



6  
Zejean  
**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**“Caracterización Mineralógica de los  
Cuerpos de Sulfuros Masivos de la  
Mina Tizapa, Zacazonapan, México”**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :

**INGENIERO GEOLOGO**

P R E S E N T A :

**Miriam Jeannette Gómez Román**



**FALLA DE ORIGEN**

**CIUDAD UNIVERSITARIA**

**1995**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

*Para determinar que es importante y decisivo,  
no hay que partir de condiciones generales o  
abstractas sino de condiciones concretas.*



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-I-005

**SEÑORITA MIRIAM JEANNETTE GOMEZ ROMAN**  
**Presente**

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

**CARACTERIZACION MINERALOGICA DE LOS CUERPOS DE SULFUROS MASIVOS  
DE LA MINA TIZAPA, ZACAZONAPAN, MEXICO**

- I GENERALIDADES**
- II MARCO GEOLOGICO REGIONAL**
- III GEOLOGIA DEL YACIMIENTO**
- IV MINERALOGIA**
- V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**
- REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**
- 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 estipulada 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 19 de enero de 1995  
EL DIRECTOR



ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero expresar mi agradecimiento a la Universidad Nacional Autónoma de México, a mis profesores y compañeros por compartir sus conocimientos.

A las compañías Servicios de Exploración S.A. de C.V. y a Minera Tizapa S.A. de C.V., por las múltiples facilidades expresadas.

Al Ing. Víctor de la Garza Noriega, Subdirector de Exploración de Peñoles por su constante apoyo.

A los Ings. Guillermo García Sánchez e Hideo Kudo por sus sugerencias y observaciones en el campo.

Al Ing. Alfredo Victoria Morales por la dirección y asesoramiento en el presente trabajo.

Al amigo y compañero Ing. Benjamín Herrera González por sus opiniones, consejos y apoyo constante.

A los profesores: Ing. Miguel Vera Ocampo, Ing. Carlos Garza González - Velez, Ing. Jorge Nieto Obregón e Ing. José Luis Jiménez Mendoza por sus sugerencias y observaciones para la complementación de éste trabajo.

Al Ing. Catarino Zepeda por el auxilio en las configuraciones de los compósitos, al Sr. Juan José Ramírez encargado del laboratorio de yacimientos minerales y mineragrafía.

A la Unidad de Investigación y Asistencia técnica en materiales de la División de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Facultad de Ingeniería por su participación en las determinaciones en la microsonda.

Al Dr. Peter Shaaf por sus comentarios respecto al método isotópico de Pb - Pb.

A mi compañera de jornadas Dayci, a Alfredo por su apoyo, consejos y enseñanzas, a Miguel Angel por sus enseñanzas.

**CARACTERIZACION MINERALOGICA DE LOS  
CUERPOS DE SULFUROS MASIVOS DE LA MINA  
TIZAPA, ZACAZONAPAN, MEXICO.**

# **CARACTERIZACION MINERALOGICA DE LOS CUERPOS DE SULFUROS MASIVOS DE LA MINA TIZAPA, ZACAZONAPAN, MEXICO.**

	Página
<b>RESUMEN</b>	
<b>I. GENERALIDADES</b>	1
I.1 INTRODUCCION	1
I.2 OBJETIVOS	3
I.3 METODO DE TRABAJO	3
I.3.1 TRABAJO DE CAMPO	3
I.3.2 TRABAJO DE GABINETE	4
I.4 GEOGRAFIA	4
I.4.1 SITUACION GEOGRAFICA Y LIMITES	4
I.4.2 VIAS DE COMUNICACION	5
I.4.3 CLIMA	5
<b>II. MARCO GEOLOGICO REGIONAL</b>	6
II.1 FISIOGRAFIA Y GEOMORFOLOGIA	6
II.2 HIDROGRAFIA	8
II.3 PALEOGEOGRAFIA	8
II.3.1 MESOZOICO	8
II.3.2 CENOZOICO	10
II.4 PROVINCIA GEOLOGICA	11
<b>III. GEOLOGIA DEL YACIMIENTO</b>	13
III.1 INTRODUCCION	13
III.2 ESTRATIGRAFIA	13
III.2.1 ROCAS METAMORFICAS	14
III.2.2 ROCAS IGNEAS INTRUSIVAS	18
III.2.3 ROCAS IGNEAS EXTRUSIVAS	19
III.2.4 ROCAS SEDIMENTARIAS	20
III.3 DESCRIPCION DE LOS CUERPOS MINERALIZADOS	21
III.3.1 MANTO INFERIOR (L)	22
III.3.2 MANTO MEDIO (M)	22
III.3.3. MANTO SUPERIOR (U)	23
<b>IV. MINERALOGIA</b>	25
IV.1 DESCRIPCION DE LAS FASES MINERALOGICAS	25
IV.1.1 SULFUROS	26
IV.1.2 SULFOSALES	31
IV.2 PARAGENESIS	32
IV.3 ZONEAMIENTO	34
IV.3.1 MORFOLOGICO	34
IV.3.2 MINERALOGICO	34
IV.3.3 COMPOSICIONAL	35
IV.4 TIPOS DE ALTERACIONES	39
IV.5 GENESIS DEL YACIMIENTO	40
<b>V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	43
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b>	
<b>ANEXOS</b>	
I. FIGURAS	
II. PETROGRAFIA	
III. MINERAGRAFIA	

# INDICE DE FIGURAS

Figura No.1 Mapa de localización del yacimiento Tizapa

Figura No.2 Vías de comunicación

Figura No.3 Provincias Fisiográficas de México.

Figura No.4 Terreno Guerrero y subterrenos en la porción suroccidental de México.

Figura No.5 Mapa Geológico Tizapa, Edo. de México.

Figura No.6 Columna Estratigráfica del área de Tizapa

Figura No.7 Sección de los cuerpos.

Figura No.8 Mapa de ubicación de los cuerpos.

Figura No.9 Crucero 10 102 SW Cuerpo L1

Figura No.10 Mapa de isopacas. Cuerpo L1

Figura No.11 Mapa de isopacas. Cuerpo M0

Figura No.12 Nivel 1247. Cuerpo M1

Figura No.13 Mapa de isopacas. Cuerpo M1

Figura No.14 Rampa 10 012 NW Nivel 1238 Cuerpo M2

Figura No.15 Mapa de isopacas. Cuerpo M2

Figura No.16 Histogramas de tamaño de mineral. Cuerpo L1

Figura No.17 Histogramas de tamaño de mineral. Cuerpo M1

Figura No.18 Histogramas de tamaño de mineral. Cuerpo M2

Figura No.19 Histogramas de tamaño de mineral. Cuerpo L1, M1, M2

Figura No.20 Mapa de isovalores de Au. Cuerpo L1

Figura No.21 Mapa de isovalores de Ag. Cuerpo L1

Figura No.22 Mapa de isovalores de Pb. Cuerpo L1

Figura No.23 Mapa de isovalores de Zn. Cuerpo L1

Figura No.24 Mapa de isovalores de Cu. Cuerpo L1

Figura No.25 Mapa de isovalores de Au. Cuerpo M0



Figura No.26 Mapa de isovalores de Ag. Cuerpo M0

Figura No.27 Mapa de isovalores de Pb. Cuerpo M0

Figura No.28 Mapa de isovalores de Zn. Cuerpo M0

Figura No.29 Mapa de isovalores de Cu. Cuerpo M0

Figura No.30 Mapa de isovalores de Au. Cuerpo M1

Figura No.31 Mapa de isovalores de Ag. Cuerpo M1

Figura No.32 Mapa de isovalores de Pb. Cuerpo M1

Figura No.33 Mapa de isovalores de Zn. Cuerpo M1

Figura No.34 Mapa de isovalores de Cu. Cuerpo M1

Figura No.35 Mapa de isovalores de Au. Cuerpo M2

Figura No.36 Mapa de isovalores de Ag. Cuerpo M2

Figura No.37 Mapa de isovalores de Pb. Cuerpo M2

Figura No.38 Mapa de isovalores de Zn. Cuerpo M2

Figura No.39 Mapa de isovalores de Cu. Cuerpo M2

## **INDICE DE TABLAS**

Tabla No.1 Datos isotópicos de Pb de la mena de sulfuros masivos.

Tabla No.2 Modelo de evolución del Pb (Stacey y Kramers, 1975).

Tabla No.3 Resumen estadístico del tamaño de la pirita.

Tabla No.4 Resumen estadístico del tamaño de la esfalerita.

Tabla No.5 Resumen estadístico del tamaño de la galena.

Tabla No.6 Resumen estadístico del tamaño de la calcopirita.

Tabla No.7 Resumen estadístico del tamaño de la arsenopirita.

Tabla No.8 Resumen estadístico del tamaño de la tetraedrita - freibergita.

Tabla No.9 Leyes máximas y mínimas de los cuerpos.

## RESUMEN

El yacimiento de Tizapa está ubicado en la parte suroccidental del Estado de México, la mineralización consiste de una serie de cuerpos de sulfuros masivos y sulfuros diseminados emplazados concordantemente a esquistos de cuarzo - feldespato-muscovita - clorita y filita grafitica pertenecientes al Terreno Guerrero, éstas rocas han sufrido metamorfismo regional de bajo grado en facies de esquistos verde.

Los cuerpos son continuos con pequeños desplazamientos verticales provocados por fallas normales e inversas, las deformaciones son mínimas y locales (debido a las diferentes etapas de deformación).

La mineralización del yacimiento se caracteriza por ser rica en Fe, Zn, Pb, Ag y Sb y deficiente en Cu y As.

Las asociaciones mineralógicas observadas son: pirita- esfalerita - galena - tetraedrita freibergita - calcopirita - arsenopirita; se exhiben una gran variedad de texturas: clásica, de caries, de reemplazamiento y en partes porfídica.

El sulfuro más abundante es la pirita; en los sulfuros masivos se presenta de forma: masiva, como un mosaico fracturado en cuyos intersticios están emplazados otros sulfuros, intercrecida con la esfalerita, además exhibe reemplazamiento por parte de la arsenopirita. El cuerpo M2 presenta mayor cantidad de este mineral con respecto a los otros cuerpos.

La esfalerita es el segundo mineral en abundancia y se muestra como: cristales anedrales diseminados en la roca encajonante en conjunto con pirita eudral, cristales anedrales formando una matriz y alojando cristales de pirita, exhibe reemplazamiento de galena, tetraedrita freibergita y como inclusiones globulares en la pirita. El cuerpo L1 y M1 presenta mayor enriquecimiento de éste mineral.

La galena está subordinada a la esfalerita se manifiesta como: cristales anedrales ocupando los intersticios, en intercrecimiento mutuo con la esfalerita, reemplazando a la calcopirita, como inclusiones globulares en la pirita.

Calcopirita está en menor cantidad respecto a los anteriores y esta presente como: cristales anedrales, ocupando los intersticios en los cristales de pirita y reemplazándola.

Arsenopirita se presenta reemplazando parcial o totalmente a la pirita.

Tetraedrita - freibergita es la mena argentífera y esta en forma de cristales anedrales, reemplaza parcialmente a la esfalerita y galena, en ocasiones forma cristales individuales de freibergita. Esta en mayor cantidad en el cuerpo M1.

El tamaño del mineral es fino, lo que indica una depositación lenta en un ambiente tranquilo, no exhibe características texturales de remoción del material.

Los cuerpos no presentan un zoneamiento vertical, es una mena mixta no diferenciada.

El yacimiento está formado por varias mineralizaciones con origen en múltiples centros de mineralización asociadas a las actividades volcánicas submarinas.

Los cuerpos L1 y M1 exhiben zoneamiento horizontal en dirección Norte - Sur, mientras que el cuerpo M0 lo manifiesta en dirección Noreste Este - Suroeste Oeste y el cuerpo M2 lo muestra en la parte central hacia su periferia.

La alteración del depósito es: silicificación, sericitización y cloritización, la alteración es más intensa en el contacto del sulfuro masivo y la roca infrayacente; hacia la parte superior del cuerpo en la roca suprayacente la alteración es menos intensa.

# I. GENERALIDADES

## I.1 INTRODUCCION

En la región comprendida entre el Eje Neovolcánico y la cuenca del río Balsas, aflora una secuencia compleja de rocas verdes con interdigitaciones de rocas félsicas y alternancia de rocas metasedimentarias. Asociada a esta secuencia se localizan una serie de yacimientos vulcanogénicos dentro de una franja mineralizada del orden de 115 km de largo y entre 20 y 50 km de ancho, esta franja se encuentra delimitada por el borde de la Plataforma Morelos - Guerrero que se desarrolló en la mayor parte del estado de Morelos, en pequeñas porciones del noreste del estado de Guerrero y sureste del estado de México y un dominio de Arco Insular - Mar Marginal que corresponde al noroccidente de Guerrero, occidente del estado de México y sur de Michoacán.

En el dominio de Arco Insular - Mar marginal se definen de acuerdo al tipo de roca asociada tres ambientes geológicos: a) dominio volcánico: caracterizado por la presencia de rocas volcánicas submarinas con interdigitaciones de rocas sedimentarias con un claro predominio volcánico; b) dominio pelítico: caracterizado por la presencia de rocas pelíticas escasas interdigitaciones de rocas volcánicas submarinas y c) ambiente transicional: existen los dos tipos de roca sin predominar la una sobre la otra.

En esta franja se localizan los siguientes depósitos: Rey de Plata, El Tule, Lucas Salada, La Trinidad, Campo Morado, Suriana y Campo Seco en el estado de Guerrero asociadas a un dominio volcánico; Tizapa, Santa Rosa, El paso del Cobre y el Pilatel en el estado de México asociados a un dominio pelítico y finalmente La América, Salitre Grande, Tlanilpa, La Aurora y Azulaques en el estado de Guerrero, asociados a un ambiente transicional.

La mineralización de esta provincia es típica de yacimientos vulcanogénicos y filonianos; los depósitos vulcanogénicos se exhiben como: 1) mantos de sulfuros masivos, 2) sulfuros diseminados y 3) stockworks.

Los depósitos de sulfuros masivos vulcanogénicos son importantes fuentes de zinc, plomo, plata, oro, cobre, cadmio; la mineralogía de éstos yacimientos generalmente consiste de abundante pirita y en menor proporción esfalerita, galena, calcopirita, arsenopirita, tetraedrita - freibergita, los cuales están diseminados en el mosaico de pirita (Badilla, 1977).

La problemática de éstos yacimientos es el beneficio y se debe principalmente a que los minerales de mena (esfalerita, galena, calcopirita, tetraedrita - freibergita) se encuentran alojados en los intersticios y como reemplazamiento en la pirita, requiriéndose molindas del orden de -400 mallas para su liberación.

Otra de las causas es obtener concentrados de Pb, Cu, Zn; por el alto contenido de pirita debido a que es un mineral fácilmente activable.

El yacimiento de Tizapa es el resultado de los estudios a nivel regional que se llevó a efecto el Consejo de Recursos Minerales en la provincia del Eje Neovolcánico.

La exploración se llevó a cabo en dos etapas: la primera etapa de 1977 a 1986 y se realizó una evaluación preliminar del yacimiento. La segunda etapa de exploración se efectuó de 1987 a 1990 mediante el proyecto "IV Convenio México - Japón" en la que participaron el Consejo de Recursos Minerales (México) y Dowa Engineering (Japón).

El proyecto Eje Neovolcánico se inició en el año de 1977 con la interpretación de imágenes de satélite y la prospección aérea y con el se descubrieron siete zonas anómalas, destacando entre ellas Tizapa. Mediante la verificación terrestre en la zona de Tizapa se observaron alteraciones y evidencias de mineralización vulcanogénica (arroyos el Ahogado, el Campanario y la Esmeralda). Basados en la información obtenida en 1978, se implementó el proyecto Rocas Metamórficas en el cual se detallaron trabajos de semidetalle, detalle y barrenación a diamante; los resultados fueron positivos y obtuvieron las primeras evidencias de cuerpos polimetálicos.

En el año de 1980 se inició el proyecto Tizapa, en el cual se hicieron estudios de geología a detalle apoyados por el laboratorio fisicoquímico (microsonda, rayos X), estudios con métodos indirectos (geofísica y geoquímica) y una segunda etapa de barrenación con diamante efectuando una evaluación preliminar del yacimiento.

La siguiente etapa de exploración se realizó en convenio con el gobierno de Japón en un Proyecto de Cooperación Técnica que se inició en el año de 1987 (IV Convenio México - Japón). Los trabajos consistieron de barrenación con diamante de superficie que tuvo como objetivo corroborar los resultados obtenidos por el Consejo de Recursos Minerales. Posteriormente se

realizó un socavón de 550 m, un crucero de 200 m de desarrollo y 47 barrenos de interior de mina con lo que se cubieron 5 235 677 toneladas de mineral económico (Maldonado, 1993).

Las pruebas metalúrgicas correspondientes fueron realizadas en Japón y Estados Unidos las cuales resultaron positivas, lo que complementó la viabilidad del proyecto. En base a los resultados obtenidos se llevó a efecto la licitación del proyecto de Tizapa en el mes de febrero de 1992, siendo otorgados los derechos al consorcio Peñoles - Dowa.

Minera Tizapa continúa con la exploración y desarrollo de los diferentes cuerpos e inicia actividades de operación metalúrgica en mayo de 1994.

## **I.2 OBJETIVOS**

Los objetivos del presente estudio son establecer:

- Las características que definen la distribución mineralógica tanto vertical como lateral del yacimiento vulcanogénico de Tizapa.
- Conocer el tamaño óptimo para la molienda y la liberación del mineral e indicar el tipo de concentrado y variaciones que muestre.

## **I.3 METODO DE TRABAJO**

### **I.3.1 TRABAJO DE CAMPO**

Las actividades de campo se desarrollaron en un periodo de 45 días; para el reconocimiento de la Estratigrafía del área se utilizó la base topográfica escala 1:2 000, se realizaron caminamientos sobre el cauce del arroyo El Ahogado en los cuales se identificaron las diferentes unidades litológicas, se llevo acabo la descripción, la medición de datos estructurales y finalmente se muestrearon los cambios litológicos que hay presentes.

En la mina se hizo levantamiento geológico y descripción de los diferentes cuerpos mineralizados tomando como base los cambios estructurales, mineralógicos y texturales, colectándose muestra de las diferentes estructuras presentes y de la roca encajonante (en total se cuenta con 114 muestras); así como también se revisaron barrenos de diamante.

### **I.3.2 TRABAJO DE GABINETE**

Consistió en la recopilación de la información existente. De los datos obtenidos de la barrenación y de la obra minera se determinó la distribución y forma de los cuerpos de sulfuros masivos, además se revisaron secciones geológicas del yacimiento Tizapa. Con la información de los barrenos y con los resultados de análisis químicos se construyeron secciones de los cuerpos comparando compósitos de leyes de Ag y Cu con la finalidad de determinar el zoneamiento vertical. Para establecer el zoneamiento lateral de los cuerpos se elaboró la configuración de los compósitos de leyes de Au, Ag, Pb, Zn y Cu y se integró un mapa de isopacas determinándose las variaciones que presentan los cuerpos de sulfuros masivos.

La identificación de los minerales se realizó mediante el uso de microscopio petrográfico y mineragráfico marca Leitz - Ortho Lux II pol, efectuándose estudios de mineragrafía y petrografía a un total de 65 muestras, además se utilizó la microsonda electrónica marca Philips para determinar otros elementos contenidos en la esfalerita; de los laboratorios de Yacimientos Minerales y del Departamento de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Facultad de Ingeniería.

El software STATGRAPHICS que obtiene parámetros estadísticos, sirvió para elaborar histogramas y determinar la variación en el tamaño del mineral. Se utilizaron AutoCAD 10 y GALLERY para la elaboración de figuras; GEOSOFT realizó la configuración de compósitos de leyes y EXCEL 5.0 para la elaboración de tablas.

## **I.4 GEOGRAFIA**

### **I.4.1 SITUACION GEOGRAFICA Y LIMITES**

El área de estudio se localiza en la porción sur - occidental del estado de México, colindando con los límites del estado de Michoacán, a 67 km en línea recta al S 63 W de Toluca, capital del estado de México y a 3.5 km al SE del poblado Zacazonapan, cabecera del municipio de mismo nombre.

Las coordenadas de la mina Tizapa son 100° 14' Longitud Oeste y 19° 02' Latitud Norte. ( Figura No.1 )

#### **I.4.2 VIAS DE COMUNICACION**

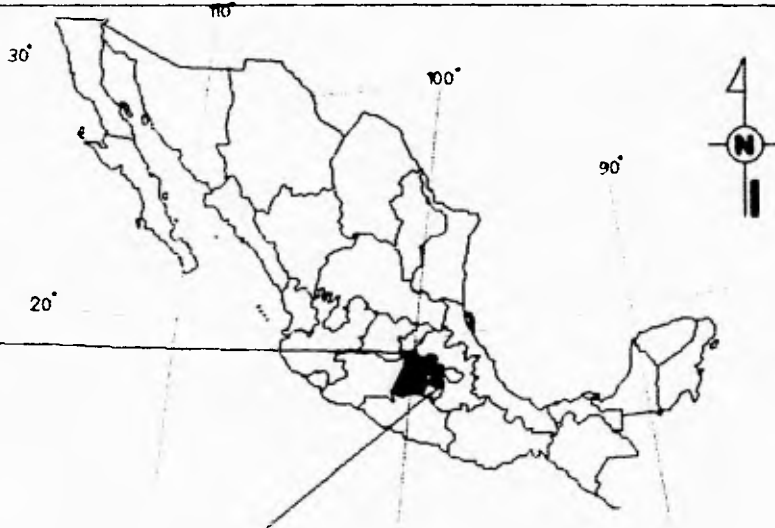
Zacazonapan se encuentra comunicada por caminos de terracería que entroncan con carreteras pavimentadas. Para llegar al área de Tizapa el acceso se realiza por Zacazonapan por medio de una brecha con una longitud de 4 km, el recorrido se realiza en 30 minutos. Zacazonapan es accesible desde la ciudad de Toluca por dos caminos, el primero es por la carretera pavimentada que pasa por Valle de Bravo, Colorines, Santo Tomás de los Plátanos y Zuluapán con una longitud de 147 km; una segunda vía de acceso es por la carretera pavimentada Toluca - Bejucos, que pasa por Temascaltepec hasta llegar a el km 58, donde existe un camino pavimentado hasta el Potrero de Tenayac de 28 km, para luego seguir 12 km por camino de terracería que llega hasta Zacazonapan, por esta vía el recorrido es de 140 km. (Figura No. 2)

Zacazonapan tiene servicio de correo, teléfono y telégrafo. El aeropuerto y pistas aéreas más cercanos están en la ciudad de Toluca.

