

14  
201



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Ingeniería

## DESCRIPCION DEL MODELO GEOLOGICO DEL YACIMIENTO DE SULFUROS MASIVOS DE TIZAPA, ZACAZONAPAN, EDO. DE MEXICO.

### T E S I S

Que para obtener el título de:

**I N G E N I E R O G E O L O G O**

P r e s e n t a :

**MAURICIO NERI ACUÑA**



México, D.F.

1998

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

265274



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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 esta 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-1-004

SR. MAURICIO NERI ACUÑA  
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Fernando Rosique Naranjo y que aprobó esta Dirección para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Geólogo :

**DESCRIPCION DEL MODELO GEOLOGICO DEL YACIMIENTO DE SULFUROS  
MASIVOS DE TIZAPA, ZACAZONAPAN EDO. DE MEXICO**

	RESUMEN
I	INTRODUCCION
II	GEOGRAFIA
III	FISIOGRAFIA
IV	GEOLOGIA
V	YACIMIENTOS MINERALES
VI	GEOLOGIA ECONOMICA
VII	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
	BIBLIOGRAFIA
	ANEXOS

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo, le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

Atentamente

“POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU”

Ciudad Universitaria, a 27 de enero de 1998

EL DIRECTOR

  
ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS\*RELR\*gtg



**U.N.A.M.**

**Descripción del modelo geológico del  
yacimiento de sulfuros masivos de  
Tizapa, Zacazonapan, Edo. de Méx.**

**Mauricio Neri Acuña**

**Dedicado:**

A mis papas, Victoria y Manuel

A mis hermanos, Víctor, Susana y Enrique

A mi esposa Cristina

A mi hija Ana Paola

A mis sobrinas

A mi amigo Martín

A los Ings. Enrique Gómez de la Rosa, Guillermo García Sánchez, Aaron Hernández, Fernando Rosique, Daniel Torres y Roberto Medrano.

A los profesores de la Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M.

Y a todas las personas que me han brindado su apoyo y confianza.

En memoria de José Luis Rojas (q.e.p.d.)

# INDICE

	PÁG.
<b>RESUMEN</b>	4
<b>I INTRODUCCIÓN</b>	6
I.1 Objetivo	6
I.2 Método de trabajo	6
I.3 Historia minera y antecedentes del distrito	8
I.4 Agradecimientos	9
<b>II GEOGRAFÍA</b>	10
II.1 Situación geográfica	10
II.2 Vías de comunicación	10
II.3 Clima y vegetación	10
II.4 Actividad económica	11
II.5 Servicios e infraestructura.	11
<b>III FISIOGRAFÍA Y GEOMORFOLOGÍA.</b>	12
III.1 Provincia fisiográfica.	12
III.2 Geomorfología	14
III.3 Hidrografía	14
III.4 Litología predominante	14
<b>IV GEOLOGÍA</b>	16
IV.1 Descripción	16
IV.2 Estratigrafía	17
IV.2.1 Rocas metamórficas	17
IV.2.2 Rocas volcano-sedimentarias	23
IV.2.3 Rocas ígneas intrusivas	24
IV.2.4 Rocas ígneas extrusivas	26
IV.2.5 Rocas sedimentarias	26
IV.3 Geología Estructural	28
IV.4 Geología Regional	30
IV.4.1 Tectónismo	30
IV.4.2 Provincia Geológica	31
IV.4.3 Paleogeografía	32

<b>V YACIMIENTOS MINERALES</b>	35
V.1 Descripción de mantos	35
V.2 Alteraciones	39
V.3 Análisis de la distribución de elementos	40
<b>VI GEOLOGÍA ECONÓMICA</b>	47
VI.1 Mena amarilla	47
VI.2 Filita grafitica	48
VI.2.1 <i>Velocidad de partícula</i>	49
VI.2.2 Factor de carga	51
<b>VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	54
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	57
<b>ANEXOS</b>	61
ANEXO 1 Fotográfico	
ANEXO 2 Gráficas de distribución de elementos	
ANEXO 3 Gráficas de dispersión de elementos	
ANEXO 4 Coeficiente de correlación lineal	

## INDICE DE FIGURAS

### FIGURA

II.1.1	Localización de la Mina Tizapa
II.2.1	Mapa de localización de Minera Tizapa
II.4.1	Condiciones socioeconómicas e infraestructura de Zacazonapan, Edo. de Méx.
III.1.1	Provincias fisiográficas
IV.1.1	Geología regional
IV.1.2	Columna litológica del área de estudio
IV.1.3	Sección idealizada del Distrito de Tizapa, Edo. de Méx.
IV.3.1	Modelo de evolución tectónica
IV.3.2	Sección esquemática de deformación
IV.4.2.1	Terrenos tectonoestratigráficos de México
IV.4.2.2	Subterrenos Guerrero en la parte Central de México
V.1.1	Sección esquemática del yacimiento de Tizapa
V.1.2	Distribución Manto L1
V.1.3	Desplante L1_1226
V.1.4	Sección 6 N40E
V.1.5	Distribución Manto M0
V.1.6	Sección 15-2 N-S
V.1.7	Rebaje M0-1200 a la elevación 1200 m.s.n.m.
V.1.8	Sección 9-2 N40E
V.1.9	Rebaje M0-1100 a la elevación 1100 m.s.n.m.
V.1.10	Distribución Manto M1
V.1.11	Sección 11 N40E
V.1.12	Distribución Manto M2
V.1.13	Sección 12 N40E
VI.1.1	Planta Rebaje M2-1238 a la elevación 1259 m.s.n.m.

## INDICE DE TABLAS

### TABLA

I.3.1	Resumen de las actividades de exploración (1997-1990)
IV.1.1	Resultados de muestras sobre secciones en Manto M2
V.3.1	Leyes mínima, máxima y media de cada manto
VI.1.1	Resultados de muestras mena amarilla
VI.1.2	Resultados de muestras mena amarilla
VI.1.3	Resultados de muestras mena amarilla
VI.1.4	Resultados de muestras mena amarilla
VI.1.5	Resultados de muestras mena amarilla
VI.1.6	Resultados de muestras mena amarilla
VI.2.1.1	Peso de carga para barreno utilizando Máquina Neumática y Jumbo
VI.2.1.2	Velocidad de partícula utilizando Máquina Neumática
VI.2.1.3	Velocidad de partícula utilizando Jumbo
VI.2.2.1	Características para voladuras realizadas en Tizapa
VI.2.2.2	Factores de carga recomendadas para varios tipos de rocas



## RESUMEN

El yacimiento de Tizapa forma parte de un grupo de yacimientos de sulfuros masivos relacionados a una secuencia volcanosedimentaria, asociada a un ambiente tectónico de arco volcánico y cuencas marginales; el conjunto, que en gran parte se observa deformado y metamorfozido a facies de esquistos verdes, ha sido interpretado como un terreno tectonoestratigráfico compuesto de edad Jurásico-Cretácico (Campa y Coney, 1983; Sedlock et al, 1993).

En el área de estudio las rocas corresponden a una secuencia de rocas metasedimentarias y metavolcánicas. Las rocas metasedimentarias se encuentran divididas en dos paquetes separados por las rocas metavolcánicas. La secuencia metasedimentaria inferior es llamada localmente filita grafitica inferior y la secuencia superior se conoce como filita grafitica superior.

Las rocas pre-cretácicas del área de Tizapa han sido afectadas por al menos dos eventos de deformación, acompañados de metamorfismo regional de bajo grado. Un tercer evento produjo una antiforma amplia de orientación NW-SE. Finalmente uno o varios eventos de deformación han originado fallamiento normal y fracturamiento siendo la manifestación más importante la falla Salas, que es de orientación NW-SE.

La clasificación que se utiliza para diferenciar a los mantos de sulfuros masivos está en función de su posición estructural actual, considerándose 3 niveles de mineralización: manto inferior L (Low), manto intermedio M (Medium) y el superior U (Upper). Esta clasificación es, sin embargo, totalmente independiente de la teoría acerca de la forma de depositación de los mantos de Tizapa.

La mineralización de los mantos consiste de un mosaico de pirita de grano fino con bandas y diseminaciones de esfalerita, galena, arsenopirita y calcopirita. Como minerales accesorios se han reportado los siguientes: Tetrahedrita, freibergita, boulangerita y argentita (Monroy Fernández y Aragón Piña, 1994).

Los elementos Au, Ag, Pb y Zn presentan una asociación clara, es decir, que los valores de cada uno de ellos aumenta o disminuye en una relación que podría llamarse directa, mientras que por el contrario el Cu se comporta de manera irregular, guardando

únicamente con el Zn una relación inversa, es decir, que cuando los valores del Cu aumentan los del Zn tienden a bajar y viceversa. Dentro de los mismos mantos existen tendencias claras del comportamiento y distribución de cada uno los elementos.

La filita grafitica superior, que por lo general se encuentra al alto de los mantos en gran parte de los rebajes de la mina de Tizapa, es una roca inestable debido a su naturaleza. En la actualidad no se conoce bien su comportamiento mecánico.

El yacimiento se ha explotado desde agosto de 1994 por Peñoles, Dow y Sumitomo, iniciando con una producción de 800 toneladas por día. En 1998 se incrementa la producción a 1,600 toneladas por día.

# **I INTRODUCCION**

## **I.1 OBJETIVO:**

El objetivo de este trabajo es describir la geología del yacimiento con base en los datos geológicos existentes en la mina Tizapa y definir:

- 1) Si la distribución de los mantos que se conoce en la actualidad fue originalmente:
  - a) Un solo manto depositado en un único nivel estratigráfico, que posteriormente fue deformado, metamorizado y afallado hasta llegar a su disposición actual.
  - b) Varios mantos depositados en un solo nivel estratigráfico, asociados a distintas fuentes alimentadoras que igualmente sufrieron deformación, metamorfismo y fallamientos o
  - c) Varios mantos depositados en distintos niveles estratigráficos.
  
- 2) La distribución y comportamiento del Au, Ag, Pb, Zn y Cu en cada uno de los mantos para determinar si se trata de un solo manto o de varios mantos provenientes de distintas fuentes.
  
- 3) Analizar el comportamiento de la filita graffítica y los problemas que genera en la mina dada su naturaleza.

## **I.2 MÉTODO DE TRABAJO:**

- 1) Se recopiló información bibliográfica existente del área de estudio.
  
- 2) Se realizaron levantamientos geológicos en el interior de mina y se interpretaron secciones y planos.
  
- 3) Para la interpretación de distribución de elementos, se elaboraron gráficas de distribución de elementos, realizandose los siguientes pasos:

a) Se utilizó el banco de datos de todo el muestreo de la mina (que incluye barrenos y muestreo de canal) y se separaron exclusivamente las muestras de mineral de cada manto con sus coordenadas y elevación en m.s.n.m.

b) Para el caso de los mantos L1, M1 y M2, se generaron bloques de 5 x 5 x 5 m y se realizaron compósitos con las muestras incluidas dentro de dichos bloques. El centro de cada bloque se utilizó como coordenada para ubicar el compósito de las muestras involucradas.

c) Para cada manto se generó una nueva base de datos, que incluye la elevación del bloque, sus coordenadas y la ley del compósito. Posteriormente con Surfer 6.01, se elaboraron gráficas de tendencia para cada elemento de cada manto utilizando la ley de dichos compósitos. La base topográfica empleada para este fin la constituyen las secciones del sistema N40°E.

d) Para el manto M0 se utilizaron exclusivamente las muestras de núcleos, ya que las muestras de canal no son representativas en este caso, debido a que existe un gran espaciamiento entre estas muestras, lo que pudiera generar influencias anómalas debido a la presencia de poblaciones de muestras muy aisladas.

e) Para el caso del manto M0, la base topográfica utilizada fue el sistema de coordenadas propias que se generaron en la mina Tizapa.

4) Para definir la situación de la mena amarilla en el Capítulo VI, se tomaron muestras de canal ubicadas sobre secciones topográficas en el rebaje M2-1238.

5) Para determinar el comportamiento de la filita grafitica con el uso de explosivos se utilizaron manuales técnicos de ICI y Du pont. Se realizaron observaciones en el interior de mina para definir la cantidad de explosivo que se utiliza y la técnica empleada en el cargado de barrenos. Se consultó la base de datos de los Departamentos de Planeación, Geología y Mina para obtener toda la información existente acerca del manejo mecánico de la filita grafitica.

### **1.3 HISTORIA MINERA Y ANTECEDENTES DEL DISTRITO:**

En el año de 1977 el Consejo de Recursos Minerales después de analizar las Imágenes del ERTS-1 que cubren aproximadamente 10,000 Km<sup>2</sup> de la Provincia Metalogenética denominada Eje Neovolcánico, encontró en ellas importantes rasgos tectónicos que sugerían la evidencia de depósitos minerales aún no descubiertos. Por lo tanto se realizó un proyecto que se abocara a la evaluación geológico-minera de dicha provincia.

En la evaluación geológica se determinó que en los límites de ésta provincia con la Sierra Madre del Sur, existían afloramientos de rocas vulcano-sedimentarias, que indicaban que era muy recomendable prospectar por sulfuros masivos vulcanogénicos, lo que se llevó a cabo en forma prioritaria, a mediados de 1978 ya se habían analizado con éxito las primeras muestras del Yacimiento de Tizapa.

Después de los trabajos de geología regional a semidetalle y detalle, se elaboró un estudio geofísico (Método TURAM); posteriormente, se pasó a los métodos directos de exploración, por medio de 10,000 m de barrenación a diamante. A partir de 1987 por medio de un convenio entre los gobiernos de México, a través del Consejo de Recursos Minerales (C.R.M.) y Japón por medio del Japan International Cooperation Agency (JICA) y Metal Mining Agency of Japan (MMAJ) se continuó la barrenación a diamante en superficie e interior mina (7540 m) y también con obra directa (750 m) (tabla 1.3.1). Como resultado de estos trabajos de exploración se cubicaron 4.5 millones de toneladas con una ley promedio de 2.01 gr. de Au/ton, 314 gr. de Ag/ton, 1.72% de Pb, 7.85 % de Zn, 0.68% de Cu y 33.51 % de Fe.

Fue en octubre de 1991, cuando el Consejo de Recursos Minerales somete a concurso la explotación del Yacimiento y en marzo de 1992, Peñoles, Dowa Mining Company y Sumitomo Corporation lo ganan. El 14 de mayo de 1992 se constituye Minera Tizapa S.A de C.V.

En 1993 se inician las labores de construcción de la nueva unidad minera y en agosto de 1994 inicia operaciones la Planta de Beneficio con una capacidad de 800 toneladas por día aumentándose a 1,000 toneladas por día en 1996.

En noviembre de 1996 se inicia la ingeniería básica para la ampliación de la Planta de Beneficio y en abril de 1997 se realiza la compra del equipo que servirá en la ampliación de la Planta de Beneficio, en ese mismo mes se inicia la separación de concentrados de Pb y Cu.

En agosto de 1997 se inicia la instalación del equipo para la ampliación de la Planta de Beneficio.

En abril de 1998 se concluye la instalación del equipo para la ampliación de la Planta de beneficio y se incrementa la capacidad de producción a 1,600 toneladas por día.

#### **I.4 AGRADECIMIENTOS.**

Agradezco el apoyo brindado por el Gerente Divisional de Exploraciones en Unidades Mineras, Ing. Nephthali Bravo Medina, al gerente de la Cia. Minera Tizapa S.A. de C.V., Ing. Jesús Rico Aguilera, al personal de los departamentos de Exploraciones e Ingeniería y Planeación de la misma empresa, Ing. Daniel Torres Guerrero, Ing. Roberto Medrano Quezada, Ing. Akio Yoshinari Noguchi y al Sr. Vicente Villa Ezquivel, al Superintendente de Exploraciones de Cia. Minera Las Torres, Ing. Guillermo García Sánchez y a los Profesores de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, Ing. Fernando Rosique Naranjo, Ing. Alfredo Victoria Morales, Ing. Jorge Nieto Obregón, Ing. German Arriaga García e Ing. José Luis Jiménez Mendoza.


# RESUMEN DE LAS ACTIVIDADES DE EXPLORACIÓN (1977 - 1990)

## I.- BARRENACIÓN DE DIAMANTE:

1979 - 1985 CRM	60 BARRENOS DE SUPERFICIE	10,000 m
1987 - 1989 CRM - JICA	18 BARRENOS DE SUPERFICIE	3,990 m
1989 - 1990 CRM - JICA	45 BARRENOS INTERIOR MINA	3,550 m *
<b>TOTAL</b>		<b>17,540 m</b>

## II.- OBRA DIRECTA

1989 - 1990 JICA:	FRENTE NW 75	550 m
	CRUCERO NORTE	100 m
	CRUCERO SUR	100 m
<b>TOTAL</b>		<b>750 m</b>

	<b>FACULTAD DE INGENIERIA DIVISION CIENCIAS DE LA TIERRA</b>
<b>TESIS PROFESIONAL</b>	
REGUMEN DE LAS ACTIVIDADES DE EXPLORACIÓN (1977 - 1990)	
TITULO	MAURICIO NERIACUNA
U.N.A.M.	Tabla: 1.3.1.
	ESCALA

## **II GEOGRAFÍA**

### **II.1 SITUACIÓN GEOGRÁFICA**

La mina de Tizapa se encuentra en la porción sur-poniente del Estado de México, a 67 Km al SW en línea recta de la Ciudad de Toluca de Lerdo y a 4 Km al SW de San Juan Zacazonapan; está localizada entre las coordenadas geográficas 100° 10'a 100° 15' de Longitud Oeste y 19° 00' a 19° 05' de Latitud Norte (fig. II.1.1)

### **II.2 VÍAS DE COMUNICACIÓN**

Zacazonapan está comunicado por carreteras pavimentadas. El acceso se realiza desde la Ciudad de Toluca por dos caminos, el primero es por la carretera que pasa por Temascaltepec y San Pedro Tenayac, con una longitud de 111 Km; la segunda vía de acceso es la carretera que pasa por Valle de Bravo, Colorines, Santo Tomás de los Plátanos, Zuluapan y San Martín Oztoloapan, con una longitud de 147 Km. (fig. II.2.1).

El acceso a Tizapa se realiza desde Zacazonapan, por medio de carretera pavimentada con una longitud de 8 Km.

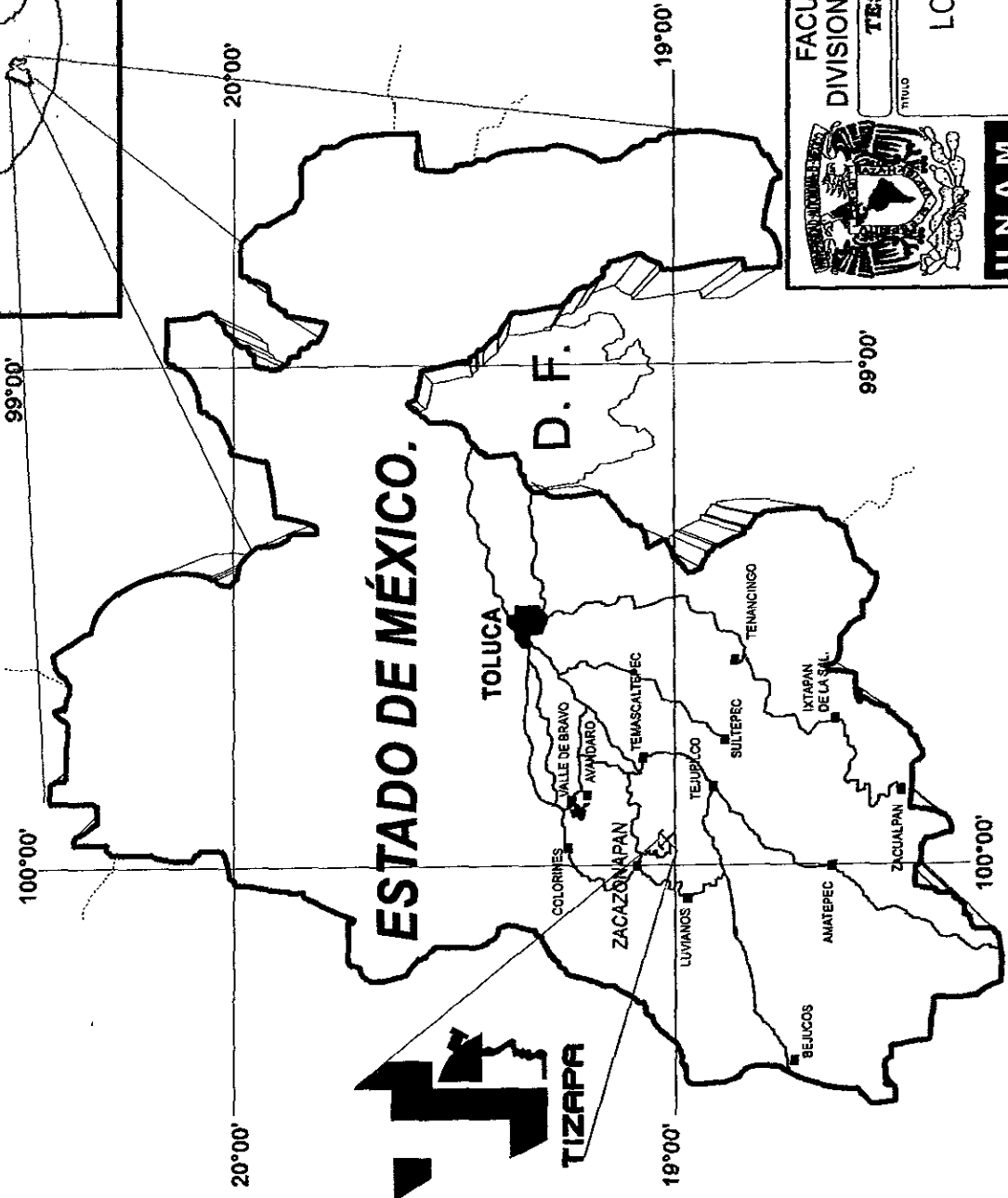
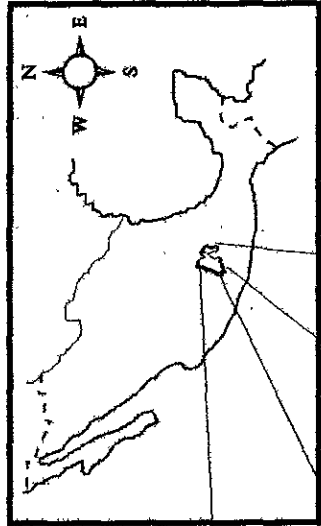
El servicio de aeropuerto y ferrocarril se localizan en la Ciudad de Toluca de Lerdo.

### **II.3 CLIMA Y VEGETACION**

Tizapa se encuentra ubicada en las proximidades de los 19° Latitud Norte y pertenece a la zona tropical. El clima que predomina es de templado a cálido y se divide típicamente en la época de lluvias en verano y la época de secas en invierno, siendo los meses de julio, agosto y septiembre los más lluviosos del año. La temperatura de verano sobrepasa los 30° C y la precipitación anual media es de 1,500 mm. La temperatura de invierno oscila entre 10 y 16° C.

La vegetación está constituida por ceibas, parotas huizaches, arbustos y pastos.





**ESTADO DE MÉXICO.**



**D. F.**

**TOLUCA**

VALLE DE BRAVO  
AVANDARO  
TEMASCALTEPEC  
ZACAZONAPAN  
LUVIANOS  
BEJUCOS  
AMATEPEC  
ZACUALPAN

TEJUPILCO  
SULTEPEC  
ITZAPAN DE LA SIERRA  
TENANCINGO

**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**DIVISION CIENCIAS DE LA TIERRA**

**TESIS PROFESIONAL**

LOCALIZACIÓN DE LA  
MINA TIZAPA

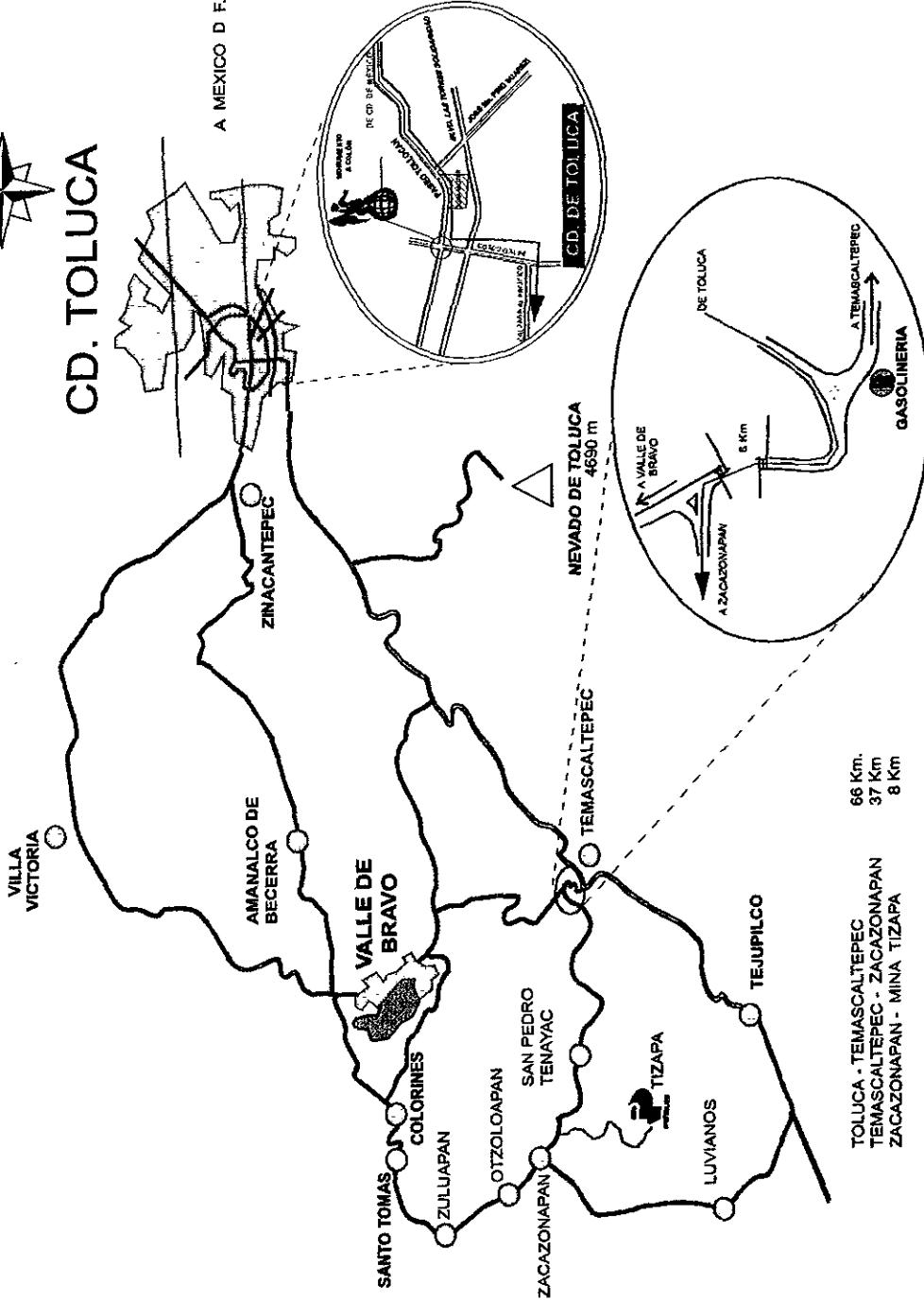
MAURICIO MERIACUÑA  
FIGURA II.1.1

U.N.A.M.  
SI ESCALA



# CD. TOLUCA

A MEXICO D.F.



66 Km.  
37 Km  
8 Km

TOLUCA - TEMASCALTEPEC  
TEMASCALTEPEC - ZACAZONAPAN  
ZACAZONAPAN - MINA TIZAPA



**U.N.A.M.**

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIVISION CIENCIAS DE LA TIERRA

TESIS PROFESIONAL

TITULO

MAPA DE LOCALIZACIÓN  
DE MINERA TIZAPA

MAURICIO NERI ACUÑA

FIGURA "I". 2.1

SI ESCALA

La altura promedio en la mesa de Tizapa es de 1,360 m.s.n.m. y de 1,225 m.s.n.m. en el área del Socavón Zacazonapan.

#### **II.4 ACTIVIDAD ECONÓMICA.**

Zacazonapan tiene una población de 2,500 habitantes. En la región las principales actividades económicas son la agricultura tradicional y la ganadería extensiva, además del comercio en pequeña escala. Zacazonapan no había tenido actividad minera, por lo que fue necesario traer personal con experiencia en las labores mineras y capacitar al personal de la región (fig. II.4.1).

#### **II.5 SERVICIOS E INFRAESTRUCTURA.**

Zacazonapan cuenta con Jardín de Niños, Escuela Primaria, Escuela Secundaria, Preparatoria, Teléfono, Correos, Biblioteca Pública, Casa de la Cultura y Carreteras Pavimentadas (fig. II.4.1). El acceso a la mina es, como se mencionó anteriormente, por un camino pavimentado. La energía eléctrica que alimenta a la población es suministrada por comisión Federal de Electricidad (CFE) a 13,200 Volts., desde la subestación Santa Bárbara que se encuentra en la carretera Colorines-Zacazonapan y la cual pertenece al Consejo Hidroeléctrico Miguel Alemán. Minera Tizapa cuenta con dos líneas suministradas también por C.F.E.: La primera es la misma que se mencionó para el poblado de Zacazonapan (13,200 Volts) y la segunda es la suministrada desde la subestación de Tejupilco a 115,000 Volts, siendo esta última utilizada para la operación efectiva de la Unidad.

### III FISIOGRAFÍA Y GEOMORFOLOGÍA.

#### III.1 PROVINCIA FISIOGRÁFICA.

La mina de Tizapa se encuentra localizada entre la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico y el límite septentrional de la subprovincia Cuenca del Balsas-Mezcala, perteneciente a la provincia fisiográfica de la Sierra Madre del Sur (Morán Zenteno, 1984). (fig. III.1.1)

El relieve presente es el resultado de dos morfologías contrastantes, por un lado se tiene al Eje Neovolcánico y por el otro a la Sierra Madre del Sur (Moran Zenteno, op. cit.):

**Eje Neovolcánico:** Es una franja volcánica que cruza transversalmente a la República Mexicana a la altura del paralelo 20°, con una longitud aproximada de 1,100 km (Lugo Hubp, 1990).

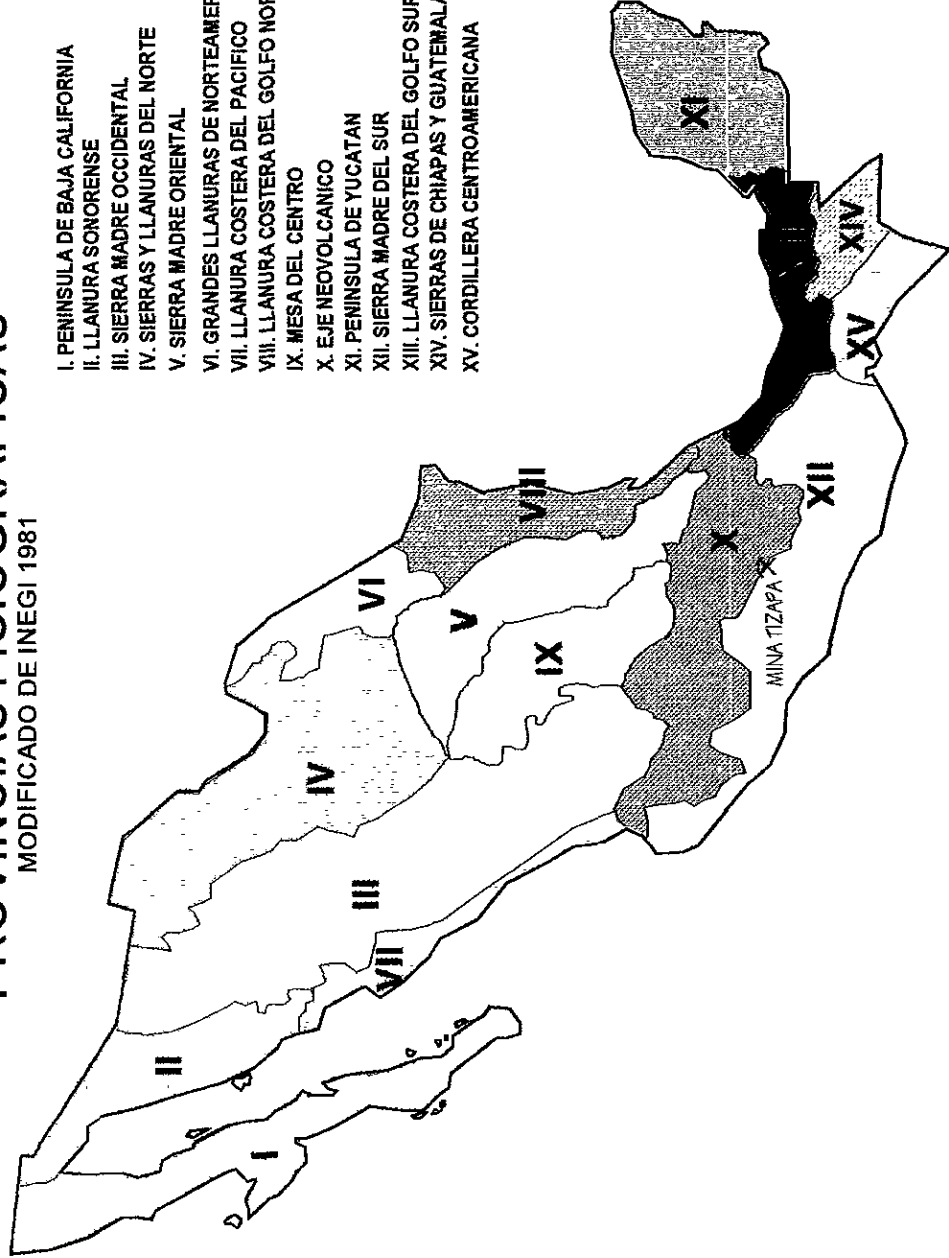
Se caracteriza por su actividad volcánica joven, su dinámica de desarrollo en el Cuaternario, en especial en el Pleistoceno Tardío-Holoceno; esta formado por una gran variedad de rocas volcánicas que fueron emitidas a través de un importante número de estructuras volcánicas. Los principales aparatos volcánicos que se tienen son estratovolcanes de dimensiones variables como el Popocatepetl, Iztaccíhuatl, Nevado de Toluca y Pico de Orizaba; también se tiene la presencia de conos cineríticos, emisiones fisurales y conos adventicios desarrollados en las laderas de los estratovolcanes. Un ejemplo clásico, es el que se tiene en el poblado de Amecameca, en las faldas del Popocatepetl, donde se observa un gran número de conos cineríticos (Morán Zenteno, op. cit.). La actividad volcánica desarrolló la formación de cuencas endorreicas y barrancas.

**Sierra Madre del Sur:** La Sierra Madre del Sur desde Colima hasta Oaxaca y las zonas contiguas del noroccidente de Guerrero, Michoacán y el Estado de México, constituye una región con alta complejidad estructural que presenta varios dominios tectónicos yuxtapuestos (Morán Zenteno, op. cit.).

# PROVINCIAS FISIOGRAFICAS

MODIFICADO DE INEGI 1981

- I. PENINSULA DE BAJA CALIFORNIA
- II. LLANURA SONORENSE
- III. SIERRA MADRE OCCIDENTAL
- IV. SIERRAS Y LLANURAS DEL NORTE
- V. SIERRA MADRE ORIENTAL
- VI. GRANDES LLANURAS DE NORTEAMERICA
- VII. LLANURA COSTERA DEL PACIFICO
- VIII. LLANURA COSTERA DEL GOLFO NORTE
- IX. MESA DEL CENTRO
- X. EJE NEOVOLCANICO
- XI. PENINSULA DE YUCATAN
- XII. SIERRA MADRE DEL SUR
- XIII. LLANURA COSTERA DEL GOLFO SUR
- XIV. SIERRAS DE CHIAPAS Y GUATEMALA
- XV. CORDILLERA CENTROAMERICANA



UNAM

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIVISION CIENCIAS DE LA TIERRA

TESIS PROFESIONAL

PROVINCIAS FISIOGRAFICAS  
DE MEXICO

MAURICIO NERI ACUÑA

FIGURA: III.11

SI ESCALA

En la porción occidental se observa el desarrollo de Karst en los límites de los estados de Colima y Jalisco; las mayores altitudes corresponden a estructuras de rocas calcáreas y volcánicas y es notorio que los cuerpos granitoides ocupan las porciones más bajas; en la cercanía de la zona costera de Oaxaca, el relieve alcanza mayores alturas en montañas de rocas metamórficas paleozoicas; frente a esta zona, la trinchera Mesoamericana se hace más profunda. Desde Bahía de Banderas, Jal. Hasta el Valle de Colima, predominan rocas granitoides cretácicas pertenecientes a un batolito con alturas de 2,500 m.s.n.m., cortado por fracturas de orientación transversal a la línea de costa. En dirección sur se presentan estructuras en bloques de roca de granito y gneis del Paleozoico y Jurásico, así como también rocas más antiguas de este sistema montañoso: gneises precámbricos asociados con granitos paleozoicos (Lugo Hubp, op. cit.).

La porción de la Sierra Madre del Sur correspondiente a los estados de Guerrero y Morelos, consiste de una serie de elevaciones de calizas cretácicas y valles intermontanos cubiertos ambos al norte por material volcánico. En la zona limítrofe (la cual corresponde a la porción sur del estado de Puebla) del Eje Neovolcánico y la Sierra Madre del Sur se extiende con dirección al sureste la cañada oaxaqueña, además de un valle de origen tectónico de clara expresión en el relieve entre las poblaciones de Tehuacán y Oaxaca, este valle queda limitado al oriente por una estructura montañosa que es la Sierra de Juárez, y está formado por rocas metamórficas paleozoicas (Lugo Hubp, op. cit.).

Cabe mencionar que las provincias mencionadas se encuentran separadas por la cuenca del Río Balsas-Mezcala, que se extiende al oriente del poblado de Mezcala, Guerrero, hasta las cercanías de la Cd. De Acatlán, Puebla, con una superficie aproximada de 10,000 km<sup>2</sup>.

La subprovincia Cuenca-Balsas-Mezcala presenta una orientación preferencial de oriente-poniente, con alturas mínimas de 400 m.s.n.m. Durante el Neógeno en las partes septentrional y meridional de la Cuenca, se tuvo el desarrollo de intrusiones granitoides, las cuales produjeron deformación en las rocas y acumulación de material volcánico (Lugo Hubp, op. cit.). Actualmente se cree que la Cuenca Balsas-Mezcala es una fosa tectónica la cual se desarrolla en asociación con el bloque de la Sierra Madre del Sur (De Cserna et al, 1980).

### **III.2 GEOMORFOLOGÍA:**

El área de estudio se encuentra en una etapa de madurez con un rejuvenecimiento representado por la actividad volcánica reciente, como lo indica la presencia de conos volcánicos (Cerro Pelón) y mesetas formadas por coladas de basalto (Mesa de Tizapa), también se observan grandes cañadas formadas por ríos intermitentes los cuales desembocan al arroyo El Ahogado.

Geomorfológicamente los rasgos más característicos de esta región están constituidos por la Sierra de la Pila y la barranca que ha excavado el río Temascaltepec, la cual alcanza a tener diferencias altimétricas de hasta 600 m entre el fondo de la misma y la cima de algunas elevaciones montañosas que la rodean o de las mesetas formadas por derrames de basaltos.

### **III.3 HIDROGRAFÍA**

El sistema de drenaje es de tipo dendrítico e intermitente; caracterizado principalmente por arroyos de fuertes pendientes a veces interrumpidos por saltos de hasta 40 m. En épocas de lluvias los arroyos principales son El Ahogado que lleva agua todo el año, en la parte norte se le unen El Campanario, San José Tizapa y Arroyo Frío. El arroyo El Ahogado desemboca en el río Temascaltepec, que junto con el río Tilostoc forma el río Tuzantla, el cual es afluente del río Balsas que drena hacia el Océano Pacífico.

### **III.4 LITOLOGIA PREDOMINANTE**

En la región comprendida entre la Provincia del Eje Neovolcánico y la Cuenca del Río Balsas, aflora una secuencia vulcanosedimentaria compleja de edad Jurásico Superior-Cretácico Inferior, propia de un ambiente de Arco Insular-Mar Marginal. La secuencia está formada por rocas verdes con interdigitaciones de rocas félsicas y alternancias de rocas sedimentarias (Campa, 1974).

