con altos valores en molibdeno, como se puede observar en las figs. 8 y 9 comparadas con la fig. 6. Es importante observar que en la parte superficial de la pegmatita hay una ausencia de calcopirita, lo cual contrasta con lo observado en los bancos profundos en donde se presenta finamente diseminadas y asociadas con la biotita fina.

Zonas adicionales de pegmatita ocurren en los alrededores del depósito, sin embargo, no se ha observado que estén relacionadas con la pegmatita descrita arriba.

Una masa aislada de pegmatita aflora al este del depósito dentro del pórfido temprano. En la mina La Guadalupe, al suroeste del depósito, se tiene una pegmatita con cuarzo y biotita, con altas leyes de molibdenita y cantidades meno-

res de calcopirita. Como se explicó, la relación entre esta pegmatita y la del centro del depósito, no ha sido observada. Sin embargo, su origen y edad, probablemente son similares.

ROCAS POSTMINERALES

Estas unidades no se han incluido dentro del plano de geología local por localizárseles en la periferia del yacimiento. Cuatro unidades han sido diferenciadas: diques de andesita, conglomerado La Caridad, tobas riolíticas, y conglomerado ferruginoso.

DIQUES DE ANDESITA.

Atravesando principalmente a la granodiorita, ésta unidad ha sido observada en los alrededores del principal cuerpo mineralizado con un espesor aproximado de 1 m de potencia. Fueron descritos como diques de diabasa por Gilbert y Echávarri (1970).

CONGLOMERADO LA CARIDAD.

Esta unidad es de color rojo oscuro y se encuentra bien estratificada, pobremente clasificada y bien cementada; está formada de clastos angulosos a subredondeados en una matriz arenosa y ferruginosa. Los clastos individuales varían en tamaño, desde unos pocos centímetros hasta decenas de centímetros en espesor. Generalmente estos clastos son derivados de rocas volcánicas altamente alteradas y aunque estos autores no observaron fragmentos de pórfido cuarzomonzonítico dentro del conglomerado, se han reportado escasos clastos de brecha de pórfido cuarzomonzonítico derivados del capote de lixiviación (Kilpatrick, 1970, Saegart et al., 1974). La matriz que cementa a los clastos es localmente silicea y contiene abundante hematita que le da el color rojo oscuro a la roca.

El conglomerado aflora en la parte noreste del depósito. La falla La Caridad coloca al conglomerado en contacto con la granodiorita en el arroyo Coloradito y la base del conglomerado localmente parece encontrarse dentro de la falla. El espesor del conglomerado varía considerablemente en áreas muy pequeñas, por lo que suponemos que fue depositado sobre una topografía de barrancas.

TOBAS RIOLITICAS.

Estas tobas exhiben líneas de flujo y tienen "ojos de cuarzo" en una matriz silicea. Ocurren al noreste del depósito, aparentemente, cubriendo al conglomerado La Caridad, así como a la parte norte de la falla La Caridad. Estas rocas fueron fechadas por el método K-Ar en 24.0 ± 1 m.a. (Livingstone, 1973).

CONGLOMERADO FERRUGINOSO.

Esta unidad está formada por guijarros subangulosos a subredondeados mal clasificados, derivados de las rocas ígneas preminerales. Se encuentra en la parte inferior de los arroyos que drenan al área, observándose varias secuencias de depositación. Se encuentra cementado con óxidos de fierro, tal vez derivados de sulfuros lixiviados del depósito.

ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS.

Bajo este título describimos los principales rasgos estructurales del yacimiento, dentro de los cuales el sistema de brechas es uno de los más importantes, no sólo por su modo de formación, sino porque almacenan aproximadamente el 70% de la mineralización económica. De no menor importancia, es el estudio detallado del fallamiento y fracturamiento, cuyo análisis nos da información adicional sobre la génesis del depósito.

BRECHAS

Desde los estudios pioneros de La Caridad, las brechas

han causado interés a los geólogos porque éstas representan las mejores trampas estructurales para permitir la circulación de las soluciones hidrotermales, portadoras de sulfuros.

Para su clasificación fue necesario detallar ampliamente las unidades brechadas, ya que generalmente presentan esfuerzos compresionales entre sus componentes, oscureciendo localmente a los típicos espacios abiertos que ayudan a su identificación.

La fuerte alteración producida por los fluidos hidrotermales ayudan a enmascarar aún más la estructura de las brechas, sin embargo, con trabajos de detalle es posible observar una textura rugosa, en algunos lugares con fragmentos angulosos a redondeados. Se diferenciaron 4 tipos principales de brechamiento, los cuales se incluyen como unidades de roca en el plano geológico (Fig. 4). Se les denomina: brecha de diorita-andesita, brecha de pórfido de textura fina, brecha intermedia y brecha tardía, de acuerdo a su posible secuencia de formación. La tabla 3 resume las características de éstas.

BRECHA DE DIORITA-ANDESITA.

Los rasgos megascópicos más sobresalientes para diferenciar esta unidad, son los fragmentos angulosos de diorita y andesita en proporciones localmente variables y de tamaños diferentes (desde algunos milímetros hasta varios centímetros y, aún, decímetros), además de la ausencia de fragmentos de pórfidos cuarzomonzoníticos y granodioríticos. Kilpatrick (1970) define a esta unidad como brecha mezclada de diorita.

Echávarri (1973) en su trabajo petrográfico, denomina brecha monogenética de diorita de cuarzo a esta unidad y hace la observación de que está compuesta por fragmentos angulosos de diorita de cuarzo (diorita y andesita en este trabajo), aglutinados por biotita microcristalina, cuarzo y trazas de

magnetita.

Esta unidad se distribuye en el lado poniente del depósito, dentro y en las márgenes de las unidades de diorita y andesita.

La mineralización predominante en ésta unidad es de pirita y ésta se encuentra principalmente en delgadas vetillas de cuarzo y en menor proporción en espacios de la brecha.

BRECHA DE PORFIDO DE TEXTURA FINA.

Con este nombre denominamos una brecha compuesta casi exclusivamente de pórfido de textura fina. Esta unidad se puede subdividir en dos, en base a su textura: una compuesta de fragmentos redondeados que varían de unos cuantos centímetros hasta fragmentos mayores a un metro de diámetro y que ocupa la parte norte de la unidad, otra compuesta por fragmentos angulosos y que ocupa la porción sur. En la Fig. 4 se observa un dique del pórfido crema que limita ambas formas de brechamiento.

La brecha de pórfido de textura fina (hasta los niveles actuales de minado), presenta una zona de fuerte oxidación, contrastando con la presencia de sulfuros secundarios no oxidados en sus alrededores.

Es común encontrar en los huecos de brecha, turmalina de color negro. Su ubicación se limita al este del pórfido de textura fina. Económicamente esta unidad ha representado un cuerpo de baja ley de cobre, debido a la oxidación tan penetrante que ha sufrido. Sin embargo, la oxidación tiende a disminuir a profundidad encontrándose un manto moderadamente enriquecido de sulfuros secundarios.

Esta brecha corresponde con la descrita por Kilpatrick (1970) como brecha de "stockwork".

EXACTAS Y LARGAS
Aparentemente esta unidad corta a la brecha de diorita y a su vez, es cortada por la brecha intermedia que se describirá abajo.

Posiblemente la brecha de pórfido de textura fina representa o se formó en una etapa inmediatamente posterior al emplazamiento del pórfido de textura fina, durante el cual los gases y los fluidos hidrotermales estaban activos. Los fluidos gaseosos debieron haber sido violentos como para fragmentar las rocas, produciendo estrechos canales entre los fragmentos, permitiendo el redondamiento de los mismos.

BRECHA INTERMEDIA.

Esta unidad es una de las dos brechas más importantes, desde el punto de vista económico dentro del complejo intrusivo. Representa a un conjunto heterogeneo constituido por fragmentos en tamaños variables de diorita, andesita, pórfido de textura fina, granodiorita y pórfido de textura gruesa; estos últimos fragmentos han sido observados únicamente en los límites del contacto de la brecha con el pórfido de textura gruesa. Cabe mencionar que esta brecha ha sido alterada intensamente con cuarzo-sericita, la cual ha enmascarado localmente las texturas originales de los fragmentos, haciendo difícil diferenciar cada componente, sin embargo, las dioritas y las andesitas se observan decoloradas y blandas, en contraste con los fragmentos de la granodiorita y los pórfidos, los cuales generalmente muestran una textura sacaroide; las diferencias entre la granodiorita y los pórfidos de textura fina y/o gruesa, se evidencia en la presencia de ojos de cuarzo que caracterizan a estos últimos.

Dentro de esta brecha, los fragmentos angulosos son predominantes; aunque en forma muy local, se han observado fragmentos subredondeados. Es muy común observar que fragmentos muy pequeños, del tamaño de la arena, de todos los componentes de la brecha, aunque en mayor proporción del pórfido de

textura fina, constituyen la matriz de los fragmentos mayores.

La brecha intermedia se localiza en la porción central y norte del área.

La mineralización comprendida en la matriz de la brecha, es predominante y se compone de pirita, calcopirita, calcosita y covelita; en menor proporción, la mineralización se observa en vetillas de aproximadamente 1 cm de espesor con cuarzo, calcopirita y pirita, las cuales atraviesan al brechamiento.

La brecha intermedia está relacionada a la intrusión del pórfido de textura fina, el cual al emplazarse fracturó y brechó todas las rocas ya instaladas, mezclando los fragmentos entre sí. Al igual que la brecha tardía (la cual describiremos a continuación), ésta sirvió de conducto por donde fluyeron las soluciones hidrotermales portadoras de los principales sulfuros de cobre.

BRECHA TARDIA.

Junto con la unidad anterior, representa a las más importantes del depósito. Está constituida por fragmentos angulosos de pórfido de textura fina, granodiorita y pórfido temprano; los fragmentos de este último pórfido, se han observado únicamente en los alrededores del contacto entre esta brecha y el pórfido temprano.

Las características y diferencias con la brecha intermedia, se basan principalmente en la ausencia de diorita y andesita, además de que la brecha tardía es cementada en un alto contenido de sílice. Originalmente, en la cartografía elaborada en la superficie del depósito, la brecha tardía y la brecha intermedia fueron clasificadas como una misma brecha, denominándoles brecha mezclada (Kilpatrick, 1970).

La brecha tardía contiene las leyes de cobre más altas del

depósito, siendo éstas producto del alto contenido del calcosita, covelita, bornita y calcopirita, que se encontraban en la matriz de la brecha y en vetillas de cuarzo que atraviesan al brechamiento.

La ubicación de la brecha tardía está restringida al este de la brecha intermedia y en contacto con el pórfido temprano y la granodiorita.

La distribución de la brecha tardía, en su porción centro y sur, concuerda con el cuerpo de altos valores de calcopirita, observado en la fig. 10.

El carácter tardío de esta brecha ha sido asumido porque ciertos fragmentos de los componentes de la brecha presentan vetillas de cuarzo de aproximadamente 1 cm de espesor que son cortadas por el brechamiento; esta observación nos muestra que la brecha tardía presenta cuando menos dos eventos de mineralización: vetillas prebrechamiento y matriz de la brecha.

FALLAS Y FRACTURAMIENTO.

El fallamiento dentro del depósito La Caridad, es persistente y aunque debido a la composición heterogénea de las brechas, no es posible observar contactos litológicos desplazados. Sin embargo, es común observar milonita y vetillas de cuarzo-pirita emplazadas dentro de este material. Dentro de la cartografía de detalle del tajo se han descrito fallas cuyo espesor varía desde menos de 5 cm hasta mayores de 2 m, y generalmente son posteriores al brechamiento. Su importancia no sólo está relacionada a la génesis del depósito, sino también a la operación de la mina. En especial las de gran espesor son receptoras de aguas meteóricas, lo cual eleva los costos de voladura en un barreno con agua. Dentro de la génesis del depósito, varios sistemas de fallas están aparentemente involucrados con la presencia de la pegmatita en el centro del depósito, ya que el punto de intersección de estos sistemas

coinciden con el centro de la pegmatita. Hacia el poniente del pórfido de textura fina, el fallamiento y fracturamiento orientado N-NW S-SE, dentro de la diorita y andesita, concuerda con el eje mayor del pórfido de textura fina.

ALTERACIONES HIDROTERMALES Y SU RELACION
CON LA MINERALIZACION

TIPOS DE ALTERACION EN EL DEPOSITO

La alteración de las rocas encajonantes incluyen aquellos cambios mineralógicos y químicos, producidos por las soluciones circulantes dentro de las rocas huéspedes de los cuerpos mineralizados (Meyer y Hemley, 1967). Dentro del depósito La Caridad, la mineralización y alteración se encuentran, tanto temporal como espacialmente relacionados y, ésto es evidenciado por la asociación conjunta de ciertos silicatos productos de la alteración con determinados sulfuros metálicos. La alteración presenta diferentes grados de intensidad en diferentes tipos de rocas. Las cuarzomonzonitas presentan mayor resistencia que las dioritas; Gilbert y Echávarri (1970), explican petrográficamente que ésto es debido a que los pórfidos de monzonita de cuarzo tienen minerales cuya composición es más rica en alcalis, además de que su textura presenta fenocristales aislados y "suspendidos" en una matriz de grano fino, lo cual ayuda a que la alteración sea menos intensa.

Cuatro tipos de alteración son identificables dentro del depósito: potásica, fílica, argílica y propilítica. Son tomados de los descritos por Meyer y Hemley (1967) y, posteriormente por Lowell y Gilbert (1970) quienes definieron estos tipos de alteraciones para los pórfidos cupríferos.