#### **I.4.3 CLIMA**

La región de estudio está ubicada en las proximidades de los 19° Latitud Norte y pertenece a la zona tropical, sin embargo por estar en una zona montañosa, el clima es templado y se divide típicamente en la época de lluvias en verano y la época de secas en invierno. La temperatura de verano sobrepasa los 30° C y la precipitación anual media es en promedio de 800 mm. La temperatura de invierno oscila entre 10° y 16° C.

**ESTADO DE MEXICO,  
MEXICO**



SIN ESCALA



**LEYENDA**

★	CAPITAL DEL ESTADO
⊗	MINA TIZAPA
- - - -	LIMITE ESTATAL
- - - -	CARRETERA

<b>U N A M</b>	<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>
	<b>TESIS PROFESIONAL</b>
	<b>MERIAN JEANNETTE GOMEZ ROMAN</b>
	<b>MAPA DE LOCALIZACION MINA TIZAPA</b>

OCT-94

FIGURA No. 1



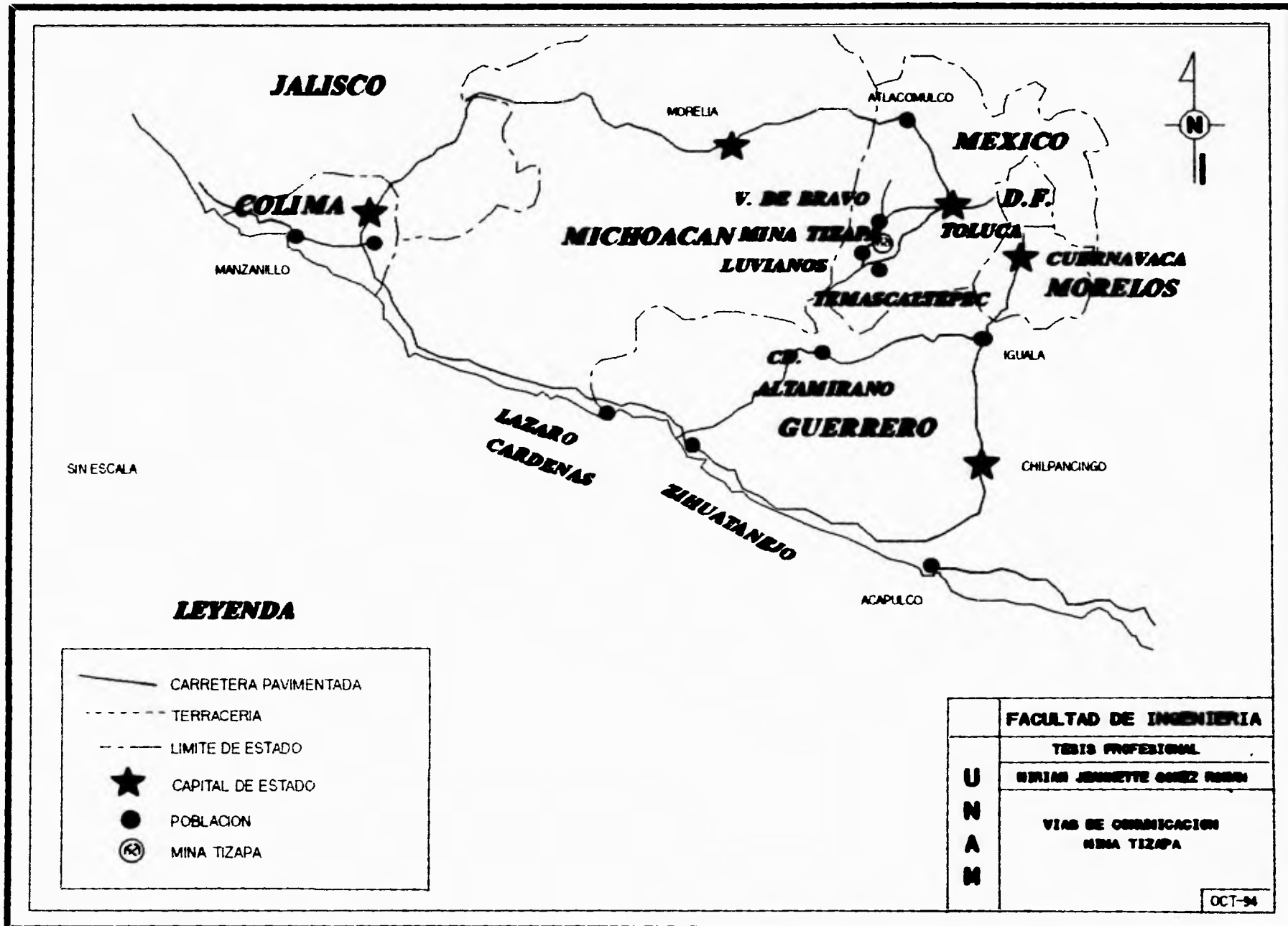


FIGURA No. 2

## II. MARCO GEOLOGICO REGIONAL

### II.1 FISIOGRAFIA Y GEOMORFOLOGIA

El área de interés se localiza entre la provincia fisiográfica del Sistema Neovolcánico Transmexicano el cual presenta una dirección preferencial este - oeste y el límite septentrional de la subprovincia Cuenca del Balsas - Mezcala, perteneciente a la provincia fisiográfica de la Sierra Madre del Sur ( Morán Zenteno, 1982). ( Figura No.3)

El relieve que caracteriza a la zona de estudio es el producto de dos morfologías contrastantes, una es la Sierra Madre del Sur y el Sistema Neovolcánico Transmexicano (Campa,1979). La primera es un sistema montañoso marginal al Océano Pacífico, con una longitud aproximada de 1,100 km, constituido por diversas estructuras de edad y origen; el relieve está condicionado por varios factores: la litología, estructura geológica y las condiciones climáticas (Lugo Hubp, 1990).

La Sierra Madre del Sur desde Colima hasta Oaxaca y las zonas contiguas del noroccidente de Guerrero, Michoacán y estado de México constituyen una región con alta complejidad estructural que presenta varios dominios tectónicos yuxtapuestos (Morán Zenteno, 1984).

En la porción occidental de la Sierra Madre del Sur se tiene 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, observándose que las elevaciones granitoides ocupan las porciones más bajas; frente a las costas 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 el Jurásico, así como también rocas más antiguas de este sistema montañoso: gneises precámbricos asociados con granitos paleozoicos (Lugo Hubp,1990).

Las porción septentrional 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

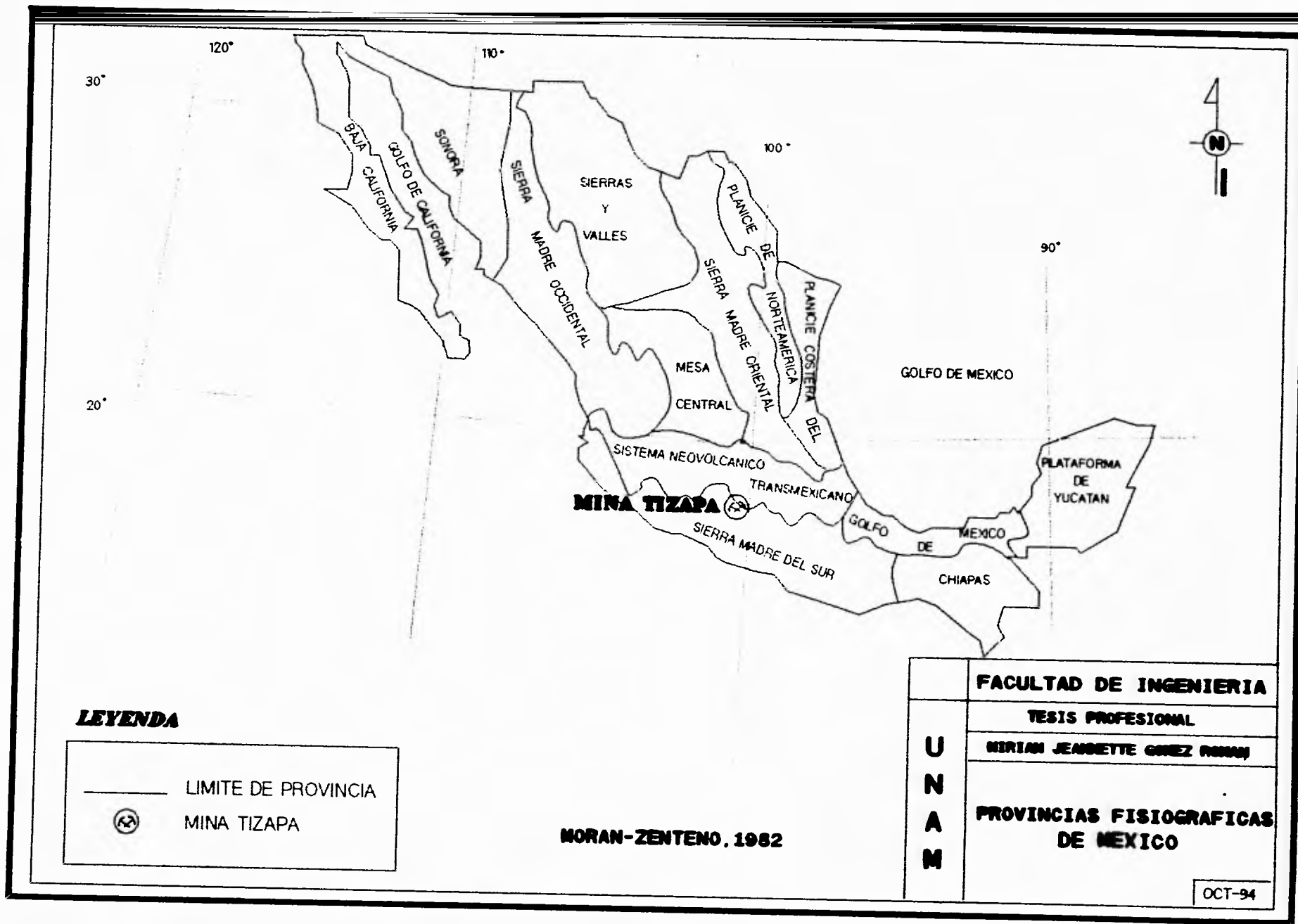


FIGURA No. 3

cual corresponde a la porción sur del estado de Puebla) del Sistema Neovolcánico Transmexicano 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,1990).

El Sistema Neovolcánico Transmexicano es una franja volcánica que cruza transversalmente la República Mexicana a la altura del paralelo 20°; se caracteriza por la actividad volcánica joven, su dinámica de desarrollo en el Cuaternario, en especial en el Pleistoceno tardío - Holoceno; está 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 localizan son estratovolcanes de dimensiones variables como el Pico de Orizaba, Popocatépetl, Iztaccíhuatl, Nevado de Toluca; existen además del tipo cono cinerítico, emisiones fisurales y conos adventicios desarrollándose en las laderas de los estratovolcanes (Morán Zenteno,1984). La actividad volcánica desarrolló la formación de cuencas endorreicas, de barrancas, prácticamente todos los tipos de laderas y procesos periglaciales.

Cabe resaltar que las provincias antes mencionadas están separadas por la Cuenca del Río Balsas - Mezcala que se extiende al oriente del poblado Mezcala, Guerrero, hasta las cercanías de la Ciudad 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 tuvieron el desarrollo de intrusiones granitoides, las cuales provocaron deformación de las capas de roca y acumulación de material volcánico (Lugo Hubp,1990). En la actualidad hay pocos estudios sobre la Cuenca Balsas - Mezcala con la idea predominante de que se trata de una fosa tectónica la cual se desarrolla en asociación con el bloque de la Sierra Madre del Sur. (De Cserna, 1980).

En el área de Tizapa la morfología observada es el reflejo de los eventos volcánicos y la relación discordante que guardan estos con las rocas metamórficas presentes. En general presenta las características de un valle abrupto de topografía erosionada principalmente por el arroyo El Ahogado y sus afluentes.

La región se caracteriza por topografía típica de la etapa de madurez disectada, destacan algunos conos volcánicos (cerro Pelón) y mesas formadas por derrames basálticos (Mesa de Tizapa, Potrero de Tenayac). Las mesas son cortadas por los arroyos, formando barrancas, la más profunda la ha erosionado el río Temascaltepec con diferencias altimétricas de hasta 600 m, entre el fondo de la misma y la cima de algunas elevaciones montañosas que le rodean.

## **II.2 HIDROGRAFIA**

Los drenes principales que se presentan en esta área de estudio fluyen con dirección hacia la cuenca del río Balsas; los principales arroyos localizados en el área son el Tizapa el cual se localiza en la porción sur de la zona y El Ahogado ambos con una dirección de la corriente hacia el este, cabe mencionar que el cauce del primero desemboca en el segundo.

Los afluentes de estos arroyos presentan un sistema dendrítico e intermitente, caracterizados por pendientes fuertes a veces interrumpidos por saltos de hasta 40 m; el arroyo principal es el denominado El Ahogado que lleva agua todo el año; a éste se le unen el Tizapa y arroyo Frío finalmente el arroyo El Ahogado desemboca en el río Temascaltepec, que junto con el río Tilostoc forman el río Tuzantla, afluente del río Balsas.

## **II.3 PALEOGEOGRAFIA**

La historia geológica de esta región exhibe dos paleogeografías opuestas una de Arco Insular - Mar Marginal y otra de Plataforma calcárea de edad Jurásico Superior - Cretácico Inferior. Se reconocen cuatro etapas de deformación; tres de fase compresiva y una distensiva (Campa, 1979).

### **II.3.1 MESOZOICO**

Durante el Jurásico Superior se inicia el desarrollo de un Arco Insular y un Mar Marginal donde a partir de este periodo y hasta el Cretácico Inferior prevalecieron condiciones similares de vulcanismo ácido y 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 de bancos de Rudistas de edad Turoniano perteneciente a la Formación Cuautla (Fries, 1960). 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 vulcanoclásticos interestratificados con terrígenos y calcáreos, que caracterizan la zona occidental (Campa, 1980).

De esta manera se desarrollan dos dominios paleogeográficos opuestos:

- Dominio oriental caracterizado por facies de sedimentación y una total ausencia de metamorfismo regional.

Las unidades litoestratigráficas reportadas en esta zona son:

Formación Acahuizotla (Ontiveros , 1973), está constituida de capas de calizas arcillosas y margas con fauna del Aptiano - Albiano; concordantemente en un contacto transicional le sobryace la Formación Morelos (Fries, 1960), 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 sobryacente; 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, desarrolló disarmonicamente un intenso plegamiento de escala pequeña, de estilo chevrón, 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 un frente de corrimiento (Campa et al, 1976) están el dominio occidental (área de Ixtapan de la Sal, Valle de Bravo, Temascaltepec, México; Teloloapan - Arcelia , Guerrero) que sobryace al dominio oriental.

- 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 esquisto verde. 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, 1981), Formación Ayotusco (Díaz, 1980), Formación Angao (Pantoja, 1959), Conjunto Petrotectónico de Zihuatanejo, Gro. - Coalcomán, Mich. (Vidal, 1980), Formación San Lucas (Pantoja, 1959) y Conjunto Huetamo - Cutzamala (Campa, 1980), Esquisto Taxco y Roca Verde Taxco Viejo (Sánchez Zavala, 1993).

Se reconoce la primera deformación, cuya manifestación más clara es el metamorfismo que folió y plegó la secuencia vulcanosedimentaria (Fase compresiva del Cenomaniano; Campa, 1976).

Esta secuencia volcánico sedimentaria metamorfozada corresponde a un antiguo Arco Insular y Mar Marginal dispuestos en cinturón que bordeaba el antiguo continente mesozoico, desde California hasta Honduras y representan una zona interna, más alejada del continente antiguo.

### **II.3.2 CENOZOICO**

La transición del Mesozoico al Terciario marca el fin de la historia marina y el comienzo de la historia continental.

Las capas rojas y moladas 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, es la responsable de formar los grandes 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 (Fase compresiva del Paleoceno; Campa, 1977).

Formación Balsas (Fries, 1960) consiste en una secuencia de depósitos continentales principalmente por conglomerados formado de fragmentos de caliza, líticos volcánicos cementados con limolita roja perfectamente estratificados y endurecidos, capas de limolita rojas, algunos horizontes de toba, brecha volcánica roja y lava de edad Eoceno - Oligoceno Inferior.

Riolita Tilzapotla ( Fries, 1960) son depósitos de lava, tefra e ignimbrita y lahares producidos por fenómenos de vulcanismo ácido - intermedio de edad Oligoceno Superior - Mioceno.

Estas formaciones del Terciario Inferior están afectadas por una tercera fase de deformación que produjo levantamiento de gran radio de curvatura con orientación NNW - SSE y que afectó los depósitos mesozoicos como a la molasa y al vulcanismo ácido intermedio. Esta deformación se realizó a fines del Mioceno y previo al Plioceno. (Fase compresiva del Mioceno; Campa, 1977).

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 Sistema 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 , 1977)

La tectónica de extensión se caracteriza por presentar un fracturamiento normal y trascurrente, desarrollándose un sistema de fracturas con orientación NW - SE (Fase distensiva Neotectónica; Campa, 1977).

## **II.4 PROVINCIA GEOLOGICA**

El Terreno Guerrero, se define como un terreno tectonoestratigráfico compuesto de tres terrenos asociados, por una historia geológica común, anterior a la acreción (Campa y Coney, 1983). A estos terrenos se les asigna una edad Jurásico Superior - Cretácico Inferior, de un ambiente volcánico submarino y secuencias sedimentarias. La estratigrafía en cada terreno es diferente, así como el grado de metamorfismo y estilo de deformación.

Los subterrenos son:

1. Teloloapan - Ixtapan.
2. Zihuatanejo
3. Huetamo.



El área de Tizapa se encuentra localizado dentro del Terreno Teloloapan - Ixtapan.

El Subterreno Teloloapan - Ixtapan (Campa et al,1974) es una secuencia volcánico andesítica y sedimentos vulcanoclásticos interestratificados con calizas, pizarras y areniscas; en los sedimentos se han encontrado fósiles de edad Jurásico Superior y Cretácico Inferior. Está expuesto en la parte oriental del Terreno Guerrero y forma una franja aproximada de 300 km de largo y 80 km de ancho, colinda al oriente con el Terreno Mixteco (Centeno García, 1993).

El Subterreno Teloloapan - Ixtapan presenta un espesor de 4 000 m (Centeno García, op cit), es afectado por un metamorfismo regional de bajo grado, con deformación severa; estructuralmente se caracteriza por un complejo sistema de fallas, en su borde oriental está cabalgando a la plataforma calcárea cretácica Morelos - Guerrero, en el borde occidental tiene una orientación aproximada de norte - sur y está definido por fallas que ponen en contacto al subterreno con capas rojas de edad Cretácica 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). ( Figura No. 4)

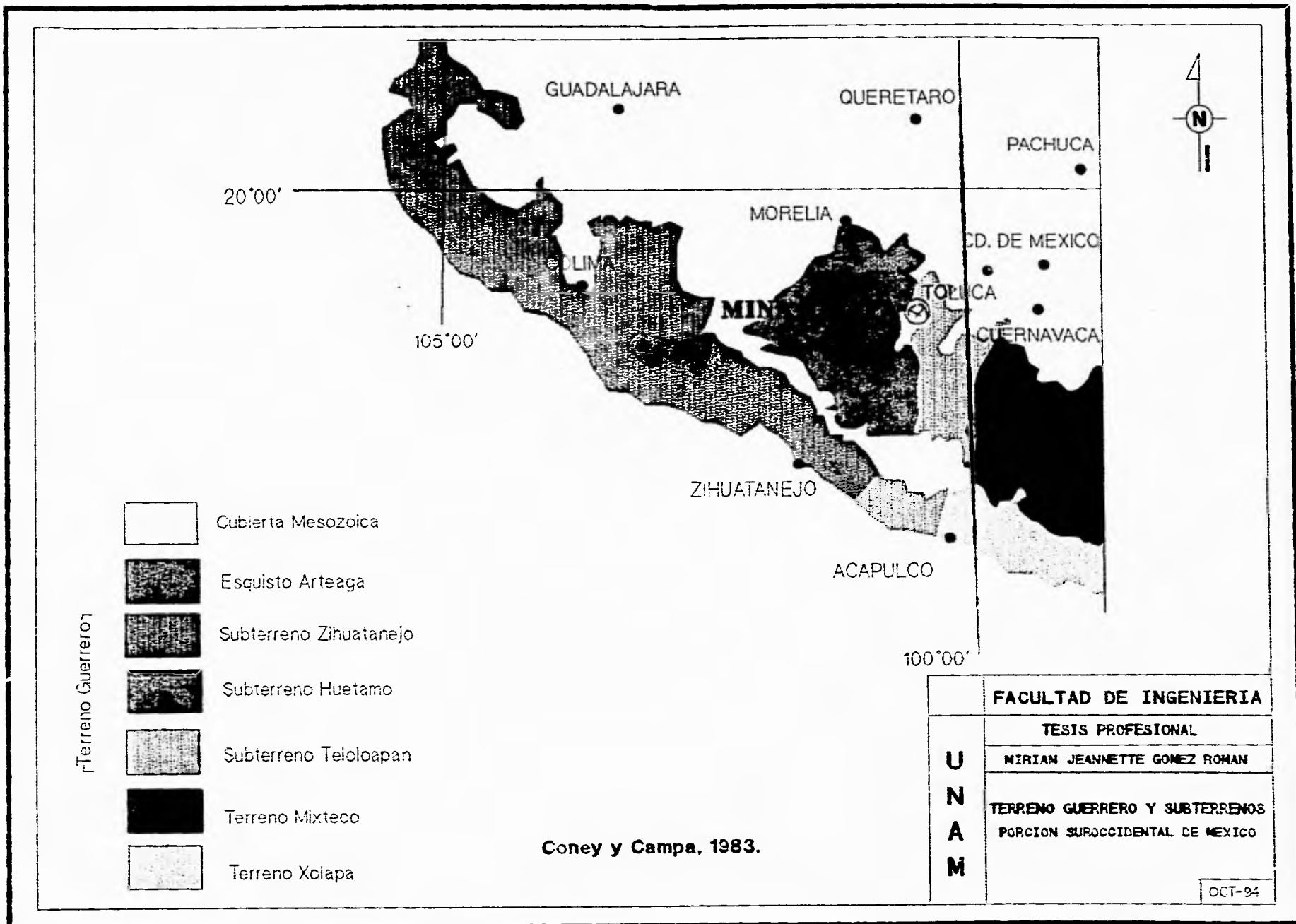


FIGURA No. 4

## **III. GEOLOGIA DEL YACIMIENTO**

### **III.1 INTRODUCCION**

Los cuerpos mineralizados de Tizapa se encuentran encajonados en una secuencia vulcanosedimentaria afectada por un metamorfismo de bajo grado en facies de esquistos verdes.