En resumen, la litología está constituida por rocas volcánicas submarinas de composición andesítica-dacítica y lentes riolíticos interdigitados con lutitas y areniscas, así como secuencias calcáreas, todas estas afectadas por un metamorfismo regional de bajo grado, de edad Jurásico Superior-Cretácico Inferior (Campa, op. cit.).

Durante el Eoceno-Oligoceno, debido a una emersión regional, se formaron capas rojas en cuencas favorables. (Campa, op. cit.). La actividad ignea del Oligoceno Superior-Mioceno está representada por lavas riolíticas-dacíticas con textura fluidal esferulítica y porfídica conjuntamente con tobas y lahares asociadas a depósitos de ignimbrita. Reciben los nombres de Grupo Tilzapotla y Grupo Buenavista. Finalmente, se encuentran las manifestaciones volcánicas pliocuaternarias de composición basáltico-andesíticas que originaron el Eje Neovolcánico.



## IV GEOLOGÍA

### IV.1 DESCRIPCIÓN

El yacimiento de Tizapa forma parte de un grupo de yacimientos de sulfuros masivos relacionados a una secuencia volcanosedimentaria que en conjunto ha sido descrito como Complejo Tierra Caliente (Ortega-Gutiérrez, 1981), terreno Guerrero (Campa y Coney, 1983) o Terreno Nahuatl (Sedlock et al, 1993) (fig. IV.1.1). La secuencia volcanosedimentaria referida está asociada a un ambiente tectónico de arco volcánico y cuencas marginales y el conjunto, que en gran parte se observa deformado y metamorfozado en facies de esquistos verdes, ha sido interpretado como un terreno tectonoestratigráfico compuesto de edad Jurásico-Cretácico (Campa y Coney, op. cit., Sedlock et al, op. cit.).







Las rocas del área de Tizapa comprenden una secuencia de rocas metasedimentarias y metavolcánicas (fig. IV.1.2). La secuencia presenta metamorfismo en facies de esquistos verdes con presencia de muscovita, clorita y biotita (Lewis y Rhys, 1997).

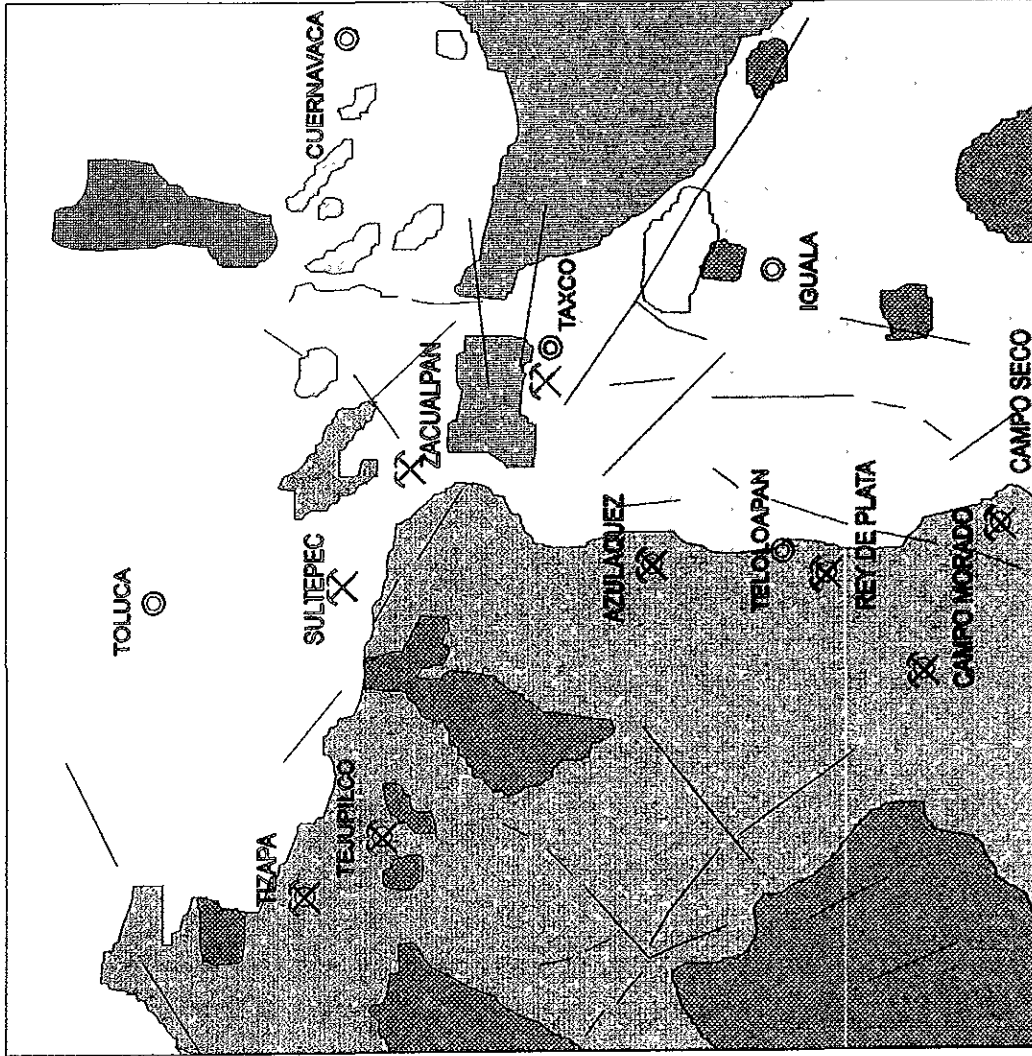
Las rocas metasedimentarias se encuentran divididas en dos paquetes separados por las rocas metavolcánicas. La secuencia metasedimentaria inferior es llamada localmente filita grafitica inferior y la secuencia superior se conoce como filita grafitica superior.

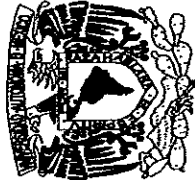
Las rocas metavolcánicas subyacen a los sulfuros masivos en aparente concordancia; presentan diseminación de pirita y alteraciones de sericita y clorita. Las filitas grafiticas inferior y superior no presentan diseminación, ni alteraciones de sericita y clorita, por lo que se consideran como un evento no asociado a la mineralización, siendo la filita grafitica superior, posterior a ella (Barboza et al, 1998).

La información actual parece indicar que el sulfuro masivo se depositó en un solo horizonte estratigráfico, aunque es difícil definir si se trata de un solo manto y si se trató de una o varias fuentes alimentadoras, ya que la mineralogía se presenta como un rasgo

# EXPLICACIÓN

-  Cuaternario
-  Terciario
-  K Inf-K Medio.
-  J Sup- K Inf.
-  Yacimiento Hidrotermal.
-  Yacimiento Vulcanogénico.





**U.N.A.M.**

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIVISION CIENCIAS DE LA TIERRA

**TESIS PROFESIONAL**

**GEOLOGIA REGIONAL**  
Campa y Coney, 1983

TRILAO

MAURICIO NERI ACUÑA  
FIGURA: IV.1.1

(ESCALA INDICADA)

característico de cada cuerpo, con diferencias notables entre dichos cuerpos en cuanto a su comportamiento y distribución.

En la figura VI.1.3 se presenta una sección esquemática del depósito de Tizapa, en donde se considera que el sulfuro masivo se deposita en un solo horizonte estratigráfico. Finalmente, se tiene la presencia de la Falla Salas (orientación NW-SE), que provocó un salto de aproximadamente 700 m (Barboza et al, op. cit.). Este salto pudo haber expuesto a las rocas que sobreyacían a la filita grafitica inferior y una vez expuestas debieron haberse erosionado, ya que en las cercanías de la falla (en la parte SW) sólo se observa la presencia de la filita grafitica inferior (Anexo 1, fotografía 1).

## **IV.2 ESTRATIGRAFÍA**

### **IV.2.1 ROCAS METAMÓRFICAS**

#### **Gneis protomilonítico:**

Esta roca aflora a lo largo del Río Frío, que fluye entre las mesas de Tenayac y La Finca para unirse al Arroyo del Ahogado. Los afloramientos de esta roca ocupan un área no mayor de 1.5 km<sup>2</sup> (Barboza et al, op. cit.).

La base de esta roca no aflora en el área de la mina y en su parte superior existe un paso transicional al Augengneis, por tanto es desconocido el espesor total que se estima en unos 50 m. Esta roca puede interpretarse como un cuerpo metamorfozado de roca plutónica de probable composición granodiorítica como lo indica Parga-Pérez, 1981.

#### **Augengneis cuarzo-feldespático:**

Su distribución en el área está limitada en algunas partes por el Arroyo Frío y El Ahogado a unos 500 m al sureste de la Mina Tizapa. Su espesor es desconocido y el contacto superior con la unidad siguiente es tectónico para el área de Tizapa, Elias Herrera (1990), propone una zona de cizallamiento, con unos 70 m de ultramilonita.

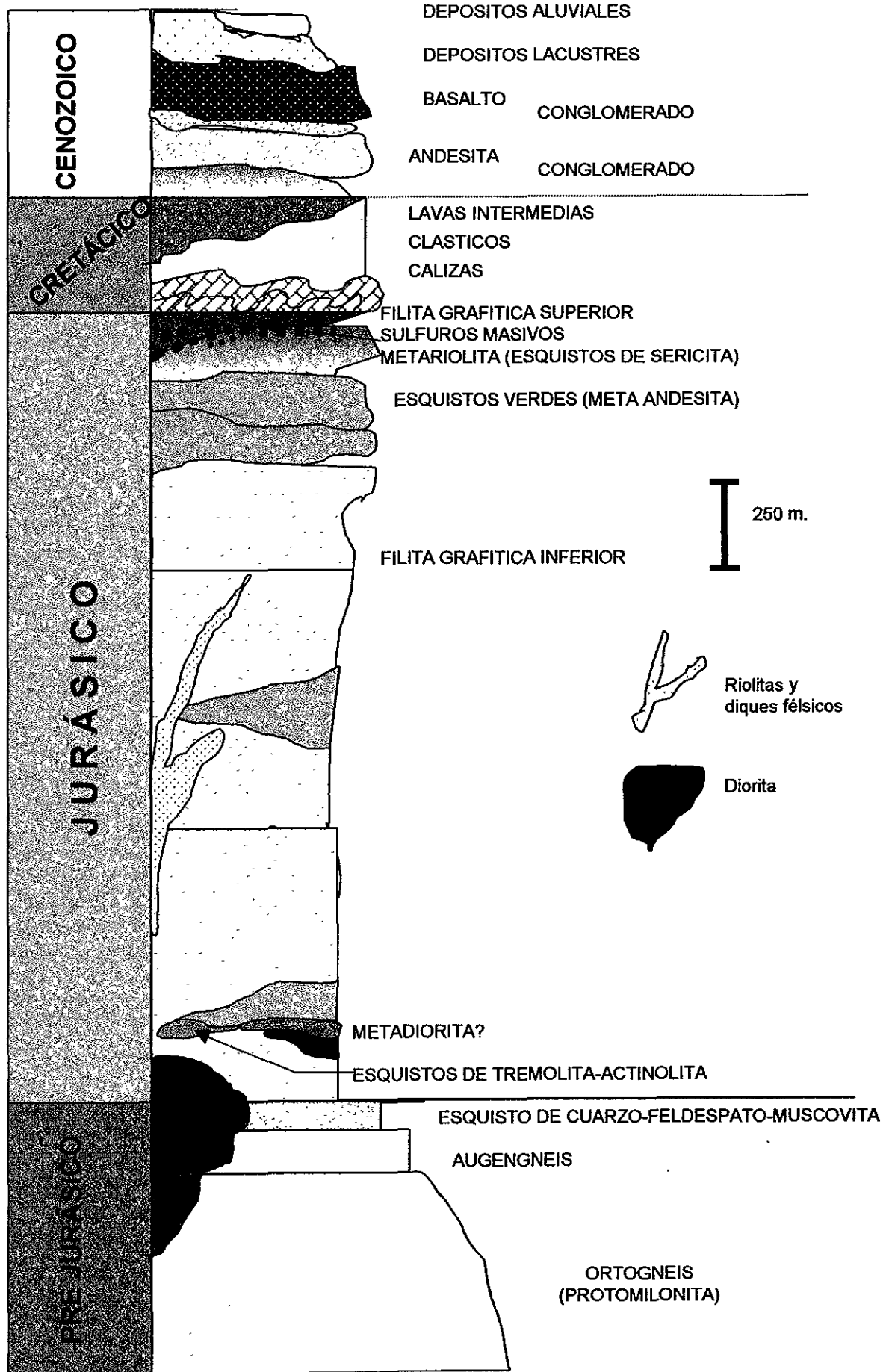


Figura IV.1.2. Columna litológica del área de estudio (Barboza et al, 1998)

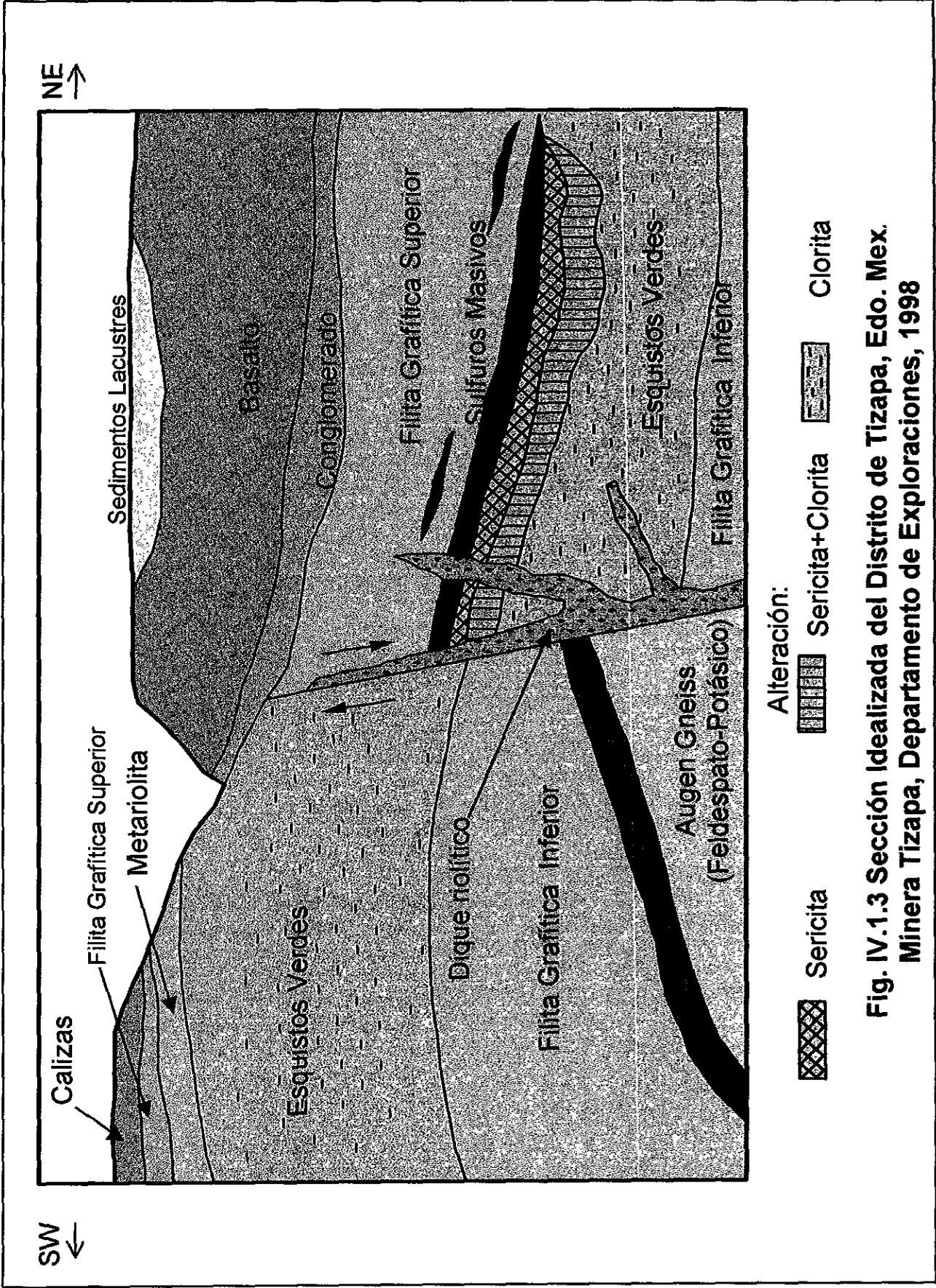


Fig. IV.1.3 Sección Idealizada del Distrito de Tizapa, Edo. Mex.  
Minera Tizapa, Departamento de Exploraciones, 1998

El Augengneis es de color gris claro con tonos verdosos y a la intemperie cambia a café claro, se observa una estructura gnéisica, con abundantes porfiroblastos de feldespato y cuarzo, que se presentan en forma de ojos alineados en una matriz compacta y bandeada, constituida por cuarzo, biotita, muscovita y minerales arcillosos (Anexo 1, fotografía 2).

### **Esquistos cuarzo-feldespáticos.**

Los esquistos sobreyacen al augengneis en una relación aparentemente discordante (contacto tectónico Elías Herrera, op. cit.). Esta unidad se observa en una porción del cauce de los arroyos El Ahogado, Tizapa, Frío y Agua Salada. Su espesor máximo aproximado es de 120 m. (Parga Pérez, op. cit.). La roca es de color gris claro que intemperiza a café rojizo, su textura es esquistosa con variaciones a textura granoblástica y estructura compacta.

Megascópicamente se observan feldespatos y cuarzo con trazas de mica y óxidos de hierro. Microscópicamente exhibe textura lepidoblástica en parte granoblástica, los minerales esenciales son cuarzo y microclina; como minerales accesorios se tiene biotita, trazas de muscovita y óxidos de hierro. Presenta bandeamiento alternado de minerales ferromagnesianos y de cuarzo-feldespato, el cuarzo exhibe extinción ondulante, algunos con fracturamiento, las micas muestran flexionamientos, además de cristales de microclina con estructura de enrejado. La naturaleza pre-metamórfica de estos esquistos corresponde probablemente a rocas ígneas graníticas

### **Filita grafitica inferior:**

Se considera como una potente secuencia metapelítica que sobreyace en posición estructural a la secuencia metamórfica ortogénica y subyace a esquistos de clorita y sericita (Barboza et al, op. cit.).

Elias Herrera y Sánchez Zavala, (1992) refiriéndose a esta unidad como filita carbonosa, la consideran de edad *Triásico Superior-Jurásico Inferior*.

Estas rocas son de color oscuro a gris acero, con algunos horizontes blancuzcos a amarillentos y gris claro con presencia de sericita. En la base se presenta una sedimentación de clastos finos con aporte de posible materia carbonosa y en la cima un posible aporte de materiales volcanoclásticos a la misma cuenca, existiendo asimismo posibles horizontes tobaceos que se presentan como esquistos verdes.

El espesor real no esta bien definido, dada la deformación que la afecta, siendo su espesor estructural aproximado hasta de 1500 m (Barboza et al, op. cit.). Un espesor estimado para la secuencia es de más o menos 1000 m.

#### **Esquistos de Tremolita Actinolita:**

Esta roca aflora en el lecho del Río del Ahogado, 1 km aguas debajo de la mina. La roca es masiva, de color verde a oscuro, con abundante clorita, lentes y/o bandas de cuarzo policristalino y frecuentes cristales aciculares de posible actinolita verde. El espesor de esta roca no es mayor de 30 m.

No se tienen afloramientos reportados en esta área, pero es muy probable que se encuentren relacionados o dentro de la secuencia de esquistos verdes que afloran entre la mina y la zona conocida como La Esmeralda.

#### **Esquistos verdes (meta andesitas):**

Se distribuyen ampliamente en el área de la mina. En trabajos previos han sido descritos como esquisto de clorita y muscovita (Parga-Pérez y Rodríguez Salinas, 1983), esquisto verde MMAJ, 1991), green schist meta lahares (Elías Herrera y Sánchez Zavala, op. cit.), Chlorite and Chlorite-sericite schist andesitic metavolcanic rock (Lewis y Rhys, op. cit.) y finalmente Esquistos verdes (Barboza et al , op. cit.).

Consiste de rocas de color verde oscuro a verde claro y en algunas ocasiones se observa café claro o amarillenta debido a la alteración o intemperismo. Los minerales que la constituyen son clorita, feldespatos, cuarzo en forma de vetillas o bandas, algunos minerales opacos, ocasionalmente sericita y diseminación de cristales de pirita.

El protolito de estas rocas pudieron haber sido andesitas. En el camino que va de La Esmeralda a la mina se encuentra un afloramiento que tiene las características de una andesita ligeramente metamorfozeada, con presencia de feldespatos y clorita y en la que también se observa cierta esquistosidad (Anexo 1, Fotografía 3).

Los esquistos verdes se distribuyen ampliamente en el interior de la mina, subyaciendo a los esquistos de sericita. Es raro ver a los esquistos verdes en contacto con el sulfuro masivo (fig. IV.1.3).

En gran medida esta roca se encuentra plegada, lo que dificulta medir su espesor. En la Cuesta del Cerro de La Pila el espesor es del orden de 150 m, el cual puede ser muy variable, ya que al sur del Río Temascaltepec, cerca de La Fundadora esta roca parece acuñarse hasta desaparecer (Barboza et al, op. cit.).

La edad absoluta de estas rocas se desconoce y únicamente por su posición estratigráfica han sido consideradas como de edad Triásico Superior-Jurásico Inferior (Elías Herrera y Sánchez Zavala, op. cit) y correlacionadas con la secuencia volcánica de Teloloapan (Lewis y Rhys, op. cit.).

#### **Esquistos de sericita o metariolitas:**

Estas rocas constituyen la parte superior de la secuencia metavolcánica, sobreyaciendo a los esquistos verdes. Han sido descritas como metariolitas (Parga Pérez y Rodríguez salinas, op. cit.), como esquistos de muscovita (MMAJ, op. cit.), metariolita (Elías Herrera y Sánchez Zavala, op. cit.), sericite schist rhyolitic metavolcanic rock (Lewis y Rhys, op. cit.) y como esquistos de sericita o metariolitas (Barboza et al, op.cit.).



La roca puede presentar un aspecto muy similar al de los esquistos verdes, aunque su coloración siempre es blancuzca a crema amarillento y notable la ausencia casi total de clorita. Se observan algunos feldespatos y gran cantidad de agregados de cuarzo de exudación en bandas y lentes paralelos a la foliación. La presencia de pirita diseminada es muy notoria en esta roca. En un afloramiento que se encuentra sobre el camino de acceso a la mina incluso se observa que las piritas se han descompuesto y en su lugar sólo ha quedado la presencia de azufre (Anexo 1, fotografía 4).

Su espesor es difícil de definir, aunque en el cerro de La Pila, Barboza et al, (op. cit.) reportan un espesor para la metarriolita de 100 m.

Por su posición estratigráfica es igualmente asignada al Triásico Superior-Jurásico Inferior o en general pre-Cretácico, correlacionable con la secuencia metavolcánica de Teloloapan.

Por la ausencia de clorita y los relictos de fenocristales de feldespatos y cuarzo, se considera que el protolito de esta roca ha sido una roca volcánica ácida (muy probablemente una riolita) (Anexo 1, fotografía 5).

### **Metarriolita Las Huertas:**

Se distribuyen ampliamente en el área del cerro de La Pila. Una parte está cubierta por los derrames de basalto de Tizapa, hacia el norte está sobreyacida en aparente concordancia por intervalos de filita grafitica e intercalados con esquistos de muscovita-clorita y ambos litosomas están en contacto por falla inversa con metacalizas, a rumbo no se le observa continuidad. Esto ha hecho pensar en una distribución en forma de domo, cosa que no se ha podido comprobar.

La metarriolita es una roca muy compacta y bien foliada de color blanco aperlado que por intemperismo adquiere tonalidades amarillo-crema. Megascópicamente es posible reconocer únicamente cuarzo y óxidos de fierro.

La roca presenta una silicificación fuerte que probablemente fue debida a alteración hidrotermal.

Se considera que estas rocas pudieron haber dado origen a los esquistos de sericita que se aprecian con mayor facilidad en el área de la mina en donde se supone que el metamorfismo fue un poco más intenso (Anexo 1, fotografía 5).

### **Filita grafitica Superior.**

Esta roca constituye el tope de la secuencia metapelítica y metavolcánica. Esta roca se encuentra en el área de la mina de Tizapa encima del sulfuro masivo, a diferencia de la filita grafitica inferior que se encuentra debajo de los esquistos de clorita y sericita.

Las filitas grafiticas son rocas de color gris oscuro a negras, foliación perfecta con lustre satinado, al intemperismo adquieren un aspecto terroso con tonalidades rojizas y son muy deleznable. Son frecuentes las segregaciones de cuarzo en forma de lentes que en general son paralelos a la foliación de las capas, aunque en ocasiones también se observan en forma perpendicular. Se observan frecuentemente micro pliegues isoclinales con flancos paralelos a la foliación.

El contenido mineralógico de las filitas, según su abundancia es: 35% de grafito en forma de bandas, cristales de cuarzo en un 60% que exhiben extinción ondulante. (Parga Pérez, op. cit.).

El espesor de la filita grafitica es muy variable y parece incrementarse precisamente en la zona de la mina, en donde a pesar de la intensa deformación, dicho espesor pudiera ser de hasta 200 m, mientras que en el Cerro de la Pila casi desaparece (Barboza et al, op. cit.).

El protolito de estas rocas debieron ser lutitas pelíticas.

## **IV.2.2 ROCAS VOLCANO-SEDIMENTARIAS**

Estas rocas parecen haber sufrido en menor escala los efectos del metamorfismo y sobreyacen en aparente concordancia a las rocas inferiores.

### **Miembro Calcáreo-Formación Amatepec (Monod et al, 1993).**

Sobreyaciendo a la filita graffítica superior y en parte exhibiendo un límite muy tectonizado como probable resultado de un corrimiento, se encuentra una secuencia calcárea arcillosa. Estas rocas afloran ampliamente en la cuesta al suroeste del Cerro de La Pila, así como en la zona de La Esmeralda y a lo largo de la carretera Temascaltepec-Zacazonapan.

La roca es en general de color gris claro a intermedio y en parte ocurren horizontes oscuros y algunas capas o bancos volcanoclásticos, en las cercanías del poblado de Lampazos. El espesor de estas rocas es variable y la proporción del material terrígeno también, de tal manera que mientras en el Cerro de La Pila existe una secuencia de cerca de 300 m (Barboza et al, op. cit.), en la zona de Lampazos ocurren solamente horizontes más calcáreos de no más de 30 m.

### **Miembro clástico-Formación Acuitlapan:**

Hacia la parte superior de la secuencia calcárea, ocurre una estratificación de calizas arcillosas, turbiditas calcáreas y grauvacas, así como horizontes pelíticos o filitas calcáreas, que se pueden observar en el banco de préstamo al lado de la carretera de acceso a la mina, al SE del poblado El Arrastradero (Anexo 1, fotografía 6).

Dada la intensa deformación de estas rocas y el límite transicional con las rocas calcáreas o en parte su alternancia, es difícil establecer un espesor, aunque en esta zona de afloramientos, se puede considerar del orden de 200 m (Barboza et al, op. cit.).

### **Miembro volcánico andesítico-Formación Xochipala:**

Sobreyaciendo a las rocas calcáreas y clásticas se observa, principalmente hacia la cabecera del Arroyo San José, una secuencia de rocas volcánicas andesíticas con materiales volcanoclásticos intercalados y parcial desarrollo de formas almohadilladas. Las rocas son de color verde oscuro a gris y coloraciones café rojizo por intemperismo, siendo el espesor total expuesto del orden de 500 a 600 m, dato que habrá de considerarse poco confiable, dadas las condiciones del afloramiento y la intensa deformación que ha tenido este paquete (Barboza et al, op. cit.).

### **IV.2.3 ROCAS ÍGNEAS INTRUSIVAS**

Estas rocas están constituidas por pequeños cuerpos en forma de diques y diquestratos que intrusionan a las rocas metamórficas en todos los niveles estratigráficos, la composición de estos diques varía desde intermedia (diques andesíticos) a ácidos (riolíticos), siendo los más abundantes y de mayor tamaño y espesor en el área de trabajo los diques riolíticos. También se identificó a un cuerpo de composición diorítica.

#### **Diques andesíticos:**

Los diques andesíticos son rocas muy compactas de color gris oscuro en muestra fresca y al intemperismo adquieren una coloración parduzca, son rocas de grano fino (textura afanítica), en donde únicamente se reconocen cristales de minerales ferromagnesianos embebidos en una matriz afanítica de color gris oscuro constituida por plagioclasas.

Estos cuerpos se emplazan generalmente en forma discordante, cortando los planos de foliación de las rocas metamórficas que los encajonan, en ocasiones se observan paralelos a la foliación en forma de sills. Presentan foliación interna, aunque localmente se observan en forma de boudinages.

**Diques máficos:**

Son de color verde a verde oscuro, de grano fino con fenocristales de piroxeno, no presentan deformación y generalmente se encuentran frescos. Probablemente estén relacionados a los basaltos cuaternarios.

**Diques riolíticos:**

Los diques riolíticos son de color claro, compactos cuando se encuentran frescos, al intemperismo son poco consistentes y adquieren tonalidades amarillentas, son de grano fino (textura sacaroide) y su composición varía de 3 a 15% de cuarzo, plagioclasa y localmente fenocristales de biotita en una matriz afanítica. Cuando el feldespato se encuentra en un estado avanzado de descomposición forma minerales arcillosos. Los diques riolíticos se encuentran frecuentemente brechados especialmente en las porciones sur y este de la mina. Estos diques están espacialmente asociados con la Falla Salas de orientación NW-SE. Su inclinación varía desde 0 hasta 90° (Parga Pérez, op. cit.). Su tamaño varía desde algunas decenas de centímetros hasta aproximadamente más de 15 metros de espesor, se consideran de una edad probable correspondiente al Terciario Tardío (Anexo 1, fotografía 1).

**Cuerpos dioríticos (no aflora en el área):**

Este intrusivo se encuentra localizado en la parte sur de la mina Tizapa, intrusiona a la secuencia metasedimentaria. Es una roca compacta de color verde oscuro que intemperiza a color pardo, de estructura dómica y textura de grano fino a medio y en algunas zonas porfidico con cristales de hornblenda en ocasiones mayores a 3 mm de largo. La foliación está definida por la orientación planar de los fenocristales de hornblenda.

#### **IV.2.4 ROCAS ÍGNEAS EXTRUSIVAS**

Las rocas extrusivas están representadas por derrames basáltico-andesíticos y pequeños afloramientos de riolitas de estructura fluidal.

##### **Derrames basáltico-andesíticos:**

Se distribuyen en la región de San Pedro Tenayac y Tizapa formando amplias y extensas mesetas y están en estrecha relación con material piroclástico y brechas volcánicas que rellenaron antiguas depresiones. Cubren discordantemente a las otras unidades, son rocas muy compactas de color gris oscuro, al intemperismo adquieren un color ocre rojizo, su textura es amigdaloidal, vesicular y porfídica constituida por una matriz microcristalina de plagioclasas y ferromagnesianos con fenocristales de olivino. En sección delgada presenta como minerales esenciales plagioclasa cálcica y como minerales accesorios olivino, hiperstena y magnetita (Parga Pérez, op. cit.).

Estas rocas en ocasiones se presentan pseudo-estratificadas, pero es más común verlas en forma masiva con innumerables diaclasas, principalmente columnares. Otras veces muestra hacia la base partes brechadas y hacia la cima una forma masiva.

El espesor es variable desde 5 a 85 m en la Mesa de Tizapa.

La edad de estas rocas se supone cuaternaria, ya que son posteriores a rocas riolíticas terciarias; sobreyacen a conglomerados más recientes que las riolitas y corresponden a la actividad volcánica cuaternaria del Eje Neovolcánico.

#### **IV.2.5 ROCAS SEDIMENTARIAS**

##### **Conglomerado pre-cuaternario:**

Es discordante al paquete de esquistos y a la filita grafitica, se encuentra cubierto por los derrames basáltico-andesíticos de la Mesa de Tizapa. Esta constituido por fragmentos de riolita, ignimbritas de composición riolítica, esquistos y filitas, por lo que una edad post

miocénica es clara, quedando su edad restringida al Plioceno-Pleistoceno.. El tamaño de los clastos varía de unos centímetros hasta bloques de varios metros. Su compactación es baja, la matriz es areno-arcillosa, las partículas van de subangulosas a subredondeadas. Esta roca presenta un espesor aproximado de 10 a 30 m.

Barboza et al, (op. cit), consideran que estos afloramientos son parte de abanicos aluviales que fluían de norte a sur desde la sierra de los Tres Reyes o de Zacazonapan antes de la ocurrencia de los derrames basalto-andesíticos cuaternarios, y que con la erosión a lo largo de las grandes cañadas que se han desarrollado, han sido erosionados en gran medida, quedando principalmente los paquetes que han sido protegidos de la erosión por los mismos derrames lávicos (Anexo 1, fotografía 7).

#### **Conglomerado cuaternario:**

En el extremo este de la mina de Tizapa fue observado un pequeño afloramiento de conglomerado polimíctico, que contiene fragmentos subredondeados de rocas metamórficas, riolitas y andesitas. Dichos depósitos subyacen aparentemente a los derrames basálticos de la Mesa de la finca; por tal motivo, se consideran depósitos de edad cuaternaria, que establecen claramente la posición de los derrames andesíticos cuaternarios, abajo o más antiguos que los derrames basálticos también cuaternarios. Su espesor no rebasa los 15 m.

#### **Depósitos lacustres:**

En el área de la Mesa de Tizapa y los alrededores de la presa de Jales, se observa una secuencia de sedimentos fluvio-lacustres, que en gran medida han sido erosionados o removidos. La cuenca en la que ocurrieron estos depósitos, parece haber ocupado inicialmente el área que hoy ocupa la presa de Jales, extendiéndose hasta la zona del camino de acceso a la mina, que rodea a dicha presa y hacia el norte, hasta la caseta de vigilancia, por lo que la extensión total de este lago se puede estimar en poco menos de 1 km<sup>2</sup>.

En la margen sur, se aprecia una secuencia de limos, arcillas y arenas con una toba de cenizas intercalada de poco más de 1.5 m de espesor y de una coloración blanca. Estos depósitos sobreyacen a filitas grafiticas de la secuencia inferior, mientras que hacia la margen norte, los sedimentos lacustres sobreyacen a un derrame basáltico y contienen fragmentos del mismo, en tamaños que van desde pequeños clastos hasta bloques, todos de formas angulosas que indican poco transporte y una facies proximal, cercana a la zona de aporte de sedimentos hacia el lago (Anexo 1 fotografía 8).

Barboza et al, (op. cit), deducen que los conglomerados pre-cuaternarios que se tienen al norte de la cuenca y de la Mesa de Tizapa en elevaciones mayores, constituyen las probables zonas de aporte de sedimentos que fueron redepositados sobre la Mesa de Tizapa en etapa posterior a la extrusión de los basaltos.

De esta manera constituyeron una barrera que permitió la formación de un lago, aportando parte de los sedimentos clásticos de dicho lago, sólo en la margen oriental del mismo, ya que en gran parte el aporte de sedimentos hacia el lago parece haber provenido de áreas situadas posiblemente al oeste, sin la presencia en las mismas de rocas riolíticas.

#### **Depósitos aluviales:**

Son depósitos de talud y aluvión formado por fragmentos de basalto, esquistos y filitas. Son discordantes a los derrames basálticos.

### **IV.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL**

Las rocas pre-cretácicas del área de Tizapa han sido afectadas por al menos dos eventos de deformación, acompañados de metamorfismo dinámico y regional de bajo grado ( $D_1$  y  $D_2$ ). Un tercer evento produjo una antiformal amplia de orientación NW-SE y consecuente deformación semi dúctil a frágil de la cubierta. Finalmente uno o varios eventos de deformación han originado fallamiento normal y fracturamiento (figs. IV.3.1 y IV.3.2).



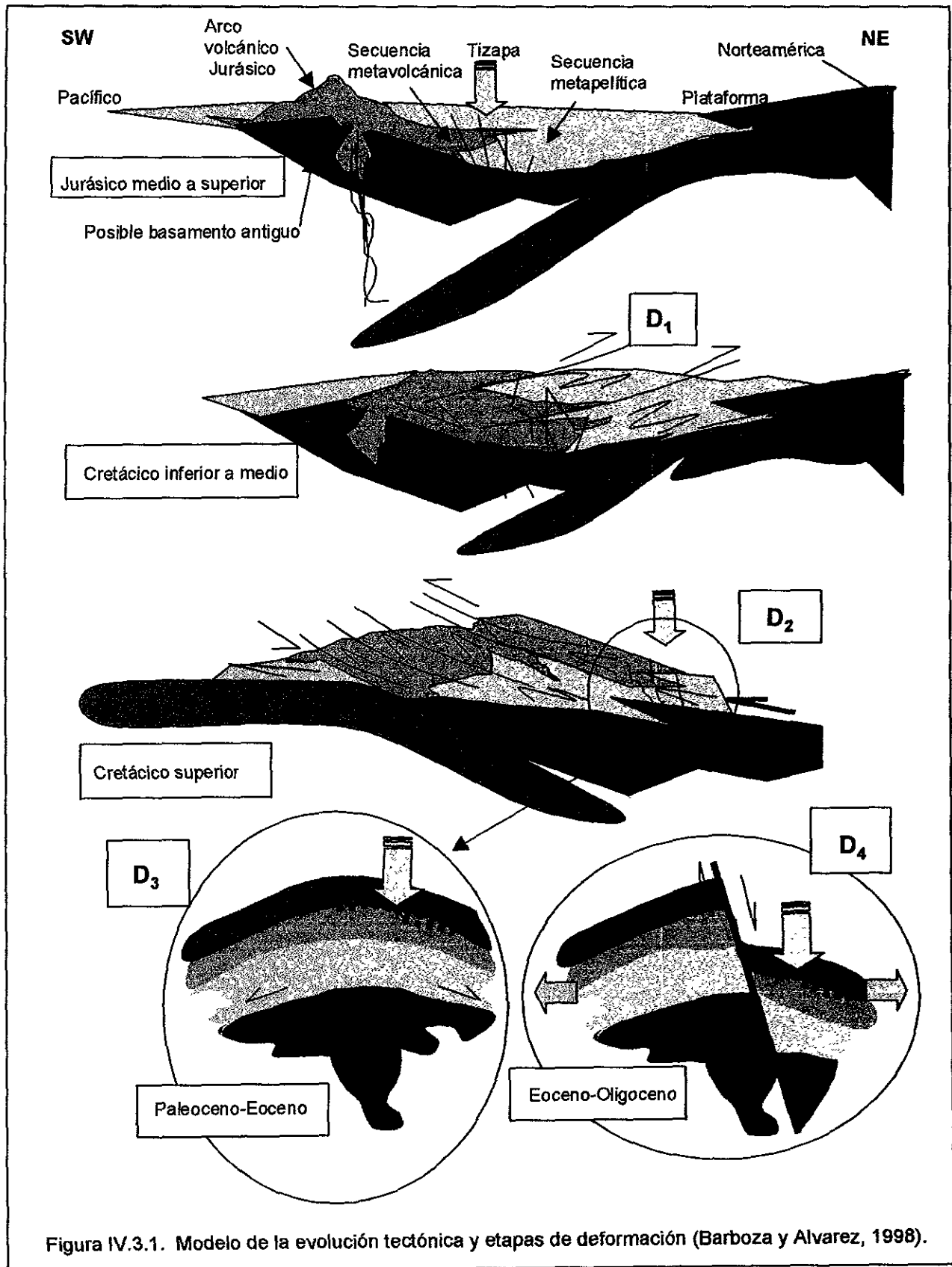


Figura IV.3.1. Modelo de la evolución tectónica y etapas de deformación (Barboza y Alvarez, 1998).