En los trabajos petrográficos pioneros, Gilbert y Echávarri (1970) establecieron 3 clases fundamentales de alteraciones: fílica, argílica y propilítica; la alteración potásica fue mencionada, pero no reconocida. En un estudio posterior, Echávarri (1973) reconoce esta última alteración.

En la fig. 7 se muestra en sección, la distribución espacial de los cuatro tipos diferentes de alteraciones; una somera comparación con las figuras 8 y 9, nos dan idea del control que ejercen estos tipos de alteración con los valores comerciales del cobre y molibdeno.

ALTERACION POTASICA

Los minerales característicos de este tipo de alteración son: los feldespatos potásicos, las micas (biotita y/o muscovita), cuarzo, trazas de sericita, anhidrita y carbonatos; donde los 2 primeros se presentan como minerales esenciales (Creasy, 1959).

En el estudio petrográfico del depósito, Echávarri (1973) reconoce la alteración potásica en muestras que presentan feldespatos potásicos de origen secundario.

Dentro del pórfido temprano y de la granodiorita, los autores de este estudio, han observado vetillas de 2 a 10 mm de espesor rellenas de cuarzo de color gris, con piritita, calcopirita, molibdenita y biotita, con feldespato potásico hacia los bordes. Las rocas, en donde se observan este tipo de vetillas, generalmente presentan una matriz de color rosa, posiblemente debido a la abundancia de feldespatos.

La figura 7 nos muestra la distribución de este tipo de alteración. Si observamos la distribución del molibdeno en la figura 8, notaremos que ésta se extiende dentro de la alteración potásica y en los márgenes con la alteración fílica. La presencia de los valores altos de molibdeno dentro de la alteración fílica, se deben únicamente al cuerpo de la pegmatita que aflora en esta área. Kilpatrick (1970) considera la posibilidad de que la pegmatita represente el núcleo potásico del depósito, ya que, además de cuarzo y biotita, se ha observado

EXACTOS Y NATURALES

feldespato potásico, Empero, esta unidad muestra, tanto a la biotita como, al feldespato potásico, sin alterar, contrastando notablemente con sus unidades vecinas (brecha intermedia y brecha tardía), que son las unidades más afectadas por la alteración fílica.

ALTERACION FILICA

Ubicada al este y oeste de la alteración propilítica y potásica, respectivamente (Figura 7), este tipo de alteración incluye cuarzo, sericita, pirita, hidromica, con cantidades menores de clorita y trazas de rutilo (Lowell y Guilbert, 1970). También denominada como alteración sericítica por Meyer y Hemley (1967). Dentro del depósito parece ser la más abundante e importante por su relación con el volumen de mineralización económica, aunque es el tipo de alteración, texturalmente más destructivo. Los estudios petrográficos muestran que la sericita ataca primeramente a las plagioclasas y posteriormente a los minerales no cuarzosos de la matriz. Los feldespatos potásicos son los últimos en ser reemplazados. Las texturas "sacaroides" descritas para la granodiorita y para el pórfido textura fina, son producto de este tipo de alteración. Junto con estas dos unidades, la diorita y la andesita son los otros tipos de rocas que también son atacadas por esta alteración. Esta última observación nos muestra que la alteración fílica no está controlada por un determinado tipo de roca, sino más bien, puede decirse que está controlada por las principales estructuras brechadas.

El origen de este tipo de alteración es controvertido, ya que originalmente en el trabajo de petrografía (Guilbert y Echávarri, 1970), se pensó que la sericita era de origen hipogénico. Posteriormente, en un análisis detallado de algunos núcleos de barrenos de diamante, Kilpatrick (1970) observa un consistente decrecimiento de la alteración con la profundidad, esto es, observa que en el capote lixiviado, la alteración fílica es pene

trante, mientras que en la zona enriquecida es menor penetrante. Basado en esta observación, concluye que en la alteración fílica puede estar más relacionada a un proceso supergénico que a uno hipogénico. La cartografía detallada del tajo nos proporciona información para apoyar las observaciones de Kilpatrick, ya que a profundidad la sericita tiende a disminuir, sobre todo en las rocas que no están brechadas. La brecha intermedia y la brecha de pórfido de textura fina hasta los niveles actuales de minado, siguen presentando fuerte alteración de sericita.

El contacto de la zona fílica con la potásica parece estar controlada por el contacto de la brecha tardía con la granodiorita y el pórfido temprano.

ALTERACION ARGILICA

Este término fue introducido por Lovering en 1940, para enfatizar la importancia de minerales arcillosos en la alteración hipogénica de rocas encajonantes. Dentro del depósito es la menos definida, ya que se ha cartografiado dentro de la alteración fílica en un contacto confuso y gradual. Se caracteriza por la presencia de minerales arcillosos de caolín y/o montmorillonita reemplazando a las plagioclasas, y a la presencia de clorita reemplazando biotita; el cuarzo y el feldespato potásico, comúnmente se encuentran inafectados.

En el estudio petrográfico realizado por Guilbert y Echavarrí (1970), observan que los feldespatos han cambiado a montmorillonita, caolín y sericita, y que la biotita ha sido transformada a sericita, montmorillonita y clorita.

Las muestras estudiadas y definidas petrográficamente con alteración argilizada, corresponden al área en donde se

observan minerales definidos como del grupo del caolín. Dentro de esta alteración, la pirita es común, pero es mucho menos abundante que en la alteración fílica.

ALTERACION PROPILITICA

Ubicada en la porción más poniente del depósito (Figura 7) este tipo de alteración ha sido definido por varios autores (Creasy, 1959-1966, Lowell y Guilbert, 1970), que consideran que es caracterizada por el desarrollo de nuevos minerales de magnesio y fierro en el rearrreglo de los componentes originales de la roca.

Los estudios petrográficos revelan que ésta es una zona en donde la epidota-zoicita-calcita y la montmorillonita, reemplazan a las plagioclasas, la clorita reemplaza a la biotita, y el cuarzo y el feldespato potásico permanecen sin alterar. El halo de alteración propilítica gradúa a facies fílicas hacia el este. Es importante notar que en la figura 7 se marca todo al lado poniente con alteración propilítica, sobre todo en las áreas de las andesitas. Sin embargo, es común encontrar roca fresca de andesita que no presentan alteración.

TURMALINIZACION

La turmalina se presenta en pequeñas cantidades dentro del depósito y su ocurrencia como mineral de alteración, es notable. Generalmente ocurre como agregados de cristales muy finos de color negro, aciculares, en vetillas y fracturas, aunque localmente da la impresión de encontrarse diseminada en la roca. Generalmente la turmalina ocurre en el lado poniente y centro del depósito, dentro de las brechas de diorita-andesita y en la brecha de pórfido de textura fina.

Analizando las formas de ocurrencia de la turmalina, no-

tamos que ésta ha sido originada en, por lo menos, dos etapas.

Parte de la turmalina ha sido reemplazada por sulfuros, por lo que, lógicamente, es premineral, pero también se encuentra cementando a fragmentos que ya habían sido mineralizados, razón que reafirma a un evento postmineral.

TIPOS DE MINERALIZACION.

Dentro del depósito, la mineralización es relativamente simple y consiste de pirita y calcopirita, las cuales han sido reemplazadas por covelita y calcosita dentro de una zona de enriquecimiento secundario.

Varias etapas de mineralización debieron estar presentes antes de que se produjera la zona de oxidación, y esto es evidenciado en las zonas de brechas en donde diferentes componentes de la misma brecha presentan diferentes estilos de mineralización. La descripción de los sulfuros primarios y secundarios se presenta a continuación.

SULFUROS PRIMARIOS

La pirita es el mineral más esparcido y abundante en el depósito, seguido por la calcopirita, molibdenita y trazas de esfalerita, galena y cubanita.

Pirita. Este sulfuro se presenta en diversas maneras. En vetillas de 1 mm, asociada a cuarzo y cubiertas de un halo de 10 mm de alteración fílica (cuarzo-sericita) con intercrecimientos de cuarzo y calcopirita. También se presenta en gránulos euhedrales en un tamaño promedio de 0.5-1.0 mm denominados a través de las rocas intrusionantes de la parte central del depósito. Es además el sulfuro primario predominante en el relleno de las cavidades de las brechas.

Su distribución se observa en el área de la pegmatita hacia el norte dentro del pórfido de textura fina, el cual originalmente fue descrito como pórfido piritoso y, hacia el poniente en áreas de las rocas andesíticas donde predomina en forma de vetillas.

Calcopirita. Se encuentra en vetillas asociadas a cuarzo blanco y generalmente es subordinada a la pirita. Comúnmente ocurre como cristales anhedrales muy finos a microcristalinos diseminados dentro del pórfido temprano. Los valores más altos de este sulfuro se presentan en los espacios de la brecha tardía, en donde localmente se observa asociada a galena y esfalerita. En el estudio petrográfico elaborado por Echávarri (1973), se presenta un plano de distribución de la calcopirita (Figura 10), que concuerda con el levantamiento de campo hecho por estos autores. También concuerda con la distribución de la unidad denominada brecha tardía. Los contenidos de calcopirita varía desde 0.5 a 6.0%, con un promedio de 1%.

En general, los contenidos de calcopirita son mucho más bajo que los contenidos de pirita. La relación de pirita/calcopirita es variable dentro del depósito, observándose que en el margen poniente alcanza hasta una proporción de 10: 1, mientras que en la parte central se alcanza a igualar esta proporción a 1: 1. La relación promedio se aproxima a 3:1.

Molibdenita. La molibdenita es el tercer sulfuro primario más importante, después de la pirita, y la calcopirita; ocurre en vetillas de 1 a 3 mm de espesor, asociadas a cuarzo; en vetillas de 1 a 2 cm de espesor, asociada a pirita, calcopirita y a cuarzo lechoso; dentro de la pegmatita, en donde las concentraciones de molibdenita son notables, se presenta asociado a biotita fina y a cuarzo lechoso en vetillas irregulares y en drusas. Comúnmente es observada en fracturas y de un color gris más opaco que en las otras formas; raramente se

presenta diseminada dentro del pórfido temprano. La distribución de todas estas formas de ocurrir de la molibdenita, se concentran principalmente al este del depósito dentro del pórfido temprano y en la granodiorita, en donde las leyes de molibdeno varían desde 0.01 a 0.2% con un promedio de 0.04%

A profundidad, los valores de molibdeno mantienen su ley promedio de 0.04% dentro de las unidades arriba mencionadas, mientras que los valores comerciales de cobre, que son controlados por el manto de sulfuros secundarios, tienden a desaparecer. Si agregamos ciertas estructuras brechoides locales de tipo pegmatítico que mantienen leyes de cerca de 0.10% de molibdeno y que atraviesan a estas mismas unidades, observaremos que las reservas por molibdeno se incrementan notablemente.

Basándonos principalmente en la forma de ocurrir la mineralización de molibdeno, concluimos que varios eventos produjeron este tipo de mineralización. Tal vez la forma diseminada y en vetillas de espesor menor a 1 cm asociados a cuarzo, sean las más primarias, siguiendo después las vetillas de espesor mayor a 1 cm con asociación de cuarzo color gris, contemporáneas con las del evento pegmatítico y una última etapa en la forma que se presenta en fracturas, en donde Livingstone (1970) fechó una diorita al norte del depósito con este tipo de mineral en 48.9 ± 1.2 m.a., concluyendo que el dato reflejaba más que la edad de la roca, la edad del evento mineralizado. La distribución de la molibdenita dentro del depósito es mostrada en la figura 11.

La presencia de molibdenita ha sido tema de polémica. Guilbert y Echávarri (1970) sugieren que es predominantemente un mineral accesorio depositado como resultado de la cristalización de los intrusivos. Por otro lado, Kilpatrick (1970) indica que su asociación con pirita, calcopirita y cuarzo, muestran que su depositación está más estrechamente asociada con los eventos hidrotermales.

Galena y Esfalerita, Trazas de estos minerales han sido observados dentro de la brecha tardía y en el pórfido temprano, generalmente asociados con calcopirita y pirita en vetillas de cuarzo. Estos representan cantidades insignificantes, comparados con la abundancia total de sulfuros. La esfalerita es más abundante que la galena.

SULFUROS SECUNDARIOS

El enriquecimiento supergénico es particularmente dependiente de la ley de cobre hipogénico, del contenido total de sulfuros, de la relación sulfuros de cobre/sulfuros de hierro de la naturaleza química, y de la preparación estructural de las rocas intrusivas.

La mineralización económica dentro del depósito, esta controlada por la zona en donde prevalecen los sulfuros secundarios que han sido formados por el reemplazamiento de sulfuros de cobre sobre calcopirita y pirita, considerando que el espesor y las leyes del manto enriquecido están claramente controlados por la distribución original de la mineralización de calcopirita y más específicamente por las unidades litológicas en el área.

Los tres sulfuros secundarios de cobre en el depósito, son la calcosita, covelita y digenita, de los cuales los dos primeros son los más abundantes. Estos reemplazan, tanto a la calcopirita como a la pirita, aunque la calcopirita es casi totalmente reemplazada, mientras que la pirita únicamente se observa reemplazada en delgadas películas.

La distribución de estos sulfuros es la misma que la de los sulfuros primarios, estos en vetillas, cavidades y diseminaciones. El proceso de reemplazamiento es más notorio en la parte superior del manto enriquecido, donde se muestra en un

70 a 80% del volumen de la calcopirita, mientras que en la parte inferior únicamente un 25 a 30% del volumen de la calcopirita, ésto da lugar a que, en la parte superior de la zona enriquecida, sea más marcado el cambio gradual mineralógico, mientras que en la parte inferior sea transicional hacia la zona de sulfuros primarios. La zona de enriquecimiento secundario tiene un espesor de aproximadamente 200 m en su parte central, tendiendo a acunarse hacia los márgenes. El grueso de esta zona está concentrada en la distribución de las brechas igneas, como lo muestra la comparación visual de las figuras 6 y 9.