La mineralización aflora en el cauce del arroyo Tizapa; en los socavones se observa en forma de cuerpos lenticulares de sulfuros masivos y sulfuros diseminados, dispuestos concordantemente a la foliación de la roca encajonante la cual está compuesta localmente por una interdigitación de filitas grafiticas y esquistos de clorita, biotita, muscovita y cuarzo feldespáticos. En los cuerpos mineralizados se conocen fallas normales e inversas sufriendo los cuerpos desplazamientos locales, plegamiento y brechamiento a pequeña escala.

El yacimiento está formado por una serie de mantos que se extienden en concordancia con el plano de estratificación del protolito (sedimentos vulcanoclásticos interestratificados con calizas y areniscas), de acuerdo a su posición estratigráfica destacan tres niveles de mineralización que corresponden al nivel superior, medio e inferior, la roca encajonante varía de acuerdo al nivel de mineralización.

El principal control de la mineralización, son los planos de foliación, tanto en las filitas grafiticas como en los esquistos.

### **III.2 ESTRATIGRAFIA**

Debido al metamorfismo y las deformaciones que han sufrido estas unidades es difícil ubicar su posición estratigráfica real ya que no se diferencian las estructuras primarias de las rocas, por lo que únicamente se describen tomando como referencia su posición estructural desde la base a la cima. ( Figura No.5 y No. 6)

# LEYENDA

Depósitos de talud y aluvion

## ROCAS IGNEAS

Basaltos de olivino  
 Riolitas  
 Diorita de hornblenda  
 Diques félsicos

## ROCAS METAMORFICAS

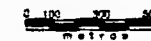
Formación Amatepec  
 Metacalizas grises  
 Filitas gráficas  
 Metafelsita  
 Esquistos  
 Metarriolita Las Huertas  
 Esquistos de Tremolita - Actinolita  
 Esquistos Cuarzo - feldespáticos  
 Augengneis Cuarzo - feldespático

## SIMBOLOS GEOLOGICOS

Rumbo e inclinación de la estratificación  
 Rumbo e inclinación de la foliación regional  
 Contacto geológico  
 Falla normal  
 Falla inversa

## SIMBOLOS TOPOGRAFICOS

Casa aislada  
 Mina Tizapa  
 Area de estudio



Modificado de Parga Pérez, 1981.

## FACULTAD DE INGENIERIA

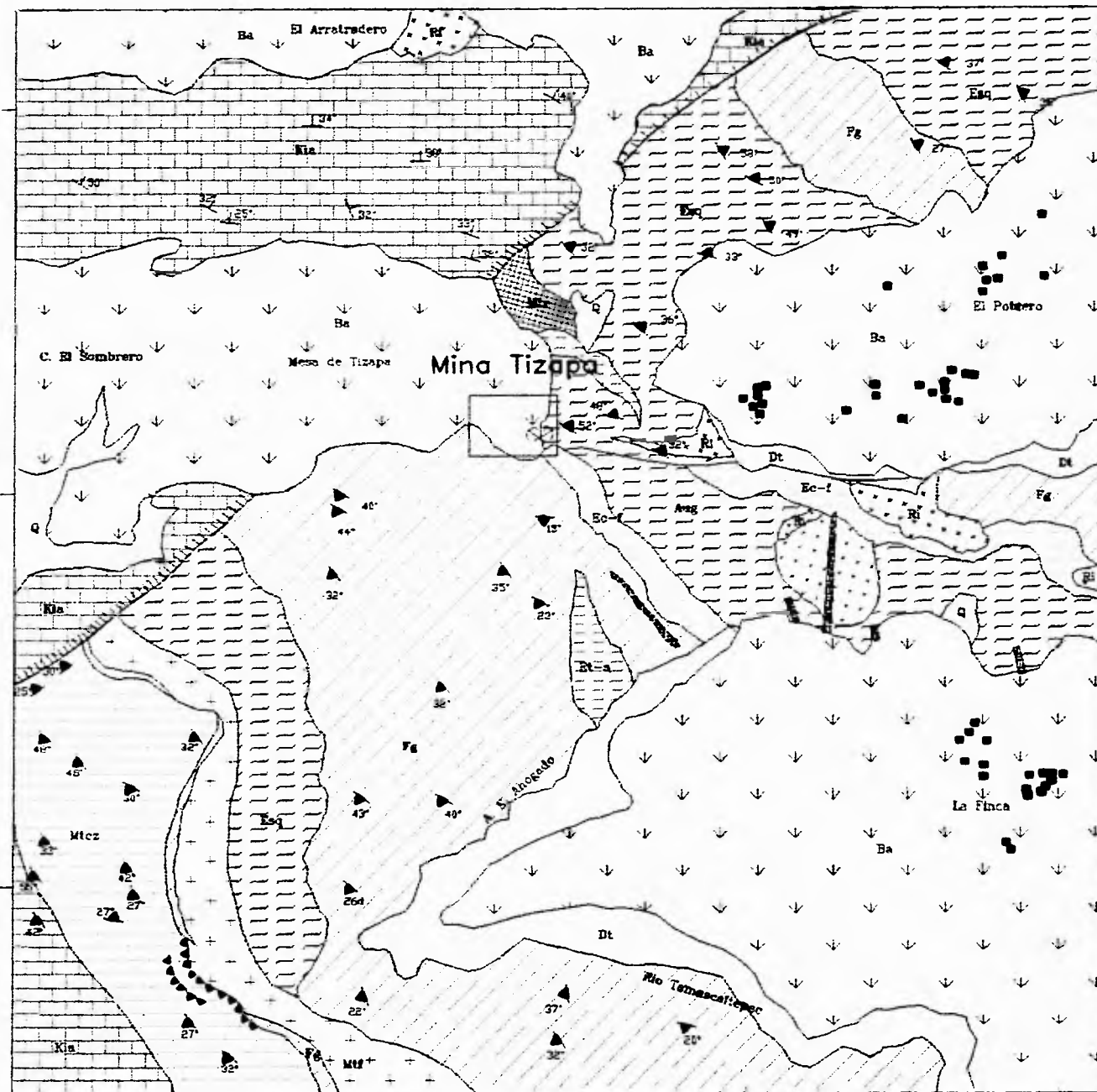
TESIS PROFESIONAL

MIRIAM JEANNETTE GOMEZ ROMAN

MAPA GEOLOGICO  
TIZAPA, EDO. DE MEXICO.

NOV - 94

U  
N  
A  
M





### **III.2.1 ROCAS METAMORFICAS**

#### **AUGENGNEIS CUARZO FELDESPATICO**

Se considera el basamento de la secuencia, su distribución en el área es limitada en algunas partes del arroyo Frio y El Ahogado, a unos 500 m al sureste de la mina Tizapa. Su espesor es desconocido, la base no está expuesta y el contacto superior con la siguiente unidad es tectónico para el área de Tizapa, Elías Herrera (1990), propone una zona de cizallamiento, observándose unos 70 m de ultramilonita.

Por las relaciones de campo y laboratorio se comprobó la presencia de ultramilonitas que cambian transicionalmente al augengneis, la que se considera como la milonita.

El augengneis es color gris claro con tonos verdosos que intemperiza a pardo claro, estructura masiva, compacta, de textura gnéisica con porfidoblastos de feldespato y cuarzo. Al microscopio exhibe una textura lepidoblástica, granoblástica y de augen. Como minerales esenciales tiene: cuarzo, microclina, oligoclasa, los minerales accesorios son biotita, muscovita, clorita, rutilo y pirita. La matriz está constituida de cuarzo, biotita, muscovita y minerales arcillosos; el cuarzo exhibe extinción ondulante y las micas flexionamientos, su composición petrológica es granodiorítica; Parga (1981) reporta inclusiones de esquistos de almandino - biotita de metamorfismo medio en facies de anfibolita.

#### **ESQUISTOS CUARZO FELDESPATICOS**

Los esquistos sobreyacen al augengneis en apariencia concordante en contacto tectónico (Elías Herrera, 1990); el contacto superior es transicional. Esta unidad se distribuye en una porción del cauce de los arroyos El Ahogado, Tizapa, Frio y Agua Salada. El espesor aproximado es de 120 m (Parga, 1981). La roca es color gris blanco que intemperiza a pardo rojizo, de estructura compacta, textura esquistosa. Microscópicamente exhibe textura lepidoblástica en parte granoblástica, los minerales esenciales son cuarzo, microclina; como minerales accesorios biotita, trazas de muscovita, óxidos de hierro. Presenta bandeamiento alternando 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.

### **ESQUISTOS DE CLORITA, MUSCOVITA Y BIOTITA**

Es un paquete heterogéneo de esquistos de clorita, muscovita y biotita que gradúan hacia su cima a filitas sericiticas con intercalaciones de filita grafitica y metacalizas (Parga, 1981). Su distribución es amplia e irregular, los afloramientos donde se observa esta unidad es sobre el lecho del arroyo el Campanario, Lampazos, San Pedro , El Ahogado y en la parte suroeste de la sierra de la Pila. La relación que guarda con las otras unidades es concordante; se encuentra en contacto con las metacalizas por falla normal y discordante con los derrames basálticos, se estima un espesor aproximado para esta unidad de 1500 m (Parga, 1981).

La roca es de color verde, gris claro con tonos amarillentos, de estructura semicompacta a fisil, textura esquistosa bien desarrollada, muestra bandeamiento de minerales ferromagnesianos con cuarzo - feldespato. Al microscopio exhibe textura lepidoblástica; los minerales esenciales que se observan son: cuarzo, microclina y como minerales accesorios: muscovita, biotita, clorita y minerales opacos (pirita y esfalerita). La mineralogía presenta orientación preferencial, el cuarzo muestra extinción ondulante además de fracturamiento, los contactos entre los cristales son de tipo suturado, las micas están deformadas exhiben flexionamientos algunas con fracturas, además de cristales anedrales de microclina.

El posible protolito son: tobas de composición básica e intermedia con intercalaciones de sedimentos pelíticos y lodos calcáreos.

En este paquete de esquistos se emplazaron algunos de los mantos de sulfuros masivos, como es el caso del nivel inferior de mineralización (Cuerpo L).

En 1991, los geólogos de Japan International Cooperation Agency y Metal Minig Agency of Japan realizaron estudios geocronológicos a 3 muestras de sulfuros a partir de valores isotópicos de Pb por medio del modelo de etapa simple, de los cuales se obtuvieron resultados con las siguientes edades: 156.3 M a (Oxfordiano tardío), 128.7 M a (Hauteriviano) y 103.4 M a (Albiano)

(JICA, 1993); por otra parte Sánchez Zavala (1993) por el modelo de dos etapas obtuvo los siguientes resultados: 156.3 M a (Oxfordiano tardío), 227.5 M a (Carniano), 188.3 M a (Toarciano).

Muestra	Isótopos de Pb (%atom)				$m = (207\text{Pb}/204\text{Pb} - 10.294) /$	Edad	$m = (207\text{Pb}/204\text{Pb} - 12.998) /$	Edad
	204 Pb	206 Pb	207 Pb	208 Pb	$(206\text{Pb}/204\text{Pb} - 9.307)$		$(206\text{Pb}/204\text{Pb} - 11.152)$	
Mex - 1	1.354	25.199	21.216	52.231	0.5777	$0.1034 \times 10^9$	0.3581	$0.1563 \times 10^9$
Mex - 2	1.348	25.187	21.207	52.258	0.5799	$0.1287 \times 10^9$	0.3629	$0.2275 \times 10^9$
Mex - 3	1.351	25.191	21.208	52.250	0.5823	$0.1563 \times 10^9$	0.3602	$0.1883 \times 10^9$

Tabla No. 1 Datos isotópicos de Pb de la mena de sulfuros masivos.

La diferencia es debido a la relación isotópica del plomo inicial ( $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ) hace 4570 M a y 3700 M a (Faure, 1986); además se debe considerar la edad del basamento (comunicación personal de Peter Shaaf).

Relación isotópica del Pb		
Tiempo M a	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
$4.57 \times 10^9$	9.307	10.294
$3.70 \times 10^9$	11.152	12.998

Tabla No. 2 Modelo de evolución del Pb (Stacey y Kramers, 1975)

La edad modelo del yacimiento por la etapa simple es Jurasico Superior - Cretácico Inferior y por el modelo de dos etapas es Triásico Tardío - Jurasico Superior. Estas edades son modelo y deben considerarse como tal, siendo tan válida una como la otra.

## ESQUISTOS DE TREMOLITA ACTINOLITA

Su distribución es irregular formando estructuras lenticulares, se encuentran emplazados en la filita gráfita así como también en el paquete de esquistos de clorita, muscovita y biotita. Aflora sobre el lecho del arroyo El Ahogado a unos 50 m al sur de donde se une el anterior con el arroyo Frio. La relación que guarda este paquete de esquistos y la filita gráfita es concordante (Parga, 1981).



Los esquistos son de color verde a gris verdoso intemperizando a pardo rojizo con foliación bien definida. Microscópicamente está formada por bandas de tremolita -actinolita con intercalaciones de cuarzo, andesina como minerales esenciales; en menor cantidad epidota, esfena, ilmenita, magnetita, pirita y hematita como minerales accesorios (Parga, 1981).

La posible fuente de ésta unidad son: tobas o lavas de composición intermedia interestratificadas con sedimentos pelíticos carbonosos.

### **FILITAS GRAFITICAS**

Se localizan en el arroyo Tizapa y zonas adyacentes; descansan en concordancia sobre los esquistos de clorita, muscovita y biotita; subyacen a la unidad de conglomerados basales (constituidos por brechas y depósitos epiclásticos). Su espesor es variable de 0.05 a 30 m, en ocasiones está interdigitado con los esquistos de muscovita, clorita y biotita, se incrementa hacia el NW donde Parga et al (1981) proponen la presencia de un anticlinal buzante en esa dirección.

La importancia de esta unidad se da en el contacto entre la filita grafitica y los esquistos de clorita, muscovita y biotita donde se emplazaron los mantos de sulfuros masivos concordantes a la foliación y corresponden al nivel medio de mineralización (cuerpo M), así también dentro de la filita grafitica se depositaron cuerpos de dimensiones pequeñas (cuerpo U), que representan el nivel superior de mineralización.

La roca es de color negro mate a brillante en superficie fresca, intemperizada adquiere un aspecto terroso con tonalidades rojizas. Tiene gran cantidad de segregaciones en formas de lentes de cuarzo, estructura compacta a deleznable, no presenta un plano de foliación regular y se observan ocasionalmente micropliegues de arrastre, isoclinales con flancos paralelos a la foliación.

Al microscopio las filitas presentan textura lepidoblástica, en parte granoblástica. Como minerales esenciales se observan: cuarzo y grafito; los minerales accesorios son muscovita, pirita (anedral y euedral), magnetita, zircón e ilmenita; y minerales de alteración

como la sericita, hematita y calcita. La mineralogía muestra una orientación preferencial, el grafito y la muscovita se presentan en forma de bandas intercaladas con cristales granoblásticos de cuarzo.

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 et al, 1981).

Es factible que el protolito fueron sedimentos pelíticos con diferentes cantidades de materia orgánica.

### **METARIOLITA LAS HUERTAS (no aflora en el área de estudio)**

Nombre informal que dió Parga (1981) a un litosoma metariolítico expuesto en el área conocido como Las Huertas la cual se localiza entre los arroyos de San José, El Ahogado y la Mesa de Tizapa, se observa en la parte más alta de la sierra de San Lucas del Maiz y puede seguirse a rumbo 10 km al NW hasta llegar a la falda septentrional del cerro de La Pila donde se encuentra cubierto por derrames basálticos. Con respecto a las demás unidades está emplazada concordantemente en el paquete de esquistos clorita, muscovita y biotita, en contacto por falla normal con la metacaliza y discordante con los derrames basálticos - andesíticos.

La roca es compacta con foliación bien definida, color blanco aperlado en tonalidades de amarillo a crema. En muestra de mano se reconoce cuarzo, muscovita y óxidos de hierro, al microscopio muestra una textura lepidoblástica, definida por bandas paralelas de cuarzo y muscovita con algunos porfidoclastos de feldespato potásico, los minerales accesorios son: zircón, pirita, ilmenita y minerales de alteración sericita, hematita ( Parga,1981).

## **III.2.2 ROCAS IGNEAS INTRUSIVAS**

Se diferenciaron o identificaron como rocas intrusivas un tronco de composición diorítica y diques de composición diversa, los cuales se encuentra emplazados en la secuencia metamórfica en diferentes niveles estructurales.

### **CUERPOS DIORITICOS (no aflora en el área de estudio)**

Este intrusivo se encuentra localizado en la parte sur de la mina de Tizapa, intrusiva a la secuencia metasedimentaria. Roca compacta de color verde oscuro que intemperiza a color pardo, de estructura dómica y textura fanerítica holocristalina. Sus

minerales esenciales son: cuarzo, oligoclasa- andesina; los minerales accesorios son hornblenda, clorita, magnetita, zircón y como minerales secundarios minerales arcillosos (Parga , 1981).

### **DIQUES APLITICOS**

Se distribuye en el arroyo Tizapa y en el cerro de los Pinos, su relación con las otras unidades es discordante, intrusiona al augengneis, al esquistos cuarzo - feldespático y tronco de diorita. Es una roca compacta de color blanco con tonalidades a crema por intemperismo, exhibe textura afanítica , el espesor es de 0.5 a 2 m, la extensión longitudinal varía de unos cuantos metros hasta 600 m. El rumbo es N-NW y su inclinación cercana a los 90° (Parga Pérez, 1981).

Su mineralogía es de cuarzo, feldespato, turmalina y óxidos de hierro.

### **MICROGRANITOS (no aflora en el área de estudio)**

Se distribuyen sobre la margen del arroyo el Ahogado con un rumbo general NW - SE, la relación con las otras unidades es discordante, de contactos de forma irregular. Se presenta como pequeños cuerpos de color gris claro a blanco, que intemperizan a tonalidades rojizas, presentan una estructura compacta. Microscópicamente exhibe textura holocristalina porfídica de grano fino, con los siguientes minerales esenciales: oligoclasa - andesina, cuarzo, microclina; como minerales accesorios: biotita con trazas de apatito, clorita y magnetita. (Parga et al, 1981).

## **III.2.3 ROCAS IGNEAS EXTRUSIVAS**

Están representadas por derrames de andesitas y basaltos de olivino, además de pequeños afloramientos de riolitas de estructura fluidal.

## **RIOLITA**

Se distribuyen al oriente de la mina de Tizapa y en la barranca de Agua Salada.

Afloran tres cuerpos, el principal emplazado a lo largo de la cresta del cerro Pinos, el espesor es variable de 1 a 20 m, muestra una zona de brechamiento (10 - 20 cm) en el contacto de los esquistos y la filita grafitica. Es una roca de color gris que intemperiza a color pardo rojizo, estructura compacta, fluidal y textura afanítica. Los minerales esenciales son: cuarzo y sanidino, como minerales accesorios: magnetita y zircón, los minerales de alteración son sericita, hematita, limonita. Además contiene xenolitos de esquistos (Parga, 1981).

## **DERRAMES ANDESITICOS - BASALTICOS PLIOCUATERNARIOS**

Se distribuyen en la región de Tenayac - Tizapa formando mesas. La relación que guardan con las otras unidades es discordante, son rocas compactas de color gris oscuro intemperizadas a color pardo rojizo, muestran estructura compleja, hacia la base muestra partes brechadas y hacia la cima presentan una forma masiva.

El espesor es variable desde 5 a 85 m en la Mesa de Tizapa, con textura vesicular, amigdaloidal 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 mineral accesorios olivino, hiperstena y magnetita ( Parga, 1981).

## **III.2.4 ROCAS SEDIMENTARIAS**

### **CONGLOMERADO PETROMICTICO**

Esta discordante al paquete de esquistos y a la filita grafitica, está cubierto por los derrames basálticos de la Mesa de Tizapa. Está constituido de fragmentos de riolita, esquistos y filitas, de baja compactación en una matriz areno - arcillosa, las partículas son subangulosas. Esta roca presenta un espesor aproximado de 10 - 20 m.

## **DEPOSITOS RECIENTES**

Son depósitos de talud y aluvión formado de fragmentos de las rocas antes mencionadas. Discordante a los derrames basálticos.

## **III.3 DESCRIPCION DE LOS CUERPOS MINERALIZADOS**

El yacimiento de Tizapa está formado por una serie de cuerpos lenticulares de sulfuros masivos polimetálicos; dispuestos concordantemente a la foliación de la roca encajonante. Se divide en tres niveles de mineralización de acuerdo a su posición estratigráfica - estructural correspondiendo al nivel inferior (L), medio (M) y superior (U). (Figura No. 7)

Los cuerpos se extienden lateralmente 300 m en dirección Oriente - Poniente y 400 m de Norte a Sur. (Figura No. 8). Respecto a los límites de los cuerpos no se conoce por no haber posición favorable para la barrenación debido a la topografía.

a) Nivel inferior de mineralización. Cuerpo L1, es un manto de sulfuros masivos y disseminados dispuestos concordantemente a la foliación de esquistos de muscovita - cuarzo - feldespato y esquistos de muscovita - cuarzo - feldespato y clorita. El cuerpo está ubicado a una profundidad de 200 a 250 m con respecto a la Mesa de Tizapa, presenta continuidad lateral aproximadamente de 150 m, se extiende hacia el NNW y aumenta gradualmente su profundidad.

b) Nivel medio de mineralización. Cuerpo M son una serie de mantos dispuestos concordantemente a la foliación, yacen en el contacto de la filita grafitica y los esquistos de muscovita - clorita, esquistos de muscovita - cuarzo - feldespato. Se divide en tres unidades: cuerpo M0, M1 y M2, con continuidad lateral aproximada de 300m de Este a Oeste, se extiende hacia el NNW y aumenta gradualmente a profundidad. El cuerpo está a una profundidad de 110 a 180 m. El cuerpo M1 y M2 están separados verticalmente a unos 9 m.

c) Nivel superior de mineralización. Cuerpo U son una serie de mantos de dimensiones pequeñas, emplazados concordantemente en filitas grafiticas, son de escasa continuidad lateral, están ubicados a un profundidad de 36 a 76 m, con respecto a la Mesa de Tizapa.