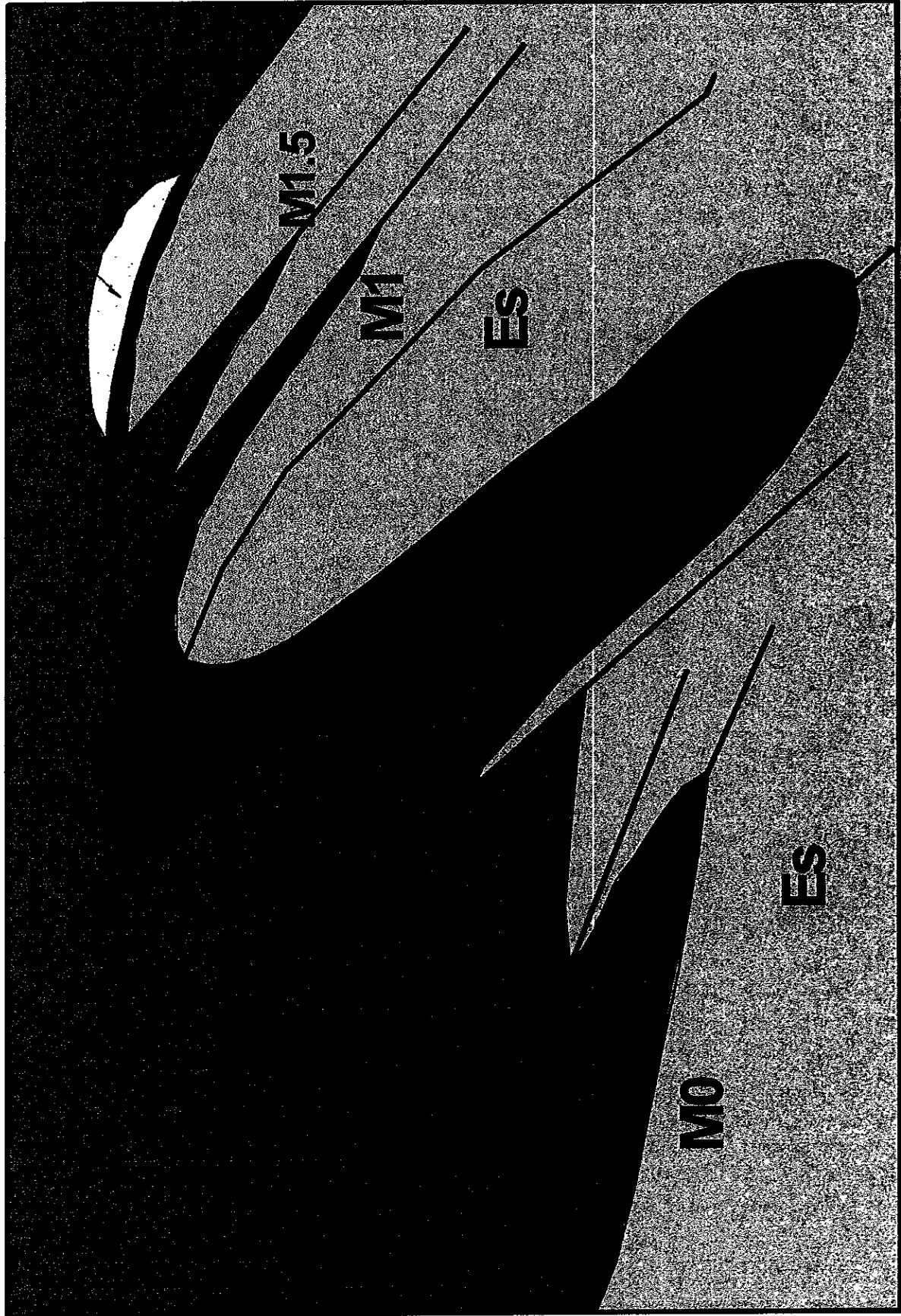


Fig. IV.3.2 Sección esquemática de deformación. Minera Tizapa, Departamento de Exploraciones, 1998.

La deformación  $D_1$  produjo a la foliación  $S_1$  reconocida en el campo en muy escasos afloramientos (uno de estos se encuentra sobre el camino de acceso a la mina, muy cerca de la Planta de Beneficio), siendo en muchas ocasiones subparalela a la estratificación original  $S_0$ . Este evento afectó aparentemente a todas las rocas mesozoicas del área y se considera, por la información regional, de posible edad Cretácico inferior a medio, correlacionable con un evento de acreción o colisión (Barboza et al, op. cit.). Anexo 1, fotografías 9 y 10.

Previo a la compresión  $D_1$  es probable que se haya presentado un evento de deformación frágil, que produjo fallamiento al que estaría asociado el vulcanismo e hidrotermalismo que produjeron los cuerpos de sulfuros masivos; sin embargo, no se tienen evidencias de tales estructuras, por lo que sólo se supone su existencia (Barboza et al, op. cit.).

La deformación  $D_2$ , que ha producido un plegamiento vergente a isoclinal hacia el SW, ha sido el producto de una compresión que actuó sobre la secuencia en etapa posterior a las unidades cretácicas más jóvenes reportadas en la región y previo a las intrusiones dioríticas y granodioríticas que no se observan deformadas; es decir, hacia el Cretácico superior y el inicio del Terciario (Barboza et al, op. cit.).

La fase  $D_3$  se establece por la ocurrencia de una antiforma amplia con un eje orientado NW-SE que afecta prácticamente a toda la secuencia expuesta en el área de Tizapa, aflorando hacia su núcleo las rocas más antiguas y en forma simétrica hacia el NE y SW, las rocas metamórficas del Jurásico y Cretácico (Barboza et al, op. cit.).

La edad de esta deformación es *laramídica tardía a post-laramídica, previa o quizás contemporánea* a la intrusión diorítica que se localiza justo en el núcleo de esta estructura y con la que pudiera guardar una relación de origen por un levantamiento a consecuencia de la intrusión (Barboza et al, op. cit.).

$D_4$  ha sido una deformación a la que se le asignan prácticamente la totalidad de las fallas normales observadas en el área de Tizapa, siendo principalmente fallas de orientaciones E-W a NW-SE, así como algunas NE-SW (Barboza et al, op. cit.).

La principal falla observada es la falla Salas, la cual por el cubrimiento de la traza por derrames andesíticos y basálticos Cuaternarios, y por la intrusión de riolitas supuestamente del Eoceno-Oligoceno en el plano de la falla (principalmente al alto de la misma), puede suponerse que ocurrió en el Terciario inferior, Paleoceno-Eoceno (Anexo 1, fotografía 1).

#### **IV.4 GEOLOGÍA REGIONAL:**

##### **IV.4.1 TECTONISMO**

De acuerdo con Campa (1978), se reconocen 4 etapas de deformación:

**1) Fase compresiva del Cenomaniano:** Su manifestación más clara es el metamorfismo que folio y plegó la secuencia vulcanosedimentaria que se había depositado hasta el Albiano.

**2) Fase compresiva del Paleoceno:** Las capas rojas y molasas continentales se depositaron discordantemente sobre los depósitos del arco-mar marginal y plataforma mesozoica. Esta discordancia hace evidente la segunda fase de deformación la cual se encuentra superpuesta a la primera y es la responsable de los grandes pliegues anticlinales y sinclinales de la zona externa y de la cabalgadura de los depósitos del arco y mar marginal de la zona interna sobre aquella

Se reconocen las siguientes Formaciones:

**Formación Balsas (Fries, 1960):** consiste en una secuencia de depósitos continentales, principalmente conglomerados con fragmentos de caliza, líticos volcánicos cementados con limolita roja perfectamente estratificados y endurecidos, capas de limolitas rojas, algunos horizontes de tobas, brechas volcánicas rojas y lava de edad Eoceno-Oligoceno Inferior.

**Riolita Tilzapotla: (Fries, op. cit.),** son depósitos de lava, tefra e ignimbrita y lahares producidos por fenómenos de vulcanismo ácido-intermedio de edad Oligoceno Superior-Mioceno.

**3) Fase compresiva del Mioceno (Campa, 1977):** Las Formaciones del Terciario Inferior están afectadas por una tercera fase de deformación que produjo levantamientos con un gran radio de curvatura con orientación NNW-SSE y que afectó a los depósitos mesozoicos como a la molasa y al vulcanismo ácido intermedio. Esta deformación se realizó a fines del Mioceno y previo al Plioceno (fig. IV.3.1).

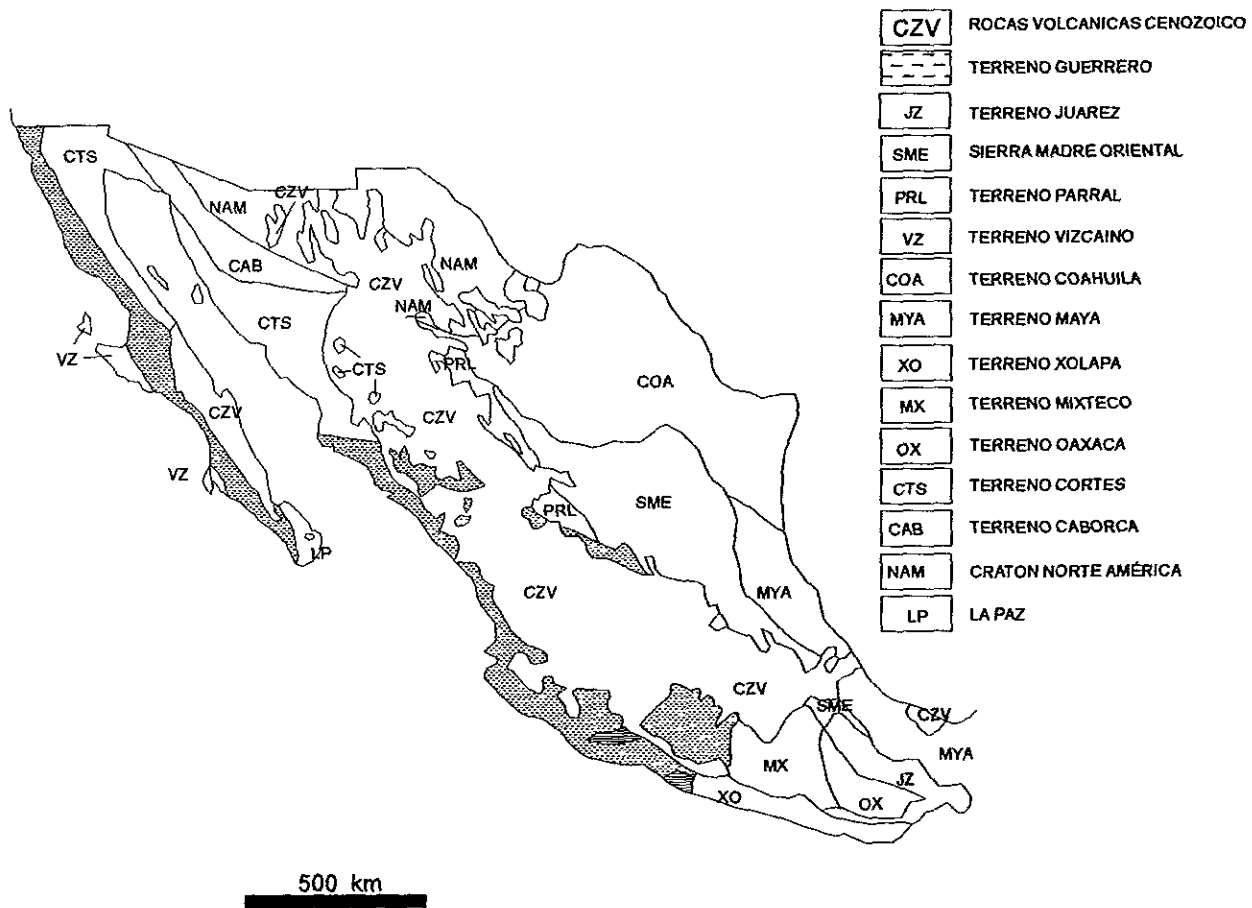
**4) Fase distensiva Neotectónica (Campa, op. cit.):** Se caracteriza por presentar un fracturamiento normal y transcurrente, desarrollándose un sistema de fracturas con orientación NW-SE (Anexo 1, fotografía 1).

La tectónica de extensión comienza al terminar el Mioceno con la actividad volcánica intermedia, la formación de fosas rellenas de depósitos epiclásticos, la actividad volcánica andesítica continúa su evolución hasta conformar los aparatos volcánicos que constituyen el dominio cenozoico llamado Eje Neovolcánico Transmexicano, debajo del cual sobreyacen el dominio Cenozoico antiguo (magmatismo ácido, continuación del edificio de la Sierra Madre Occidental); los dominios mesozoicos: occidental (arco insular y mar marginal) y oriental (plataforma, extensión hacia el sur de la Sierra Madre Oriental; Campa, op. cit.).

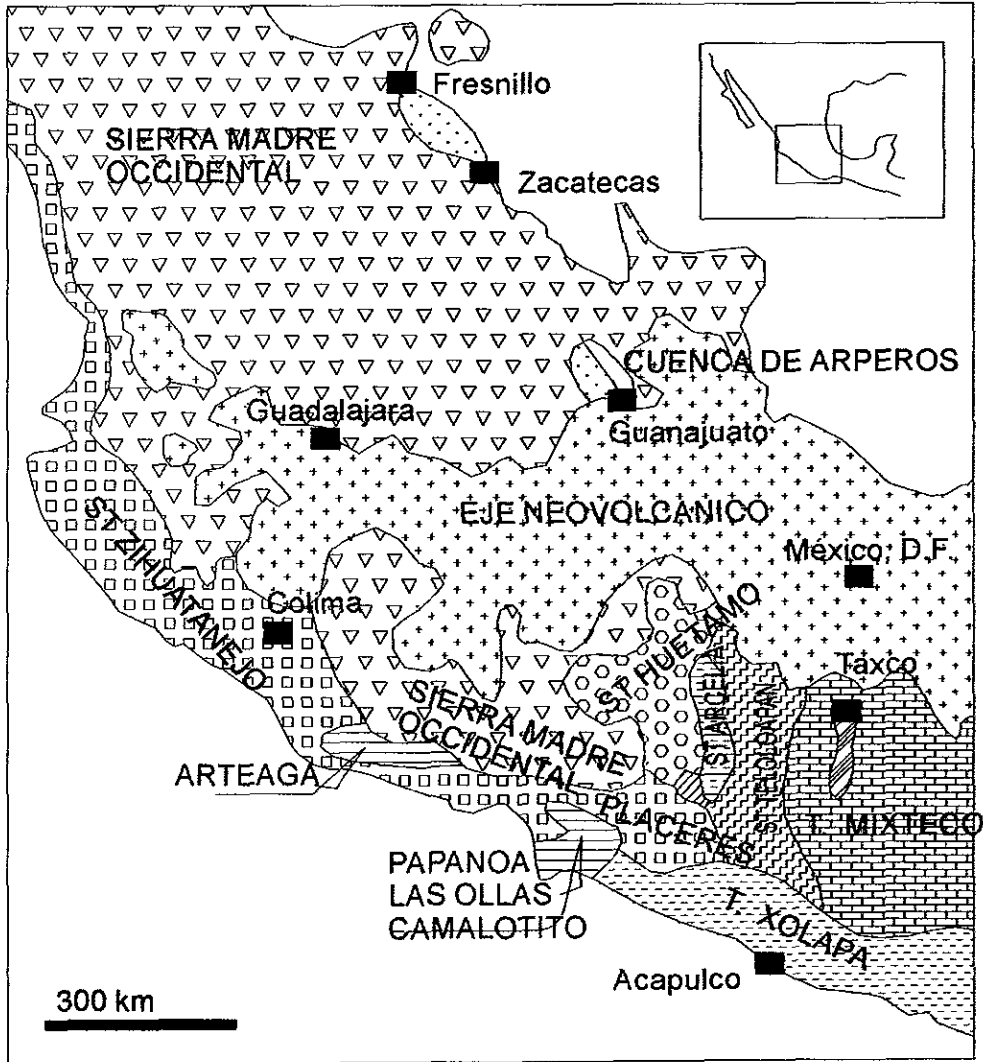
#### **IV.4.2 PROVINCIA GEOLÓGICA: DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TERRENO GUERRERO**

El Terreno Guerrero (TG) fue originalmente definido como un terreno tectonoestratigráfico por Campa y Coney, 1983. Se localiza en las porciones noroeste, centro y sur del país (fig. IV.4.2.1) El TG se encuentra dividido en tres subterrenos que van del Jurásico Tardío al Cretácico Medio: Teloloapan-Ixtapan, Zihuatanejo y Huetamo (Campa y Coney, op. cit.). En el caso de las porciones sur y centro, han sido a su vez subdivididas en los subterrenos Las Ollas, Zihuatanejo, Huetamo, Arcelia y Teloloapan. (Ramírez et al., 1991; Talavera et al., 1993). Otras regiones en donde el TG ha sido identificado son: Fresnillo, Guanajuato, Arperos, Sinaloa y Baja California (fig. IV.4.2.2).

# TERRENOS TECTONO ESTRATIGRÁFICOS DE MÉXICO



	<b>FACULTAD DE INGENIERIA DIVISION CIENCIAS DE LA TIERRA</b>	
	<b>TESIS PROFESIONAL</b>	
TITULO: <p style="text-align: center;"><b>TERRENOS TECTONO ESTRATIGRÁFICOS DE MÉXICO.</b></p>		
MAURICIO NERI ACUÑA		S/ESCALA
FIGURA: IV.4.2.1.		S/ESCALA



 <b>U.N.A.M.</b>	<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b> <b>DIVISION CIENCIAS DE LA TIERRA</b>	
	<b>TESIS PROFESIONAL</b>	
	<small>TITULO</small> <b>SUBTERRENOS GUERRERO EN LA PARTE CENTRAL</b> <b>DE MÉXICO (Según CAMPA et al. , 1981)</b>	
	<small>MAURICIO NERI ACUÑA</small>	<small>S/ESCALA</small>

FIGURA IV.4.2.2

El subterreno Teloloapan-Ixtapan está compuesto de basalto calco-alcalino, andesita y escasa riolita (Talavera et al., op. cit.) intercalada con grauvacas, esquistos y calizas. Estas rocas han sufrido metamorfismo a facies de zeolitas y esquistos verdes, además de haber sido fuertemente deformadas. Las calizas arrecifales pertenecen al Aptiano-Albiano y la secuencia volcanoclástica es del Hauteriviano-Aptiano, según la fauna fósil encontrada (Talavera et al, op. cit.). Se encuentra expuesto en la parte oriental del TG y forma una franja de aproximadamente 300 km de largo y 80 km de ancho (Centeno García et al, 1993). El subterreno Teloloapan se encuentra cabalgando en su borde oriental a la plataforma calcárea Morelos-Guerrero, en el borde occidental tiene una orientación aproximada norte-sur y está definido por fallas que ponen en contacto al subterreno con capas rojas del cretácico del Valle de Cutzamala. La traza límite entre los subterrenos Huetamo y Teloloapan estaría representado por el batolito cretácico de Tingambato, el cual tiene una orientación burda norte-sur (Campa y Coney, op cit.).

El subterreno Zihuatanejo contiene andesita calco-alcalina, riolita e ignimbrita intercalada con calizas y capas rojas. (Ramírez et al, op. cit.). También se tiene la presencia de material volcánico toleítico. En la zona de Playa azul se observa basalto shoshonítico y andesitas (Lapierre et al., 1992). Las calizas arrecifales contienen fósiles del Albiano-Turoniano (Pantoja, 1983).

El subterreno Huetamo contiene turbiditas, rocas volcanoclasticas y sedimentarias acompañadas de andesita calco-alcalina y fragmentos de riolita intercalados con lavas toleíticas. La edad estimada de este paquete por la presencia de microfósiles es Titoniano-Neocomiano a Aptiano (Talavera et al., op. cit.).

#### **IV.4.3 PALEOGEOGRAFÍA**

Durante el Jurásico Superior se inició el desarrollo de un Arco Insular y un Mar Marginal y a partir de ese periodo hasta el Cretácico Inferior prevalecieron condiciones similares de vulcanismo submarino y de sedimentación calcárea de facies de plataforma en la región de Taxco, Iguala y Apipilulco. (De Cserna et al., 1978).



A finales del Cretácico Inferior comenzaron a formarse los bordes de una plataforma que se desarrollaría hacia el oriente, de una edad más joven caracterizados por bancos de Rudistas del Turoniano pertenecientes a la Formación Cuautla (Fries, op. cit.). Al término del Cretácico Inferior (Albiano) y principios del Cretácico Superior, en el área de Morelos-Guerrero, culmina la formación de la plataforma en oposición a los depósitos volcánicos y volcanoclásticos interestratificados con terrígenos y calcáreos, que caracterizan la zona occidental (Campa, 1980). De esta manera, se desarrollan dos dominios paleogeográficos:

**a) Dominio oriental:** caracterizado por facies de sedimentación calcárea y una total ausencia de metamorfismo regional e intrusiones graníticas.

Las unidades litoestratigráficas reportadas en esta zona son:

**Formación Acahuizotla** (Ontiveros, 1973), constituida por capas de calizas arcillosas y margas con fauna del Aptiano-Albiano; concordantemente en un contacto transicional le sobreyace la **Formación Morelos** (Fries, op. cit.), formada por bancos de caliza con biostromas y laminaciones de pedernal, conforman la sedimentación calcárea de plataforma de facies típicas de pre y post laguna, laguna y talud arrecifal con fauna del Albiano-Cenomaniano-Turoniano, cuyas facies pelágicas representan el cambio de tipo de sedimentación a los depósitos terrígenos de la formación sobreyacente; la **Formación Mezcala** la cual se caracteriza por ser una secuencia rítmica de terrígenos con alternancia de capas delgadas de lutitas-areniscas-calizas, con algunos bloques alóctonos de la Formación Morelos; con macro y micro fauna del Cretácico Superior (Campa, 1977).

Estas formaciones están afectadas por amplios pliegues anticlinales y sinclinales de dirección Norte-Sur, recostados hacia el Este en la región de Taxco y hacia el Oeste en la región del Estado de Morelos; sobrepuesta a esta deformación fundamental de grandes pliegues regionales, se desarrollo disarmonicamente un intenso plegamiento de escala pequeña, de tipo chevron, con clivaje paralelo al plano axial, muy marcado hacia el occidente en las cercanías del contacto, a partir del anticlinal de Ixcateopan (Campa et al, 1976).

Mediante un contacto anormal interpretado como una frente de corrimiento (Campa et al, 1976) está el dominio occidental (área de Ixtapan de la Sal, Valle de Bravo, Temascaltepec, México; Teloloapan, Arcelia, Guerrero) que sobreyace al dominio oriental.

**b) Dominio Occidental:** Se caracteriza por ser una secuencia constituida de rocas volcánicas submarinas de composición andesítica-dacítica y lentes riolíticos interdigitados con lutitas y areniscas, así como una secuencia calcárea, afectadas por un metamorfismo regional de bajo grado en facies de esquistos verdes. Los sedimentos interestratificados con lavas almohadilladas, contienen fauna del Jurásico Superior-Cretácico Inferior (Campa, 1977).

Dentro de esta secuencia se han determinado varias unidades que han sido correlacionadas entre sí: Secuencia Vulcanosedimentaria Teloloapan-Ixtapan de la Sal (Campa, 1974), Complejo Tierra Caliente (Ortega Gutiérrez, op. cit.), Formación Ayotusco (Díaz García, 1980), Formación Angao (Pantoja, 1959), Conjunto Petrotectónico de Zihuatanejo, Gro.-Coalcomán, Mich. (Vidal, 1982), Formación San Lucas (Pantoja, op. cit.), Conjunto Huetamo-Cutzamala (Campa, 1980) Esquisto Taxco y Roca Verde Taxco Viejo (Sánchez Zavala, op. cit.).

## V YACIMIENTOS MINERALES

### V.1 DESCRIPCIÓN DE MANTOS.

El yacimiento de Tizapa se encuentra constituido por una serie de cuerpos lenticulares de sulfuros masivos polimetálicos. Se tienen 3 niveles de mineralización en función de la posición estructural que guardan entre ellos: manto inferior L (Low), manto intermedio M (Medium) y el superior U (Upper) (fig. V.1.1). La mineralización consiste de pirita de grano fino con bandas y diseminaciones de esfalerita, galena, arsenopirita y calcopirita. Como minerales accesorios se han reportado Tetrahedrita, freibergita, boulangerita y argentita (Monroy Fernández y Aragón Piña, 1994).

#### Nivel de Mineralización L

##### Manto L1

Su distribución en planta queda comprendida entre las coordenadas 9,910 N a 10,330 N y de 9,500 E a 9,740 E (coordenadas locales de Tizapa). Verticalmente se distribuye desde la elevación 1,050 hasta 1,250 m.s.n.m. (a la elevación 1,050 m.s.n.m. se le conoce únicamente con barrenación a diamante y se estima que la continuidad de este manto llega por lo menos a la elevación 1,000 m.s.n.m.). El espesor promedio es de 7.0 m. Su continuidad lateral es aproximadamente de 200 metros (fig. V.1.2).

En el área se tienen detectados por lo menos dos sistemas principales de fallamientos, el sistema NE-SW y el sistema NW-SE, de este último la manifestación más importante es La Falla Salas, la cual se puede observar y seguir en superficie a lo largo de varios kilómetros. La segunda manifestación importante de este sistema es la Falla M1 y la Falla L1.

El cuerpo presenta dos rumbos generales definidos por la presencia de la Falla L1, la cual empieza a observarse desde la elevación 1154 m.s.n.m. La porción del cuerpo que se ubica al norte de la falla (Zona 1) presenta un rumbo N55°W desde la elevación 1,100 hasta la elevación 1,200 m.s.n.m., mientras que la parte que se localiza al sur de la falla (Zona 2), se empieza a observar a partir de la elevación 1202 m.s.n.m. (fig. V.1.3) con un

rumbo general N-S, estando limitada en su extremo sur por la Falla M1. En esta misma elevación se ubica un lente al bajo de L1 al cual se le considera parte del mismo cuerpo, por lo que también se le llama L1. El buzamiento es variable, de 10° al NE entre las elevaciones 1,230 y 1,240 m.s.n.m., de 45° al NE entre 1,230 y 1,150 m.s.n.m. y de 35° al NE entre 1,150 y 1,100 m.s.n.m.

El Cuerpo L1 se considera originalmente emplazado en esquistos de sericita y clorita (fig. V.1.1), sin embargo a lo largo del manto (principalmente en la zona NW) es posible observar filita grafitica al alto y al bajo de la estructura debido a la presencia de fallas inversas, que sitúan parcialmente al cuerpo M0 debajo de L1 (fig. V.1.4).

### **Nivel de Mineralización M**

El nivel de mineralización M se considera originalmente emplazado en esquistos de clorita, muscovita y sericita al bajo y filitas grafiticas al alto. Se encuentra dividido en 4 subniveles, los cuales de acuerdo a su posición actual son M0, M1, M1.5, y M2.

### **Manto M0**

Su distribución en planta queda comprendido entre las coordenadas 9,930 N a 10,340 N y de 9,320 E a 9,630 E (coordenadas locales de Tizapa). Verticalmente se distribuye desde la elevación 910 hasta 1,300 m.s.n.m. Con obra directa se le conoce hasta la elevación 1,050 m.s.n.m. y el resto se tiene detectado con barrenación a diamante de superficie y de interior de mina. El espesor promedio es de 3.50 m. Su continuidad lateral es de aproximadamente 310 metros (fig. V.1.5).

El Cuerpo M0 se encuentra emplazado en esquistos de sericita y clorita al bajo y filitas grafiticas al alto (Anexo 1, fotografía 11). En ocasiones se tienen intercalaciones de filitas o de esquistos de hasta un metro de ancho, lo que obliga a dar barrenos de extensión para confirmar que no se esta quedando mineral tanto al alto como al bajo de la estructura principal.

El rumbo general del manto es E-W desde la elevación 910 hasta 1,300 m.s.n.m., con un echado promedio de 40° al N. Sin embargo, entre los niveles 1,200 y 1,250 m.s.n.m. se

tienen dos rumbos divididos por la presencia de la Falla M1. La porción del manto que se ubica al W de la falla (Zona A) conserva el rumbo y echado que se mencionó anteriormente, mientras que la porción que se ubica al E de la falla (Zona B) presenta un rumbo general  $N62^{\circ}W$  y un buzamiento que varía de  $35$  a  $50^{\circ}$  al NE (fig. V.1.6), este buzamiento va disminuyendo hasta llegar prácticamente a  $0^{\circ}$ , conforme el manto se dirige en dirección al SE (figs. V.1.4 Y V.1.7).

La Zona B está afectada por un número importante de fallas pertenecientes al sistema NW-SE que desplazan al cuerpo desde 2 hasta probablemente más de 50 m, lo que por consecuencia dificultaría el sistema de minado; aunque es necesario explorar exhaustivamente esta zona para definir la posición real de los bloques desplazados (fig. V.1.8)

En el nivel 1150 m.s.n.m. se detectó la presencia de la Falla M1, pero no se observó que haya influido en el rumbo del manto como lo hizo en la elevación 1,200 m.s.n.m. Lo mismo sucede en la elevación 1,100 m.s.n.m., donde se está desarrollando la Frente 10237 W, que tiene como finalidad explorar el manto en esta elevación; se espera que al alcanzar la proyección de la Falla M1, se conserve tanto el rumbo E-W como el echado de  $40^{\circ}$  al N, al igual que en el nivel 1,150 m.s.n.m. (fig. V.1.9).

### **Manto M1**

Su distribución en planta queda comprendida entre las coordenadas 9,890 N a 10,300 N y de 9,510 E a 9,730 E. Verticalmente se distribuye desde la elevación 1,100 hasta 1,260 m.s.n.m. (se estima que su continuidad llega por lo menos a la elevación 1,080 m.s.n.m.); con obra directa se le conoce desde la elevación 1,100 m.s.n.m. El espesor promedio es de 1.50 m. Su continuidad lateral es de aproximadamente 220 metros, estando limitada al NW por la intersección del manto L1, mientras que al SE la estructura se cierra en forma de cuña (fig. V.1.11).

El manto M1 se considera originalmente emplazado en esquistos de sericita y clorita al bajo y filitas grafiticas al alto, sin embargo en algunos lugares este arreglo no se presenta, por lo cual no es raro observar esquistos tanto al bajo como al alto. (fig. V.1.8).

El rumbo general del manto es  $N13^{\circ}W$ . El echado es variable: de  $33^{\circ}$  al NE entre las elevaciones 1,100 y 1,230 m.s.n.m. y de  $6^{\circ}$  al NE entre 1,230 y 1,260 m.s.n.m.

### **Manto M1.5**

El manto M1.5 se ubica al bajo de M2, con una separación promedio de 30 cm. (en algunas zonas, donde se juntan ambos cuerpos es posible observar una sutura muy delgada, lo que evidencia la presencia del contacto entre ambos). El manto M1.5 presenta esquistos de sericita y clorita al bajo y filitas gráficas al alto (Estas filitas gráficas corresponden al bajo del manto M2). El espesor promedio es de 0.30 m. Los buzamientos de este cuerpo son prácticamente los mismos que presenta el manto M2, a excepción de la zona NW donde M1.5 se separa de M2; en este caso su echado promedio de  $12^{\circ}$  al NE (fig.V.1.10).

### **Manto M2**

Su distribución en planta queda comprendida entre las coordenadas 9,910 N a 10,170 N y de 9,540 E a 9,760 E. Verticalmente se distribuye entre las elevaciones 1,175 y 1,274 m.s.n.m. Con obra directa se le conoce desde la elevación 1,196 m.s.n.m. Sin embargo, a la elevación 1,154 m.s.n.m. la Fte. 10223 NE, cortó lo que parece ser la continuidad del cuerpo en esta elevación, desafortunadamente no se ha encontrado un punto adecuado para desarrollar un barrenado de diamante que confirme esta teoría. El espesor promedio es de 7 m. Su continuidad lateral es de aproximadamente 210 metros y está limitada tanto al NW como al SE por el cierre de la estructura en forma de cuña (fig. V.1.12).

El manto M2 se encuentra emplazado en esquistos de sericita y clorita al alto y bajo en la parte centro y SW del manto, mientras que en su extremo NW, se tienen filitas gráficas al bajo y alto debido a la presencia de fallas normales

El rumbo general del manto es  $N60^{\circ}W$ . El echado es variable: de  $38^{\circ}$  al NE entre las elevaciones 1,175 y 1,260 m.s.n.m. y de  $5^{\circ}$  al NE entre 1,260 y 1,274 m.s.n.m.

El manto M2 presenta un lente de mineral no económico al alto, compuesto casi en su totalidad por Fe y menores cantidades de Au y Ag. Este lente se encuentra dividido en dos partes, el primero desde 1,170 m.s.n.m. hasta 1,210 m.s.n.m, con un espesor

promedio de 5 m. El segundo lente se encuentra entre las elevaciones 1,220 y 1,260 m.s.n.m; su espesor promedio es de 10 m (fig. V.1.13).

### **Nivel de Mineralización U**

Consiste de una serie de cuerpos pequeños mineralizados discontinuos que se encuentran emplazados en filitas grafiticas tanto al bajo como al alto, con poca continuidad lateral.

Su distribución en planta queda comprendida entre las coordenadas 10,000 N a 10,030 N y de 9,650 E a 9,700 E. Verticalmente se distribuye desde la elevación 1,270 hasta 1,280 m.s.n.m., lo cual se conoce únicamente con barrenación a diamante. El espesor promedio es de 1.5 m. El echado varía de 10 a 30° al NE. Su continuidad lateral es de aproximadamente 30 metros.

En general se considera que los cuerpos son discontinuos debido a desplazamientos de 0.75 a 25.00 m, provocados por fallamiento normal e inverso. Las deformaciones observadas son mínimas y muy locales, las cuales se originaron en las primeras etapas del plegamiento regional.

## **VI.2 ALTERACIONES**

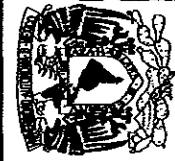
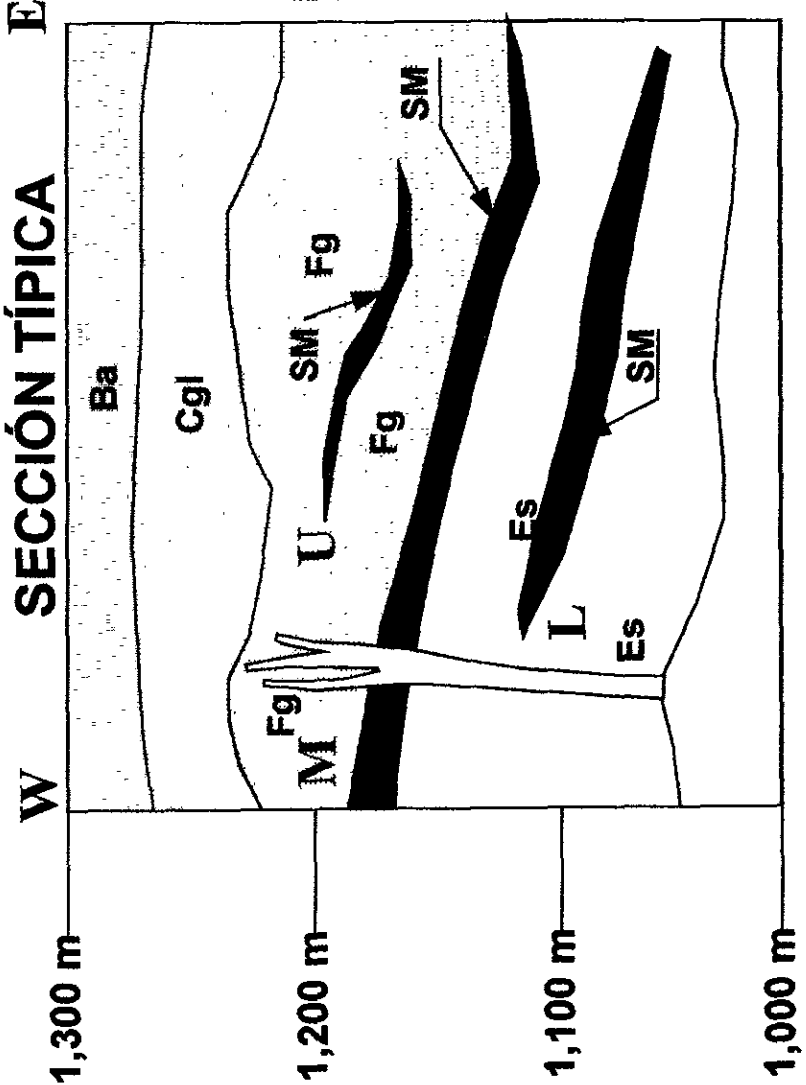
En el interior de la mina se observa la presencia de pirita diseminada y pirita bandeada dentro de los esquistos de clorita, sericita y clorita+sericita. La alteración muestra un zoneamiento vertical consistente, que puede estar asociado al protolito original de la roca. Esta alteración varía en función a la distancia del cuerpo mineralizado:

**Alteración de Sericita:** Se distribuye de 3 a 15 metros de distancia del cuerpo mineral. La roca original probablemente fue una roca volcánica ácida. Es frecuente encontrar diseminación de cristales de pirita y calcopirita hasta de 0.5 cm, aunque también algunas veces forman bandeamientos. El cuarzo se presenta generalmente en bandas paralelas a la foliación de las capas, aunque también es frecuente que estas bandas se ramaleen. La

# EXPLICACIÓN

- Ba** Basalto
- Cgl** Conglomerado
- Intrusivo riolítico
- Fg** Filita Gráfica
- Sulfuros Masivos**
- Es** Secuencia
- Volcanosedimentaria
- Augen gneiss**

# SECCIÓN TÍPICA



FACULTAD DE INGENIERIA  
DIVISION CIENCIAS DE LA TIERRA

**TESIS PROFESIONAL**

SECCIÓN TÍPICA DEL  
YACIMIENTO DE SULFUROS  
MASIVOS DE TIZAPA

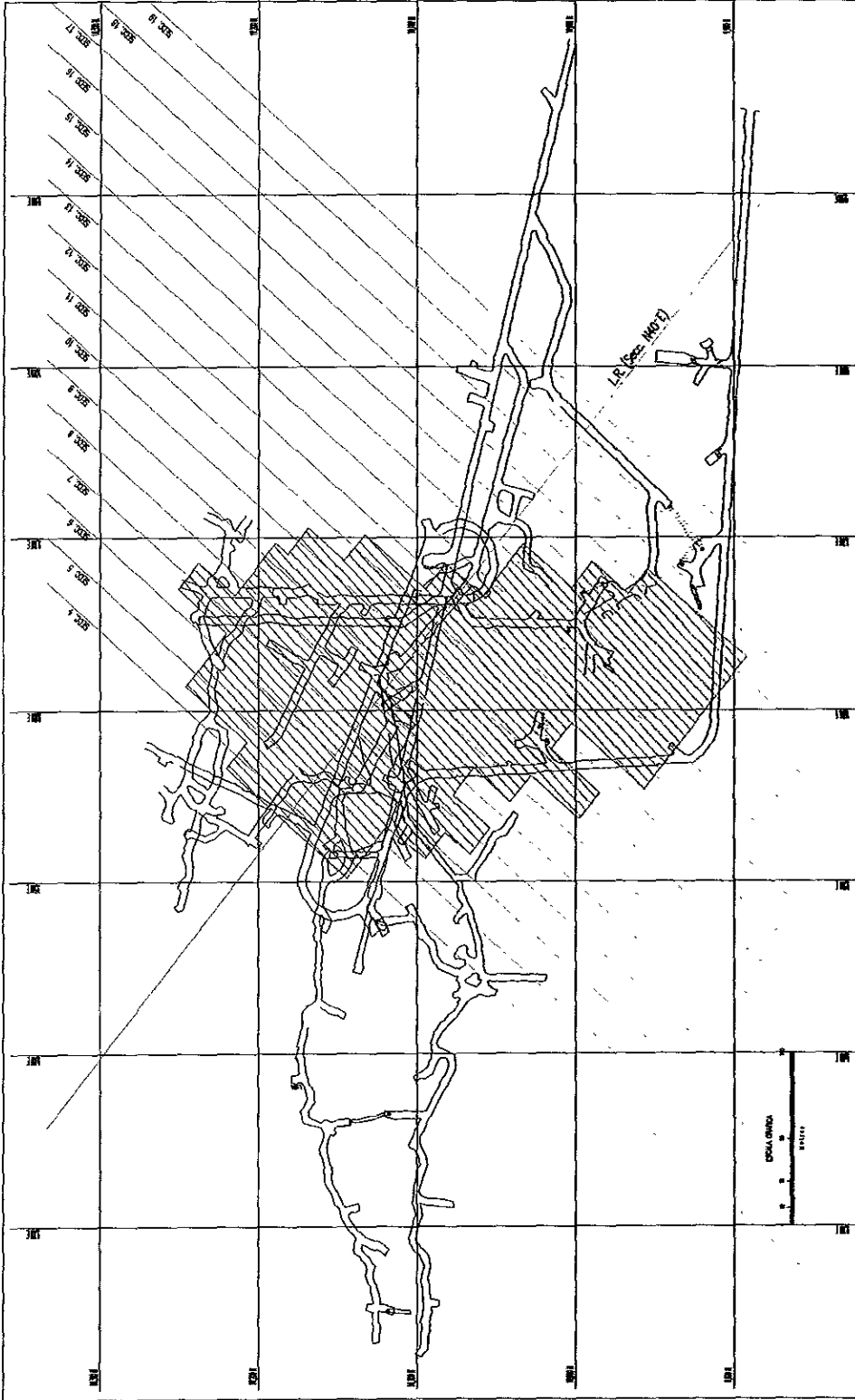
MAURICIO MERIACUNA

FIGURA: V.1.1

SI ESCALA

**U.N.A.M.**





FACULTAD DE INGENIERIA  
 DIVISION CIENCIAS DE LA TIERRA

TESIS PROFESIONAL

DISTRIBUCIÓN  
 MANTO L1

MAURICIO JERACUNA  
 FIG. V.1.2

U.N.A.M.





