

24.20



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**PROSPECCION GEOLOGICA Y GEOQUIMICA
DE SULFUROS MASIVOS EN TALPA
DE ALLENDE, JALISCO.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO GEOLOGO

P R E S E N T A :

HUGO ALFREDO OMAÑA PULIDO



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

RESUMEN	<u>Pág. No</u>
I INTRODUCCION	
I.1 Objetivo	1
I.2 Localización y Vías de Acceso	1
I.3 Antecedentes	2
I.4 Clima, Vegetación y Fauna	2
I.5 Método de Trabajo	3
II FISIOGRAFIA	5
III MARCO TECTONICO	6
IV GEOLOGIA	9
IV.1 Introducción	9
IV.2 Aspectos Generales	9
IV.3 Estratigrafía	10
IV.3.1 Rocas Sedimentarias	10
IV.3.1.1 Lutites y Areniscas (Klu)	10
IV.3.1.2 Areniscas (Tar)	11
IV.3.2 Rocas Igneas	12
IV.3.2.1 Lavas dacíticas (Kd ₁)	12
IV.3.2.2 Tobas de composición ácida (Kt)	13
IV.3.2.3 Lavas y tobas basálticas (Kg)	14
IV.3.2.4 Lavas dacíticas (Kd ₂)	14
IV.3.2.5 Lavas y tobas andesíticas (Ta ₁)	15
IV.3.2.6 Lavas y tobas lapilíticas (Te ₂)	15

	<u>Pág. NO</u>
IV.3.2.7 Lavas y tobas finas lapilíticas de composición intermedia (Ta ₄)	16
IV.3.2.8 Intrusivos	16
IV.4 Geología Estructural	18
V. YACIMIENTOS MINERALES	20
V.1 Sulfuros Masivos	20
V.1.1 Definición	20
V.1.2 Depósitos tipo Kuroko	20
V.2 Descripción de los yacimientos ubicados en los Ranchos de Aranjuez y El Rubí	26
V.2.1 Mina La América	26
V.2.2 Mina La Descubridora	28
V.2.3 Mina Atalaya	28
V.2.4 Mina El Rubí	28
V.3 Alteraciones	30
V.3.1 Zoneamiento de alteraciones tipo	31
V.3.2 La Clorita	32
V.3.3 Índices de alteración alcalina	32
V.3.4 Contenido residual de plagioclasa	33
V.4 Génesis de los yacimientos y principales caracte- rísticas	34
V.5 Geoquímica	36
V.5.1 Definición	36
V.5.2 Tipos de muestreo	37
V.5.3 Comportamiento químico de los elementos analizados	39
V.5.4 Elementos Treza	39
V.5.5 Elementos explorador	40

	<u>Pág. No</u>
V.5.6 Concepto de movilidad	41
V.5.7 Asociación de elementos	42
V.5.8 Análisis estadístico en sedimentos de arroyo	43
V.5.8.1 Método de Lepeltier	43
V.5.8.2 Funcionamiento del programa "GEDR"	43
V.5.8.3 Resultado de las anomalías obtenidas en sedimentos de arroyo	46
V.5.8.4 Regresión y correlación	51
V.5.9 Análisis estadístico en rocas	54
V.5.9.1 Regresión y correlación	55
V.5.9.2 Componentes principales	56
V.5.9.3 Análisis de grupo	59
VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	65

INDICE DE FIGURAS

		<u>Entre pags.</u>
Fig. 1	Plano de localización de los principales depósitos de sulfuros masivos vulcanogénicos. el occ. de Jalisco	1 y 2
Fig. 2	Plano de localización y vías de acceso a Talpa de Allende, Jalisco	1 y 2
Fig. 3	Provincias fisiográficas	5 y 6
Fig. 4	Localización de las provincias volcánicas y elementos tectónicos actuales al nivel del Pacífico	8 y 9
Fig. 5	Columna Estratigráfica entre Puerto Vallarta y Talpa de Allende, Jalisco.....	9 y 10
Fig. 6	Fotografías de la lutita (Klu) el Valle de La Capulinera	12 y 13
Fig. 7	Fotografía de intercalación de lutites y areniscas con tobas ácidas cerca de la mina La América	12 y 13
Fig. 8	Fotografía de la sec. vulcanosedimentaria en Toledo.....	13 y 14
Fig. 9	Fotografía de un afloramiento de la dacita (Kd ₂) cerca de la mina La Descubridora	13 y 14
Fig. 10	Proyección Estereográfica de polos de los planos de estratificación en el área a Aranjuez-El Rubí	19 y 20

Entre págs.

Fig. 11	Principales depósitos de sulfuros masivos en Japón	20 y 21
Fig. 12	Sección Esquemática de un típico depósito tipo Kuroko	23 y 24
Fig. 13	Plano geológico-minero de la mina La América	27 y 28
Fig. 14	Sección esquemática de la Mina El Rubí.....	29 y 30
Fig. 15	Fotografía de los sulfuros masivos de El Rubí	29 y 30
Fig. 16	Fotografía de los sulfuros masivos de Ocotitlán, El Rubí	29 y 30
Fig. 17	Plano de alteraciones en el área de - Aranjuez, Jalisco	31 y 32
Fig. 18	Plano de alteraciones en el área El Rubí, Jalisco	31 y 32
Fig. 19	Plano de Indices de alteración alcalina en el área Aranjuez, Jalisco...	32 y 33
Fig. 20	Plano de Indices de alteración alcalina en el área El Rubí, Jalisco ...	32 y 33
Fig. 21	Plano de distribución de contenido - residual de plagioclasa	32 y 33

Fig. 22	Plano de distribución de contenido residual de plagioclasa	33 y 34
Fig. 23	Plano de anomalías en sedimentos de arroyo en el elemento Cu (área de Aranjuez)	50 y 51
Fig. 24	Plano de anomalías en sedimentos de arroyo en el elemento Cu (área de El Rubí)	50 y 51
Fig. 25	Plano de anomalías en sedimentos de arroyo para el elemento Zn (área de Aranjuez)	50 y 51
Fig. 26	Plano de anomalías en sedimentos de arroyo para el elemento Zn (área de El Rubí)	50 y 51
Fig. 27	Plano de anomalías en sedimentos de arroyo para el elemento Ag (área de Aranjuez).....	50 y 51
Fig. 28	Plano de anomalías en sedimentos de arroyo para el elemento Ag (área de El Rubí)	50 y 51
Fig. 29	Plano de anomalías en sedimentos de arroyo para el elemento Pb (área de Aranjuez)	50 y 51
Fig. 30	Plano de anomalías en sedimentos de arroyo para el elemento Pb (área de El Rubí)	50 y 51

Entre págs.

Fig. 31 Diagrama de árbol..... 64 y 65

Fig. 32 Comparación de las características químicas
de los cúmulos principales..... 64 y 65

TABLA DE RESULTADOS

	<u>Entre págs.</u>
Tabla No. 1	Parámetros estadísticos para el Cu 45 y 46
Tabla No. 2	Parámetros estadísticos para el Zn 45 y 46
Tabla No. 3	Parámetros estadísticos para el Ag 45 y 46
Tabla No. 4	Parámetros estadísticos para el Pb 45 y 46
Tabla No. II-1	Tabla de frecuencia para determinar anomalías del Cu 45 y 46
Tabla No. II-2	Tabla de frecuencia para determinar las anomalías del Zn 45 y 46
Tabla No. II-3	Tabla de frecuencia para determinar las anomalías de Ag 45 y 46
Tabla No. II-4	Tabla de frecuencia para determinar las anomalías de Pb 45 y 46
Tabla No. 5	Valores de las anomalías del Cu.... 46
Tabla No. 5a	Número de la muestra anómala, su <u>lg</u> calización y valor elemento Cu 46
Tabla No. 6	Valores de las anomalías del Zn.... 47
Tabla No. 6a	Número de la muestra anómala, su <u>lg</u> calización y valor elemento Zn 48
Tabla No. 7	Valores de las anomalías de Ag..... 49
Tabla No. 7a	Número de la muestra anómala, su <u>lg</u> calización y valor elemento Ag..... 50

Entre págs.

Tabla No. 8	Valores de las anomalías del Pb....	50
Tabla No. 8a	Número de la muestra anómala, su localización y valor elemento Pb.....	51
Tabla No. 9	Coefficiente de correlación en 1508 - muestras de sedimentos	53
Tabla No. 10	Coefficientes de correlación en muestras de sedimentos colectados en rocas del Cretácico	54
Tabla No. 11	Coefficientes de correlación en rocas analizadas por 13 óxidos	55
Tabla No. 12	Resultados de componentes principales	58 y 59
Tabla No. 13	Resultado de análisis químicos por 13 óxidos	58 y 59

G R A F I C A S

Gráfica No. 1	Gráficas de frecuencia acumulada - para elemento Cu	51 y 52
Gráfica No. 2	Gráfica de frecuencia acumulada para elemento Zn	51 y 52
Gráfica No. 3	Gráfica de frecuencia acumulada para elemento Ag.....	51 y 52
Gráfica No. 4	Gráfica de frecuencia acumulada para elemento Pb	51 y 52

Entre págs.

Gráfica No. 5	Representación gráfica de las de parejas de valores Ag-Zn en 1502 muestras de sedimentos de arroyo	51 y 52
Gráfica No. 6	Representación gráfica de las de parejas de valores Pb-Zn en 1503 muestras de sedimentos de arroyo	51 y 52
Gráfica No. 7	Representación gráfica de las de parejas de valores Cu-Pb en 1508 muestras de sedimentos de arroyo	51 y 52
Gráfica No. 8	Representación gráfica de las de parejas ordenadas de valores Cu-Pb en muestra de sedimentos de - arroyo del Período Cretácico....	51 y 52
Gráfica No. 9	Representación gráfica de las de parejas ordenadas de valores Pb-Zn en muestra de sedimentos de - arroyo del Período Cretácico....	51 y 52

R E S U M E N

El área de estudio tiene una superficie de 158.25 km², se localiza entre las coordenadas 20°18' a 20°24' Latitud Norte y 104°51' a 104°57' Longitud Oeste en el estado de Jalisco.

Debido a que en el occidente del estado de Jalisco se presentan depósitos de sulfuros masivos vulcanogénicos, se consideró que podían existir cuerpos desconocidos, por lo que se procedió a cartografiar 1,000 km² con la finalidad de definir los rasgos geológicos susceptibles de contener este tipo de yacimientos. En el presente trabajo se seleccionaron los alrededores de los ranchos de Aranjuez y El Rubí. Las rocas reconocidas en las localidades mencionadas, pertenecen a una secuencia vulcanosedimentaria del Cretácico constituido por lutitas, horizontes finos de areniscas, lavas de composición dacítica que subyacen y sobreyacen a un horizonte de tobas ácidas que hospedan a los cuerpos mineralizados e interestratificaciones de lavas y tobas de composición básica. Descansan en discordancia sobre esta secuencia rocas volcánicas continentales del Terciario, formadas por intercalaciones de lavas y tobas de composición intermedia a ácida.

En algunos afloramientos de las localidades de Aranjuez y El Rubí, se distinguieron dos tipos de deformaciones: las unidades de lutitas, areniscas y tobas presentan un plegamiento intenso de tipo chevrón. El litosoma que las sobreyace, constituido por lavas dacíticas, los plegamientos son más uniformes y menos intensa la deformación. La diferente intensidad en la deformación, es resultado de la distinta competencia de las rocas. En lo que respecta a las fallas, éstas se presentan orientadas en dos familias: una hacia el NE-SW y otra al NW-SE. La primera es más antigua y está caracterizada por fallas normales que forman un sistema de pilares y fosas tectónicas. La segunda está constituida por fallas de rumbo sinistres.

Se visitaron los yacimientos más importantes de la región para conocer las relaciones estratigráficas, forma y dimensiones de los cuerpos, y la mineralización tipo, con el objeto de compararlos con algún modelo conocido. El más similar es el tipo Kuroko de Japón.

Se analizaron Cu, Ag, Pb y Zn y se aplicaron pruebas estadísticas con la finalidad de localizar y determinar anomalías según el método de Lepeltier. También se calcularon los coeficientes de correlación lineal para establecer las posibles relaciones genéticas entre los elementos, obteniéndose las más altas para Pb-Zn, Zn-Ag y Pb-Ag. Se analizaron rocas encajonantes para determinar minerales relacionados con la alteración hidrotermal.

Se concluye que los yacimientos del área de Aranjuez tienen la asociación Pb-Zn-Ag y por el tipo de mena, forma de los cuerpos, roca encajonante, características texturales y alteraciones, pertenecen al tipo Kuroko. La probabilidad de encontrar más cuerpos de sulfuros masivos en la región es alta. En El Rubí, los yacimientos presentan la asociación Cu-Zn-Pb-Ag y sus características también son similares a las de los yacimientos de Aranjuez y por lo tanto al modelo tipo Kuroko.

I.- INTRODUCCION

I.1.- Objetivo

El principal objetivo del presente trabajo, es mostrar una metodología propuesta para la prospección de un depósito de sulfuros masivos vulcanogénicos en el occidente de Jalisco.

Esta metodología abarca desde la cartografía de las diferentes unidades, hasta la obtención de las anomalías en sedimentos; las relaciones genéticas de los elementos analizados; los diferentes tipos de análisis practicados a las rocas y la interpretación de los resultados obtenidos con el fin de determinar áreas susceptibles de contener depósitos de sulfuros masivos vulcanogénicos o bien recomendar cuando se considera necesario que se efectúen más a detalle o desecharlas.

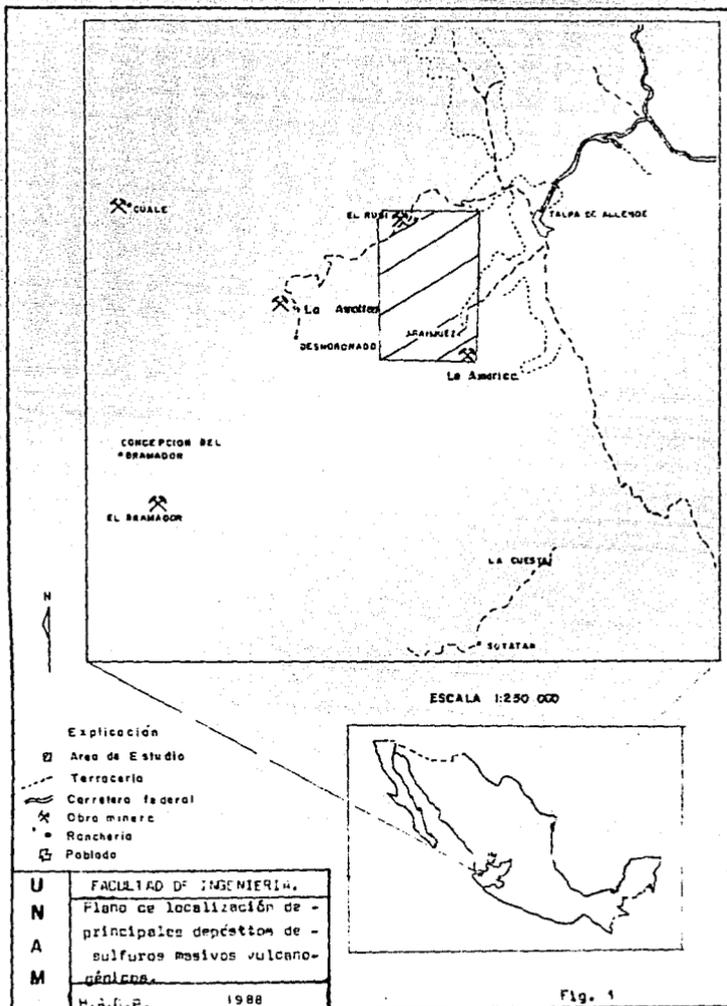
I.2.- Localización y Vías de Acceso.

El área en estudio se localiza en la porción occidental del Estado de Jalisco a 22 km de la ciudad de Mascota y a 165 de la ciudad de Ameca, entre las coordenadas geográficas $104^{\circ}51'$ a $104^{\circ}57'$ L.W.G. y $20^{\circ}24'$ a $20^{\circ}48'$ L.N., cubriendo una superficie de 158.125 km cuadrados (Fig. 1).

La localidad estudiada comprende una parte de la sierra del Arrastradero y la sierra de Cacome localizada en la carta INEGI F13-071 (Talpa de Allende).

Las vías de acceso para llegar al poblado de Talpa, donde se estableció el campamento, es por carreteras o transportación aéreas. Se puede llegar por la carretera Guadalajara-Mascota habiendo una desviación a unos doce km antes de llegar a Mascota, este camino es de terracería transitable todo el año, se muestran en la (Fig.2).

La transportación aérea se realiza por las rutas Talpa-Puerto Vallarta



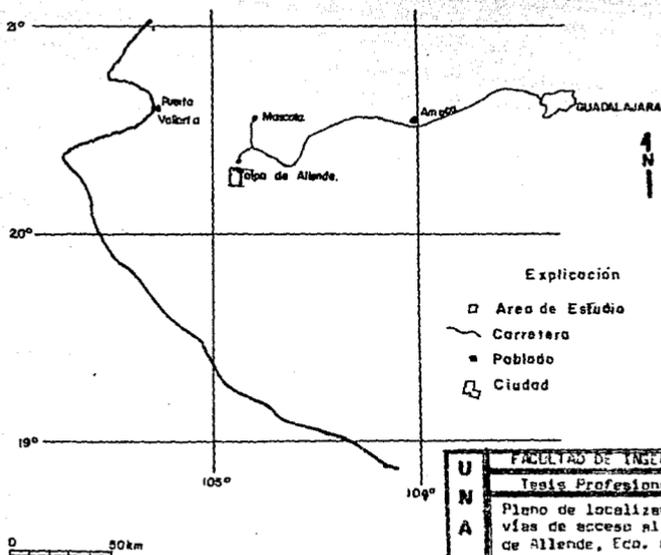
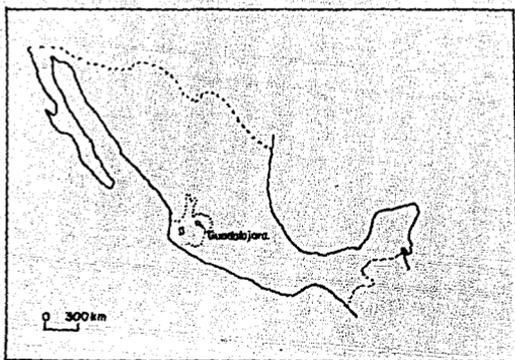


Fig. 2

y Talpa-Tepic, que realizan dos vuelos redondos por semana. Existen además, lo servicios de teléfono; telégrafo y correo.

I.3.- Antecedentes

Durante el año de 1984, en los meses de septiembre-noviembre se realizó la primera etapa del Tercer Convenio de México (CRM) Japón (MMAJ - DOWA KDEI), teniendo como objetivo la localización de sulfuros masivos.

El área en que se llevó a cabo el trabajo de prospección, se encuentra en el Estado de Jalisco, abarcando una superficie de 2000 km cuadrados localizados en cuatro cartas INEGI (F13-D71, F13-C79 y F13-C89, F13-OB1).

La selección del área se debió a que en ésta se encuentren yacimientos de sulfuros masivos polimetálicos cuyas características parecían ser muy similares a las de los depósitos existentes de Japón.

A este proyecto se le programó una duración de tres años, cuyas actividades incluyeron exploración geológica-geoquímica y geofísica durante los dos primeros años y perforación en el segundo y tercer año.

Para la elaboración de este trabajo las áreas a las que se les considera de mayor importancia desde el punto de vista geológico-geoquímico y geofísico, fueron las de Aranjuez y El Rubí ya que ambas contienen depósitos de sulfuros vulcanogénicos.

I.4.- Clima, Vegetación y Fauna

C l i m a

El clima varía ampliamente y de acuerdo a la clasificación climática de Köppen modificada por E. García (1964) es templado a subhúmedo. Durante los meses de abril, mayo, junio, el rango de temperatura oscila entre 25 y 35°C y durante los meses de diciembre-enero, la temperatura varía de 0 a 15°C; según datos de la hoja climatológica San Blas; las

lluvias se presentan desde el mes de mayo hasta el mes de septiembre con un promedio de precipitación media anual de 2000-2500.

V e g e t a c i ó n

La vegetación dominante pertenece al grupo bosques de pino-encino, - característica de una distribución acorde al relieve, el cual, varía entre 460 y 2480 msnm. Algunas especies vegetales presentes en el área de trabajo, son rosa de castilla (guilcimimia illecebroides), - maguey (agave), pepino (cucumis sativus), encino (quercus macrophyllia), Fresno (Fraxinus adhai), huamuchil (pithecelobium dulce), nogal (Juglans regia), etc.

F a u n a

La fauna tanto en el valle como en la región montañosa, prácticamente ha desaparecido en lo que se refiere a vertebrados mayores, quedando solo anfibios y mamíferos menores. Eventualmente se encuentran en el lugar, aves de hábito migratorio, la razón de esta escasez es resultado de la influencia del hombre.

1.5.- Método de trabajo

Se dividió en tres etapas: La primera consistió en realizar una investigación bibliográfica de todos aquellos trabajos realizados dentro de la localidad o en áreas circunvecinas, tanto a nivel regional, como a detalle de geología y minería, se observaron fotografías aéreas, planos topográficos y geológicos, escala 1:50,000.

La segunda etapa fue de campo, en una área inicial de 1000 km cuadrados, la cual consistió en muestreo de sedimentos de arroyo y levantamiento geológico en mapas a escala 1:250,000. Se tomaron un total de 1508 muestras de sedimentos a lo largo de los arroyos, con una densidad promedio de 1.5 muestra por km cuadrada. Con fines geológicos, se realizaron caminamientos a través de los arroyos ya que es aquí donde

se encuentran los mejores afloramientos de las unidades litológicas y estructurales. Una vez delimitados los diversos litosomas, se procedió a muestrearlos para analizar en laboratorio. La última etapa correspondió al trabajo de gabinete y durante ésta, se elaboraron planos geológicos escala 1:25,000 y 1:50,000, con los resultados de los diversos análisis de laboratorio, se procedió a elaborar planos de alteración, contenido residual de plagioclasa, índices de alteración alcalina, técnica estadística y además observaron al microscopio láminas delgadas y superficies pulidas.

II.- FISIOGRAFIA

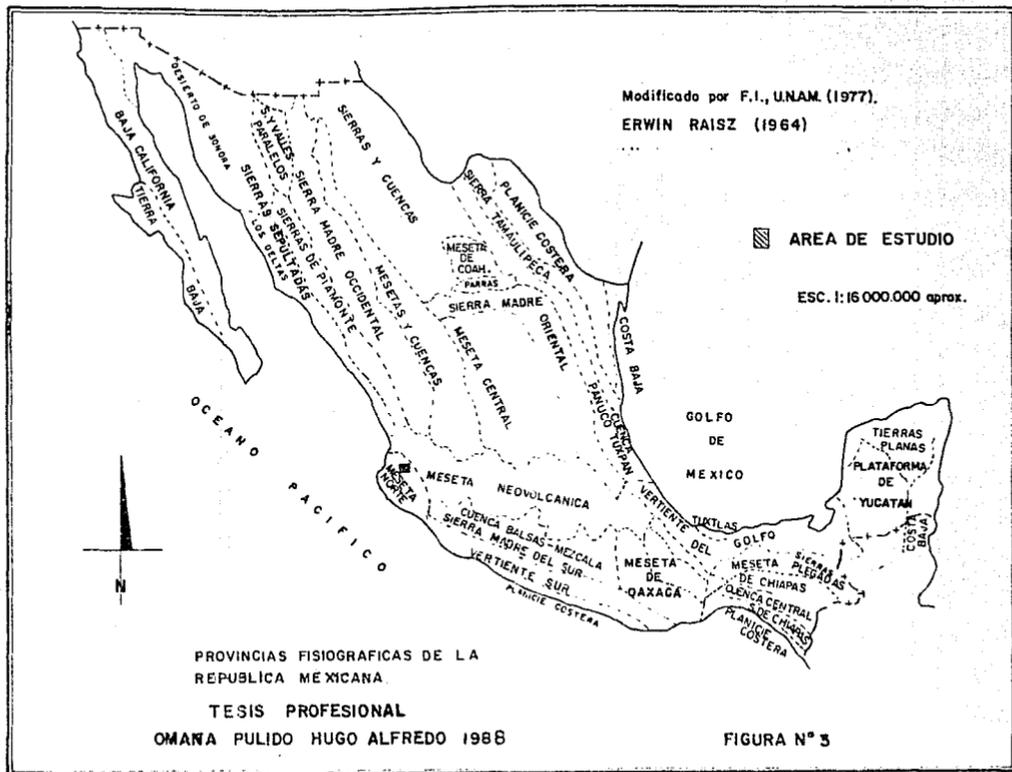
De acuerdo con Raisz (1964), el área de trabajo se localiza en la provincia fisiográfica denominada Meseta Norte (Fig. 3). Esta característica por formar serranías. Las principales son la del Arrestradero y la de Cacoma las cuales, son paralelas entre sí y están orientadas N-S y separadas por un angosto valle donde se ubica el poblado de Talpa de Allende. Las alturas promedio son mayores a los 1000 m.

Las principales formas geomórficas se atribuyen a procesos exógenos, como los de tipo volcánico e intrusiones. Posteriormente se modifican por procesos de intemperismo y erosión fluvial controlada por el fracturamiento y fallamiento de las rocas. Ambos procesos han producido una topografía abrupta de grandes elevaciones intensamente disectada.

Existe una gran cantidad de arroyos, la mayoría de ellos intermitentes con orientaciones y longitudes variables. Se desarrollan dos tipos de drenaje principales: dendrítico, el cual, predomina en toda el área y el asociado a fracturas de tipo enrejado. Ambos se caracterizan por presentar pendientes fuertes, formar barrancas profundas y perfiles asimétricos en V. En general los arroyos que predominan son los de segundo orden. Los ríos Arenjuez y Talpa forman meandros de planicia aluvial y drenan de sur a norte.

En los niveles topográficos más bajos de las sierras, el intemperismo da como resultado la rápida formación de suelo, reflejándose en la disminución del ataque de los agentes erosivos y en los niveles topográficos altos son cortados abruptamente con la ausencia de formación de suelos.

El área sujeta a un intemperismo diferencial, en lo que respecta al relieve fuerte y la ausencia de abanicos aluviales, se estima que está sujeta a una etapa de erosión juvenil.



III.- MARCO TECTONICO

El área en estudio se localiza en la márgen pacífica de México, la cual se caracteriza por ser tectónicamente activa (Fig. 4).

En ella se reconocen varias etapas de vulcanismo, intrusión, metamorfismo y de deformación, como resultado del cabalgamiento de la placa continental sobre la placa Océánica.

De acuerdo con Coney (1983) el oeste y suroeste mexicano está constituido por diversos arcos magmáticos del Mesozoico.

El Triásico-Jurásico se caracteriza por la presencia de una cuenca subsidente que evoluciona a un dominio de arco insular y que se desarrolla en el Cretácico Inferior y permanece activo hasta el Cretácico Superior.

Coney (1983) sugiere que durante el Triásico Superior se desarrolló un arco volcánico reconocido en los estados de Jalisco y Michoacán. En el área de estudio, este arco está constituido por sedimentos pelíticos (Coney, 1983) que predominan sobre los volcánicos, característica que se interpreta como el inicio de un vulcanismo submarino depositado en una cuenca subsidente. Esta secuencia vulcanosedimentaria presenta un metamorfismo de la facies de esquistos verdes claramente observado en las localidades de Cuale y Concepción de Bramador, unidad que fué plegada, levantada y erosionada, posiblemente durante el Jurásico Superior.

Damon, et al (1981) ratifica su existencia con base en detecciones isotópicas, sólo que lo extiende desde el sur de Estados Unidos hasta Chiepas.

La migración al poniente de este arco Jurásico dentro del continente, generó durante el Cretácico Inferior un nuevo arco magmático cerca de la costa del Pacífico (Damon et al, 1981). Este segundo arco migra -

lentamente hacia el este debido a un decremento en el ángulo de subducción y a un aumento en la velocidad de incidencia (Coney, 1983). Durante su migración deposita una secuencia vulcanosedimentaria que descansa en discordancia erosional sobre las rocas del Jurásico, en las localidades de Cusle y Concepción de Bramador. En esta secuencia, predominan las rocas volcánicas félsicas y a diferencia de los depósitos subyacentes, no están deformadas ni metamorfoseadas, por la presencia de rocas sedimentarias estratificadas, por lo que se infiere que el depósito de esta secuencia, fué en un ambiente de cuenca marginal.

En el Cretácico Superior, el suceso más importante a nivel regional, corresponde a la deformación Laramide (Coney, 1978), fase de deformación que tuvo repercusión en todo el sistema cordillerano incluyendo América del Sur y El Caribe. Durante esta Orogenia, la migración del arco Cretácico hacia el este aumenta su velocidad de 2.3 cm por año (Damon, et al., 1981), y produce el emplazamiento de los principales cuerpos batolíticos del occidente de México, cuyas edades disminuyen de oeste a este.

En los alrededores de Talpa de Allende, durante el Cretácico Superior se deposita una nueva secuencia vulcanosedimentaria constituida por rocas volcánicas y sedimentarias en un ambiente de poca profundidad - con características muy similares a las depositadas en un ambiente de cuenca marginal, sin presentar deformaciones o metamorfismo.

Por lo que respecta a los cuerpos graníticos emplazados durante el Cretácico Superior, en el occidente de Jalisco, la roca dominante es la tonalita y hacia el oeste se vuelve de naturaleza granodiorítica - (Gastil, 1979).

Hacia el este de Puerto Vallarta se observan afloramientos de granodiorita (Cusle, San Agustín y El Real), Jenaky (1975) obtuvo una edad isotópica para la tonalita de 81 Ma y en el III Convenio México-Japón, se obtuvo una edad isotópica para la granodiorita en 71 ± 8 Ma (Info

me técnico III Convenio México-Japón, 1987), por lo que respecta al arco, éste regresa rápidamente hacia el oeste a una velocidad de -- 5 cm por año, durante el Cretácico Superior (Damon et al, 1981).

Finalmente, para el Cenozoico, a la subducción se le asocia el vulcanismo y tectonismo del occidente mexicano durante el Oligoceno-Mioceno, cuyo resultado es la formación de la Sierra Madre Occidental, que descansa en discordancia sobre el Mesozoico y cuya composición va ría de ácida a intermedia. Esta actividad volcánica fué producida por un arco magmático que funcionó durante el Terciario (Campa et al, 1980).

Por otra parte, las rocas volcánicas que se presentan en el área de estudio, están constituidas por lavas y tobas interstratificadas de composición ácida-intermedia, las cuales posiblemente pertenezcan al Eje Neovolcánico y cuyo origen ha sido relacionado a la subducción de la placa de Cocos, desde el Mioceno Superior.

U N A M	FACULTAD DE INGENIERIA.	
	TESIS PROFESIONAL.	
	LOCALIZACION DE LA PROVINCIAS VOLCANICAS Y ELEMENTOS TECTO- NICOS ACTUALES AL NIVEL DEL- PACIFICO. DEMANT '1978).	
	H. A. O. P.	1968



E xplicación

- Provincia de la Sierra madre Occidental
- Eje Neovolcánico Trans-mexicano
- Area de Estudio

Fig. N° 4

IV.- GEOLOGIA

IV.1 Introducción

El área de estudio se localiza en los límites de la Sierra Madre Occidental y el Eje Neovolcánico.