RELACIONES ZONALES DE MINERALIZACION-ALTERACION.

Bajo este título describimos la distribución y relación que en el depósito La Caridad presentan los sulfuros hipogénicos junto a las asociaciones de silicatos de determinado tipo de alteración, comparándolo a la vez, con el modelo de Lowell y Guilbert (1970) (Figura 12). Se ha tratado de esquematizar en la figura 7, la relación que guardan, tanto silicatos como sulfuros, así como la forma de ocurrir estos últimos.

ZONA DE ALTERACION POTASICA

Como se explicó, y basándose en el modelo de Lowell y Guilbert, el depósito de esta zona aparentemente representa a las zonas intermedia y periférica del depósito original. Dentro de éste, el contenido total de sulfuros es bajo a moderado, con un contenido promedio de pirita de 1.0%, de molibdenita de 0.03 a 0.05% y de calcopirita en cerca de 1.0%. Una característica importante de esta zona es la presencia de valores relativamente bajos de sulfuros secundarios. Una visualización general del plano de geología del Distrito Nacozari (Figura 3), nos muestra que el pórfido temprano marcado como Tpcm al sur del Taller Mina, en la misma figura, es donde relativamente más acentuada se

observa la alteración potásica con los valores de sulfuros ya mencionados; hacia el este, dentro de la cuarzomonzonita porfídica (Tcmp), los valores de sulfuros tienden a disminuir gradualmente.

ZONA DE ALTERACION FILICA

Típicamente esta zona contiene abundante pirita junto con alto contenido de sulfuros de cobre en una intensa sericitización y silicificación. Esta zona corresponde a la más importante, desde el punto de vista económico, ya que es aquí donde más pronunciado se presenta el enriquecimiento secundario. La pirita y, en menor proporción, la calcopirita, forman los sulfuros primarios volumétricamente más importantes, acompañados de menores cantidades de bornita, esfalerita y galena, comúnmente asociadas a cuarzo.

La figura 7 muestra la distribución de la alteración fílica donde, hacia el lado este, en el área de contacto de la alteración potásica, existe una fuerte silicificación que es donde mayormente se aprecia la calcopirita, sobre todo en los huecos de las brechas; mientras tanto, hacia el poniente de la sección, el contacto con la alteración propilítica la sericitización es más fuerte y los sulfuros son más predominantes en vetillas y en forma diseminada.

La ley de cobre, dentro de esta zona, se mantiene en un promedio de 1.0% con valores hasta cerca de 4.0% en el sur, y de 0.2-0.3% en cuerpos aislados al centro. Anormalmente los valores de molibdeno se disparan hasta 6 y 9 Kgs/ton. en áreas aisladas que generalmente están relacionadas a la pegmatita, fuera de ésta se mantienen de 0.01-0.03%.

ZONA DE ALTERACION ARGILICA

Esta corresponde a una zona donde los valores de calcopilita

rita disminuyen relativamente, mientras que los valores de pirita continúan altos. Como ésta es una área compleja para cartografiar como tal, resulta difícil marcar una determinada distribución de sulfuros; lo que es notable, es que los valores de cobre son relativamente bajos, en un promedio de 0.6%.

ZONA DE ALTERACION PROPILITICA

En esta, la mineralización generalmente está restringida a la pirita, aunque la calcopirita llega a presentarse acompañada de bornita. Localmente trazas de molibdenita son visibles. Los valores de pirita son altos y éstos generalmente son distribuidos en vetillas (en gran número), que elevan las leyes de este sulfuro. Los contenidos de cobre en esta zona son bajos, promediando aproximadamente 0.3%; los valores de molibdeno se presentan en trazas.

MINER
LOGIA

GENESIS DEL DEPOSITO LA CARIDAD

PREPARACION Y FORMACION DEL YACIMIENTO.

Al igual que el típico depósito de pórfido cuprífero del suroeste de Estados Unidos de América, éste es emplazado en rocas igneas del Cretácico Tardío y se encuentra asociado con troncos cuarzomonzoníticos.

Debido a los efectos de intrusiones múltiples, a los numerosos eventos de mineralización y a diferentes etapas de alteración que estuvo sujeto el depósito, el entendimiento de su formación es complejo. Sin embargo, trataremos de explicar en forma sencilla las etapas por las que debió haber pasado el depósito desde su posible inicio hasta su forma actual (Figura 13).

Hemos separado la evolución del depósito en 6 etapas de la siguiente manera:

1. Una gruesa secuencia de rocas volcánicas intermedias, fueron depositadas en el Distrito Nacozari durante el Cretácico Medio y Tardío. En el área de La Caridad éstas rocas son de composición diorítica y el basamento en el cual éstas fueron depositadas es desconocido. Esta actividad ignea fué tal vez acompañada de levantamientos y formación de estructuras dómicas. Inmediatamente después de la cristalización de la diorita, hubo escape de gases que brecharon las rocas produciendo mezclas de las facies de grano fino y grueso.

2. Pensamos que después se produjo la intrusión de un cuerpo de composición granodiorítica emplazado abajo de las anteriores unidades. Aparentemente, tiene forma de tronco, aunque tal vez sus dimensiones sean del tipo batolítico. La presencia de

finas vetillas de cuarzo con trazas de sulfuros observadas únicamente en este intrusivo, nos sugieren que la intrusión de éste fue acompañada de las primeras etapas de mineralización.

3. En esta tercera etapa la presencia de intrusivos múltiples se hace evidente en pequeños cuerpos en forma de troncos provenientes tal vez de la misma cámara magmática que diera origen a la granodiorita, aunque con facies más cuarzomonzónicas. La secuencia de intrusiones parece haberse iniciado en el contacto entre la granodiorita y las rocas de composición diorítica. Este contacto tal vez fue una zona de debilidad que controló esta actividad intrusiva. El emplazamiento de los diferentes intrusivos porfídicos fue seguido por la evolución activa de gases y fluídos hidrotermales, los cuales alteraron, brecharon y mineralizaron los pórfidos y las rocas adyacentes más antiguas. La alteración hidrotermal precedió a la deposición de los sulfuros. El pórfido crema representa una de las últimas fases de la actividad que en forma de dique atravesó diferentes estructuras brechadas, alteradas y mineralizadas del yacimiento.

4. La cuarta etapa ha sido interpretada como un proceso de levantamiento tal vez contemporáneo o inmediatamente posterior a las intrusiones múltiples que originó un ciclo erosional que removió parte de la secuencia volcánica que ocultaba la cumbre de los troncos porfídicos, formándose así lo que sería el conglomerado La Caridad. A partir de las rocas volcánicas piritizadas se lixivió el fierro que originó el cemento ferruginoso del conglomerado.

5. La activación de la falla La Caridad, suponemos que en esta quinta etapa se realizó, subsecuente a la depositación del conglomerado La Caridad, probablemente como resultado de un continuo levantamiento vertical. Esta falla es normal o de "deslizamiento por gravedad" y desplazó al conglomerado hacia el noreste a su posición actual. Una nueva actividad volcánica

surge en el área, depositándose una gruesa secuencia de tobas riolíticas al norte del depósito La Caridad, cubriendo, tanto al conglomerado como a la falla La Caridad. Estas riolitas probablemente se correlacionan con el vulcanismo del Terciario Medio que ocurrió en el oeste de Norte América. Un nuevo levantamiento, junto con el fallamiento característico de la provincia Sierras y Valles, ocurrió posterior a la depositación de las volcánicas postminerales.

6. En esta última etapa ilustramos la forma actual del depósito con la forma del cuerpo de enriquecimiento de cobre, producto de múltiples ciclos de lixiviación y reprecipitación de cobre secundario. El proceso de enriquecimiento supergénico, culminó durante un ciclo climático húmedo en el Terciario Medio. Desde entonces el clima se ha vuelto más seco y la mineralización supergénica está siendo destruída por la oxidación y la erosión.

GEOLOGIA ECONOMICA

La Caridad no sólo concuerda con el típico depósito de pórfido cuprífero por las características mencionadas en los anteriores capítulos, sino que también, al igual que aquéllos, posee un gran tonelaje de mineral con una ley relativamente baja en cobre y con susceptibilidad para minarse con métodos de bajo costo que mueven grandes volúmenes de material.

EVALUACION DEL YACIMIENTO.

Una evaluación real de un yacimiento implica varios parámetros, entre ellos los podemos mencionar, principalmente el precio de los metales (en extracción), el índice de inflación y las reservas del yacimiento, entre otros. Por lo tanto, un estudio completo sobre esto no puede expresarse en unos cuantos renglones, por lo que nos limitaremos a generalizar sobre el caso.

Los depósitos de pórfidos cupríferos contribuyen en la producción de cinco metales: cobre, molibdeno, rhenio, oro y plata.

En La Caridad, los estudios sobre las reservas del depósito fueron hechos esencialmente por cobre y con molibdeno como subproducto. En estos estudios se observó que la mina La Caridad contenía un total de 538 millones de toneladas de material explotable con un contenido promedio de cobre de 0.745%; también se cuantificó la existencia de 187 millones de toneladas de material de baja ley de 0.305% y un total de 276 millones de toneladas de material estéril. Un estudio de reservas por cobre equivalente (Cu + Mo) fué realizado en las mismas

fechas, notándose que las reservas aumentaban a un total de 1,359 millones de toneladas de mineral explotable, con una ley de 0.451% de CU y 0.0302% de Mo. El tepetate sólo alcanza la suma de 557 millones de toneladas, por lo que se conforma una relación de minado de 1: 0.41.

Por los estudios anteriores, se comprobó que la inversión en La Caridad es remunerativa. Si visualizamos que en el momento de la exploración, el precio del cobre oscilaba en alrededor de \$ 1.00 Dll. la libra, y que actualmente se conserva en alrededor de \$0.70 Dll., podríamos pensar que el yacimiento no es rentable, sin embargo si aunamos una inflación del momento de la exploración a la fecha de cerca de 2,000%, abaratando, por lo tanto la mano de obra mexicana se sobrecompensaría entonces la baja de los metales. Pero estos no son todos los factores que afectan a la economía del yacimiento, tal vez el más importante actualmente sea el problema de las finanzas extranjeras que absorben en gran parte las ganancias que el complejo La Caridad pudiera tener.

FORMA Y TAMAÑO.

El área de explotación de La Caridad se concentra en una especie de óvalo orientado N-S, cuyas dimensiones son en su eje mayor 2.3 por 1.8 km en su eje menor, con una profundidad media de 380 m. El cuerpo de alta ley se concentra entre las elevaciones 1545 y 1470 m s.n.m.; hacia abajo las leyes se mantienen en un 0.6% de Cu, aproximadamente, predominando los sulfuros primarios.

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Dentro del yacimiento La Caridad, todas las rocas se consideran de origen intrusivo y varían en composición de intermedias a félsicas e incrementan su contenido de sílice al decrecer en edad. Los contactos entre estas rocas es gradacional, lo que sugiere un emplazamiento predominantemente pasivo. Fueron diferenciados cuatro pórfidos cuarzomonzoníticos que aparentemente intrusionaron a las rocas encajonantes en el contacto inferido entre la granodiorita y las rocas de composición diorítica.

La alteración dentro del depósito La Caridad, concuerda con la de los modelos elaborados para los yacimientos de pórfidos cupríferos. Hacia el lado este del depósito se observa un irregular halo de alteración potásico que tiende a ser borrada hacia el centro del depósito por la intensa alteración fílica. Hacia el oeste, en las rocas de composición intermedia, se observa una débil alteración propilítica. Turmalina se observa en erráticas concentraciones, principalmente en la diorita.

La mineralización primaria en el depósito está estrechamente relacionada con la intrusión de los pórfidos cuarzomonzoníticos. La mineralogía es relativamente simple y consiste principalmente de pirita y calcopirita, reemplazada por calcosita y covelita y es acompañada de molibdenita. Gran parte de la mineralización es controlada por fracturas. La depositación de los sulfuros ocurrió después de la cristalización del magma, y éstos fueron probablemente depositados en soluciones acuosas que pudieron fácilmente penetrar en las fracturadas rocas encajonantes. La calcopirita es más abundante en granos muy finos y diseminados dentro de los pórfidos. La pirita tiende a ocurrir como vetillas, rellenando fracturas en todas las rocas preminerales. Diferentes etapas de mineralización de molibde-

nita fueron observadas, aunque actualmente la más importante, desde el punto de vista económico, es la que se relaciona a la pegmatita. A profundidad y en la parte este del depósito, tienden a incrementarse relativamente dentro de la granodiorita y el pórfido temprano.

Analizando, tanto el plano de geología local como el plano de geología regional, y tomando en cuenta la semejanza de las características geológicas del depósito La Caridad con las del modelo propuesto por Lowell y Guilbert, observamos que La Caridad ocupa únicamente una parte de ese modelo y que la parte restante posiblemente ha sido desplazada por la falla La Caridad, o tal vez se encuentra cubierta por rocas más jóvenes. Por lo tanto, es recomendable hacer una investigación más profunda en el área y correlacionar así las diferentes estructuras que bardean al depósito, como son Santo Domingo, La Guadalupe, Bella Unión, Los Pilares, etc.



EL SABER DE MIS HIJOS
HARA MI GRANDEZA
DEPTO. GEOLOGIA

REFERENCIAS CITADAS

CREASY, S.C.

1959. Some phase relations in hydrothermal altered rock of porphyry copper deposits. Econ. Geol., 54, 351-373.

1966. Hydrothermal alteration in Geology of the Porphyry Copper Deposits, S.R. Titley and C.L. Hicks (eds), Tucson: University Arizona Press, 51-74.