FACULTAD DE INGENIERIA  
DIVISION CIENCIAS DE LA TIERRA

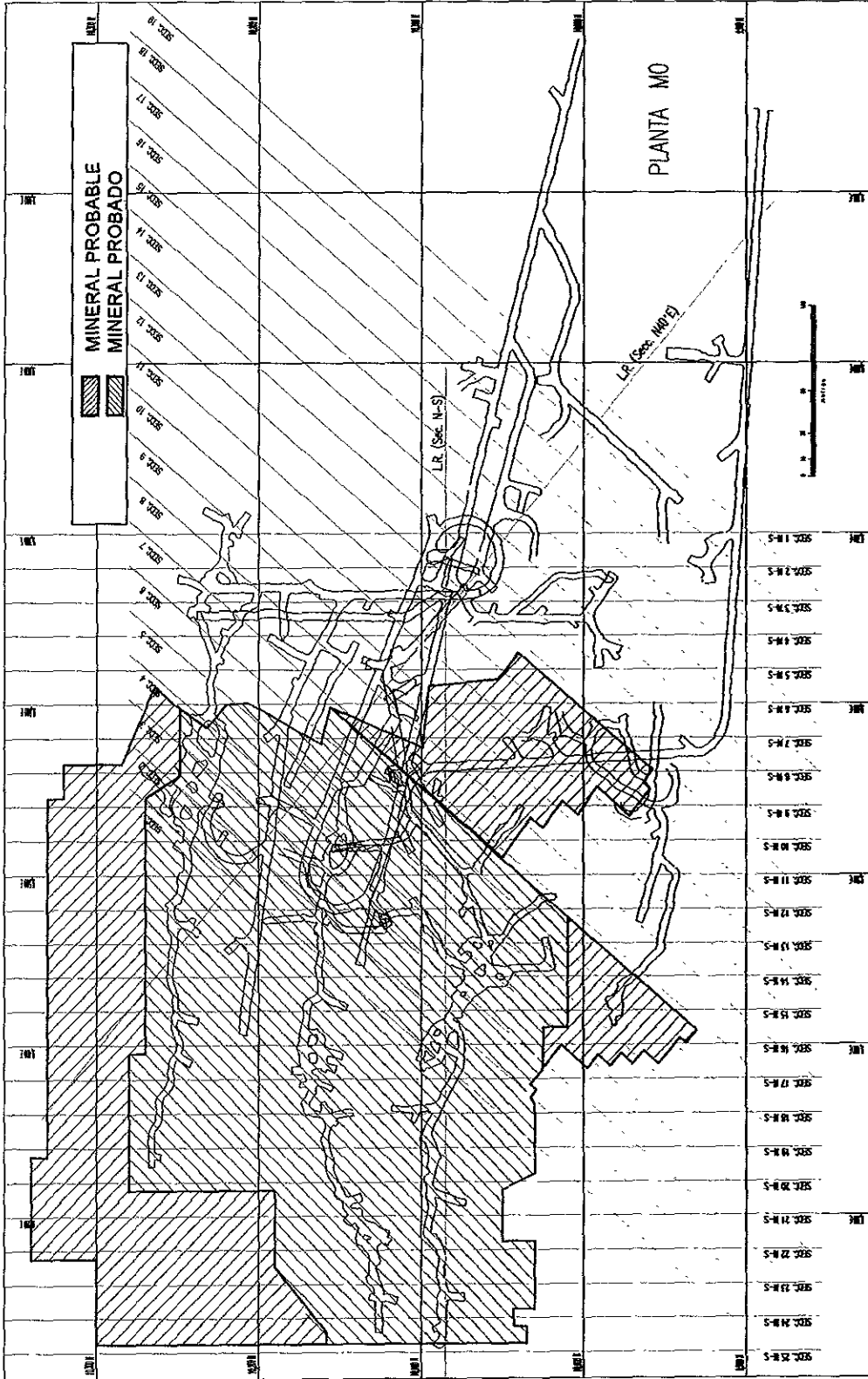
TESIS PROFESIONAL

DISTRIBUCIÓN  
MANTO M0

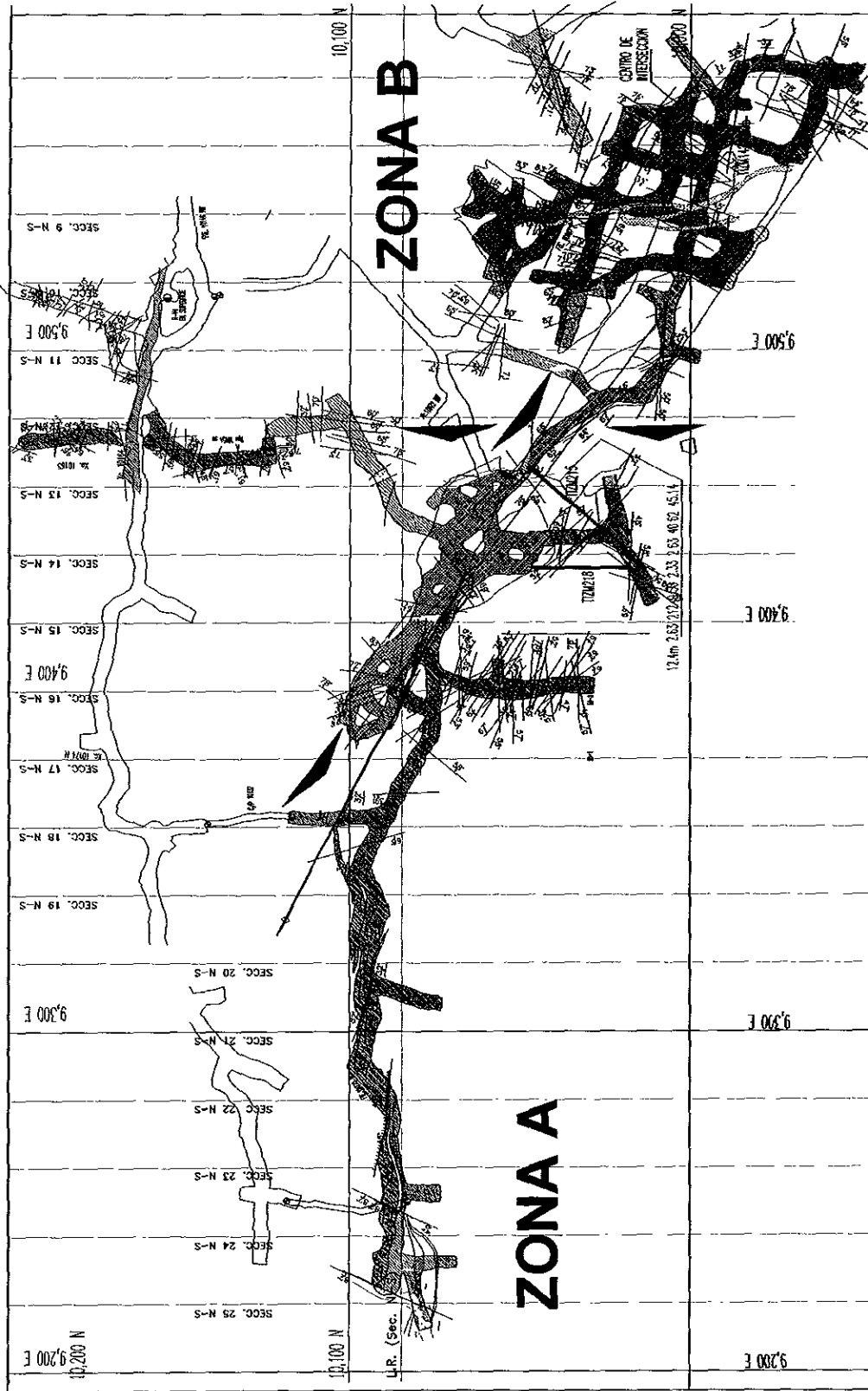
MAURICIO MERILAGUNA  
FIG. V.1.5



U.N.A.M.



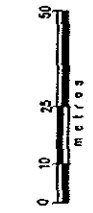




**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**DIVISION CIENCIAS DE LA TIERRA**  
**TESIS PROFESIONAL**  
**REBAJE M0 1200**  
**ELEVACIÓN 1200**  
 MAURICIO NEBLACUÑA  
 FIG. V.17.



**U.N.A.M.**



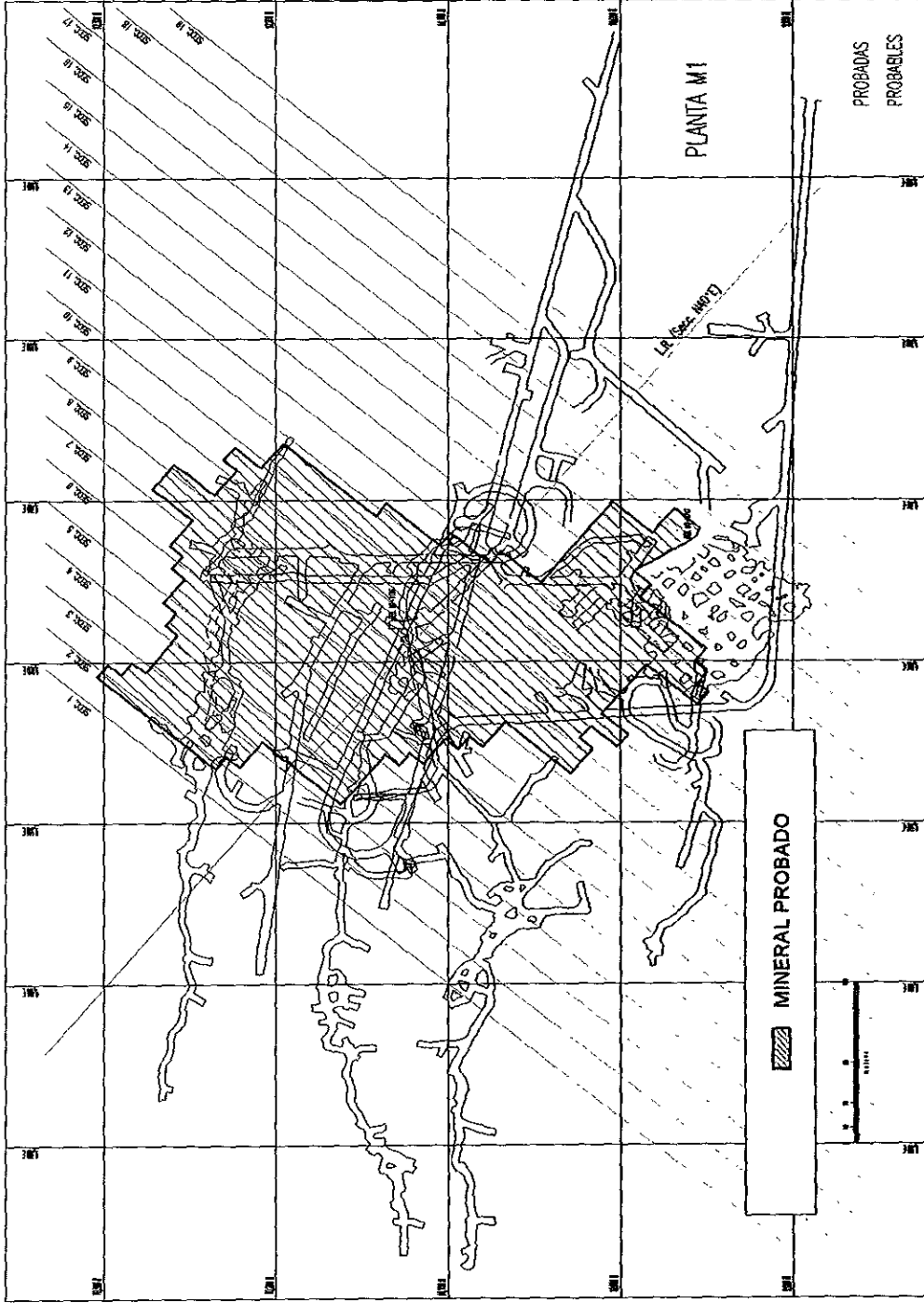
Simbolo	Descripción
	Agua
	Calle
	Carrilero
	Curvas de nivel
	Alturas puntuales
	Límites
	Vegetación
	Bosque
	Campo
	Calle
	Carrilero
	Curvas de nivel
	Alturas puntuales
	Límites
	Vegetación
	Bosque
	Campo

Escala 1:500  
 Fecha de la obra: 1960









FACULTAD DE INGENIERIA  
 DIVISION CIENCIAS DE LA TIERRA

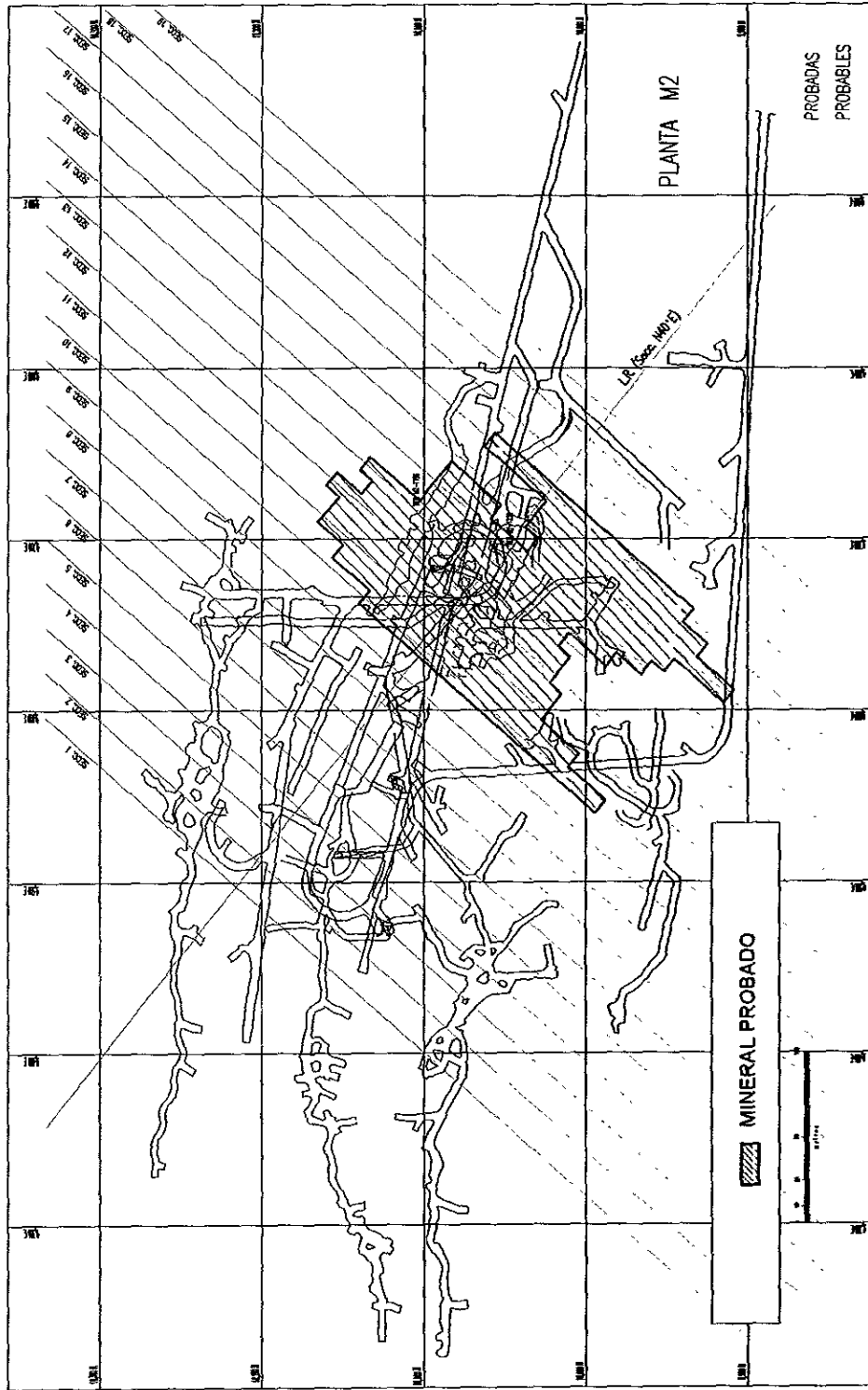
TESIS PROFESIONAL

DISTRIBUCIÓN  
 MANTO M1

MAURICIO NERLACUNA  
 FIG. V.1.10

U.N.A.M.





FACULTAD DE INGENIERIA  
 DIVISION CIENCIAS DE LA TIERRA

TERCER PROFESIONAL

DISTRIBUCIÓN  
 MANTO M2

MAURICIO NERIAJUNA  
 EIG. V.1.12

U.N.A.M.



diseminación y/o bandas de pirita decrecen conforme aumenta la distancia al cuerpo mineral hasta prácticamente desaparecer.

En la filita graffítica se ha observado alteración de sericita en muy raras ocasiones (al alto del cuerpo M1 en el Rebaje 1196), pero no se ha observado ningún indicio de la presencia de pirita.

**Alteración de Clorita:** Se presenta después de la alteración de sericita (fig. IV.1.2) Su distribución puede ir más allá de los 50 metros de distancia del cuerpo mineral. La roca original fue probablemente volcánica de composición andesítica. Se observa también la presencia de cristales de pirita y calcopirita en forma diseminada o en bandas en los primeros 10 metros aproximadamente de la zona de clorita. Las bandas de cuarzo son comunes y presentan las mismas características anteriormente descritas. En algunas ocasiones se observan relictos de una textura porfídica, pero los cristales de plagioclasa se encuentran alterados a sericita (Lewis y Rhys, 1997).

En la filita graffítica no se ha observado la presencia de alteración de clorita.

**Alteración de Clorita+Sericita:** Se observa como una zona de transición entre ambas alteraciones, su espesor puede ir desde unos cuantos centímetros hasta 10 metros. Se observa de la misma manera la presencia de pirita y calcopirita en forma de diseminado o en bandas. Las bandas de cuarzo se presentan con las características ya mencionadas anteriormente. La roca original pudo haber sido volcánica de composición ácida-intermedia.

### VI.3 ANALISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DE ELEMENTOS

Las gráficas de distribución de elementos que se observan en el Anexo 2, muestran que existe un comportamiento similar entre el Au, Ag, Pb y Zn, pero que el Cu tiende a comportarse de distinta forma, sobre todo con respecto al Zn. Esta diferencia es muy notable en áreas específicas del manto M0, donde se observan altos valores de Cu y bajos valores de Zn. Los mantos L1, M2 y M1 presentan un comportamiento más homogéneo.

A continuación se presenta un análisis del comportamiento en la distribución de los elementos. También se presenta la matriz de correlación lineal y dos gráficas de dispersión para cada manto. Si se desea conocer como calcular el valor de correlación lineal (Castro Izquierdo, 1994), puede consultarse el Anexo 4.

### **MANTO L1:**

En las gráficas 1,2,3 y 4 del Anexo 2, se observa claramente la asociación de Au, Ag, Pb y Zn. En la gráfica 1 se tienen dos zonas con valores altos de Au. La primera se ubica entre las coordenadas 10,000 a 10,200 N y de 9,500 a 9,600 E, mientras que la segunda se tiene de 10,200 a 10,300 N y de 9,600 a 9,700 E. Nótese además que los valores se mantienen prácticamente constantes en ambas zonas.

En la gráfica 2 se tiene la distribución de Ag. Los valores altos ocupan de manera similar al Au, dos zonas que también tienen las mismas coordenadas. La zona que se encuentra entre las coordenadas 10,200 a 10,300 N y 9,600 a 9,700 E, presenta valores menores de Ag en comparación con la zona que se ubica hacia la parte sur, en la cual se ven valores más importantes.

En la matriz de correlación para este manto se tiene una buena relación del Au con respecto a la Ag.

En la gráfica 3 se observa una zona con valores altos de Pb. Esta zona ocupa las coordenadas 10,000 a 10,200 N y 9,500 a 9,600 E, mismas en que se encuentran también los valores más altos de Au y Ag.

Es muy notorio en la matriz de correlación que el Pb se asocia de una manera muy fuerte con Ag y en menor grado con Au.

En el Anexo 3, la gráfica 2 muestra la dispersión de Ag Vs. Pb.

La gráfica 4 muestra también dos zonas con valores altos de Zn que ocupan las mismas coordenadas que se observaron en las gráficas anteriores, aunque es notorio que la zona ubicada al norte tiene un comportamiento menos homogéneo.

En la matriz de correlación se puede ver que el Zn en general tiene buena relación con Au, Ag y Pb.

En la gráfica 5 se tienen también dos zonas con altos valores de Cu, pero en este caso las coordenadas de cada zona son distintas a las que se vieron en las gráficas anteriores. La primera se ubica de 10,000 a 10,030 N y de 9,570 a 9,700 E, la segunda de 10,200 a 10,250 N y de 9,580 a 9,720 E.

Es muy notorio que estas zonas tienen una ubicación distinta a las zonas que se vieron anteriormente, y en la matriz de correlación también se puede apreciar que el Cu tiene un comportamiento distinto al que muestran los demás elementos.

En el Anexo 3, la gráfica 1 muestra la dispersión que se tiene entre el Cu y el Pb.

**Matriz de Correlación del Manto L1**

	Au	Ag	Pb	Zn	Cu
Au	1.00	0.65	0.33	0.14	0.27
Ag		1.00	0.82	0.39	-0.21
Pb			1.00	0.53	-0.44
Zn				1.00	-0.20
Cu					1.00

#### **MANTO M0:**

En las gráficas 6, 7 y 8 del Anexo 2, se observa una zona entre las coordenadas 9,500 y 9,600 E y 10,000 y 10,200 N con valores altos de Au, Ag y Pb. En las mismas gráficas se puede ver una franja de orientación NW-SE, donde se observa una menor cantidad de estos elementos. Nótese que hacia la parte occidental de dicha franja, los valores se incrementan nuevamente. En la gráfica 9 se tiene que las zonas con valores altos de Zn corresponden a zonas con bajos valores de Cu. Adicionalmente, en la gráfica 10 se vuelve a observar una franja de orientación NW-SE con valores altos de Cu en contraste con valores menores de Zn.

La matriz de correlación para este manto indica que entre el Au, Ag, Pb y Zn se tiene una fuerte relación entre elementos, pero que todos estos tienen una relación variable con respecto al Cu. Es evidente que en ciertas zonas del Manto M0 se presentan zonas con buena ley de Cu, pero baja ley de Zn y viceversa.

**Matriz de Correlación del Manto M0**

	Au	Ag	Pb	Zn	Cu
Au	1.00	0.57	0.21	0.36	0.07
Ag		1.00	0.46	0.46	0.14
Pb			1.00	0.52	-0.13
Zn				1.00	-0.25
Cu					1.00

En el Anexo 3 se presentan las gráficas de dispersión del Zn Vs. Cu y la de Au Vs. Ag. La gráfica núm. 3 muestra nuevamente la relación que presentan el Zn y Cu, nótese incluso como la línea de tendencia en este caso es negativa. En la gráfica núm. 4 se observa una buena relación del Au con respecto a la Ag.

### **MANTO M1**

En la gráfica 11 del Anexo 2, se observa una zona con valores altos de Au entre las coordenadas 10,000 a 10,230 N y 9,600 a 9,730 E. En la gráfica 12, la zona de valores altos de Ag ocupa las coordenadas 10,070 a 10,150 N y de 9,570 a 9,700 E.

La matriz de correlación para este manto indica una buena relación del Au con respecto a Ag.

Los valores altos de Pb de la gráfica 13, también ocupan una zona que se ubica en las mismas coordenadas que la zona de Ag de la gráfica 12.

En el Anexo 3, la gráfica 5 muestra la dispersión de Ag Vs. Pb.

En la gráfica 14 se observa una diferencia, los valores altos de Zn ocupan una franja de orientación prácticamente N-S entre las coordenadas 9,900 a 10,200 N y 9,600 a 9,700 E. Esto quiere decir que el Zn, además de ubicarse en el mismo lugar que los otros



elementos, también se extiende hacia el sur. Sin embargo, aunque la relación entre el Zn con respecto a Au, Ag y Pb no es muy alta, tampoco puede decirse que sea mala.

En la gráfica 15 el Cu se encuentra ocupando una zona totalmente distinta a la que ocupan los demás elementos y en la matriz de correlación se tiene que el Cu no se correlaciona con prácticamente con ningún elemento.

**Matriz de Correlación del Manto M1**

	Au	Ag	Pb	Zn	Cu
Au	1.00	0.72	0.79	0.38	-0.59
Ag		1.00	0.85	0.26	-0.64
Pb			1.00	0.45	-0.60
Zn				1.00	-0.23
Cu					1.00

## MANTO M2

En el manto M2 se puede observar que la distribución de Au, Ag, Pb y Zn, se encuentra dentro de un área bien definida con coordenadas 10,000 a 10,100 N y 9,550 a 9,700 E, mientras que el Cu se encuentra prácticamente fuera de esta área, siendo sus coordenadas en donde se distribuye de 10,100 a 10,200 N y de 9,400 a 9,500 E (Anexo 2, gráficas 16 a 20).

En la matriz de correlación se puede observar que la relación entre los elementos en M2 es más fuerte que en los otros mantos, a excepción del Cu, que tampoco en este caso parece relacionarse bien con los demás elementos.

**Matriz de Correlación del Manto M2**

	Au	Ag	Pb	Zn	Cu
Au	1.00	0.90	0.89	0.27	-0.33
Ag		1.00	0.95	0.36	-0.29
Pb			1.00	0.46	-0.35
Zn				1.00	-0.15
Cu					1.00

Un análisis del comportamiento de los valores mínimo, máximo y medio de los elementos Au, Ag, Pb, Zn y Cu en cada uno de los mantos, permite observar las diferencias existentes entre dichos elementos.

En la tabla V.3.1 se muestran las leyes promedio de cada manto, en donde se puede observar lo siguiente:

a) Los menores valores de Zn y los mayores valores de Cu se encuentran en el manto M0.

b) Las leyes mínima, máxima y media de Au, Ag y Pb en los mantos L1, M1 y M2 tienen valores muy parecidos.

c) Los valores mínimo, máximo y medio de Cu que se observa en cada uno de los mantos son distintos entre sí.

d) El valor medio y máximo de Zn en los mantos L1 y M2 son parecidos, pero en el caso del valor mínimo la diferencia es muy grande.

e) El valor mínimo, máximo y medio de Zn en el manto M1 es mayor que en los mantos L1 y M2, sin embargo nótese que en el manto M0 el valor máximo de Zn llega hasta 19.80 %.

f) Los valores mínimo, máximo y medio del manto M1.5 son superiores a los de todos los demás mantos, sin embargo hay recordar que este manto tiene un espesor promedio de apenas 30 cm.

Como finalmente puede verse, los mantos M1.5 y M0 no parecen tener mucho en común, ya que el primero tiene valores muy altos de Au, Ag, Pb y Zn, mientras que el otro los presenta en menor escala. Sin embargo el manto M1.5 tiene un espesor muy pequeño y su continuidad lateral difícilmente alcanza los 200 m. En contraste, el manto M0 tiene un espesor promedio de 3.50 m y su continuidad lateral en la actualidad supera los 300 m.

	Au (gr/ton)	Ag (gr/ton)	Pb (%)	Zn (%)	Cu (%)
<b>MANTO L1</b>	Mínimo	1.42	0.98	4.75	0.17
	Máximo	4.32	4.17	14.45	2.12
	Media	2.82	2.02	9.02	0.74

<b>MANTO M0</b>	Mínimo	0.02	0.03	0.04	0.02
	Máximo	9.21	17.00	19.8	14.82
	Media	2.16	1.71	6.34	1.18

<b>MANTO M1</b>	Mínimo	1.23	1.11	6.09	0.15
	Máximo	4.48	4.76	19.70	2.03
	Media	2.87	2.74	11.32	0.45

<b>MANTO M1.5</b>	Mínimo	6.47	1126	8.60	29.40	0.19
	Máximo	3.05	853	7.46	26.80	0.05
	Media	4.16	1008	8.00	27.75	0.11

<b>MANTO M2</b>	Mínimo	1.97	121	0.08	0.29	0.11
	Máximo	4.91	674	4.82	13.65	1.72
	Media	3.05	372	2.31	9.33	0.29

Tabla V.3.1. Leyes mínima, máxima y media de cada manto.

Existen similitudes entre los mantos M2 y L1 en cuanto a su espesor y leyes, pero en M2 se observa un lente de mena amarilla que no se tiene en L1. También se tiene que la longitud del manto L1 es mucho mayor que la de M2.

M1 es un manto con un espesor promedio de apenas 1.5 m y con altos valores de Zn. Este manto no parece presentar afinidades físicas muy grandes con los otros mantos.

Con base en lo anteriormente descrito, es muy probable que se hayan tenido diversas fuentes alimentadoras que dieron a cada uno de los mantos características físicas y mineralógicas distintivas. También es muy probable que se hayan depositado en el mismo horizonte estratigráfico, es decir, entre los esquistos de sericita y filitas grafiticas.

## **VI GEOLOGÍA ECONÓMICA.**

### **VI.1 CONSIDERACIONES PARA MENA AMARILLA**

El Manto M2 presenta una zona de mineral no económica en el alto (mena amarilla), con una ley promedio de 40 % de Fe y escasos valores de Au, Ag, Pb, Zn y Cu.

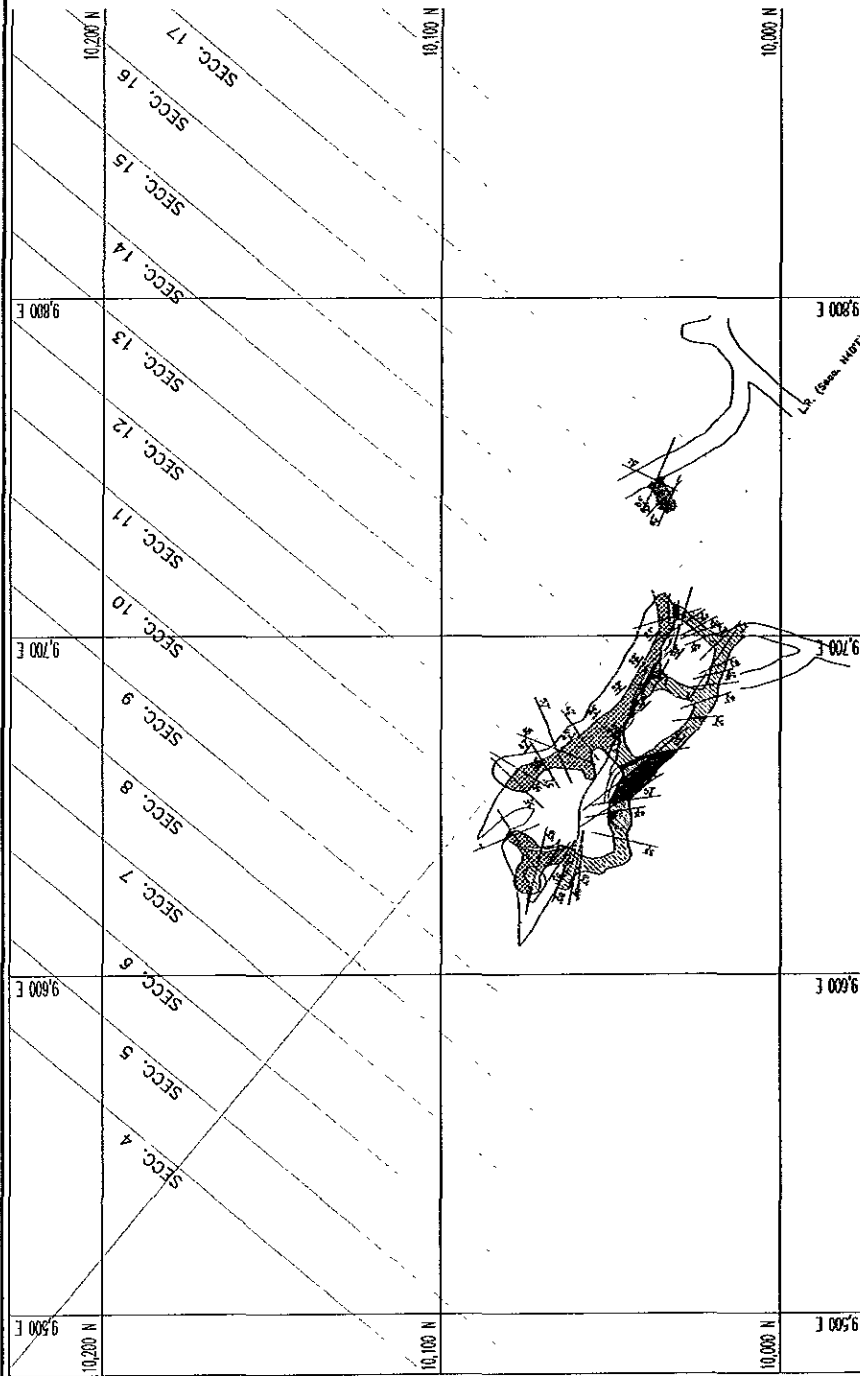
El reconocimiento físico de la mena amarilla muchas veces no es fácil de realizar a simple vista, por lo que es frecuente durante la explotación de un rebaje que la mena amarilla se tumba y extraiga junto con el mineral económico, lo que ocasiona una disminución en ley debido a la dilución; además, se incrementa el costo de tumba por tonelada.

El caso contrario también suele presentarse, al no minar zonas aparentemente de mena amarilla y que en la realidad corresponden a mineral económico. En este caso las pérdidas para la empresa también pueden ser importantes.

Una solución es que se marque una línea que defina el contacto entre mena amarilla y mineral económico con apoyo en el muestreo de mina. Sin embargo, el procedimiento empleado tradicionalmente acarrea los problemas antes descritos, pues la línea de división se marcaba con base en criterio, debido a que el método de muestreo no era el adecuado. Para resolver este problema se escogió el Rebaje M2-1238 y como apoyo se utilizaron los levantamientos geológico-topográficos a detalle de las secciones N40°E que pasan por éste rebaje, utilizando líneas de referencia locales. (fig. VI.1.1.).

El muestreo se realizó sobre las secciones con un ancho promedio de 1 m considerando exclusivamente mineral. Los resultados de laboratorio que se observan en la tabla VI.1.1, indican la presencia de mena amarilla.

Para definir el modo en como afecta su presencia, se consideran primeramente dos compósitos para cada sección: el primero que incluya a las muestras con un valor superior a los 20 dólares (valor mínimo de corte), y el segundo a las que tienen menos de 20 dólares. Finalmente se pueden elaborar compósitos considerando porcentajes de dilución de 10, 20 y 30% para 10 toneladas de mineral (tablas VI.1.2, VI.1.3, VI.1.4, VI.1.5 y VI.1.6).



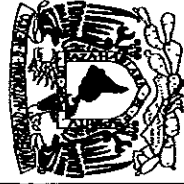
FACULTAD DE INGENIERIA  
 DIVISION CIENCIAS DE LA TIERRA

TESIS PROFESIONAL

Rebaje M2\_1238  
 Elev. 1259 m.s.n.m.

MAURICIO MERLACIUNA

FIG. VI.1.1



U.N.A.M.