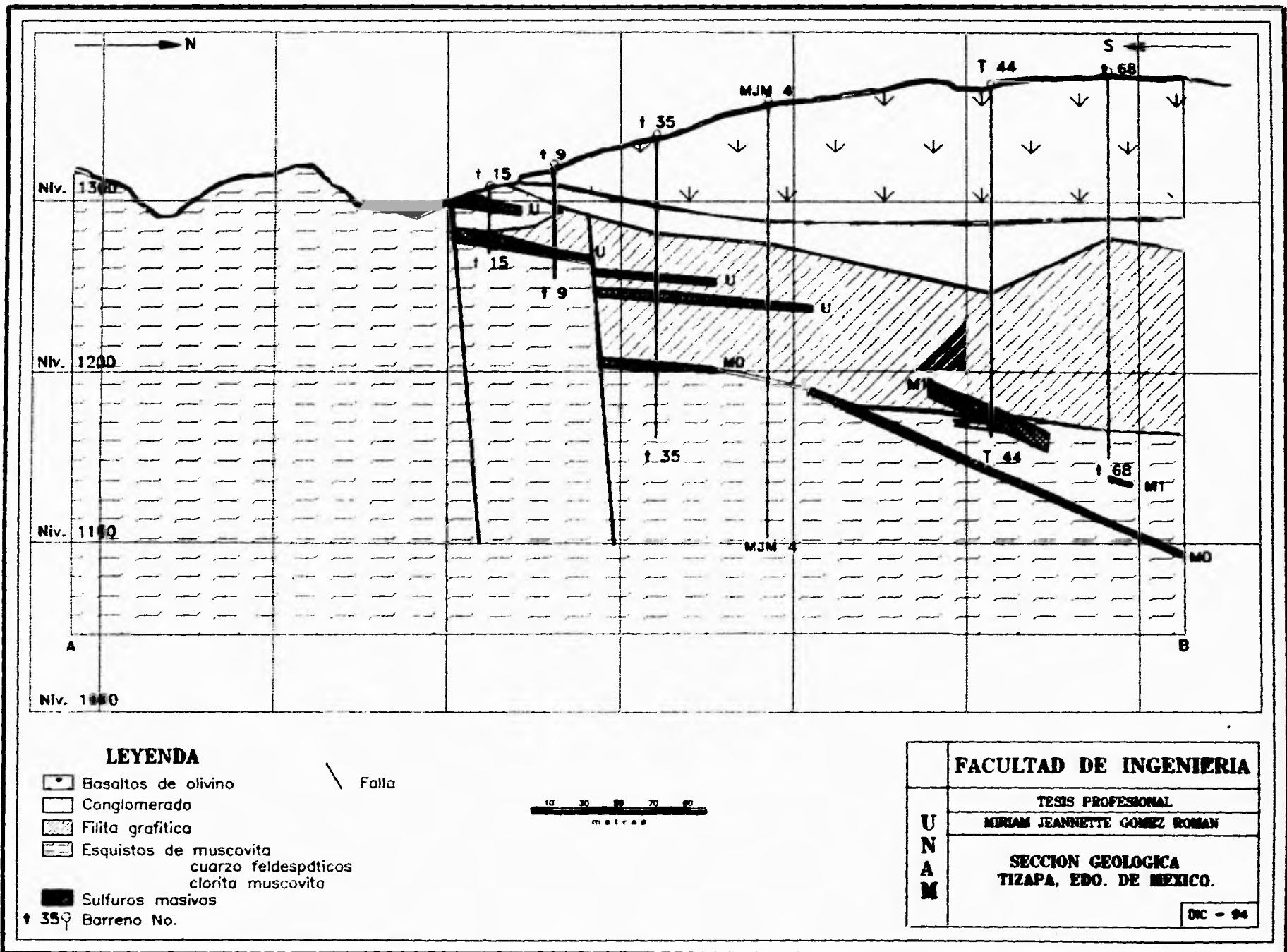


FIGURA No. 7



Los límites de los lentes de sulfuros con la roca encajonante son transicionales, el esquisto exhibe mineralización diseminada en varias partes de la columna; el principal control de mineralización son los planos de foliación tanto en la filita grafitica como en los esquistos.

Los cuerpos exhiben una tendencia general de buzamiento al noroeste.

### **III.3.1 MANTO INFERIOR (L)**

El cuerpo L1 se distribuye dentro de una área limitada en la parte oriente de la zona, es un manto que está emplazado en esquistos de cuarzo - feldespato- muscovita y clorita. Exhibe fracturamiento preferencial al NW 36° (Figura No.9). El espesor mínimo es de 4.0 m y el máximo es de 17.15 m, comportándose de forma irregular, los valores mayores de isopacas se localizan en la parte sur del cuerpo, de la parte centro hacia el norte el espesor es más o menos regular conservándose en 12 m . (Figura No.10)

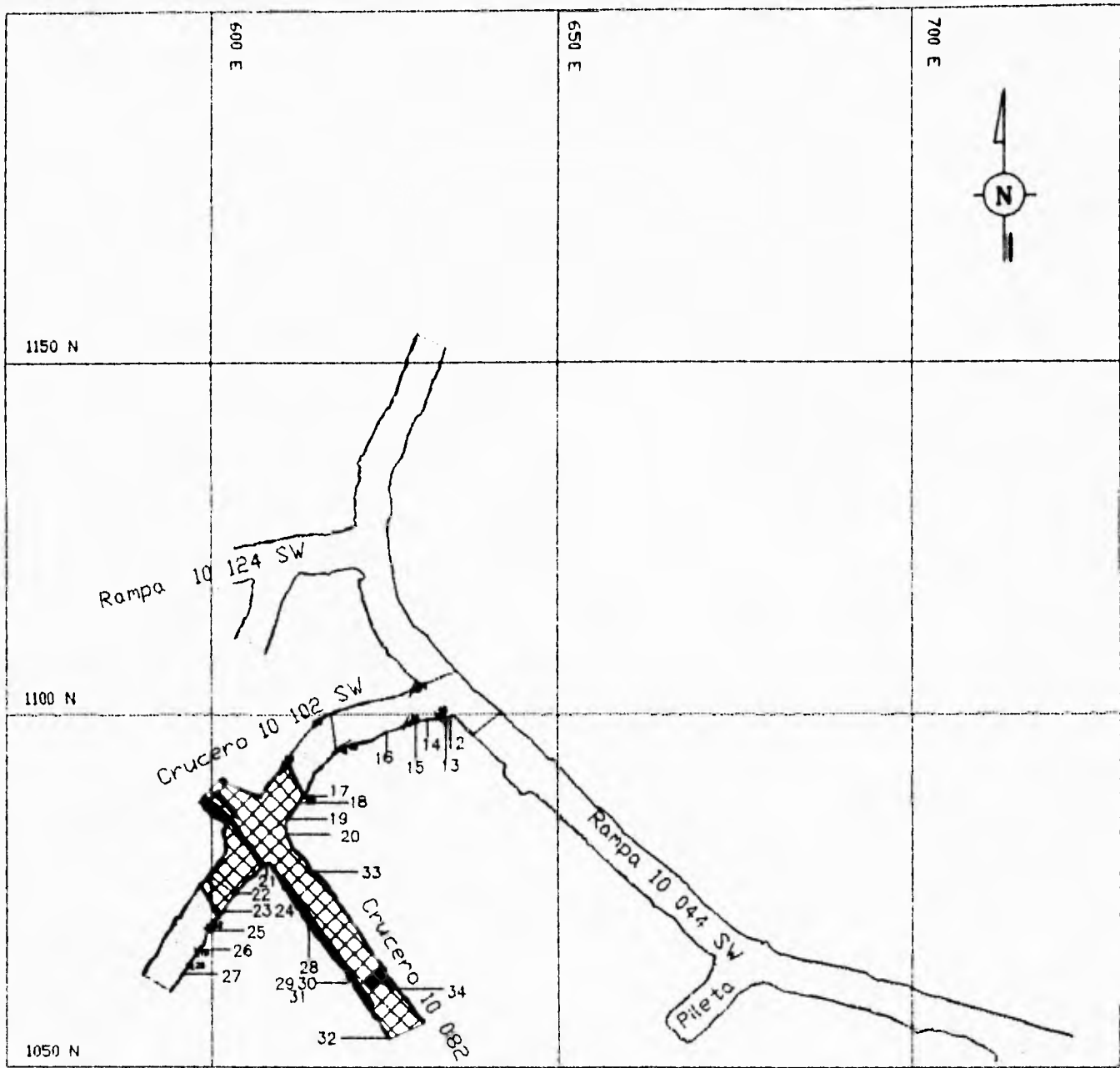
El cuerpo tiene un rumbo NNW con buzamiento al N - NE; el cuerpo se extiende a profundidad, de buena continuidad lateral extendiéndose aproximadamente 150 m de Este a Oeste y 350 m de Norte a Sur. En la parte sur está cortado por una falla normal.

### **III.3.2 MANTO MEDIO (M)**









Se considera como el macizo principal y yace en el contacto de la filita grafitica y esquistos de cuarzo - feldespato - muscovita y clorita. Se divide en tres mantos, siendo los principales cuerpos M0, M1 y M2; presentan suaves plegamientos de dirección Oriente - Poniente y buzamientos suaves hacia el Norte - Noreste, con continuidad al NNW extendiéndose a profundidad.

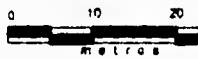
El cuerpo M0 se distribuye lateralmente 300 m en dirección oriente - poniente y 300 m de Norte a Sur; el espesor mínimo cortado es de 2.00 m y el máximo de 17.55 m. Los valores mayores de isopacas están ubicados en la parte noroeste del cuerpo con valores de 17 m y disminuye hacia la parte centro llegando a un espesor de 4 m, en la parte oriental se mantiene en 4m de forma constante y encontrando los valores más bajos hacia la porción noreste (2 m). (Figura No. 11)





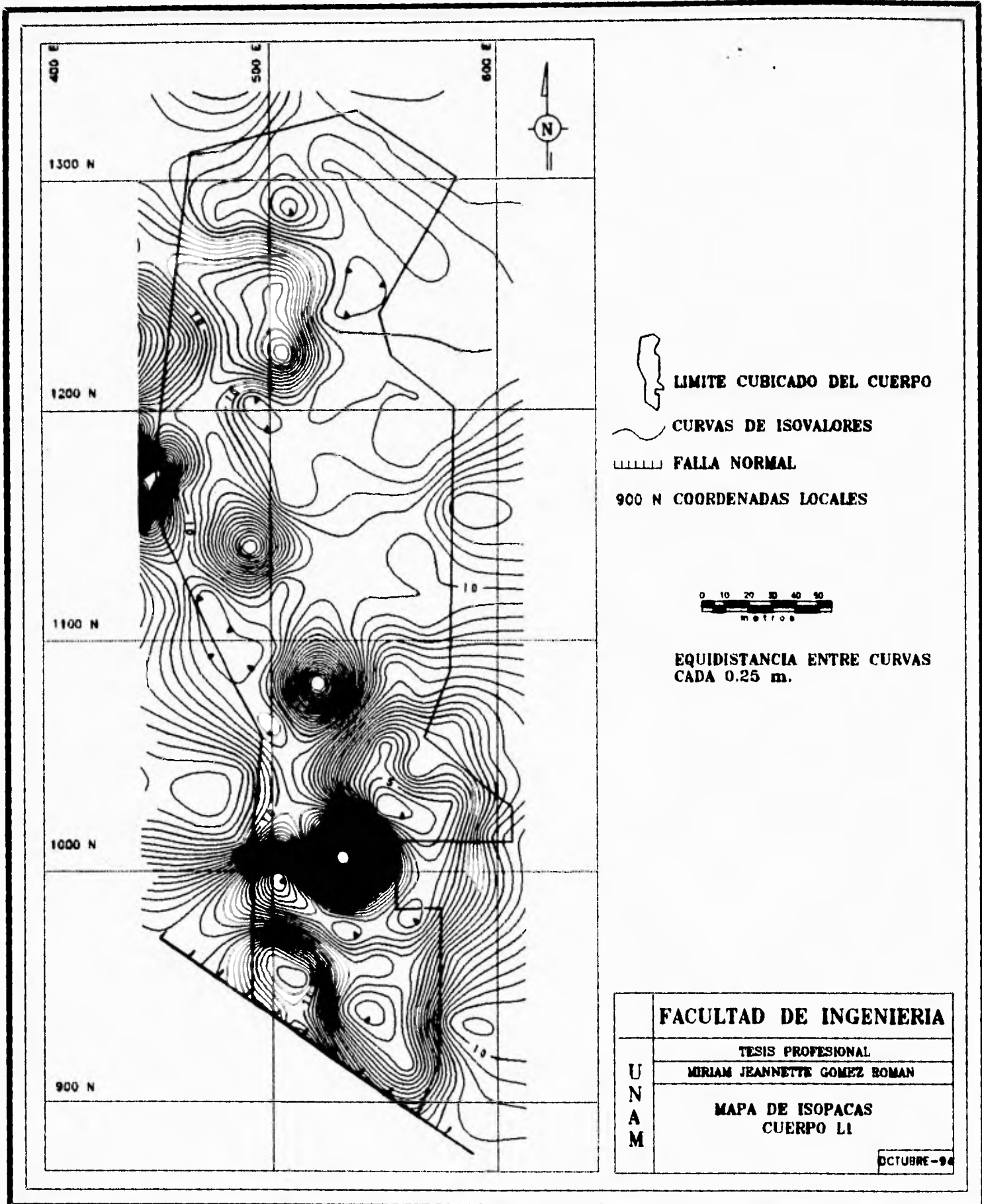
**LEYENDA**




-  ESQUISTOS CON DISMINUCION
-  SULFUROS MASIVOS
-  FILITA GRAFITICA
-  ESQUISTOS DE MUSCOVITA  
CUARZO - FELDSPATO
-  RUMBO Y BICHADO DE LA FOLIACION
-  FRACTURA
-  36 NUMERO DE MUESTRA
-  900 COORDENADAS LOCALES

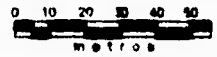


U N A M	<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>
	TESIS PROFESIONAL
	MIRIAM JEANNETTE GOMEZ ROMAN
	<b>CRUCERO 10 102 SW CUERPO L1</b>
	OCTUBRE-94

FIGURA No. 9



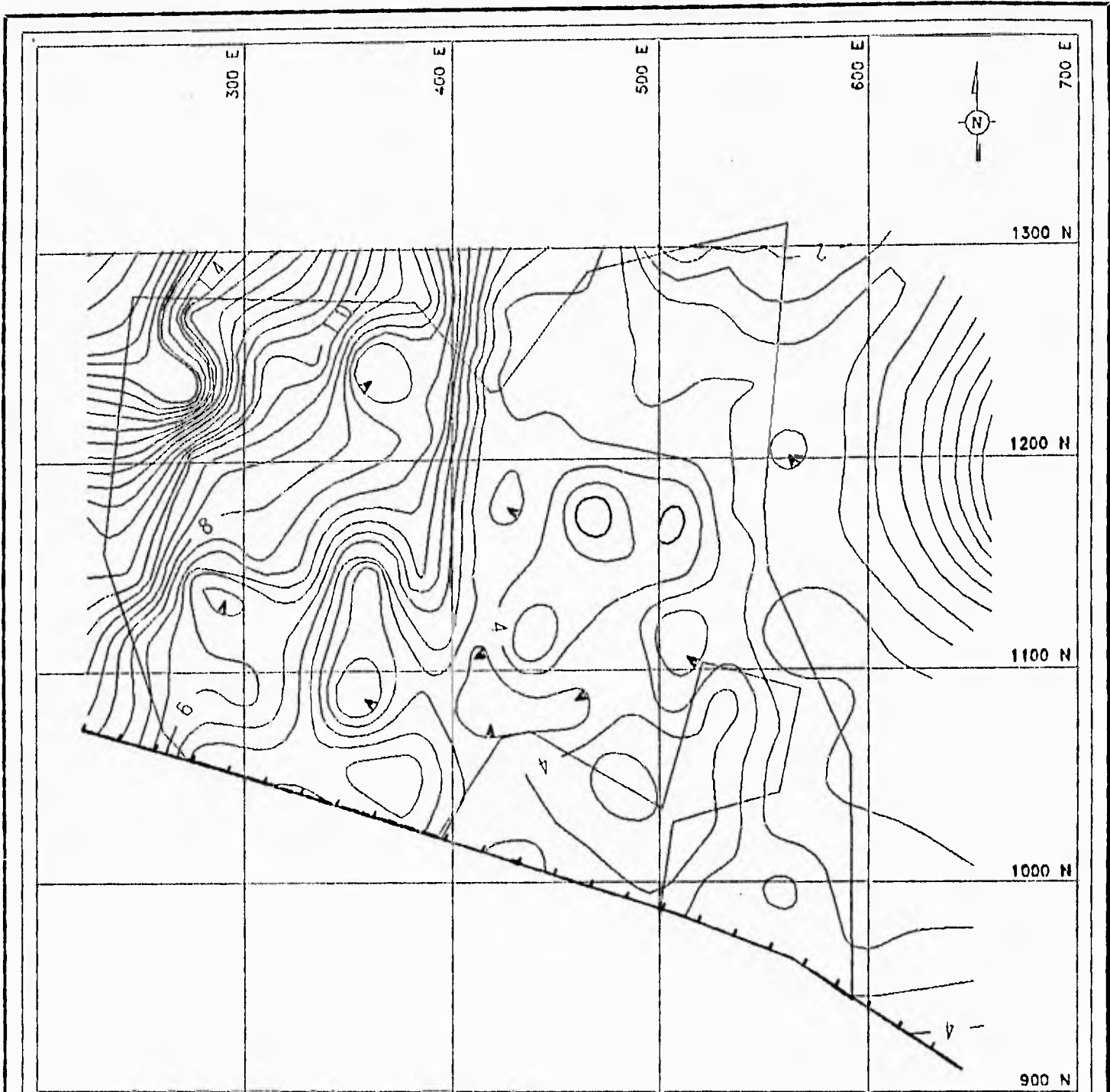
 **LIMITE CUBICADO DEL CUERPO**  
 **CURVAS DE ISOVALORES**  
 **FALLA NORMAL**  
**900 N COORDENADAS LOCALES**




**EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS CADA 0.25 m.**

<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>	
<b>TESIS PROFESIONAL</b>	
<b>MIRIAM JEANNETTE GOMEZ ROMAN</b>	
<b>U N A M</b>	<b>MAPA DE ISOPACAS</b>
	<b>CUERPO LI</b>
<b>OCTUBRE-94</b>	

FIGURA No. 10

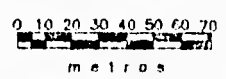


 LIMITE CUBICADO DEL CUERPO

 CURVAS DE ISOVALORES

 FALLA NORMAL

900 N COORDENADAS LOCALES



EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS  
CADA 0.5 m.

U N A M	<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>
	TESIS PROFESIONAL
	MIRIAM JEANNETTE GOMEZ ROMAN
<b>MAPA DE ISOPACAS CUERPO MO</b>	
OCTUBRE-04	

Cuerpo M1 se distribuye 160 m en dirección Este - Oeste y 400 m de Norte a Sur. Está ubicado en el nivel 1247; las rocas que lo encajonan son esquistos de cuarzo - feldespato - muscovita y filitas grafiticas con fracturamiento preferencial al NE 32°, moderado. Exhibe diseminación hacia la base y aumenta gradualmente hasta convertirse en sulfuros masivos. (Figura No.12)

El espesor mínimo del cuerpo es de 2.05 m y el máximo de 7.5 m, los valores mayores de isopacas están ubicados en la parte sur (7m) del cuerpo y disminuyen hacia la parte centro - norte a 4 m que continúan así en lo que resta del cuerpo. En la parte sur es cortado por una falla normal. (Figura No. 13)

Cuerpo M2 se distribuye 100 m en dirección Este - Oeste y 180 m de Norte a Sur; se localiza en el nivel 1238, está emplazado en esquistos de cuarzo - feldespato y muscovita, exhibe fracturamiento preferencial al NE 27°. (Figura No.14)

El espesor mínimo es de 2.20 m y el máximo de 8.84 m. Los valores mayores de isopacas están ubicadas en la parte norte del cuerpo alcanzando a 8.80 m y disminuye hacia la porción sureste llegando a 4 m. (Figura No.15)

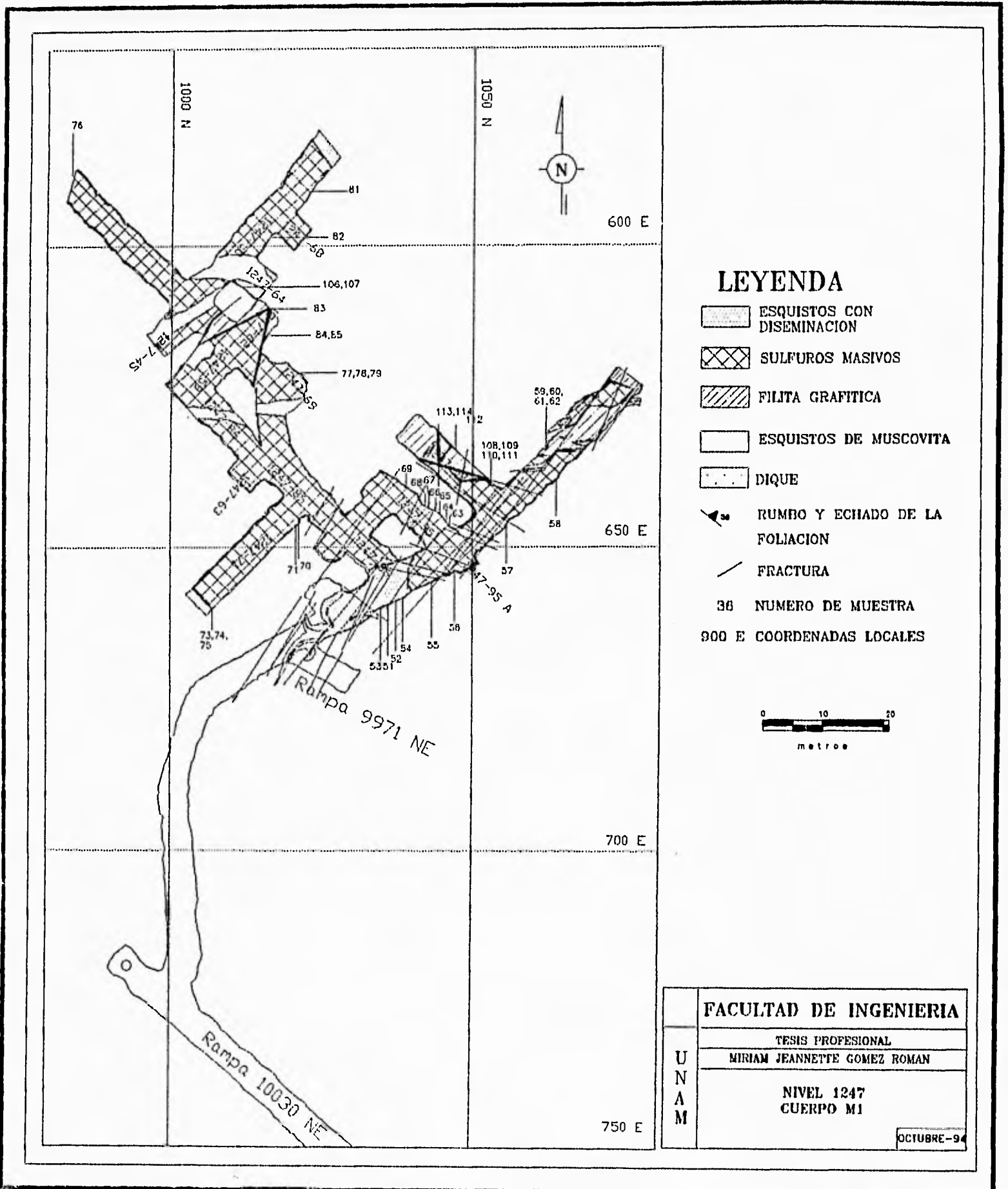
### **III.3.3 MANTO SUPERIOR (U).**

Consiste en una serie de cuerpos pequeños mineralizados discontinuos que se distribuyen en la parte oeste de la zona y yace dentro de filita grafitica . De los resultados de la información de barrenos el espesor máximo cortado es aproximadamente de 1.5 m.