CHIAPA CH. A.,
THOMS J.A.



EL SABER DE MIS HIJOS
HARA MI GRANDEZA
DEPTO. GEOLOGIA

1971. Bosquejo Geológico del Distrito Minero de Nacozari: A.I.M.M.G.M. A.C., IX Convención Nacional, Libro Guía de Excursiones, p. 1-14.

CHIAPA CH. ARMANDO

1976. Informe geológico preliminar del depósito de cobre-molibdeno Santa Rosa, Distrito Minero Nacozari, Sonora, México. Reporte no publicado, Cía. Minera Nacozari, S.A. de C.V.

ECHAVARRI P. ARIEL

1973. Petrography Alteration and Mineralization of La Caridad Deposit; Sonora, México. Reporte no publicado, Mexicana de Cobre, S.A.

GUILBERT J.M., ECHAVARRI
P.A.

1970. Petrography and Alteration at the La Caridad Deposit, Nacozari, So

EL S
ESTUDIOS
EXACTAS Y NATURALES

KILPATRICK, Bruce E. 1970. Geology, Alteration and Mineralization in the La Caridad Deposit and adjacent Caridad Antigua Area. Municipio Nacozari, Sonora, México. Reporte no publicado, Asarco Mexicana, S.A.

LIVINGSTONE, D.E. 1973. Geology, K-Ar ages and Sr. Isotopy at La Caridad, Nacozari District, Sonora, México. Publication 80, Dpt. of Geosciences, University of Arizona, 31 p.

LOWELL J.D., GUILBERT J.M. 1970. Lateral and Vertical Alteration-Mineralization Zoning in Porphyry Ore Deposits. Econ. Geol. Vol.65 p 373-408.

MARTINEZ R. 1970. Reporte preliminar área vecina a la mina La Caridad. Nacozari, Sonora, México. Reporte no publicado de Asarco Mexicana, S.A.

MEYER C., HEMLEY J.J. 1967. Wall rock alteration, in Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposit, H.L. Barnes (ed): New York, Holt, Rinehart and Winston, Inc., p 166-235.

SCHMITT, HARRISON 1966. The porphyry copper deposits in their regional setting in Geology of the porphyry copper deposits Southwestern North America, Titley and Hicks (eds). The University of Arizona Press., Tucson Arizona pp 17-33.

SEAGART, W.E., SELLE, J.,
KILPATRICK, B.E.

1974. Geology and Mineralization of
La Caridad copper deposit, Sonora,
México. Ec. Geol., Vol. 69, pp. 1060
1077.

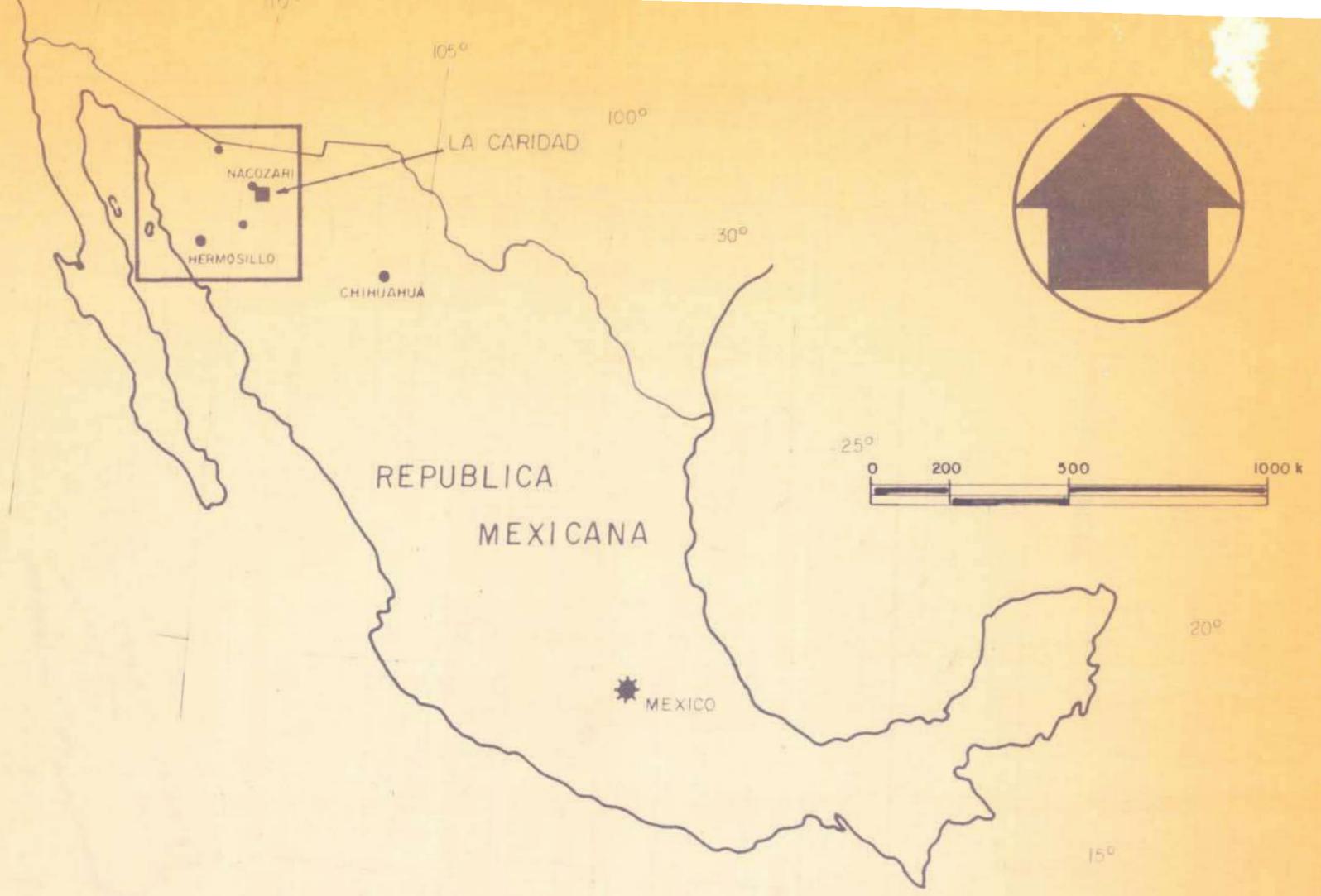


Fig. 1

UNIVERSIDAD DE SONORA DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA		
MAPA DE LOCALIZACION		
TESIS PROFESIONAL		
ESCALA :	LUIS A. REINA GUERRERO	AGOSTO, 1986
GRAFICA	ABELARDO MAYBOCA ESPARZA	
LINEAMIENTO WASATCH JEROME		
TESIS PROFESIONAL		
ESCALA	LUIS A REINA GUERRERO	AGOSTO, 1986
GRAFICA	ABELARDO MAYBOCA E.	