A nivel regional, se distinguieron dos ambientes de asociación ígnea, donde el más antiguo pertenece al período Cretácico y está constituido por una secuencia vulcanosedimentaria que aflora en las rancherías de Aranjuez y El Rubí. Su distribución es limitada con relación a la de las rocas del Terciario, pero su importancia es económica, ya que hospeda a los cuerpos de sulfuros masivos vulcanogénicos, dicha secuencia está cubierta en discordancia erosional por rocas volcánicas continentales del Terciario, cuya distribución es amplia y en general está dominada por alternancias de lavas y tobas de composición intermedia a ácida.

El Cuaternario está representado por basaltos (Qb) y aluvión (Qal) - (Plano 1). Los rasgos estructurales identificados son pliegues que se localizan hacia el Este de Talpa en la Sierra del Arrastradero donde se observa un anticlinal cuyo plano axial está orientado al NW-SE con una longitud de aproximadamente 20 km y un sinclinal con su eje paralelo al anterior ambos se encuentran desplazados y pierden continuidad debido a la presencia de fallas, en la parte noroeste de Talpa en la Sierra de Cacoma se presentan anticlinales y sinclinales de menor dimensión con sus planos axiales orientados N-S y en Aranjuez un anticlinal cuyo eje se orienta NW-SE. (Plano 1).

IV.2 Aspectos Generales

Las unidades que a continuación se enlistan pertenecen a los períodos Cretácico y Terciario, fueron cartografiados en un plano escala - - 1:25,000 (Plano 2). El Cretácico está constituido por lutitas y are-

niscas (Klu), lavas de composición dacítica (Kd1), tobas ácidas (Kt), lavas y tobas básicas (Kb); sobreyaciendo a todas estas unidades se encuentran efusiones de lavas dacíticas (Kd2). Por lo que respecta a las unidades de Terciario se identificaron lavas y tobas de composición andesítica (Ta₁) areniscas (Ter), lavas y tobas lapilíticas de composición andesítica (Ta₂) y lavas y piroclastos de composición intermedia (Ta₄). Los intrusivos que se presentan en el área son de composición granodiorítica (Gd) pertenecientes al Cretácico Superior, una diorita (D) y un granito (Gr) del Terciario, (Fig. 5). A continuación se describe cada unidad por separado.

IV.3. Estratigrafía

IV.3.1 Rocas Sedimentarias

IV.3.1.1 Lutitas y Areniscas (Klu)

Esta unidad abarca casi todo el Cretácico; se encuentra expuesta en las áreas de Aranjuez y El Rubí observándose los mejores afloramientos en los ranchos de Las Jicamas, Toledo (Fig. 6) San Isidro (Fig. 7), La Verbebuena y en los depósitos de El Rubí y en Aranjuez en la mina La Descubridora (Fig. 8). Este litosoma está cubierto en discordancia litológica por lavas y tobas de composición andesítica y areniscas correspondientes al Terciario.

El espesor real de las lutitas y areniscas no pudo ser calculado debido a que las capas están plegadas, lo que podría duplicar su espesor real, además se desconoce su límite inferior. En algunos afloramientos de las localidades de Aranjuez (La América-Descubridora) esta unidad se encuentra intercalada con lava dacítica (Kd₂). Por otra parte de acuerdo a la información obtenida en barrenos realizados por Pemex en los límites de los estados de Colima y Jalisco en secuencias similares del Cretácico Superior el espesor real se ha supuesto en aproximadamente - 1000 m de espesor (Aguayo, 1981).

En afloramientos se observó que las lutitas predominan y son de color

negro, con inclinaciones que varían entre 40° y 70° plegadas; presentan piritita diseminada y vetillas de calcita, la roca es homogénea. En láminas delgadas se observó cuarzo, plagioclase, fragmentos de roca, vidrio, materia carbonosa, minerales opacos y fósiles.

Por la presencia de materia carbonosa, de cuerpos de sulfuros mesivos volcánogénicos se infiere que las condiciones químicas en la cuenca de depósito eran de reducción.

Los fósiles identificados son nanoplancton (*Eatznaneria barnesae*) y determinan una edad Campaniano-Maestritchiano (Cretácico Superior) - (Informe Técnico del III Convenio México-Japón, 1985).

En las cercanías del depósito de El Rubí, las lutitas y areniscas (K1u) presentan metamorfismo de contacto como resultado de una intrusión de composición granítica, metamorfozeándolas a hornfels.

Interestratificada con las lutitas, se observaron horizontes finos de areniscas de estratificación gradada, constituidas principalmente de cuarzo, feldespatos, fragmentos de roca, piritita, pirrotita y en algunos horizontes vidrio. En la parte superior de esta unidad, se observan intercalaciones de lutitas calcáreas (K1uc) (III Convenio México-Japón, 1985).

IV.3.1.2 Areniscas (Tar)

Se encuentran distribuidas en el cerro del Pintor, hacia el este de la Mina América y en Santa Quiteria. En la Mina América y Descubrición sobreyacen en discordancia lavas dacíticas (Kd₂) y en el valle de la Capulinera a las lutitas y areniscas (K1u). En el cerro de El Pintor, a lavas y tobos de lapilli (Ta₁). En Santa Quiteria su espesor se calculó en 600 m aproximadamente.

Megascópicamente, el color de la arenisca varía de rosa a gris, es dura, compacta, estratiforme y el tamaño de grano es uniforme, con frag-

mentos de toba lapilítica (Ta_1), cuarzo, en menor cantidad plagioclasa y epidota. La parte superior de la arenisca, está constituida por un conglomerado de color pardo a rosa, cuya granulometría es variable.

Esta unidad está formada por clásticos de rocas volcánicas preexistentes, su origen se debe a la ausencia de actividad volcánica, levantamiento y erosión de las unidades inferiores.

IV.3.2 Rocas Igneas

IV.3.2.1 Lavas dacíticas (Kd_1)

Esta unidad se presenta intercalada con las lutitas y areniscas (Klu) en las cercanías de los depósitos minerales de Aranjuez (minas La América, La Descubridora y El Rubí). En la América está cubierta por tobas ácidas (K_t) y lavas dacíticas (Kd_2) en El Rubí su continuidad está afectada por la presencia de un intrusivo de composición granítica. Debido a que se desconoce su límite inferior, el espesor no pudo ser calculado.

Las observaciones realizadas en muestras megascópicas obtenidas en los ranchos de Aranjuez y El Rubí, permitieron diferenciar las lavas de ambas localidades. En Aranjuez en las cercanías de la mina La América, las lavas exhiben un color verde, brechada y con piritita diseminada; en el Rubí, las lavas son de color gris y presentan un aspecto masivo. En secciones delgadas se observó que las lavas de ambas localidades, están constituidas por vidrio que tiende a ser reemplazado por cuarzo, clorita y sericita como resultado de la alteración hidrotermal, con la diferencia que las de la mina La América se observa cuarzo primario, en mínimas cantidades y piritita diseminada.

Esta es la roca más antigua del Cretácico superior reconocida en el área, es producto de actividad ígnea submarina contemporánea al depósito de las lutitas areniscas (Klu), además está genéticamente re-



Fig. 6.- Afloramiento de lutitas (klu) en el Valle de Capulinera.



Fig. 7.- Afloramiento de lutitas y areniscas (klu) interestratificadas con tonas ácidas en las cercanías de la mina - La América.

lacionada con la mineralización. Por su relación estratigráfica con la unidad de lutitas y areniscas (Klu) en las que se obtuvieron fechamientos por medio de fósiles identificados como nanoplancton, se le asignó una edad del Cretácico Superior (Inf. Téc. III Convenio - México-Japón, 1985).

IV.3.2.2. Tobas de composición ácida (K_t)

Se distribuyó únicamente en el área de Aranjuez constituyendo en su totalidad la roca huésped de los depósitos de La América y La Descubridora; se encuentran cubiertas por lavas dacíticas (Kd₂) y sobre yacen a lavas dacíticas (Kd₁), además están plegadas, por lo que el espesor real no pudo ser estimado. En el túnel de La América, el espesor de las tobas ácidas (K_t) tiende a disminuir, pero se incrementa en el depósito de La Descubridora donde el espesor inferido es de aproximadamente 100 m.

Esta unidad comprende tobas finas que predominan sobre las de lapilli que sólo aparecen en la mina América y en áreas circundantes donde son observadas con intercalaciones esporádicas de lutitas.

En Aranjuez, las tobas se depositaron en una cuenca donde las condiciones que prevalecieron eran de reducción ya que tanto los sulfuros masivos precipitan en este tipo de ambiente (Sato, 1977) y la presencia de la unidad Klu constituida por lutitas carbonosas; posiblemente las tobas sean las causas de que se incrementara ligeramente la acidez, la cual domina en ambientes silíceos (Levinson, 1974), que es una de las condiciones que se requieren para la precipitación de los sulfuros vulcanogénicos. (Sato, op. cit.).

Las tobas se formaron en un ambiente volcánico, se presentan intercaladas con lavas y rocas sedimentarias formando una secuencia de tipo arco insular.

En la mina América, esta unidad se muestreó con la finalidad de deter



Fig. 8.- Secuencia vulcanosedimentaria en Toledo.



Fig. 9.- Dacite (Kd₂) cerca del depósito de La Descubridora.

minar su edad. El mineral utilizado para este objetivo fué sericita y método empleado, K/Ar, resultando pertenecer al Cretácico Superior con una edad de 71 ± 7 Ma. (Inf. Téc. III Convenio México-Japón, 1987).

IV.3.2.3 Lavas y tobas basálticas (Kb)

Esta unidad se localiza en las cercanías de los depósitos de Aranjuez y El Rubí. Están intercaladas con lavas dacíticas (Kd_2), (Kd_4), en contacto o intercaladas con lutitas, areniscas (Klu) y tobas ácidas (Kb).

Quando se encuentran en contacto con la lava dacítica (Kd_2) el espesor de esta capa disminuye, pero el máximo se calcula en 50 m, y fué el obtenido en un barrenado efectuado en el Rancho Aranjuez durante el III Convenio México-Japón. Esta unidad está constituida principalmente por tobas que en el afloramiento son de color verde, compactas, finas con cristales de epidota. Las lavas son verdes y compactas que varían de brechadas a masivas. Al microscopio son holocristalinas subofíticas compuestas por plagioclasas, olivino, augita y epidota como mineral de alteración. Su importancia radica en que por los mismos canales o conductos que fueron transportadas, también circularon los fluidos mineralizados, por lo que se pueden considerar contemporáneos.

IV.3.2.4 Lavas dacíticas (Kd_2)

Esta unidad se distribuye en Aranjuez (Fig. 9) extendiéndose desde el sureste del túnel de La América hasta el Valle de La Capullinera en el depósito de El Rubí, están cubiertas en discordancia erosional por rocas volcánicas del Terciario y sobreyacen al horizonte de tobas ácidas que hospeda a los cuerpos de sulfuros masivos vulcanogénicos. Esta capa debida a su competencia, presenta un plegamiento homogéneo menos intenso a diferencia de las unidades que la subyacen; su espesor se calculó en aproximadamente 200 m; debido a que no se co-

noce su límite superior y éste es porque está cubierto por lavas y tobas de composición andesítica del Terciario.

En los límites de cada brecha, se observan vetas de limonita y hematita. En secciones delgadas se observó que están constituidas de fenocristales de cuarzo anhedral y plagioclasas subhedrales, la matriz está compuesta de vidrio pero hay una gran cantidad de cuarzo fino, clorita y arcillas generadas por alteraciones hidrotermales.

Como resultado de las observaciones de campo y sus relaciones estratigráficas y estructurales con las otras unidades, se concluyó que son el producto final de la actividad volcánica relacionada a la formación de los depósitos de sulfuros masivos vulcanogénicos.

IV.3.2.5 Lavas y tobas andesíticas (Ta₁)

La andesita cartografiada como (Ta₁) se localiza en el cerro del - Pintor y en el San Pedro. Cubre en discordancia a la secuencia cretácica en los ranchos de Peña Blanca y Los Tepozanes.

Está constituida por intercalaciones de lavas y tobas; donde las primeras son de color verde y en los afloramientos se presentan en forma brechosa y compacta, mientras que microscópicamente se observaron fenocristales de plagioclasas euhedrales y subhedrales, augita subhedral e hiperstena parcialmente alterada a clorita. La matriz está constituida por vidrio y plagioclasa en microlitos, en menor cantidad piroxenos y óxidos de hierro. Los minerales de alteración hidrotermal relacionados al emplazamiento de un intrusivo de composición dacítica identificados son: clorita y sericita. Las tobas lapilíticas muestran fragmentos de andesita de color verde a pardo y están más alteradas.

IV.3.2.6 Lavas y tobas lapilíticas de composición andesítica (Ta₂)

Se distribuyen en los ranchos de El Cornadero, Santa Quiteria-Monte

Grande, observándose diferencias en cada localidad. Descansen en forma discordante sobre las areniscas (Tar). En el rancho de Santa Quiteria el espesor se calculó en 600 m aproximadamente. En el rancho El Cornadero predominan las lavas de color verde oscuro a rojo púrpura cuando estén alteradas. En secciones delgadas, la toba de lapilli está constituida de fragmentos subangulosos de andesita, plagioclasa, vidrio y óxidos de fierro (magnetita), como minerales de alteración se identificaron calcita y clorita.

Hacia el oeste de Aranjuez, en Santa Quiteria-Monte Grande, tienen la misma composición, aunque la roca está más alterada y piritizada. Las tobas lapilíticas son más finas. En secciones delgadas se observaron fragmentos de roca, plagioclasa, vidrio y magnetita; el cuarzo, sericita, clorita y pirita, son minerales producto de la alteración hidrotermal.

IV.3.2.7 Lavas y tobas finas y lapilíticas de composición intermedia (Ta₂).

Esta unidad se distribuye en la Sierra de Cocoma y el rancho de Los Ocates, cubriendo a otras efusiones de composición intermedia.

Megascópicamente el color de las rocas varía de rojo a púrpura, se observan alteradas, deleznable, hornblenda y plagioclasas.

Las tobas finas en secciones delgadas se observaron plagioclasas, piroxeno, hornblenda y minerales de alteración, tales como epidota, clorita y cuarzo fino. En las tobas lapilíticas en secciones delgadas, se observaron cuarzo, sericita y óxidos de fierro.

IV.3.2.8 Intrusivos

Granodiorita (Gd). Es el intrusivo más antiguo dentro del área cartografiada, aflora al sur de Telpa, en el Rancho de la Cuesta y al oeste del Cerro de San Pedro. En el área de San Agustín se encuen-

tran intrusionando a calizas del Cretácico Inferior causándoles ligero metamorfismo del contacto.

Macroscópicamente presenta un color gris, es compacta y dura, el tamaño de grano varía de medio a fino y está constituido por cuarzo, micas y feldespato. Microscópicamente su textura es equigranular; se presenta cuarzo, feldespato potásico, hornblenda y magnetita; - como minerales accesorios apatita, zircón y esfena. La clorita es el único mineral de alteración que se identifica en superficies delgadas.

La datación de este intrusivo se efectuó por el método de K/Ar, - donde se obtuvo una fecha de 71 ± 7 Ma. (Inf. Téc. III Convenio México-Japón, 1987).

Diorita (Dio); se ubica en el Cerro del Pintor y Rancho de San Pedro se encuentra intrusionando a lavas y tobas andesíticas (Ta_1), es de color verde oscuro, compacta de grano medio a fino. En secciones delgadas la textura es holocristalina y contiene oligoclasa-andesina, augita y magnetita, los minerales de alteración que se presentan son clorita, sericita, epidota y calcita. .

Granito (Gr); se localiza en el Rancho de La Texcalama, y aflora en la carretera Talpa-El Rubí. En esta última localidad se presenta - intrusionando a la secuencia vulcanosedimentaria dando como resultado la formación de hornfels. En la parte alta del Arroyo de Las Majadas, intrusionan a rocas de composición andesítica (Ta_2) causándole una alteración mínima.

Macroscópicamente es de color rosa y compacta. Se observa plagioclasa, cuarzo y micas. En secciones delgadas se identificó plagioclasa euhedral, biotita en fenocristales y cuarzo, los minerales de alteración son la sericita y clorita.

IV.4 Geología Estructural

La distribución de la secuencia vulcanosedimentaria del Cretácico se limita a las cercanías de los ranchos de Aranjuez y El Rubí, está cubierta en discordancia erosional por las rocas volcánicas del Terciario. Las estructuras entre ambas localidades no pudieron interpretarse con claridad, debido a que los afloramientos son limitados.

La secuencia vulcanosedimentaria fue depositada en un ambiente de cuenca marginal; como resultado del estudio litológico y geofísico (magnético), parece ser que la estructura principal entre Aranjuez y El Rubí, es un sinclinal.

Por lo que respecta a las unidades de lutitas y areniscas (Klu) y tobas ácidas (Kt), en algunos afloramientos de Aranjuez y El Rubí se presentan pliegues tipo chevrón, pero debido a la escala del presente trabajo, estos rasgos no son cartografiables. En lo que respecta a las lavas dacíticas (Kd₂) que sobreyacen a las unidades antes mencionadas, el pliegue reconocido es homoclinal.

La relación estructural entre las deformaciones de las lutitas y areniscas (Klu) y las tobas ácidas (Kt) con respecto a la que presentan las lavas dacíticas (Kd₂) se puede interpretar de la siguiente manera: la inclinación del pliegue homoclinal de la unidad Kd₂ corresponde a la de una superficie envolvente que cubre a los pliegues formados por Klu y Kt, ya sea la cresta o el valle, por lo que se pueden suponer dos tipos de estructuras, pero las causas de la deformación son las mismas. Esta conclusión es el resultado de las relaciones observadas en los contactos de las unidades Klu, Kt con Kd₂, la distribución de Kd₂ en las cercanías de la mina América, los datos estructurales en sección estructural (Plano 3) y la diferente competencia entre las lutitas y areniscas (Klu) y tobas ácidas (Kt) con respecto a la lava dacítica (Kd₂). Las causas de dichas deformaciones son asociadas a esfuerzos tectónicos regionales, ya que solo se pre-

sentan en las localidades de Aranjuez y El Rubí, el origen posiblemente fue el levantamiento de la unidad constituida por las lavas dacíticas (Kd_1) (Fumio Wada, comunic. personal, 1985 Jefe del Proyecto del III Convenio México-Japón) o bien al emplazamiento de intrusivos.

En cuanto a la orientación de los planos axiales de los pliegues en El Rubí es 55° SE y 30° de inclinación y en Aranjuez 50° NW en 20° de inclinación (Fig. 10). En las cercanías de la Mina La América, se identificó un anticlinal que se extiende hasta el Valle de La Capulínera, cuyo plano axial presenta una orientación al NE. La lava dacítica (Kd_2) forma parte de este anticlinal, el cual, es asimétrico con un flanco noroeste es estimado en 8 km y el otro flanco sureste con una longitud de onda de aproximadamente 4 km.

En el área de estudio, se identificaron dos sistemas de fallamiento con orientaciones NE-SW y NW-SE.

El sistema NE-SW está constituido por fallas normales y es el menos reciente, gobierna al comportamiento de los ríos de Toledo y Aranjuez, constituyendo un sistema de bloques afallados que forman fosas y pilares tectónicos resultado de esfuerzos tensionales. De estas estructuras la que se considera más importante, es un pilar tectónico entre Aranjuez y El Rubí, el cual, fué la causa de que la secuencia vulcanosedimentaria aflorera y que es donde se hospedan los cuerpos de sulfuros masivos vulcanogénicos y también del levantamiento y erosión de las lavas y tobas de lapilli (Ta_1), dando como resultado la formación de las areniscas (Tar).

El sistema NW-SE está constituido por fallas de rumbo tipo sinistral con saltos de poca magnitud, comparadas con los desplazamientos laterales (200-500 m aprox.), en el área de estudio desplazan al sistema NE-SE.

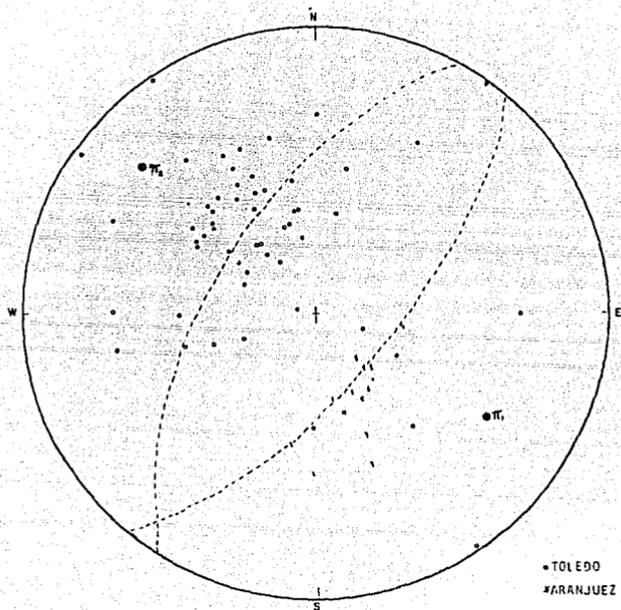


Fig. 10

U N A M	ESCUELA DE INGENIERIA
	Tercer Profesional.
	Proyección estereográfica de polos en rocas del Cretácico del área Aranjuez-El Rubí.
	1989

V YACIMIENTOS MINERALES

V.1 Sulfuros Masivos

Los yacimientos del área de estudio presentan características de sulfuros masivos vulcanogénicos, por lo que a continuación se mencionarán algunos aspectos generales de estos depósitos.

V.1.1 Definición

El término sulfuros masivos, de acuerdo a Sato (1974, 1977), se refiere a la mineralización compuesta casi exclusivamente de sulfuros polimetálicos y pueden mostrar bandeamiento o estratificación.

El término "vulcanogénico" se utiliza para indicar la conexión genética entre la mineralización y el vulcanismo, aunque muchos autores prefieren el término "volcánico" para referir únicamente que estos depósitos se pueden encontrar en rocas volcánicas (Sato, 1977).

Otro término utilizado para definir a estos yacimientos, es "exhalativo" que indica que las menas se formaron por emanaciones volcánicas. Para señalar la creación de menas en el fondo del mar, se usa la expresión "submarino exhalativo" o "exhalativo sedimentario". El término "hidrotermal sedimentario" significa que las emanaciones volcánicas están en fase líquida (Sato, 1977).

El término compuesto aquí utilizado es el de "sulfuros masivos vulcanogénicos".

V.1.2 Depósitos tipo Kuroko

Se consideran como el modelo típico de yacimientos de sulfuros masivos vulcanogénicos, por sus características primarias ya que se encuentran bien conservados.

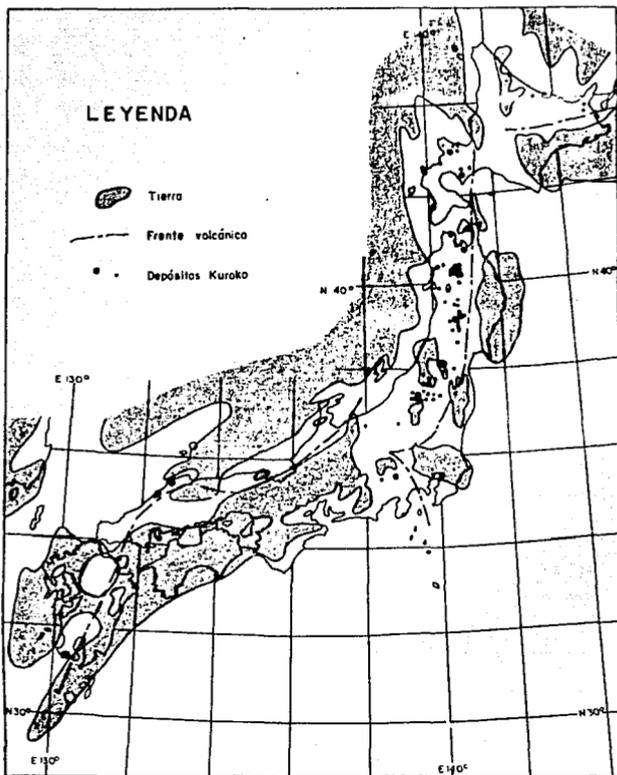


Fig.-11 Localización de los depósitos Kuroko en relación a la paleogeografía y al paleofrente volcánico. La paleogeografía es del Mioceno temprano tomada de Minato et al (1965), en Sato (1974)

U	FACULTAD DE INGENIERIA	
	TESIS PROFESIONAL	
N	PRINCIPALES DEPOSITOS DE	
A	SULFUROS MASIVOS VULCANO	
	GENICOS EN JAPON EN SATO	
	1974.	
M	II. A. O. P.	1988.

El depósito tipo Kuroko se define como un yacimiento polimetálico de sulfuros y sulfatos relacionados a vulcanismo félsico del Mioceno (Sato 1974, 1977).

Las características principales de estos yacimientos son:

Asociación íntima con rocas félsicas submarinas del Mioceno. Grado económico-subeconómico de Cu, Pb, Zn, Ag y Au, cantidades abundantes de Ba-Ca en sulfuros.

Ocurrencia de cuerpos estratiformes o lenticulares concordantes con los sedimentos que los rodean. (Sato, 1974).

Ambiente geológico.- Los yacimientos clásicos tipo Kuroko, se localizan en la parte oriental de Japón (Fig. 11) formando una provincia geológica especial caracterizada por espesores de rocas sedimentarias y volcánicas, resultado de una subsidencia y subsecuentemente vulcanismo submarino en el Mioceno. Esta provincia es llamada la región de "Tobas Verdes" donde las rocas presentan este color como resultado de alteraciones diagenéticas e hidrotermales. (Ishihara, 1974).

Esta región Ohmoto (1978), la considera parte de una caldera basándose en una serie de evidencias tanto litológicas como paleontológicas. Por otro lado, Scott (1978) concluye que los depósitos se presentan en la intersección de lineamientos cuyo patrón de fracturamiento está controlado por el basamento rocoso.

Las rocas que encajonan los yacimientos tipo Kuroko son en su mayoría andesitas y dacitas en la parte inferior del paquete extrusivo y rocas más félsicas en la parte superior con algunos horizontes intercalados de lavas almohadillas. (Sato, 1974).

Los horizontes mineralizados en el paquete estratigráfico del Mioceno Medio están íntimamente asociados con domo riolíticos (riolita -

blanca) (Date, et al, 1974 y Urabe and Sato, 1978).

Forma.- Los yacimientos se componen de cuerpos estratiformes o lenticulares homogéneos, generalmente sin material clástico o químico estratificado, que sobreyacen menas en stockwork de varias dimensiones.

Los yacimientos se encuentran cubiertos por capas de arcillas o pedernal rojizo en una extensión no mayor de un kilómetro de los depósitos.

Según Sato (1977) y Shimazaki (1974) un cuerpo de mena Kuroko típico se divide en 7 zonas cuyo orden es el siguiente. (Fig. 12):

Mena silíceas (Keiko). Los minerales dominantes son: cuarzo, pirita y calcopirita diseminada o en vetas y en cantidades mucho menores, esfalerita, galena y otros sulfuros. Esta zona se forma a alta temperatura (Sato, 1971).

Mena de yeso (Sekkoko). Está compuesta principalmente de yeso con cantidades menores de anhidrita, sulfuros de plomo y zinc. La ocurrencia de anhidrita está limitada a la parte central de la mena y se encuentra envuelta por una gran masa de yeso como resultado de un cambio de la presión parcial del azufre y procesos de hidratación (Kawajera, 1970 en Shimazaki, 1974).

Mena amarilla (Oko). Consiste principalmente de pirita con cantidades variables de calcopirita. Dicha calcopirita se presenta en forma anhedral y rellena la matriz compuesta de cristales de pirita subhedral y euhedral, la cual es más común.

Mena pirítica (Ryukeko). Pirita (calcopirita-cuarzo) estratiforme ocasionalmente presenta vetillas y diseminaciones.

Minerales como esfalerita, barita y otros ocurren en pequeñas canti

dades en la parte superior cerca de la zona Kuroko. Esta mena puede presentarse en cuerpos estratiformes o masiva.

Mena negra (Kuroko). Está constituida principalmente de barita, esfalerita, galena, calcopirita y gran cantidad de minerales accesorios que ocurren en esta área formando una mineralogía compleja. Bornita, electrum y plata son comunes de encontrar aunque en cantidades pequeñas.

En general, la esfalerita es la más abundante en la parte media, la galena en la parte superior, la calcopirita y pirita decrecen hacia la parte superior.

La paragénesis en la parte inferior es simple y consiste de esfalerita, galena, calcopirita, pirita y barita. Los cuerpos generalmente son estratiformes.

Mena de barita. Cuerpos estratiformes, ocurren pequeñas cantidades de minerales, tales como la calcita, dolomita y siderita y en la localidad de Uchinotai-Nishi se ha observado que ocurren de pequeñas cantidades mínimas. (Sato, 1974).

Pedernal Ferroginoso (Tetsusekiei). La parte superior de los depósitos tipo Kuroko consiste de capas finas de pedernal rojizo; el espesor es por lo general de varios centímetros de cuarzo cristalino y hematita.

Mineralogía.— La mineralogía de los sulfuros es muy variada, a continuación se mencionan los diversos minerales que se presentan, tanto de mano como de ganga.

Varios autores (Sato, 1974, 1977 y Stanton, 1972, etc.) mencionan como principales sulfuros de mena a la esfalerita, la galena, la pirita, la calcopirita, etc. y sulfosales como la acantita, boulangerita, freibergita, etc.

Los silicatos principales son: sericita, clorita, montmorillonita y mezcla de minerales arcillosos. Los óxidos son: hematita y magnetita; de los carbonatos, el principal es la calcita, posteriormente son aragonita, dolomita, witherita y rodocrosita; fosfatos y fluoru-

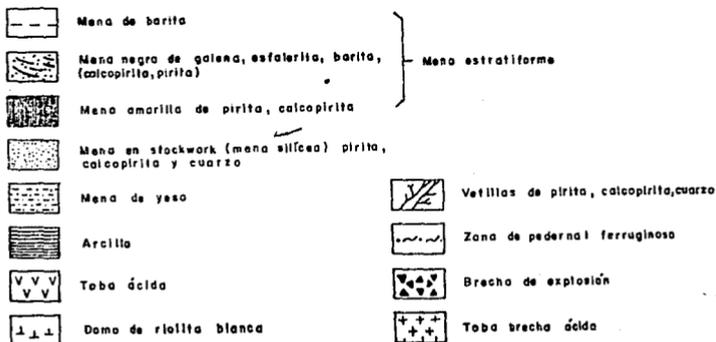
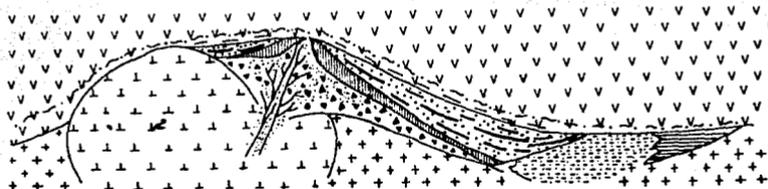


Fig. 12

U N A M	FACULTAD DE INGENIERIA.
	Tesis Profesional.
	Sección esquemática tí- pica de un depósito tí- po Kuroko. (SATO, 1977).
	H.A.U.P. 1988

ros como el apatito y la fluorita se presentan en la mena silíceas y negra. Los sulfatos más comunes son barita, yeso y anhidrita, los cuales muchas veces forman depósitos tipo Kuroko, los minerales nativos como oro, plata y electrum (Ag y Au) se encuentran en cantidades menores.