Generalizando a nivel microscopio se observan pliegues de arrastre, "kink bands", boudinage, pliegues y microfallas cuyo origen está relacionado a procesos compresionales (Campa, 1978), (Parga, 1981).

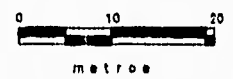
La foliación que se observa se encuentra asociada a procesos de deformación y metamorfismo, el grado de inclinación varía de 10° a 40° al NW y NE, la foliación que predomina es la generada durante la primera etapa de deformación (Parga et al, 1981).

De forma general se considera que los cuerpos son continuos con pequeños desplazamientos de 0.75 a 25.0 m, provocados por fallamiento normal e inverso, las deformaciones observadas son mínimas y muy locales, las cuales fueron provocadas por la diversas etapas de deformación.



### LEYENDA

- ESQUISTOS CON DISEMINACION
- SULFUROS MASIVOS
- FILITA GRAFITICA
- ESQUISTOS DE MUSCOVITA
- DIQUE
- RUMBO Y ECHADO DE LA FOLIACION
- FRACTURA
- 36 NUMERO DE MUESTRA
- 900 E COORDENADAS LOCALES



<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>	
TESIS PROFESIONAL	
MIRIAM JEANNETTE GOMEZ ROMAN	
<b>U N A M</b>	<b>NIVEL 1247</b>
	<b>CUERPO M1</b>
OCTUBRE-94	

FIGURA No. 12

**TESIS SIN PAGINACION**

**COMPLETA LA INFORMACION**

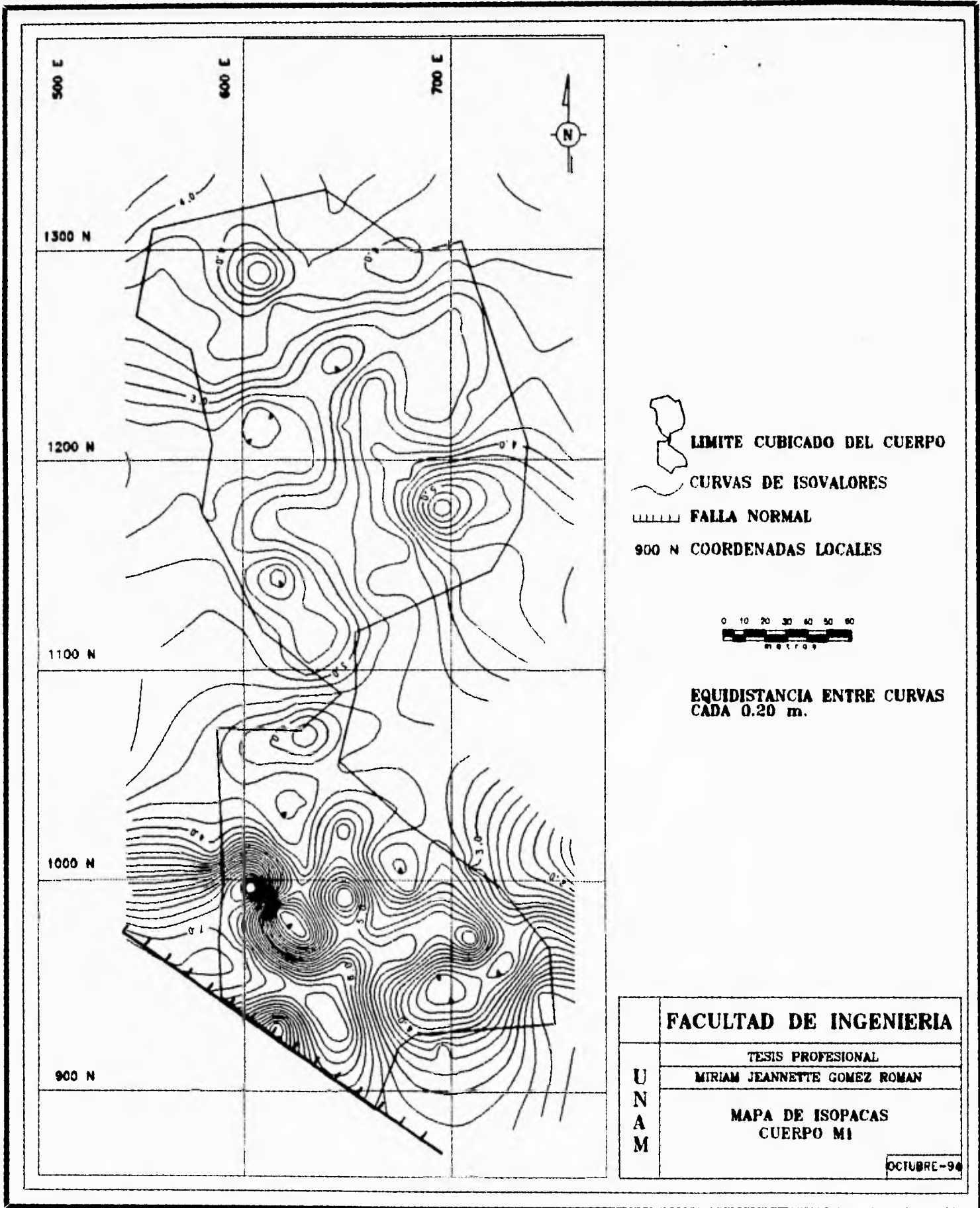
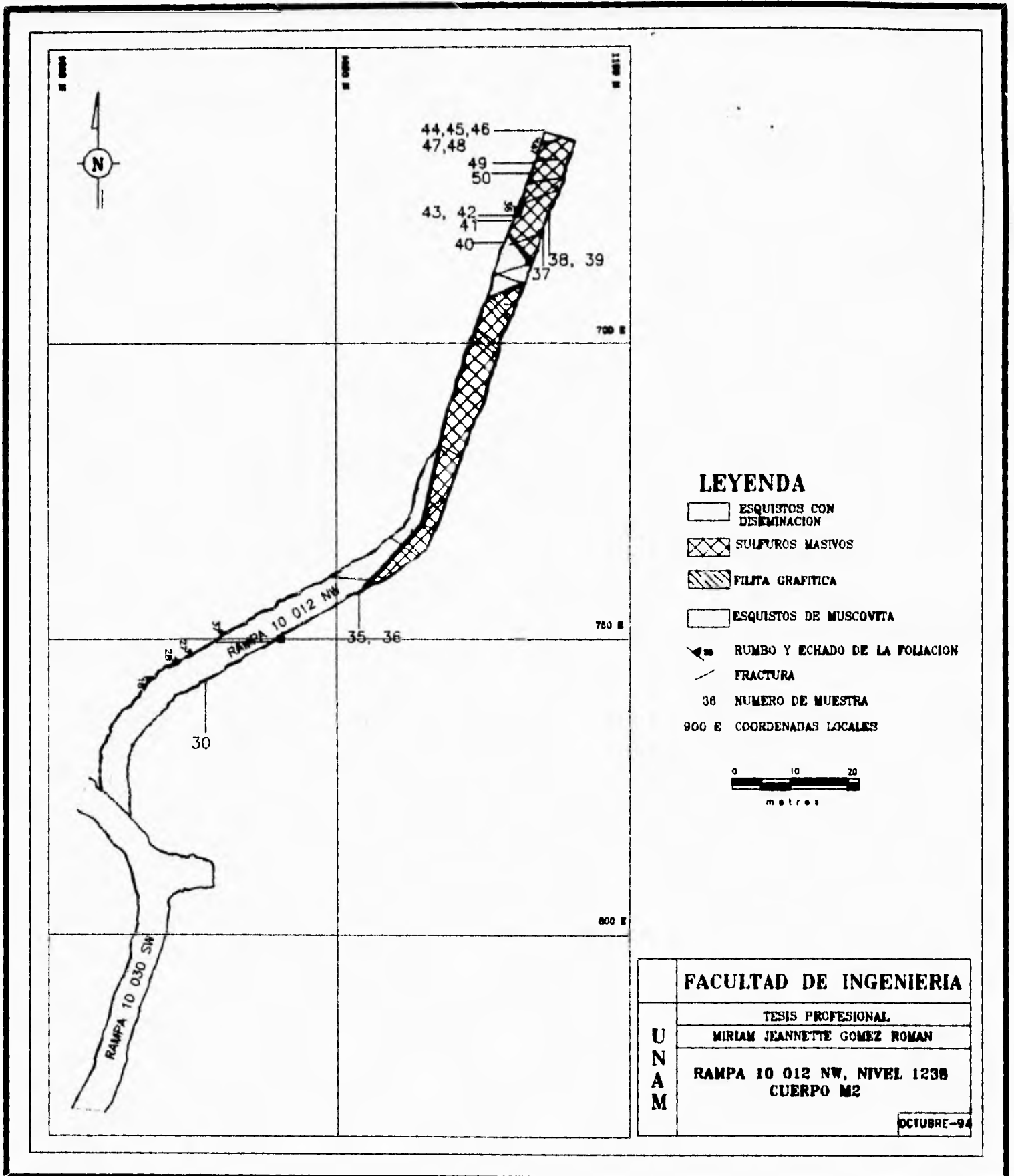






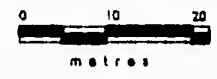


FIGURA No. 13



**LEYENDA**

-  ESQUISTOS CON DESMINACION
-  SULFUROS MASIVOS
-  FILITA GRAFITICA
-  ESQUISTOS DE MUSCOVITA
-  RUMBO Y ECHADO DE LA POLIACION
-  FRACTURA
- 36 NUMERO DE MUESTRA
- 800 E COORDENADAS LOCALES

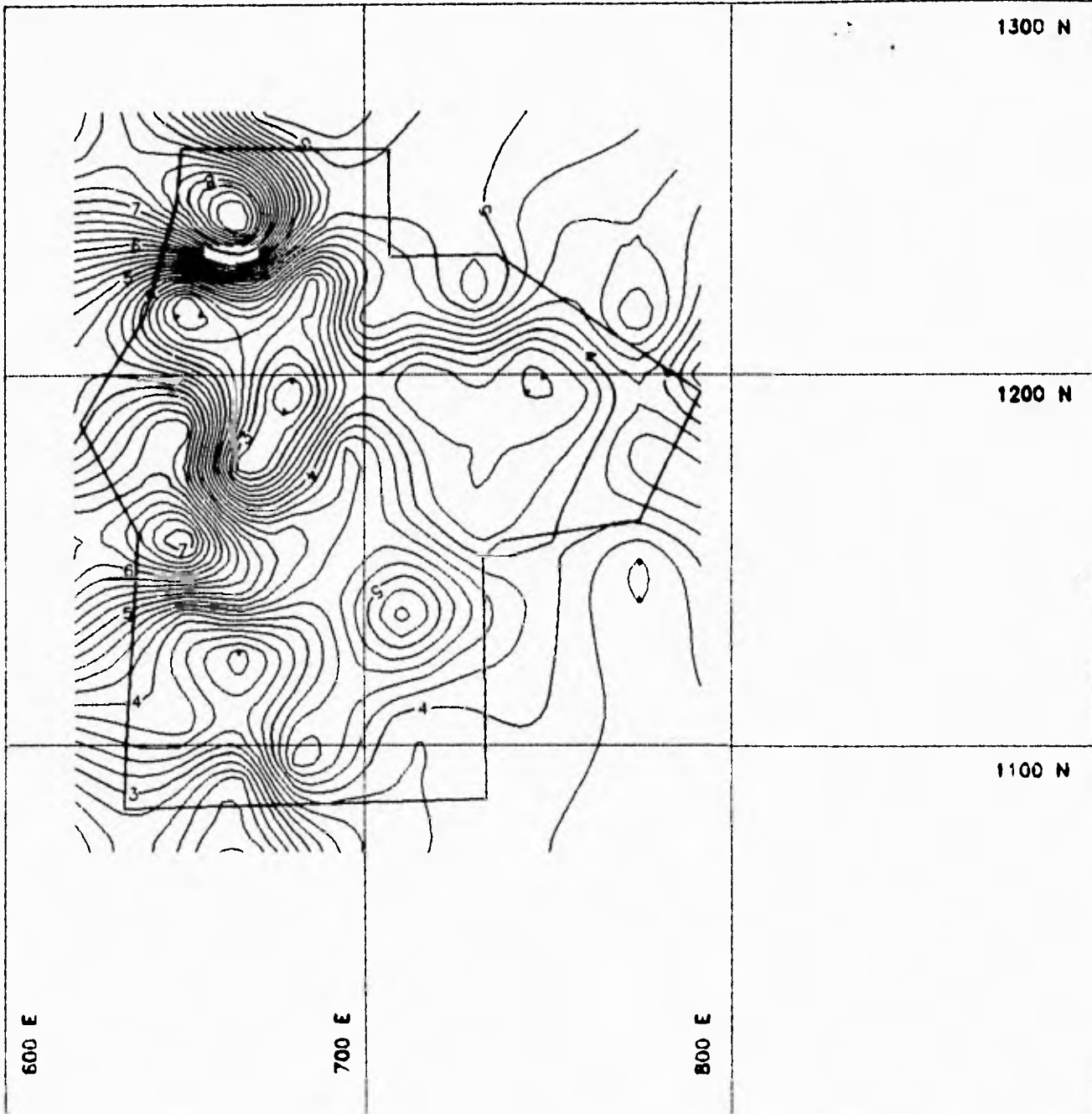


<b>U N A M</b>	<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>
	TESIS PROFESIONAL
	MIRIAM JEANNETTE GOMEZ ROMAN
	RAMPA 10 012 NW, NIVEL 1230 CUERPO M2

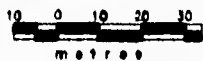
OCTUBRE-94

FIGURA No. 14





LIMITE ECONOMICO DEL CUERPO  
CURVAS DE ISOPACAS CADA  
0.2 m.



	<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>
	TESIS PROFESIONAL
	MIRIAM JEANNETTE GOMEZ ROMAN
<b>U N A M</b>	<b>MAPA DE ISOPACAS CUERPO M2</b>
	OCTUBRE - 94

FIGURA No.15

La dimensión de los cuerpos es variable tanto en espesor como en extensión, se encuentran cuerpos desde varios centímetros hasta 17.55 m de espesor y de extensión lateral aproximada de 400 m. El cuerpo de sulfuros más profundo está a 231 m en relación a la superficie de la Mesa de Tizapa y el más superficial a 75.65 m.

## **IV. MINERALOGIA**

La mineralización de los cuerpos lenticulares de sulfuros masivos y sulfuros diseminados del yacimiento de Tizapa es simple considerando su abundancia y diversidad en el tamaño; el sulfuro de Fe, particularmente la pirita comprende casi el 50% del total de los sulfuros, la esfalerita, galena, calcopirita, tetraedrita - freibergita, arsenopirita están presentes en cantidades variables, constituyen el remanente de los demás sulfuros.

Otros elementos que se obtienen de los sulfuros masivos son: cadmio, plata y oro; en pequeñas cantidades de selenio, telurio, talio, galio, bismuto germanio, bario y mercurio (Japan International Cooperation Agency & Metal Mining Agency of Japan, 1989).

El mineral diseminado se presenta en cristales aislados de pirita y delgadas capas de pirita intercalada entre los planos de esquistosidad de las rocas metamórficas.

### **IV.1 DESCRIPCION DE LAS FASES MINERALOGICAS**

Las características megascópicas que presenta la mineralización del yacimiento son en laminaciones de sulfuros de color amarillo (pirita) intercalándose con mineral color gris metálico (galena, esfalerita); exhiben textura homogénea, además de estructura masiva; microscópicamente se aprecia una gran variedad de texturas: clásica, de reemplazamiento, de caries y en partes porfídica (Ramdhor, 1980).

La esfalerita, calcopirita y galena están alojadas en los intersticios de la pirita, la mayoría de las texturas presentes en los sulfuros masivos son resultado de procesos post - depositacionales tales como diagénesis y metamorfismo. En estudios experimentales se ha comprobado que la pirita presenta un comportamiento mecánico más rígido para la deformación, por lo tanto conserva su estructura; mientras que la esfalerita, galena, calcopirita, tetraedrita - freibergita se comportan en forma plástica. En este estudio se sugiere que la textura primaria de los sulfuros esta preservada en la pirita (Sangster, 1972).

### IV.1.1 SULFUROS

Las fases que se presentan son: pirita, esfalerita, galena, calcopirita y arsenopirita.

La pirita es el único sulfuro que se presenta aislado en una matriz de minerales transparentes, respondiendo a la tendencia general de los depósitos vulcanogénicos, obedeciendo a una serie compleja creciente, siendo el extremo de las asociaciones mineralógicas la freibergita (serie tetraedrita - tennantita; de acuerdo al elemento en que esté enriquecido se tiene: tetraedrita (Sb), tennantita y binnita (As), freibergita (Ag), schwazita (Hg), goldfieldita (Te), annivita (Bi); Ramdhor, 1980).

Las asociaciones mineralógicas presentes son:

- Asociaciones de pirita y pirita - arsenopirita siendo la pirita el único sulfuro que se presenta solo incluido en minerales transparentes..
- Asociaciones de pirita - esfalerita; no se presenta la esfalerita sin estar asociada al mineral de Fe.
- Asociaciones de pirita - esfalerita - galena, pero no se presenta los minerales de Pb sin los de Zn y Fe asociados.
- Asociaciones de pirita- esfalerita - galena - tetraedrita - freibergita - calcopirita.

#### **Pirita**

Es el sulfuro más abundante sin embargo en algunas muestras la esfalerita es igualmente abundante. En forma general en los cuerpos la pirita se presenta:

- a) masiva.
- b) Como un mosaico fracturado, en cuyos intersticios se encuentran alojados minerales de mena. (Fotografía No.1)
- c) Se presenta intercrecida con esfalerita, galena; en algunos cristales se observa una clara relación de reemplazamiento por esfalerita, observándose cristales engolfados, se identificaron inclusiones de esfalerita en la pirita.
- d) Se aprecia la asociación pirita - arsenopirita encontrándose reemplazamiento parcial o total, de la primera por la arsenopirita la cual raramente llega formar cristales individuales.
- e) Diseminada en la roca encajonante en forma de cristales euedrales y subedrales en conjunto con otros silicatos, sin reemplazamiento de otros sulfuros.

La textura que exhibe es clásica, en algunas muestras los cristales están constituyendo una microbrecha la cual se reconocen por fragmentos mayores de pirita y otras partículas más pequeñas en una matriz de minerales transparentes, además presenta textura de reemplazamiento con la esfalerita, calcopirita y de caries con la esfalerita.

El cuerpo M2 presenta mayor cantidad de pirita con respecto a los otros cuerpos, además de contener los otros minerales de Zn, Pb, Ag y Cu emplazados en los intersticios de los cristales de pirita.