TOMADO DE :
Schmitt, 1966

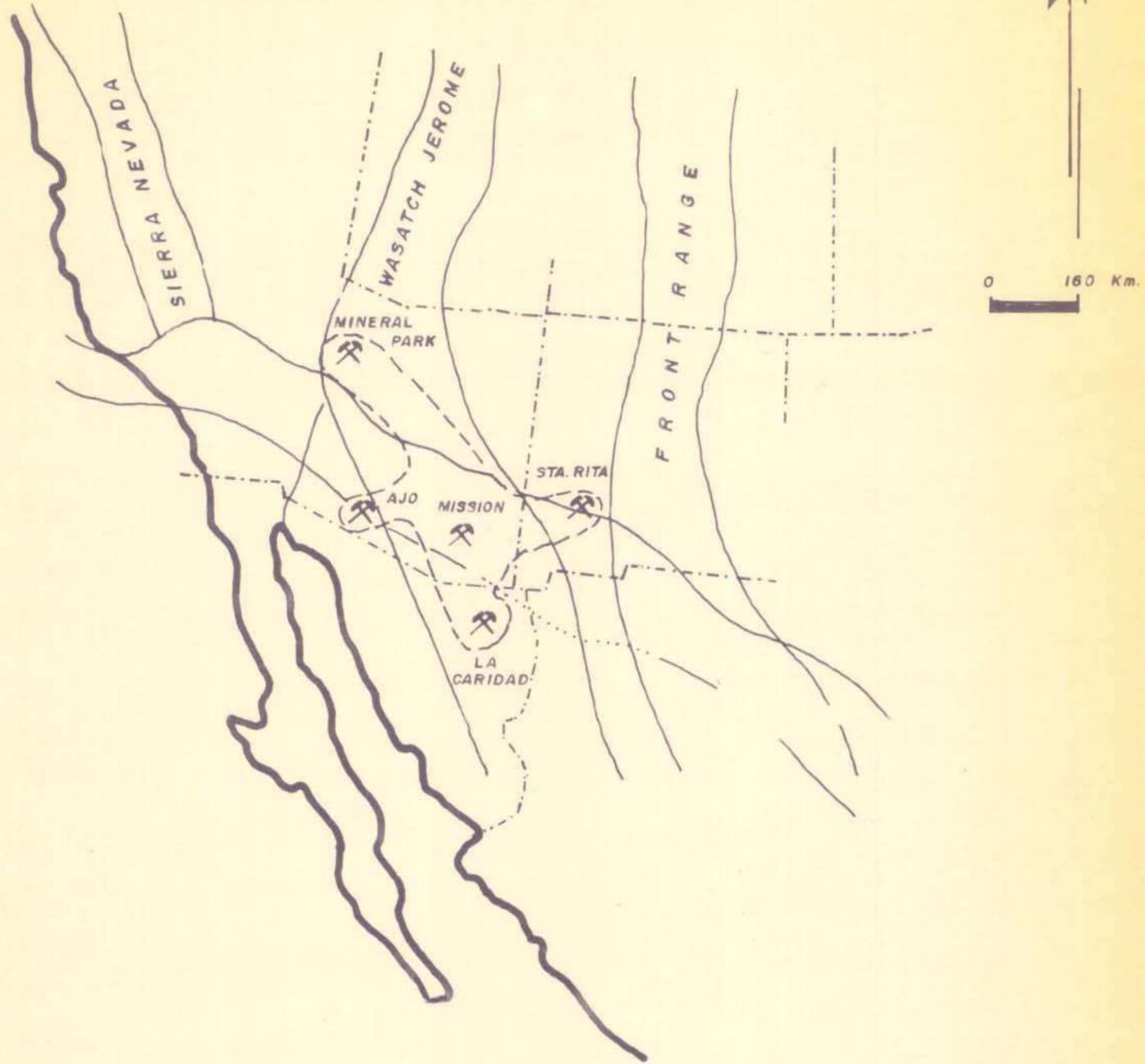


Fig. - 2

UNIVERSIDAD DE SONORA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

LINEAMIENTO WASATCH JEROME

TESIS PROFESIONAL

Escala	LUIS A REINA GUERRERO	AGOSTO, 1986
Gráfica	ABELARDO MAYROCA F	

TOMADO DE:
Schmitt, 1966

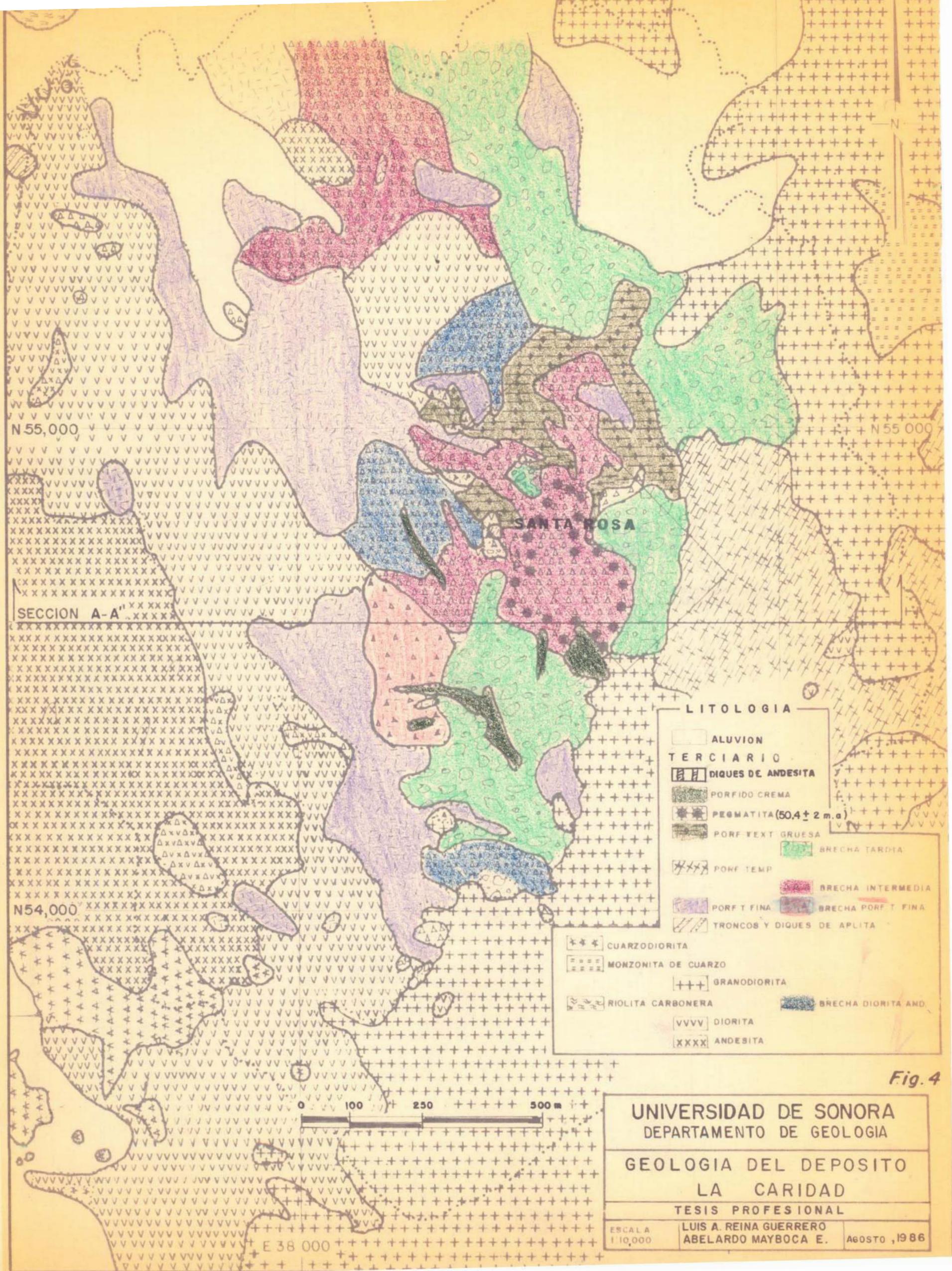
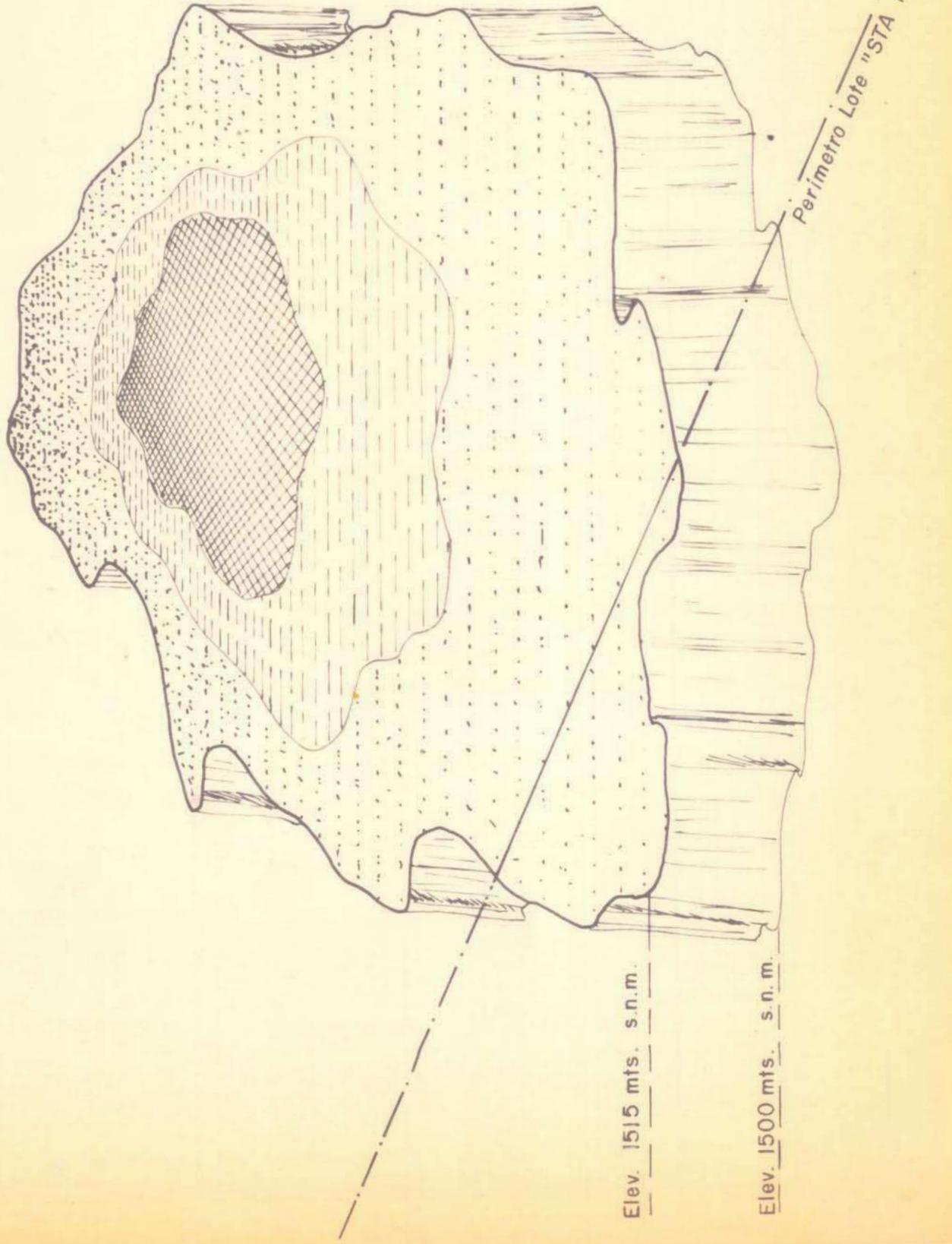
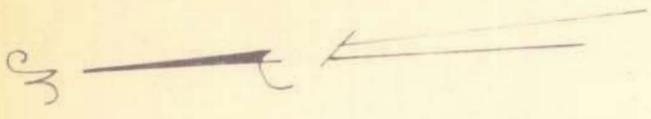


Fig. 4



EXPLICACION

Escamas de biotita gruesas hasta de 20 cm. de largo y tejones de cuarzo color gris masivo hasta de 2 mts.



Biotita de 1 a 2 cm. de largo en vetillas y huecos. Los valores de Mo. son altos que en las otras áreas de la misma pegmatita.



Pequeños cristales de biotita menores de 1 cm. en vetillas y huecos de la brecha.

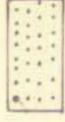


Fig. —

UNIVERSIDAD DE SONORA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

ESQUEMA TRIDIMENSIONAL
DEL CUERPO PEGMATITICO

TESIS PROFESIONAL

Sin Escala

Luis A. Reina Guerrero
Abelardo Mayboca E

Abril, 1968

Diseñado por los autores

E 37,500

E 38,000

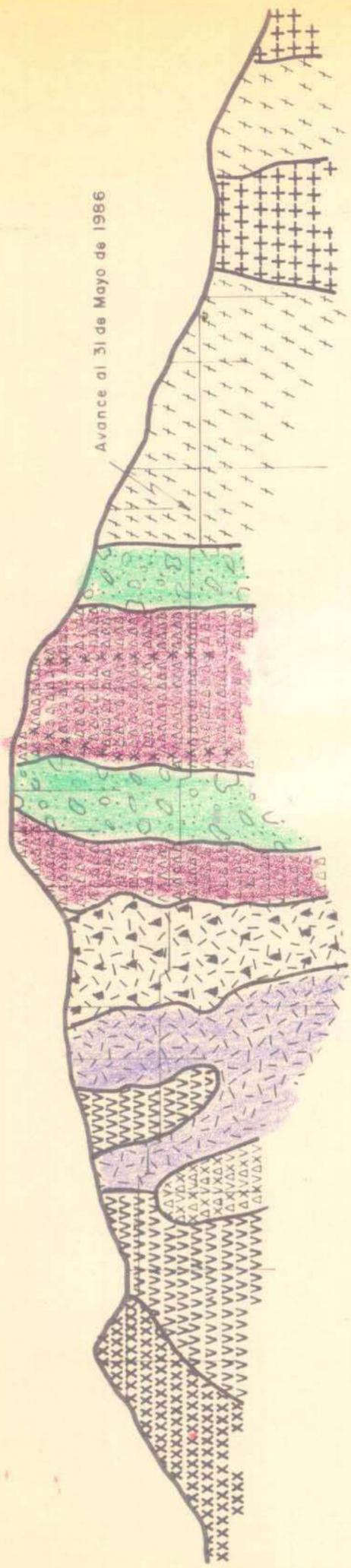
E 38,500

E 39,000

E 39,500

1590
1560
1530
1500
1470
1440
1410
1380
1350
1320
1290

Avance al 31 de Mayo de 1986



1590
1560
1530
1500
1470
1440
1410
1380
1350
1320
1290

E 37,500

E 38,000

E 38,500

E 39,000

E 39,500

LITOLOGIA

- ALUVION
- DIQUES DE ANDESITA
- PORFIDO CREMA
- PORFIDO T. GRUESA
- PEGMATITA (52:2 ± 2 m.g.)
- PORFIDO TEMPRANO
- BRECHA TARDIA
- BRECHA INTERMEDIA
- BRECHA DE PORFIDO
- TRONCOS Y DIQUES DE APLITA
- CUARZODIORITA
- MONZONITA DE CUARZO
- RIOLITA CARBONERA
- GRANODIORITA
- ANDESITA
- DIORITA
- BRECHA DIORITA ANDESITA

TERCIARIO

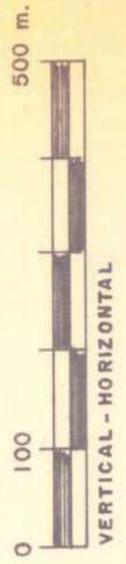


Fig. 6

UNIVERSIDAD DE SONORA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

SECCION A - A' VIENDO AL "N"
LITOLOGIA

TESIS PROFESIONAL

ESCALA: 1:10,000

AGOSTO, 19	LUIS A REINA GUERRERO	ABELARDO MAYBOCA ESPARZA
------------	-----------------------	--------------------------

E 37,500 E 38,000 E 38,500 E 39,000 E 39,500

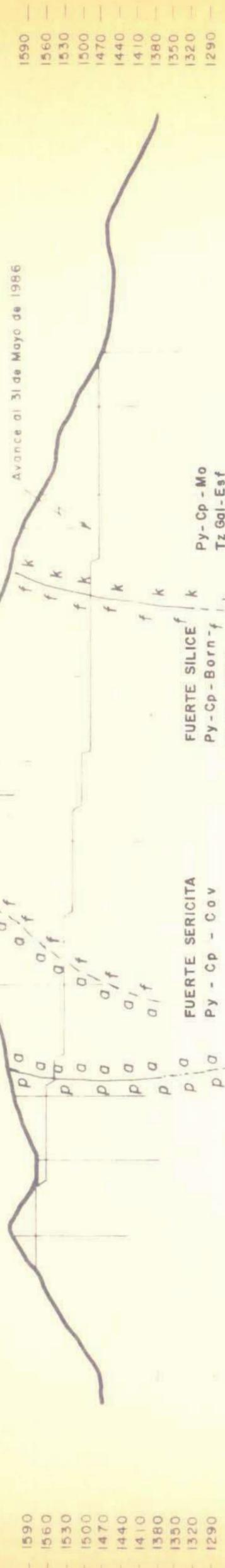


Fig. 7

UNIVERSIDAD DE SONORA DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA	
ALTERACION HIDROTHERMAL Y SULFUROS ASOCIADOS (SECCION A - A', VIENDO AL "N")	
TESIS PROFESIONAL	
ESCALA 1:10,000	AGOSTO, 1986

EXPLICACION

- | | | |
|-------------------|-------|------------------------|
| Py : PIRITA | k k k | ALTERACION POTASICA |
| Cp : CALCOPIRITA | f f f | ALTERACION FILICA |
| Born : BORNITA | a a a | ALTERACION ARGILICA |
| Cov : COVELITA | p p p | ALTERACION PROPILITICA |
| Mo : MOLIBDENITA | | |
| Gal : GALENA | | |
| Esf : ESFALERITA | | |
| Tz : TRAZAS DE... | | |

E 37,500

E 38,000

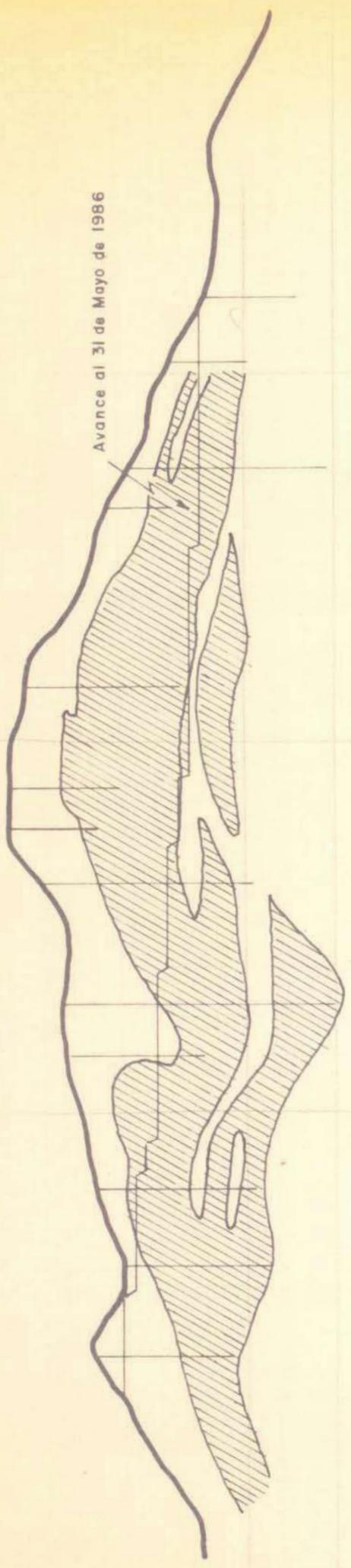
E 38,500

E 39,000

E 39,500

1590
1560
1530
1500
1470
1440
1410
1380
1350
1320
1290

Avance al 31 de Mayo de 1986



1590
1560
1530
1500
1470
1440
1410
1380
1350
1320
1290

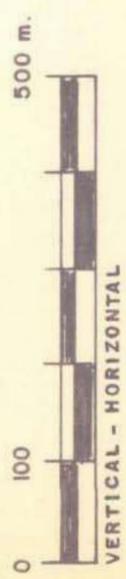
E 37,500

E 38,000

E 38,500

E 39,000

E 39,500



EXPLICACION

-  0.00 - 0.29 % Cu
-  \geq - 0.30 % Cu

EL SERVICIO DE INVESTIGACIONES
CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS
EN MINERÍA Y GEOLOGÍA
EXACTAS Y NATURALES