En resumen, un cuerpo típico Kuroko está constituido por mena amarilla, mena negra, vetas y disseminaciones formando el stockwork (mena silíceas), así como otros minerales en variada proporción, cabe aclarar que los límites entre la mena amarilla y la mena negra, están bien definidos.

A continuación se mencionarán otros tipos de yacimientos tipo Kuroko que reconoce Sato (1974).

Depósitos tipo Kuroko de yeso: Pueden presentarse con pequeñas cantidades de sulfuros. En la mina Wanibuchi al SE de Honshu y en la mina Yonahita al NE de Honshu, se presentan en capas delgadas o formas lenticulares de galena-esfalerita-bornita, los cuales, no se presentan en cantidades económicas.

Depósitos tipo Kuroko de barita: consisten esencialmente de barita, ocurren en forma estratiforme y "stockworks" presentan algunas cantidades considerables de sulfuros. Este tipo de depósitos se localizan en Hokkaido.

Alteraciones.- Los halos de alteración están intensamente desarrollados alrededor de los depósitos tipo Kuroko. Se considera que son el resultado de la actividad hidrotermal.

En el Distrito Hokuroko actualmente las formaciones en las áreas de mineralización se encuentran intensamente alteradas por metamorfismo y se dificulta distinguir los halos relacionados a la mineralización Kuroko de la alteración regional. (Utada, 1981, Honda and Matsueda, 1979).

A continuación se presenta el zoneamiento lateral obtenido por dos investigadores Utada (1981) y Honda et al (1979) en 2 áreas distintas.

- I) Cuarzo + feldespato potásico + sericita
- II) Cuarzo + clorita + sericita
- III) Cuarzo + (plagioclesa + albita) + (feldespato potásico) + (clorita + sericita).
- IV) Cuarzo + (plagioclasea + albita) + Feldespato potásico).
- V) Cuarzo + (plagioclasea + albita)

El ambiente geoquímico para la depositación de menas. El medio de transporte de las menas es el agua; la solubilidad de los metales aumenta al incrementarse la concentración de cloro y temperatura, si el azufre está presente aumenta dicha solubilidad a medida que el pH decrece (Sato, 1977).

Así el depósito de los metales es el resultado de:

- 1) Dilución de las soluciones de mena en relación al cloro.
- 2) Descenso de la temperatura
- 3) Aumento en el pH
- 4) Aumento en el azufre

Para las soluciones Kuroko se estima que tuvieron temperaturas entre 200-250°C, pH neutral o ligeramente ácido, fugacidades muy bajas de oxígeno y concentraciones de cloro 2 ó 3 veces mayores de las del agua marina. (Sato, 1977).

Exhalitas. Las exhalitas están constituidas de sedimentos de grano fino y contienen con frecuencia altas cantidades de hierro; en los depósitos vulcanogénicos han sido tradicionalmente los horizontes indicadores de los eventos mineralizantes. La formación de los depósitos está íntimamente asociada a fenómenos sedimentarios y en especial

a los cambios de facies, lo que significa que se tiene una variación en el pH y el Eh que cambia rápidamente a partir del centro - exhalativo, siendo la causa principal de los cambios mineralógicos al alejarse de los centros exhalativos. (Rosas, 1983).

El Fe y Mn han sido estudiados por muchos autores como un ejemplo típico de indicadores de condiciones de oxidación (Fe) y reducción (Mn). En la exploración de sulfuros masivos en Canadá, se ha utilizado el cociente Fe/Mn en las exhalitas. (Rosas, op. cit.)

Estructuras y texturas de Mena. Los minerales que constituyen la mena varían de grueso a fino. Las texturas comunes en la mena negra son las de reemplazamiento, coliformes, bandeadas y clásticas.

V.2 Descripción de los Yacimientos ubicados en los Ranchos de Aranjuez y El Rubí.

V.2.1 Mina La América

Se localiza en el rancho de Aranjuez a 10 km al suroeste de Talpa de Allende. Actualmente se encuentra sin actividad minera debido a problemas financieros. En esta mina se observó una secuencia - compuesta por lavas dacíticas (Kd_1) de textura afanítica y silicificada, cubierta concordantemente por el horizonte mineralizado constituido a su vez, por tobas finas de lapilli (Kt) de composición - ácida interestratificadas con algunas capas de lutita; sobre el horizonte mineralizado descansan las lavas dacíticas (Kd_2). La secuencia se encuentra plegada con rumbo E-W y la inclinación varía de 48 a 70°.

El paquete vulcanosedimentario ha sufrido alteraciones, tales como: silicificación, cloritización y sericitización, debido a los flujos hidrotermales que transportaron a la mineralización. La mena - está constituida por varios cuerpos estratiformes; dos son los de -

mayor tamaño y se describen a continuación: un cuerpo se compone de mena negra y sus dimensiones son 17 metros de largo y 0.90 m de espesor, alojado en la parte superior del horizonte de las tobas ácidas (Kt). La mineralogía es: esfalerita, galena y tetraedrita argentífera (freibergita); en la parte inferior de las tobas ácidas (Kt) se localiza un cuerpo mayor, cuyas dimensiones son 10 m de longitud y 4 m de espesor, constituido en su totalidad por pirita y representa a la mena amarilla (Fig. 13).

Por otra parte, se observa que los espesores de los cuerpos de sulfuros masivos, no son muy anchos pero son continuos. En partes del cuerpo de sulfuro masivo se pueden observar estructuras bandeadas y el tamaño del sulfuro es fino y compacto.

En la parte superior del horizonte mineralizado constituido por las tobas ácidas (Kt) se observan brechas mineralizadas, las cuales están constituidas por fragmentos silicificados de roca y la matriz de la brecha está formada por material tobáceo y pirita.

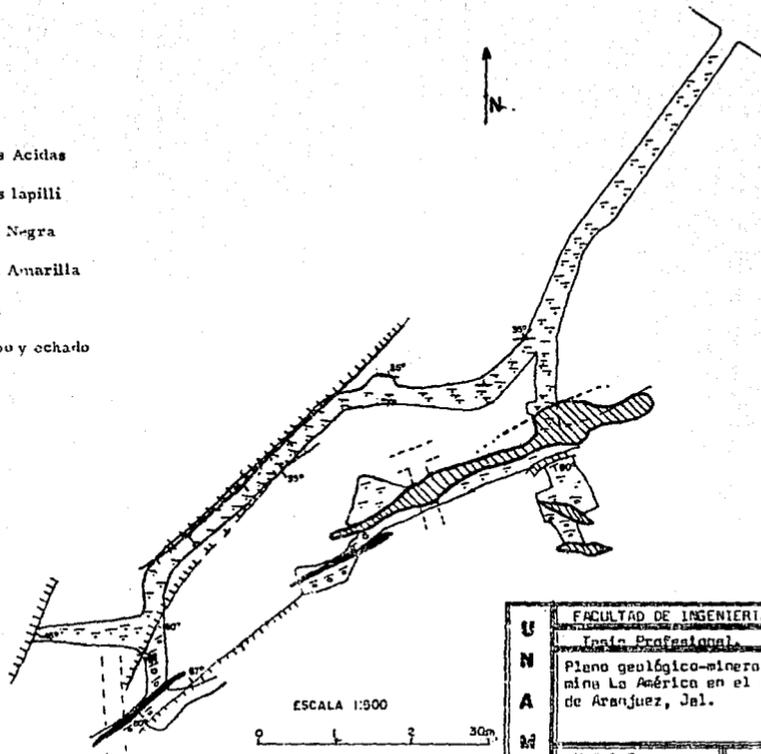
Dentro del socavón no se localizó la mena silíceas, pero en los terreros se identificó dicha mena, por lo que se concluye que este depósito de sulfuros masivos volcanogénicos está constituido por mena negra, mena amarilla y mena silíceas.

Los minerales de ganga más abundantes son barita, cuarzo y calcita.

En el año de 1983 el dueño del yacimiento, Ing. A. Castañeda presenta el siguiente tonelaje y ley promedio calculado para reservas probadas y probables:

Toneladas	Au (g/t)	Ag (g/t)	Pb (g/t)	Zn (g/t)	Cu(%)	Sn(%)
Ley Promedio	1.0	310	1.25	7.5	0.2	0.34
140,000	SO ₄ Ba (%)					

-  Tobs Acidas
-  Tobs lapilli
-  Mena Negra
-  Mena Amarilla
-  Falla
-  Rumbo y echado



ESCALA 1:500

0 1 2 30m

FIG.13

U N A M	FACULTAD DE INGENIERIA,
	Trámite Profesional.
	Plano geológico-minero de la mina La América en el área de Aranzuez, Jal.
	H. G. R. P. 1988

En el año de 1982 el Dr. T. Urabe en una visita técnica calculó un potencial en 1'000,000 de toneladas con las siguientes leyes:

Au (g/t)	Ag (gt)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)	Fe (%)	Sn (%)
0.25-4	63-1112	0.2-3%	0.05-0.3	6-250	6-25	0.3%

Las leyes obtenidas en algunas muestras colectadas, son las siguientes: (Inf. Técnico, III Convenio México-Japón, 1985).

<u>No. Muestra</u>	<u>Au (g/t)</u>	<u>Ag (g/t)</u>	<u>Cu (%)</u>	<u>Pb (%)</u>	<u>Zn (%)</u>
1	0.7	1104	0.32	3.95	23.89
2	2.1	230	0.17	0.58	2.64
3	12.8	3.779	12	24.39	34.08
4	0.4	297	0.17	1.26	11.1

El problema principal es la metalurgia, porque los sulfuros masivos son de grano fino y un alto contenido en pirita. (Yto y Concha, 1981), lo que implica un elevado costo para la extracción de los minerales de mena.

V.2.2 Mina La Descubridora

Se localiza a 1 km al suroeste del yacimiento de La América. Debido a que el socavón estaba muy deteriorado, solo se recorrió una longitud de 5 m observando que el yacimiento está constituida por tobas silicificadas (Kt) intemperizadas. La mena está formada únicamente por pirita diseminada; sin embargo, en los terreros se identificó galena y minerales de ganga como barita y cuarzo.

Las alteraciones que se presentan son oxidación, silicificación y cloritización.

V.2.3 Mina Atalaya

Se encuentra a 600 m al noroeste de La Descubridora, en la actualidad no está siendo explotada.

La mina es un socavón de 50 m de longitud en dirección E. La litología consiste de tobas ácidas (Mt), las cuales están cloritizadas, silicificadas y en algunos sitios se presentan bastante oxidadas, por lo que la descripción de texturas primarias, se dificulta. A 5 m de la entrada se observa una falla inversa, la cual, pone en contacto a las tobas ácidas (Mt) con lavas dacíticas (Kd₂). Sobreyaciendo al horizonte mineralizado se observan fragmentos de rocas silicificadas y sinter silíceo (Urabe, 1982).

Se observa escas piritas diseminadas aunque existen evidencias en los terreros de galena y plata.

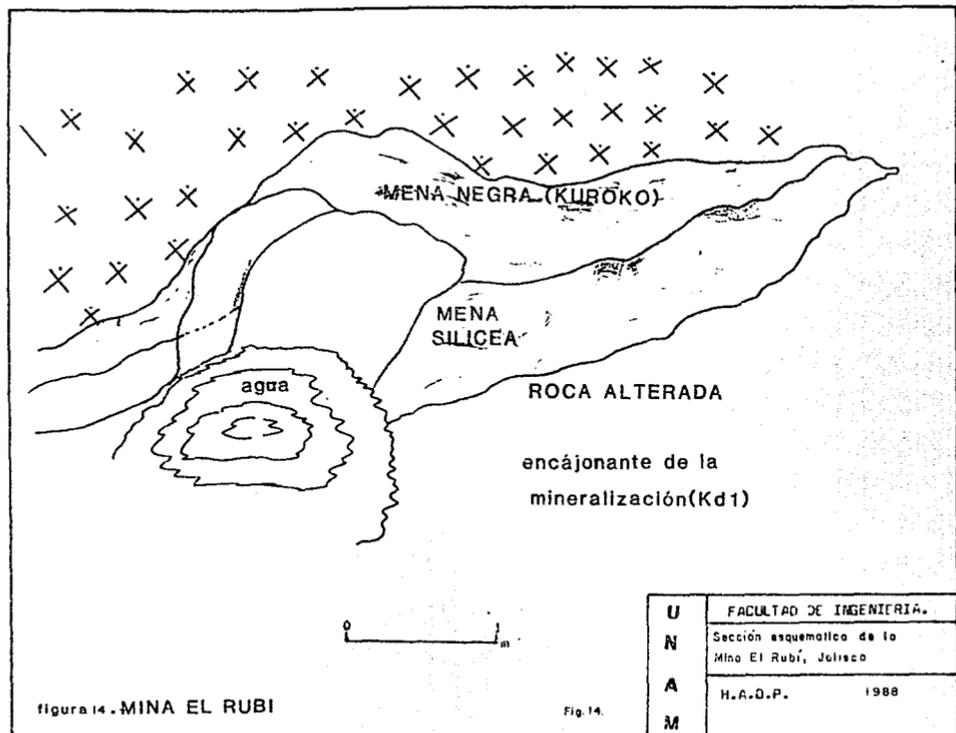
V.2.4 Mina El Rubí

Se localiza a 10 km al oeste de Talpa. Este depósito fué explotado durante 7 años desde 1967 a 1973 por la Compañía Zimapan.

El socavón de esta mina está colapsado e inundado, pero en la superficie se observa parte de la litología, así como también dos cuerpos; uno de mena negra que sobreyace a otro de mena silícea. El cuerpo de mena negra está ligeramente inclinado hacia el sureste, sus dimensiones son 2 m de espesor por 9 m de ancho, está constituido de esfalerita, calcopirita, galena y en menor cantidad piritas fragmentada, los minerales de ganga son barita, hialofana y cuarzo, el cuerpo presenta bandeamiento (Fig. 14, 15 y 16).

La mena silícea subyace a la mena negra sin aflorar completamente, por lo que sus dimensiones se desconocen, los minerales que la forman son cuarzo, barita y piritas diseminadas.

La roca que subyace a la mineralización, es una lava dacítica (Kd₁) también se observó granito (Gr) que intrusión tanto a la lava (Kd₁) como al cuerpo mineralizado.



U	FACULTAD DE INGENIERIA.	
N	Sección esquemática de la Mina El Rubí, Jalisco	
A	H.A.D.P.	1988
M		



Fig. 15.- Aspecto de los sulfuros masivos en El Rubí.

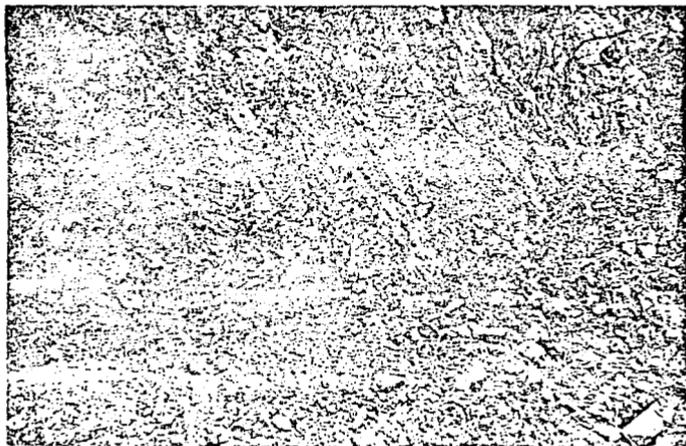


Fig. 16.- Afloramiento de sulfuros masivos en el depósito Ocotitlán, El Rubí.

Las alteraciones que se presentan son oxidación, silicificación y cloritización y posteriormente como resultado del emplazamiento del granito (Gr), se presenta en las lutitas y areniscas (MLU) metamorfismo de contacto clasificado como hornfels.

La mena silícea en la entrada del túnel nos sugiere que el centro exhalativo de la mineralización del sulfuro masivo vulcanogénico puede localizarse en las cercanías de El Rubí y este depósito es una extensión de dicho centro (Urabe, 1982).

A continuación se presentan las cifras que Castañeda (1983) dió a conocer después de procesar 21352 ton.

	As (g/t)	Ag (g/t)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)
Cabezas	-	104	1.96	13.78	1.37
Conc. Pb	-	1767	33.4	18.53	9.33
Conc. Zn	-	74	1.12	52.22	1.11
Conc. Cu	0.275	3.78	11.98	27.4	13.11

Los siguientes resultados son de algunas muestras obtenidas en los afloramientos del cuerpo:

<u>No. de Muestra</u>	<u>Au (g/t)</u>	<u>Ag (g/t)</u>	<u>Cu (%)</u>	<u>Pb (%)</u>	<u>Zn (%)</u>
1	0.3	134	1.78	4.5	26
2	2.0	620	0.13	0.1	0.30
3	0.3	120	1.30	3.2	21.0
4	0.1	15	0.10	0.20	0.35

V.3 Alteraciones

Las soluciones mineralizantes en todo el periodo de duración del sistema hidrotermal establecen una interacción con las rocas enca-

jonantes produciendo en ellas metasomatismo conocido como alteración.

La alteración hidrotermal distingue a las siguientes: silicificación, piritización, cloritización, etc.

La importancia de la alteración radica en que su espesor es muy considerable, mucho mayor que el depósito, por lo que constituye una excelente guía de prospección. Además, la naturaleza de los minerales de alteración, proporciona información valiosa acerca del tipo de los yacimientos a ellos relacionados.

V.3.1 Zoneamiento de alteración tipo obtenidas por Utada (1981) y Honda, et al (1979), identificaron cinco zonas con distintas asociaciones de minerales de alteración, clasificándolas de acuerdo a su ubicación respecto al posible centro - exhalativo.

- I Cuarzo + feldespato potásico + sericita
- II Cuarzo + clorita + sericita
- III Cuarzo + (plagioclasa + albita) + (feldespato potásico) + (clorita + sericita)
- IV Cuarzo + (plagioclasa + albita) + feldespato potásico
- V Cuarzo + (plagioclasa + albita)

En Aranjuez predominan las alteraciones tipo I, II y III (Fig. 17) distribuyéndose con la misma frecuencia, indicando la distinta intensidad con la que actuaron los fluidos hidrotermales sobre las rocas. Observando que minerales característicos de este tipo de alteraciones como la clorita y sericita, tienden a disminuir en dirección noreste-sur oeste en la zona donde ubica la alteración tipo III.

La Mina La América que aloja a los cuerpos de sulfuros masivos calcocogénicos más importantes, se presentan las alteraciones tipo II y III. La alteración tipo I se distribuye al noroeste y el sures-

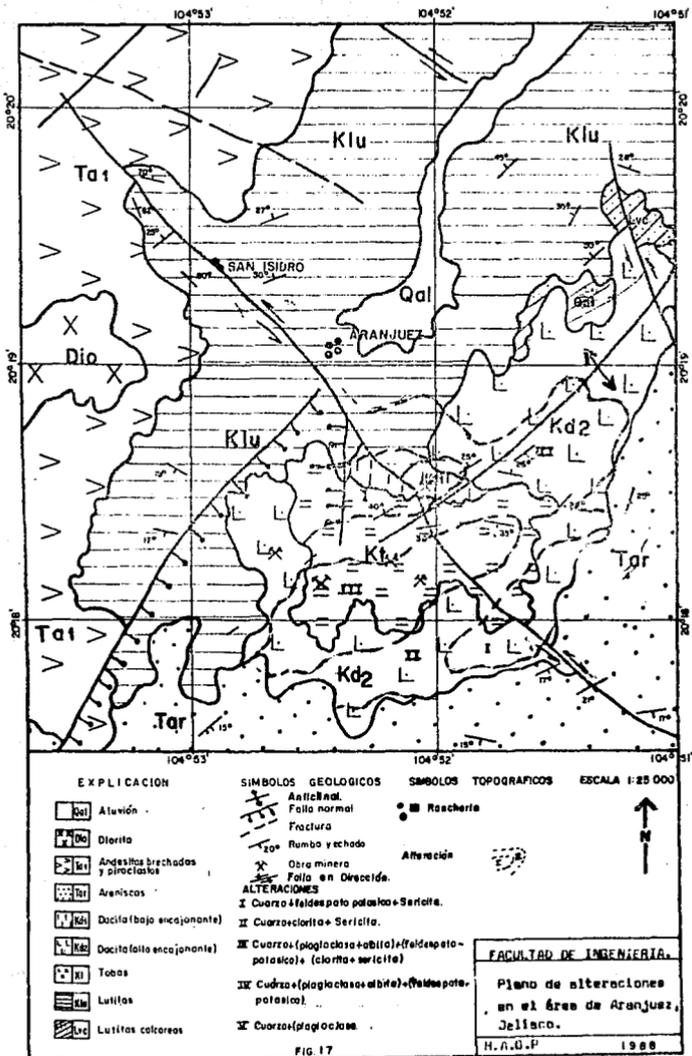
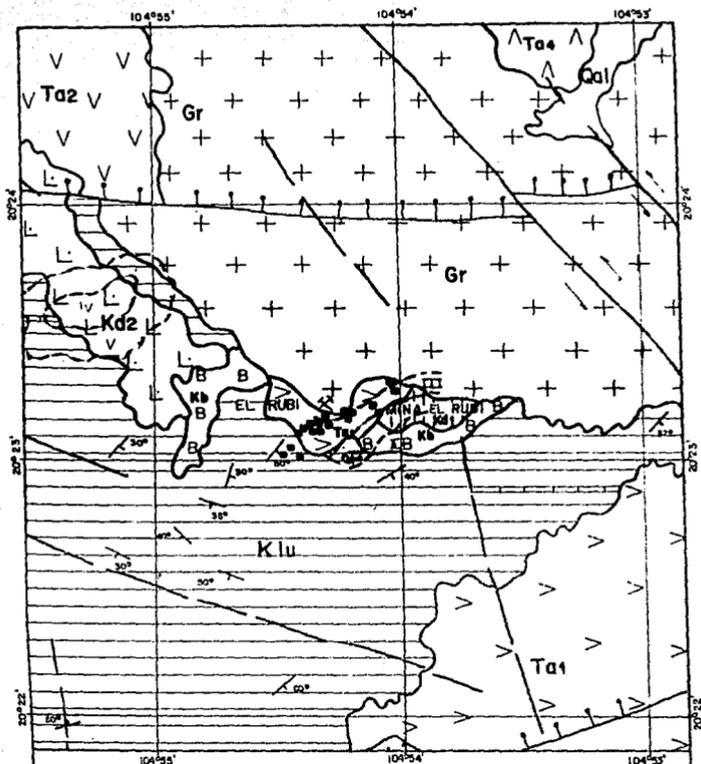


FIG. 17



EXPLICACION

- Aluvión
- Granito
- Andesitas, Toba y brechas soldadas
- Andesitas brechadas y piroclastos
- Andesitas de grano medio y piroclastos
- Lavas y Toba basálticas
- Dacita (alta encajonante)
- Dacita (baja encajonante)
- Lutitos
- Horseta

SIMBOLOS GEOLOGICOS

- Faja de Granada
- Faja normal
- Fractura
- Rumbo y echos
- Obris minera

SIMBOLOS TOPOGRAFICOS

- Esc. 125 000
- Rancheria

ALTERACIONES

- I Cuarzo + feldes peto potasio-sarcita.
- II Cuarzo + clorita + antfo.
- III Cuarzo (plagioclaso + bito) feldes peto potasio (clorita + sarcita).
- IV Cuarzo (plagioclaso + bito) feldes peto potasio +
- V Cuarzo (plagioclaso + bito)

UNIVERSIDAD DE INGENIERIA
 PIANO DE ALTURACIONES EN EL RUMBI
 1968

FIG. No 18

te en forma paralela a la tipo III. En la mina La Descubriloora, - se aloja en la alteración tipo III.

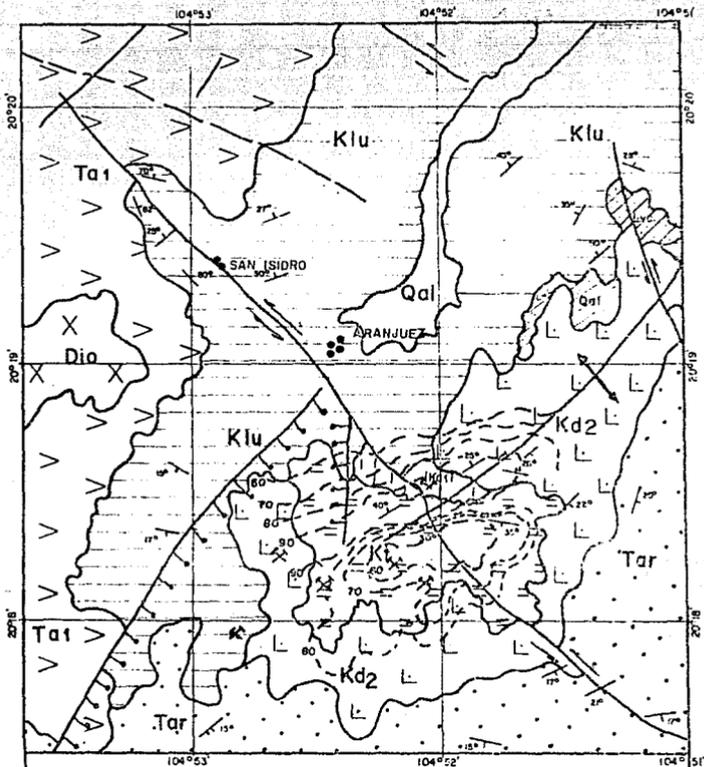
En la lava dacítica (Kd_1) de la mina El Rubí, se identificaron las alteraciones tipo I, II y III siendo las dos últimas las más frecuentes. (Fig. 18). Las IV y V se ubican en la unidad Klu a una distancia de 200 m de la ya mencionada. De los zoneamientos obtenidos se concluye que las alteraciones hidrotermales fueron mínimas ya que la tipo I y II se presentan en áreas restringidas o bien que fueron afectadas por emplazamiento del granito (Gr) en el área El - Rubí.

V.3.2 La clorita

La clorita se forma durante la etapa inicial de las alteraciones hidrotermales (Pisutha et al, 1983-, en Urabe et al, 1983), los análisis químicos indican que la clorita en zonas cercanas al centro - exhalativo en los depósitos Kuroko es rica en Mg y a medida que se aleja del mismo tiende a aumentar el Fe (Urabe et al, 1983), sin embargo, en los depósitos de Aranjuez y El Rubí la clorita es férrica y este cambio en la composición química pudiera explicarse como el - resultado del emplazamiento de intrusivos que dieron origen a mineralizaciones tipo veta (La Concha en Aranjuez y Plomosas en El Rubí), o bien que los yacimientos de sulfuros masivos volcánogénicos de ambas localidades se ubican fuera del verdadero centro exhalativo, el cual puede estar subyaciendo a las rocas del Terciario.

V.3.3 Indices de alteración alcalina

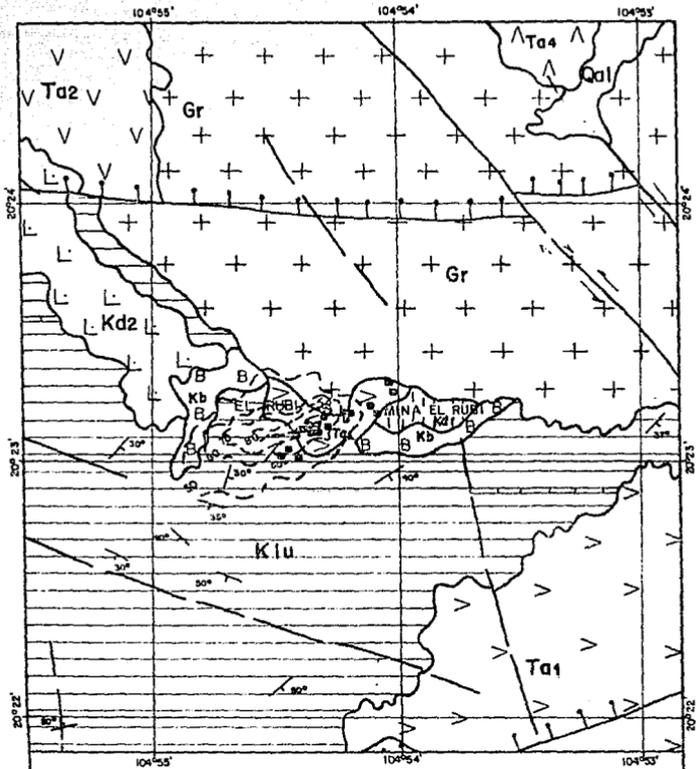
Los índices de alteración alcalina, se utilizan para representar de manera cuantitativa el grado de alteración de los elementos alcalinos, (K y Na) y alcalino-térreos (Mg y Ca) susceptibles a lixivarse (Na y Ca) o incrementarse (K y Mg) al paso de soluciones hidrotermales (Ishikawa et al, 1980). Los índices de alteración alcalina - - (IAA), definen de la siguiente manera:



EXPLICACION	SIMBOLOS GEOLOGICOS	SIMBOLOS TOPOGRAFICOS	ESCALA 1:25000
Aluvión	Anticlinal	Rancharia	↑ N
Diorita	Falso normal	I. A. A.	
Andesitas brechadas y piroclastos	Fractura		U N A M
Areniscas	Rumba y achado		
Dacita (bajo encajonante)	Obro minera		
Dacita (alto encajonante)	Falso en Dirección.		
Tóbas			
Lutitas			
Lutitas calcareos			

FIG. No. 19

FACULTAD DE INGENIERIA.
 Tesis Profesional.
 Plano de índices de alteración alcalina (I. A. A.) en el área de Aranjuez, Jalisco.



EXPLICACION

- Aluvion
- Granito
- Andesitas, Tobsos y brechas volcánicas
- Andesitas brechadas y vitroclastos
- Andesitas de grano medio y vitroclastos
- Lajas y Tobsos basálticos
- Dacito (alta encajonante)
- Dacito (baja encajonante)
- Lutitas
- Hornfelsa

SIMBOLOS GEOLOGICOS

- Faja en Dirección
- Faja normal
- Fractura
- Rumbo yechado
- Obra minera

SIMBOLOS TOPOGRAFICOS

- Rancharia
- L.A.A.

ESCALA 1:25000



U N A M	FACULTAD DE INGENIERIA.
	Ingeniero Profesional.
	Plano de índices de alteración alcalina (I.A.A.) en el área de El Rubi, Salicru.
	H.C.U.F. 1988

$$IAA = \frac{(MgO + K_2O)}{MgO + K_2O + Na_2O + CaO} \times 100$$

$$IAA = \%$$

Si IAA 90% (zonas intensamente alteradas).

En los depósitos Cenozoicos tipo Kuroko, las zonas alteradas son analizadas utilizando la roca que subyace al horizonte mineralizado, debido a que recibe con mayor intensidad las alteraciones de los fluidos hidrotermales en el tiempo de formación del yacimiento.