Item	Quantity	Unit	Value
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			

1/4" = 1'00"  
 1/8" = 1'00"  
 1/16" = 1'00"  
 1/32" = 1'00"  
 1/64" = 1'00"  
 1/128" = 1'00"  
 1/256" = 1'00"  
 1/512" = 1'00"  
 1/1024" = 1'00"  
 1/2048" = 1'00"  
 1/4096" = 1'00"  
 1/8192" = 1'00"  
 1/16384" = 1'00"  
 1/32768" = 1'00"  
 1/65536" = 1'00"  
 1/131072" = 1'00"  
 1/262144" = 1'00"  
 1/524288" = 1'00"  
 1/1048576" = 1'00"  
 1/2097152" = 1'00"  
 1/4194304" = 1'00"  
 1/8388608" = 1'00"  
 1/16777216" = 1'00"  
 1/33554432" = 1'00"  
 1/67108864" = 1'00"  
 1/134217728" = 1'00"  
 1/268435456" = 1'00"  
 1/536870912" = 1'00"  
 1/1073741824" = 1'00"  
 1/2147483648" = 1'00"  
 1/4294967296" = 1'00"  
 1/8589934592" = 1'00"  
 1/17179869184" = 1'00"  
 1/34359738368" = 1'00"  
 1/68719476736" = 1'00"  
 1/137438953472" = 1'00"  
 1/274877906944" = 1'00"  
 1/549755813888" = 1'00"  
 1/1099511627776" = 1'00"  
 1/2199023255552" = 1'00"  
 1/4398046511104" = 1'00"  
 1/8796093022208" = 1'00"  
 1/17592186044416" = 1'00"  
 1/35184372088832" = 1'00"  
 1/70368744177664" = 1'00"  
 1/140737488355328" = 1'00"  
 1/281474976710656" = 1'00"  
 1/562949953421312" = 1'00"  
 1/1125899906842624" = 1'00"  
 1/2251799813685248" = 1'00"  
 1/4503599627370496" = 1'00"  
 1/9007199254740992" = 1'00"  
 1/18014398509481984" = 1'00"  
 1/36028797018963968" = 1'00"  
 1/72057594037927936" = 1'00"  
 1/144115188075855872" = 1'00"  
 1/288230376151711744" = 1'00"  
 1/576460752303423488" = 1'00"  
 1/1152921504606846976" = 1'00"  
 1/2305843009213693952" = 1'00"  
 1/4611686018427387904" = 1'00"  
 1/9223372036854775808" = 1'00"  
 1/18446744073709551616" = 1'00"  
 1/36893488147419103232" = 1'00"  
 1/73786976294838206464" = 1'00"  
 1/147573952589676412928" = 1'00"  
 1/295147905179352825856" = 1'00"  
 1/590295810358705651712" = 1'00"  
 1/1180591620717411303424" = 1'00"  
 1/2361183241434822606848" = 1'00"  
 1/4722366482869645213696" = 1'00"  
 1/9444732965739290427392" = 1'00"  
 1/18889465931478580854784" = 1'00"  
 1/37778931862957161709568" = 1'00"  
 1/75557863725914323419136" = 1'00"  
 1/151115727451828646838272" = 1'00"  
 1/302231454903657293676544" = 1'00"  
 1/604462909807314587353088" = 1'00"  
 1/1208925819614629174706176" = 1'00"  
 1/2417851639229258349412352" = 1'00"  
 1/4835703278458516698824704" = 1'00"  
 1/9671406556917033397649408" = 1'00"  
 1/19342813113834066795298816" = 1'00"  
 1/38685626227668133590597632" = 1'00"  
 1/77371252455336267181195264" = 1'00"  
 1/154742504910672534362390528" = 1'00"  
 1/309485009821345068724781056" = 1'00"  
 1/618970019642690137449562112" = 1'00"  
 1/1237940039285380274899124224" = 1'00"  
 1/2475880078570760549798248448" = 1'00"  
 1/4951760157141521099596496896" = 1'00"  
 1/9903520314283042199192993792" = 1'00"  
 1/19807040628566084398385987584" = 1'00"  
 1/39614081257132168796771975168" = 1'00"  
 1/79228162514264337593543950336" = 1'00"  
 1/158456325028528675187087900672" = 1'00"  
 1/316912650057057350374175801344" = 1'00"  
 1/633825300114114700748351602688" = 1'00"  
 1/1267650600228229401496703205376" = 1'00"  
 1/2535301200456458802993406410752" = 1'00"  
 1/5070602400912917605986812821504" = 1'00"  
 1/10141204801825835211973625643008" = 1'00"  
 1/20282409603651670423947251286016" = 1'00"  
 1/40564819207303340847894502572032" = 1'00"  
 1/81129638414606681695789005144064" = 1'00"  
 1/162259276829213363391578010288128" = 1'00"  
 1/324518553658426726783156020576256" = 1'00"  
 1/649037107316853453566312041152512" = 1'00"  
 1/1298074214633706907132624082305024" = 1'00"  
 1/2596148429267413814265248164610048" = 1'00"  
 1/5192296858534827628530496329220096" = 1'00"  
 1/10384593717069655257060992658440192" = 1'00"  
 1/20769187434139310514121985316880384" = 1'00"  
 1/41538374868278621028243970633760768" = 1'00"  
 1/83076749736557242056487941267521536" = 1'00"  
 1/166153499473114484112975882535043072" = 1'00"  
 1/332306998946228968225951765070086144" = 1'00"  
 1/664613997892457936451903530140172288" = 1'00"  
 1/1329227995784915872903807060280344576" = 1'00"  
 1/2658455991569831745807614120560689152" = 1'00"  
 1/5316911983139663491615228241121378304" = 1'00"  
 1/10633823966279326983230456482242756608" = 1'00"  
 1/21267647932558653966460912964485513216" = 1'00"  
 1/42535295865117307932921825928971026432" = 1'00"  
 1/85070591730234615865843651857942052864" = 1'00"  
 1/170141183460469231731687303715884105728" = 1'00"  
 1/340282366920938463463374607431768211456" = 1'00"  
 1/680564733841876926926749214863536422912" = 1'00"  
 1/1361129467683753853853498429727072845824" = 1'00"  
 1/2722258935367507707706996859454145691536" = 1'00"  
 1/5444517870735015415413993718908291383072" = 1'00"  
 1/10889035741470030830827987437816582766144" = 1'00"  
 1/21778071482940061661655974875633165532288" = 1'00"  
 1/43556142965880123323311949751266331064576" = 1'00"  
 1/87112285931760246646623899502532662129152" = 1'00"  
 1/174224571863520493293247799005065242558304" = 1'00"  
 1/348449143727040986586495598010130485116608" = 1'00"  
 1/696898287454081973172991196020260970233216" = 1'00"  
 1/1393796574908163946345982392040521940466432" = 1'00"  
 1/2787593149816327892691964784081043880932864" = 1'00"  
 1/5575186299632655785383929568162087761865728" = 1'00"  
 1/11150372599265311570767859136324175533731456" = 1'00"  
 1/22300745198530623141535718272648351067462912" = 1'00"  
 1/44601490397061246283071436545296702148925248" = 1'00"  
 1/8920298079412249256614287309059340429785088" = 1'00"  
 1/17840596158824498513228574618118680859570176" = 1'00"  
 1/35681192317648997026457149236237361719140352" = 1'00"  
 1/71362384635297994052914298472474723438280704" = 1'00"  
 1/142724769270595988105828596944949446876561408" = 1'00"  
 1/285449538541191976211657193889898893753122816" = 1'00"  
 1/570899077082383952423314387779797787506245632" = 1'00"  
 1/11417981541647679048466287755595955750124912" = 1'00"  
 1/22835963083295358096932575511191911500249824" = 1'00"  
 1/45671926166590716193865151022383823000499488" = 1'00"  
 1/91343852333181432387730302044767646000999968" = 1'00"  
 1/18268770466636286477546060408953529200199936" = 1'00"  
 1/36537540933272572955092120817907058400399872" = 1'00"  
 1/73075081866545145910184241635814116800799744" = 1'00"  
 1/146150163733090291820368483271628233601599488" = 1'00"  
 1/292300327466180583640736966543256467203198976" = 1'00"  
 1/584600654932361167281473933086512934406397952" = 1'00"  
 1/1169201309864722334562947866173025868812795904" = 1'00"  
 1/2338402619729444669125895732346051737625591808" = 1'00"  
 1/4676805239458889338251791464692103475251183616" = 1'00"  
 1/9353610478917778676503582929384206950502367232" = 1'00"  
 1/18707220957835557353007165858768413901004734464" = 1'00"  
 1/37414441915671114706014331717536827802009468928" = 1'00"  
 1/74828883831342229412028663435073655604018937856" = 1'00"  
 1/149657767662684458824057326870147311208037875712" = 1'00"  
 1/299315535325368917648114653740294624016075751424" = 1'00"  
 1/598631070650737835296229307480589248032151502848" = 1'00"  
 1/1197262141301475670592458614961178496064303005696" = 1'00"  
 1/2394524282602951341184917229922356992128606011392" = 1'00"  
 1/4789048565205902682369834459844713984257212022784" = 1'00"  
 1/9578097130411805364739668919689427968514424045568" = 1'00"  
 1/19156194260823610729479337399378855937028848091136" = 1'00"  
 1/38312388521647221458958674798757711874057696182272" = 1'00"  
 1/76624777043294442917917349597515423748115392364544" = 1'00"  
 1/153249554086588885835834699195030847496230784729088" = 1'00"  
 1/306499108173177771671669398390061694992461569458176" = 1'00"  
 1/612998216346355543343338796780123389984923138916352" = 1'00"  
 1/1225996432692711086686677593560246779969846277832704" = 1'00"  
 1/2451992865385422173373355187120493559939692555665408" = 1'00"  
 1/4903985730770844346746710374240987119879385111330816" = 1'00"  
 1/9807971461541688693493420748481974239758770222661632" = 1'00"  
 1/196159429228833773869868414969639484795175404453232" = 1'00"  
 1/392318858457667547739736829939278969590350808906464" = 1'00"  
 1/784637716915335095479473659878557939180701617812928" = 1'00"  
 1/1569275433830670190958947319757115878361403235625856" = 1'00"  
 1/3138550867661340381917894639514231576722806471251712" = 1'00"  
 1/6277101735322680763835789279028463153445612842503424" = 1'00"  
 1/12554203460645361527671578558056926266891225685006848" = 1'00"  
 1/25108406921290723055343157116113852533782451370013696" = 1'00"  
 1/50216813842581446110686314232227705067564902740027392" = 1'00"  
 1/100433627685162892221372628464454101351129805480054784" = 1'00"  
 1/200867255370325784442745256928908202702259610960109568" = 1'00"  
 1/401734510740651568885490513857816405404519221920219136" = 1'00"  
 1/803469021481303137770981027715632810808938443840438272" = 1'00"  
 1/160693804296260627554196205543126562161787687768086544" = 1'00"  
 1/321387608592521255108392411086253124323575375536173088" = 1'00"  
 1/642775217185042510216784822172506248647150751072346176" = 1'00"  
 1/1285550434370085020433569644345012497294301502144692352" = 1'00"  
 1/257110086874017004086713928869002494558860300429138464" = 1'00"  
 1/514220173748034008173427857378049891117720600858276928" = 1'00"  
 1/102844034749606801634685571475609978223544120171655376" = 1'00"  
 1/205688069499213603269371142951219956447088240343310752" = 1'00"  
 1/411376138998427206538742285902439912894176480686621504" = 1'00"  
 1/822752277996854413077484571804879825788352961373243008" = 1'00"  
 1/1645504555993708826154969143609759451576705922746486016" = 1'00"  
 1/329100911198741765230993828721951890315341184549297232" = 1'00"  
 1/658201822397483530461987657443903780630682369098594464" = 1'00"  
 1/1316403644794967060923975314887807561261364738197188928" = 1'00"  
 1/2632807289589934121847950629775615122522729476394377856" = 1'00"  
 1/5265614579179868243695901259551230245045458952788755712" = 1'00"  
 1/10531229158359736487391802519102460490090917905577511424" = 1'00"  
 1/21062458316719472974783605038204920980181835811155022848" = 1'00"  
 1/42124916633438945949567210076409841960363671622310045696" = 1'00"  
 1/84249833266877891899134420152819683920727343244620091392" = 1'00"  
 1/168499666533755783798268840305639367841454686489240182784" = 1'00"  
 1/336999333067511567596537680611278735682909372978480365568" = 1'00"  
 1/673998666135023135193075361222557471365818745956960731136" = 1'00"  
 1/134799733227004627038615072244511494273163549191392146272" = 1'00"  
 1/269599466454009254077230144489022988546327098382784284448" = 1'00"  
 1/539198932908018508154460288978045977092654196765568568896" = 1'00"  
 1/1078397865816037016308920577956919544185308393531137137792" = 1'00"  
 1/2156795731632074032617841155913839088370616787062274275584" = 1'00"  
 1/431359146326414806523568231182767817674123357412454855104" = 1'00"  
 1/862718292652829613047136462365535635348246714824909710208" = 1'00"  
 1/1725436585305659226094272924731071270696493429649819420416" = 1'00"  
 1/3450873170611318452188545849462142541392986859299638840832" = 1'00"  
 1/6901746341222636904377091698924285082785973718599277681664" = 1'00"  
 1/138034926824452738087541833978

MUEST	SECC	ANCHO	Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe	VAL-MIN
11534	SECC 13	2.00	3.92	497	2.48	8.04	0.72	35.53	70.96
11535	SECC 13	1.50	4.74	1287	6.23	11.80	0.65	26.68	143.24
11536	SECC 13	1.50	5.55	597	4.63	11.02	0.23	31.78	90.39
11537	SECC 13	1.40	4.44	475	3.21	10.47	0.17	34.00	75.47
11608	SECC-13-2	1.00	3.24	239	0.80	5.12	0.36	42.92	39.42
11609	SECC-13-2	1.00	3.30	217	1.51	6.58	0.34	40.28	43.04
11517	SECC 14	1.00	2.90	221	2.04	9.41	0.08	37.05	49.61
11518	SECC 14	1.00	2.62	217	1.61	9.88	0.10	36.71	49.31
11519	SECC 14	1.00	3.01	340	8.32	11.98	0.30	28.40	77.35
11520	SECC 14	1.00	5.45	571	3.09	7.75	0.52	37.05	78.47
11713	SECC-14-2	1.00	3.95	412	3.44	5.72	0.19	35.15	58.31
11714	SECC-14-2	1.10	1.57	75	0.07	4.76	0.16	36.86	21.58
11718	SECC 15	1.00	2.02	120	0.58	4.55	0.38	38.57	27.03
11719	SECC 15	1.00	2.63	111	0.56	2.11	0.51	39.45	21.86
11720	SECC 15	1.00	1.74	192	0.43	2.96	0.30	37.90	26.61
11721	SECC 15	1.00	2.46	123	0.34	2.33	0.45	35.15	22.22
11722	SECC 15	1.00	2.49	129	0.24	2.11	0.35	36.86	21.45
11723	SECC 15	0.75	2.31	95	0.65	2.99	0.23	39.39	21.22
TOTAL	COMP. 1	20.25	3.40	372	2.43	7.06	0.36	35.65	56.91

COMP. 1	20.25	3.40	372	2.43	7.06	0.36	35.65	56.91
COMP. 2	23.60	2.11	74	0.13	0.98	0.40	39.37	14.02
COMP. TOTAL	43.85	2.70	212	1.20	3.79	0.38	37.65	33.83

MUEST	SECC	ANCHO	Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe	VAL-MIN
11610	SECC-13-2	1.00	0.89	47	0.12	0.70	0.34	47.49	8.70
11611	SECC-13-2	1.00	2.46	95	0.32	1.50	0.45	48.34	18.10
11612	SECC-13-2	1.00	2.28	100	0.23	1.28	0.41	45.53	17.15
11613	SECC-13-2	1.00	1.51	42	0.09	2.64	0.15	44.68	13.66
11614	SECC-13-2	1.00	2.08	67	0.07	1.36	0.28	44.49	13.76
11521	SECC 14	1.00	2.53	111	0.12	0.82	0.48	43.40	17.34
11522	SECC 14	1.00	2.85	63	0.06	1.12	0.38	42.78	14.86
11523	SECC 14	1.00	2.32	59	0.06	0.91	0.36	43.25	12.89
11524	SECC 14	1.00	1.84	51	0.04	0.56	0.49	43.00	11.08
11525	SECC 14	1.00	2.12	73	0.06	0.57	0.54	42.93	13.45
11526	SECC 14	2.00	1.87	81	0.06	1.43	0.39	41.87	15.01
11707	SECC 14-2	2.80	1.88	67	0.24	0.59	0.36	39.38	12.07
11708	SECC 14-2	1.00	1.96	79	0.36	2.70	0.37	38.53	18.82
11709	SECC 14-2	1.00	1.61	67	0.00	0.00	0.27	11.64	8.11
11710	SECC 14-2	1.00	1.90	99	0.10	0.74	0.46	38.57	14.93
11711	SECC 14-2	1.00	2.98	71	0.28	0.74	0.26	39.45	14.49
11712	SECC 14-2	1.00	2.38	69	0.19	0.82	0.27	39.90	13.26
11715	SECC 15	1.80	1.90	83	0.05	0.44	0.47	39.38	13.00
11716	SECC 15	1.00	3.10	92	0.06	0.45	0.51	38.53	16.24
11717	SECC 15	1.00	2.51	71	0.14	0.87	0.73	11.64	15.94
TOTAL	COMP. 2	23.60	2.11	74	0.13	0.98	0.40	39.37	14.02

Tabla VI.1.1. Resultados de muestras sobre secciones. Comp. 1 Representa a las muestras con un valor mayor a 20 U.S.D., mientras que Comp. 2 a las que no alcanzan el mismo Comp. Total es un composito de Comp. 1 y Comp. 2., elaborado utilizando los anchos de muestras.

MUEST	SECC	ANCHO	Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe	VAL-MIN
11534	SECC 13	2.00	3.92	397	2.48	8.04	0.72	35.53	70.96
11535	SECC 13	1.50	3.74	387	2.23	11.80	0.65	26.68	143.24
11536	SECC 13	1.50	2.55	417	4.63	11.02	0.23	31.78	90.39
11537	SECC 13	1.40	4.44	375	3.21	10.47	0.17	34.00	75.47
<b>TOTAL</b>		<b>6.40</b>	<b>3.67</b>	<b>395</b>	<b>3.09</b>	<b>10.15</b>	<b>0.47</b>	<b>32.24</b>	<b>68.81</b>

Tabla VI.1.2. En esta sección no se detectó la presencia de mena amarilla, por lo que sólo se muestran los resultados del muestreo.

MUEST	SECC	ANCHO	Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe	VAL-MIN
11608	SECC-13-2	1.00	3.24	239	0.80	5.12	0.36	42.92	39.42
11609	SECC-13-2	1.00	3.30	217	1.51	6.58	0.34	40.28	43.04
<b>TOTAL</b>		<b>2.00</b>	<b>3.27</b>	<b>228</b>	<b>1.16</b>	<b>5.85</b>	<b>0.35</b>	<b>41.60</b>	<b>41.23</b>

MUEST	SECC	ANCHO	Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe	VAL-MIN
11610	SECC-13-2	1.00	0.89	47	0.12	0.7	0.34	47.49	8.70
11611	SECC-13-2	1.00	2.46	95	0.32	1.5	0.45	48.34	18.10
11612	SECC-13-2	1.00	2.28	100	0.23	1.28	0.41	45.53	17.15
11613	SECC-13-2	1.00	1.51	42	0.09	2.64	0.15	44.68	13.66
11614	SECC-13-2	1.00	2.08	67	0.07	1.36	0.28	44.49	13.76
<b>TOTAL</b>		<b>5.00</b>	<b>1.84</b>	<b>70</b>	<b>0.17</b>	<b>1.50</b>	<b>0.33</b>	<b>46.11</b>	<b>14.27</b>

MIN	90%	9.00	3.27	228	1.16	5.85	0.35	41.60	41.23
TEP	10%	1.00	1.84	70	0.17	1.50	0.33	46.11	14.27
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>	<b>10</b>	<b>3.13</b>	<b>212</b>	<b>1.06</b>	<b>5.41</b>	<b>0.35</b>	<b>42.05</b>	<b>38.53</b>

MIN	80%	8.00	3.27	228	1.16	5.85	0.35	41.60	41.23
TEP	20%	2.00	1.84	70	0.17	1.50	0.33	46.11	14.27
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>	<b>10</b>	<b>2.98</b>	<b>196</b>	<b>0.96</b>	<b>4.98</b>	<b>0.35</b>	<b>42.50</b>	<b>35.84</b>

MIN	70%	7.00	3.27	228	1.16	5.85	0.35	41.60	41.23
TEP	30%	3.00	1.84	70	0.17	1.50	0.33	46.11	14.27
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>	<b>10</b>	<b>2.84</b>	<b>181</b>	<b>0.86</b>	<b>4.54</b>	<b>0.34</b>	<b>42.95</b>	<b>33.14</b>

Tabla VI.1.3. Compositos de mineral, Mena amarilla y 3 compositos considerando distintas diluciones.



MUEST	SECC	ANCHO	Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe	VAL-MIN
11517	SECC 14	1.00	2.90	221	2.04	9.41	0.08	37.05	49.61
11518	SECC 14	1.00	2.62	217	1.61	9.88	0.10	36.71	49.31
11519	SECC 14	1.00	3.01	340	8.32	11.98	0.30	28.40	135.35
11520	SECC 14	1.00	5.45	571	3.09	7.75	0.52	37.05	78.47
<b>TOTAL</b>		<b>4.00</b>	<b>3.50</b>	<b>337</b>	<b>3.77</b>	<b>9.76</b>	<b>0.25</b>	<b>34.80</b>	<b>78.18</b>

MUEST	SECC	ANCHO	Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe	VAL-MIN
11521	SECC 14	1.00	2.53	111	0.12	0.82	0.48	43.40	17.34
11522	SECC 14	1.00	2.85	63	0.06	1.12	0.38	42.78	14.86
11523	SECC 14	1.00	2.32	69	0.06	0.91	0.36	43.25	12.89
11524	SECC 14	1.00	1.84	51	0.04	0.56	0.49	43.00	11.08
11525	SECC 14	1.00	2.12	73	0.06	0.57	0.54	42.93	13.45
11526	SECC 14	2.00	1.87	81	0.06	1.43	0.39	41.87	15.01
<b>TOTAL</b>		<b>7.00</b>	<b>2.20</b>	<b>74</b>	<b>0.07</b>	<b>0.98</b>	<b>0.43</b>	<b>42.73</b>	<b>14.23</b>

MIN	90%	9.00	3.50	337	3.77	9.76	0.25	34.80	<b>63.68</b>
TEP	10%	1.00	2.20	74	0.07	0.98	0.43	42.73	<b>14.23</b>
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>	<b>10</b>	<b>3.37</b>	<b>311</b>	<b>3.40</b>	<b>8.88</b>	<b>0.27</b>	<b>35.60</b>	<b>58.74</b>

MIN	80%	8.00	3.50	337	3.77	9.76	0.25	34.80	<b>63.68</b>
TEP	20%	2.00	2.20	74	0.07	0.98	0.43	42.73	<b>14.23</b>
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>	<b>10</b>	<b>3.24</b>	<b>285</b>	<b>3.03</b>	<b>8.00</b>	<b>0.29</b>	<b>36.39</b>	<b>53.79</b>

MIN	70%	7.00	3.50	337	3.77	9.76	0.25	34.80	<b>63.68</b>
TEP	30%	3.00	2.20	74	0.07	0.98	0.43	42.73	<b>14.23</b>
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>	<b>10</b>	<b>3.11</b>	<b>258</b>	<b>2.66</b>	<b>7.12</b>	<b>0.30</b>	<b>37.18</b>	<b>48.85</b>

Tabla Vi.1.4. Compositos de mineral, Mena amarilla y 3 compositos considerando distintas diluciones.

MUEST	SECC	ANCHO	Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe	VAL-MIN
11713	SECC 14-2	1.00	3.95	412	3.44	5.72	0.19	35.15	58.31
11714	SECC 14-2	1.10	1.57	75	0.07	4.76	0.16	36.86	21.58
<b>TOTAL</b>		<b>2.10</b>	<b>2.70</b>	<b>235</b>	<b>1.67</b>	<b>5.22</b>	<b>0.17</b>	<b>36.05</b>	<b>39.07</b>

MUEST	SECC	ANCHO	Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe	VAL-MIN
11707	SECC 14-2	2.80	1.88	67	0.24	0.59	0.36	39.38	12.07
11708	SECC 14-2	1.00	1.96	79	0.36	2.7	0.37	38.53	18.82
11709	SECC 14-2	1.00	1.61	67	0	0	0.27	11.64	9.11
11710	SECC 14-2	1.00	1.90	99	0.10	0.74	0.46	38.57	14.93
11711	SECC 14-2	1.00	2.98	71	0.28	0.74	0.26	39.45	14.49
11712	SECC 14-2	1.00	2.38	69	0.19	0.82	0.27	39.90	13.26
<b>TOTAL</b>		<b>7.80</b>	<b>2.06</b>	<b>73</b>	<b>0.21</b>	<b>0.85</b>	<b>0.34</b>	<b>35.69</b>	<b>13.38</b>

MIN	90%	9.00	2.70	235	1.67	5.22	0.17	36.05	39.07
TEP	10%	1.00	2.06	73	0.21	0.85	0.34	35.69	13.38
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>	<b>10</b>	<b>2.64</b>	<b>219</b>	<b>1.53</b>	<b>4.78</b>	<b>0.19</b>	<b>36.01</b>	<b>36.50</b>

MIN	80%	8.00	2.70	235	1.67	5.22	0.17	36.05	39.07
TEP	20%	2.00	2.06	73	0.21	0.85	0.34	35.69	13.38
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>	<b>10</b>	<b>2.58</b>	<b>203</b>	<b>1.38</b>	<b>4.34</b>	<b>0.21</b>	<b>35.97</b>	<b>33.93</b>

MIN	70%	7.00	2.70	235	1.67	5.22	0.17	36.05	39.07
TEP	30%	3.00	2.06	73	0.21	0.85	0.34	35.69	13.38
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>	<b>10</b>	<b>2.51</b>	<b>187</b>	<b>1.23</b>	<b>3.91</b>	<b>0.22</b>	<b>35.94</b>	<b>31.36</b>

Tabla VI.1.5. Compositos de mineral, Mena amarilla y 3 compositos considerando distintas diluciones.

MUEST	SECC	ANCHO	Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe	VAL-MIN
11718	SECC 15	1.00	2.02	120	0.58	4.55	0.38	38.57	27.03
11719	SECC 15	1.00	2.63	111	0.56	2.11	0.51	39.45	21.86
11720	SECC 15	1.00	1.74	192	0.43	2.96	0.30	37.90	26.61
11721	SECC 15	1.00	2.46	123	0.34	2.33	0.45	35.15	22.22
11722	SECC 15	1.00	2.49	129	0.24	2.11	0.35	36.86	21.45
11723	SECC 15	0.75	2.31	95	0.65	2.99	0.23	39.39	21.22
<b>TOTAL</b>		<b>5.75</b>	<b>2.27</b>	<b>130</b>	<b>0.46</b>	<b>2.84</b>	<b>0.38</b>	<b>37.82</b>	<b>23.49</b>

MUEST	SECC	ANCHO	Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Fe	VAL-MIN
11715	SECC 15	1.80	1.9	83	0.05	0.44	0.47	39.38	13.00
11716	SECC 15	1.00	3.1	92	0.06	0.45	0.51	38.53	16.24
11717	SECC 15	1.00	2.51	71	0.14	0.87	0.73	11.64	15.94
<b>TOTAL</b>		<b>3.80</b>	<b>2.38</b>	<b>82</b>	<b>0.08</b>	<b>0.56</b>	<b>0.55</b>	<b>31.86</b>	<b>14.63</b>

MIN	90%	9.00	2.27	130	0.46	2.84	0.38	37.82	23.49
TEP	10%	1.00	2.38	82	0.08	0.56	0.55	31.86	14.63
<b>TOTAL</b>		<b>10</b>	<b>2.28</b>	<b>125</b>	<b>0.42</b>	<b>2.61</b>	<b>0.39</b>	<b>37.22</b>	<b>22.61</b>

MIN	80%	8.00	2.27	130	0.46	2.84	0.38	37.82	23.49
TEP	20%	2.00	2.38	82	0.08	0.56	0.55	31.86	14.63
<b>TOTAL</b>		<b>10</b>	<b>2.29</b>	<b>120</b>	<b>0.38</b>	<b>2.38</b>	<b>0.41</b>	<b>36.63</b>	<b>21.72</b>

MIN	70%	7.00	2.27	130	0.46	2.84	0.38	37.82	23.49
TEP	30%	3.00	2.38	82	0.08	0.56	0.55	31.86	14.63
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>	<b>10</b>	<b>2.30</b>	<b>116</b>	<b>0.34</b>	<b>2.15</b>	<b>0.43</b>	<b>36.03</b>	<b>20.83</b>

Tabla VI.1.6. Compositos de mineral, Mena amarilla y 3 compositos considerando distintas diluciones.

Los resultados de la tabla VI.1.1, revelan la importancia de tener un mejor control en el trazado de la línea de división entre el mineral económico y la mena amarilla. Al tener localizadas las muestras en las secciones se facilita el trazado de dicha línea y se mejoran los siguientes factores:

- a) La ley del mineral que se extrae
- b) Se reduce al máximo de la dilución.
- c) Se evitan gastos innecesarios en el tumbado, extracción y tratamiento del mineral.

## **VI.2 CONSIDERACIONES PARA FILITA GRAFÍTICA.**

La presencia de filita grafitica en la mina ocasiona dos problemas importantes: inestabilidad y dilución. La inestabilidad frecuentemente está asociada a filita grafitica en el cielo de las obras y rebajes, lo que en muchas ocasiones se traduce en desprendimientos de roca, que pueden en algún momento golpear a una persona, al equipo y contaminar el mineral. Estos desprendimientos en muchas ocasiones se vuelven incontrolables, lo que genera que se pierda un área de producción de mineral u obras de servicio destinadas a dar acceso a dichas áreas (el metro de avance cuesta aproximadamente 294 U.S.D. sin considerar el uso de equipo para rezagado, anclaje, enmallado y concreto lanzado). Otra pérdida importante cuando no es posible reaccesar un área es en las reservas por mineral no recuperado.

Estos desprendimientos están en función del incremento del área expuesta, presencia de fallas y debilitamiento de la roca a consecuencia de las ondas de choque producto de las voladuras. También se debe considerar que las filitas grafiticas son rocas muy débiles y muy susceptibles a cambios ambientales (humedad relativa y temperatura), por lo que se debe cuidar el mantener bien ventilados los lugares en donde se encuentre esta roca para evitar su rápida alteración.

Los desprendimientos de filita grafitica al caer sobre mineral generan dilución y un costo adicional por tratamiento, ya que la filita llega a consumir hasta el 20% de reactivos necesarios para beneficiar una tonelada (Toshiaki Terao, comunicación personal).

A continuación se presenta un análisis de la velocidad de partícula y del factor de carga que de alguna forma intenta dar a conocer como esta afectando el uso actual del explosivo en la mina.

### VI.2.1. VELOCIDAD DE PARTÍCULA

Las ondas sísmicas tienen una velocidad de propagación, esta velocidad es mayor conforme la distancia al punto de donde se realiza la voladura tiende a cero y viceversa. La fórmula para calcular esta velocidad es la siguiente:

$$V = 160(R/W^{0.5})^{-1.6}$$

Donde:

**V**= Velocidad de partícula (pulg./seg).

**R**= Distancia (pies)

**W**= Peso de carga explosiva (lbs).  
(detonada por tiempo).

(Tomado del Manual para voladuras controladas y sus beneficios. Du pont, 1996)

El peso de la carga explosiva es la cantidad de explosivo que contienen los barrenos que son detonados al mismo momento. Para Tizapa se tienen los siguientes pesos de carga explosiva (en la tabla se considera el peso para un barreno):

#### PESO DE CARGA EXPLOSIVA POR BARRENO

<b>Máquina neumática</b>	
Alto explosivo	0.265 kg/bno.
Bajo explosivo	0.920 kg/bno.
<b>Total</b>	1.185 kg/bno.
	2.610 lb/bno.

<b>Jumbo</b>	
Alto explosivo	0.412 kg/bno.
Bajo explosivo	2.578 kg/bno.
<b>Total</b>	2.989 kg/bno.
	6.590 lb/bno.

Tabla VI.2.1.1 Peso de carga para un barreno con una máquina neumática y Jumbo. Minera Tizapa, Departamento de Ingeniería y Planeación, 1998.

**2 barrenos disparados**

a un mismo tiempo		
metros	pies	velocidad (pulg/seg)
1	3.28	188.14
2	6.56	62.06
3	9.84	32.44
4	13.12	20.47
5	16.40	14.33
6	19.68	10.70
7	22.97	8.36
8	26.25	6.75
9	29.53	5.59
10	32.81	4.73
15	49.21	2.47

**3 barrenos disparados**

a un mismo tiempo		
metros	pies	velocidad (pulg/seg)
1	3.28	260.23
2	6.56	85.84
3	9.84	44.87
4	13.12	28.32
5	16.40	19.82
6	19.68	14.80
7	22.97	11.57
8	26.25	9.34
9	29.53	7.74
10	32.81	6.54
15	49.21	3.42

**2 barrenos disparados**

a un mismo tiempo		
metros	pies	velocidad (pulg/seg)
1	3.28	89.68
2	6.56	29.58
3	9.84	15.46
4	13.12	9.76
5	16.40	6.83
6	19.68	5.10
7	22.97	3.99
8	26.25	3.22
9	29.53	2.67
10	32.81	2.25
15	49.21	1.18

**3 barrenos disparados**

a un mismo tiempo		
metros	pies	velocidad (pulg/seg)
1	3.28	124.04
2	6.56	40.92
3	9.84	21.39
4	13.12	13.50
5	16.40	9.45
6	19.68	7.06
7	22.97	5.51
8	26.25	4.45
9	29.53	3.69
10	32.81	3.12
15	49.21	1.63

**4 barrenos disparados**

a un mismo tiempo		
metros	pies	velocidad (pulg/seg)
1	3.28	327.57
2	6.56	108.06
3	9.84	56.48
4	13.12	35.65
5	16.40	24.94
6	19.68	18.63
7	22.97	14.56
8	26.25	11.76
9	29.53	9.74
10	32.81	8.23
15	49.21	4.30

**5 barrenos disparados**

a un mismo tiempo		
metros	pies	velocidad (pulg/seg)
1	3.28	391.59
2	6.56	129.18
3	9.84	67.52
4	13.12	42.61
5	16.40	29.82
6	19.68	22.27
7	22.97	17.41
8	26.25	14.06
9	29.53	11.64
10	32.81	9.84
15	49.21	5.14

**4 barrenos disparados**

a un mismo tiempo		
metros	pies	velocidad (pulg/seg)
1	3.28	156.14
2	6.56	51.51
3	9.84	26.92
4	13.12	16.99
5	16.40	11.89
6	19.68	8.88
7	22.97	6.94
8	26.25	5.60
9	29.53	4.64
10	32.81	3.92
15	49.21	2.05

**5 barrenos disparados**

a un mismo tiempo		
metros	pies	velocidad (pulg/seg)
1	3.28	186.66
2	6.56	61.57
3	9.84	32.18
4	13.12	20.31
5	16.40	14.21
6	19.68	10.62
7	22.97	8.30
8	26.25	6.70
9	29.53	5.55
10	32.81	4.69
15	49.21	2.45

Tabla VI.2.1.3 Velocidad de partícula utilizando Jumbo.

Tabla VI.2.1.2 Velocidad de partícula utilizando máquina neumática.

El término de alto y bajo explosivo está dado en función de que el primero posee una mayor densidad que el segundo. Estas densidades son de 1.15 y 0.8 gr/cm<sup>3</sup> respectivamente.

Si se utiliza por ejemplo, máquina neumática y se quiere detonar 3 barrenos al mismo tiempo, basta multiplicar 2.610 lb. (que es el peso de explosivo de un barreno) por el número de barrenos (que en este es de 3); el resultado será de 7.83 lb. Este valor se sustituye junto con la distancia considerada medida en pies, en la fórmula para calcular la velocidad de partícula.

En las tablas VI.2.1.2 y VI.2.1.3, se dan distintas velocidades de partícula calculadas para máquina neumática y Jumbo cuando se detonan 2,3,4 y 5 barrenos a un mismo tiempo.

En 1978, Bauer y Calder, definieron lo que llamaron "Criterios de daño para la roca", en donde se observa que para determinadas velocidades de partícula se tienen distintos efectos:

### **CRITERIOS DE DAÑO PARA LA ROCA\* BAUER Y CALDER, 1978**

<b>Velocidad de la partícula (pulg./seg.)</b>	<b>Efectos sobre la roca.</b>
Menos de 10	No genera fracturas en roca intacta
Entre 10 y 25	Desprendimiento menor por tensión
De 25 a 100	Fuerte Tensión y algunos desprendimientos
Mayor de 100	Completa fragmentación de la roca.

\*Tomado del Manual para voladuras controladas y sus beneficios. Du pont, 1996

De las tablas VI.2.1.2 y VI.2.1.3 y considerando los criterios de daño para la roca de Bauer y Calder, se observa que los mayores daños se generan cuando se utiliza el Jumbo, por lo que es importante evaluar la conveniencia de su utilización en lugares con presencia de filita graffítica en el cielo. También debe considerarse que si en niveles

inferiores y/o superiores muy cercanos al lugar donde se realizará la voladura se tiene filita graffítica, se corre el riesgo de producir graves daños a la roca (considerando que se tienen también fallas y fracturas) y por consecuencia a las obras de la mina.

Es verdad que la productividad de un Jumbo es muy superior a la de una máquina neumática, por lo que antes de tomar la decisión de utilizar Jumbo en zonas críticas, se debe realizar un análisis geológico detallado y adecuar el uso del explosivo.

### **VI.2.2. FACTOR DE CARGA.**

El factor de carga es el valor que se obtiene de dividir la cantidad de Peso de Carga Explosiva (P.C.E.) entre los metros cúbicos tumbados con ese mismo explosivo.

$$F_c = P.C.E. (Kg)/Volumen (m^3)$$

La cantidad de explosivo para un barreno de máquina neumática y uno de Jumbo se tiene en la tabla VI.2.1.1. Para obtener los metros cúbicos se multiplica la distancia medida horizontalmente a otro barreno por la distancia medida verticalmente a otro barreno por la longitud total del barreno. Estas distancias están en función de la plantilla de barrenación que se tenga considerada.

En la tabla VI.2.2.1 se presentan algunos datos utilizados para las voladuras de las filitas graffíticas cuando se utiliza máquina neumática y Jumbo. Los metros cúbicos que se presentan para ambas máquinas, es el promedio que se genera en la mina con la cantidad de explosivo que se muestran en la tabla VI.2.1.1.

Aplicando la fórmula tenemos lo siguiente:

#### **a) Para máquina neumática:**

$$P.C.E. = 1.185 \text{ kg}$$

$$Volumen = 0.960 \text{ m}^3$$



**PLANTILLAS PARA BANCOS  
TANTO HORIZONTALES COMO VERTICALES**

**MAQUINA NEUMÁTICA**

DIST. VERTICAL A OTRO BARRENO	1.00	m
DIST. HORIZONTAL A OTRO BARRENO	0.60	m
LONG. EFECTIVA	1.60	m
M <sup>3</sup> TUMBADOS	0.96	m <sup>3</sup>
DENSIDAD FILITA	2.66	ton/m <sup>3</sup>
TON / BARRENO	2.55	ton.
LONGITUD TOTAL	1.80	m
TACO	0.80	m
LONG. RELLENA CON EXPLOS. BAJA DENSIDAD	1.00	m

**JUMBO**

DIST. VERTICAL A OTRO BARRENO	1.00	m
DIST. HORIZONTAL A OTRO BARRENO	0.60	m
LONG. EFECTIVA	2.50	m
M <sup>3</sup> TUMBADOS	1.50	m <sup>3</sup>
DENSIDAD FILITA	2.66	ton/m <sup>3</sup>
TON / BARRENO	3.99	ton.
LONGITUD TOTAL	2.80	m
TACO	1.00	m
LONG. RELLENA CON EXPLOS. BAJA DENSIDAD	1.80	m

Tabla VI.2.2.1 Características para voladuras realizadas en Tizapa.

Departamento de Ingeniería y Planeación

Sustituyendo los datos tenemos:

$$\begin{aligned} F_c &= \text{P.C.E./ Volumen} \\ F_c &= 1.185 \text{ kg}/0.960 \text{ m}^3 \\ F_c &= 1.234 \text{ kg/ m}^3 \end{aligned}$$

**b) Para Jumbo:**

$$\begin{aligned} \text{P.C.E.} &= 2.989 \text{ kg} \\ \text{Volumen} &= 1.50 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Sustituyendo los datos tenemos:

$$\begin{aligned} F_c &= \text{P.C.E./ Volumen} \\ F_c &= 2.989 \text{ kg}/1.500 \text{ m}^3 \\ F_c &= 1.993 \text{ kg/ m}^3 \end{aligned}$$

Si se analizan las recomendaciones para el factor de carga que se presentan en la tabla VI.2.2.2, se puede constatar que actualmente se está utilizando una cantidad innecesaria de explosivo en las voladuras de Tizapa, lo que acarrea las siguientes consecuencias:

- 1) La velocidad de partícula es mayor en cuanto aumenta el P.C.E., lo que genera un mayor daño en la roca según los criterios de Bauer y Calder.
- 2) Se crea una condición insegura para el personal, el equipo y las instalaciones al provocar mayores daños en la roca por el uso excesivo de explosivo.
- 3) Aumentan los costos de la empresa por el consumo innecesario e indebido de explosivo.

**FACTOR DE CARGA**  
**RECOMENDACIONES PARA VARIOS TIPOS DE ROCAS**

ROCA	Kgs/m <sup>3</sup>
RIOLITA	0.530 - 0.715
GRANODIORITA	0.590 - 0.800
ANDESITA	0.530 - 0.715
DIORITA	0.530 - 0.770
BASALTO	0.590 - 0.770
DIABASA	0.530 - 0.715
MARMOL	0.475 - 0.770
GNEISS	0.475 - 0.715
PIZARRA	0.290 - 0.475
ESQUISTO DE CLORITA	0.350 - 0.600
MICAESQUISTO	0.350 - 0.600
CONGLOMERADO	0.350 - 0.660
ARENISCA	0.475 - 0.770
CALIZA	0.230 - 0.475
DOLOMITA	0.290 - 0.475

Tabla VI.2.2.2 Factores de Carga recomendados para varios tipos de rocas (ICI Explosivos, 1995)

4) Se generan pérdidas económicas fuertes a la empresa al perder mineral que no se puede recuperar en zonas donde se tienen fuertes desprendimientos de roca.

5) Gastos económicos no considerados en obras de nuevo acceso a lugares que se volvieron inaccesibles a consecuencia de grandes desprendimientos de roca.

## VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con base en los datos que se discuten a continuación, se propone que los mantos de sulfuros masivos de Tizapa tuvieron distintas fuentes alimentadoras, que se depositaron sobre el mismo nivel estratigráfico (inmediato a las rocas volcánicas de composición riolítica o esquistos de sericita) y cubiertos por los sedimentos que constituyen actualmente a las filitas gráficas. Finalmente, fueron plegados, deformados y metamorfizados.

1) Los esquistos presentan evidencias de haberse depositado antes que el sulfuro masivo (diseminación de pirita y pequeños lentes de sulfuro masivo emplazados de manera concordante a la foliación de los esquistos), mientras que en la filita gráfica prácticamente nunca se observan.

2) En el interior de mina se reconocen 3 tipos de alteración en los esquistos: **a) Esquistos de sericita:** se encuentran generalmente en contacto con el sulfuro masivo y su espesor varía de 3 a 15 m de ancho. **b) Esquistos de sericita+clorita:** se encuentran en contacto transicional con los esquistos de sericita y su espesor no está bien definido, aunque en algunos lugares puede llegar a tener hasta 10 metros. **c) Esquistos de clorita:** se encuentran en contacto transicional con los esquistos de sericita+clorita, siendo indeterminado su espesor. Los esquistos de clorita presentan diseminación de pirita (al igual que los esquistos de sericita y sericita+clorita) sin embargo, prácticamente nunca se les ve cerca del sulfuro masivo.

3) Las rocas del área de Tizapa han sufrido metamorfismo de bajo grado en facies de esquistos verdes. El protolito original de los esquistos de clorita puede corresponder con una roca volcánica de composición andesítica (Anexo 1, fotografía 3). Para los esquistos de sericita, el protolito pudo haber sido una roca volcánica de composición riolítica, (Anexo 1, fotografía 5). En el caso de las filitas gráficas, el protolito pudieron haber sido sedimentos pelíticos.

4) El espesor promedio del manto L1 es de 7.00 m, del M0 es de 3.50 m, del M1 de 1.50 m, del M1.5 de 0.30 m y del M2 de 7.00 m. Estos espesores en raras ocasiones varían, por lo que se puede considerar que son muy homogéneos.

5) La ley de cada uno de los mantos tiene características propias: los mayores valores de Cu se observan en el manto M0, sin embargo este manto también presenta los menores valores de Zn. Por el contrario, El manto M1.5 presenta muy buenos valores de Zn, pero su espesor es el menor de todos (tabla VI.3.1).