Fig 8

UNIVERSIDAD DE SONORA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

SECCION A - A' VIENDO AL "N"
MINERALIZACION DE
COBRE

TESIS PROFESIONAL

ESCALA: LUIS A. REINA GUERRERO
1: 10,000 ABELARDO MAYBOCA ESPARZA
AGOSTO 1988

E 37,500

E 38,000

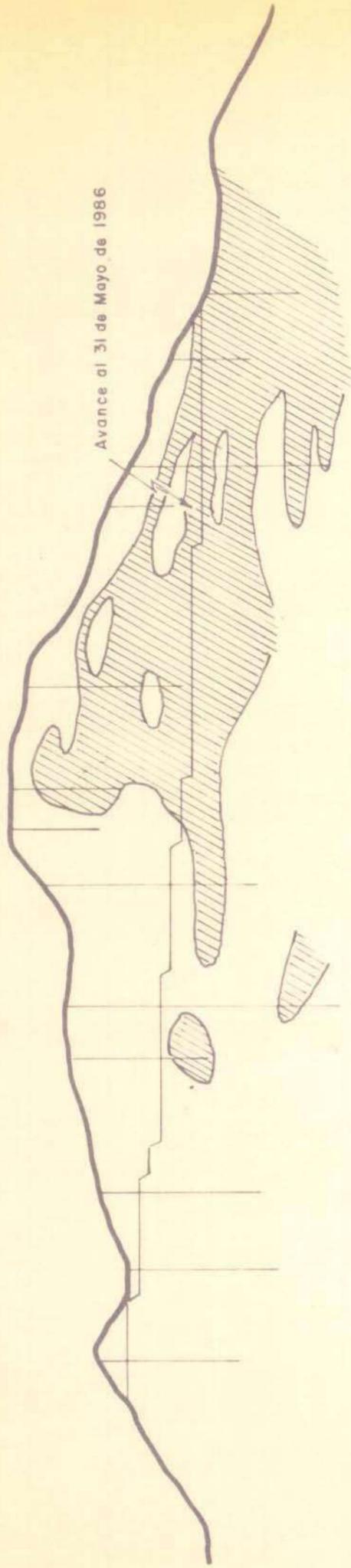
E 38,500

E 39,000

E 39,500

1590
1560
1530
1500
1470
1440
1410
1380
1350
1320
1290

Avance al 31 de Mayo de 1986



1590
1560
1530
1500
1470
1440
1410
1380
1350
1320
1290

E 37,500

E 38,000

E 38,500

E 39,000

E 39,500

0 100 500 m.



VERTICAL - HORIZONTAL

EXPLICACION

-  0.0000 - 0.0199 % Mo
-  \geq - 0.0200 % Mo

Fig. 9

UNIVERSIDAD DE SONORA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

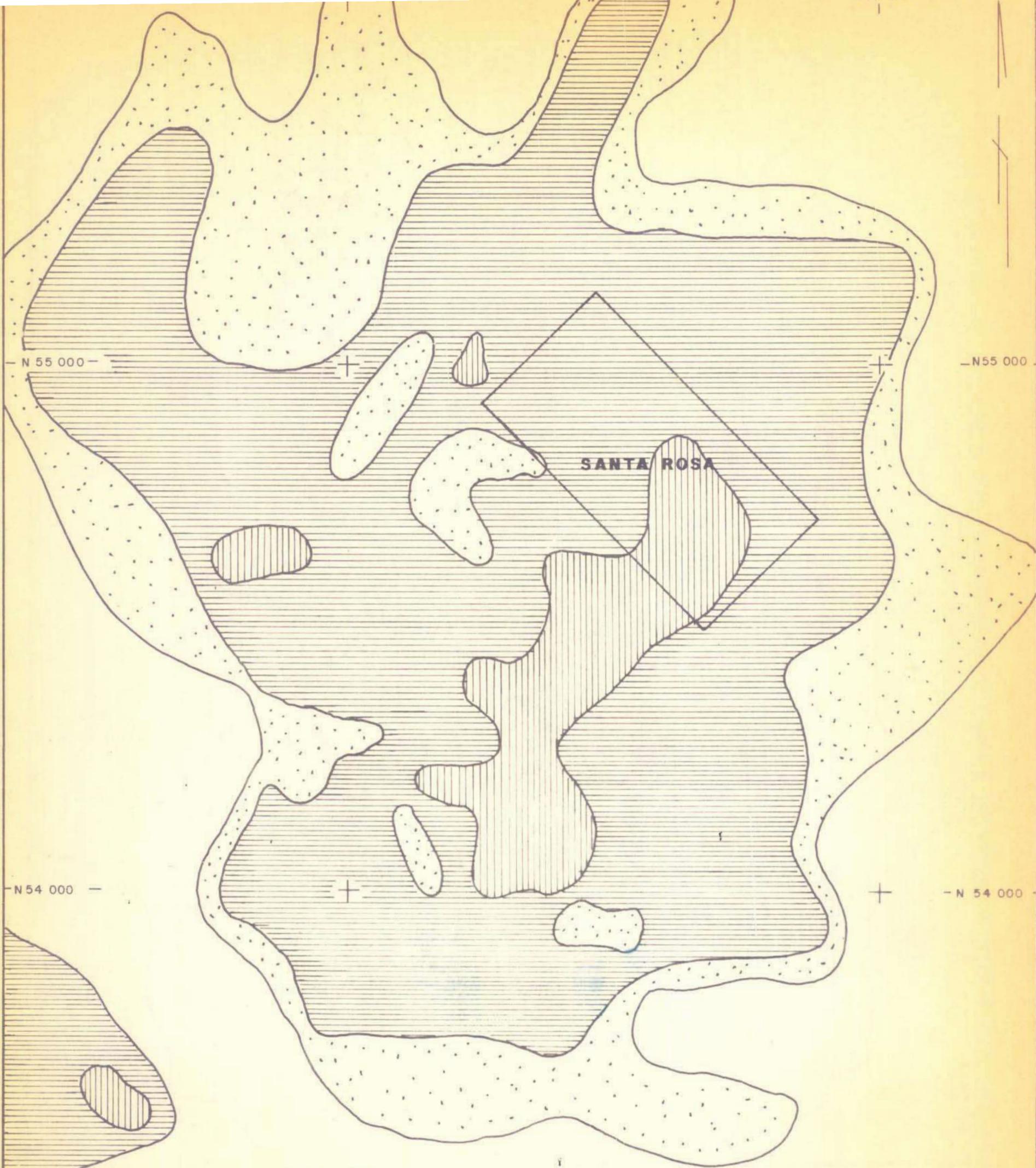
SECCION A - A' VIENDO AL "N"
MINERALIZACION DE
MOLIBDENO

TESIS PROFESIONAL

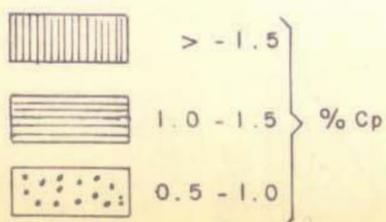
ESCALA:
1:10,000

LUIS A. REINA GUERRERO
ABELARDO MAYBOCA ESPARZA

AGOSTO, 1986



EXPLICACION



TOMADO DE: Echavarrí, 1973 Fig. 10

UNIVERSIDAD DE SONORA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

DISTRIBUCION DE CALCOPIRITA
EN EL DEPOSITO

TESIS PROFESIONAL

Escala 1:10000	Luis A. Reina Guerrero Abelardo Mayboca E.	Abril, 1986
-------------------	---	-------------

E 38 000

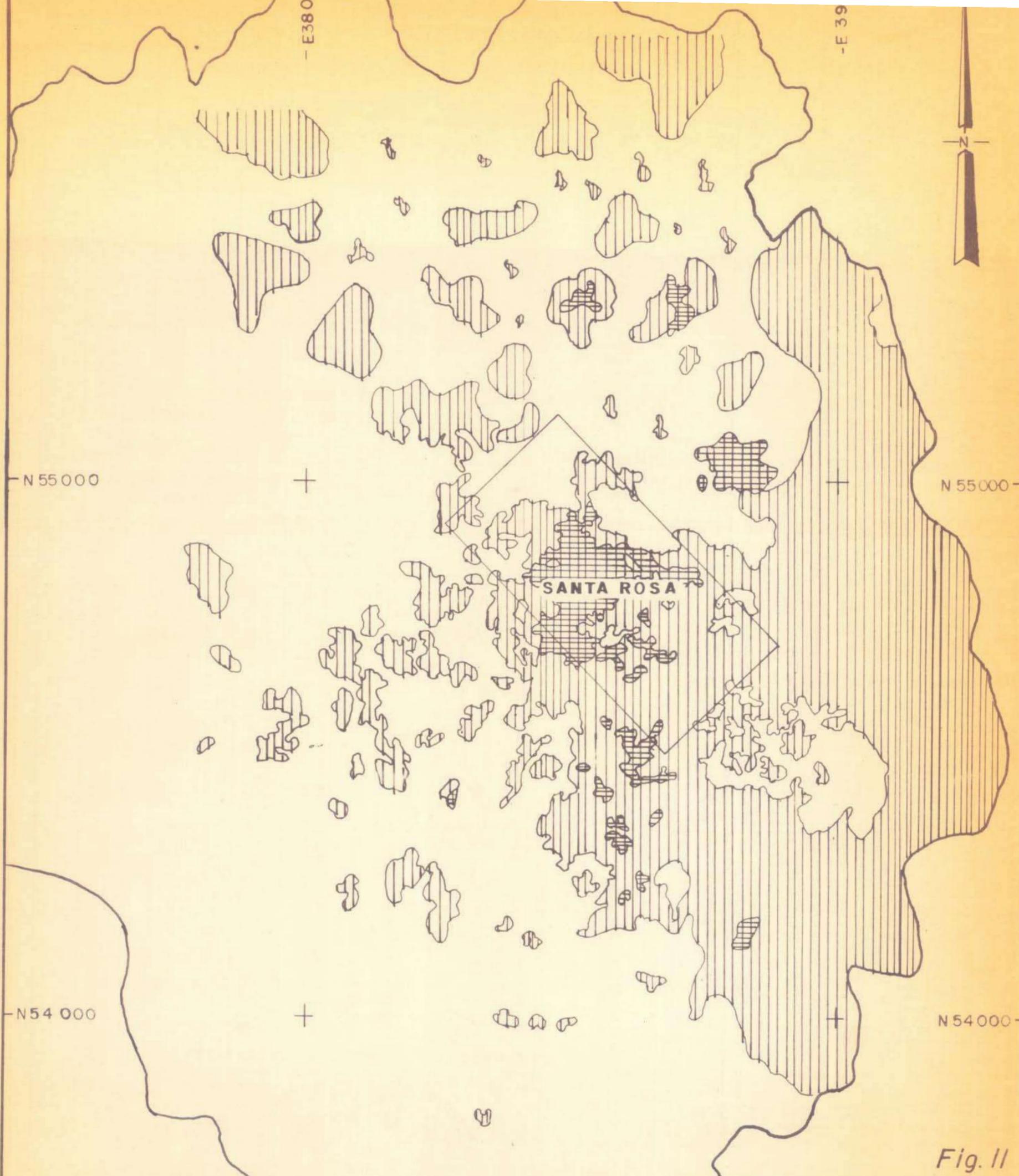


Fig. 11

EXPLICACION

- 0.000-0.020
 - 0.0201-0.070
 - > 0.070
- } % Mo

(ELABORADO POR LOS AUTORES)