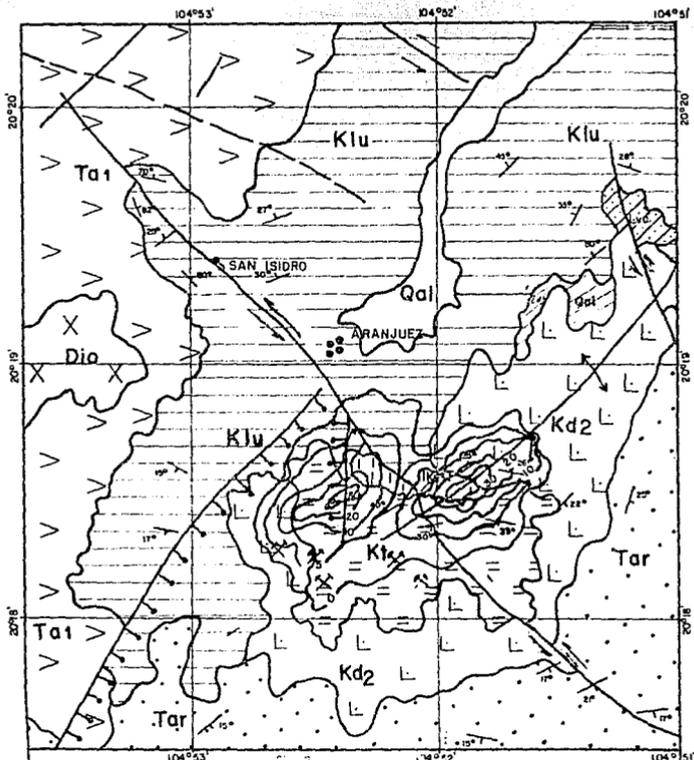
Los depósitos de Aranjuez y El Rubí son muy similares a los de tipo Kuroko por lo que sus índices de alteración se analizaron, pero debido a que la distribución de la lava dacítica (Kd_1) es restringida, se tomaron muestras del horizonte mineralizado constituido por las tobas ácidas (Kt).

En el rancho de Aranjuez en la mina La América (Fig. 19) se detectó una zona con un 90% de IAA, dicha alteración se aloja en la lava dacítica (Kd_1) y en las tobas ácidas (Kt); su presencia indica alteraciones hidrotermales relacionadas a la formación de sulfuros masivos vulcanogénicos; el depósito de la Descubridora se localiza en una zona con un IAA del 60%; por lo que no se puede asegurar con certeza si está relacionada al paso de fluidos hidrotermales.

En El Rubí (Fig. 20), el área de alteración es de menor extensión y se ubica en la lava dacítica (Kd_1) con un 80% de IAA, lo que indica una alteración relacionada al paso de soluciones hidrotermales.

V.3.4 Contenido residual de plagioclasa

La plagioclasa es un mineral que se altera fácilmente cuando las rocas que le contienen entran en contacto con los fluidos hidrotermales. La plagioclasa en Aranjuez y El Rubí, se ubican en la zona de alteración tipo III, donde no se descompone completamente.



EXPLICACION

- Aluvión
- Derrita
- Arenas brechadas y pilitos
- Arenas
- Dacita (bajo encajonante)
- Dacita (alto encajonante)
- Tobos
- Lutitos
- Lutitos calcareos

SIMBOLOS GEOLOGICOS

- Anticinal
- Falla normal
- Fractura
- Rumbo yachado
- Obra minera
- Falla en dirección

SIMBOLOS TOPOGRAFICOS

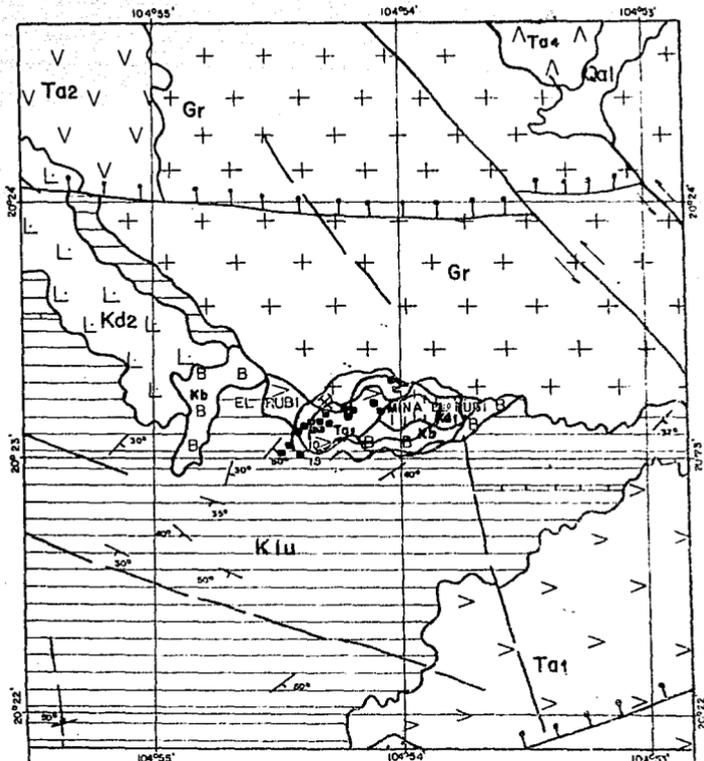
- Rancharia
- Distribución del Contenido de plagioclaso

ESCALA 1:25 000



U N A M	FACULTAD DE INGENIERIA, Nivel Profesional.
	Plano de la distribución del contenido residual de plagioclaso en el área de Aranjuez, Chilmeo.
	N. N. U. P.
	1988

FIG No. 21



EXPLICACION

- Alluvión
- Granito
- Andesitas, Tobsas y brachas soldadas
- Andesitas trochadas y piroclastos
- Andesitas de grano medio y piroclastos
- Lavas y Tobsas basálticas
- Dacita (alto encajonante)
- Dacita (bajo encajonante)
- Lutitas

SIMBOLOS GEOLOGICOS

- Faltas en Gyradas.
- Faltas normales
- Fracturas
- Rumbos yechados
- Obras mineras

SIMBOLOS TOPOGRAFICOS

- Ranchario

Distribución del contenido de plagioclasas.

FACULTAD DE INGENIERIA
 Tercer Profesional
 Plano de la distribución del
 contenido residual de plagioclasa
 en el área de El Rubí,
 Jalisco.
 M.A.U.P. 1986

FIG. No. 82

La Mina La América, se localiza en una zona con un contenido residual de plagioclasa del 5% y La Descubridora se ubica en la zona - del 10%, mientras que en El Rubí el contenido residual de plagioclasa es del 10% (Fig. 21 y 22) respectivamente.

V.4 Génesis de los yacimientos y principales características

Es muy aventurado proponer el modelo genético de un yacimiento cuando no se tienen los suficientes estudios de laboratorio que lo apoyen, por lo que el origen y formación que se proponen son inferidos basado en las observaciones de campo, investigaciones bibliográficas y - estudios de laboratorio.

Durante el Cretácico Superior, el arco magmático migra hacia el este y corresponde temporalmente con la Orogenia Laramide (Damon et al., - 1981). En los alrededores de Talpa de Allende, se deposita una secuencia vulcanosedimentaria constituida por lavas y tobas félsicas - con interestratificaciones de lutita y finos horizontes de areniscas que nos indican un ambiente de depósito en aguas tranquilas, por lo que debido a estas condiciones, la forma de los cuerpos de sulfuros masivos vulcanogénicos es generalmente lenticular y concordante con la roca huésped. A menudo se observa mena intercalada con las tobas ácidas que actúan como roca encajonante y que además sugiere un origen singenético. Contemporánea a esta actividad, y a través de las fracturas del piso de la cuenca, fluyen lavas y tobas de composición básica y fluidos hidrotermales que transportan la mineralización y - que se relacionan al emplazamiento de intrusiones graníticas relacionadas con la Orogenia Laramide (Gastil et al., 1979) y que pudieron funcionar como la fuente de calor que activó la circulación de dichos fluidos, si se considera un sistema hidrotermal (Urabe y Sato, 1978 y Urabe et al., 1983).

Una vez transportadas, fueron vertidas en el fondo de la cuenca y para que se depositaran, necesitaron cumplir con las siguientes condi-

ciones: descenso de la temperatura, lo cual se cumple ya que en el azufre (se recomienda estudios isotópicos de S para determinar su origen); la presencia de ambientes de reducción (las lutitas carbonosas que se localizan tanto en Aranjuez como en El Rubí indican este tipo de ambientes): pH ligeramente ácido (Sato, 1979), esta característica debe estar en o cerca de las tobas ácidas que hospedan a los depósitos ya que la barita presente se forma bajo estas condiciones; finalmente el proceso de sedimentación se encarga de proteger a los cuerpos de sulfuros masivos de la oxidación.

Debido a que los depósitos de Aranjuez y El Rubí presentan las siguientes características como son: tipo de mineralización constituidas por Pb-Zn-Cu-Ag, forma lenticular y concordante de la mena con la roca huésped, sulfuros son de grano fino, se concluyó que el tipo de salmuera que transportó a la mena posiblemente era del tipo II (Sato, 1977) caracterizada por un aumento inicial en su densidad excediendo a la del agua del mar y posteriormente decrece a medida que se mezcla con el agua de mar.

A continuación, se mencionan las principales características de los yacimientos de sulfuros masivos vulcanogénicos de Aranjuez y El Rubí.

- 1) La mineralización es de tipo Pb-Zn-Ag-Cu asociado a rocas volcánicas félsicas y rocas sedimentarias.
- 2) La forma del depósito, es lenticular y concordante con la roca huésped.
- 3) Los sulfuros son de grano fino, bandeados y en algunos sitios - de la parte superior de las tobas ácidas (Kt) se observan brechas mineralizadas.
- 4) La presencia de lutitas carbonosas y sulfuros masivos, indican que las condiciones fueron de reducción.

- 5) Los minerales que constituyen los cuerpos de sulfuros masivos de Aranjuez y El Rubí no son de alta temperatura.
- 6) Los resultados obtenidos en rocas analizadas por medio de rayos X, diferenciaron cinco tipos de alteraciones diferentes, - los índices de alteración alcalina y contenido residual de plagioclasa son muy similares a los obtenidos en los depósitos de sulfuros masivos vulcanogénicos de Japón. Los análisis químicos obtenidos en la clorita indican que es férrica cerca de los depósitos de Aranjuez y El Rubí contrastando con la magnésica - se presenta cerca de los yacimientos de Japón.
- 7) En los horizontes superiores, se presentan nanoplanton de ambientes poco profundos.

V.5 Geoquímica

V.5.1 Definición

La geoquímica, en sentido amplio, es el estudio de las interrelaciones, distribución y migración de los elementos químicos en las rocas, suelos, aguas, vegetación y aire. El análisis de elementos en muestras colectadas en estos ambientes conduce a la identificación de concentraciones anormales de algunos elementos que pueden estar relacionados con la presencia de un depósito mineral.

En los ambientes geoquímicos, la presión, temperatura y la disponibilidad de los componentes químicos más abundantes son los parámetros que determinan las fases en las que los minerales son estables en el el gún punto.

Así, con base en estas variables, se pueden clasificar los ambientes naturales de la tierra en 2 grandes grupos:

Ambientes primarios, los cuales se localizan en los niveles inferiores de circulación de agua meteórica, a una profundidad en la que se pueden formar rocas. Este ambiente es de alta temperatura y circulación restringida de fluidos y bajo contenido de oxígeno.

Ambiente secundario, es el ambiente de intemperismo, erosión y sedimentación de la superficie de la tierra. Este es de baja temperatura, casi a presión atmosférica y libre movimiento de soluciones (oxígeno, agua y CO_2).

V.5.2 Tipos de muestreo

Dependiendo del tamaño del área, los levantamientos geoquímicos, - pueden ser de escala regional, de semidetalle o de detalle. Los regionales generalmente consisten en el muestreo de sedimentos de arroyo y los de semidetalle o detalle en el de suelo o roca.

El paso inicial en todo levantamiento geoquímico debe ser un estudio de orientación. Este es un levantamiento limitado hecho sobre un área de mineralización conocida. Sirve para determinar la respuesta geoquímica, los límites de anomalías, la densidad del muestreo y la parte óptima del medio para el muestreo (p. ej. tamaño de la fracción de sedimentos, horizontes de suelos o tamaño de molienda de roca).

Muestreo en sedimentos de arroyo. El levantamiento geoquímico de sedimentos de arroyo de una región, se acostumbra efectuarlo usando una o varias muestras por Km^2 , dependiendo de la extensión del área, de la densidad de la red de drenaje y del tamaño de las áreas de captación. La distribución de las muestras debe hacerse señalando las áreas de drene en mapas topográficos o en fotografías aéreas. La toma de la muestra se hace en arena fina-limo de la parte del cauce todavía activa. Una técnica que se acostumbra es la del muestreo al azar en el que en vez de tomar muestra de un solo punto o de una malla geométrica, se hace en varios lugares apropiados alrededor del punto.

Existen varios tipos de levantamientos más regionales, cuyo objeto es el de delinear caracteres geológicos generales y provincias metalogenéticas en el que se utilizan densidades de 1 muestra/100 Km².

Estos pudrían compaginarse con los estudios de evaluación regional - por percepción remota.

Un método de exploración geoquímica regional de tipo integral, ha sido desarrollado por el laboratorio Científico de Los Alamos, N.M. de la Universidad de California. Este método es una generalización de su sistema Reconocimiento Hidrogeoquímico y de Sedimentos de Arroyo por Uranio diseñado para la realización del programa Evaluación Nacional de Recursos de Uranio (NURE) (Gómez, 1982).

Muestreo en suelos. Los muestreos de suelo generalmente se practican en una malla formada por líneas perpendiculares a las estructuras mineralizadas; las dimensiones de las celdas unitarias estarán en función del grano de detalle. En levantamientos a semidetalle, por ejemplo, usando una escala de 1:10,000 la separación entre líneas es de 100 m y la distancia entre muestras mientras que el levantamiento con escala de 1:5,000 se emplean 50 y 20 m, respectivamente. Este último tamaño es utilizado frecuentemente en los levantamientos geofísicos, lo que permite una comparación más fidedigna de los resultados de ambos métodos.

El suelo es el medio de muestreo más importante en la exploración - geoquímica y generalmente es el paso siguiente a los levantamientos de sedimentos de arroyo, pero aún puede utilizarse en vez de éstas - en áreas de drenaje pobre o geomorfológicamente maduras. Por ejemplo, en Pachuca se usó una malla inicial de rectángulos de 500 x 100 m las áreas anómalas se cerraron a 100 x 50 m y posteriormente, en áreas seleccionadas a 50 x 25 m (Gómez, 1982).

Muestreo en rocas (litogeoquímica). El muestreo de esquistos de roca tiene una gran importancia en las últimas etapas de exploración,

porque señala los lugares con mayores probabilidades de contener yacimientos minerales, así como los sitios de mayor concentración con base en la dispersión primaria de elementos traza, originada - por hidrotermalismo.

Debe hacerse notar que el término Litogeoquímica no sólo se aplica al muestreo de roca (escuela estadounidense) sino que algunos (escuela europea) lo hacen extensivo al muestreo de suelo y sedimentos de arroyo, sin menoscabo del significado de la palabra, ya que la raíz LITO puede referirse tanto a roca como a litósfera. Por lo anterior, puede definirse a la litogeoquímica como el estudio de la distribución de los elementos traza en la litósfera.

V.5.3 Comportamiento químico de los elementos analizados en sedimentos de arroyo.

El plomo, cobre, zinc y plata son constituyentes de los sulfuros masivos polimetálicos, dichos elementos pertenecen al grupo de los calcófilos, (Goldschmidt, 1954 en Mason, 1982) presentan afinidad con el azufre, con el que se combinan para formar sulfuros metálicos. El tipo de enlace que predomina es covalente.

A continuación se definirán algunos conceptos utilizados para interpretar los resultados obtenidos de los análisis estadísticos.

V.5.4 Elementos traza

Los elementos traza son aquellos que se presentan en las rocas en concentraciones menores a 0.1%.

El control de ocurrencia de estos elementos en las rocas está bien entendido en términos generales y se explica por la combinación de tres factores: el radio iónico, la valencia y el tipo de enlace químico.

La siguiente tabla presenta los contenidos promedios medidos en -
ppb de Pb- Zn, Cu y Ag en algunas rocas (Levinson, 1974).

	Corteza	Rocas Ult.	Basalto	Granod.	Granito	Lut.	Cz	Suelo	Agua de río
Ag	0.07	0.06	0.1	0.07	0.04	0.05		0.1	0.3
Cu	55	10	100	30	10	50	15	2- 100	7
Pb	12.5	0.1	5	15	20	10	8	2- 100	7
Zn	70	50	100	60	40	100	25	10- 100	20

El comportamiento en los elementos Zn y Cu es bastante regular y consistente ; en la plata y el plomo varían de acuerdo a la roca en que están contenidos por ejemplo el plomo tiende a decrecer en rocas de - alta temperatura.

V.5.5 Elemento explorador.

Se definen como elementos relativamente móviles que ocurren en asociación íntima con el o los elementos que se buscan pero son más fácilmente detectables por métodos analíticos. A continuación se mencionan los elementos exploradores que pueden utilizarse en la prospección de sulfuros masivos.

Zinc Ag-Pb-Zn, depósitos de sulfuros masivos en general
Zinc-Cobre Cu-Pb-Zn, depósitos de sulfuros masivos en general

En algunos casos, el elemento explorador se puede localizar en la ganga, en la mena como mineral, o bien sustituyendo a algún mineral.

Como se puede ver, el zinc y el cobre se utilizan en el caso del pre-

sente trabajo. Además, se utilizaron la plata y el plomo que constituyen parte de la mena.

Algunos geoquímicos restringen la palabra indicador, en los que uno de los elementos mayores del depósito es escogido, por ejemplo el zinc en los depósitos de sulfuros masivos polimetálicos, toman en cuenta que los elementos seleccionados como elemento explorador ocurren en ambiente primario con los elementos buscados.

V.5.6 Concepto de movilidad

La movilidad, se define como la facilidad con la que un elemento puede moverse dentro de un ambiente específico. La movilidad es muy compleja y su cálculo cuantitativo se dificulta. Una estimación empírica puede ser obtenida por comparación de elementos menores que existen en las fases móviles e inmóviles.

Observaciones empíricas realizadas en diferentes trabajos relativos a la movilidad de los metales de mena transportados en aguas en presencia de sulfatos determinaron que en la zona de enriquecimiento secundario, la Ag en ausencia de cloro, es más móvil que el plomo y oro. (Emmons, 1917, en Siegel, 1974).

El cobre es relativamente móvil en condiciones de oxidación y el zinc es extremadamente móvil en ambientes ácidos ($\text{pH} < 7$). Cabe mencionar que para el zinc, se debe tener cuidado ya que muchos modelos de dispersión secundaria, resultan de una lixiviación supergénica y la redistribución de los metales de mena, mismos que pueden ser a veces confundidos con aureolas formadas al tiempo de la depositación. Este tipo de equivocaciones es particularmente fácil que suceda con el zinc ya que es relativamente móvil en el ciclo de intemperismo, siendo rápidamente disuelto y precipitado en el ambiente de oxidación de un depósito de sulfuros. En Breckenridge, Colorado, el zinc es lixiviado fuera de la superficie, el plomo tiende a enriquecerse, aun

que se mueve a cortas distancias como componente soluble formado por la reacción con materia orgánica cerivada del humus (Lovering 1952 en Siegel, 1974). En Utah, la región está constituida por lutitas y cuarcitas y el orden de incremento en sus movilidades, es el siguiente: Pb, Au, Cu, Zn y Ag (Lovering 1952 en Siegel 1974). A continuación se presenta una tabla de las movilidades de diferentes elementos en depósitos de sulfuros en ambiente silíceos y calcáreos (Siegel, 1974).

Movilidad	Ambiente Silíceo	Ambiente Calcáreo
Móvil	S, Mo, Zn y Ag	
Intermedio	Cu, Co, Ni, Mo ^a , As	S, Mo, Zn y Ag
inmóvil	Fe, Pb y As ^a	Fe, Cu y Pb

Al hablar del orden de incremento en los compuesto a ser alterados por intemperismo, se presentan los óxidos silicatos carbonatos y los sulfuros; estos últimos son particularmente vulnerables a la oxidación. Un importante factor en la oxidación de los sulfuros, son reacciones electroquímicas las cuales se desarrollan en agregados de los sulfuros que se comportan como conductores eléctricos -- (Gottschalk and Buehler, 1912 en Siegel, 1974), en estas circunstancias, la oxidación de un mineral es favorecida más que otros, en un depósito de pirita, calcopirita y esfalerita; la esfalerita se oxidará primero debido que el Zn tiene un mayor potencial de oxidación. Algunos sulfuros primarios por ejemplo, la galena puede ser transformada en un mineral secundario insoluble (óxido), este nuevo mineral actuará como cubierta protegiendo a otros sulfuros que lo subyacen y que no han sido atacados por el intemperismo.

V.5.7 Asociación de elementos

Algunos elementos tienden a ocurrir bajo condiciones específicas.

Esta tendencia puede ser una manifestación de su movilidad relativa, ya que varía en respuesta a los cambios del ambiente.

Algunos elementos se presentan en asociaciones características a través de un amplio rango de diferentes condiciones geológicas.

La que se presenta más a menudo en sulfuros masivos (Levinson, -1974) es:

Asociación general (elementos calcófilos) S, Cu, Zn, Pb, Fe, Ag,
Au, Hg, In, Se, Te, As,
Sb, Bi, Ni, Co, Mo, Ba,
y Platino y plantinoidea.

V.5.8 Análisis estadístico en sedimentos de arroyo.

V.5.8.1 Método de Lepeltier

La metodología para obtener las anomalías fue la propuesta por Lepeltier (1969) y es la que a continuación se presenta:

- a) Selección de una población muestral representativa.
- b) Agrupamiento de los valores en un adecuado número de clases.
- c) Calcular la frecuencia de ocurrencia de cada clase y representar solamente los límites de clase: ésto da como resultado un histograma.
- d) Suevizar el histograma y obtener una curva de frecuencia.
- e) Representar la frecuencia acumulada como ordenadas, dando como resultado una curva de frecuencia acumulada, la cual es la integral de la curva de frecuencia.
- f) Sustituir en la escala de ordenadas aritméticas con una escala de papel probabilidad, la curva de frecuencia acumulada, queda representada por una línea recta.

En la curva de frecuencia se puede estimar gráficamente el valor normal (b) y el límite superior (t).

La desviación estandar (S) es una notación compleja la cual puede ser un término condicional, estadísticamente depende en el nivel de probabilidad seleccionada y del comportamiento de la población.

A continuación se explicará cómo obtener b y t.

Una línea recta denota una sola población con distribución log - normal en este caso, el valor normal es obtenido por la intersección de la línea recta con el 50%.

Después del valor normal, el límite superior (t) es el otro parámetro más importante. Se obtiene en el caso de una distribución simétrica, en el rango contenido de 0-2.5% o 97.5-100% según se empieza a graficar con los valores mayores o menores.

A continuación se presenta un breve resumen del programa GEOR que fue uno de los métodos con los que se obtuvieron las anomalías.

4.5.8.2 Funcionamiento del programa "GEOR"

Los resultados estadísticos del muestreo de sedimentos de arroyo, fueron procesados por medio de programa de computadora "GEOR". Este programa pertenece al C.R.M. (Gerencia de Estudios Especiales) el sistema GEOR está formado por 2 subsistemas.

1.- Subsistema de interpretación estadística, el cual está integrado por un solo programa "GEOR" cuyas funciones son:

- a) Calcular para cada elemento analizado y según las interpretaciones "Log A Normal" y "Log Normal", los valores de anomalías geoquímicas.

b) Calcular para cada par de elementos, la matriz de correlación lineal.

2.- El subsistema de graficación, integrado por 3 programas; ROTA, LECHEM y REDBERG y el paquete de graficación Contour. Su función es obtener el plano de isomafías geoquímicas para cada elemento.

El análisis que realiza para cada elemento será:

I.- Valores estadísticos descriptivos de los resultados de análisis geoquímicos, con determinación de valores máximos y mínimos, y cálculos de las medidas aritméticas y geométricas, varianzas, - desviación estandar y coeficiente de variabilidad (Tablas 1, 2, 3 y 4).

II.- Histograma (Ant. y Log.) de los porcentajes de frecuencia.

III.- Gráficas (Aritméticas y logarítmica) de la probabilidad de la distribución acumulada de frecuencia.

IV.- Cálculo, por método de mínimos cuadrados, de las ecuaciones de la recta de mejor ajuste a las nubes de puntos de las gráficas (Ant. y Log) de la probabilidad de la distribución acumulada de frecuencia.

V.- Tablas de valores, a partir de las ecuaciones de las rectas de mejor ajuste, que corresponde a los percentiles 10, 20, 40, 60, 80, 95, 99 y 99.99 para cada par de elementos.

VI.- Matriz de correlación lineal con el cálculo de covarianza, coeficiente de correlación lineal, confiabilidad de dicho coeficiente y ecuación de la recta de mejor ajuste.

Otro método fué obtener gráficamente los valores de las anomalías -

	INTERPRETACION ARITMETICA	INTERPRETACION LOGARITMICA
\bar{X}	32.434	1.338
G_M	26759	
S	810.039	0.181
SD	28.461	0.426
CV	87.75%	31.81%
(SUM Cu)	48880.00	1979.698
(SUM Cu *Cu)	3744450.00	2915.904

Símbología: Media aritmética (\bar{X}), media geométrica (G_M), varianza (S), desviación estándar (SD), coeficiente de variabilidad (CV), sumatoria del Cu (SUM Cu), sumatoria al cuadrado de Cu (SUM Cu *Cu).

U	Facultad de Ingeniería
N	Parámetros estadísticos obtenidos para el Cu
A	Hugo Alfredo Omeña P.
M	1988 Tabla No. 1

	INTERPRETACION ARITMETICA	INTERPRETACION LOGARITMICA
\bar{X}	75.931	1.817
G_m	65.557	
S	3962.527	0.056
SD	62.949	0.237
CV	82.90	
(SUM Zn)	112378.00	2688.598
(SUM Zn *Zn)	1439356.0	4967.030

Simbología: Media aritmética (\bar{X}), media geométrica (G_m), varianza (S), desviación estándar (SD), coeficiente de variabilidad (CV), sumatoria del Zinc (SUM Zn), cuadrado de la sumatoria del Zinc (SUM Zn *Zn).

U	Facultad de Ingeniería
N	Parámetros estadísticos obtenidos para el Zn
A	Hugo Alfredo Ocaña P.
M	1 9 8 8 Tabla No. 2

	INTERPRETACION ARITMETICA	INTERPRETACION LOGARITMICA
\bar{X}	1.246	- 0.255
G_M	1.29	
S	50.349	0.400
SD	7.096	0.633
CV	569.61%	85.95%
(SUM Ag)	1843	-1089.382
(SUM Ag * Ag)	76761.0	1393.769

Simbología: Media aritmética (\bar{X}), media geométrica (G_M), varianza (S) desviación estándar (SD), coeficiente de variación (CV), sumatoria de (SUM Ag) cuadrado de la sumatoria del Ag (SUM Ag * Ag).

U	Facultad de Ingeniería
N	Parámetros estadísticos obtenidos para Ag
A	Hugo Alfredo Omaña P.
M	1 9 8 8 Tabla No. 3

	INTERPRETACION ARITMETICA	INTERPRETACION LOGARITMICA
\bar{X}	41.864	1.535
G_M	34.247	
S	1708	0.081
SD	41.321	0.285
CV	98.70	18.56%
(SUM Pb)	61959	2271.235
(SUM Pb *Pb)	5119111.00	3605.352

Simbología: Media aritmética (\bar{X}), meda geométrica (G_M), varianza (S), desviación estándar (SD), coeficiente de variación (CV), sumatoria de Plomo - (SUM Pb) cuadrado del SUM de Pb (SUM Pb *Pb).

U	Facultad de Ingeniería	
N	Parámetros estadísticos obtenidos para el Pb	
A	Hugo Alfredo Ochoa P.	
M	1988	Tabela No. 4

INTERVALOS	LIMITE DE INTERVALOS	MARCA DE CLASE	FRECUENCIA	FRECUENCIA RELATIVA(%)	FRECUENCIA RELATIVA ACUMULADA
1	0-9	4.5	250	17.1	17.1
2	10-19	14.5	377	25.8	42.9
3	20-29	24.5	227	15.5	58.4
4	30-39	34.5	174	11.9	70.3
5	40-49	44.5	122	8.3	78.6
6	50-59	54.5	84	5.7	84.3
7	60-69	64.5	63	4.3	88.6
8	70-79	74.5	53	3.6	92.2
9	80-89	84.5	32	2.2	94.4
10	90-99	94.5	27	1.8	96.2
11	100-109	104.5	35	2.4	98.6
12	100-119	114.5	1	0.1	98.7
13	120-129	124.5	4	0.3	99
14	130-139	134.5	3	0.2	99.2
15	140-149	144.5	5	0.3	99.5
16	150-159	154.5	1	0.1	99.6

17	200-209	204.5	2	0.1	99.7
18	210-219	214.5	1	0.1	99.8

19	230-239	234.5	1	0.1	99.9

20	1000-1009	1004.5	1	0.1	100.

U N A M	<u>Facultad de Ingeniería</u>		
	Parámetros utilizados para determinar valores de anomalías del Cu (por el método de Lepeltier.		
	H.A.O.P.	1998	Tabla II-1

INTERVALOS	LIMITE DE INTERVALOS	MARCA DE CLASE	FRECUENCIA	FRECUENCIA RELATIVA(%)	FRECUENCIA RELATIVA ACUMULADA
1	0-9	4.5	2	0.1	0.1
2	10-19	14.5	12	0.8	0.9
3	20-29	24.5	43	3.0	3.9
4	30-39	34.5	84	5.8	9.7
5	40-42	44.5	156	10.9	20.6
6	50-59	54.5	223	15.5	36.1
7	60-69	64.5	263	18.3	54.4
8	70-79	74.5	222	15.5	69.9
9	80-89	84.5	140	9.7	79.6
10	90-94	94.5	76	5.3	84.9
11	100-109	104.5	99	6.9	91.8
12	110-119	114.5	23	1.6	93.4
13	120-129	124.5	14	1.0	94.4
14	130-139	134.5	4	0.3	94.7
15	140-149	144.5	8	0.6	95.3
16	150-159	154.5	5	0.3	95.6
17	160-169	164.5	4	0.3	95.9
18	170-179	174.5	7	0.5	96.4
19	180-189	184.5	2	0.1	96.5
20	190-199	194.5	2	0.1	96.6
21	200-209	204.5	21	1.5	98.1
22	210-219	214.5	2	0.1	98.2
23	220-229	224.5	4	0.3	98.5
24	230-239	234.5	3	0.2	98.7
25	240-249	244.5	1	0.1	98.8
26	250-259	254.5	2	0.1	98.9
27	270-279	274.5	1	0.1	99.0
28	300-309	304.5	4	0.3	99.3
29	370-379	374.5	1	0.1	99.4
30	400-409	404.5	1	0.1	99.5
31	430-439	434.5	1	0.1	99.6
32	460-469	464.5	1	0.1	99.7
33	470-479	474.5	1	0.1	99.8
34	500-509	504.5	1	0.1	99.9
35	580-589	584.5	1	0.1	100

	Facultad de Ingeniería	
U	Parámetros utilizados para determinar valores de anomalías del Zn por el método de Lepeltier.	
N		
A		
M	H.A.O.P. 1988	Tabla II-2

INTERVALOS	LIMITE DE INTERVALOS	MARCA DE CLASE	FRECUENCIA	FRECUENCIA RELATIVA(%)	FRECUENCIA RELATIVA ACUMULADA
1	2-3	2.5	37	17.3	17.3
2	4-5	4.5	82	38.3	55.6
3	6-7	6.5	47	22.0	77.6
4	8-9	8.5	15	7.0	84.6
5	10-11	10.5	7	3.3	87.9
6	12-13	12.5	9	4.2	92.1
7	14-15	14.5	2	0.9	93.0

8	18-19	18.5	2	0.9	93.9
9	20-21	20.5	2	0.9	94.8
10	22-23	22.5	2	0.9	95.7

11	26-27	26.5	1	0.5	96.2
12	28-29	28.5	3	1.4	97.6
13	30-31	30.5	2	0.9	98.5

14	42-43	42.5	1	0.5	99.0

15	132-133	132.5	1	0.5	99.5

16	164-165	164.5	1	0.5	100.