7) La distribución de elementos de Au, Ag, Pb, Zn y Cu, que se presenta en las gráficas del Anexo 2, muestran que el comportamiento de los elementos en cada uno de los mantos tiene una distribución característica. Por ejemplo el Cu en el manto M0 se presenta en una franja de orientación NW-SE, mientras que en el manto M2 los valores de Cu se van incrementando hacia el W de una manera muy regular.

8) Es probable que las zonas con altos valores de Cu estén asociadas a las fuentes alimentadoras, por lo que es conveniente estudiar con mayor detalle dichas zonas con el objetivo de buscar evidencias que soporten más esta idea.

9) Los valores que se observan en las matrices de correlación del Capítulo IV, muestran de manera estadística que existe una buena relación de los elementos Au, Ag, Pb y Zn, pero que la relación de estos últimos con respecto al Cu es variable.

11) El manto M2 presenta un lente de mena amarilla, el cual debe ser controlado por medio de muestreo de secciones que permitan identificar su límite con precisión para evitar diluir y tumbar mineral no costable que genera un costo adicional por tratamiento cuando se alimenta a la Planta de Beneficio.

12) El sistema de minado en Tizapa se vuelve difícil debido al manejo de las rocas presentes en el yacimiento, ya que éstas presentan serios problemas de estabilidad.

13) En este trabajo se demuestra que las cantidades de explosivo que se utilizan en la mina son excesivas, por lo que las medidas que se sugieren para evitar daños graves a la roca son las siguientes: a) Reducir la cantidad de explosivo por lo menos un 25%.

b) Reducir el uso de explosivo de alta densidad y aumentar las cantidades de explosivo de baja densidad. c) Es conveniente contar con una persona encargada exclusivamente de controlar las voladuras mediante el uso adecuado de explosivos. d) También es importante que la gente encargada de la operación en la mina (Jefes, Supervisión y Operarios) adquieran la capacitación adecuada en cuanto al manejo de esta roca para evitar daños al personal, al equipo y a las obras mineras.

## BIBLIOGRAFÍA

Barboza Gudino J.R., Álvarez Maya V.M., Labarthe Hernández G., 1998, Estudio Geológico Estratigráfico del Area de la Mina Tizapa, Edo. de México y Cartografía 1:10,000 del Lote Zacazonapan, Informe interno de compañía no publicado, 53 p.

Campa Uranga, M.F., Campos M., Flores R., Oviedo R., 1974, La secuencia mesozoica volcánico-sedimentaria metamorfizada de Ixtapan de la Sal, México-Teloloapan, Guerrero., Bol. Soc. Geol. Mex., Vol. 35, pp. 7-28.

Campa Uranga, M.F., Oviedo, A., Tardy, M., 1976, La cabalgadura laramídica del dominio sedimentario (Arco Alisitos-Teloloapan) sobre el Miogeosinclinal Mexicano en los límites de los Estados de Guerrero y México, Acapulco Gro., Congreso Latinoamericano de Geología, 3, Resúmenes, pp. 23.

Campa Uranga, M.F., Flores, R., Guerrero, P., 1977, La evolución tectónica y la mineralización en la región de Valle de Bravo, México, e Iguala, Guerrero, AIMMGM, Mem. Téc. XII, pp. 143-169.

Campa Uranga M.F., 1978, La evolución tectónica de Tierra Caliente, Bol. Soc. Geol. Mex., vol. 39 no. 2, pp. 52-64

Campa Uranga, M.F., Ramírez, J., Flores, R., Coney, P., 1980, Conjuntos estratotectónicos del occidente de Guerrero y oriente de Michoacán. Resúmenes de la V Conv. Geol. Nal., México, D.F., pp. 106-107.

Campa Uranga, M.F., Coney, P.J., 1983, Tectonostratigraphic Terranes and Mineral resource distribution in Mexico. Canadian Journal of Earth . Sciences, v. 20, pp. 1040-1045

Castro Izquierdo, Angel, 1994, Conceptos Básicos de Geoestadística, Subdirección de Ingeniería y Proyectos, Sistemas Técnicos Peñoles, 83 p.



Centeno García, Elena; Ruiz, Joaquín; Coney, P.J.; Ortega-Gutiérrez, Fernando, 1993, Guerrero Terrane of Mexico; its role in the Southern Cordillera from new geochemical data, *Geology*, v. 21, p.419-422.

De Cserna Z., Armstrong, R.L., Yáñez-García, C. y Soloría, J., 1978, Rocas metavolcánicas de la región de Petatlán, Edo. de Guerrero, *Revista, Inst. de Geol., Univ. Nal. Autón. De Méx.*, vol. 2, núm. 1.

De Cserna Z., Ortega Gutiérrez F., Palacios Nieto M., 1980, reconocimiento geológico de la parte central de la cuenca del alto Río Balsas, Estados de Guerrero y Puebla, *Sociedad Geológica Mexicana, Libro Guía de la excursión geológica a la parte central de la cuenca del alto Río Balsas, Estados de Guerrero y Puebla*, pp. 1-33.

Díaz García V., 1980, Las rocas metamórficas de la región de Zacualpan, Edo. de México, U.N.A.M., *Inst. de Geol. Revista*, Vol. 4, núm. 1, pp. 1-12.

Du Pont, 1996, Voladuras controladas y sus beneficios, Grupo Técnico de Optimización de Voladuras, México, D.F., 124 p.

Elías Herrera, M. y Sánchez Zavala, J.L., 1990 (1992), Tectonic implications of a mylonitic granite in the lower structural levels of the Tierra Caliente Complex (Guerrero Terrane), Southern Mexico, *Revista, Instituto de Geología, U.N.A.M.*, vol. 9, núm 2, p. 113-125.

Fries C. Jr, 1960, Geología del estado de Morelos y partes adyacentes de México y Guerrero, región central meridional de México, U.N.A.M., *Inst. de Geol., Bol.* 60, p 236.

ICI, 1995, Manual técnico para voladuras, ICI Explosivos, México, D.F., 35 p.

Japan International Agency & Metal Mining Agency of Japan, 1988, Informe de la exploración cooperativa de mineral en la región de Arcelia Estados Unidos Mexicanos (Fase I), Informe interno de compañía no publicado, 334 p.

Lapierre, H., Tardy, M., Coulon, C., Ortiz, H.E., Bourdier, J.L., Martínez, R.J., Freydier, C., 1992, Caracterización, génesis y evolución geodinámica del terreno de Guerrero (México occidental), *Canadian Journal Earth Science*, v. 29, pp. 2478-2489.

Lewis-Peter and Rhys David, 1997, Structural geology and Stratigraphic Setting of the Tizapa Mine and Region, Mexico State, México, Informe interno de compañía no publicado, 115 p.

Lugo – Hubp J.I., 1990, El relieve de la República Mexicana, *Rev. Inst. de Geol., U.N.A.M.*, Vol. 9, Núm. 1, pp. 82-111.

MMAJ, 1991, región de Tejupilco, Estados Unidos de México. Estudio conjetural de exploraciones geoquímicas, sección de cooperación técnica, Departamento de Actividades Exteriores, Organización Minera metálica del Japón, Información no publicada, 92 p.

Miranda Gasca M.A., 1995, The Volcanogenic Massive Sulfide and sedimentary Exhalative Deposits of the Guerrero Terrane, Mexico. Ph. D. Dissertation, University of Arizona, 224 p.

Monroy Fernández, M.G., Aragon Piña, A., 1994, estudio de caracterización del estado mineralógico del oro en colas de flotación del mineral piritoso de Tizapa, Edo. de Méx., Universidad Autónoma de San Luis Potosí - Servicios Industriales Peñoles, S.A. de C.V., Informe interno de compañía no publicado, 33 p.

Moran Zenteno D., 1984, Geología de la República Mexicana, I.N.E.G.I. – Fac. de Ing. de la U.N.A.M., 88 p.

Ontiveros T.G., 1973, Estudio estratigráfico de la porción noroccidental de la Cuenca Guerrero-Morelos., *Bol. Asoc. Mex. Geólogos Petroleros*. V. 25, pp. 189-234.

Ortega Gutiérrez F., 1981, Metamorphic belts of southern Mexico and their tectonic significance. *Inst. de geol., U.N.A.M., Geof. Int.*, Vol. 20-3., pp. 177-202.

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

Pantoja Alor, J., 1959, Estudio geológico de reconocimiento en la región de Huetamo, Edo. de Michoacán, Bol. No. 50, C.R.N.N.R.

Pantoja Alor, J., 1983, Geocronometría del magnetismo Cretácico Terciario de la Sierra Madre del Sur, Bol. Soc. Geol. Méx., Tomo XLIV, Núm. 1, p. 1-20.

Parga Pérez, J.J., 1981, Geología del área de Tizapa, Mpio. De Zacazonapan, México, Tesis de Maestría no publicada, Fac. de Ciencias, U.N.A.M., 135 p.

Parga Pérez, J.J., Rodríguez S., 1983, Geología de los sulfuros masivos polimetálicos de Ag, Pb, Zn, Cd y Au de Tizapa, Zacazonapan, Edo. de Méx., XV Conv. Nal., AIMMGM, Guadalajara, Jal., Memoria, pp. 349-372.

Ramírez Espinosa, J., Campa Uranga, M.F., Talavera Mendoza, O., Guerrero Suastegui, M., 1991, Caracterización de los arcos insulares de la Sierra Madre del Sur y sus implicaciones tectónicas. Convención sobre la evolución geológica de México, Primer Congreso mexicano de Mineralogía, Pachuca, Hgo., Memoria, pp. 163-166.

Sánchez Zavala, J.L., 1993, Secuencia volcanosedimentaria Jurásico Superior-Cretácico; Arcelia-Otzoloapan, Edo. de México, petrografía, geoquímica, metamorfismo e interpretación tectónica. Tesis. U.N.A.M.

Sedlock, R.L., Ortega Gutiérrez F., Speed R.C., 1993, Tectonostratigraphic Terranes and Tectonic Evolution of Mexico, Special paper 2787, The Geological Society of America, 153 p.

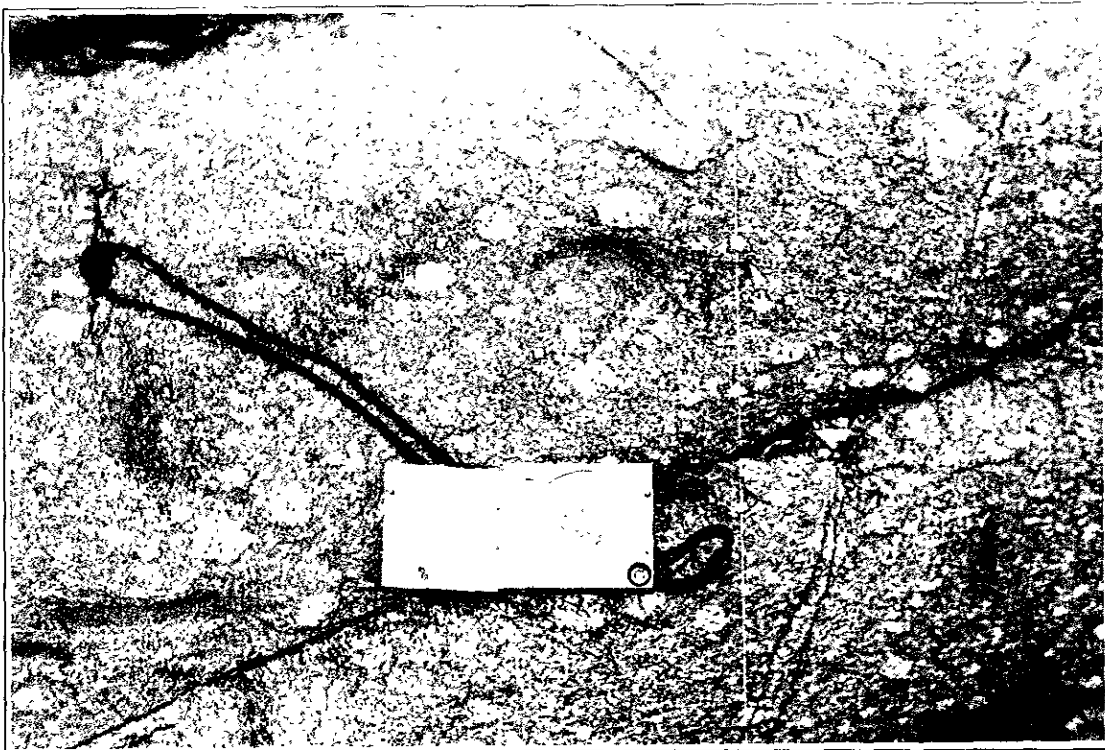
Talavera Mendoza, O., Ramírez Espinoza, J., Guerrero Suastegui, M., 1993, Geochemical evolution of the Guerrero Terrane - Example of a late Mesozoic multi arc system, Primera Conferencia circum Pacífico y Circum Atlántico, U.N.A.M., Editado por Instituto de Geología, Ortega Gutierrez, F., et al., 5 – 22 de Noviembre de 1993.

Vidal Serratos, R., 1982, Relaciones tectonoestratigráficas de los terrenos de arco insular de Zihuatanejo y de la ofiolita de Papanoa, Sierra Madre del Sur, México, VI Conv. Geol. Nal., Resúmenes.

**ANEXO 1 FOTOGRAFICO**



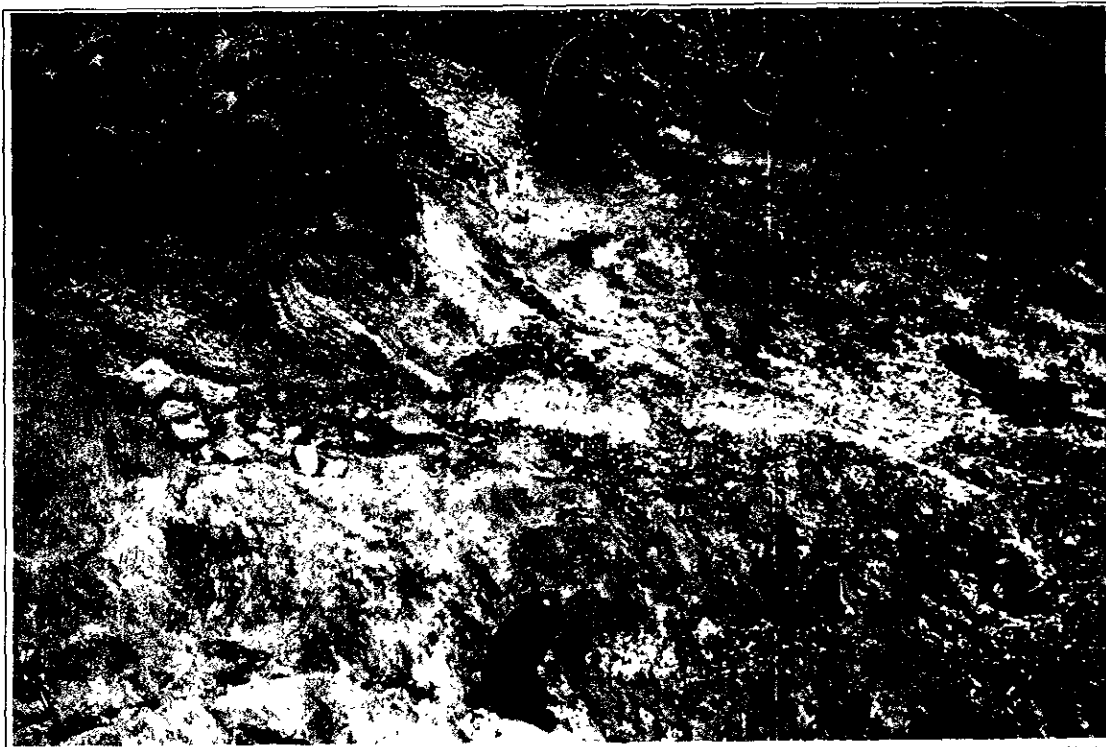
Fotografía 1. Falla Salas con filita de la secuencia inferior al bajo y dique de riolita al alto, sobre camino de acceso a la mina, junto al bordo de la presa de jales.



Fotografía 2. Augengneis cuarzo feldespático sobre el arroyo del Ahogado. Se observa una fractura de orientación NW-SE.



Fotografía 3. Meta-andesitas sobre el camino de acceso a la mina, muy cerca de la Planta de beneficio. La roca presenta feldespatos y clorita, además de que se observa cierta esquistosidad.



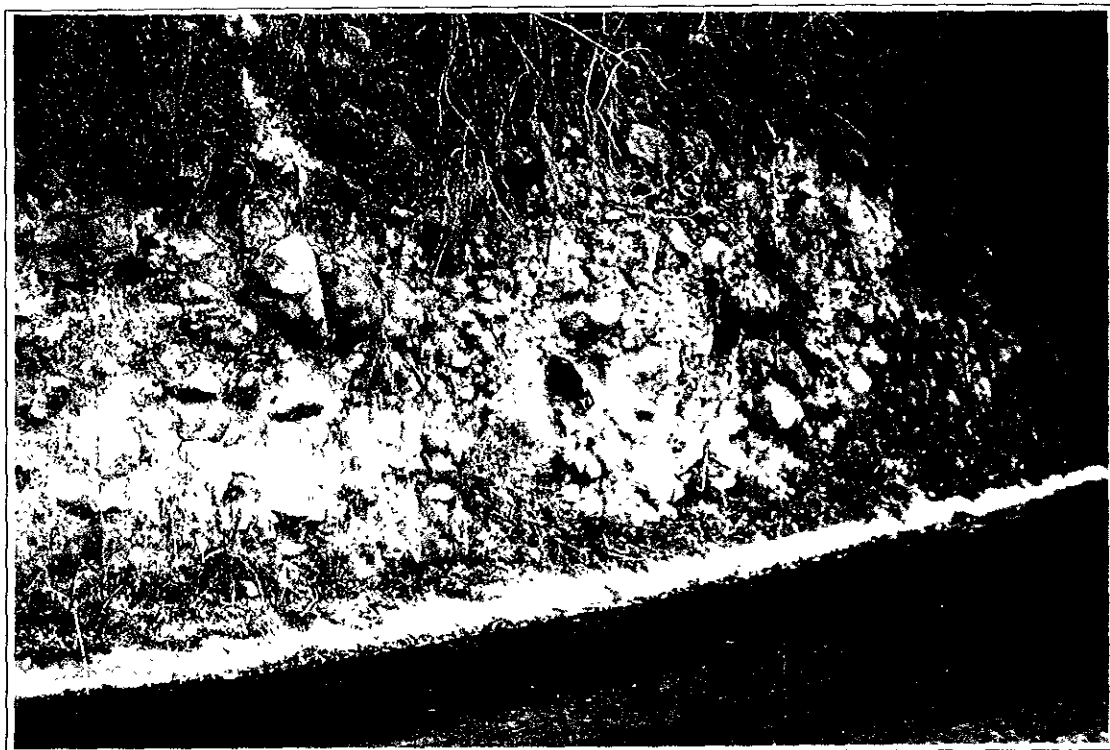
Fotografía 4. Presencia de azufre producto de la descomposición de piritas en esquistos de sericita. Fotografía tomada en el camino de acceso a la mina.



Fotografía 5. Afloramiento de meta riolita en el cerro de La Pila, al SW de la mina Tizapa.

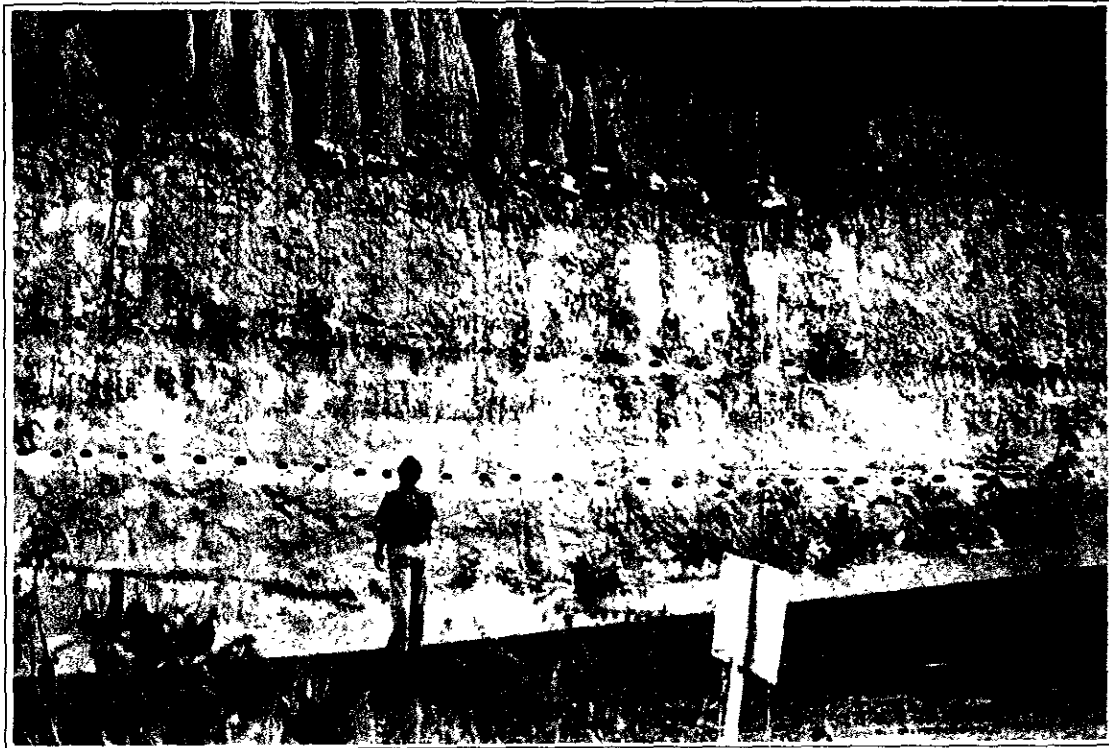


Fotografía 6. Afloramiento de calizas muy plegadas en estratos muy delgados, sobre el camino de acceso a la mina, cerca del banco de préstamo que esta adelante del poblado de Arrastradero.



Fotografía 7. Afloramiento de conglomerado pre cuaternario sobre el camino de acceso a la mina, muy cerca de la Planta de beneficio. Este conglomerado se encuentra cubierto por los derrames basálticos de la Mesa de Tizapa.





Fotografía 8. Afloramiento de sedimentos lacustres que presenta un horizonte conglomerático muy delgado y otro que parece ser una toba ácida arcillosa con más de un metro de espesor (línea punteada). Fotografía tomada sobre el camino de acceso, cerca del bordo de la presa de jales.



Fotografía 9. Esquistos de sericita con pequeños horizontes de pirita, plegados y con presencia clara de  $S_0$  y  $S_1$ , mientras que  $S_2$  es difícil de reconocer y sólo se infiere en este caso. Fotografía tomada en la Rampa 10030 SW, acceso al Rebaje M2-1238.

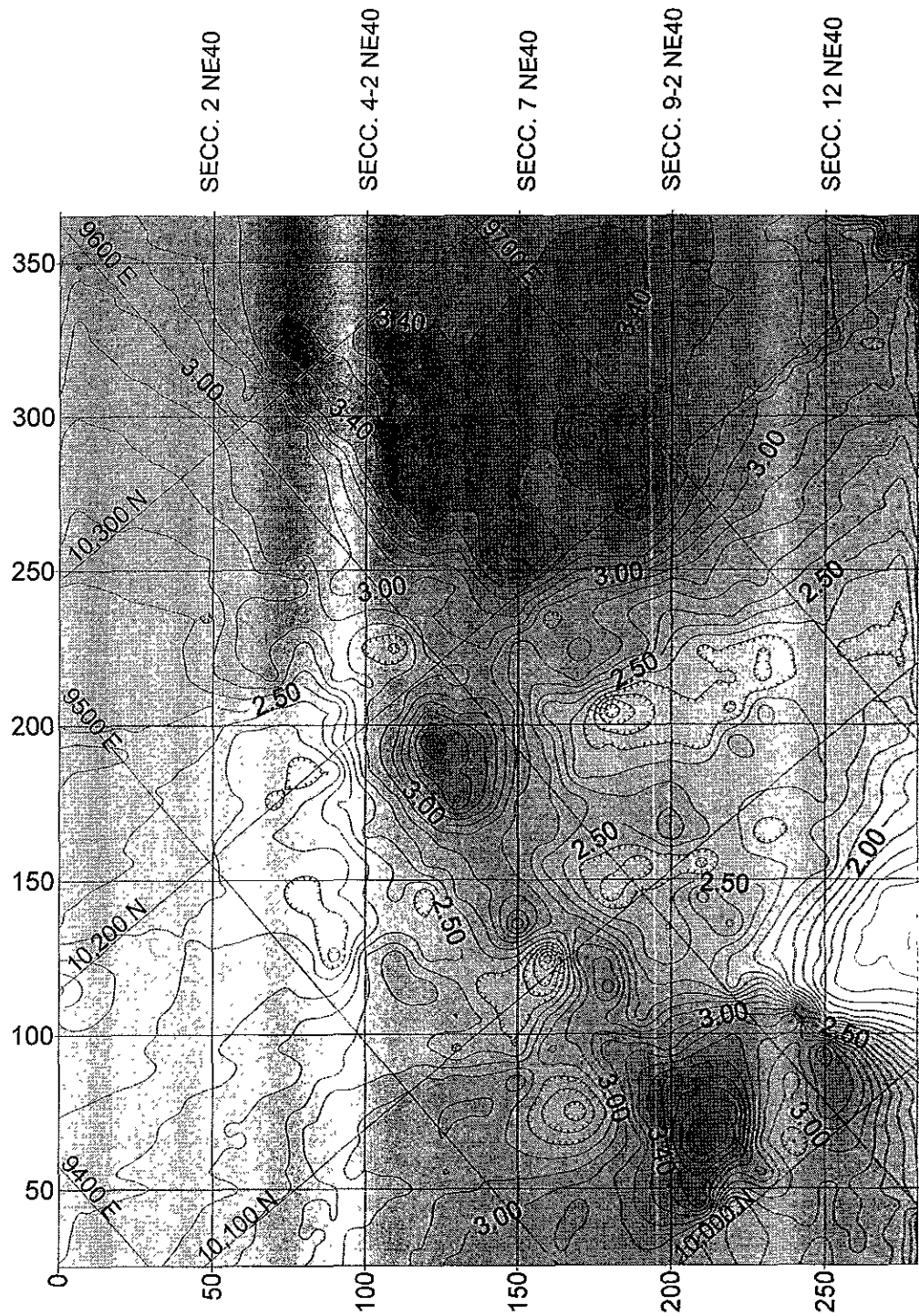


Fotografía 10. Detalle de esquistos de sericita con bandas delgadas de pirita. Nuevamente se observa la presencia de  $S_0$  y  $S_1$ , mientras que  $S_2$  se infiere ya que resulta difícil de apreciar. Fotografía tomada sobre la Rampa 10030 SW, acceso al Rebaje M2-1238.



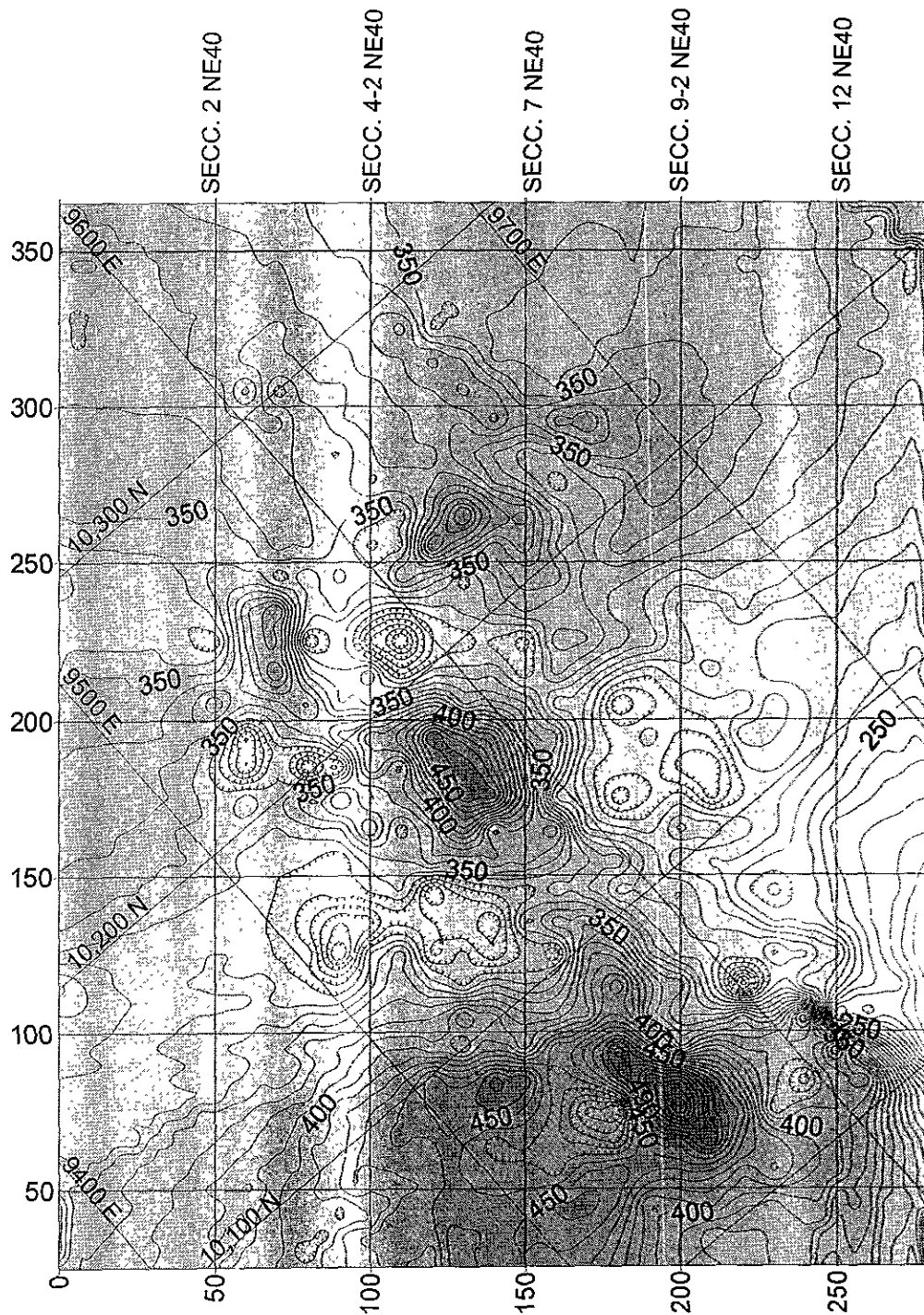
Fotografía 11. Sulfuros masivos del Manto M0 con esquistos de sericita al bajo. El manto en este lugar tiene un espesor promedio de 3.5 m. Fotografía tomada en la Fle. 10050 SE del Rebaje M0-1200.

## **ANEXO 2 GRÁFICAS DE DISTRIBUCIÓN DE ELEMENTOS**



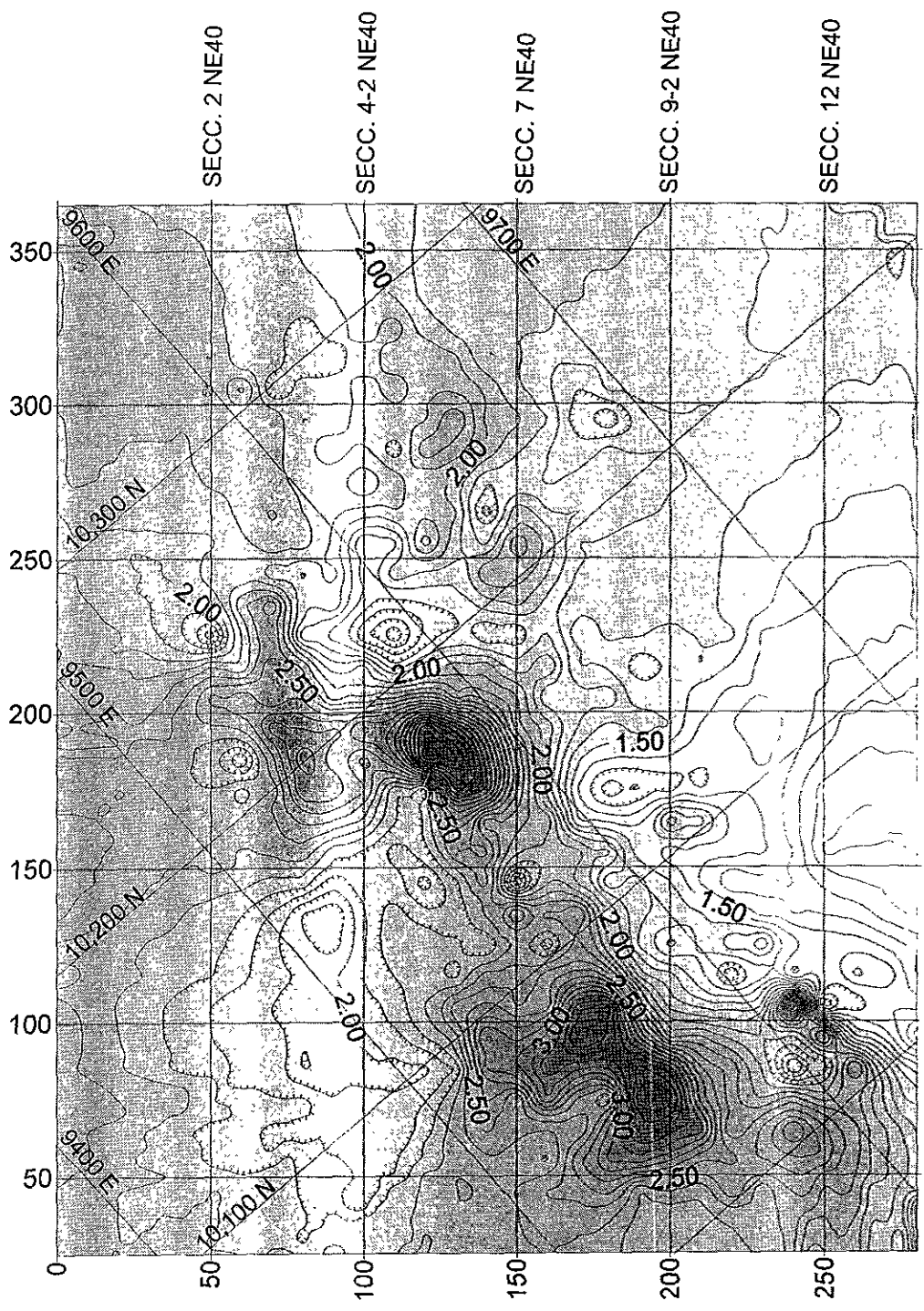
Valores en gr./ton

**Anexo 2. Gráfica 1:  
Distribución de Au.  
MANTO L1**



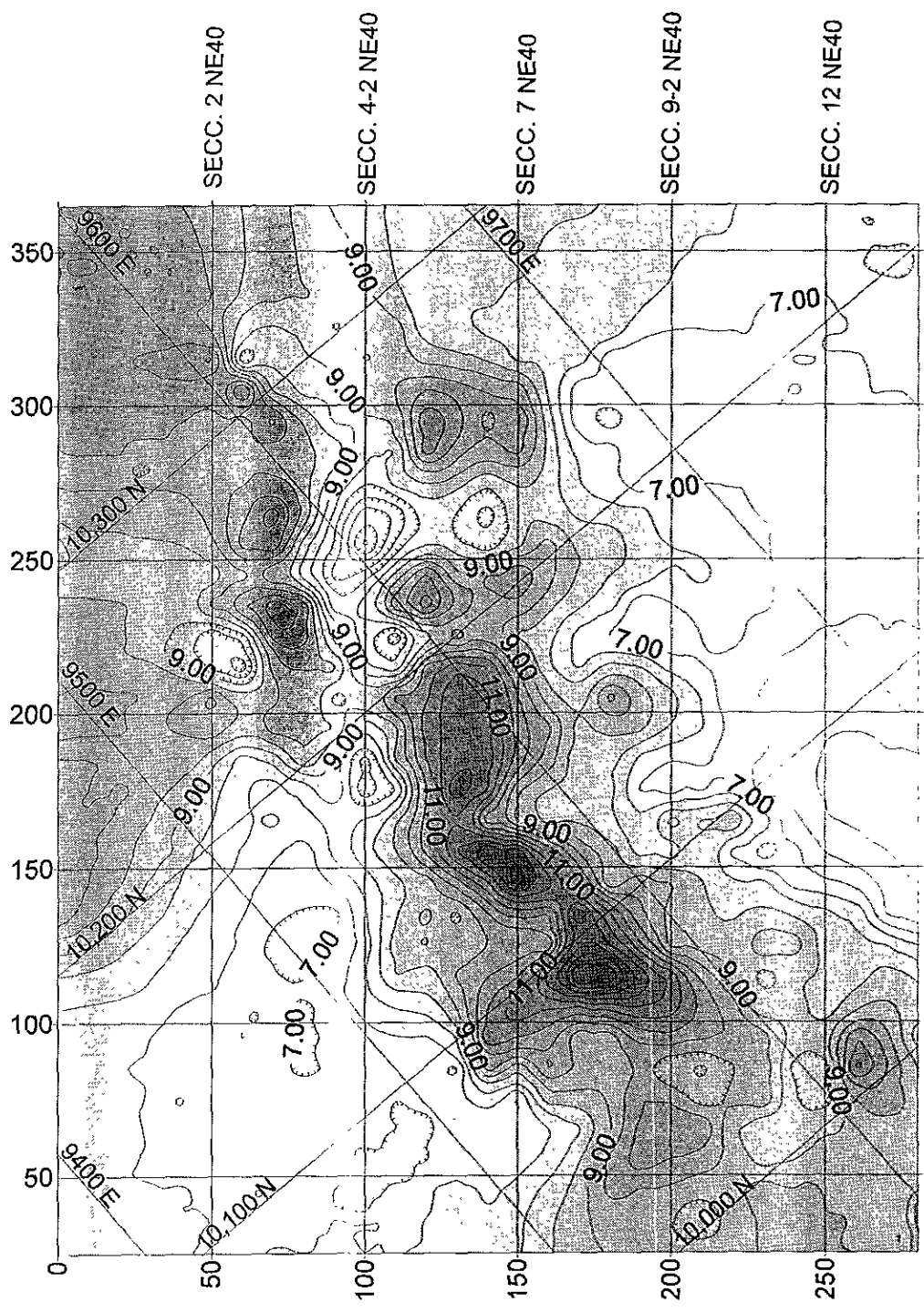
Valores en gr./ton

**Anexo 2. Gráfica 2**  
**Distribución de Ag**  
**MANTO L1**



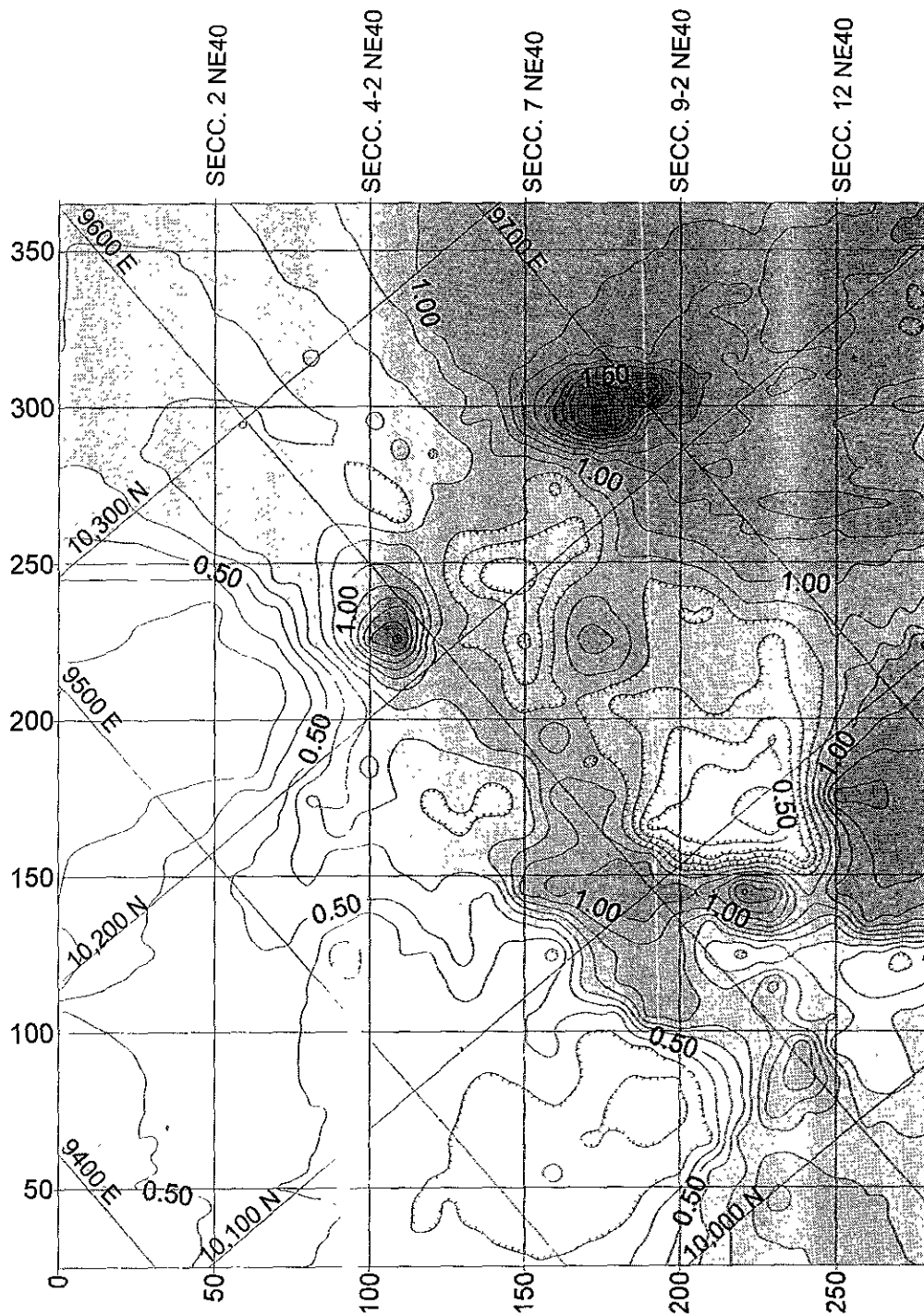
Valores en %

**Anexo 2. Gráfica 3**  
**Distribución de Pb**  
**MANTO L1**



Valores en %

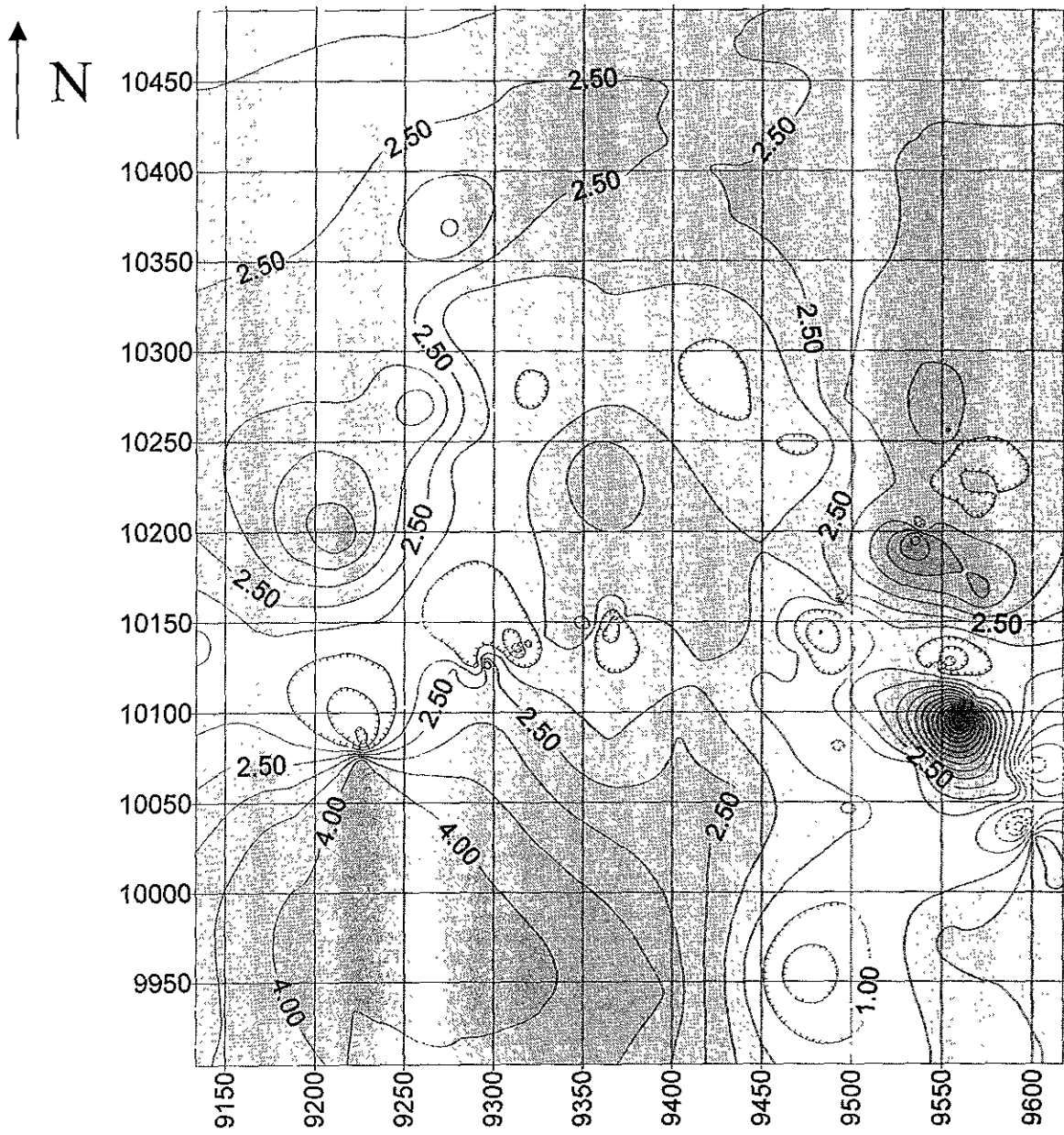
**Anexo 2. Gráfica 4.  
Distribución de Zn.  
MANTO L1**