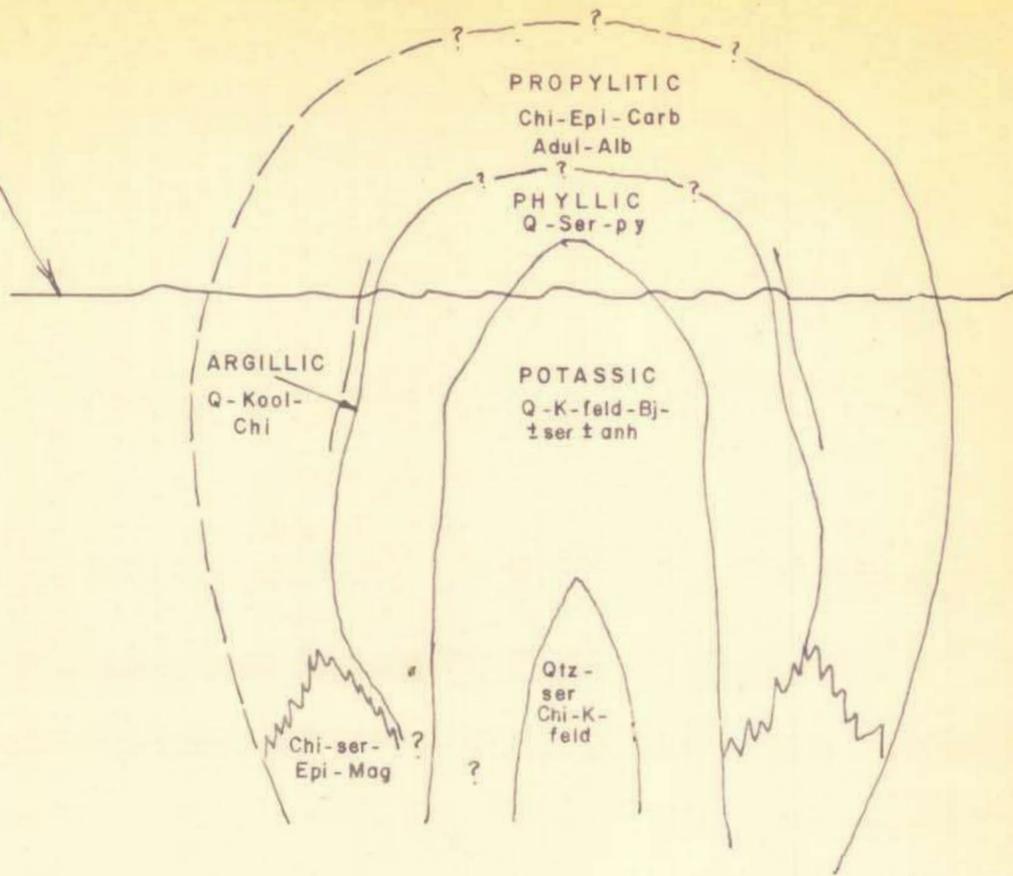
UNIVERSIDAD DE SONORA DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA		
DISTRIBUCION DE MOLIBDENO		
TESIS PROFESIONAL		
ESCALA 1: 10,000	LUIS A. REINA GUERRERO ABELARDO MAYBOCA E.	AGOSTO DE 1986

b

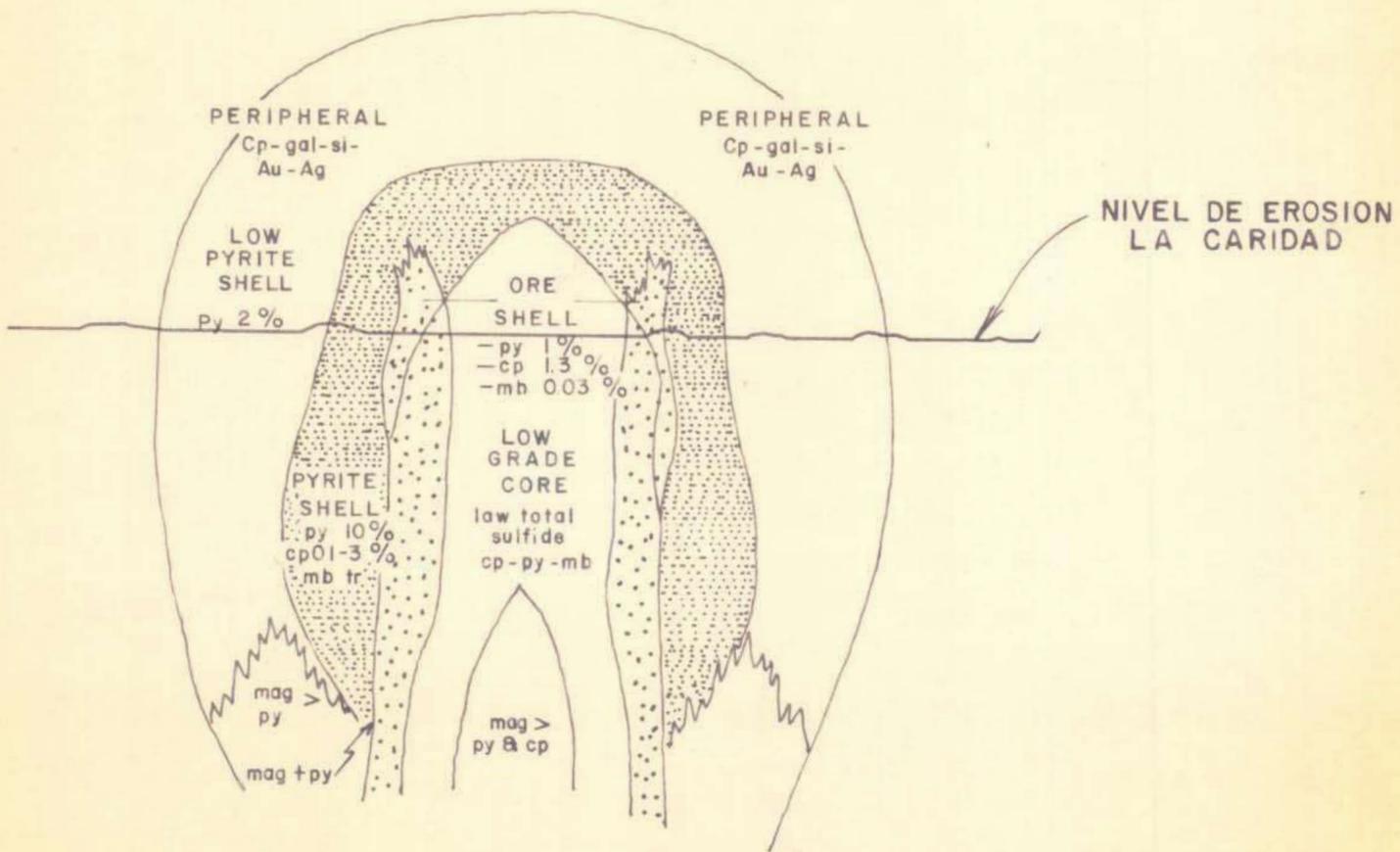
TOMADO DE : Lowell y Gilbert, 1970 Fig.- 12

UNIVERSIDAD DE SONORA DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA	
ZONEAMIENTO DE ALTERACION Y MINERALIZACION	

NIVEL DE EROSION
LA CARIDAD



a

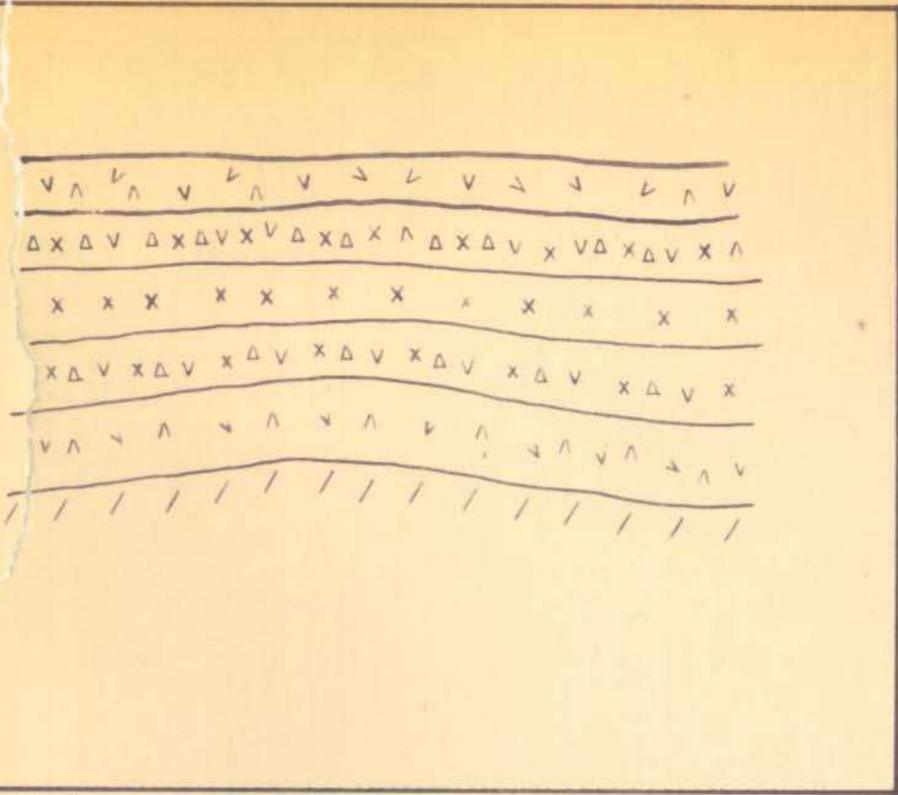


b

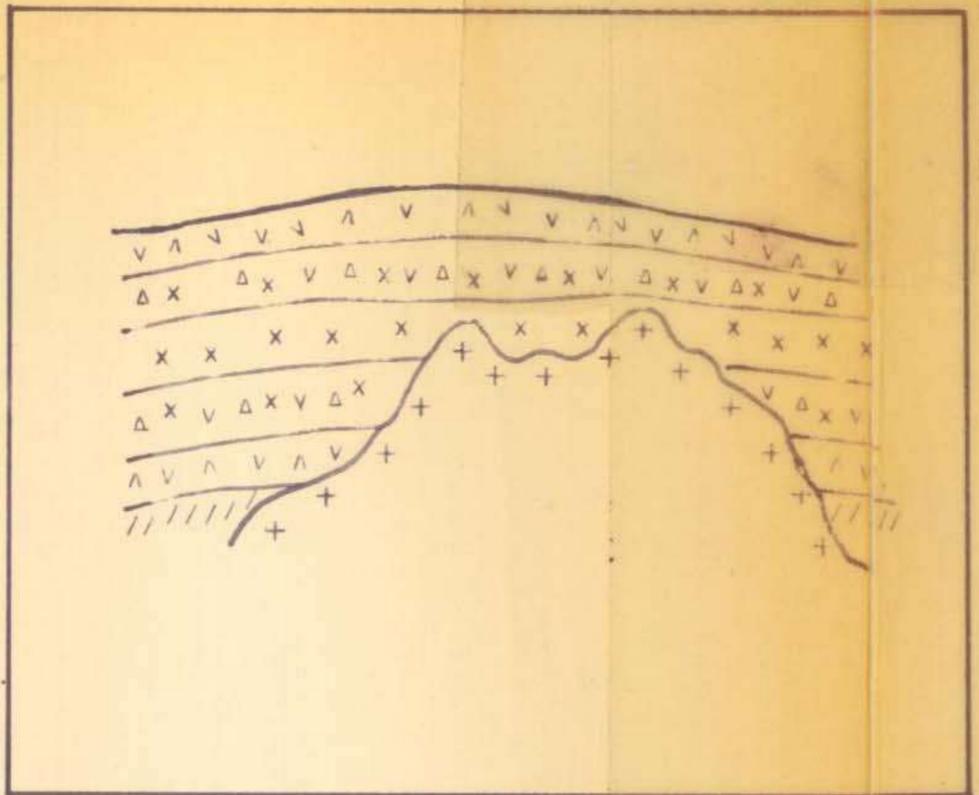
TOMADO DE : Lowell y Gilbert, 1970 Fig.-12

UNIVERSIDAD DE SONORA		
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA		
ZONEAMIENTO DE ALTERACION Y MINERALIZACION		
TESIS PROFESIONAL		
Escala 1:10 000	Luis A. Reina Guerrero Abelardo Mayboca E.	Ago., 1986