U	Facultad de Ingeniería	
N	Parámetros utilizados para determinar valores de anomalías del Ag por el método de Lepeltier.	
A		
M	H.A.O.P.	1988 Table II-3

INTERVALOS	LIMITE DE INTERVALOS	MARCA DE CLASE	FRECUENCIA	FRECUENCIA RELATIVA(%)	FRECUENCIA RELATIVA ACUMULADA
1	0-9	4.5	27	1.9	1.9
2	10-19	14.5	39	2.7	4.6
3	20-29	24.5	440	30.7	35.3
4	30-39	34.5	37	2.6	37.9
5	40-49	44.5	525	36.6	74.5
6	50-59	54.5	28	2.0	76.5
7	60-69	64.5	219	15.3	91.8
8	70-79	74.5	8	0.6	92.4
9	80-89	84.5	67	4.7	97.1
10	90-99	94.5	2	0.1	97.2
11	100-109	104.5	22	1.5	98.7
12	110-119	114.5	3	0.2	98.9
13	120-129	124.5	4	0.3	99.2
14	140-149	144.5	2	0.1	99.3
15	160-169	164.5	1	0.1	99.4
16	170-179	174.5	1	0.1	99.5
17	180-189	184.5	1	0.1	99.6
18	200-209	204.5	3	0.2	99.7
19	250-259	254.5	1	0.1	99.8
20	300-309	304.5	1	0.1	99.9
21	320-329	324.5	1	0.1	100

U N A M	Facultad de Ingeniería		
	Parámetros utilizados para determinar valores de anomalías del Pb por el método de Lepeltier		
	H.A.O.P.	1988	Tabla 11-4

baja, media y alta, las tablas II. 1. II.2, II.3 y II.4 representan dichos valores.

V.5.8.3 Resultado de las anomalías obtenidas por el método de Lepeltier en sedimentos de arroyo.

Cobre: Los valores determinados para los diversos tipos de anomalías, se presentan en la Tabla 5; en la secuencia vulcanosedimentaria del período Cretácico, se detectó una anomalía alta de Cu, - la cual está asociada a anomalías altas de Pb-Zn-Ag por lo que se considera una anomalía múltiple. Esta muestra fué colectada en la localidad de El Rubí (ver Plano 3).

TABLA NO 5

Tipo de anomalía	valor (ppm)
Anomalía baja	64-92
Anomalía media	92-181
Anomalía alta	181

Tabla No. 5.a, nos indica la localización, número de muestra y valor en ppm.

TABLA NO. 5.a

NO de M.	Localización	Valor (ppm)
90	El Rubí	490

En el área de Aranjuez, se detectaron magnitudes que se clasificaron como anomalías medias y bajas predominando las segundas, su comportamiento de ambas está definido pues tienden a agruparse y se localizan en el litosoma constituido por lutitas y areniscas (Klu) ver la (Fig. 23).

En El Rubí su comportamiento es similar al que se presenta en Aranjuez, pero los valores de las anomalías medias y bajas son más frecuentes (Fig. 24), es de hacer notar que en esta área predominan las lutitas y areniscas (Klu).

Desde el punto de vista exploración, se recomienda utilizar el Cu en el área de El Rubí dada su movilidad y distribución, ya sea en sedimentos de arroyo en lugares donde se presentan anomalías bien distribuidas con el objeto de conocer mejor su movilidad y su tendencia a incrementarse o a disminuir y posteriormente seleccionar las zonas que se consideran de mayor interés y realizar muestreos de suelos para tener mayor información del Cu y tratar de determinar el comportamiento del Pb y el Zn en esta área.

Zn: El zinc no significó ningún problema al determinar sus diferentes tipos de anomalías, ya que su población se ajusta a una línea recta (Gráfica 2).

Las tablas No. 6 presentan los valores que se consideraron como anomalías y la tabla No. 6.a, el número de muestras, localización y su valor en ppm. (Ver el plano 3).

Tabla No 6

Tipo de anomalía	Valor (ppm)
Anomalía baja	125-178
Anomalía media	178-354
Anomalía alta	354

TÁBLA Nº 6.a

Nº de K.	Localización	Valor (ppm)
12	Aranjuez	2360
13	Aranjuez	940
14	Aranjuez	1000
20	La América	372
21	La Descubridora	468
90	El Rubí	4500

En Aranjuez el Zn se detectó con magnitudes clasificadas como anomalías altas, ya sea en forma individual o asociada a valores considerados como anomalías altas de Pb o Ag, en áreas cercanas a los depósitos.

Cabe mencionar que algunas muestras fueron colectadas aguas abajo de las obras mineras en donde el Zn constituye parte de la mena.

Los litosomas donde se alojan las anomalías altas, son lavas de composición dacítica (Kd_1) y (Kd_2) y tobas ácidas donde éstas últimas hospedan a los sulfuros masivos vulcanogénicos.

En cuanto a otro tipo de anomalías se detectaron cuatro clasificadas como bajas (Fig. 25), su distribución es errática y se ubican en las lutitas y areniscas (Klu).

En El Rubí se localiza una muestra clasificada como anomalía múltiple ya mencionada y que se detectó en las lutitas y areniscas (Klu). Solo se determinaron anomalías bajas, su distribución es errática (Fig. 26) y se presentan en el litosoma constituido por las lutitas y areniscas (Klu).

En resumen, el comportamiento del zinc varía; en Aranjuez es donde localizan las anomalías altas contenidas en las rocas que pertenecen a la secuencia vulcanosedimentaria. En El Rubí se detectó una anomalía múltiple.

En ambas áreas solo existen anomalías bajas y su comportamiento es similar, se localizan en el litosoma constituido por las lutitas y areniscas (Klu), no se presentan anomalías intermedias.

En Aranjuez se recomienda muestreo a detalle en suelos por Pb-Zn en las unidades donde se localizan los depósitos de sulfuros masivos para obtener mayor información acerca de su movilidad y su distribución para determinar zonas de mayor interés.

En El Rubí ya se mencionó el tipo de estudios recomendados cuando se trató el elemento Cu.

Ag: El valor del 75% de la población muestreada fue nulo, la Tabla N° 7 presenta los rangos de cada anomalía en ppb.

El análisis estadístico determinó 3 distintas poblaciones procediendo a ajustar las dos primeras a una sola por medio de una recta, ya homogeneizadas estas poblaciones se determinaron los diversos tipos de anomalías, quedando contenidas la media y la baja en el rango de valores que corresponden a la primera población; la anomalía alta quedó contenida en las magnitudes que comprenden la segunda población; por lo respecta a la tercera población, se consideró que su rango de valores eran muy altos.

TABLA N° 7

Tipo de anomalía	Valor ppm
anomalía baja	0-11
anomalía media	11-17
anomalía alta	17

A continuación la Tabla 7.a enlista las muestras de sedimentos de arroyo clasificadas como anomalías altas, la localidad donde se tomaron y su magnitud (ppm).

TABLA NO 7.a

No. de M.	Localización	Valor (ppm)
13	Aranjuez	20
14	Aranjuez	19
12	Aranjuez	21
90	El Rubí	20

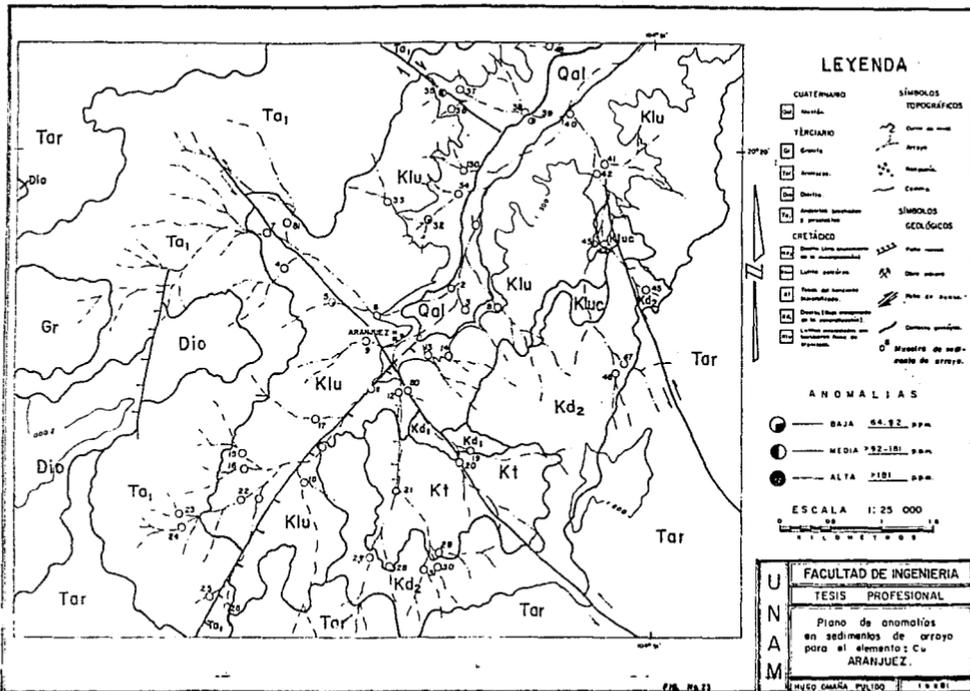
En Aranjuez se detectó como anomalía alta; siempre se presenta asociada al Zn o bien Zn-Pb. Tanto en Aranjuez como en El Rubí no se presentan otro tipo de anomalías (Fig. 27 y 28 y plano 3).

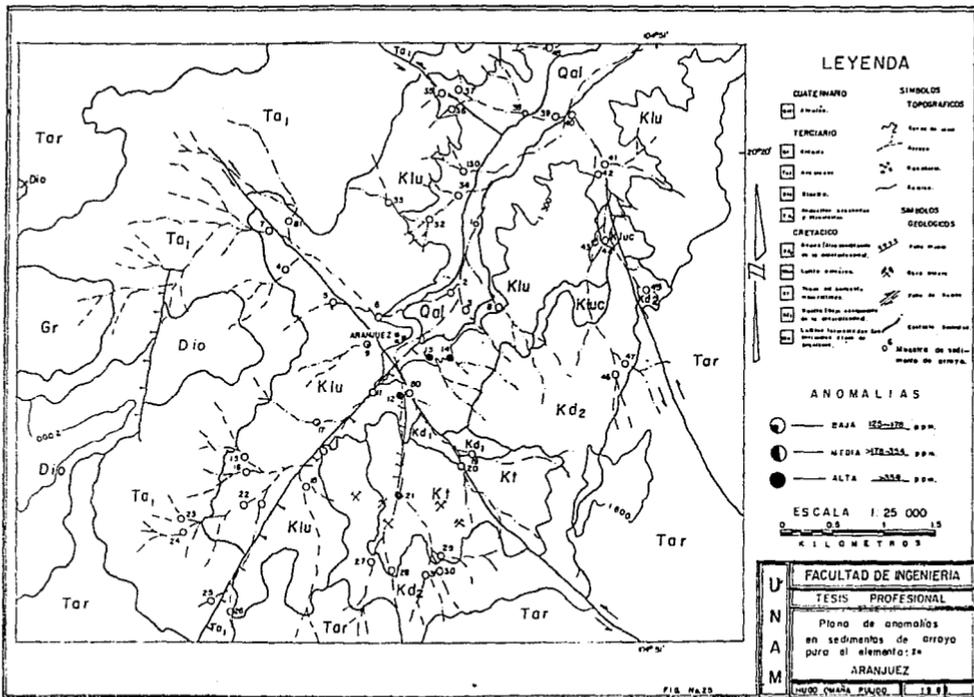
Para este elemento no se recomienda ningún tipo de análisis geoquímicos ni en suelos ni de sedimentos debido a su poca movilidad en el presente estudio.

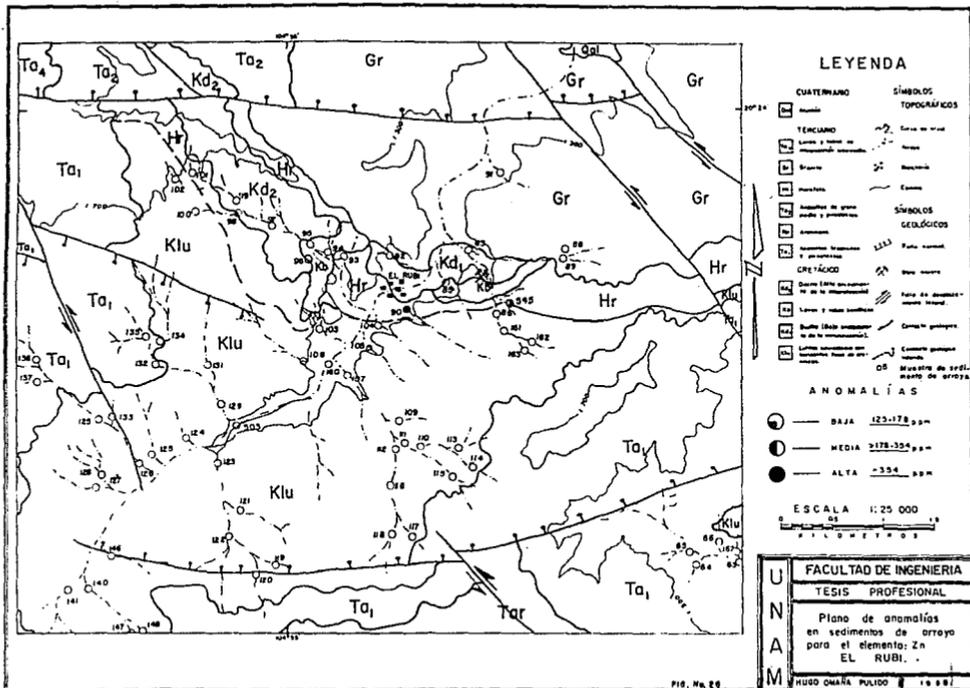
Plomo: Por lo que respecta al comportamiento poblacional, el histograma arrojó dos poblaciones, la tabla 8 muestra los valores de las anomalías, correspondiente a la más alta a 120 ppm, el criterio para seleccionarlo fué el propuesto por Lepeltier (1969) optando por tomar el mayor de la primera población ya que contiene al 98% del total muestreado.

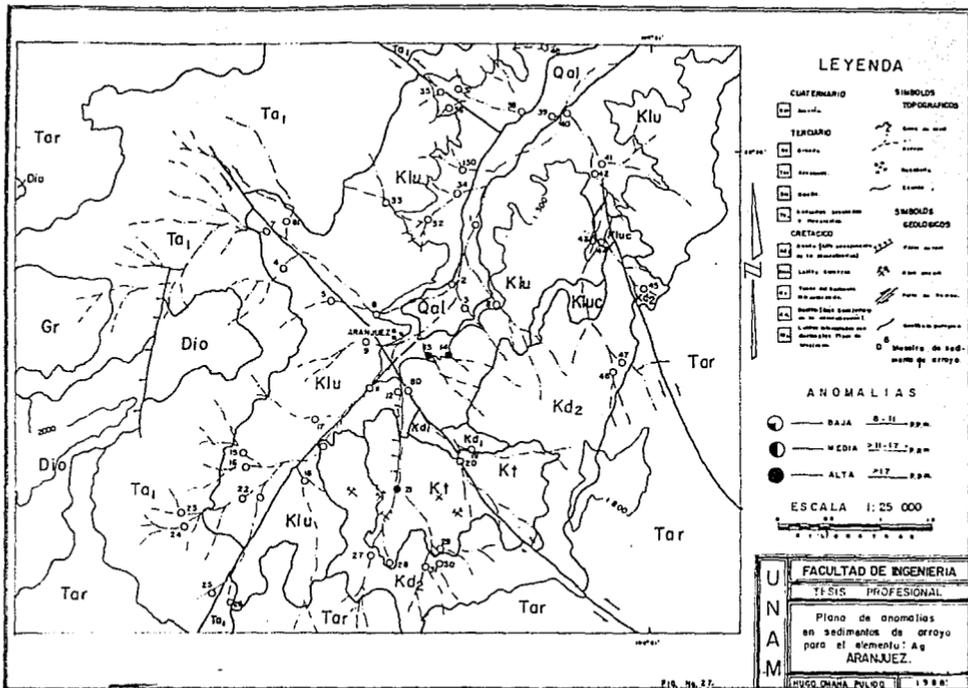
TABLA NO 8

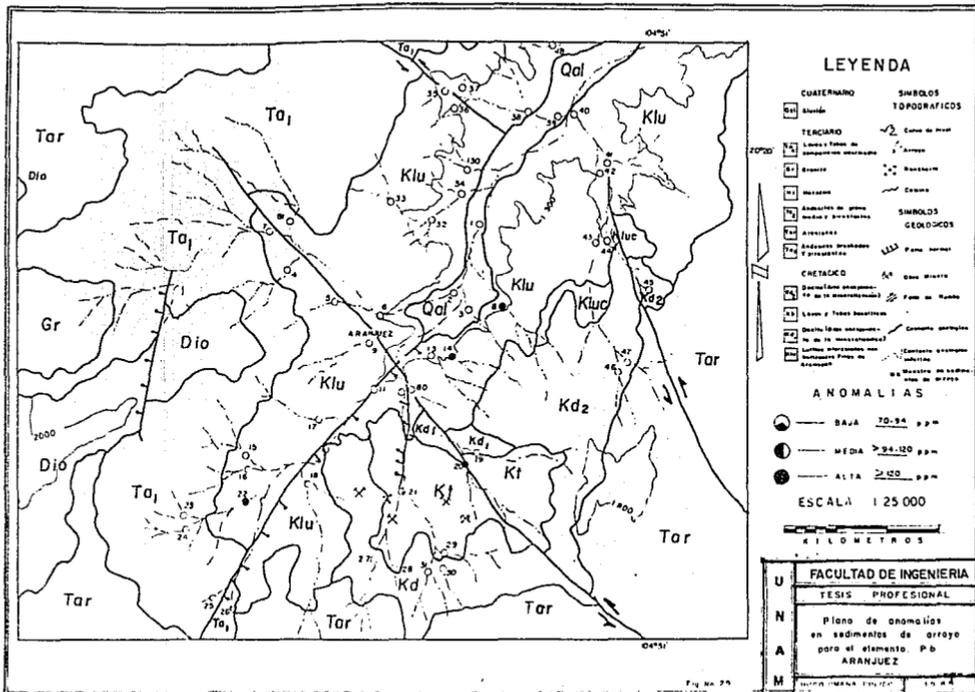
Tipo de anomalía	Valor (ppm)
Anomalía baja	70-94
Anomalía media	94-120
Anomalía alta	120











Ubicación de las muestras que presentan anomalías altas:

TABLA Nº 8.a

No. de M.	Localización	Valor (ppm)
8	La América	160
14	La América	200
20	La América	140
90	El Rubí	1000

En Aranjuez los valores clasificados como anomalías altas se localizan en las cercanías de los depósitos de sulfuros masivos vulcanogénicos y en las rocas que guardan relaciones espacio-temporales con la génesis y depósito de la mineralización. Cabe mencionar que algunas muestras están contaminadas por la presencia de obras mineras.

Los valores de plomo clasificados como anomalías altas, se presentan individual, asociada a valores anómalos de Zn o de Zn-Ag. Se detectaron únicamente dos muestras con valores que corresponden a dos -- anomalías, una media y una baja, ambas se localizan en el litosoma -- constituido por las lutitas y areniscas (Klu) (Fig. 29).

En El Rubí, se detectó una muestra con anomalía alta múltiple de Pb-Zn-Ag-Cu ya mencionada, por lo que respecta a otro tipo de anomalía, se obtuvieron dos que fueron clasificadas como media y baja (Fig.30).

Las recomendaciones son análogas a las mencionadas para el zinc.

V.5.8.4 Regresión y Correlación

REGRESION: En muchas ocasiones se encuentra que existe una relación entre las concentraciones de los dos elementos, se pueden expresar en forma matemática.

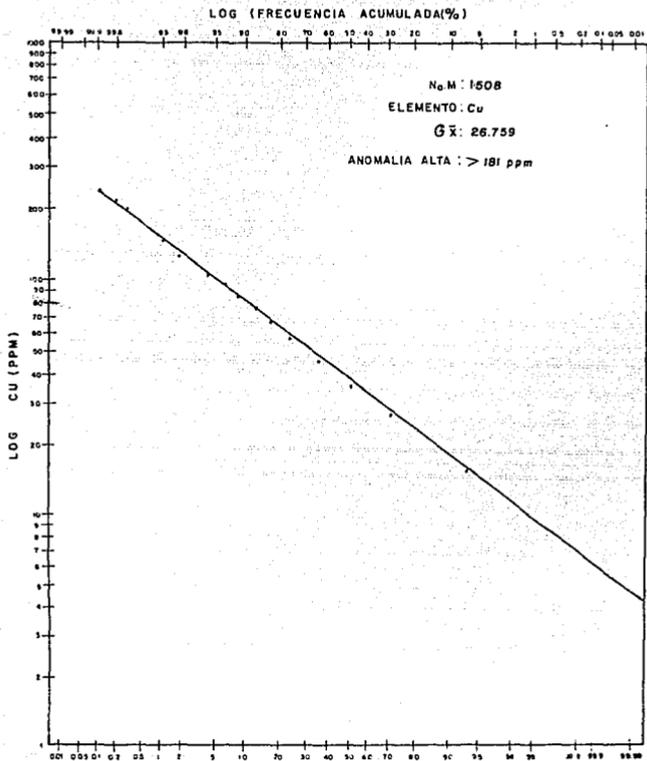
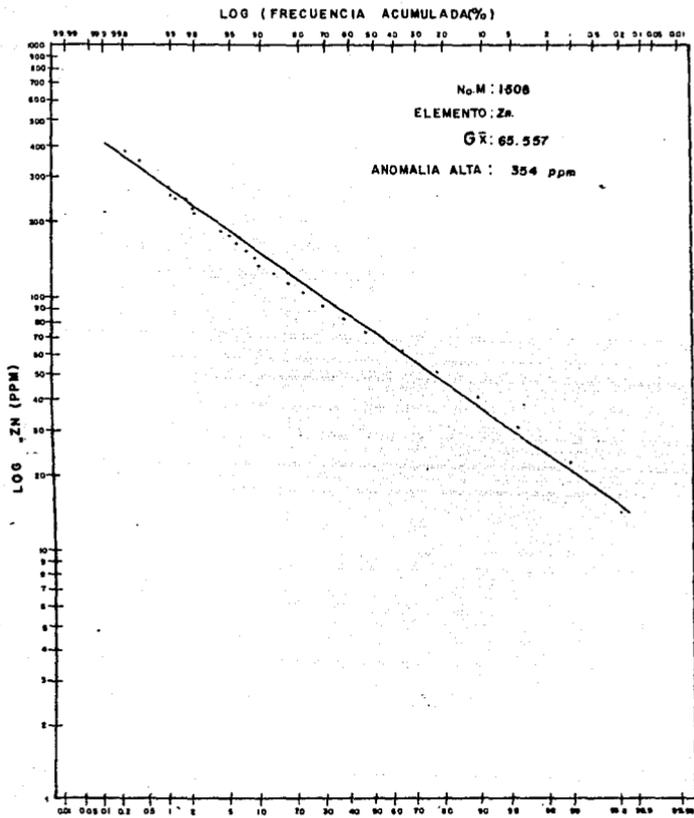


Gráfico Nº : 1

U N A M	FACULTAD DE INGENIERIA.
	Gráfica de frecuencia acumulada normalizada para determinar anomalías (Lepeltier, 1965) elemento Cu.
	M.A.U.F. 1968



Gráfica N°: 2

U N A M	FACULTAD DE INGENIERIA.	
	Gráfico de frecuencia acumulada normalizada para determinar anomalías (Lepeltier, 1969) elemento Zn.	
	H.A.D.P.	1988

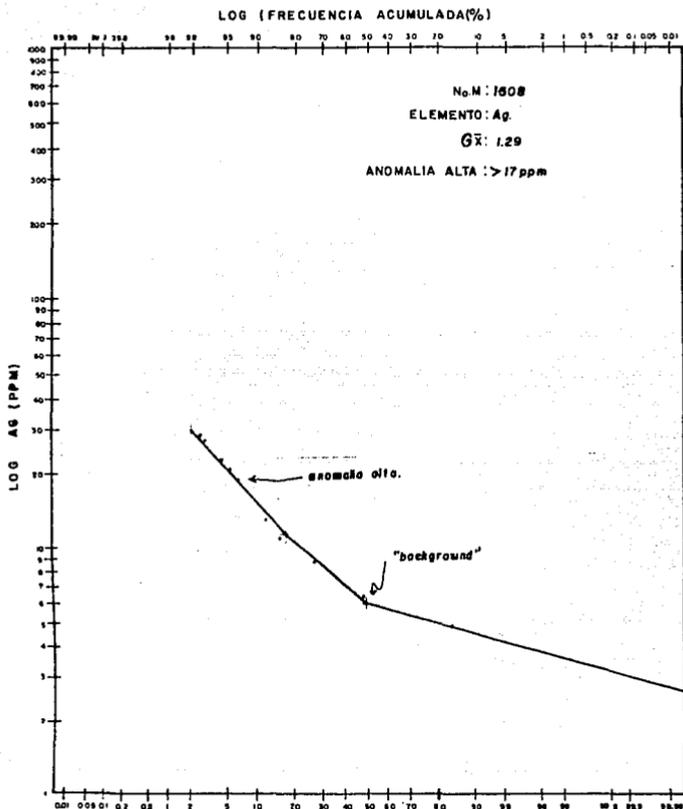


Gráfico N° 3

U N A M	FACULTAD DE INGENIERIA.	
	Gráfica de frecuencia acumulada normalizada para detectar anomalías (Lepeltier, 1969) elemento Ag.	
	H.A.U.P.	1988

(ppm)
Ag

U	FACULTAD DE INGENIERIA.	
N	Representación gráfica de los pares de valores de -	
A	Ag-Zn en 1500 muestras de sedimentos de arroyo.	
M	H.A.O.P.	1988

GRAFICA No. 5

Log

DIAGRAMA DE DISPERSION (Ag-Zn)
Nº DE MUESTRAS: 1500

Log

Zn (ppm)

(ppm)

Pb

U N A M	FACULTAD DE INGENIERIA.
	Representación gráfica de los pares de valores de -- Pb-Zn en 1508 muestras de sedimentos de arroyo.
	H.A.O.P. 1988

GRAFICA No. 6

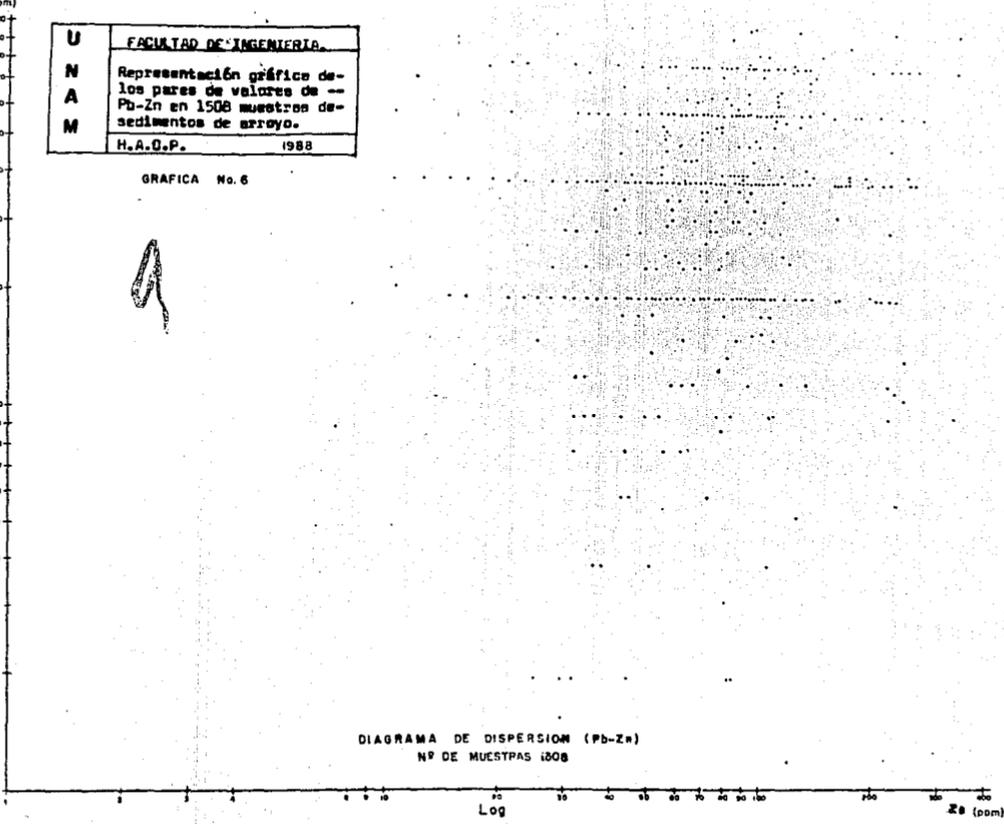
1

Log

DIAGRAMA DE DISPERSION (Pb-Zn)
Nº DE MUESTRAS 1508

Log

Zn (ppm)

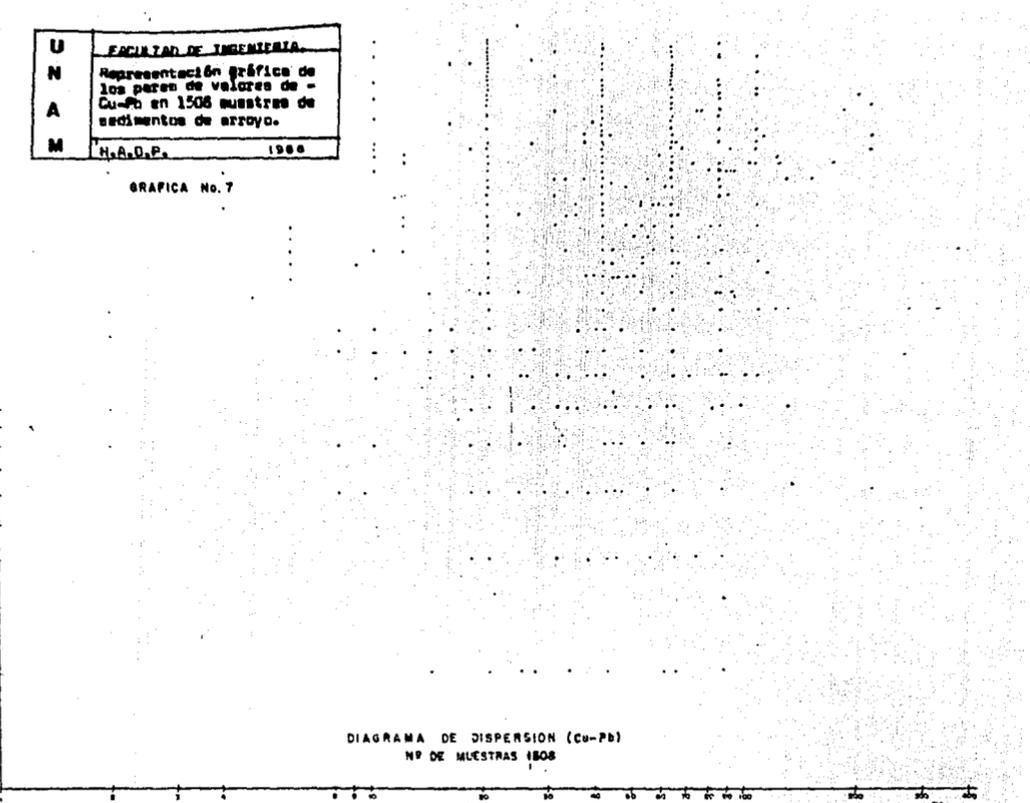


(ppm)
 1000
 500
 200
 100
 50
 20
 10
 5
 2
 1
 Log
 1
 2
 3
 4
 5
 6
 7
 8
 9
 10
 11
 12
 13
 14
 15
 16
 17
 18
 19
 20
 21
 22
 23
 24
 25
 26
 27
 28
 29
 30
 31
 32
 33
 34
 35
 36
 37
 38
 39
 40
 41
 42
 43
 44
 45
 46
 47
 48
 49
 50
 51
 52
 53
 54
 55
 56
 57
 58
 59
 60
 61
 62
 63
 64
 65
 66
 67
 68
 69
 70
 71
 72
 73
 74
 75
 76
 77
 78
 79
 80
 81
 82
 83
 84
 85
 86
 87
 88
 89
 90
 91
 92
 93
 94
 95
 96
 97
 98
 99
 100
 Log
 Pb (ppm)