El tamaño de este mineral para los diferentes cuerpos varía de:

	PIRITA			
	CUERPO L1	CUERPO M1	CUERPO M2	CPO L1- M1-M2
Media	1.19	1.31	1.51	1.31
mediana	1.10	1.00	1.25	1.10
Moda	1.00	0.50	1.50	1.50
Variancia	0.74	1.28	1.57	1.09
Des estandar	0.86	1.13	1.25	1.04
Mínimo	0.05	0.05	0.15	0.05
Máximo	6.50	5.50	6.50	6.50

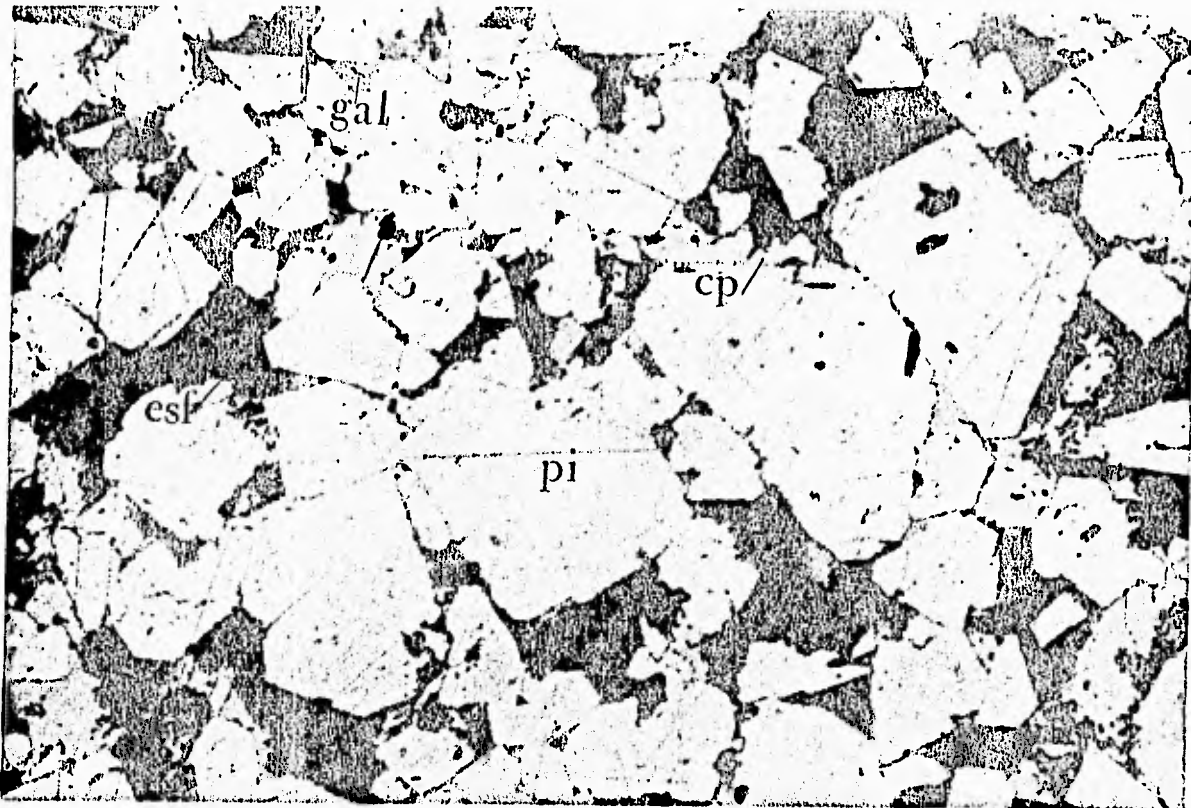
Tabla No. 3 Resumen estadístico del tamaño de la pirita.

Tamaño en mm.

Nota: Los histogramas corresponden a las Figura No. 16, 17, 18 y 19.

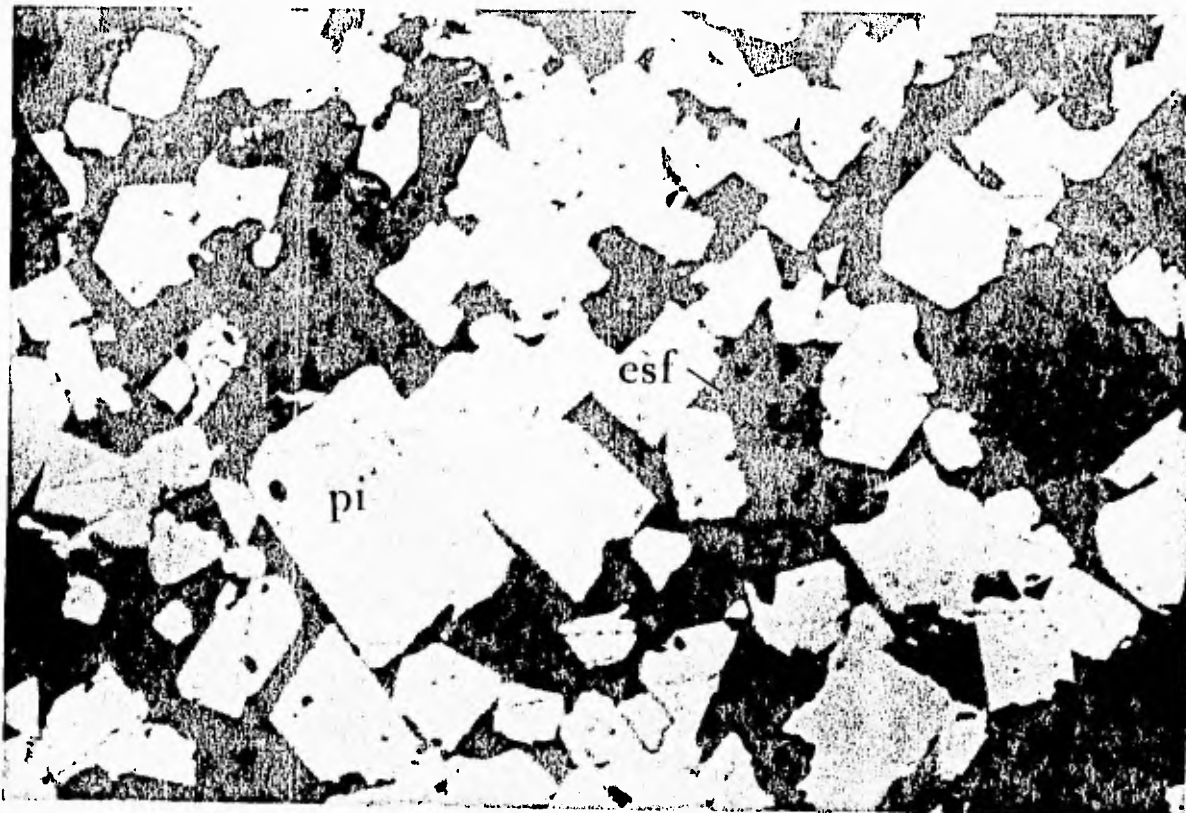
### **Esfalerita**

Se presenta como el segundo mineral en abundancia y el principal mineral del yacimiento por ser el único mineral que contiene Zn; presenta como asociado al mineral de Fe y Pb. Los cuerpos manifiestan cristales de contactos de forma irregular con los otros sulfuros, no exhibe contornos cristalinos por estar ocupando los intersticios; en ocasiones forma bandas monominerálicas intercaladas con pirita, muestra reflexiones internas color rojo sangre; debido a que parte del ion Zn es sustituido isomórficamente por el ion Fe, algunas veces por Mn y Cd, en menor cantidad por Ga, In, Tl y Hg. El color rojo se incrementa al aumentar el contenido de Fe ó también a pequeñas cantidades de Hg esto debido a la sustitución isomórfica. La esfalerita se puede considerar como un indicador geotermométrico (Ramdhor, 1980) ya que existen esfaleritas con bajo contenido de Fe característico de bajas temperaturas y esfaleritas asociadas a temperaturas mayores con altos contenidos de Fe. (Fotografía No. 2)



FOTOGRAFIA No. 1 Cuerpo M1. Cristales euedrales y subedrales de pirita, en los intersticios están emplazados la galena y la esfalerita. La esfalerita se exhibe reemplazando a la pirita.

0.0 0.1 mm



FOTOGRAFIA No. 2 Cuerpo M2. Cristales euedrales y subedrales de pirita en una matriz de esfalerita y mineral transparente. La esfalerita exhibe reflexiones internas color rojo.

0.0 0.1 mm

Este mineral tiene las características de manifestarse como:

- a) Cristales anedrales diseminados en la roca encajonante en conjunto con pirita euedral y subedral además de otros silicatos, exhibe reemplazamiento por minerales transparentes.
- b) En cristales anedrales formando una matriz y alojando a cristales euedrales y subedrales de pirita. Se exhiben de dos tipos: una con reflexiones internas de color rojo sangre y otra sin reflexiones de color gris, ambas están presentes en los cuerpos, pero la de reflexiones color rojo sangre esta en menor cantidad que la de color gris.
- c) Exhibe reemplazamiento de galena, tetraedrita - freibergita y freibergita.
- d) Como inclusiones lobulares en la pirita.

En el cuerpo L1 y M1 muestra megascópicamente laminaciones de mineral color gris oscuro y amarillento que representan un zoneamiento de esfalerita y pirita - calcopirita respectivamente pero aún así dominando la pirita - calcopirita en lo que resta del cuerpo.

El tamaño observado del mineral en los cuerpos varía de:

	ESFALERITA			
	CUERPO L1	CUERPO M1	CUERPO M2	CPO L1- M1-M2
Media	0.61	0.57	0.65	0.63
mediana	0.50	0.35	0.50	0.50
Moda	0.50	0.25	0.50	0.25
Variancia	0.61	0.31	0.45	0.34
Des estandar	0.78	0.56	0.67	0.58
Mínimo	0.05	0.03	0,03	0.03
Máximo	6.00	2.23	3.00	3.00

Tabla No. 4 Resumen estadístico del tamaño de la esfalerita.

Nota: Los histogramas corresponden a las Figuras No. 16, 17, 18 y 19.

En la microsonda electrónica se analizaron de forma cualitativa a las esfaleritas de los diferentes cuerpos y manifestaron la presencia de mercurio.

La Comisión de Fomento Minero en 1985 reportó electrum incluido en la esfalerita la cual está intercrecido con la calcopirita y reemplaza a la pirita a través de sus bordes.

### Galena

Es el mineral de Pb más abundante; está subordinada al mineral de Zn. La cristalización de la galena parece estar a la mitad de tiempo de cristalización de la esfalerita. En forma general en los cuerpos se presenta como:

- a) Cristales anedrales ocupando los espacios dejados por los cristales de pirita; en algunas muestras se observa el crucero cúbico, observándose hendiduras triangulares debidas al crucero del mineral.
- b) Intercrecimiento mutuo con cristales de esfalerita. (Fotografía No. 3)
- c) Cristales anedrales reemplazando a la calcopirita.
- d) Como inclusiones globulares en la pirita.
- e) Es reemplazado por la tetraedrita - freibergita.

El tamaño del mineral en los cuerpos varía de:

	GALENA			
	CUERPO L1	CUERPO M1	CUERPO M2	CPO L1- M1-M2
Media	0.22	0.28	0.44	0.30
mediana	0.15	0.24	0.26	0.24
Moda	0.10	0.50	0.50	0.50
Variación	0.02	0.03	0.18	0.06
Des estandar	0.14	0.19	0.42	0.25
Mínimo	0.05	0.05	0.03	0.03
Máximo	0.60	0.85	1.75	1.75

Tabla No. 5 Resumen estadístico del tamaño de la galena

Nota: Los histogramas corresponden a las Figura No. 16, 17, 18 y 19.

Tamaño en mm.

### Calcopirita

Este mineral está en pequeña proporción con respecto a los demás minerales, en todos los cuerpos se presenta como:

- a) Cristales de forma anedral.
- b) Ocupando los intersticios en los cristales de pirita.



c) Reemplazando al mineral de Fe.

En el microscopio se observa que en muestras del cuerpo L1 está presente este mineral en menor cantidad que en los otros cuerpos, reemplaza parcial o totalmente a cristales de pirita y también como inclusiones globulares en la esfalerita. El cuerpo M1 presenta mayor contenido de este mineral con respecto a los otros cuerpos, observándose trazas y cristales de pirita totalmente reemplazados (Fotografía No.4). Mientras que para el cuerpo M2 en escasa cantidad, presenta cristales reemplazados parcialmente en la pirita.

El tamaño del mineral en los cuerpo varía de:

	CALCOPIRITA			
	CUERPO L1	CUERPO M1	CUERPO M2	CPO L1- M1-M2
Media	0.49	0.46	0.69	0.52
mediana	0.40	0.33	0.35	0.35
Moda	0.25	0.50	0.35	0.25
Variancia	0.19	0.28	0.54	0.31
Des estandar	0.44	0.53	0.73	0.56
Mínimo	0.10	0.06	0.10	0.06
Máximo	2.75	3.41	3.50	3.50

Tabla No. 6 Resumen estadístico del tamaño de la calcopirita.

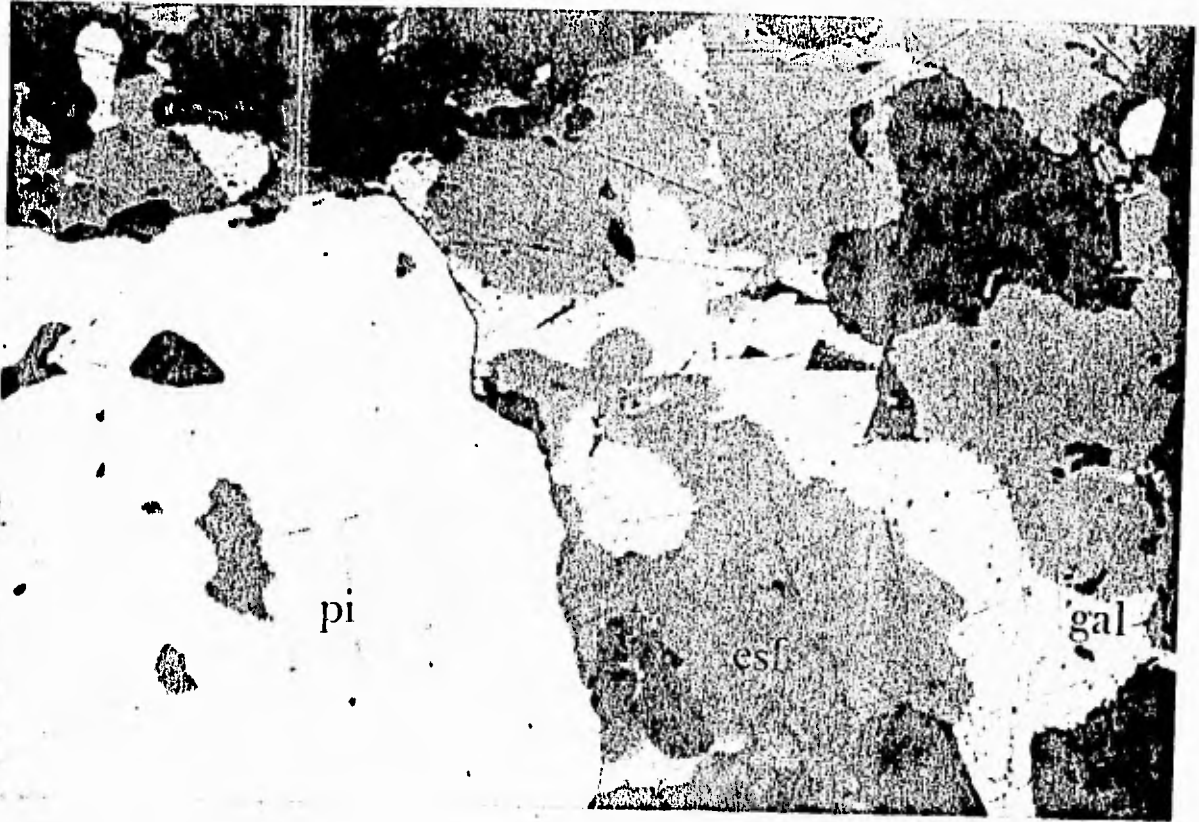
Nota: Los histogramas corresponden con las Figura No. 16, 17, 18 y 19.

### **Arsenopirita**

Es un mineral escaso, lo que indica fluidos originalmente deficientes en arsénico. En todos los cuerpos se presenta reemplazando parcial o totalmente a la pirita a través de los bordes siendo el único mineral al que se encuentra asociado. (Fotografía No.5)

Se observa como cristales aislados euedrales de sección rómbica alargada o formando mosaicos.

El tamaño del mineral en los diferentes cuerpos es:



FOTOGRAFIA No. 3 Cuerpo M1. Cristal de pirita que exhibe inclusiones de esfalerita, mientras que la esfalerita exhibe remplazamiento por parte de la galena y de los minerales transparentes. |-----|-----|



FOTOGRAFIA No. 4 Cuerpo L1. Se observa la relación de los diferentes sulfuros. La pirita es el mineral más abundante, en los intersticios están emplazados los minerales de mena como la galena, esfalerita, calcopirita, tetrahedrita freibergita. Se manifiesta claramente el reemplazamiento de la tetrahedrita - freibergita en la esfalerita, parte de la pirita es reemplazada por la calcopirita. |-----|-----|

00 0.1 mm

	ARSENOPIRITA			
	CUERPO L1	CUERPO M1	CUERPO M2	CPO L1- M1-M2
Media	0.34	0.32	0.15	0.28
mediana	0.25	0.31	0.15	0.21
Moda	0.25	0.062	0.10	0.25
Variancia	0.13	0.065	0.006	0.06
Des estandar	0.36	0.25	0.79	0.25
Mínimo	0.05	0.062	0.05	0.05
Máximo	1.45	0.992	0.25	1.45

Tabla No. 7 Resumen estadístico del tamaño de la arsenopirita.

Notas: Los histogramas corresponden con las Figuras No. 16, 17, 18 y 19.

Tamaño en mm.

#### IV.1.2 SULFOSALES

También llamadas sulfosales complejas, desde el punto de vista estructural el término sulfosal representa un mineral que contienen pirámides TS<sub>3</sub> ( T= As, Bi, Sb ), desde el punto de vista químico indica minerales con los semimetales As, Bi o Sb como constituyentes esenciales (Craig, 1974).

Las sulfosales son especies mineralógicas muy frecuentes en los sulfuros masivos vulcanogénicos. Las condiciones físico químicas durante la cristalización de las sulfosales corresponden a un medio hidrotermal y raras ocasiones a neumatolíticos, donde predomina una fase fluida en la que el agua es el componente principal. La química de las sulfosales es compleja, ya que presenta como elementos menores al As, Bi, Mn, Fe, Sn, Tl y Cd entre varios.

En el estudio mineralógico se identificaron las siguientes sulfosales tetraedrita - freibergita, freibergita.

Reconociéndose por el color: la tetraedrita - freibergita es de color verde olivo oscuro con tono grisáceo mientras que la freibergita es de color verde olivo claro debido al incremento de la cantidad de plata.

La tetraedrita freibergita constituye la principal mena argentífera, es una sulfosal compleja de Cu - Ag, principal mineral argentífero de los yacimientos vulcanogénicos. En forma general los cuerpos exhiben:

a) Cristales de forma anedral.



FOTOGRAFIA No. 5 Cuerpo M2. La arsenopirita se exhibe reemplazando a la pirita a través de bordes. La esfalerita exhibe reflexiones internas, mientras que la galena se presenta como inclusiones globulares en la pirita e intercrecida con la esfalerita.

0.0 0.1 mm



FOTOGRAFIA No. 6 Cuerpo L1. Aquí se manifiestan las diferentes relaciones texturales, cristales de pirita rodeados de los minerales de mena. Exhibe reemplazamiento la pirita por la esfalerita, mientras que la esfalerita es reemplazada por la galena y la tetrahedrita - freibergita, además muestra inclusiones globulares de calcopirita. Los contactos con los otros sulfuros son de forma irregular.

0.0 0.1 mm

b) Reemplazamiento parcial de la esfalerita y galena; en ocasiones llega a formar cristales individuales de freibergita. (Fotografía No. 6)

En el cuerpo L1 y M1 manifiesta mayor cantidad de este mineral con respecto al cuerpo M2, y está en menor proporción que los otros sulfuros.

El tamaño del mineral en los cuerpos es:

	TETRAEDRITA - FREIBERGITA			
	CUERPO L1	CUERPO M1	CUERPO M2	CPO L1- M1-M2
Media	0.21	0.16	0.31	0.22
mediana	0.10	0.07	0.25	0.15
Moda	0.25	0.05	0.25	0.05
Variancia	0.07	0.03	0.08	0.06
Des estandar	0.27	0.18	0.28	0.24
Mínimo	0.031	0.031	0.031	0.01
Máximo	1.45	1.15	1.50	1.5

Tabla No. 8 Resumen estadístico del tamaño de la tetraedrita - freibergita.

Nota: Resumen de los histogramas (Figuras No. 16, 17, 18 y 19).

Tamaño en mm.

## IV.2 PARAGENESIS

Es difícil de interpretar a detalle; los sulfuros que conforman los mantos ya que se depositaron en un ambiente completamente dinámico, las cuales están sujetos a brechamiento por deslizamiento gravitacional, recristalización, reemplazamiento y alteración por el aporte continuo de soluciones calientes.

A continuación se describen algunas consideraciones paragenéticas basadas en las relaciones texturales observadas en el estudio microscópico de las secciones pulidas que conforman la mena. Se considera que el primer mineral en depositarse fue la pirita, más tardíamente la arsenopirita, indicándolo el grado de cristalinidad y las relaciones con los otros sulfuros.

El depósito se originó inmediatamente después de la descarga de los fluidos hidrotermales en el fondo marino, debido a la disminución brusca de la temperatura; siguió a la formación de la pirita la cristalización de la esfalerita, a la mitad de tiempo de la esfalerita aparece la galena.

Los cristales de pirita fueron reemplazados parcialmente por la esfalerita formando a veces cristales engolfados. La emisión de fluidos ricos en Cu, Sb y Ag provocaron la formación de tetraedrita freibergita, en algunos casos calcopirita. La presencia de fluidos ricos en Ag dan como resultado la formación de freibergita.

Durante el proceso de la formación de sulfuros y sulfosales de mena se reconoce la precipitación del sílice en forma de cuarzo, el cual cristaliza primeramente en los intersticios que se encuentran entre los minerales; de forma paralela a éste evento se observa que la expulsión de material volcánico contemporáneo a los fluidos mineralizantes provocó la depositación conjunta de sericita entremezclada con la mena. El óxido presente es el rutilo incluido en cuarzo formándose durante la solidificación de los líquidos síliceos.

El hecho de observarse que algunos minerales que ocupan o reemplazan a otros sulfuros nos indica que posiblemente al depositarse los sulfuros existió un aporte de soluciones calientes lo cual provocó reacciones en algunos minerales y reemplazamiento en otros.

La paragénesis que se propone es la siguiente:

PIRITA	_____
ESFALERITA	_____
GALENA	_____
TETRAEDRITA - FREIBERGITA	_____
CALCOPIRITA	-----
ARSENOPIRITA	_____

## **IV.3 ZONEAMIENTO**

Se analizó en forma particular para cada uno de los mantos, analizando compósitos de barrenos.

El zoneamiento en el depósito se expresa considerando los siguientes parámetros: morfológico, mineralógico y composicional.

### **IV.3.1 MORFOLOGICO**

Se refiere a la proporción relativa de los diferentes sulfuros y silicatos; el mineral masivo consiste en el 25 % o más de sulfuros del volumen total, mientras que mineral diseminado es considerablemente menor a el 25% del volumen total. (Sangster, 1972)

En el yacimiento de Tizapa y particularmente en los cuerpos L1, M1 y M2, el mineral está dispuesto en forma de sulfuros masivos y diseminados; ambos coexisten en el depósito. El esquisto exhibe mineralización diseminada en varias partes de la columna; esta característica se manifiesta principalmente en la parte inferior del cuerpo y se incrementa la cantidad de sulfuros al acercarse al cuerpo, los mantos muestran intervalos variables de mineral diseminado siendo de 0.80 a 21.0 m, mientras que en la parte superior del cuerpo disminuye notablemente encontrando un intervalo de 0.25 a 3.70 m.