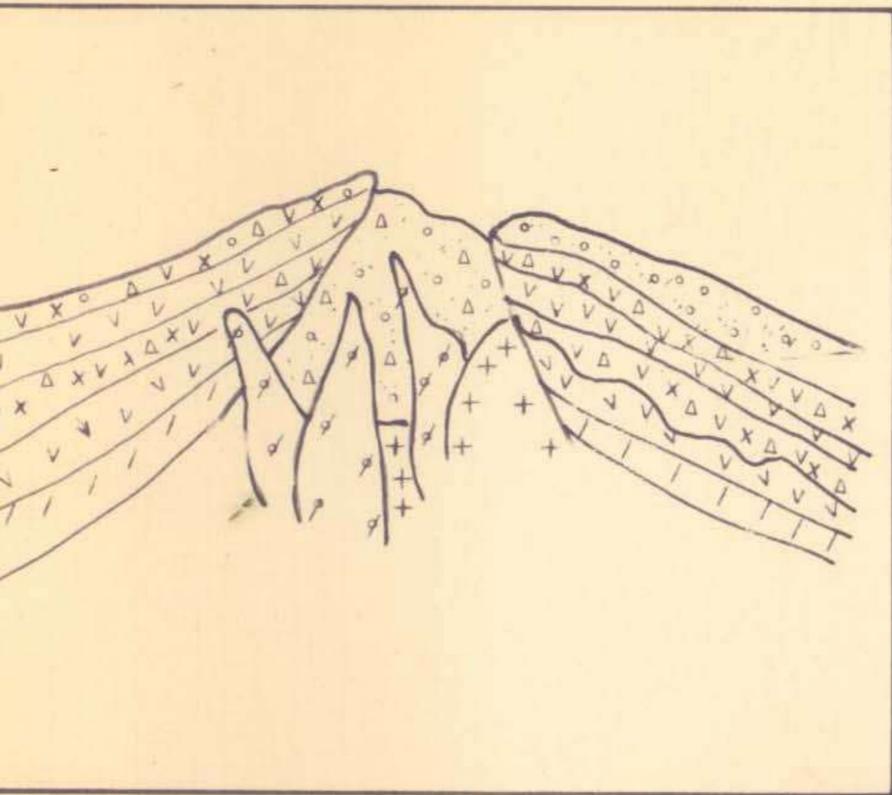
1



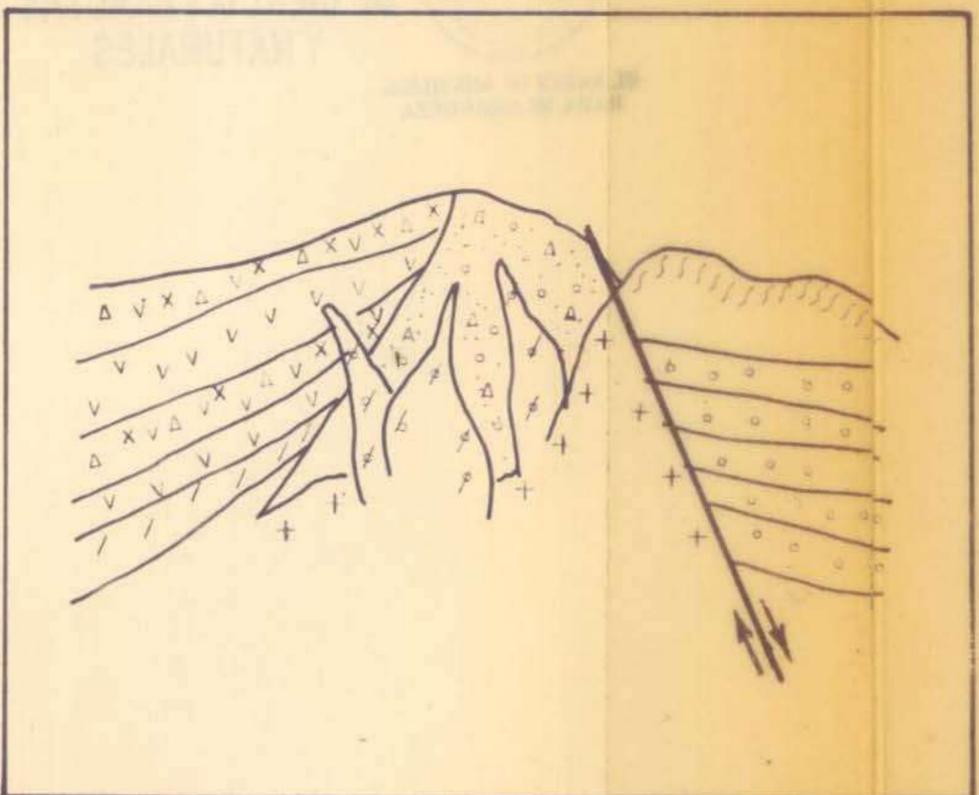
2



4



5



- | | | | | |
|-----------|----------------|--|--|-------------|
| TERCIARIO | // // // | BASAMENTO DESCONOCIDO | | RIOL
24 |
| | x x x v | DIORITA - ANDESITA | | MAN
SUPE |
| | + + + | GRANODIORITA | | |
| | / / / | STOCKS DE PORFIDO
CUARZOMONZONITICO | | |
| | Δ Δ Δ
Δ Δ | BRECHAS IGNEAS | | |
| | o o o
o o o | CONGLOMERADO ROJO | | |

TIPO DE ROCA		CUARZODIORITA PORFID.		GRANDIORITA PORFIDICA		GRANDIORITA		APLITA		CUARZOMONZONITA PORFID.		
FELD. POTASICO		0 - 2	20 - 25	20	5 - 10							
PLAGIOCLASAS		30 - 38	35 - 40	35	30 - 35							
CUARZO		1 - 2	25 - 30	40	5 - 8							
BIOTITA			10 - 15	5	5 - 8							
OTROS			MAGNETITA, ANFIBOL 1 -									
FELD. POTASICO		2 - 3 mm	± 2 mm	< 1 mm	2 - 15 mm							
PLAGIOCLASAS		1 - 3 mm	± 2 mm	< 1 mm	0.5 - 5 mm							
CUARZO		0.5 - 1.5 mm	± 2 mm	< 1 mm	2 - 3 mm							
BIOTITA			± 2 mm	< 1 mm	1 - 3 mm							
OTROS												
COMPOSICION DE PLAG.		≈ An 40	≈ An 30	≈ An 30	An 30							
FELD. POTASICO		SUBHEDRAL, MACLA DE CARLSBAD, MICROPERTITICO	XENOMORFICO MICROPERTITICO MACLA DE CARLSBAD	XENOMORFICO MICROPERTITICO	EUEDRAL, COMUNNEMENTE MACLA DE CARLSBAD, MICROPERTITICO.							
PLAGIOCLASAS		EUEDRAL, RECTANGULAR MACLA DE ALBITA	SUBHEDRAL ó EUEDRAL, MACLA DE ALBITA, ZONEADA	SUBHEDRAL ó ANHEDRAL, MACLA DE ALBITA	EUEDRAL RECTANGULAR, MACLA DE ALBITA, ZONEADO							
CUARZO			XENOMORFICO INTERSTICIAL	XENOMORFICO GRANULAR	REDONDEADOS Y REABSORBIDOS PARAMENTE EUEDRAL, COMUNNEMENTE AGRUPADOS.							
BIOTITA		SUBHEDRAL, CLORITIZADA	SUBHEDRAL, CAFE, RARA MENTE REABSORBIDA	SUBHEDRAL	EUEDRAL, COMUNNEMENTE CLORITIZADA							
OTROS			RARO ANFIBOL, MAGNETITA XENOMORFICA Y MICROCRISTALES DE ESFENA	MICROCRISTALES MAGNETITA EUEDRAL								
FENOC. / MATRIZ		50/50 - 60/40	35/65 - 40/60	100/0	100/0	40/60 - 60/40						
FELD. POTASICO			17 - 20			12 - 16						
PLAGIOCLASAS			2 - 5			4 - 7						
CUARZO		15 - 20	22 - 28			20 - 30						
BIOTITA		20 - 30	0 - 13			2 - 4						
OTROS						1 - 2						
FELD. POTASICO			MICROCRISTALES			FANERITICO - MICROCRISTALINO A GRANO FINO						
PLAGIOCLASAS			MICROCRISTALES			FANERITICO MICROCRISTALINO A GRANO FINO						
CUARZO		MICROCRISTALINO	MICROCRISTALES			FANERITICO - MICROCRISTALINO A GRANO FINO, GRANULAR						
BIOTITA		FANERITICO - GRANO FINO	MICROCRISTALES			FANERITICO - MICROCRISTALINO A GRANO FINO						
OTROS						MICROCRISTALINO DE ACCESORIOS (Ver abajo)						
FELD. POTASICO			XENOMORFICO MICROPERTITICO A VECES INTERSTICIAL.			MICROPERTITICO XENOMORFICO.						
PLAGIOCLASAS			SUBHEDRAL, MACLA DE ALBITA			SUBHEDRAL, MACLA DE ALBITA						
CUARZO		INTERSTICIAL, XENOMORFICO	XENOMORFICO, INTERSTICIAL SIMPL ECTICO			XENOMORFICO A GRANULAR						
BIOTITA		EUEDRAL, VERDE O CAFE PLEOCROICA, GRUPO DE CRISTALES COMO NIDOS, TRIANGULAR	EUEDRAL O SUBHEDRAL, GRUPO MICROCRISTALINO			SUBHEDRAL - ANHEDRAL, CLORITIZADO						
OTROS		MICROCRISTALES DE APATITO	MICROCRISTALES SUBHEDRAL DE APATITO, ESFENA.			MICROCRISTALES EUEDRALES DE APATITO ESFENA RARO ZIRCON						

TABLA 2

CARACTERISTICAS DE LOS TIPOS DE PORFIDOS EN LA CADIDAD

TIPO DE PORFIDO	TIPO DE LOS FENOCRISTALES	FORMA Y TAMAÑO DE LOS FENOCRISTALES	MATRIZ	ALTERACION	TIPO Y FORMA DE MINERALIZACION	OBSERVACIONES
PORFIDO DE TEXT. FINA	1.-PLAGIOCLASAS 2.-FELD.POTASICO 3.-CUARZO	1.-EUHEDRALES, CUADRADAS A RECTANGULARES DE 3mm. Y ESCASOS >A 10mm. 2.-EUHEDRALES, RECTANGULARES DE 10 mm. 3.-OVOIDES DE 3 mm.	CUARZO Y FELDESPATO	FILICA (>% Ser)	DISEMINACION DE Py - cc Y MENOS CANT. DE Cp, VETILLAS DE 1cm DE Qz - Py - cc.	AFLOA EN DIRECCION NW-SSE, ENTRE LA MORITA Y EL SISTEMA DE BRECHAS; ES COMPONENTE PPAL DE LAS BRECHAS INTERMEDIA Y TARDIA.
PORFIDO TEMPRANO	1.-PLAGIOCLASAS 2.-FELD.POTASICO 3.-CUARZO	1.-EUHEDRALES, RECTANGULARES DE 10 mm. 2.-EUHEDRALES, RECTANGULARES DE 10-20 mm. 3.-OVOIDES DE 5-10 mm.	CUARZO Y FELDESPATO	POTASICA Y FILICA (>% Qz)	DISEMINACION DE Py - Cp - Mo - cc; VETILLAS DE 1cm DE Qz - Py - Cp - cc; VET. DE 1cm DE Qz - Mo	AFLOA AL ESTE DEL DEPOSITO; ES EL PORFIDO QUE PRESENTA LA ALT. POTASICA MAS DEFINIDA.
PORFIDO DE TEXT. GRUESA	1.-PLAGIOCLASAS 2.-FELD.POTASICO 3.-CUARZO	1.-EUHEDRALES, RECTANGULARES DE 20-40 mm. 2.-EUHEDRALES, RECTANGULARES DE 25-50 mm. 3.-OVOIDES DE 10-15mm.	GRANUDA DE Qz Y FELDESPATO	FILICA (Qz ≥ Ser)	DISEMINACION DE Py Y TRAZAS DE Cp; HALOS DE ALTERACION DE 10 cm. CON UN CENTRO DE Py.	AFLOA EN EL CENTRO DEL DEPOSITO; FACILMENTE DISTINGUIBLE POR EL TAMAÑO DE SUS FENOCRISTALES.
PORFIDO DE CREMA	1.-PLAGIOCLASAS 2.-FELD.POTASICO 3.-CUARZO	1.-EUHEDRALES, CUADRADAS A RECTANGULARES DE 10mm. 2.-EUHEDRALES, RECTANGULARES DE 15mm. 3.-OVOIDE A HEXAGONAL DE 10 mm.	MICROCRISTALINA DE Qz Y FELDESPATO.	PRESENTE FTE. SILICIFICACION	DISEMINACION DE Py.	AFLOA EN UN SISTEMA DE DIQUES DE DIRECCION NW-SE, CORTANDO A VARIAS UNIDADES EN EL CENTRO DEL DEPOSITO; PRESENTA FELDESPATOS CON BORDES CORROIDOS, ESTERIL EN Cu Y Mo.

Abreviaturas :- Py Pirita; Cp Calcopirita; cc Calcosita; Mo Molibdenita; Qz Cuarzo; Cu Cobre; > Mayor que

TABLA 3

CARACTERISTICAS DE LAS BRECHAS EN LA CARIDA

NOMBRE	TIPO DE COMPONENTES	FORMA Y TAMAÑO DE LOS COMPONENTES	TIPO DE CEMENTANTE	ALTERACION PREDOMINANTE	TIPO Y FORMA MINERALIZACION	OBSERVACIONES
BRECHA DE DIORITA-ANDESITA	DIORITA, ANDESITA	Ft: ANGULOSOS A SUB-ANGULOSOS DE 5 cm. A > 100 cm	Ft DE DIORITA ANDESITA, DEL TAMAÑO DE 1mm, ARCILLA, BIOTITA	PROPILITICA FILICA TURMALINA	Mx: Py y MENOS cc EN VETILLAS Y EN MENOR PORCION EN ESPACIOS DE LA Bx.	LORA AL PONIENTE DEPOSITO. BALMENTE PREDOMINANTE UN SOLO TIPO DE DIORITA ó ANDESITA
BRECHA DE PORFIDO DE TEXTURA FINA	PORFIDO DE TEXTURA FINA	Ft: SUB-ANGULOSOS SUB-REDONDEADOS A REDONDEADOS. DE 5 cm. A > 100 cm.	Ft DEL TAMAÑO DE LA ARENA DE LOS COMPONENTES DE LA Bx.	FILICA TURMALINA	Mx: Py-cc-Cov EN ESPACIOS DE LA Bx Y EN MENOR PROPORCION EN VETILLAS.	LORA CON TENDENCIA W-SSE AL ESTE DEL RF. DE TEXT. FINA; ESENTA PENETRACION OXIDACION EN EL MENTANTE, EN UNA T VERTICAL ≥ 300 m.
BRECHA INTERMEDIA	DIORITA-ANDESITA, PORFIDO TEXT. FINA, GRANODIORITA. (PORF. TEXT. GRUESA EN MENOR PROPORCION.)	Ft: SUB-ANGULOSOS A SUB-REDONDEADOS DE 5cm. A > 100 cm.	Ft DEL TAMAÑO DE LA ARENA DE LOS COMPONENTES DE LA Bx, MAS ARCILLA.	FILICA	Mx: Qz-Py-Cp-cc, TANTO EN ESPACIOS DE LA Bx COMO EN VETILLAS.	LORA AL CENTRO DEL DEPOSITO. ZONAS DE ALTERACION ARGILIZADA SON TABLES DENTRO DE LA Bx.
BRECHA TARDIA	PORF. TEXT. FINA, GRANODIORITA, (PORF. TEMPORANO EN MENOR PROPORCION.)	Ft: ANGULOSOS A SUB-ANGULOSOS DE 5cm. A ≥ 100cm.	Ft DEL TAMAÑO DE LOS COMPONENTES DE LA Bx.	FILICA	Mx: Qz-Cp-Py-cc TANTO EN LOS ESPACIOS DE LA Bx COMO EN VETILLAS.	LORA AL ESTE DEL DEPOSITO. ENCUENTRA FUERTEMENTE SILICIFICADA DENTRO DE ESTA LA DE Cu AUMENTA DE AL ALTO CONT. DE

Abreviaturas: Mx Mineralización; Py Pirita; Bx Brecha; Cp Calcopirita; cc Calcosita; Cov Covellita; Qz Cuarzo; Ft Fragmentos; > Mayor que; < Menor que