U N A M	FACULTAD DE INGENIERIA.
	Representación gráfica de los pares de valores de - Cu-Pb en 1506 muestras de sedimentos de arroyo.
	H.A.D.P. 1966

GRAFICA No. 7

DIAGRAMA DE DISPERSION (Cu-Pb)
 NP DE MUESTRAS 1506



Cu

U	FACULTAD DE INGENIERIA
N	Representación gráfica de los pares de valores de Cu-Pb en 150 muestras de sedimentos de arroyo pertenecientes al período Cretácico.
A	
M	H.A.D.P. 1988

GRAFICA No. 8

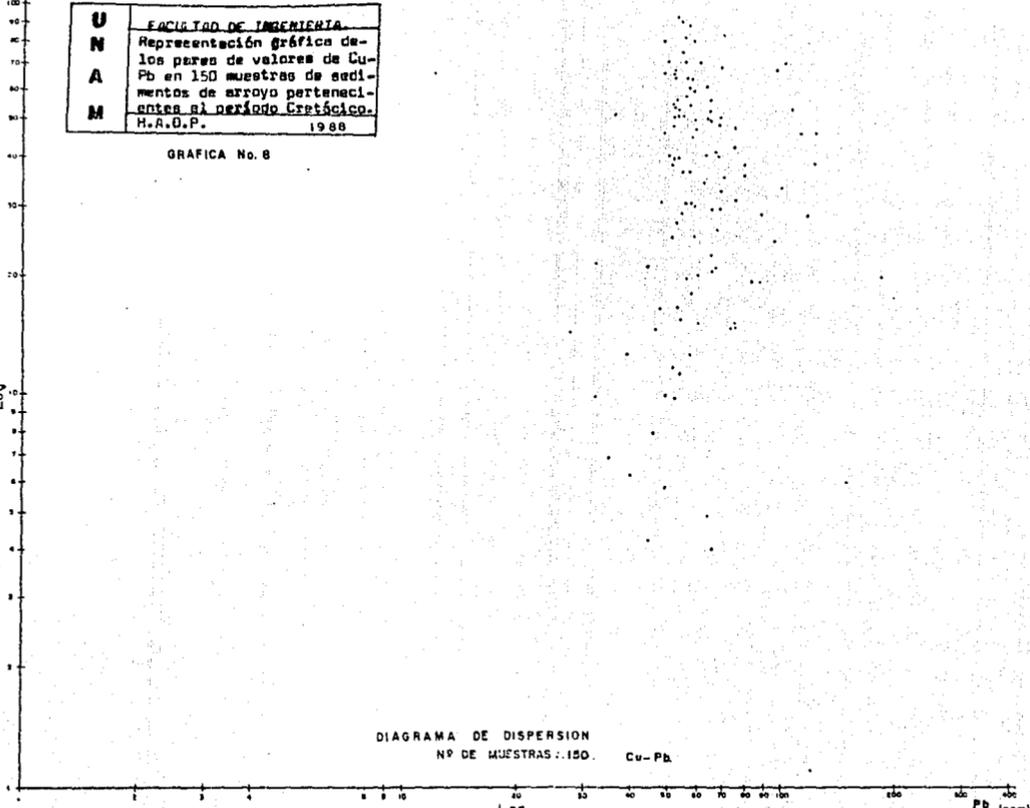
Log

DIAGRAMA DE DISPERSION
Nº DE MUESTRAS : 150.

Cu-Pb

Log

Pb (ppm)



Pb (ppm)



U	FACULTAD DE INGENIERIA.
N	Representación Gráfica de -
A	los pares de valores de Pb -
M	Zn en 150 muestras de sedi- mentos de arroyo perteneci- entes al período Cretácico.
	Mar. J. P. 1988

GRAFICA No. 9

DIAGRAMA DE DISPERSION

NP DE MUESTRAS (100): Pb-Zn.

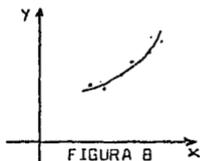
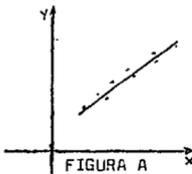
Zn (ppm)



El primer paso para encontrar esa relación es la colección de - datos indicando los valores correspondientes de las dos variables por ejemplo, si X,Y denotan los elementos plomo (Pb) y zinc (Zn) respectivamente, entonces se tendrá un conjunto de datos.

Pb	x_1	x_2	x_3	x_n
Zn	y_1	y_2	y_3	y_n

El paso siguiente es representar gráficamente las parejas ordenadas del Pb y Zn en un sistema de coordenadas rectangulares, resultando un diagrama de dispersión; así se observa que los datos graficados se aproximan a una recta (Fig. A); se dice que existe una relación lineal entre las variables cuya ecuación es $Y=mx+b$, en ocasiones la regresión no es lineal por ejemplo, en la (Fig. B) se propondría una curva cuadrática cuya ecuación es $Y=a+bx+cx^2$.



Algunas veces conviene dibujar los diagramas de dispersión en términos de variables transformadas por ejemplo $\log y$ vs x cuya ecuación es una recta $\log y=mx+b$, etc.

La curva de regresión es una función que relaciona cada valor particular de una variable independiente X con el correspondiente valor de la variable Y.

Un método para estimar los parámetros de las ecuaciones de regresión, consiste en minimizar la suma de los cuadrados de las diferencias (G) que existen entre los valores experimentales de la varia-

ble dependiente (Y_i) y las que se calcularán con la correspondiente ecuación de regresión (Y_{ci}). Es decir si:

$$G = (Y_i - Y_{ci})^2$$

entonces como $Y_{ci} = f(X_i)$ se estimarán los parámetros de esta ecuación que minimicen a G.

El método anterior es llamado de Mínimos Cuadrados.

El coeficiente de correlación lineal, se define por $R = \frac{\sum xy}{\sqrt{\sum x^2 \sum y^2}}$, mide

que también la recta de regresión se ajusta a los datos muestrales. Si la variación total se explica de manera clara por la recta de regresión, es decir si $r^2=1$ o $r=\pm 1$ decimos que hay una correlación lineal perfecta.

El coeficiente de correlación lineal puede ser negativo o positivo. Si r es positivo y tiende a aumentar con x (la pendiente de la recta de mínimos cuadrados es +), en tanto si r es negativo y tiende a disminuir con x (la pendiente de la recta de mínimos cuadrados es -).

En la Tabla 9 se presentan los resultados de las correlaciones en se-
sionamientos de arrayo.

	Zn	Ag	Pb	Cu
Zn	1			
Ag	0.014	1		
Pb	0.165	0.02	1	
Cu	0.476	0.0	0.125	1

Tabla 9. Resultado de coeficientes de correlación para 1508 muestras

Los valores obtenidos en las correlaciones, muestran que no existe ningún tipo de relación. Esta correlación se obtuvo de aplicar la ecuación de una recta en sistema coordinado cartesiano, se g: los datos en papel semilog y log sin poder aplicar algún tipo de ecuación conocido ver (Graf. 5, 6 y 7).

Pero el mayor interés es determinar el comportamiento de los sedimentos en el período Cretácico, por lo que se realizó el análisis de regresión de sedimentos de arroyo pertenecientes a dicho período. Los coeficientes de correlación encontrados son: los mostrados en la Tabla 10 (Graf. 8 y 9).

	Zn	Ag	Pb	Cu
Zn	1			
Ag	0.71	1		
Pb	0.81	0.51	1	
Cu	0.06	-0.09	0.05	1

Se observa que el valor del coeficiente de correlación obtenido en la pareja de valores Pb-Zn es alto, la segunda en importancia es Zn-Ag y la tercera Pb-Ag, lo que concuerda con los resultados de anomalías obtenidos en sedimentos de arroyo.

El Pb-Zn tiene un coeficiente de correlación alto, lo que se interpreta como una relación genética entre ambos elementos y ahora se está en condiciones de predecir los valores del plomo o del zinc dependiendo de cual sea la variable dependiente y la independiente. - Análogamente para el caso Zn-Ag y Pb-Ag.

V.5.9 Análisis estadísticos en rocas

Se colectaron 102 muestras para analizar por roca entera (13 óxidos)

Las cuales pertenecen tanto a la secuencia volcansedimentaria - (80 ejemplares) y el Terciario (22 ejemplares).

Los componentes por los que se examinaron son:

SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, FeO, MnO, CaO, Na₂O, K₂O, P₂O₅, BaO y LOI.

Una vez obtenidos los resultados de estos análisis, se calcularon los siguientes estadísticos coeficientes de correlación, componentes principales y análisis de cúmulos.

V.5.9.1 Regresión y correlación.

Coefficiente de correlación, este método ya ha sido explicado anteriormente (ver mínimos cuadrados) La tabla 11 presente los resultados.

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	BaO	LOI
SiO ₂	1											
TiO ₂	-0.46	1										
Al ₂ O ₃	-0.83	0.31	1									
Fe ₂ O ₃	-0.13	0.40	0.10	1								
FeO	-0.09	0.03	-0.07	-0.15	1							
MnO	-0.35	0.28	0.23	0.17	0.52	1						
CaO	-0.21	0.12	0.09	-0.12	0.39	0.48	1					
Na ₂ O	-0.46	0.20	0.47	0.08	0.12	0.03	0.38	1				
K ₂ O	-0.33	0.05	0.40	0.09	-0.23	0.03	0.01	-0.12	1			
P ₂ O ₅	-0.39	0.79	0.18	0.26	0.24	0.32	-0.32	0.11	0.07	1		
BaO	-0.37	0.19	0.16	0.13	0.18	0.18	0.18	-0.03	0.05	0.07	1	
LOI	-0.22	-0.09	0.19	0.04	0.02	0.15	0.33	-0.06	0.59	0.12	0.17	1

Tabla No. 11.. Coeficientes de correlación

Las correlaciones de mayor significado son las que a continuación se discuten ya que algunos de estos valores obtenidos están asociados a alteraciones hidrotermales producidas por soluciones mineralizantes.

Las correlaciones negativas del SiO_2 , con el Na_2O son debidas a - que su tendencia es a lixivarse y a un incremento en el SiO_2 (silicificación), este comportamiento es característico en los depósitos tipo Kuroko de Japón en las zonas de alteración tipo (cuarzo+sericita+feldespató potásico).

Las magnitudes en las correlaciones del SiO_2 con el Al_2O_3 y TiO_2 son debidos a dos posibles causas: el aumento de SiO_2 y una tendencia a mantenerse inalterados el Al_2O_3 o bien puede interpretarse como una lixiviación de estos dos últimos.

El valor del coeficiente de correlación entre el FeO y MgO es alto debido a sus características geoquímicas son similares.

El coeficiente de correlación lineal entre el Na_2O y CaO indica - una tendencia a lixivarse de ambos cuando entran en contacto con soluciones hidrotermales.

En el caso del BaO y el K_2O la tendencia a incrementarse en la zona de alteración tipo I (cuarzo+feldespató potásico) como resultado del paso de soluciones calientes que transportaron la mineralización.

V.5.9.2 Componentes principales

A continuación se presentan los resultados obtenidos en los componentes principales, pero antes se procederá a dar una explicación en qué consiste la técnica.

Para determinar los coeficientes de correlación múltiples entre -

13 óxidos obtenidos al analizar los ejemplares por roca entera, que no se pueden obtener por análisis de varianza simple, dadas las características multidimensionales, el método que se seleccionó fue el de componentes principales.

Método de componentes principales: si se miden n variables - (13 óxidos que representan las columnas de una matriz) en una colección de n objetos (102 rocas que representan los renglones de una matriz) se puede calcular una matriz de varianza-covarianza, donde las varianzas se localizan en la diagonal principal y su suma total representa la traza de esa matriz.

De esta matriz, se pueden extraer m eigenvalores y cada eigenvalor le corresponde m eigenvector, debido a que es simétrica de m (13 renglones) \times m (13 columnas) y las 13 eigenvalores obtenidas son - ortogonales entre sí y su suma es igual a la traza de la matriz de varianzas-covarianzas de los datos originales que es la varianza total a la suma de varianzas.

Es decir cada eigenvalor es un nuevo valor obtenido y representa un % de la varianza total y de acuerdo al % que le corresponde del total es su importancia para interpretar así a mayor % del eigenvalor mayor es su importancia.

Ya obtenidos los componentes principales, se procederá a interpretar sus coeficientes de correlación múltiple de (Factor loadings) que nos representa el valor de cada óxido después de compararlo con las doce restantes.

La tabla 12 nos muestra los eigenvalores obtenidos donde el máximo es 3.26, el cual contribuye con el 28.9% de la varianza total, calculando de la misma manera el segundo y tercer eigenvalor, se obtiene el 18.4% y 12.09 respectivamente y el 11.23%, 9.5% y 7.6% para el cuarto, quinto y sexto eigenvalores, estos primeros seis eigen

valores, representan el 83.21% de la varianza total de los datos originales utilizados para el análisis, por lo que la interpretación se basó en ellos.

El primer eigenvalor (X_1) es el más importante dado que contribuye con el 28.9% y las correlaciones obtenidas se caracterizan por ser negativas excepto para el SiO_2 ; lo que se interpreta como una tendencia a incrementarse, el sílice interpretándose como silicificación, relacionada a alteraciones hidrotermales o por lixiviación de algunos minerales que contienen sílice, el segundo componente principal X_2 se caracteriza porque no existen correlaciones entre compuestos de FeO , MgO y CaO con K_2O , Al_2O_3 y BaO . Para K_2O se presenta el coeficiente de correlación múltiple más alto, que en el caso de las alteraciones Kuroko es notable su tendencia a incrementarse en los centros exhalativos, para el Na_2O se esperaba un coeficiente de correlación negativo, el cual, no se presentó.

En el tercer componente principal X_3 presenta una correlación baja - positiva entre TiO_2 y P_2O_5 , lo que indica que uno de estos compuestos decreció en mínima cantidad. El cuarto componente principal presenta un coeficiente de correlación múltiple negativo de Na_2O lo que se explica como una tendencia a decrecer, ya que es más sensible a reaccionar con los fluidos hidrotermales. Los metales alcalinos y alcalinotérreos son móviles en las zonas afectadas por las alteraciones tipo Kuroko y esto se refleja en los valores de las correlaciones que resultaron negativos para el Na_2O y CaO (óxidos que decrecen) y positivos para K_2O (óxidos que se incrementan). El Fe_2O_3 presenta un coeficiente de correlación alto y es un buen indicador de ambientes de oxidación-reducción pero su interpretación se dificulta debido a que no existe relaciones litogeoquímicas con otros "factor Loadings"

El componente principal X_5 , el Na_2O y CaO tienden a aumentar y el K_2O y MgO decrecen, lo que interpreta como una tendencia a disminuir las alteraciones tipo Kuroko. En X_6 los resultados no son significativos.

F A C T O R L O A D I N G S

P.C	EV	CR (%)	SiO ₂	FeO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	BaO
X 1	3.288	25.29	0.4057	-0.367	0.289	-0.087	-0.3529	0.324	0.288	0.2512	0.230	0.098	0.37	0.26	-0.006
X 2	2.3931	18.4	0.29	0.2531	0.3839	0.2079	0.389	0.1753	0.3617	0.3287	0.1591	0.386	0.185	0.1664	0.017
X 3	1.5729	12.09	0.3408	0.3616	0.2607	0.0064	0.0148	0.063	0.07	0.2467	0.196	0.28	0.3677	0.38	0.463
X 4	1.4601	11.23	0.1178	0.2186	0.2727	0.5802	0.0144	0.1146	0.0733	0.1448	0.5	0.0474	0.2362	0.4046	0.135
X 5	1.1206	8.6	0.091	0.012	0.0618	0.2697	0.2336	0.0917	0.2705	0.1396	0.4884	0.5572	0.005	0.145	0.4139
X 6	1.07	7.6	0.127	0.1025	0.2503	0.0103	0.1347	0.5492	0.4696	0.4716	0.134	0.22	0.201	0.196	0.045

Tabla 12

P.C. COMPONENTES PRINCIPALES
 EV. EIGENVALORES
 CR. CONTRIBUCION

U	Facultad de Ingeniería
N	Principales magnitudes obtenidas por medio de la técnica de componentes principales.
A	
H	H.P.E.P. 1988 Tabla No.12

Tabla 13.- Resultado de análisis químicos por 13 óxidos (efectuados en Japón)

#	Samplo	N.C.	Centífugas		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Sum
			X	Y													
1	M-1	F	26275	5450	8395	007	446	081	023	000	017	016	485	032	001	071	995
2	M-2	B	19250	5825	7298	008	1203	040	049	001	187	029	331	681	001	160	282
3	M-3	B	29350	6023	8068	008	953	035	036	001	042	056	416	270	001	114	908
4	M-4	B	19225	6225	7378	043	1405	096	049	003	044	057	616	045	010	092	501
5	M-5	B	28275	6400	7704	011	1173	122	025	001	010	022	312	336	002	101	918
6	M-6	B	28450	6775	6242	008	687	024	025	001	034	020	558	052	001	078	801
7	M-7	F	26150	4900	7927	011	1175	150	025	000	066	008	418	238	001	394	007
8	M-8	F	28425	4925	8172	006	689	030	019	000	004	011	273	500	001	110	816
9	M-10	B	30125	4775	7655	028	1032	079	202	002	301	050	373	082	005	220	002
10	M-11	B	30175	4875	8321	013	1014	014	025	000	010	012	593	039	001	047	000
11	M-12	F	26475	4775	9152	016	333	124	043	003	036	039	042	083	001	151	204
12	M-13	B	29700	4450	8716	006	642	037	043	000	016	010	065	112	001	079	011
13	M-14	B	29800	4025	8140	006	1004	061	034	001	025	036	219	365	001	154	012
14	M-15	B	28900	3850	8034	007	972	051	043	001	005	016	142	609	001	098	027
15	M-16	B	30025	3625	8290	005	313	029	036	001	003	006	139	167	002	066	019
16	M-17	B	30150	3400	8084	007	980	071	036	000	015	007	085	388	002	180	218
17	M-18	B	30175	3150	7552	007	1286	193	030	001	130	009	238	227	001	515	210
18	M-19	B	30275	2925	8095	007	1068	113	043	002	066	181	246	052	001	247	503
19	M-20	A	26775	2800	8631	011	758	087	036	001	006	037	254	327	001	162	501
20	M-21	B	29500	2875	7473	014	1252	126	030	001	005	006	141	642	002	085	021
21	M-22	B	26375	3375	7787	014	1038	193	049	001	010	014	362	361	002	074	513
22	M-23	B	28300	3725	7827	014	1051	193	065	002	027	022	373	312	002	054	509
23	T-1	D	33425	14850	7925	014	1078	186	019	004	004	008	089	167	001	288	918
24	T-2	D	33550	16850	8100	014	958	177	019	004	002	007	119	506	001	145	918
25	T-3	D	33275	14550	7883	013	1008	184	019	003	002	014	312	415	001	107	816
26	T-4	D	33100	14275	7479	015	1294	204	036	004	004	014	404	421	001	124	914
27	T-5	D	33850	14700	7990	012	924	173	013	004	006	013	181	397	002	235	915
28	T-6	D	33925	14375	7355	039	1261	287	019	003	003	012	294	685	004	146	914
29	T-7	D	34100	14650	7276	023	1327	197	025	003	020	012	275	676	003	146	914
30	T-8	D	34275	14550	7334	029	1284	104	006	001	005	007	186	732	004	192	912
31	T-9	D	34425	12300	8100	023	974	094	027	000	010	001	007	463	002	150	808
32	T-10	C	33475	12225	8207	017	1255	026	019	002	093	003	011	216	002	212	809
33	T-11	C	33600	12600	8441	011	774	086	019	000	002	000	004	558	001	229	807
34	T-12	C	33150	12300	7835	032	1109	087	013	000	004	001	047	552	002	274	818
35	T-13	C	33400	11750	7572	014	1353	064	013	006	004	002	075	474	002	325	814
36	T-14	C	34425	11725	7335	031	1267	186	034	002	046	032	290	432	007	138	815
37	T-15	C	35000	11925	7434	019	1392	136	049	001	043	038	279	481	002	191	813
38	T-16	C	35075	11700	7141	021	1223	134	137	026	078	170	382	306	004	125	813
39	T-17	C	33450	11650	7394	012	1066	352	025	001	002	001	025	419	007	110	815
40	F-1	A	30250	7050	7418	010	1122	086	061	024	039	000	004	078	001	098	810
41	F-2	A	31000	8300	7473	015	1150	177	117	003	035	006	256	166	005	153	810
42	F-3	A	30375	8710	7842	013	1069	071	128	003	015	008	322	281	002	167	808
43	F-4	A	30000	8800	8021	011	896	053	134	004	082	005	158	453	002	074	814
44	F-5	A	18028	9100	7287	014	1338	110	030	002	027	001	025	438	003	214	819
45	F-6	A	19828	8335	7482	013	1284	183	049	001	087	003	192	255	001	299	820
46	F-7	A	28375	9625	7491	016	1063	109	049	001	025	002	011	075	001	146	813
47	F-8	A	30925	8775	8352	025	701	214	126	753	002	004	004	004	004	004	004
48	F-9	A	31225	8750	9081	012	101	282	036	001	038	001	007	096	005	173	804
49	M-10	A	21125	16125	7363	005	1124	044	023	001	008	004	147	812	001	114	806
50	DE-1	E	14650	2675	7997	007	791	024	139	008	176	002	294	007	001	282	902
51	DR-1	E	14650	2700	7847	010	769	049	208	004	234	022	125	225	001	267	805

A	Sample	R.C	Coordinates		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO ₂	FeO	MgO	Mg ₂	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Σw
			X	Y													
52	DE-12	E	19850	7775	7142	007	1164	004	226	013	028	821	082	117	002	388	933
53	DE-18	F	19850	7825	7822	012	773	116	208	004	380	012	001	102	002	230	806
54	DE-24	E	19675	7900	7968	006	1097	134	117	001	237	011	050	154	461	155	904
55	DE-35	F	19675	7975	7987	006	1040	189	110	004	045	011	376	141	001	071	954
56	AM-7	E	20250	8575	7888	011	563	003	154	004	037	003	046	907	002	344	821
57	AM-18	E	20125	8700	7927	011	363	043	184	005	062	415	150	045	024	704	915
58	F-11	A	21425	9500	8636	058	1489	059	286	007	166	053	070	095	022	164	894
59	F-12	A	20250	9135	7621	015	1013	036	264	004	304	130	140	156	003	274	807
60	F-13	A	20325	9425	7866	012	1120	050	063	002	041	028	304	315	001	153	809
61	F-14	A	20550	9275	7806	018	1141	059	037	001	023	001	097	703	002	111	838
62	F-15	A	20750	10325	7813	013	1195	059	050	003	054	033	288	362	004	173	838
63	F-16	A	22125	10050	8881	033	1473	124	188	014	110	129	507	127	009	220	911
64	FF-17	A	19775	8596	8045	020	846	275	057	001	034	001	082	061	072	440	893
65	DF-18	A	19850	7650	7432	014	1251	102	151	002	139	011	339	240	001	226	821
66	F-19	A	20600	8675	8160	016	1051	023	031	001	013	004	037	177	001	199	821
67	F-20	A	20700	8825	7144	019	1660	081	041	002	074	001	082	552	001	289	806
68	F-21	A	20075	8250	7661	028	1238	087	100	002	096	008	390	150	004	209	804
69	F-22	A	19775	8750	7328	034	1192	183	170	007	123	122	242	275	006	260	809
70	F-23	A	20525	9025	8740	016	1844	126	013	001	011	011	717	014	001	421	801
71	A-36	C	34050	18450	7233	015	1532	090	037	002	047	010	175	482	002	608	814
72	J-37	C	31800	18125	7939	012	889	123	028	001	020	021	148	384	002	157	823
73	A-41	C	32150	18425	6987	061	1495	317	037	002	115	031	331	217	005	395	804
74	A-44	C	27200	14975	7554	023	1153	132	028	005	013	026	300	636	005	096	813
75	MR-36	B*	29050	3283	7708	028	912	026	351	004	470	075	105	077	005	393	804
76	A-48	D	28975	12575	7655	026	1208	132	031	001	020	014	405	344	004	166	811
77	A-17	D	28675	6150	9763	006	145	017	021	000	008	002	608	020	001	011	801
78	W-44	C	32700	12000	7914	008	1138	024	024	000	041	010	288	338	002	148	817
79	A-49	E	19750	7825	7329	010	1138	127	121	003	087	141	600	023	042	276	810
80	DL-5	C	17425	72500	7858	011	1122	057	050	004	035	067	382	267	002	880	815
81	A-52	E	18100	8000	8048	011	1030	133	026	001	019	004	405	150	001	136	809
82	DL-3	C	18025	72875	8590	032	584	137	031	008	059	013	062	353	004	108	812
83	W-45	C	22125	12150	8077	023	1088	117	031	001	027	023	437	163	004	109	807
84	W-61	F	19825	8475	8645	020	536	156	138	004	175	018	051	064	002	319	836
85	DL-1	C	18700	72850	7858	022	1100	090	019	003	016	021	320	134	001	083	819
86	L-85B	D	23550	18000	7403	052	1263	180	031	002	014	030	005	503	010	128	813
87	W-64	A	20900	10125	7614	017	1217	224	100	003	016	003	047	359	002	314	804
88	MLU-4	C	19750	74225	7372	080	831	238	037	001	014	014	105	448	020	306	809
89	A-51	F	19275	7825	8937	005	516	054	037	002	047	032	012	150	001	176	815
90	W-28	S	30700	3775	8096	012	678	021	126	002	087	019	129	445	002	064	808
91	W-27	S	30575	3700	7627	010	1184	050	144	002	048	050	374	288	001	071	821
92	W-28	S	30500	3825	7723	006	1132	066	057	002	037	009	288	523	001	070	813
93	W-25	B*	30700	3050	8048	008	1083	060	050	002	050	102	425	142	001	093	807
94	W-51	F	20275	8725	8201	010	885	132	087	003	054	011	281	179	002	127	807
95	W-52	F	20525	8550	8298	007	775	132	043	001	031	003	086	457	002	124	813
96	W-53	A	20100	8575	9411	008	227	184	021	000	014	003	023	052	001	097	802
97	W-54	A	20225	8450	7581	011	1287	093	044	001	025	002	070	595	001	296	814
98	W-56	E	12575	7950	8123	011	1002	051	037	001	015	008	359	211	002	104	812
99	W-58	F	20075	8800	8555	011	781	053	063	002	034	066	122	182	001	112	809
100	W-59	F	18950	8225	7358	013	1132	254	188	006	101	028	249	474	003	138	809
101	W-60	A	20000	9150	7834	011	1069	046	026	001	007	001	070	704	002	132	819
102	F-24	F	29250	1100	8020	008	578	176	020	001	080	001	062	165	001	432	812

V.5.9.3 Análisis de grupos (Cluster analysis)

El método consiste en colocar los objetos en grupos más o menos homogéneos de una manera tal, que la relación entre grupos sea revelada.

Se supone una colección de objetos que se quiere arreglar en una clasificación jerárquica, en cada objeto se realizan una serie de medidas que constituyen los datos. Entonces tenemos "n" objetos y "m" características medidas, con los que se construyen una matriz de "n" renglones y "m" columnas de (nxm). Luego algunas medidas de semejanza o analogía debe ser calculada entre todos los pares de objetos. Varios coeficientes de semejanza, han sido usados, incluyendo el coeficiente de correlación R_{ij} y una distancia estandarizada d_{ij} en un espacio euclidiano de dimensión "m".

Esta distancia se calcula de la siguiente manera:

$$d_{ij} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^m (x_{ik} - x_{jk})^2}{m}}$$

Donde x_{ik} denota la k ésima variable medida en el objeto i y x_{jk} , es la k ésima variable medida en el objeto j . Siempre se mide las "m" características en cada objeto y d_{ij} es la distancia entre el objeto i y el objeto j . Como se puede esperar, distancias pequeñas indican que dos objetos son similares o muy parecidos, y distancias grandes indican desigualdad o ningún parecido. Generalmente, la matriz $n \times m$ es estandarizada (media igual a 0 y varianza igual a 1) antes de calcular el coeficiente de distancia, si no se realiza este paso, la distancia se verá influenciada de una manera más intensa por la variable de mayor magnitud. En algunos casos esto puede ser necesario, pero efectos no deseables pueden arrastrarse a través de todo el proceso seleccionando inapropiadamente las unidades de medida.

El cálculo numérico de una medida de similitud entre todos los posibles pares de objetos, resultará en una matriz simétrica de $n \times n$. Para calcular esta matriz se pueden utilizar programas de computadora y cualquier coeficiente c_{ij} de la matriz de la similitud entre i y j . El siguiente paso es arreglar los objetos en orden jerárquico en función de su similitud, es decir aquellos que presentan mayor parecido y así sucesivamente hasta que al final todos los objetos son situados en un esquema de clasificación completa.

Existen varias técnicas para lograr lo descrito anteriormente a continuación se dará una breve descripción del Método de Pares de Grupos Ponderados con Promedios Aritméticos.

El primer paso es encontrar en la matriz las correlaciones mutuamente más grandes, para formar los centros de los cúmulos; se puede indicar la similitud o el parecido de los pares de alta correlación en un diagrama como el mostrado en la figura 1.

El siguiente paso es recalcular la matriz de semejanza tratando los elementos agrupados como uno solo. Existen varios métodos para hacer lo anterior, existe una técnica muy simple que utilizaremos y consiste en recalcar las nuevas correlaciones entre todos los grupos (cúmulos) y objetos no agrupados mediante promedios ponderados aritméticos.

El procedimiento de agrupamiento se vuelve a repetir

En resumen, las características del método son:

- 1.- El coeficiente de correlación, se usa como una medida de similitud o parecido.
- 2.- Los objetos con alta similitud o parecido son agrupados o enlazados primero.
- 3.- Dos objetos se pueden conectar únicamente si se tiene una correlación que es mutuamente más alta entre dichos objetos.