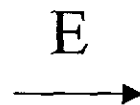
Valores en %

**Anexo 2. Gráfica 5  
Distribución de Cu  
MANTO L1**

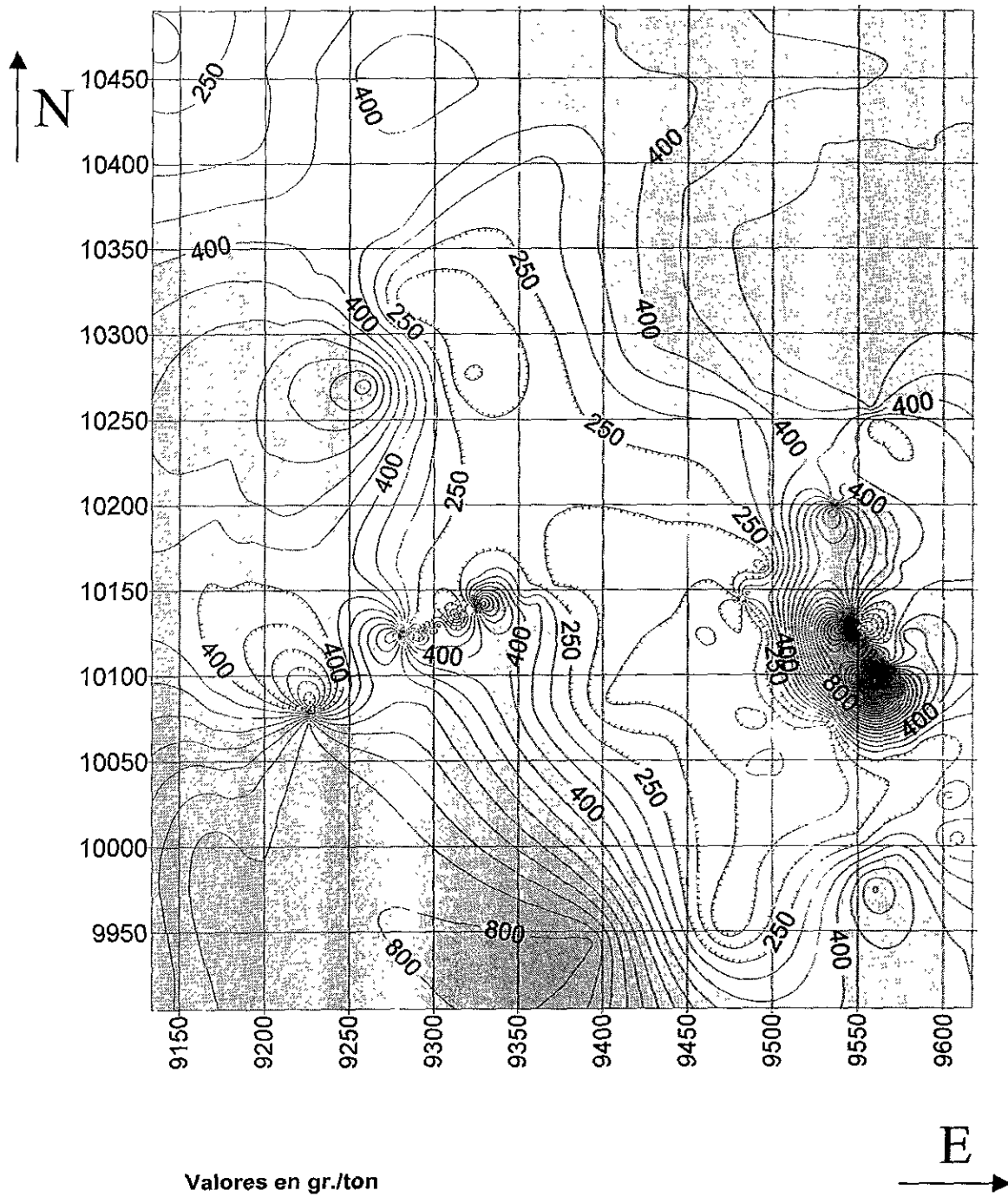




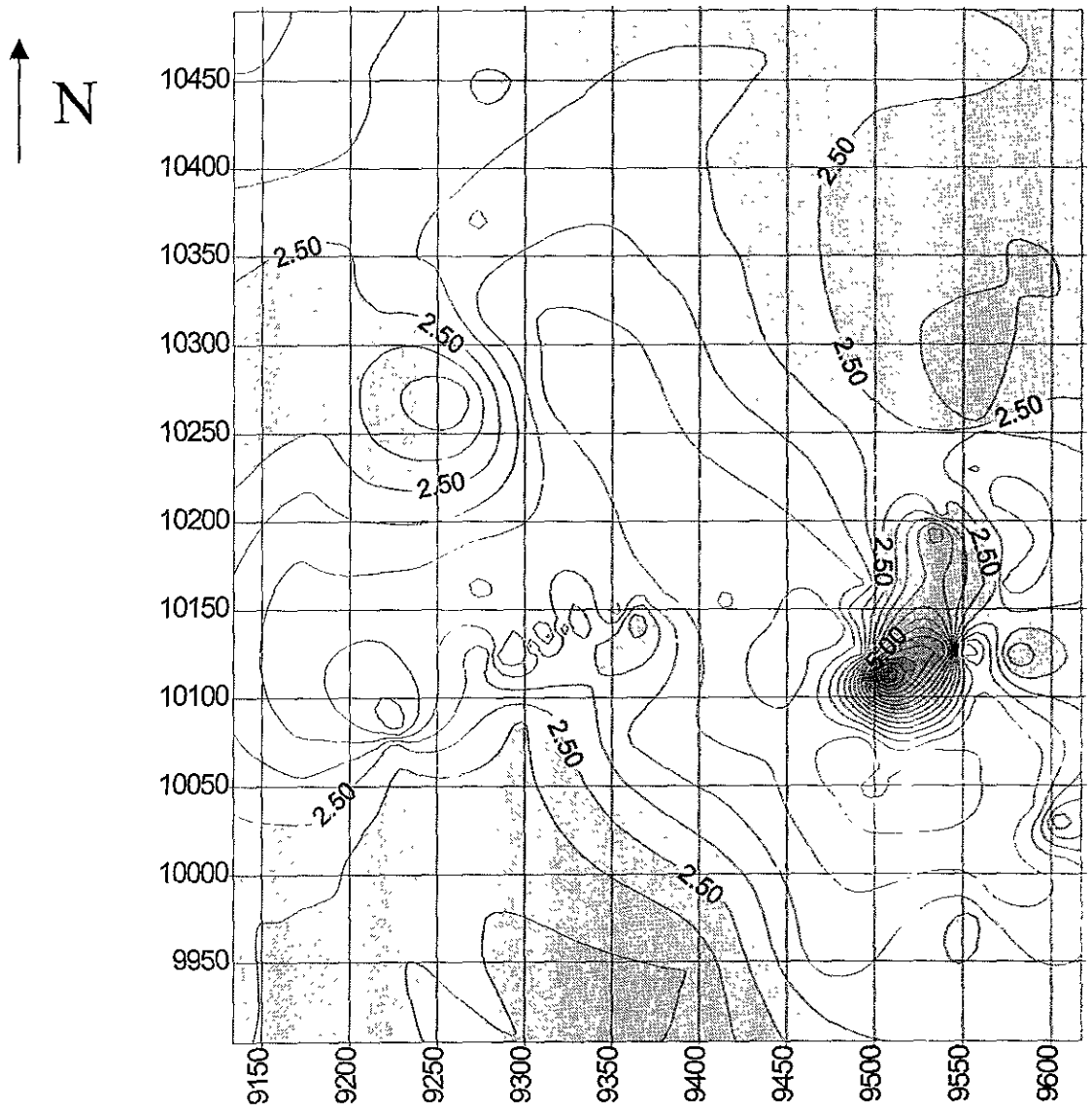
Valores en gr./ton



**Anexo 2. Gráfica 6  
Distribución de Au  
MANTO MO**

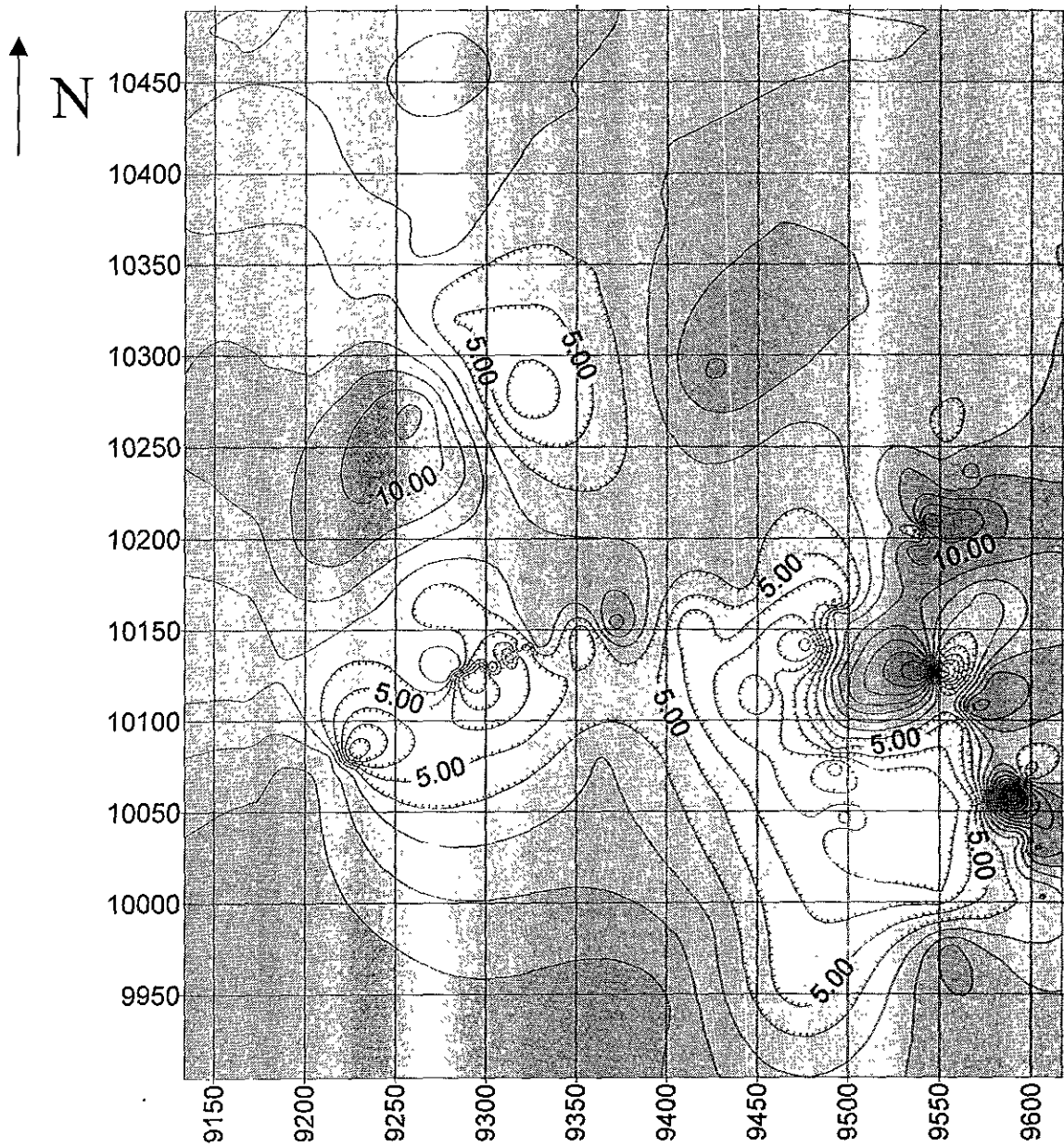


**Anexo 2. Gráfica 7:  
Distribución de Ag  
MANTO M0**



Valores en %

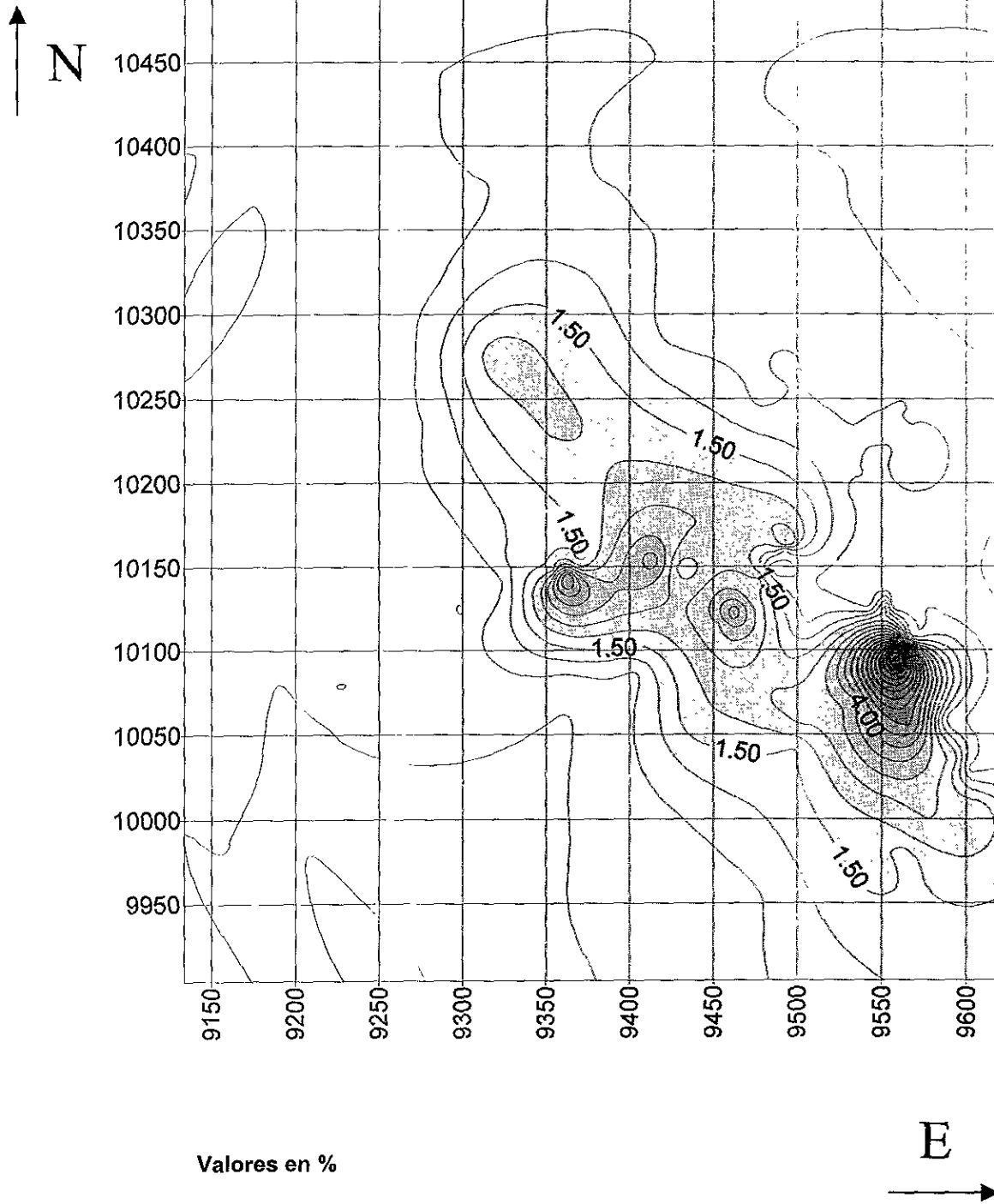
**Anexo 2. Gráfica 8  
Distribución de Pb  
MANTO M0**



Valores en %

E

Anexo 2. Gráfica 9  
Distribución de Zn  
MANTO M0



Anexo 2. Gráfica 10  
Distribución de Cu  
MANTO MO

SECC. 2 NE40

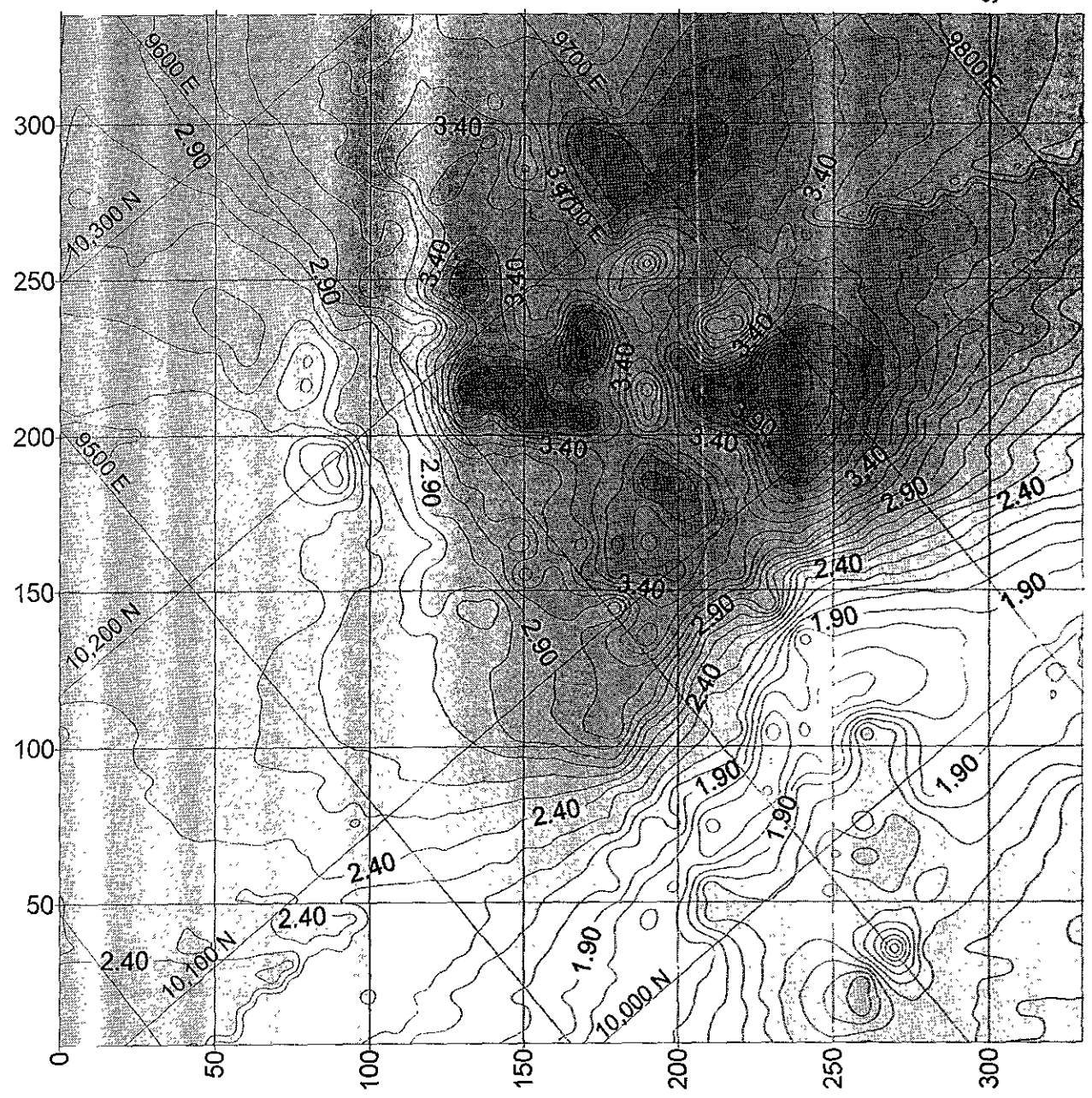
SECC. 4-2 NE40

SECC. 7 NE40

SECC. 9-2 NE40

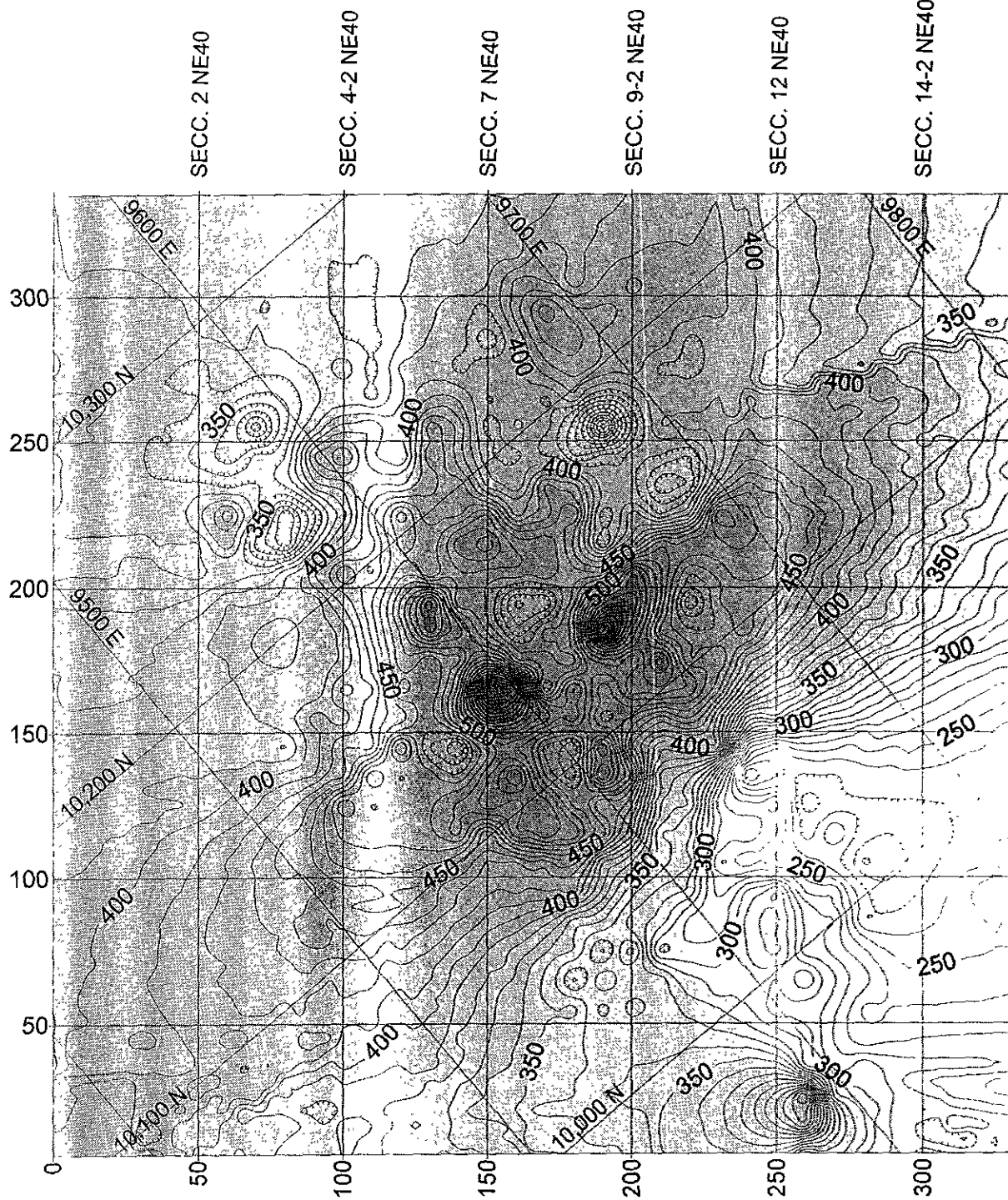
SECC. 12 NE40

SECC. 14-2 NE40



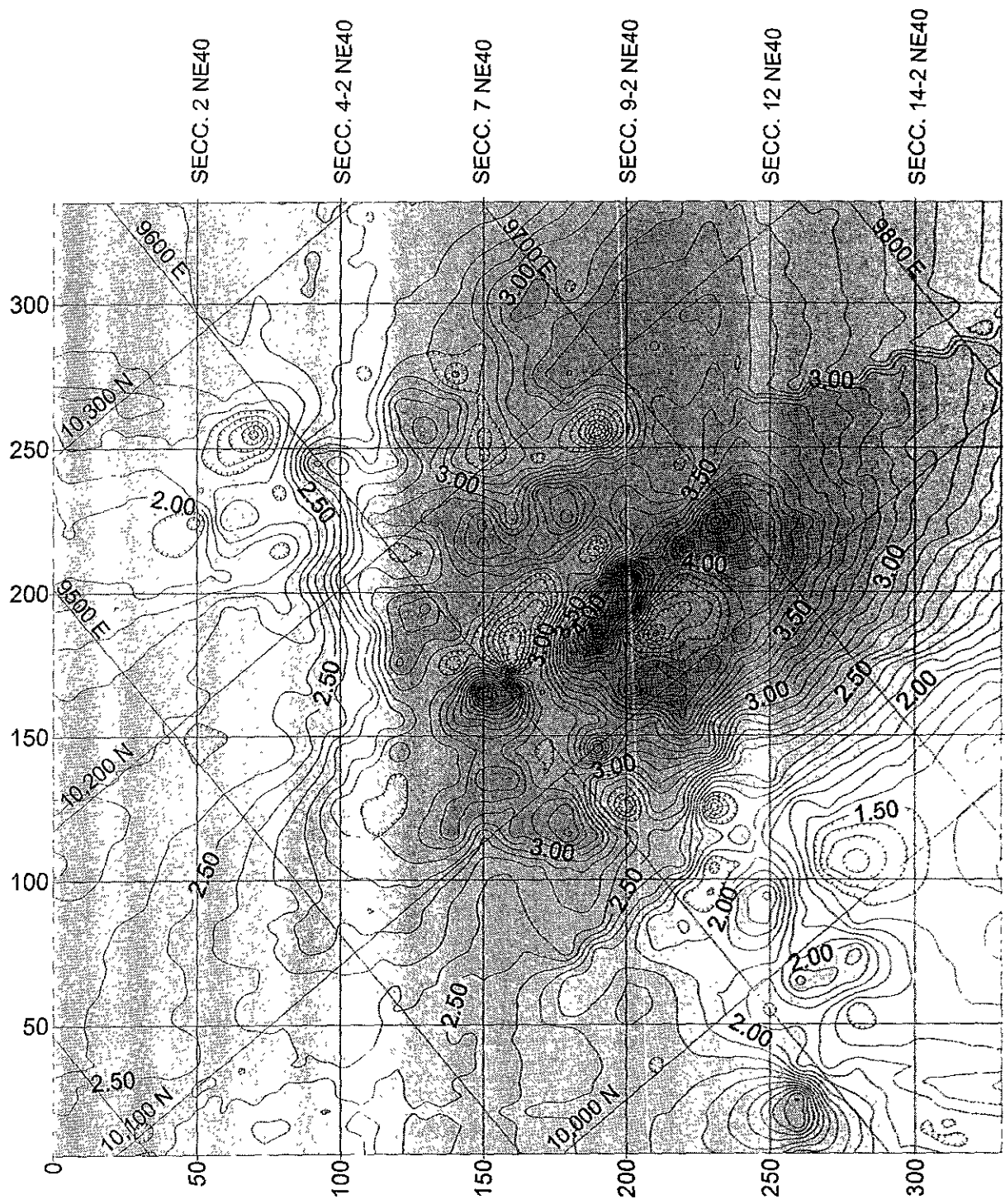
Valores en gr./ton

**Anexo 2. Gráfica 111**  
**Distribución de Au**  
**MANTO M1**



Valores en gr./ton

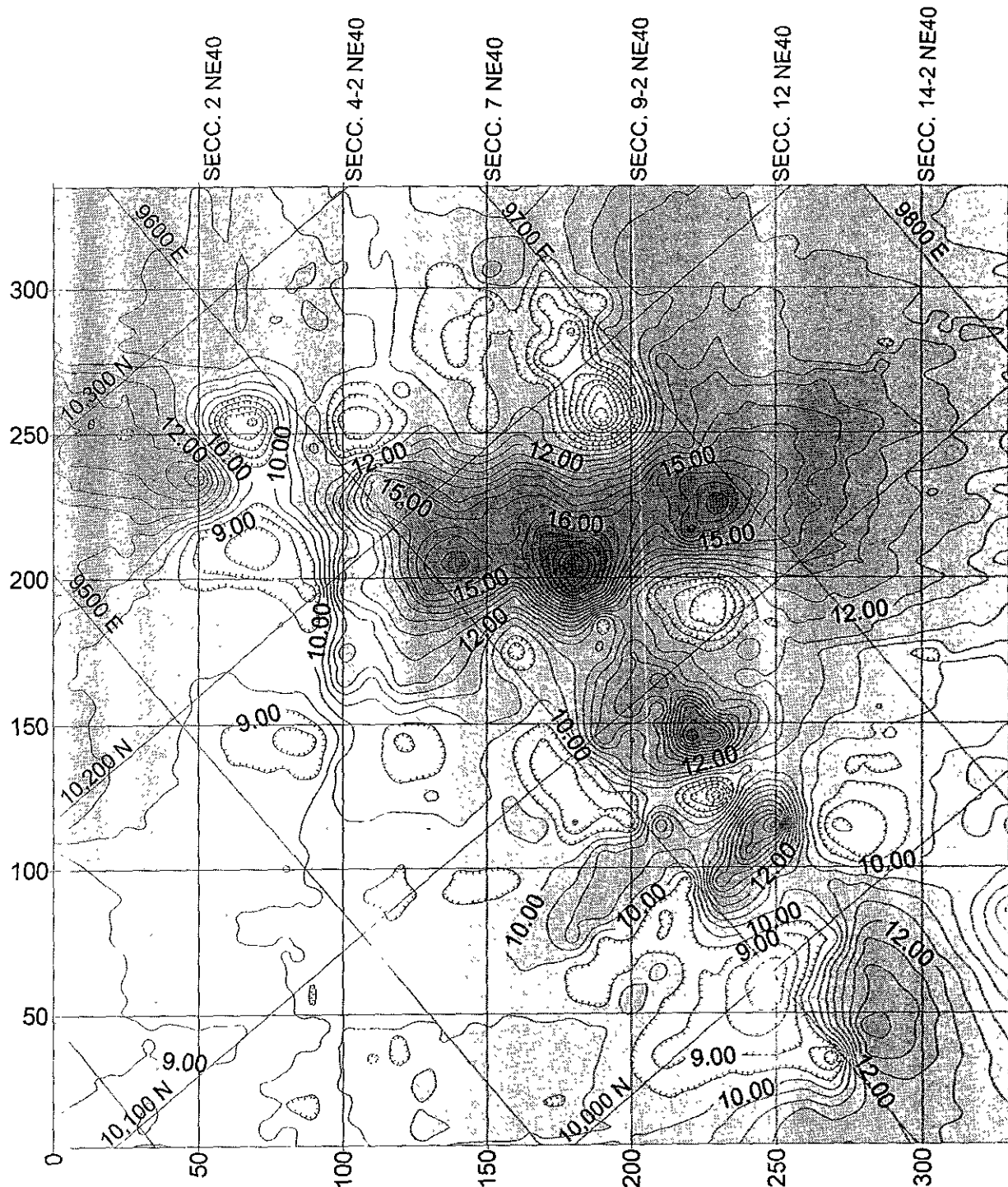
**Anexo 2. Gráfica 12**  
**Distribución de Ag**  
**MANTO M1**



Valores en %

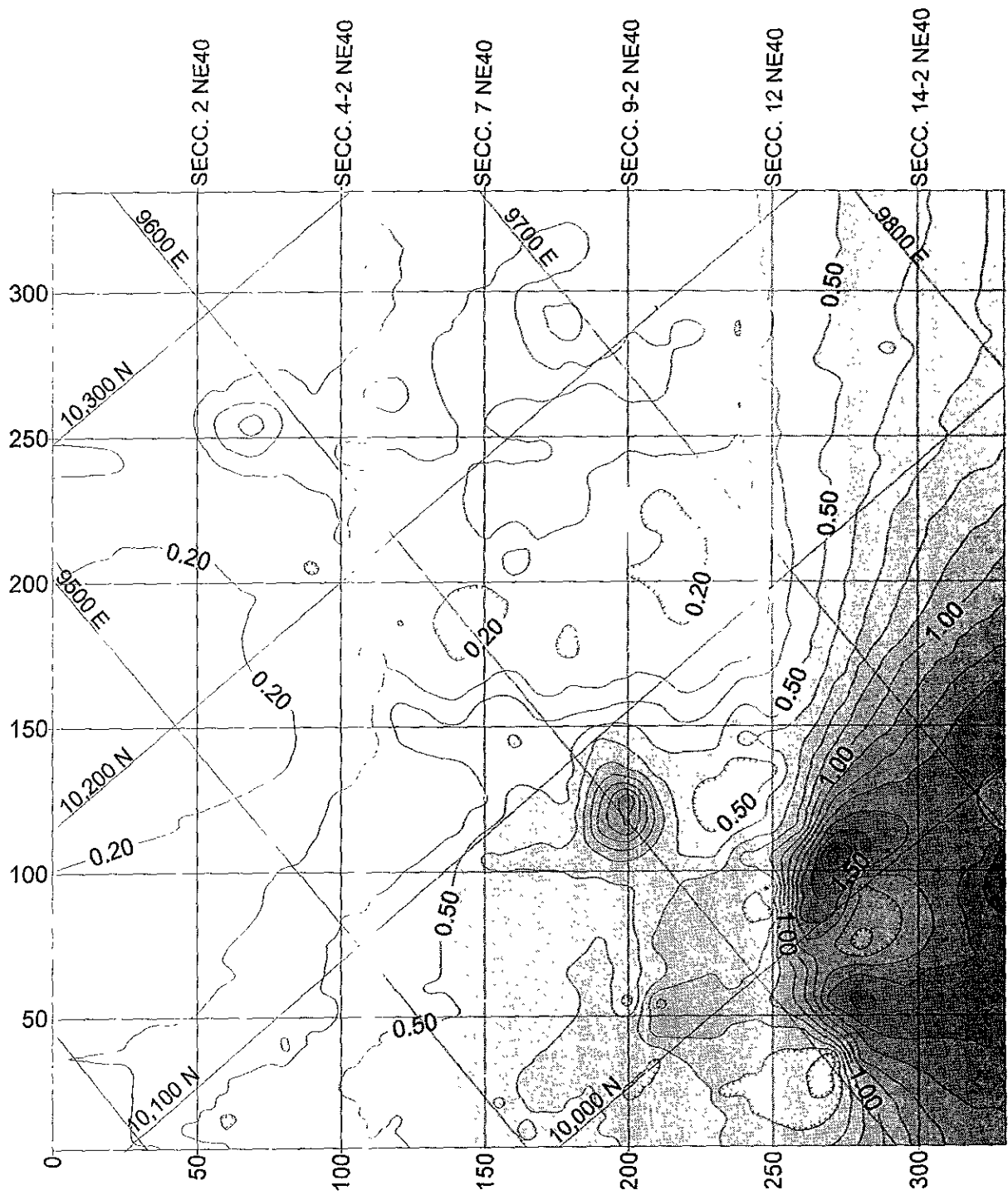
**Anexo 2. Gráfica 13:  
Distribución de Pb  
MANTO M1**