### **IV.3.2 MINERALOGICO**

Este parámetro está en función del zoneamiento morfológico y se manifiesta en la proporción de los sulfuros: pirita, esfalerita, calcopirita, galena, arsenopirita y tetraedrita - freibergita. (Sangster, 1972)

En los cuerpos L1, M1 y M2 se exhibe la pirita y calcopirita en forma de mineral diseminado como cristales aislados y en laminaciones intercaladas en los planos de esquistosidad, además como mineral masivo, la esfalerita es considerablemente más abundante en los cuerpos de sulfuros masivos que en el mineral diseminado, mientras que la galena, la tetraedrita - freibergita y arsenopirita sólo están presentes en los cuerpos de sulfuro masivo.

### IV.3.3 COMPOSICIONAL

Está en función de las tendencias generales de los diferentes elementos, se analizó en forma particular para cada una de las estructuras analizándose los compósitos de leyes de los diferentes elementos en los barrenos. Se describen las tendencias generales de la distribución de los valores manifestándose en dos sentidos:

#### VERTICAL

En los diferentes mantos del yacimiento se realizaron comparaciones de la ley de plata con la ley de cobre, exhibiendo altos valores de ley de plata que coexisten con altos valores de ley de cobre, comportándose así en la mayor parte de los barrenos; de acuerdo a la distribuciones de los valores se manifiesta que los cuerpos L1, M1 y M2 no presentan un zoneamiento vertical, que es un a mena mixta no diferenciada.

De forma conjunta los cuerpos no muestran características mineralógicas y composicionales de exhibir un zoneamiento vertical es decir de mena amarilla y mena negra.

#### HORIZONTAL

Los valores que a continuación se exhiben son las leyes máximas y mínimas para cada uno de cuerpos.

CUERPO	Au (gr/t)		Ag (gr/t)		Pb (%)		Zn (%)		Cu (%)	
	MAXIMO	MINIMO	MAXIMO	MINIMO	MAXIMO	MINIMO	MAXIMO	MINIMO	MAXIMO	MINIMO
L1	3.10	0.77	421	131	2.83	0.69	10.69	4.30	1.89	0.23
M0	2.60	0.24	511	78	2.58	0.19	8.16	1.40	3.02	0.10
M1	4.29	0.15	397	100	3.29	0.70	14.42	5.50	1.94	0.03
M2	4.10	1.00	685	108	3.30	0.15	10.55	4.21	0.62	0.77

Tabla No. 9 Leyes máximas y mínimas de los cuerpos.

Existe una distribución no homogénea en los cuerpos, a continuación se describe cada una de las variaciones de los diferentes elementos en los distintos cuerpos.



## **Cuerpo L1**

### **Oro**

Los valores más bajos están ubicados en la porción sur del cuerpo siendo estos de 0.77 gr/t, aumenta gradualmente hacia la parte centro occidental del cuerpo manteniéndose en 2.0 gr/t, mientras que la parte centro oriental disminuye a 1.1 gr/t. En la parte norte aumenta concentrando una pequeña área con valor de 3.1 gr/t y que disminuye a 2.2 gr/t. De manera general la mayor parte del cuerpo (centro - occidente) exhibe una tendencia con valores de 2.0 a 2.4 gr/t, mientras que al sur están los valores más bajos, al nor - oriente del cuerpo una área limitada de valores altos de oro. (Figura No.20)

### **Plata**

Las curvas de isovalores mínimos están ubicados en la porción sur del cuerpo, aumentan hacia la parte norte comportándose de forma constante de 250 a 300 gr/t mientras que las curvas de isovalores más altos están ubicadas en la parte occidental del cuerpo. (Figura No. 21)

### **Plomo**

Los valores más bajos están ubicados en la porción sur del cuerpo siendo de 0.69 %, aumenta las leyes hacia la parte centro - norte del cuerpo, teniendo un promedio de 1.6 %, mientras que en la parte norte encontramos los valores más altos. (Figura No. 22)

### **Zinc**

Las curvas de isovalores mínimas están localizadas en la porción sur - oriental del cuerpo con valores de 4.3 %, incrementándose en lo que resta del cuerpo, las leyes con más altos valores se ubican en la parte centro - occidental con valores de 10.4% mientras que en la parte norte - oriente se mantiene constante de 7.0 - 8.0 %. (Figura No. 23)

### **Cobre**

Las curvas de valores más altos están ubicados en la parte sur y disminuye hacia la porción centro - norte con valores constantes de 0.8%. (Figura No.24)

## **Cuerpo M0**

### **Oro**

Las leyes aumentan de norte a sur, los valores mínimos se localizan en la porción noreste de cuerpo ( 0.24 gr/t ) y aumentan hacia la parte sur - occidental y sur - oriental del cuerpo alcanzando valores de 2.4 gr/t. (Figura No. 25)

### **Plata**

De forma general las leyes aumentan en dirección de NE al SW, con valores que van de 100 gr/t a 510 gr/t. (Figura No. 26)

### **Plomo**

Se observa un incremento de valores con dirección Norte a Sur y de sureste a poniente con valores de 0.2 % y alcanzando valores de 2.4%. (Figura No. 27)

### **Zinc**

En forma general las curvas de isovalores de este elemento aumentan en dirección al NE con ley mínima de 1.4 % y aumenta hacia la parte SW (7%) y SE (6%) del cuerpo. (Figura No. 28)

### **Cobre**

Los valores más bajos están ubicados en la parte noroccidental del cuerpo, y se incrementan con dirección SE (1.2%). (Figura No.29)

## **Cuerpo M1**

### **Oro**

En la porción sur del cuerpo existe una área muy limitada con valores altos de 4.0 gr/t que disminuye hacia la parte centro a 0.5 gr/t. De la parte centro con dirección al norte del cuerpo aumentan las curvas de isovalores manteniéndose en un intervalo de 2.0 - 3.0 gr/t. (Figura No. 30)

### **Plata**

La porción sur del cuerpo la ley de plata está en intervalos de 200 - 250 gr/t, disminuye hacia la parte centro a 100 gr/t, se observa también un incremento en la porción norte en un intervalo de 250 - 300 gr/t. (Figura No. 31)

### **Plomo**

Los valores mínimos a 1 % se ubican en la porción sur y centro del cuerpo, aumenta hacia la parte norte del cuerpo, donde se observan valores de 2.0 a 3.5 %. (Figura No. 32)

### **Zinc**

En la parte sur del cuerpo se exhiben valores de 7 al 9%, los cuales se incrementa hacia la parte norte, a valores del 10 al 13% comportándose de forma constante. (Figura No. 33)

### **Cobre**

De la parte central del cuerpo hacia el sur del mismo, exhibe un incremento que va desde 0.2 a 1.9 %, mientras que en la porción norte exhibe valores menores a 0.1%. (Figura No. 34)

### **Cuerpo M2**

#### **Oro**

En la porción centro del cuerpo se observan dos áreas con valores altos de oro (3.9 gr/t) y que disminuyen con dirección al norte a una ley de 1.5 gr/t, y la segunda la cual se ubica en la porción sur disminuye ligeramente a 2.0 gr/t y vuelve aumentar a 3.5 gr/t. (Figura No. 35)

#### **Plata**

El cuerpo exhibe en la parte centro valores de 140 gr/t y aumenta en dirección norte y sur, con una ley máxima reportada en la porción surestedel cuerpo de 685 gr/t. (Figura No. 36)

### **Plomo**

Exhibe en la parte sur - occidente valores altos llegando un máximo de 3.2 % que disminuyen con dirección al noreste a un valor de 0.15 %. (Figura No. 37)

### **Zinc**

El cuerpo muestra en la parte sur valores del 4% y se incrementa hacia la parte norte del cuerpo presentando valores del 9%. (Figura No. 38)

### **Cobre**

Los valores mínimos están ubicados en la parte nor - occidental del cuerpo (0.07 %) y aumenta en dirección este - sureste; en la parte centro están localizados los valores máximos (0.62 %) y al oriente con valores de 0.45% (Figura No. 39).

De lo anterior se establece que para los cuerpos L1 y M1 existe un zoneamiento en dirección Norte - Sur, mientras que el cuerpo M0 exhibe un zoneamiento en dirección Noreste este - Suroeste Oeste y para el cuerpo M2 es zoneamiento es de la parte centro hacia la periferia.

El yacimiento esta formado por varias mineralizaciones con origen en multiples centros de mineralización.

De manera general se hacen las siguientes consideraciones: los cuerpos L1 y M1 se pueden correlacionar con la misma fuente exhalativa, mientras que para los cuerpos M0 y M2 provienen de otra fuente observándose en el zoneamiento que exhiben.

## **IV.4 TIPOS DE ALTERACIONES**

Los mantos de sulfuros masivos están emplazados en una secuencia vulcanosedimentaria afectada por un metamorfismo de bajo grado de facies esquistoso verde, la alteración que muestra la secuencia es sericitización y cloritización.

Como alteraciones hidrotermales exhibe la silicificación, sericitización y cloritización. La alteración más clara ocurre en la base de los cuerpos de sulfuros masivos como resultado de la descarga de los fluidos mineralizantes en el fondo marino, no alcanza distribuciones verticales importantes; y es más intensa en el contacto con los esquistos que en la filita grafitica mientras que hacia la cima del cuerpo es débil. La silicificación es producto de soluciones ricas en sílice aportada por cuerpos intrusivos, observándose en la filita grafitica y esquistos alterados cercanos a los cuerpos intrusivos.

## **IV.5 GENESIS DEL YACIMIENTO**

Las características generales de los minerales de sulfuros masivos están en función de las soluciones mineralizantes, dilución de fluidos, cambio de pH, etc. (Sato, 1977). Los sulfuros masivos están asociados a varios ambientes: crestas oceánicas, arco insular, mar marginal e islas oceánicas (Rosas, 1983).

El proceso de formación es a través de ventilas hidrotermales que son una especie de chimeneas que alcanzan hasta 30 m de altura y que están ubicadas en zonas de actividad tectónica, donde se lleva a cabo la efusión de lavas hacia la superficie que permite el arrastre de soluciones mineralizantes y la precipitación de sulfuros masivos polimetálicos de fierro, cobre, zinc, níquel, cadmio y cobalto.

Regionalmente el yacimiento de Tizapa forma parte de una secuencia vulcanosedimentaria compleja; Campa (1974) le asigna una edad del Jurásico Superior - Cretácico Inferior en base de que encontraron amonitas del grupo de los berriasélicos y douvillicerátidos así como lamelibranchios y tintínidos permitiendo datar a la secuencia dentro del Titoniano-Neocomiano(?) - Aptiano. Mientras que Parga (1981) le asigna una edad del Pérmico - Triásico en base a las relaciones estratigráficas - estructurales de la secuencia vulcanosedimentaria y la secuencia calcárea (Formación Amatepec).

El depósito se desarrolló en una cuenca marginal originada por el desarrollo de un arco volcánico generado por una zona de subducción. 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 afectadas por un metamorfismo dinámico de bajo grado (Campa, 1977).

El yacimiento está formado por varias mineralizaciones con origen en múltiples centros de mineralización asociados a las actividades volcánicas submarinas.

El yacimiento de Tizapa exhibe las siguientes particularidades:

La forma de los cuerpos estuvo controlada por la paleotopografía; las irregularidades que presenta el fondo marino se ven reflejadas en la morfología del yacimiento.

La extensión lateral de los cuerpos es mayor que el espesor también es controlado por la paleotopografía.

Existe diseminación en la parte inferior de los cuerpos de sulfuros masivos, lo que significa que hubo una serie de pulsaciones de mineral depositándose simultáneamente con roca estéril hasta generar una cantidad suficiente para formar los cuerpos de sulfuros masivos.

El fallamiento, fracturamiento y plegamiento que se manifiesta en los cuerpos se debe a las diferentes etapas de deformación: tres de fase compresiva y una distensiva (Campa, 1979).

En términos generales el tamaño del mineral es fino; lo que indica depositación lenta en un ambiente tranquilo; no presenta características texturales de remoción del material.

Por su ubicación paleogeográfica y el tipo de roca encajonante se clasifica como un yacimiento de tipo distal, los cuerpos están emplazados en rocas metasedimentarias.

El efecto metamórfico en la roca encajonante provocó cambios estructurales, texturales y mineralógicos, mientras que en los sulfuros sólo se efectuaron cambios texturales.

La proporción de los diferentes sulfuros es variable en cada cuerpo. El cuerpo M2 presenta mayor abundancia en mineral de Fe, mientras que el cuerpo M1 exhibe mayor cantidad de mineral de Cu, Ag y Zn; por otra parte, el cuerpo L1 exhibe abundancia de mineral de Ag y Zn.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

- El yacimiento Tizapa está formado por una serie de cuerpos lenticulares de sulfuros polimetálicos encajonados concordantemente a la foliación en esquistos de muscovita - cuarzo - feldespato, esquistos de muscovita, esquistos de cuarzo - feldespato - clorita y esquistos de clorita - cuarzo y filita grafitica pertenecientes al terreno Guerrero; dichas rocas han sufrido metamorfismo de bajo grado en facies de esquistos verde.
- Los cuerpos son continuos con pequeños desplazamientos verticales provocados por fallas normales e inversas, las deformaciones son mínimas y locales.
- Las asociaciones mineralógicas identificadas son: pirita - esfalerita - galena - tetraedrita - freibergita - calcopirita y arsenopirita.
- La mineralización del yacimiento se caracteriza por ser rica en Fe, Zn, Pb, Ag y Sb y deficiente en Cu y As.
- Las asociaciones mineralógicas son: pirita - esfalerita - galena - tetraedrita - freibergita - calcopirita - arsenopirita. Exhiben una gran variedad de texturas: clástica, de caries, de reemplazamiento y en partes porfídica.
- El sulfuro más abundante es la pirita; en los sulfuros masivos se presenta de forma: masiva, como un mosaico fracturado en cuyos intersticios están emplazados otros sulfuros, intercrecida con la esfalerita, exhibe reemplazamiento por parte de la arsenopirita. El cuerpo M2 presenta mayor cantidad de este mineral con respecto a los otros cuerpos.
- La esfalerita es el segundo mineral en abundancia y se muestra como: cristales anedrales diseminados en la roca encajonante en conjunto con pirita eudral, cristales anedrales formando una matriz y alojando cristales de pirita, exhibe reemplazamiento de galena, tetraedrita - freibergita y como inclusiones globulares en la pirita. El cuerpo L1 y M1 presenta mayor enriquecimiento de éste mineral. La esfalerita presenta contactos irregulares con la galena y reemplaza parcialmente a la pirita.



- La galena está subordinada a la esfalerita se manifiesta como: cristales anedrales ocupando los intersticios, en intercrecimiento mutuo con la esfalerita, reemplazando a la calcopirita, como inclusiones globulares en la pirita. Es la mena principal de plomo.
- Calcopirita esta en menor cantidad respecto a los anteriores y esta presente como: cristales anedrales, ocupando los intersticios en los cristales de pirita y reemplazándola.
- Arsenopirita se presenta reemplazando parcial o totalmente a la pirita.
- Tetraedrita - freibergita es la mena argentífera y esta en forma de cristales anedrales, reemplaza parcialmente a la esfalerita y galena, en ocasiones forma cristales individuales de freibergita. Esta en mayor cantidad en el cuerpo M1.
- La pirita fue el primer mineral en formarse debido al enfriamiento rápido de las soluciones hidrotermales al verterse en fondo marino después siguió la cristalización de la esfalerita, a la mitad de tiempo de la esfalerita aparece la galena, la emisión de fluidos ricos en Cu, Sb y Ag provocaron la formación de de tetraedrita - freibergita, en algunos casos calcopirita.
- Los principales minerales de ganga son: cuarzo, sericita, clorita, muscovita, biotita, grafito, calcita, rutilo, turmalina, arsenopirita.
- El efecto metamórfico en la roca encajonante provocó cambios estructurales, texturales y mineralógicos, mientras que en los sulfuros sólo se efectuaron cambios texturales.
- La proporción de los diferentes sulfuros es variable en cada cuerpo. El cuerpo M2 presenta mayor abundancia en mineral de Fe, mientras que el cuerpo M1 exhibe mayor cantidad de mineral de Cu, Ag y Zn, por otra parte, el cuerpo L1 exhibe abundancia de mineral de Ag y Zn.
- El cuerpo L1 exhibe escasas cantidades de calcopirita. Este cuerpo es más rico en minerales de zinc y plata.
- El cuerpo M1 presenta mayor contenido de minerales de plata y zinc, además de que este cuerpo presenta un aumento en cantidad de calcopirita.

- El cuerpo M2 tiene como mineral más abundante la pirita formando un mosaico. Los sulfuros de Pb, Zn, Ag y Cu ocupan los intersticios.
  
- De los compósitos se establece que los cuerpos no presentan un zoneamiento vertical, que es una mena mixta no diferenciada, exhibiendo valores altos de leyes de plata coexistiendo con altas leyes de cobre. De forma conjunta los cuerpos no muestran características mineralógicas y composicionales de existir un zoneamiento vertical de mena amarilla y de mena negra.
  
- Los cuerpos L1, M0, M1 y M2 presentan zoneamiento horizontal manifestándose en forma diferente en cada cuerpo.
  
- El cuerpo L1 presenta un zoneamiento en dirección Norte - Sur; en la parte norte existen valores altos de ley de plata coexistiendo con valores bajos de ley de cobre ( 350 gr/t, 0.75 %) mientras que en la parte sur del cuerpo, la ley de cobre más alta es de 0.95% coexistiendo con valores bajos de ley de plata 140 gr/t.
  
- El cuerpo M0 exhibe zoneamiento horizontal en dirección noreste este - suroeste oeste; los valores más altos de plata están en la parte suroeste (400 gr/t) disminuyendo a 100 gr/t hacia la parte noreste, comportándose inversamente las leyes de cobre.
  
- El cuerpo M1 presenta zoneamiento horizontal en dirección Norte - Sur, los valores más altos de plata están ubicados en la parte norte del cuerpo y disminuye hacia la parte sur; comportándose inversamente el cobre.
  
- El cuerpo M2 presenta zoneamiento horizontal de la parte centro hacia la periferia del cuerpo.
  
- Los cuerpos L1 y M1 se pueden correlacionar con la misma fuente exhalativa, mientras que para los cuerpos M0 y M2 estén relacionadas a otra fuente diferente.
  
- El yacimiento está formado por varias mineralizaciones con origen en múltiples centros de mineralización asociados a las actividades volcánicas submarinas.

- La secuencia vulcanosedimentaria estuvo afectada por un metamorfismo regional de bajo grado en facies esquistos verde, la alteración que exhibe es sericitización y cloritización.

- La alteración del depósito es silicificación, sericitización y cloritización; la alteración es más intensa en el contacto del sulfuro masivo y la roca infrayacente; hacia la parte superior del sulfuro masivo, en la roca suprayacente, la alteración es menos intensa.

- El yacimiento de Tizapa se depositó en una cuenca marginal originada por el desarrollo de un arco volcánico asociado a una zona de subducción.

- El tamaño de liberación que se propone es de 0.031 mm, de acuerdo a la mena económica.

- En los concentrados se puede obtener:

Concentrado de Zn, factible de obtener partículas libres de esfalerita en conjunto con esfalerita - pirita; una variante que puede presentar este concentrado es que exhiba concentraciones de otros elementos como el Hg (como solución sólida en la esfalerita), Ag

- Cu proporcionado por la tetraedrita - freibergita.

Concentrado de Pb en cuyo caso se obtendrían escasas partículas libres de galena, algunas partículas de calcopirita además de tetraedrita - freibergita y esfalerita en pequeñas cantidades.

## **RECOMENDACIONES**

Hacer un estudio cuantitativo empleando microsonda electrónica en el mineral de Zn con la finalidad de conocer en que proporción esta presente el Hg, ya que es factible a provocar problemas en la metalurgia.

Además de la esfalerita, también estudiar al mineral de plomo, por los elementos que contenga como plata y así conocer en que cantidades y disposiciones está presente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Badilla Cruz R.R., 1977: Causas de los problemas metalúrgicos de las menas amarillas de los yacimientos vulcanogénicos. Comisión de Fomento Minero. México D. F.
- Campa U. 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 U. M. F., Flores R., Guerrero P., Limón M., Ramírez B.R., Ramírez J., Vázquez M.; 1977: La evolución tectónica y la mineralización de la región de Valle de Bravo, México e Iguala, Guerrero. A. I. M. G. M., Mem. Tec. XII, pp. 143- 169.
- Campa U. M. F.; 1978: La evolución tectónica de Tierra Caliente, Guerrero. Bol. Soc. Geol. Mex., Vol. 39, No. 2, pp. 52 - 64
- Campa U.M.F., Ramírez J.; 1979: La evolución geológica y la metalogénesis del Noroccidente de Guerrero. Serie Técnico - científica, Univ. Autónoma de Gro, 102 P.
- Campa U. M. F., Ramírez J., Flores R., Coney P.; 1980: Terrenos tectonoestratigráficos de la Sierra Madre del Sur, región comprendida entre los estados de Guerrero, Michoacán, México y Morelos. V Conv. Geol. Nal., Resúmenes, Soc. Geol. Mex.
- Campa U. M.F., Coney P. J.; 1983: Tectono stratigraphic terranes and mineral resource distribution in Mexico. Canada Journal of Earth Sciences, Vol. 20, pp. 1040 - 1045.
- Centeno García E., García J. L., Guerrero S. M., Ramírez E. J., Salinas p. J. C., Talavera M.O., 1993: Geology of the Southern part of the Guerrero terrane, Ciudad Altamirano - Teloloapan area. Terrane geology of Souther Mexico. UNAM. Inst. de Geología. First circum - Pacific and circum - Atlantic terrane conference, Guanajuato, Mexico, Guidebook of field trip B. p.22 - 23
- Clark K. F., Foster C. T., Damon P. E., 19182: Cenozoic mineral deposits and subduction - related magmatics arcs in Mexico. Geological Society of American Bulletin, V. 93, p.533 - 544
- Coney P.; 1983: Un modelo tectónico de México y sus relaciones con América del Norte, América del Sur y el Caribe. Rev. Instituto Mexicano del Petróleo, Vol. 15, No.1, pp. 6-15
- C. R. M. 1991. Subgerencia de exploración Zona Centro. Oficina Regional del Estado de México. IV Convenio México Japón. Junio de 1991. Geología y evaluación de la mina Tizapa. Municipio de Zacazonapan, Estado de México.
- Comisión de Fomento Minero, 1985: Estudio Metalúrgico dsobre muestras de núcleos de barrenación (sulfuros) procedentes de Tizapa, Municipio de Zacazonapan, Estado de México.
- Craig J.R., Scott S.D., 1974: Sulfide Phase Equilibria. Sulfide Mineralogy. Mineralogical Society of America. Short Course Note. Virginia, U.S.A. p 1 - 110.
- Damon P., Shafiqullah M., Clark K. F., 1981: Evolución de los arcos magmáticos en México y su relación con la Metalogénesis. UNAM. Inst. de Geología. Revista Vol. 5 Núm. 2 , p. 223 - 238.
- De Cserna Z.; 1978: Notas sobre la geología de la región comprendida entre Iguala, Ciudad Altamirano y Temascaltepec, estados de Guerrero y México. Soc. Geol. Mex., Libro guía, Excursión a Tierra Caliente, pp. 1 -25.
- De Cserna Z., Ortega. G.F., Palacios N.M., 1980: Reconocimiento geológico de la parte central de la Cuenca del alto río Balsas, estados de Guerrero y Puebla. pp. 33
- De Cerna Z., Palacios N.M., Pantoja A.J., 1988: Relaciones de facies de las rocas cretácicas en el noroeste de Guerrero y áreas colindantes de México y Michoacán. Soc. Geol. Mex., libro guía de la excursión geológica a Tierra Caliente. pp. 33 - 43

**TESIS SIN PAGINACION**

**COMPLETA LA INFORMACION**

Díaz García V. 1980: Las rocas metamórficas de la región de Zacualpan, Edo. de México. UNAM. Inst. de Geología. Revista Vol. 4, núm 1, p. 1 - 12.