4.- Después que dos objetos son agrupados, sus correlaciones con todos los otros objetos son promediados.

Una modificación obvia a esta metodología es incorporar otra medida de similitud o parecido. Aunque muchas medidas han sido propuestas, dos solamente son las más usadas: el coeficiente de correlación y el coeficiente de distancia. Si los datos originales se estandarizan antes de calcular el coeficiente de similitud o parecido, los coeficientes de correlación o distancia, pueden ser transformados directamente entre sí. Además, el resultado de los dendogramas de las dos medidas son muy similares. Sin embargo, el coeficiente de distancia no se restringe a un rango entre ± 1 como el coeficiente de correlación, de manera que se pueden producir dendogramas más efectivos si pocos objetos difieren mucho de los restantes.

Resultados del análisis de (grupo)cúmulos (Cluster analysis).

Para propósitos de distinguir las rocas que se relacionan con los depósitos de tipo Kuroko de las no relacionadas y dividir las en pequeños cúmulos el "Cluster Analysis" fué el utilizado; usando los resultados de Componentes Principales basándose en el criterio del grado de similitud del vecino más cercano a una distancia estandarizada en un espacio euclidiano en seis dimensiones, usando como ejes los primeros seis resultados de los primeros seis componentes principales.

El dendograma o diagrama de árbol obtenido (Fig. 31), el grupo 7, que se encuentra constituido por veinte muestras y todas se relacionan con los depósitos tipo Kuroko, especialmente nueve de las diez y seis muestras colectadas en el horizonte de las tobas ácidas (kt) de Aranjuez, por lo que sus componentes químicos promediados son muy similares a los de tipo Kuroko.

Los resultados de este grupo tienen el siguiente comportamiento comparándolo tanto con otros grupos como respecto al total de las muestras (Fig. 3f).

- 1.- Relativamente pobre en Al_2O_3 , Na_2O , CaO y BaO .
- 2.- Rico en MgO , K_2O , e intensa alteración (LOI).

Este grupo es el que más se relaciona estratigráficamente con los depósitos tipo Kuroko, decrece el Na_2O y CaO y aumenta el MgO y K_2O por la influencia de la alteración relacionada con la mineralización tipo Kuroko. El valor numérico en LOI está indicando que las rocas de este grupo están muy alteradas por lo que se puede interpretar como la alteración hidrotermal relacionada con la mineralización de los sulfuros masivos.

Grupo 6, son 29 muestras de las cuales 24 pertenecen a la dacita (Kd_2) de El Rubí y las restantes a la dacita (Kd_2) a Aranjuez, la relación que guardan con los depósitos tipo Kuroko es mínima, ya que sus componentes químicos no guardan ningún tipo de semejanza y presentan las siguientes características:

Son pobres en TiO_2 , MgO , P_2O_5 y LOI y ricos en SiO_2 y Na_2O .

El enriquecimiento de SiO_2 es resultado de la silicificación y el empobrecimiento relativo del Na_2O no implica necesariamente que esta alteración esté relacionada directamente con la mineralización tipo Kuroko.

Grupo 4, está constituido por dacites (Kd_2) del área Aranjuez, que se relaciona con los depósitos tipo Kuroko y dacites del Terciario que no guardan relación con dichos depósitos, las características de este grupo, son contrarias al grupo 6 que contiene a las dacitas (Kd_2) de El Rubí, esta conclusión es resultado de las diferentes componentes químicas de las rocas.

Las características de este grupo son las siguientes:

Pobre en SiO_2 , FeO , CaO y Na_2O .

Rico en Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O y BaO .

Este grupo es similar en cuanto a componentes químicas relacionadas a los depósitos tipo Kuroko debido al incremento de K_2O y BaO , pero el empobrecimiento en SiO_2 hace pensar que el tipo de alteraciones son similares, sin llegar a ser tipo Kuroko.

Grupo 9, siete de las once muestras que componen este grupo, no tienen relación con la mineralización y cuatro pertenecen a la secuencia vulcanosedimentaria; dos a lave dacítica (Kd_2) y dos a tobacácidas (Kt), los aspectos que presentan son los siguientes:

Pobre en SiO_2

Rico en TiO_2 y Fe_2O_3

El grado de alteración es mínimo de lo que se interpreta como una nula relación con los depósitos tipo Kuroko.

De los cuatro grupos analizados, la siguiente evaluación puede ser válida (Fig. 32).

1) Las muestras de la dacita (Kd_2) de Aranjuez, que está distribuida en el grupo 4, el cual incluye un gran número de ellas y cuyas características son muy similares al comportamiento químico de las alteraciones tipo Kuroko que se presentan en los cuatro grupos con diversos grados de intensidad y cuyos minerales resultado de la alteración, son la clorita y la sericita.

Las muestras de la dacita (Kd_2) del depósito de El Rubí, se distribuyen en el grupo 6, en las que las alteraciones químicas son las siguientes: El Na_2O decrece sin gran intensidad y la silicificación es

mínima, por lo que los aspectos que presenta este grupo de rocas, - son diferentes a las alteraciones tipo Kuroko. Muchos horizontes de la toba ácida (Kd) de Aranjuez presentan alteraciones tipo Kuroko y es de hacer notar que el comportamiento de este cúmulo se diferencia del tipo de alteraciones que presentan en la dacita (Kd₂).

Acerca de las muestras, no se tienen relación con los depósitos, algunas se encuentran distribuidas en el grupo 9 con características muy similares a las alteraciones tipo Kuroko, pero en general este tipo de muestras se concentran en el grupo 4.

DENDROGRAMA O DIAGRAMA DE ARBOL

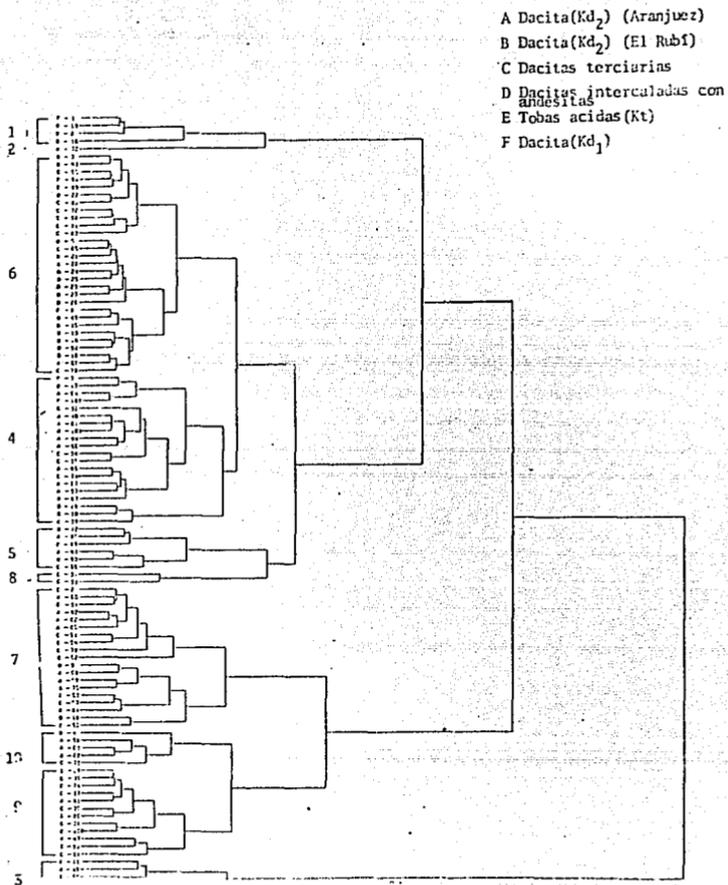
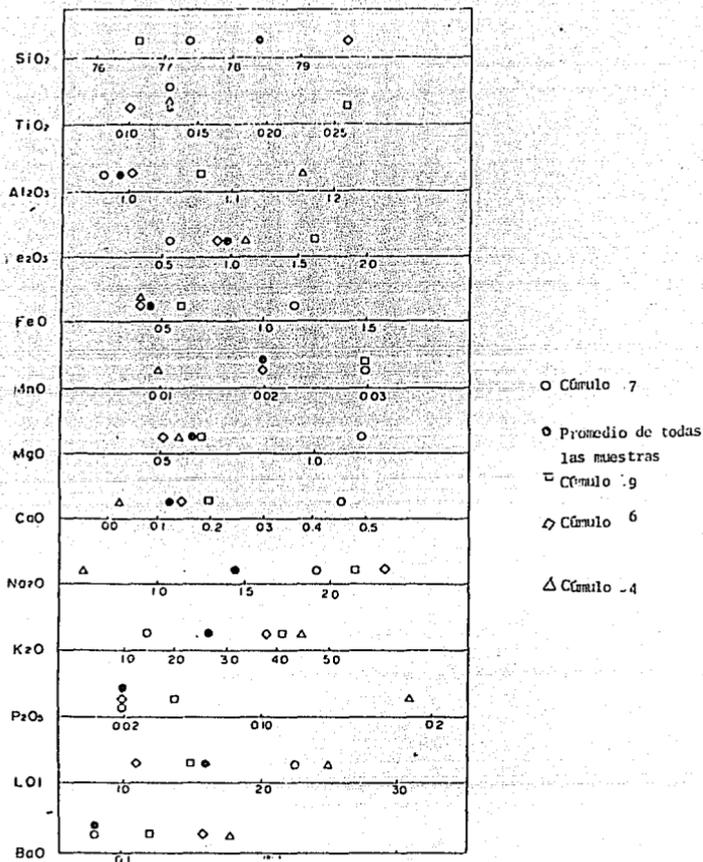


FIGURA 31



Comparación de características químicas de los Cúmulos principales

VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1.- En los ranchos de Aranjuez y El Rubí, aflora una secuencia vulcanosedimentaria depositada posiblemente en una cuenca marginal durante el Cretácico Superior, la importancia de dicha secuencia, radica en que contiene cuerpos de sulfuros masivos vulcanogénicos. Las unidades que la constituyen son lutitas y areniscas (Klu), derrames de lavas dacíticas que subyacen (Kd₁) y sobreyacen (Kd₂) al horizonte mineralizado. Este está constituido por tobas de composición ácida (Kt) e intercalaciones de lavas y tobas de composición básica (Kb) cubriendo a la secuencia y en discordancia, rocas volcánicas del Terciario de origen continental y de composición intermedia. Las rocas intrusivas están formadas por: granodiorita (Gd) del Cretácico Superior, dioritas (D) y granitos (Gr) del Terciario.
- 2.- Estructuralmente se distinguen dos estilos de deformación más o menos contemporáneas con resgos de intensidad distintas. En la lavá dacítica (Kd₂) se define un pliegue homoclinal que encajona a las unidades que la subyacen, formadas por lutitas y areniscas (Klu) y tobas ácidas (Kt) en las cuales, los pliegues son de tipo chevrón. Se identificaron dos sistemas de fallas orientados NE-SW y NW-SE, el primero es más antiguo, y forma un sistema de fallas normales, constituyendo una serie de fosas y pilares tectónicos. Entre Aranjuez y El Rubí se localiza un pilar tectónico que fue la causa del afloramiento de la secuencia vulcanosedimentaria, mientras que el sistema NW-SE está formado por fallas de rumbo tipo sinistral con desplazamiento de 200-500 m.
- 3.- Los depósitos de sulfuros masivos vulcanogénicos de Aranjuez y El Rubí, presentan las siguientes características: están alojados en una secuencia vulcanosedimentaria, son concordantes con la roca encajonante, su forma es lexicular, están constituidos de mena negra, mena amarilla y mena silícea, la deformación que presentan

los cuerpos mineralizados es mínima. Por lo anterior, estos depósitos son comparables con los yacimientos de sulfuros masivos vulcanogénicos tipo Kuroko de Japón.

- 4.- Se distinguieron cinco zonas de alteración, determinando que la denominada tipo I consistente en cuarzo, feldespato potásico, sericita y clorita, es resultado del paso de soluciones hidrotermales que transportaron los minerales de rendimiento económico.

Los análisis químicos practicados a la clorita, determinaron que en la vecindad de los yacimientos el contenido en Fe es abundante, contrastando con la clorita que se presenta en los depósitos tipo Kuroko de Japón donde el contenido de Mg es alto.

- 5.- En la localidad de Aranjuez, las anomalías altas corresponden a Pb-Zn-Ag, Zn-Ag, Pb-Zn, Pb y Zn. Anomalías altas en forma individual de Ag, no son importantes. En El Rubí, sólo se presenta una anomalía alta múltiple de Pb-Zn-Ag-Cu y un comportamiento bien definido en los patrones de dispersión de las anomalías bajas y medias de Cu.

Los valores obtenidos para los coeficientes de correlación lineal indican que las parejas de elementos Pb-Zn, Zn-Ag y Pb-Zn están relacionadas genéticamente, por lo que podemos predecir un valor desconocido de uno de los elementos conociendo la magnitud del otro elemento, lo que puede significar un ahorro en tiempo y costo de análisis. De los resultados obtenidos en estos dos parámetros de Aranjuez, la mineralización más probable sería de Pb-Zn-Ag, la cual es similar a la que presentan los sulfuros de las minas La América y La Descubridora. En El Rubí es más problemático determinar el tipo de mineralización, pero de acuerdo con las anomalías medias y bajas, y al tipo de mena que se presenta en los yacimientos, ésta puede ser de Cu-Zn-Pb y Ag.

- 6.- De los resultados de los análisis en roca en las zonas minerali-

zadas, los coeficientes de correlación lineal, indican un aumento de SiO_2 (silicificación), lixiviación de CaO y Na_2O , enriquecimiento de K_2O , BaO y MgO .

- 7.- Se recomienda: En Aranjuez, muestreos de suelos a detalle en la secuencia vulcanosedimentaria y analizar el Pb y el Zn para determinar los diferentes tipos de anomalías y su movilidad. Llevar a cabo análisis químicos de la clorita para obtener su composición dado que la relación Fe/Mg es determinante para la localización de centros exhalativos, así como estudios geofísicos de Polarización inducida a detalle, para afinar zonas de barrenación ya que esta área se considera con grandes posibilidades de hospedar cuerpos de sulfuros masivos vulcanogénicos.

En El Rubí, las posibilidades de localizar un cuerpo mineralizado se complican debido a la ausencia de anomalías geoquímicas bien definidas, a excepción del Cu, aunque la presencia de menas silíceas puede indicar la cercanía de un centro exhalativo. Regionalmente el comportamiento del Cu en sedimentos de arroyo parece ser homogéneo por lo que se recomienda volver a muestrear en áreas con anomalías medias y bajas bien distribuidas, y en función de los resultados, muestrear suelos en zonas ya seleccionadas y analizar Cu-Zn y Pb para determinar la movilidad y distribución de estos elementos.

Bibliografía Citada

Aguayo, C.E., 1982, Evolución de la fosa Jalisco-Colima, Informe Técnico, México, D.F., inédito 30p.

Campa, M.F., Ramírez, Flores, R. y Coney, P., 1980, Terrenos tectonoestratigráficos de la Sierra Madre del Sur, región comprendida entre los estados de Guerrero, Michoacán, México y Morelos, Soc. Geol. Méx., V Convención Geológica Méx., 28 p.

Castañeda A., 1963, Esfuerzos de la pequeña minería en la solución a los problemas de los depósitos de origen vulcanosedimentario de México, XV Conv. Nal. de la AIMMG, Memorias p.

Coney, P., 1978, Mesozoic Cenozoic Tectonics Cordilleran Plate. Tectonics, Geological Soc. of America Memoir 152, p. 33-50.

_____ 1963, Un modelo tectónico de México y sus relaciones con América del Norte, América del Sur y El Caribe, revista del IMP, vol. No. p. 6-15.

Demon, P.E., Shafiqullah, M. y Clark, F.K., 1981, Evolución de los arcos magmáticos en México y su relación con la metalogénesis, UNAM Revista del Instituto de Geología, vol. 5 No. 2 p. 223-238.

Date, J. and Tanimura, S., 1974, Dacite and Rhyolite Associated with the Kuroko Mineralization, Mining Geology Special Issue, No. 6, p. - 761-765.

Dement, A., 1978, Características del Eje Neovolcánico y sus problemas de interpretación, UNAM, Instituto de Geología, vol. 2 No. 2, p. 172-187.

ESTADO LIBRE ASOCIADO DE PUERTO RICO
SECRETARIA DE EDUCACION Y CULTURA

García, E., 1961, Modificación al sistema de clasificación climática de Köpen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana) México, D.F., UNAM, 71.

Gastil, R.G., Krummenecher, D. and Jensky, 1979, Reconnaissance Geology of west central Nayarit, México: Summary Geol. Soc. America - Bull. vol. 90 No. 1 p. 15-16.

Gómez, C.A., 1984, Funciones de la Gerencia de Estudios Especiales, Informe técnico, México, D.F. CRM, Inédito.

Honda, S., and Matsueda, H., 1979, o Authigenic K-feldespar in the hanging and footwall rock of the No. 11 ore deposit in the Shakanai Mine, Jour-Japan Assoc. Min Petr. Econ. Geol., No. 174 p. 168-180.

Informe técnico MMAJ-CRM, 1965, III Convenio México-Japón primera etapa, inédito, 80 p.

Informe técnico MMAJ-CRM, III Convenio México-Japón tercera etapa inédito 90 p.

Ishihara, S., 1974, Magmatism of the Green Tuff Tectonic Belt, Northeast Japan, Mining Geology Especial Issue No. 6, p. 235-249.

Ishikawa, G., Shimoda, T. and Aoki, H., 1981 The distribution of - alteration zones in the central area of the Hokuroko area district northern Japan, Mining Geology No. 31 p. 13-25.

Jensky, W.A., 1975, Reconnaissance geology and geochronology of the Bahía de Banderas area, Nayarit and Jalisco (M.S.Thesis), Santa Bárbara, California, 80 p.

Lepeltier, C., 1969, Simplified statistical treatment of Geochemical data by graphical representation, Econ. Geol. vol. 64 p. 538-550.

Levinson, A.A., 1974, Introduction to exploration geochemistry, Ed. Applied publishing L.T.D.

Mason, B. and Moore, B.C., 1982, Principales of Geochemistry, Ed. Wiley and Sons, fourth ed.

Ohmoto, H., 1978, A submarine calderas: A key to the formation of - volcanic massive sulfide deposits, Mining Geol. 28 p. 219-231.

Ralsz, E., 1964, Landforms of Mexico. Cambridge, Mapa con texto, esc. aprox. 1:3,000,000.

Rosas, A.S., 1983, Zoneamiento geoquímico de los sulfuros masivos en México, XV Conv. Nal. de la AIMMG, Memorias p. 373-419.

Sato, T., 1971, Physicochemical environments of Kuroko mineralization at Uchinotai deposits of Kosaka Mine, Akita prefecture, Special - Fassung, Soc. Min. Geol. Japan No. 2 p. 113-144.

_____ 1972, Behaviors of the forming solutions in seawater, Mining Geology No. 22 p. 31-42.

_____ 1974, Distribution and geological settings of the Kuroko deposits, Geological Survey of Japan, Mining Special Issue No. 6 p. 1-9.

_____ 1977, Clasificación de los sulfuros masivos, U.A.S., - p. 54.

Scott, S.D., 1978, Structural control of the Kuroko deposits of the district, Japan, Mining Geol. 28 p. 301-311.

Shimazaki, G., 1974, Ore minerals of the Kuroko Type deposits, Mining Geology Special Issue, No. 6 p. 311-322.

Siegel, R., 1974, Applied Geochemistry: a Wiley Interscience Publication, John Wiley and Sons, USA 353 p.

Stanton, 1972, Ore Petrology, Ed. Mc Graw-Hill, 1a. Ed. p. 495-540.

Urabe, T., 1974, Mineral aspects of the Kuroko deposits in Japan and their implications, Mineral Deposita, Springer Verlag. p. 309-324.

_____, 1974, Iron content of sphalerite coexisting with pyrite from some Kuroko deposit, Mining Geol. Special Issue No. 6, p. 377-384.

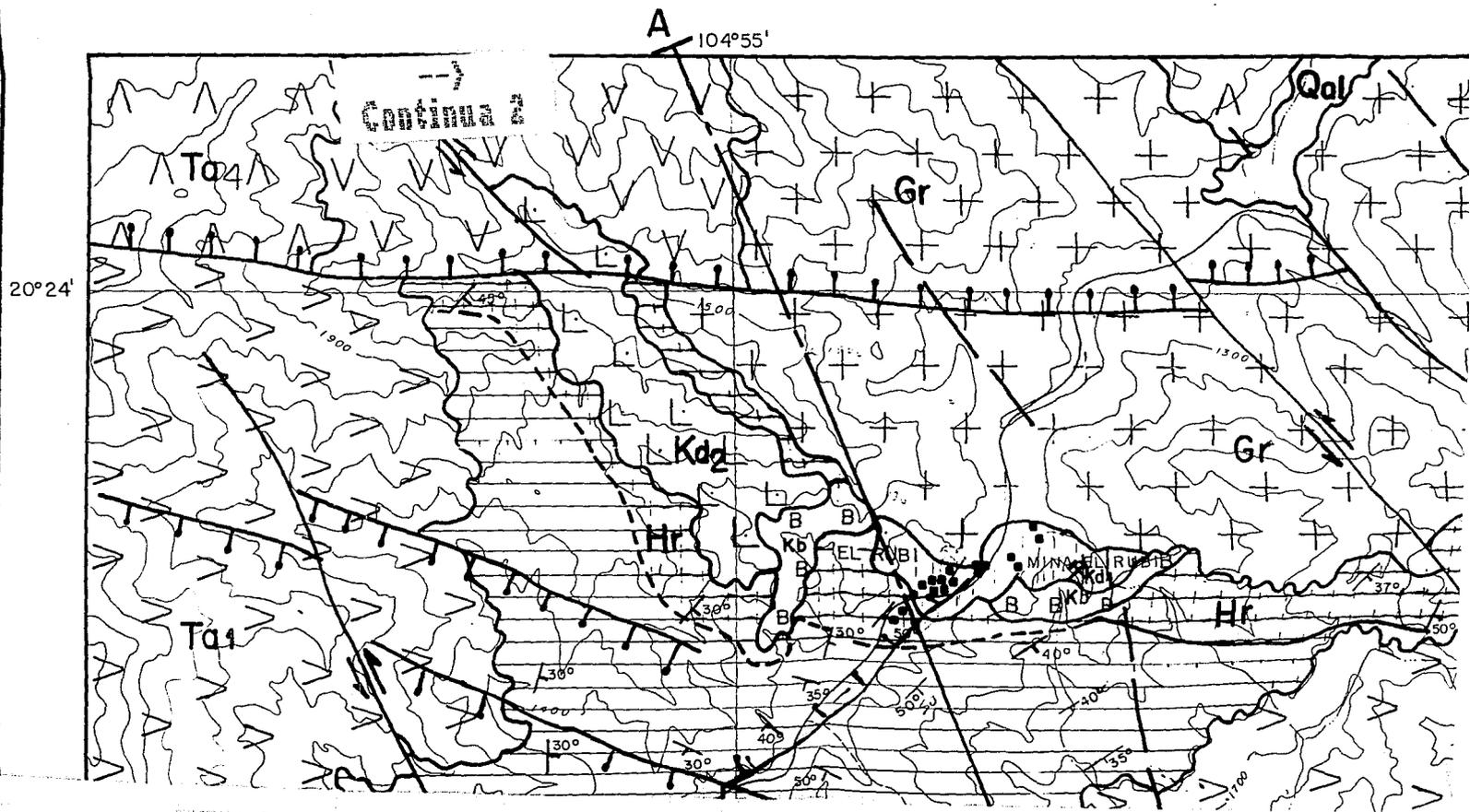
_____, 1982, Geological overview and mineral deposits of the Talpa Area, Jalisco, Report of activity No. 3 (JALCA-CRM), Inédito.

Urabe, T. and Sato, T., 1978, Kuroko Deposits of the Kosaka Mine, Northeast Honshu, Japan, Products of the submarine Hot Springs are Miocene Sea Floor, Ec. Geol. Vol. 17 p. 161-179.

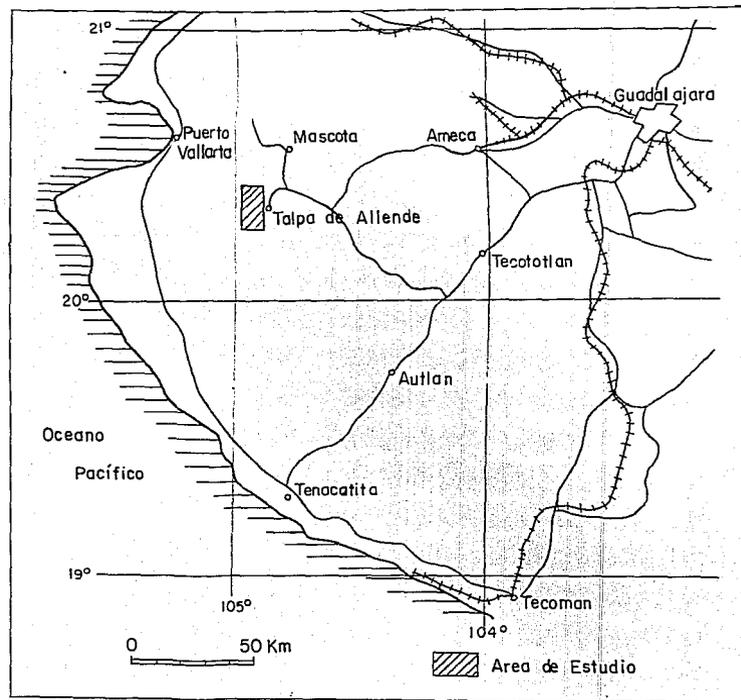
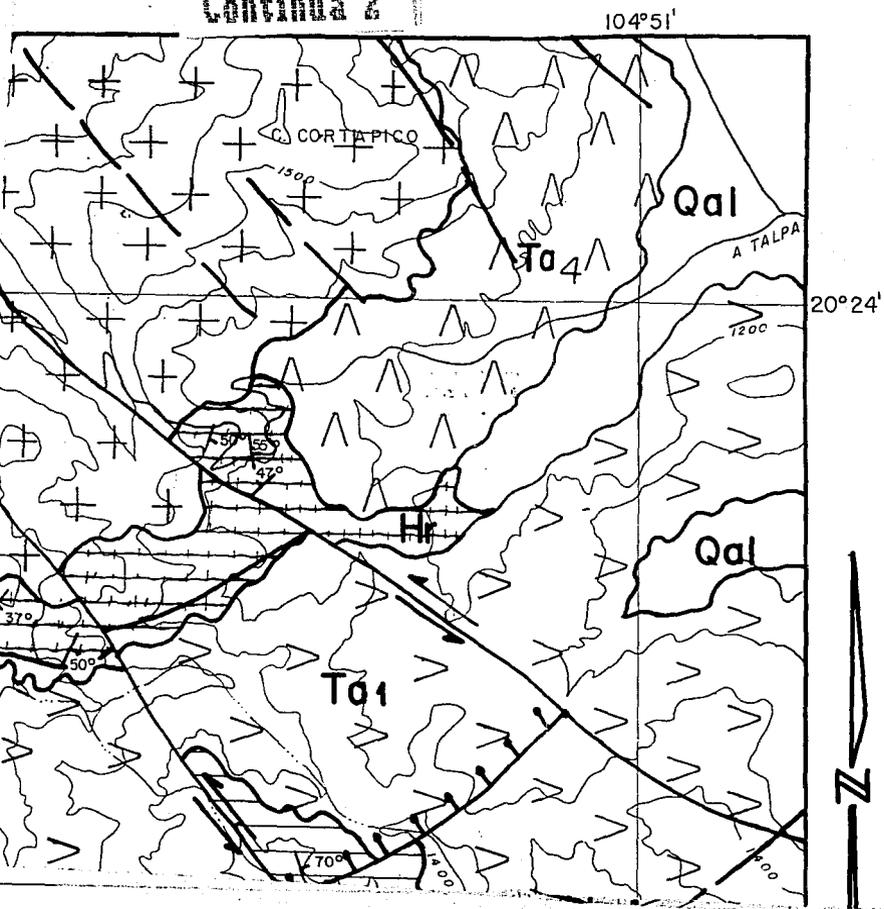
Urabe, T., Scott, S.O. and Hattori, K., 1983, A comparison of foot wall alteration and geothermal systems beneath some Japanese and Canadian volcanogenic massive sulfide deposit, Ec. Geol. Monograph 6, p. 345-364.

Utada, M. Toyoko, T. and Aoki, H., 1981, The distribution of alteration zones in the central area of the Hokuroku district northern Japan, Mining Geology No. 31 p. 13-25.

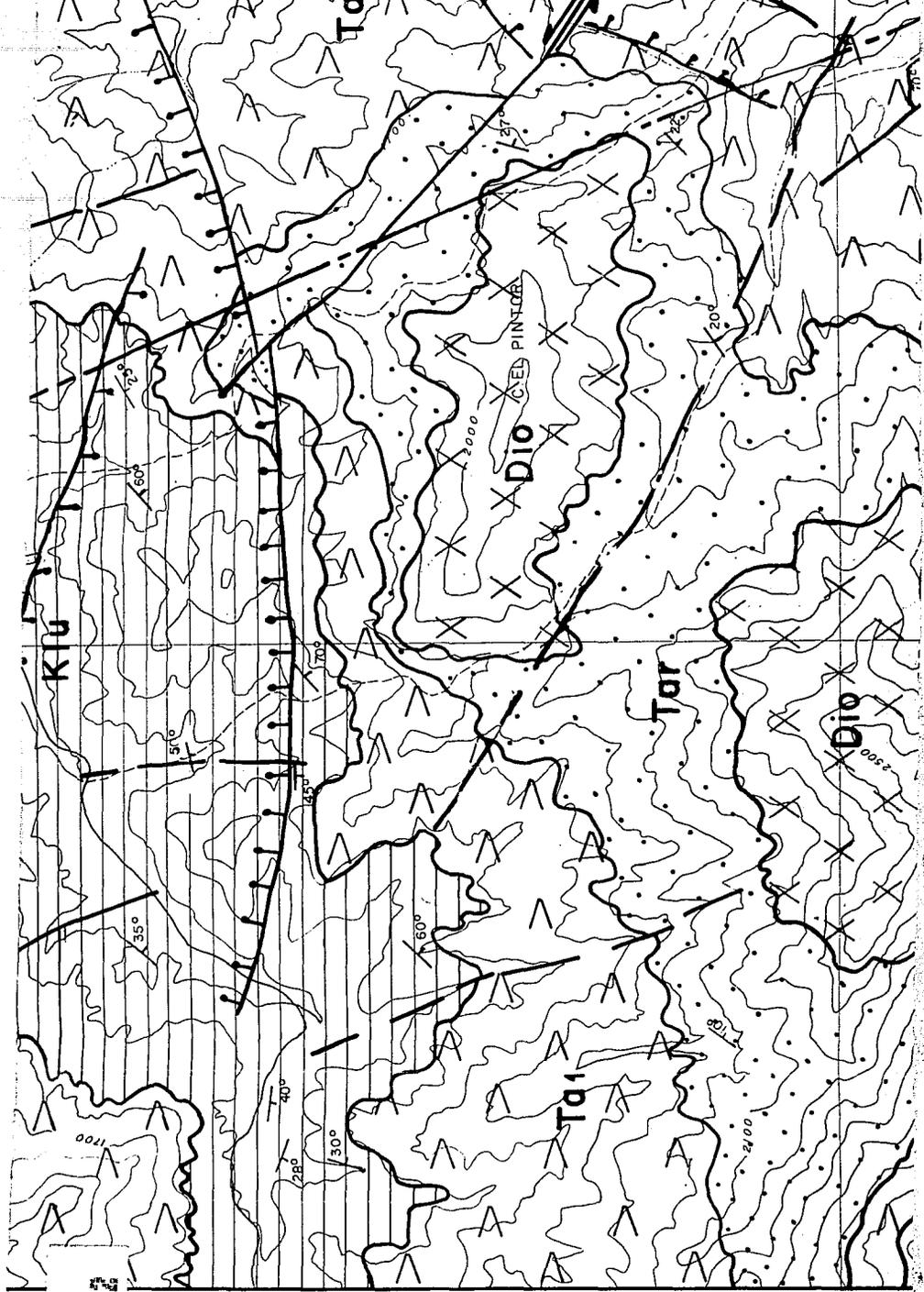
Yto, Y. y Concha, P.H., 1981, Beneficio de sulfuros masivos vulcanogénicos, Mem, XIV Conv. de la AIMMGM, p. 797-832.