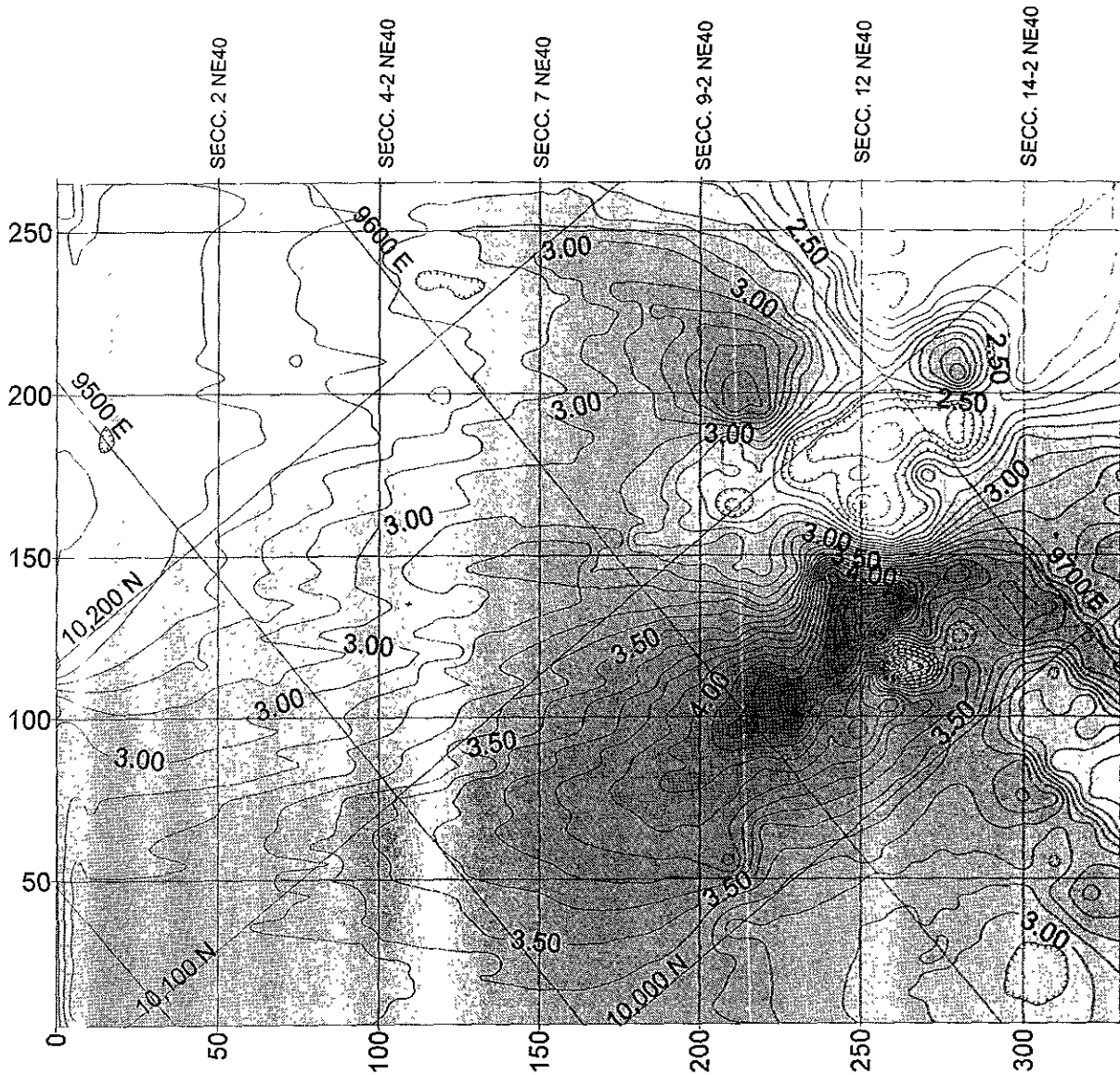
Valores en %

**Anexo 2. Gráfica 14**  
**Distribución de Zn**  
**MANTO M1**



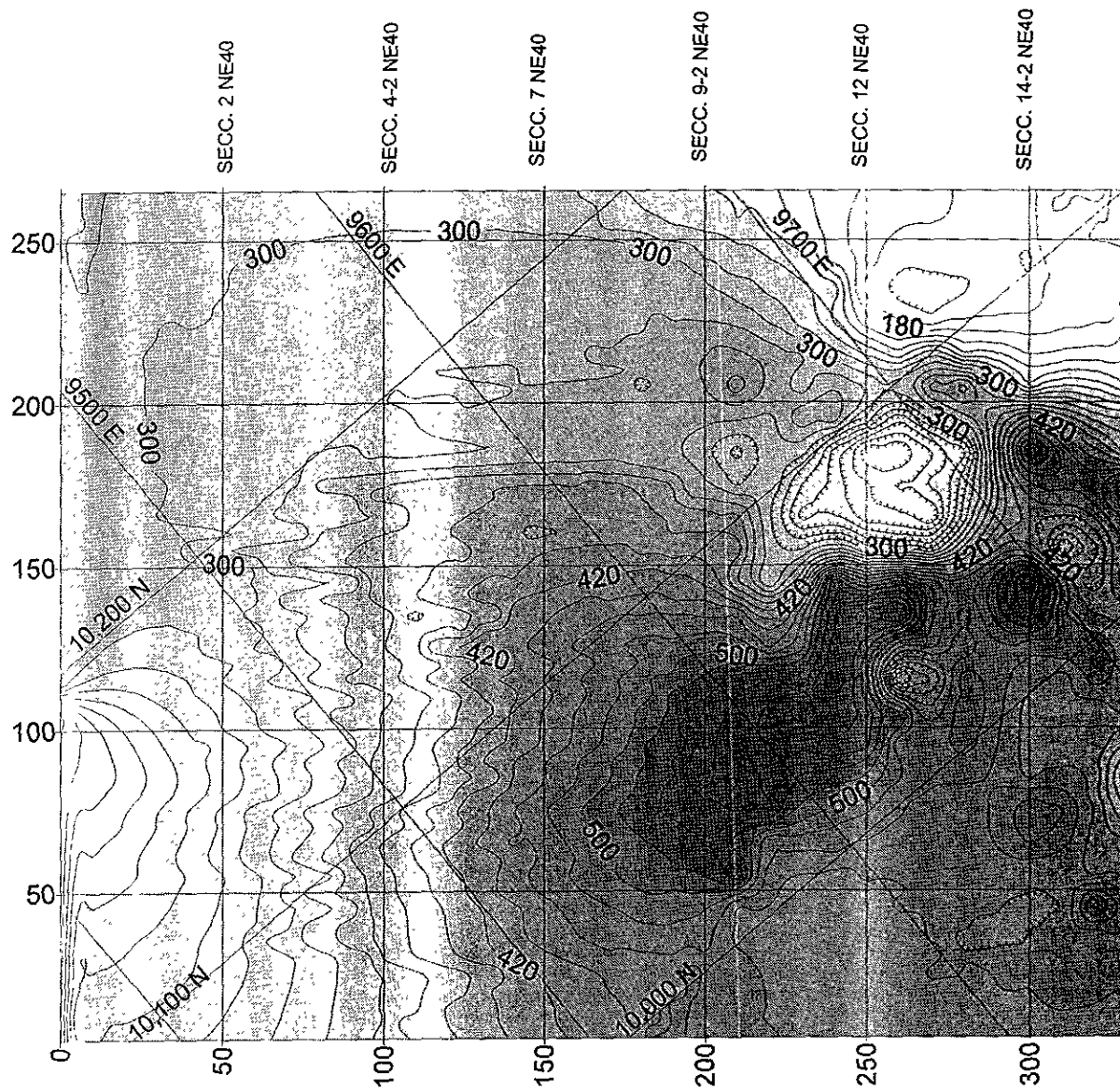
Valores en %

**Anexo 2. Gráfica 15;  
Distribución de Cu,  
MANTO M1**



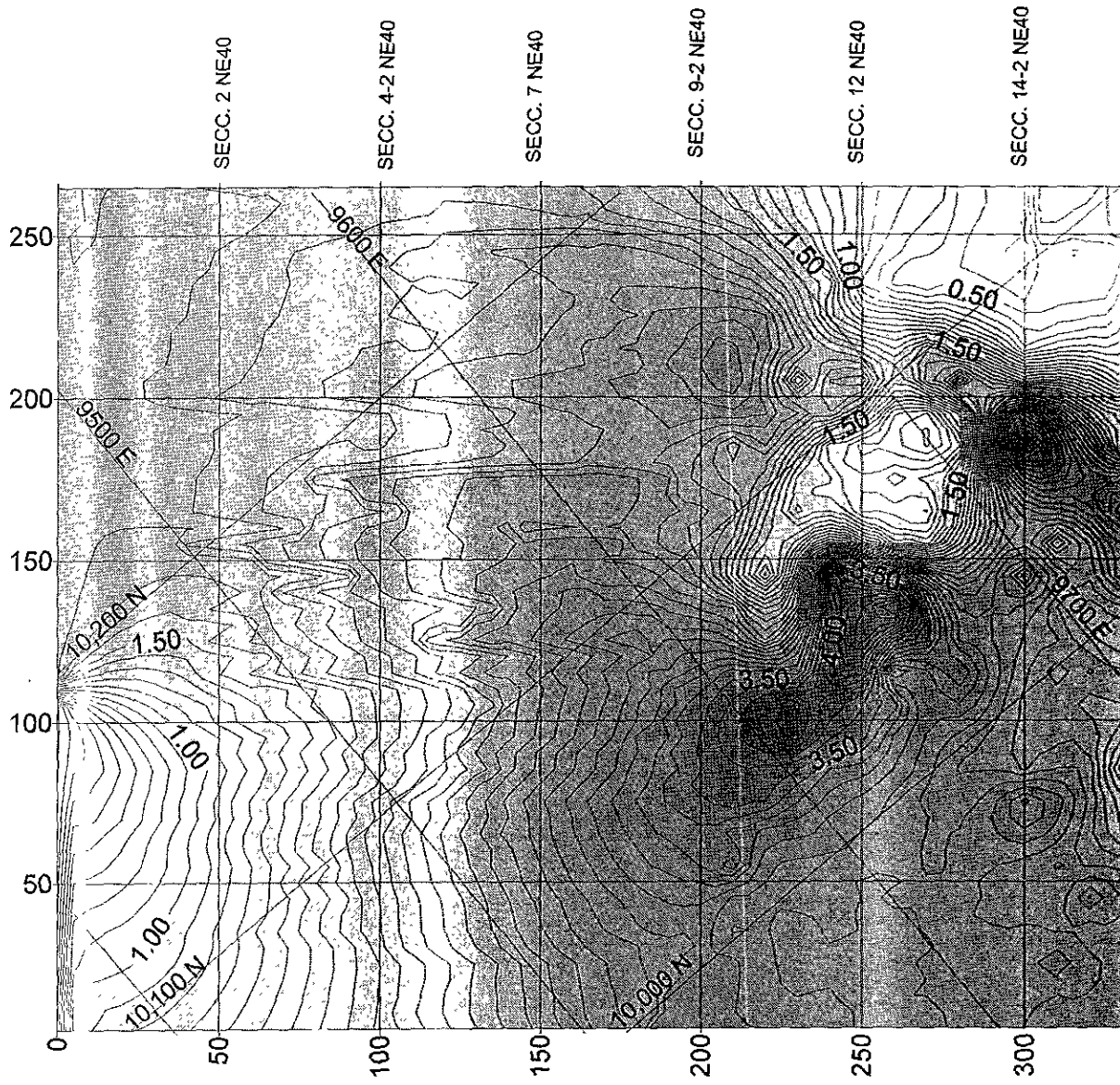
Valores en gr./ton

**Anexo 2. Gráfica 16**  
**Distribución de Au**  
**MANTO M2**



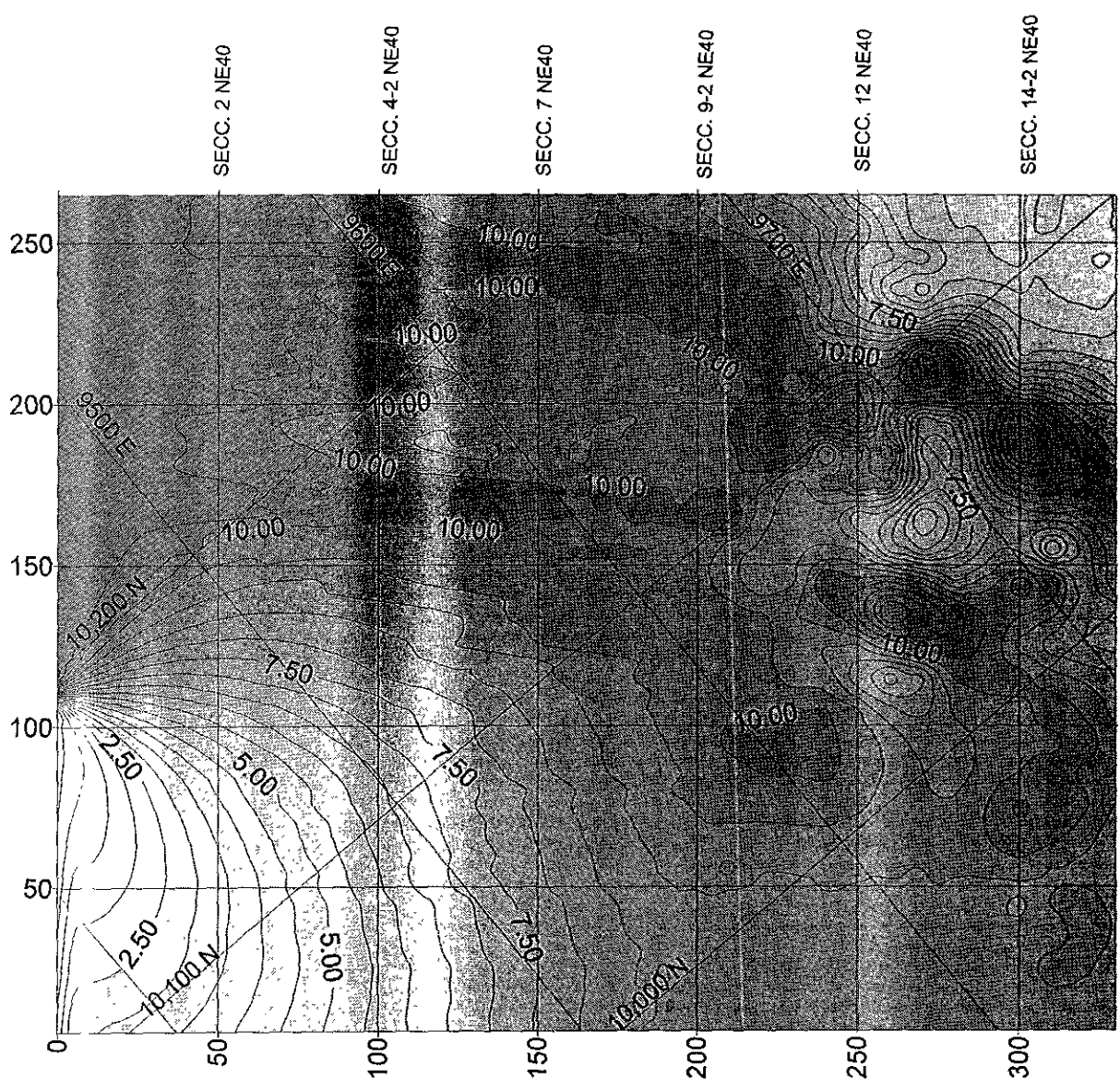
Valores en gr./ton

**Anexo 2. Gráfica 17/  
Distribución de Ag,  
MANTO M2**



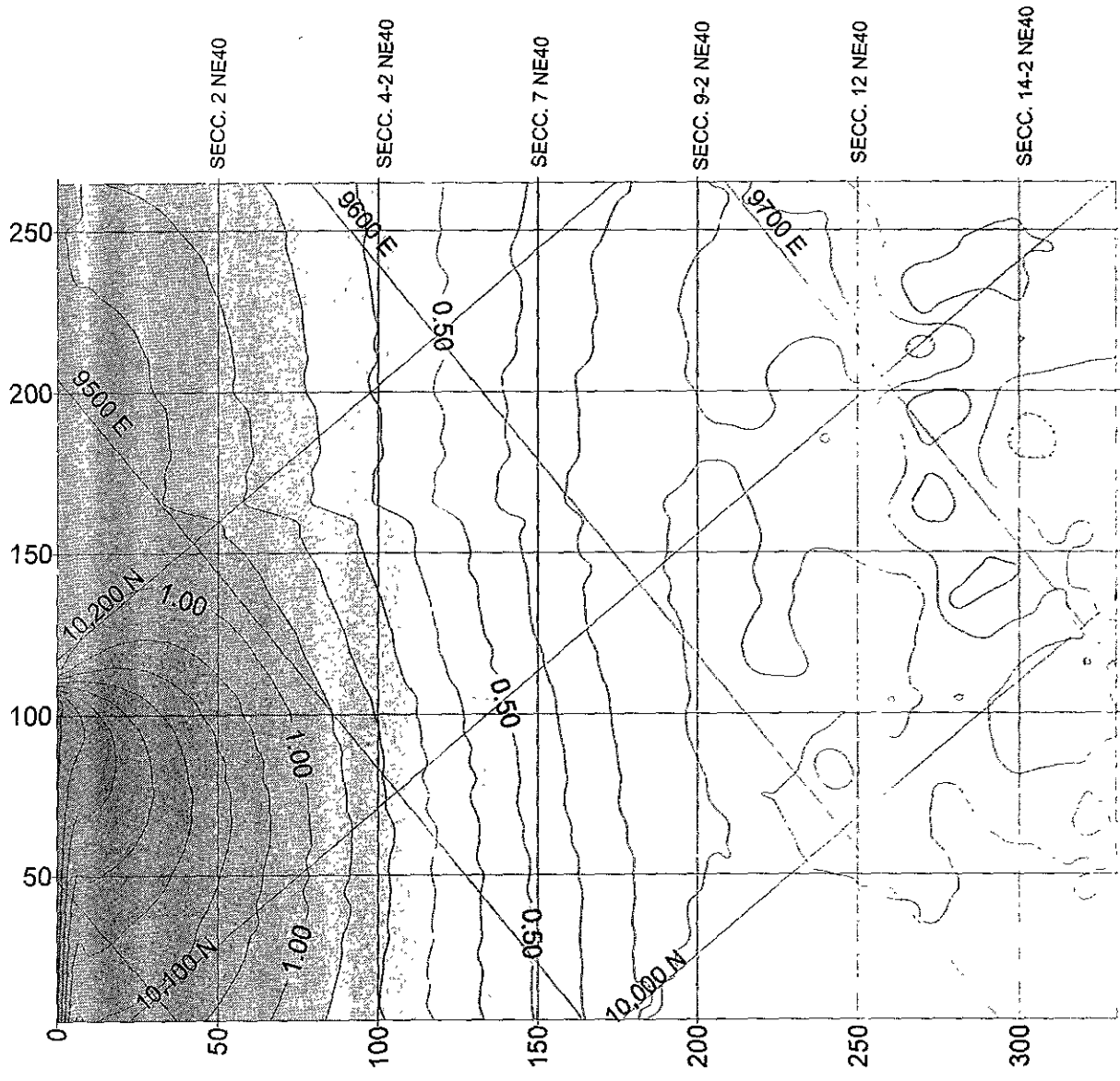
Valores en %

**Anexo 2. Gráfica 18**  
**Distribución de Pb**  
**MANTO M2**



Valores en %

**Anexo 2. Gráfica 19**  
**Distribución de Zn,**  
**MANTO M2**

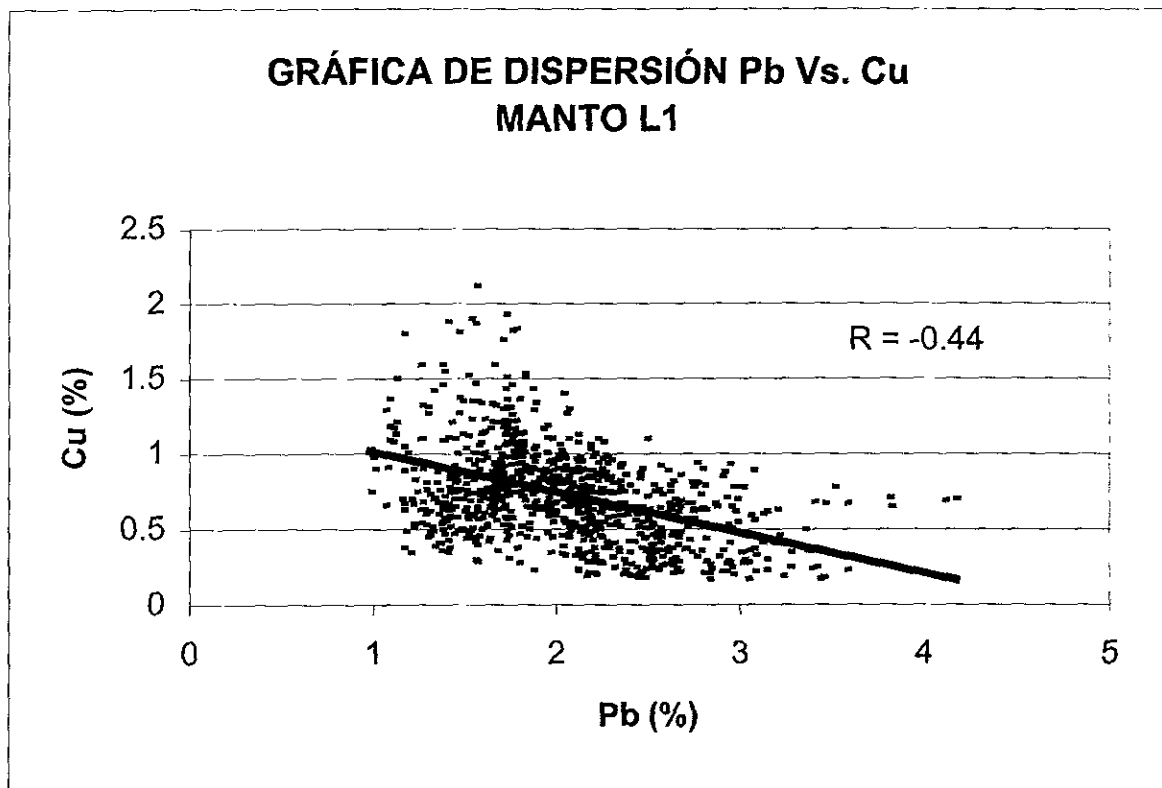


Valores en %

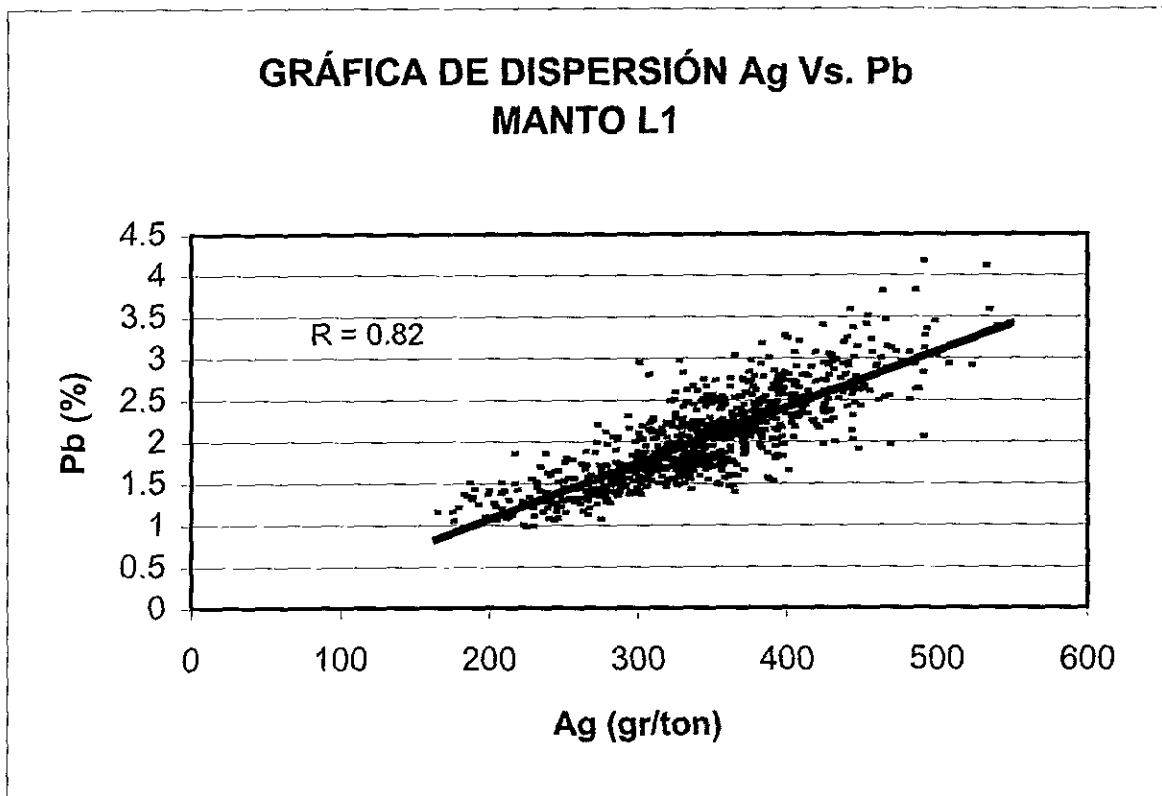
**Anexo 2. Gráfica 20**  
**Distribución de Cu**  
**MANTO M2**

**ANEXO 3 GRÁFICAS DE DISPERSIÓN DE ELEMENTOS**



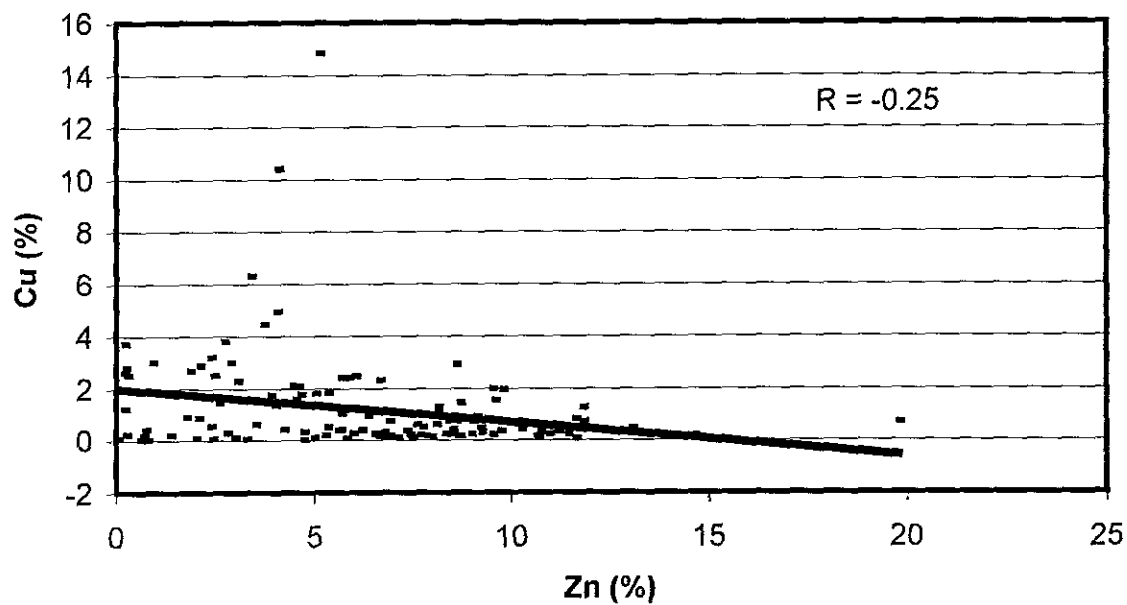


Anexo 3. Gráfica núm. 1



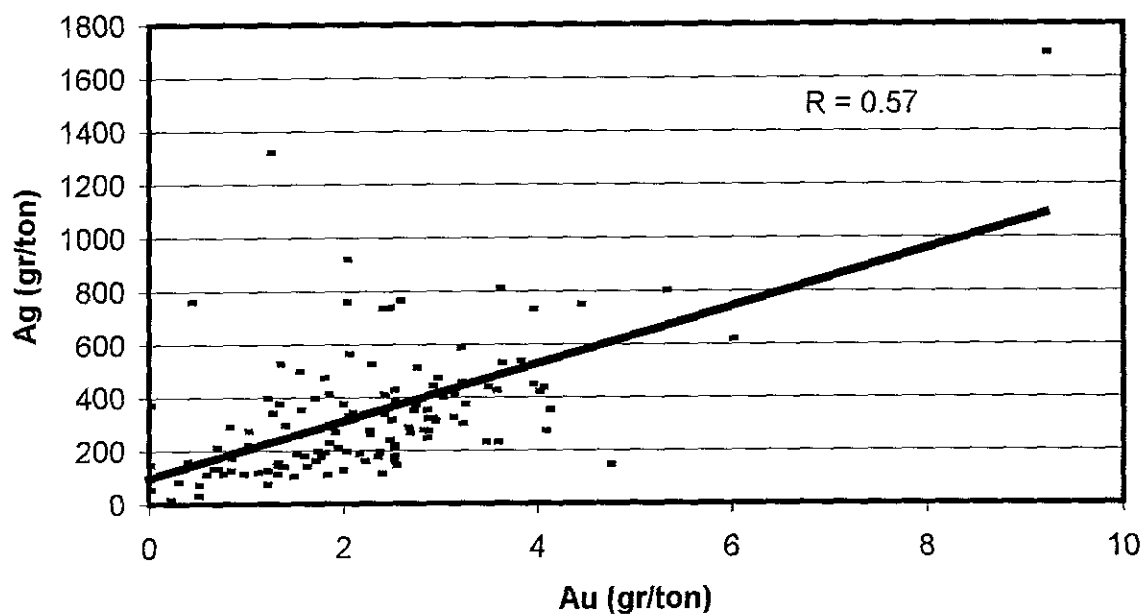
Anexo 3. Gráfica núm. 2

GRÁFICA DE DISPERSIÓN Zn Vs. Cu  
MANTO M0



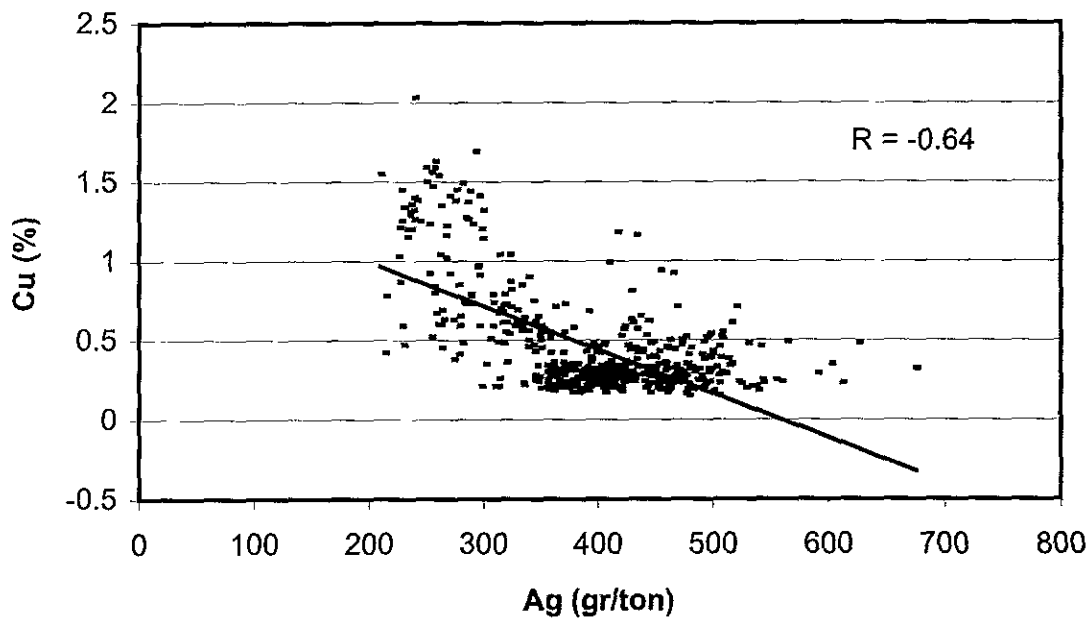
Anexo 3. Gráfica núm. 3

GRÁFICA DE DISPERSIÓN DE Au Vs. Ag  
MANTO M0



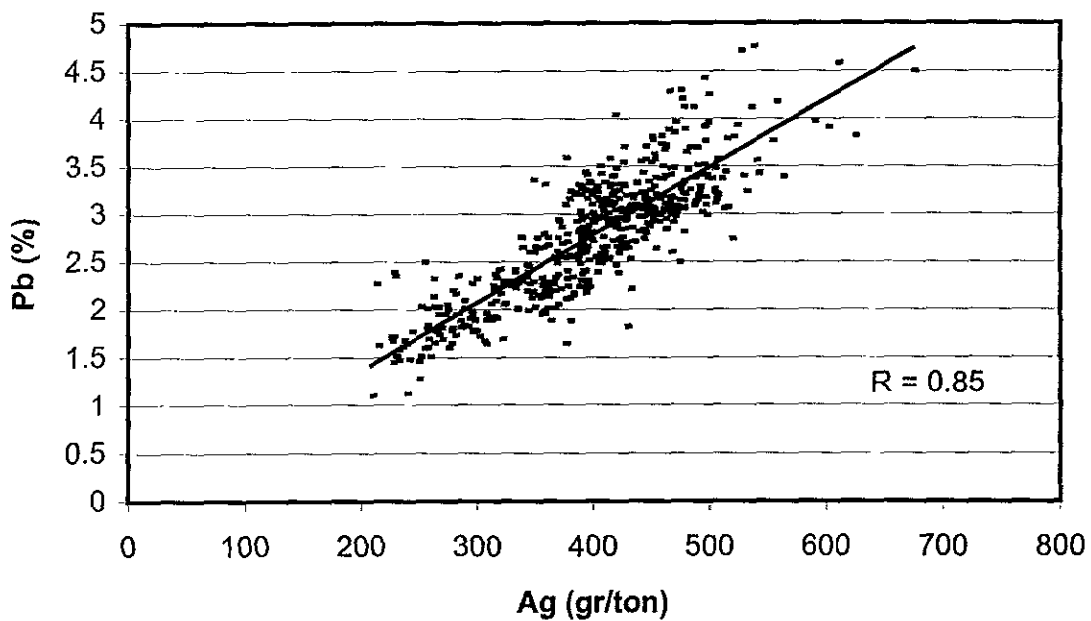
Anexo 3. Gráfica núm. 4

### GRÁFICA DE DISPERSIÓN Ag Vs. Cu MANTO M1



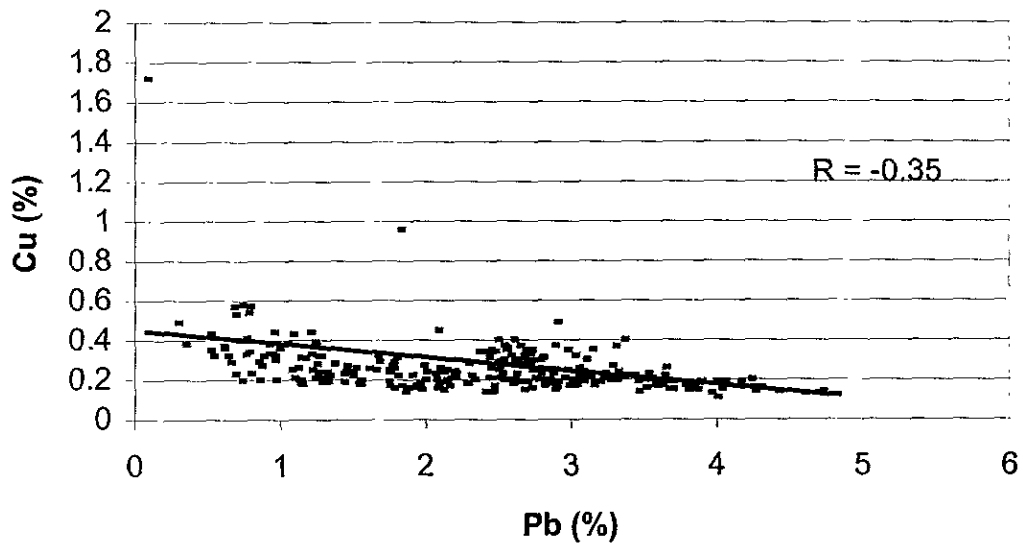
Anexo 3. Gráfica núm. 5

### GRÁFICA DE DISPERSIÓN Ag Vs. Pb MANTO M1



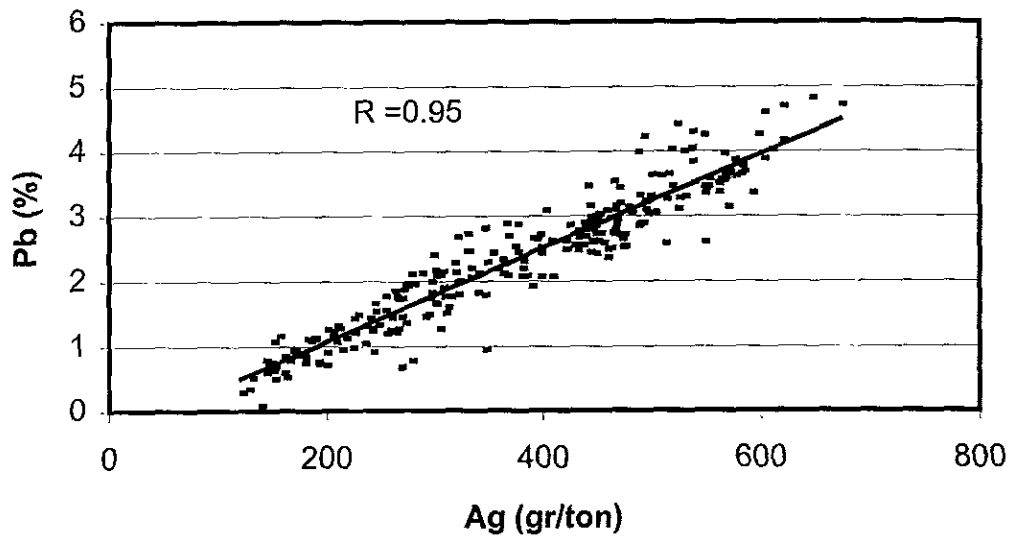
Anexo 3. Gráfica núm. 6

### GRÁFICA DE DISPERSIÓN DE Pb Vs. Cu MANTO M2



Anexo 3. Gráfica núm. 7

### GRÁFICA DE DISPERSIÓN Ag Vs. Pb MANTO M2



Anexo 3. Gráfica núm. 8

## **ANEXO 4 COEFICIENTE DE CORRELACIÓN LINEAL**

# CORRELACION Y REGRESION LINEAL

DADO UN CONJUNTO DE N VALORES DE LA VARIABLE DEPENDIENTE  $Y = \{ Y_1, Y_2, \dots, Y_N \}$ ; Y OTRO CONJUNTO DE N VALORES DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE  $X = \{ X_1, X_2, \dots, X_N \}$ , SE DENOMINA :

COEFICIENTE DE CORRELACION LINEAL,  $r$  : Relación entre el promedio de los productos de las desviaciones de cada variable respecto de la media y el producto de sus desviaciones típicas:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N [(X_i - \bar{X}) * (Y_i - \bar{Y})]}{\sqrt{\left( \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 \right) * \left( \sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2 \right)}}$$

LOS VALORES DE ESTE COEFICIENTE VARIAN ENTRE  $-1 \leq r \leq +1$

CUANDO  $r \cong +1$  LA CORRELACION LINEAL ES positiva O directa:  
( Y aumenta cuando X aumenta)

CUANDO  $r \cong -1$  LA CORRELACION LINEAL ES negativa O inversa  
( Y disminuye cuando X aumenta, o viceversa )

CUANDO  $r \cong 0$  LA CORRELACION LINEAL no existe.  
LO QUE NO IMPIDE LA POSIBILIDAD DE QUE EXISTA ALGUNA RELACION NO LINEAL.