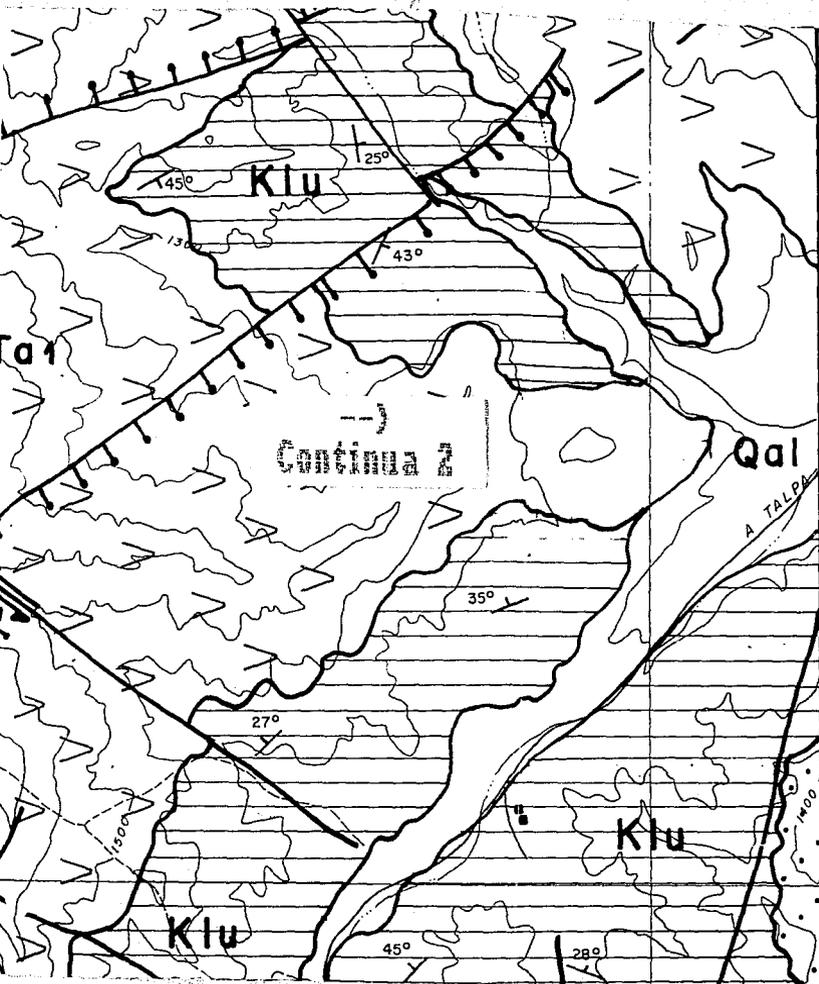
Continua 2



LEYENDA



20° 20'



CUATERNARIO

Qal Aluvión

INTRUSIVO

++ Gr Granito.

X X Dio Diorita

Gd Granodiorita.

TERCIARIO

^ ^ Ta4 Lavas y tobas de composición intermedia.

Hr Hornfels

v v Ta2 Andesitas de grano medio y piroclastos.

••• Tar Areniscas

> > Ta1 Andesitas brechadas y piroclastos.

SIMBOLOS TOPOGRAFICOS

■ ■ ■ Rancheria.

~ Curva de Nivel.

~ Camino de Terraceria.

SIMBOLOS GEOLOGICOS

/// Falla normal

- - - Fractura

~ Sinclinal

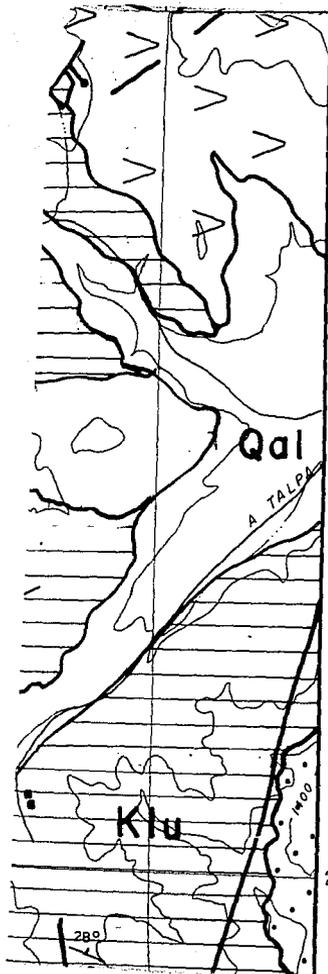
~ Anticlinal

~ Rumbo y echado

CRETACICO

L L Kd2 Dacita (Alto encajonante)

20°20'



CUATERNARIO

Qal Aluvión

TERCIARIO

Ta4 Lavas y tobas de composición intermedia.

Hr Hornfels

Ta2 Andesitas de grano medio y piroclastos.

Tar Areniscas

Ta1 Andesitas brechadas y piroclastos.

CRETACICO

Kd2 Dacita (Alto encajonante de la mineralización)

INTRUSIVO

Gr Granito.

Dio Diorita

Gd Granodiorita.

SIMBOLOS TOPOGRAFICOS

Rancheria.

Curva de Nivel.

Camino de Terraceria.

SIMBOLOS GEOLOGICOS

Falla normal

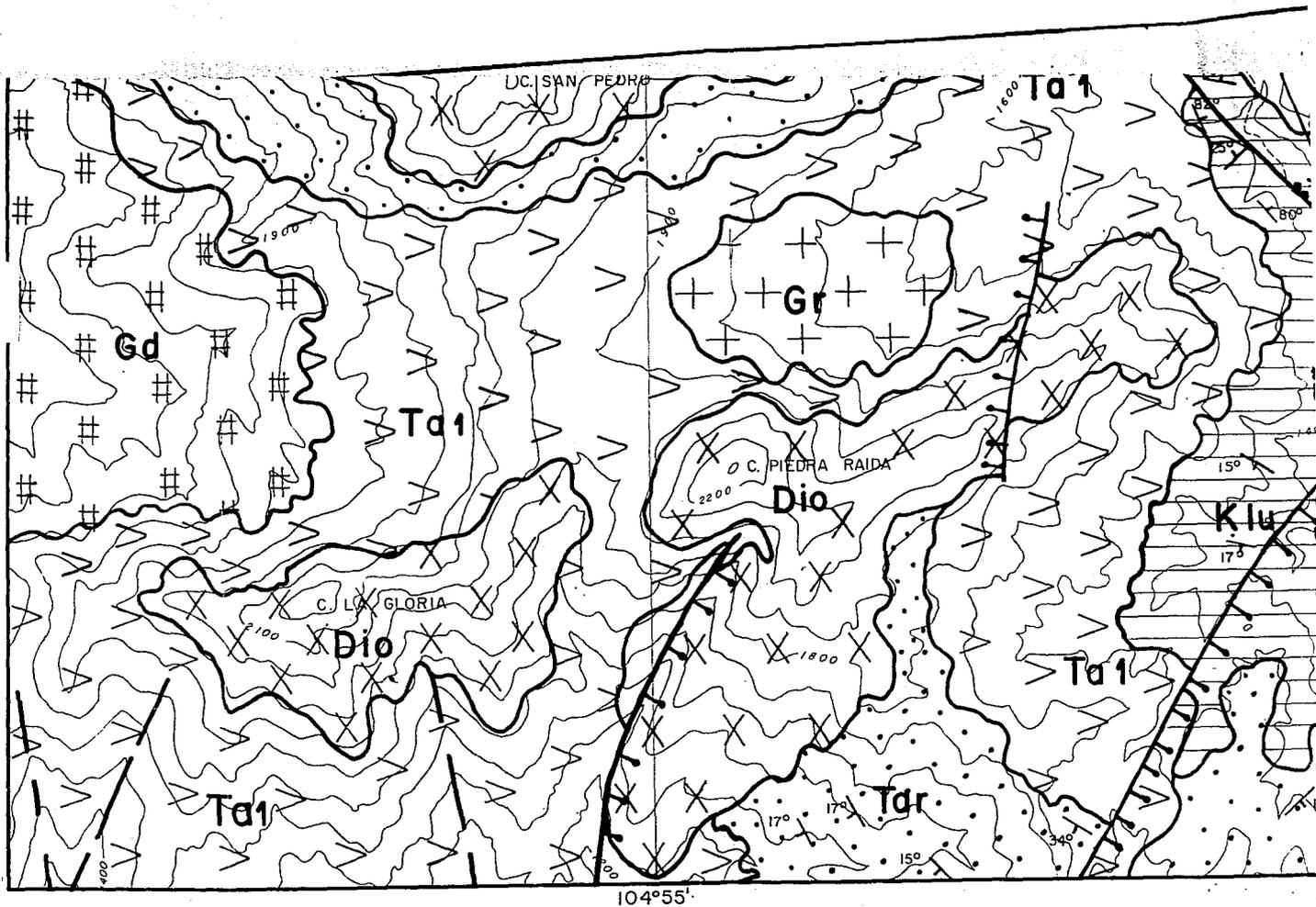
Fractura

Sinclinal

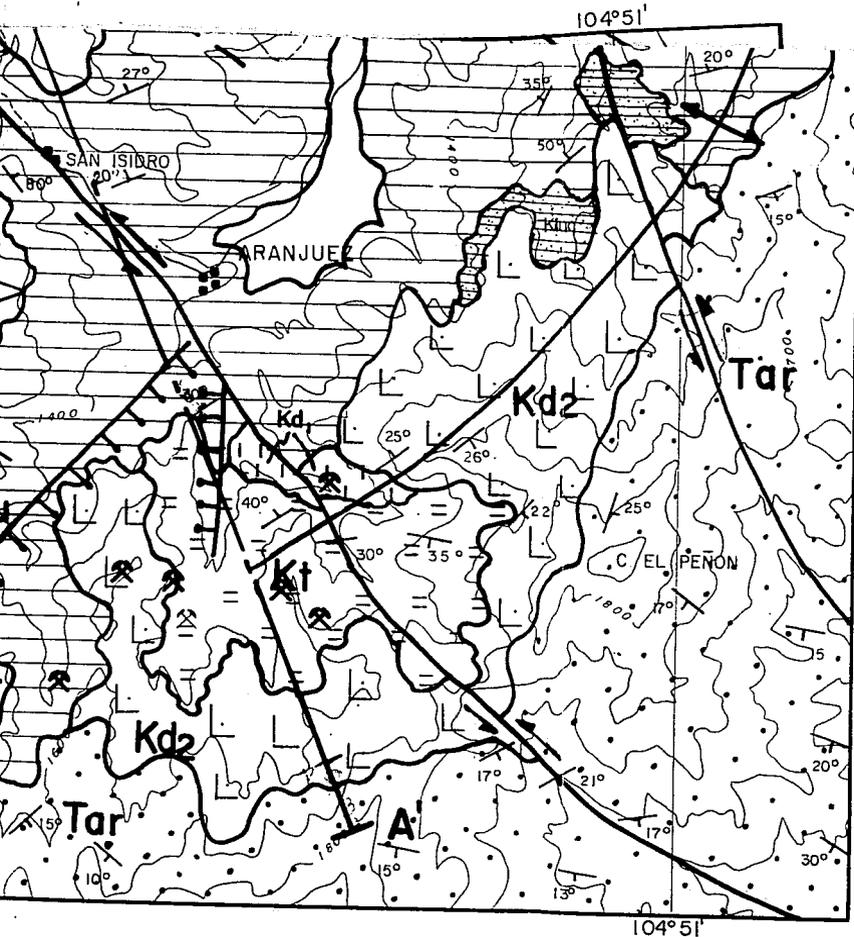
Anticlinal

Rumbo y echado

1
cont. of
sheet
1:25,000

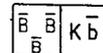


REGIONAL 1:25,000



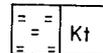
Kluc

Lutita calcárea



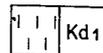
Kb

Lavas y tobas basálticas



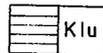
Kt

Tobas del horizonte mineralizado.



Kd1

Dacita (Bajo encajonante de la mineralización)



Klu

Lutitas intercaladas con horizontes finos de areniscas.



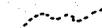
Obra minera



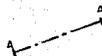
Falla de Rumbo.



Contacto geológico.



Contacto geológico inferior



Línea de sección

Esc. 1 : 25 000



FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL

Mapa geológico del área

ARANJUEZ - EL RUBÍ .

U
N
A
M

ELABORADO:

Hugo A. Omaña Pulido

FECHA:

Plano No. 2

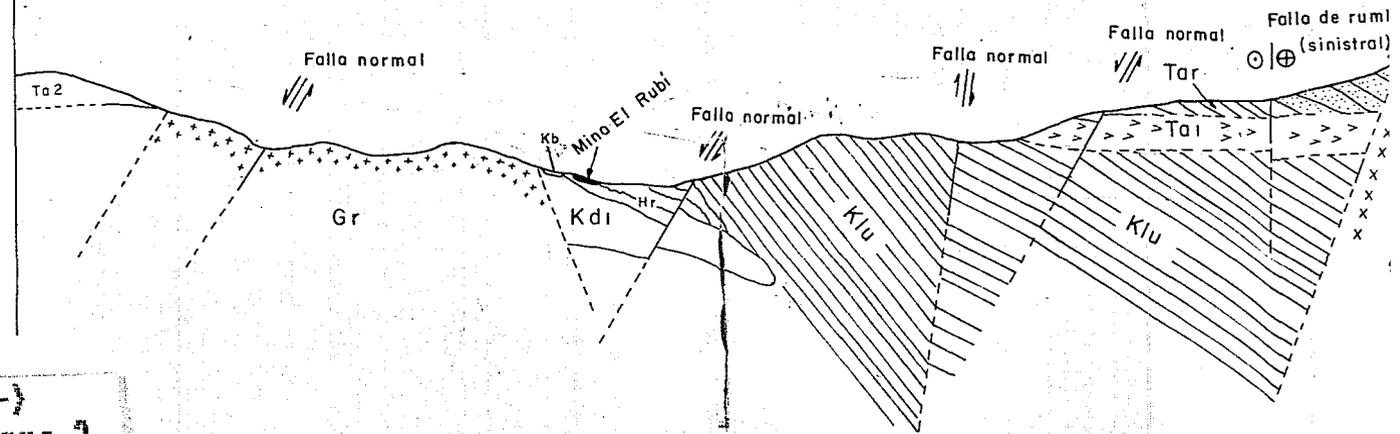
Mineralización		Obra minera
litita calcárea		Falla de Rumbo.
arenas y tobas basálticas		Contacto geológico.
arenas del horizonte mineralizado.		Contacto geológico inferido.
litita (Bajo encajonante la mineralización)		Línea de sección
lititas intercaladas con horizontes finos de arenis-		



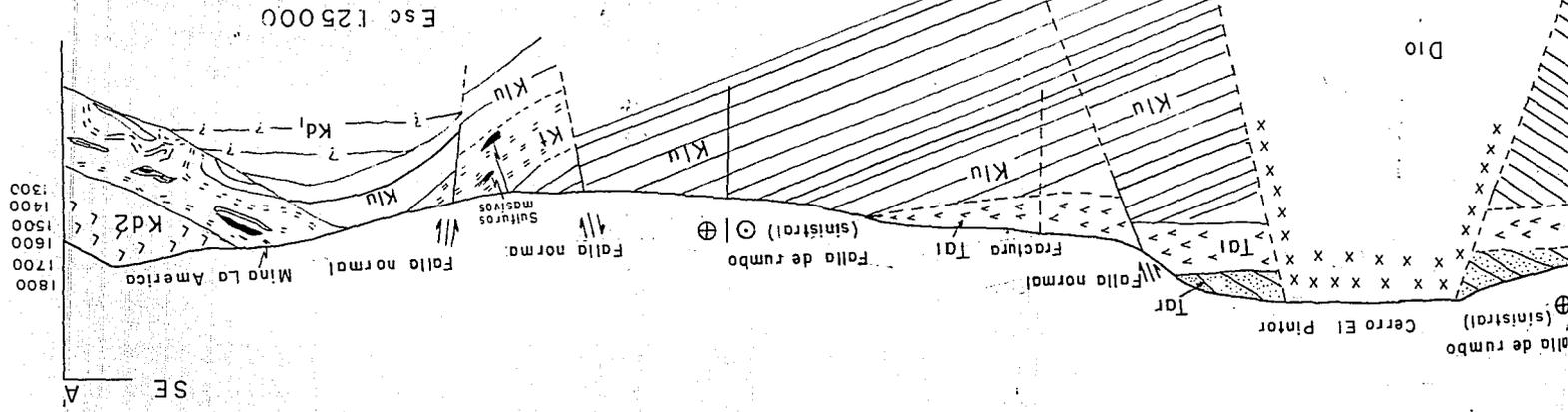
FACULTAD DE INGENIERIA		
TESIS PROFESIONAL		
Mapa geológico del área		
ARANJUEZ - EL RUBÍ .		
ELABORADO:	FECHA :	Plano No. 2
Hugo A. Omaña Pulido		

SECCION A-A (V)

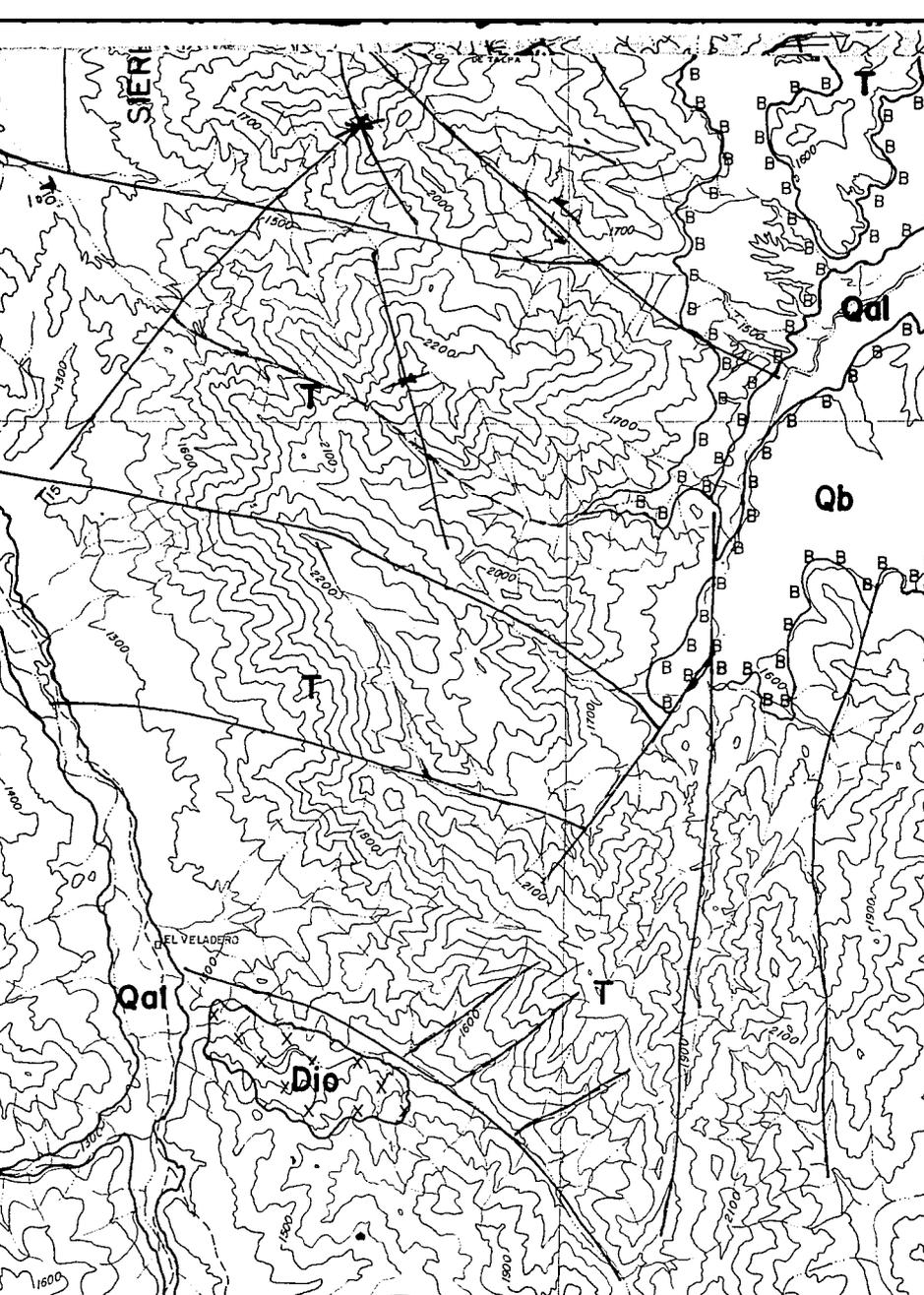
A NW



Continúa 2



A (viendo al NE)



horizontes finos de arcillas.

SIMBOLOS GEOLOGICOS

- Falla de rumbo
- Falla Normal.
- Fractura
- Fractura. O = Falla
- Sinclinal.
- Anticlinal.
- Rumbo y echado 25°
- Obra minera.

SIMBOLOS TOPOGRAFICOS

- Población.
- Rancharia.
- Curva de nivel.
- Camino de Terraceria.
- Area de Estudio.
- Arroyo.
- Ríos.
- Presa.

ESCALA 1:50 000



FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL

U
N
A
M

Mapa Fotogeologico Regional del
area Talpa de Allende,
Jalisco.

ELABORO:
Hugo A. Omaña Pulido.

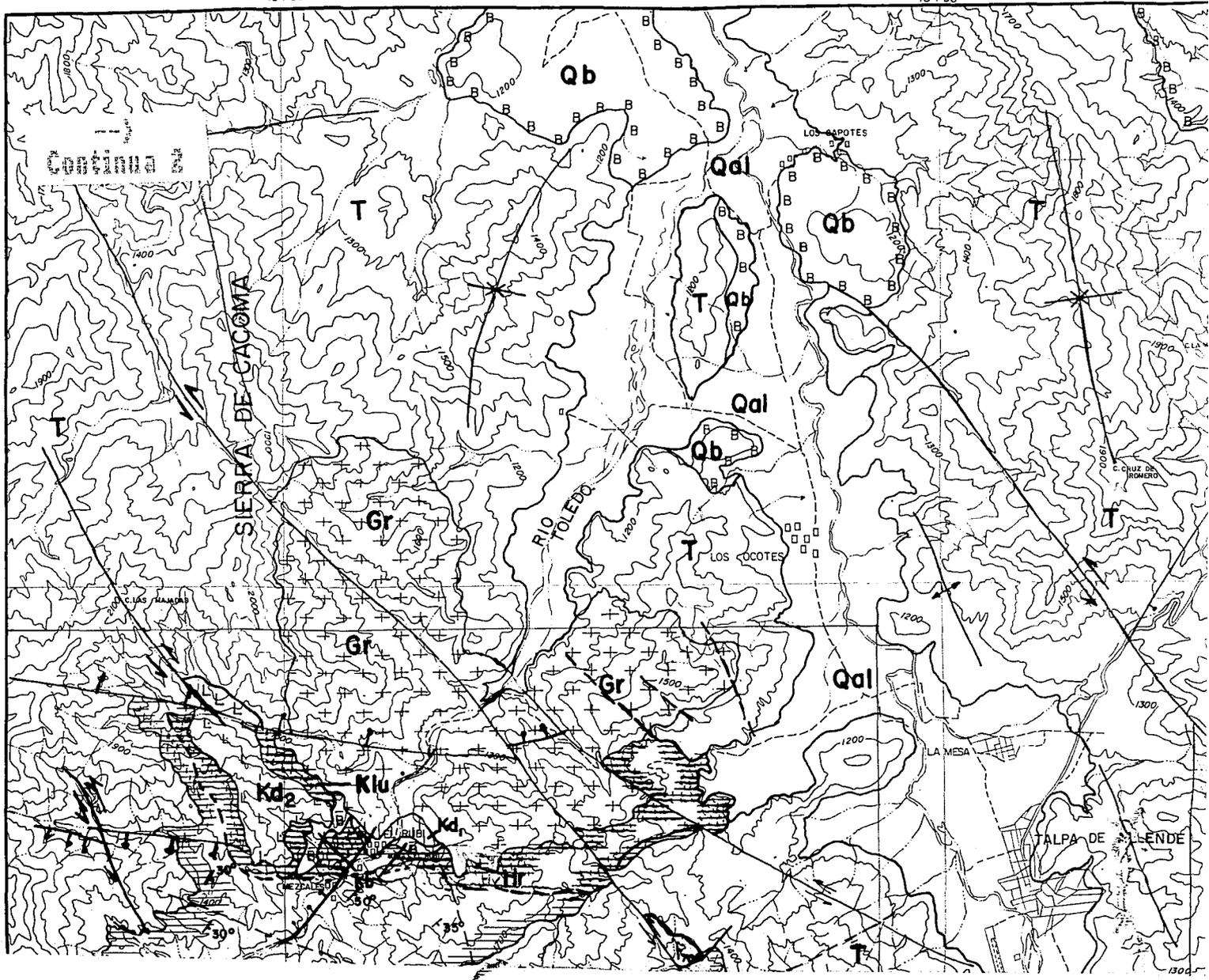
FECHA:

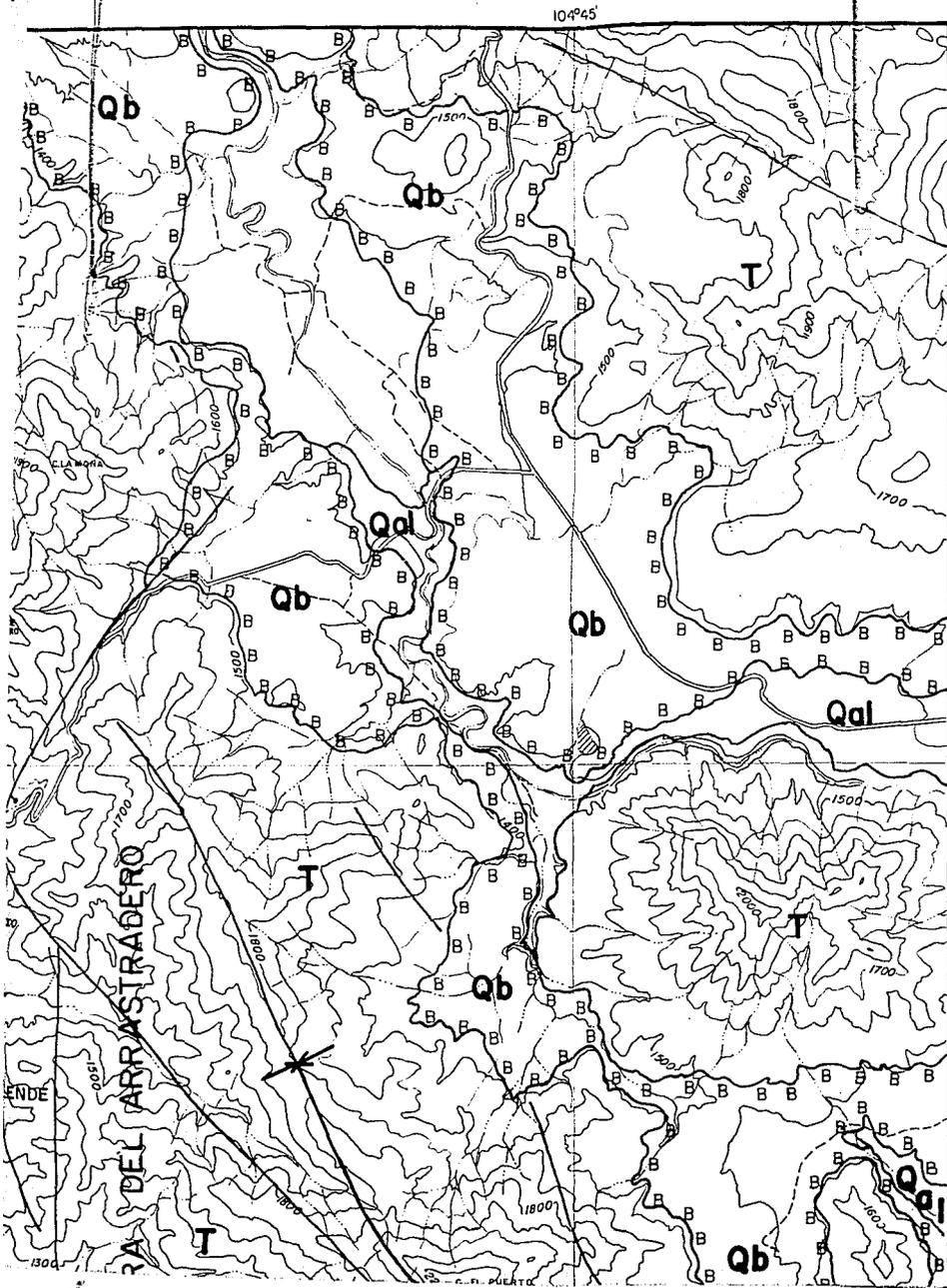
Plano No. 1

104°55'

104°50'

20°25'





LEYENDA

CUATERNARIO

- | | |
|--|-----|
| | Qal |
|--|-----|

 Aluvión
- | | |
|-----|----|
| B B | Qb |
|-----|----|

 Basaltos y tobas vesiculadas.

TERCIARIO

- | | |
|--|---|
| | T |
|--|---|

 Interstratificación de tobas y lavas de composición intermedia a ácida.
- | |
|----|
| Hr |
|----|

 Hornfels

INTRUSIVO

- | | |
|-----|----|
| + + | Gr |
|-----|----|

 Granito
- | | |
|-----|-----|
| X X | Dio |
|-----|-----|

 Diorita.
- | | |
|-----|----|
| # # | Gd |
|-----|----|

 Granodiorita.

CRETÁCICO

- | | |
|-----|-----------------|
| L L | Kd ₂ |
|-----|-----------------|

 Dacita (Alto encajonante de la mineralización).
- | |
|------|
| Kluc |
|------|

 Lutita calcárea.
- | | |
|-----|----|
| B B | Kb |
|-----|----|

 Lavas y tobas basálticas.
- | | |
|-----|----|
| = = | Kt |
|-----|----|

 Tobas del horizonte mineralizado.
- | | |
|--|-----------------|
| | Kd ₁ |
|--|-----------------|

 Dacita (Bajo encajonante de la mineralización).
- | |
|-----|
| Klu |
|-----|

 Lutitas intercaladas con