Ellas Herrera. M.;1989: Geología metamórfica del área de San Lucas del Maíz, estado de México. Inst. Geol., UNAM, Boletín 105, 79 p.

Ellas Herrera M., 1993: Geology of the Valle de Bravo and Zacazonapan areas, south central Mexico. Terrane geology of southern Mexico: UNAM, Inst. Geología. First circum - Pacific and circum - Atlantic terrane conference, Guanajuato, Mexico. Guidebook of field trip B.

Ellas Herrera M., Sánchez Zavala J. L., 1992: Tectonic Implications of a Mylonitic Granite in the lower structural levels of the Tierra Caliente Complex (Guerrero Terrane), Southern Mexico. UNAM. Inst. Geología. Revista 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. UNAM. Inst. Geología Bo. 60, p 236.

Faure G.;1986: Principles of isotope geology. New York, John Wiley and Sons, 2a. edition, 589 p.

Heredia - Barragán M. A., García fons J.;1989: Distribución de yacimientos vulcanogénicos en la provincia norte de Guerrero - suroccidente del estado de México. A: I. M. M. G. M., Mem., Tec. XVII, pp. 80 -99.

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) p. 334

Japan International Agency & Metal Mining Agency of Japan, 1989: Informe de la exploración Cooperativa de Mineral en la región de Arcelia. Estados Unidos Mexicanos( Fase II) p. 133

Japan International Agency & Metal Mining Agency of Japan, 1990: Informe de la exploración Cooperativa de Mineral en la región de Arcelia. Estados Unidos Mexicanos( Fase III) p. 149

Japan International Agency & Metal Mining Agency of Japan, 1991: Informe de la exploración Cooperativa de Mineral en la región de Arcelia. Estados Unidos Mexicanos( Fase IV) p. 252

Lugo - Hubp J.I.;1990: El relieve de la República Mexicana. Rev. Inst. Geol., U NAM, Vol. 9, No.1, pp.82-111

Maldonado R. R., Vázquez S. A., Herrera M. J. A. 1993; Historia del Desarrollo del Proyecto de Tizapa, Estado de México. X. Seminario sobre Exploración Geológico - Minero.

Morán Z. D.:J.; 1984: Geología de la República Mexicana. INEGI - Fac. de Ing. (UNAM), 88 p.

Ortega G. F.; 1981: Metamorphic Belts of southern Mexico and their tectonic significance. Geof. Int., Vol. 20, No.3, pp. 177 - 202.

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

Ortiz Hernández L. E., Lapiere H., 1991: Un contexto de Arco Magmático asociado al desarrollo de estratovolcanes submarinos para el origen de sulfuros masivos estratiformes polimetálicos (Pb, Zn, Cu, Ag y Au ) de la región de Tierra Caliente, Guerrero. A. I. M. M. G. M., Mem. Téc. XIX, pp. 270 - 296.

Ortega G. F., 1981: Metamorphic belts of southern Mexico and their Tectonic significance. Inst. de Geología. UNAM. Geof. Int. Vol. 20 - 3. p.223 - 238.

Ortega G.F., Mitre S.L.M., Roldán Q.J., Aranda G.J.J., Morán Z.D., Alaniz A.S.A., Nieto. S.A.F., 1992: Texto explicativo de la quinta edición de la carta geológica Mexicana escala 1: 2 000 000 Inst. Geología. UNAM. SEMIP. C.R.M. México. D.F.

Parga Pérez :J. J., 1980: Seminario Interno del C. R. M. 1980. Geología y Metalogénesis del yacimiento estratiforme de sulfuros masivos de Tizapa, Zacazonapan, Estado de México.

Parga Pérez J. J., 1981: Geología del área de Tizapa, Municipio de Zacazonapan, México. Tesis. Universidad Nacional Autónoma de México. p. 135.

Parga Pérez J. J., Omaña P. H.; 1988 : El yacimiento vulcanogénico de Tizapa, Estado de México. IX. Seminario interno de Exploración Geológico Minera.

Parga P. J. J., Rodríguez S. J. J., 1983: Geología de los sulfuros masivos polimetálicos de Ag, Zn, Pb, Cu, Cd y Au de Tizapa, Zacazonapan, México. Memoria XV. Convención Nacional, 1983. A.I.M.M.G.M.A.C. pp. 373 - 419.

Parga P. J. J., Rodríguez S. J. de J., 1991: Geology of the Tizapa Ag, Zn, Pb, Cu, Cd and Au massive polymetallic sulfides, Zacazonapan, Mexico. The Geology of North America Vol. p - 3. Economic Geology, México. The Geological Society of America.

Ramdohr P. 1980: The ore minerals and their intergrowths. 2 nd. Edition. Vol. 2. Pergamon Press.

Ribbe P.H., Sulfide Mineralogy. Review in Mineralogy. Vol.1. Mineralogical Society of America.

Rosas Solís A., 1983: Zoneamiento geoquímico de los sulfuros masivos en México. Memoria XV. Convención Nacional, 1983. A. I. M. M. G. M. A. C. pp. 349 - 371

Rubinovich - Kogan R., 1989: Mineralogía y paragénesis del depósito de sulfuros vulcanogénicos La Esmeralda, estado de México. Bol. Mineralogía, Asoc. Mex. de Mineralogía, Vol.4, No. 1, pp. 32 - 54.

Sánchez Zavala J. L., 1993: Secuencia volcanosedimentaria Jurásico Superior - Cretácico; Arcelia - Oztoloapan, Estado de México: Petrografía, geoquímica, metamorfismo e interpretación tectónica. Tesis. UNAM.

Sangster D. F. 1974: Precambrian Volcanogenic massive sulphide deposits in Canada: a review. Geological Survey Of Canada Department of Energy, Mines and Resources.

Sato Takeo, 1977: Los sulfuros masivos volcanogénicos, su metalogenia y clasificación. Univ. de sonora, Publicación 1

Stanton R. L., 1972: Ore Petrology. Mc Graw Hill. U. S. A . p. 495 - 540

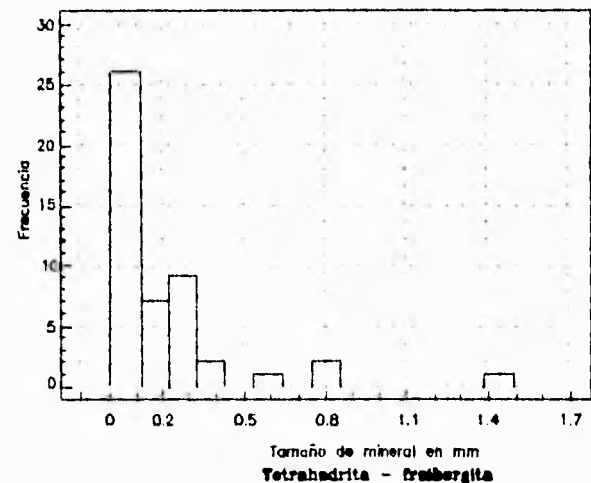
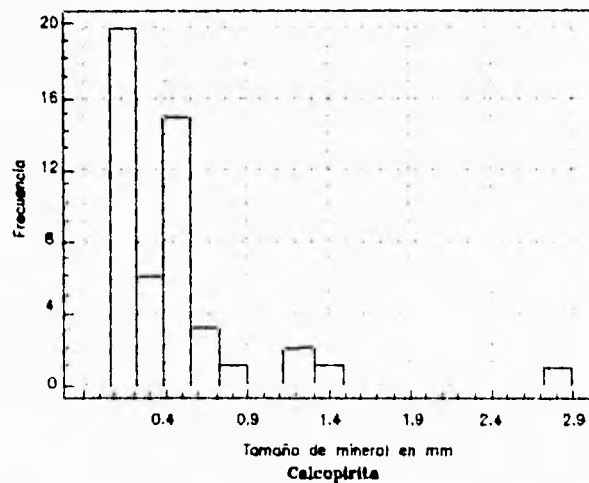
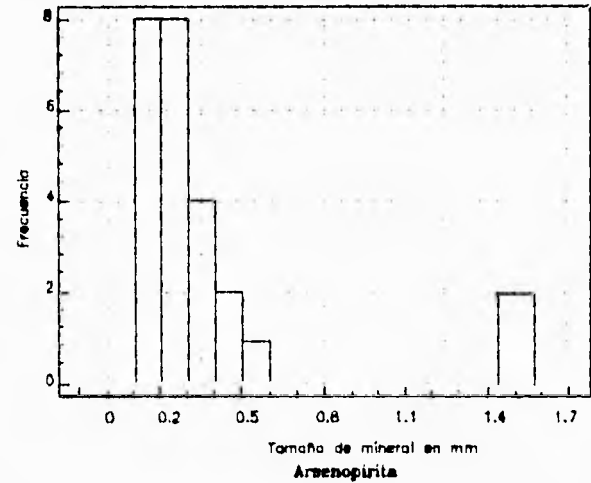
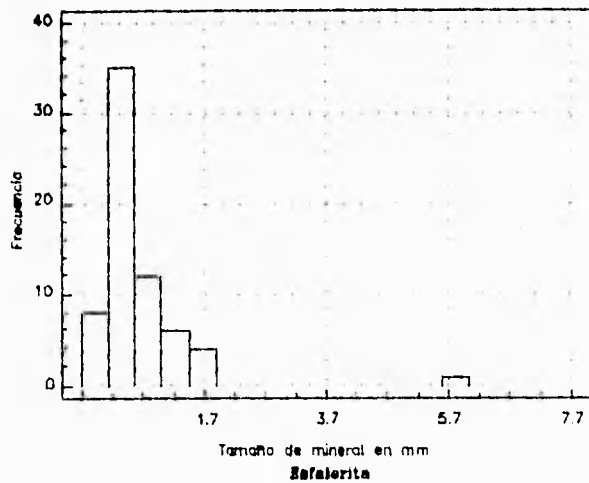
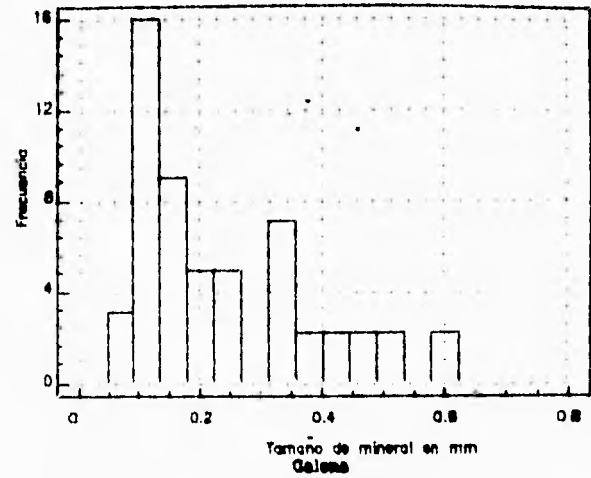
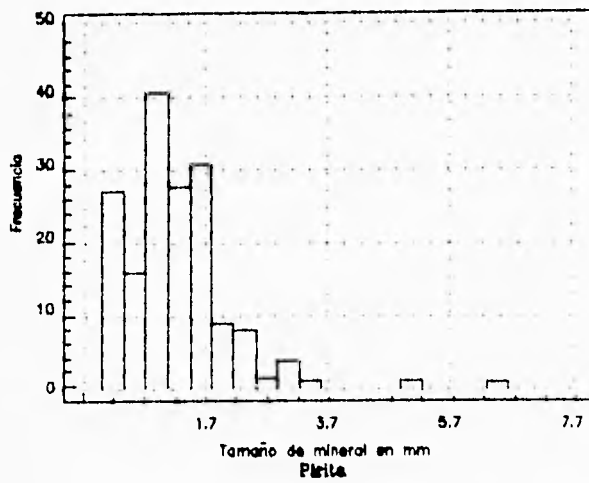
Thornbury W. D., 1985: Principles of Geomorphology. Wiley International edition 2 nd. Edition. pp. 349 - 371.

Tolson G., 1993: Structural geology and tectonic evolution of the Santa Rosa area, SW Mexico State, Mexico. Geofísica International. Vol. 32, Núm. 3, pp. 397 - 413.

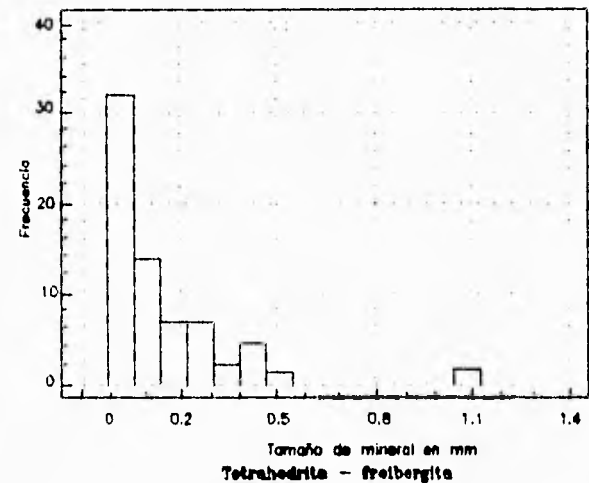
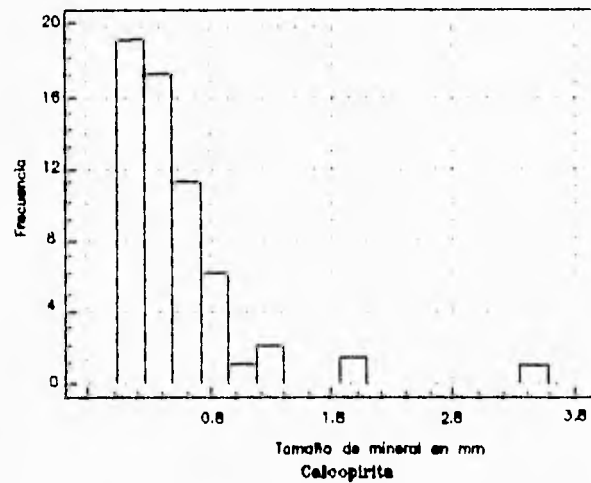
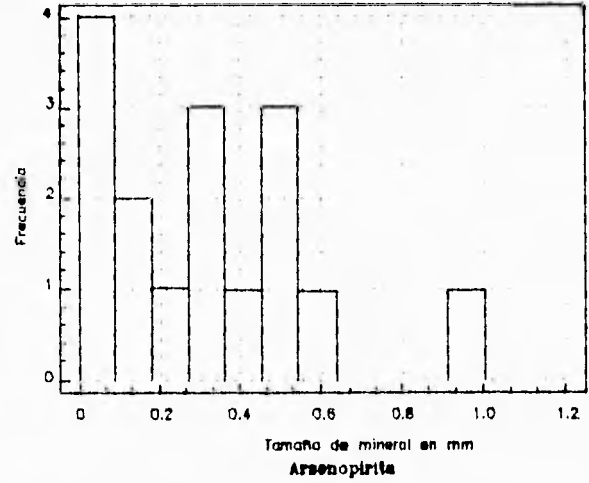
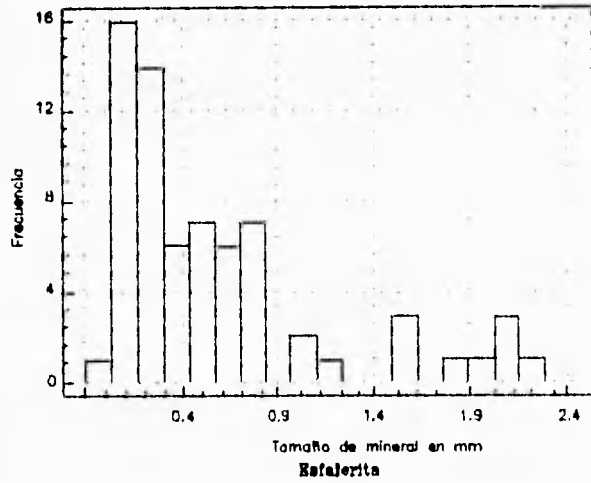
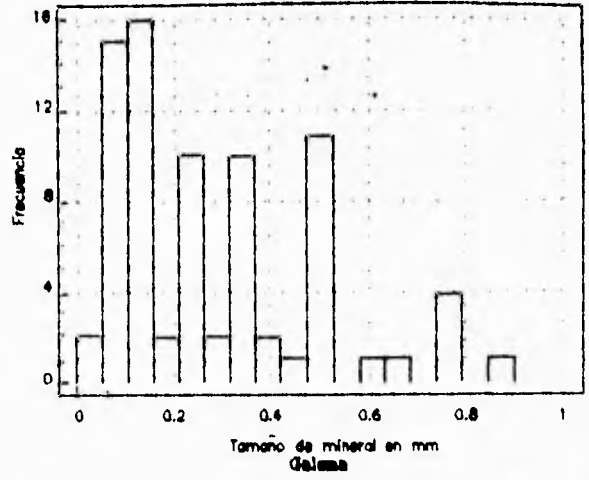
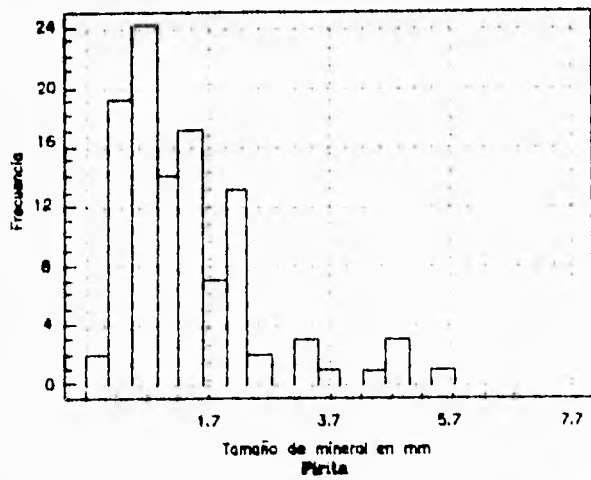
# **ANEXOS**



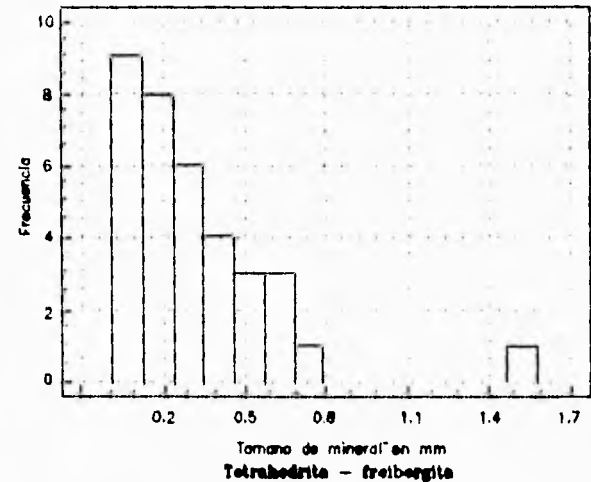
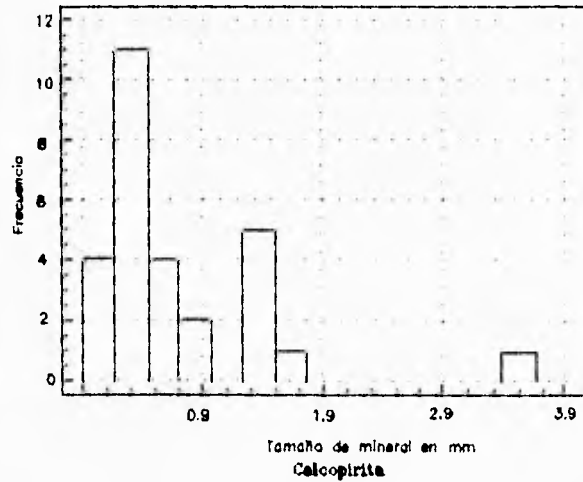
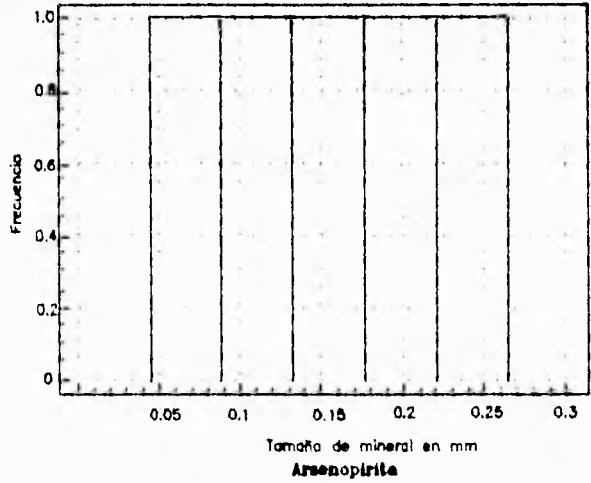
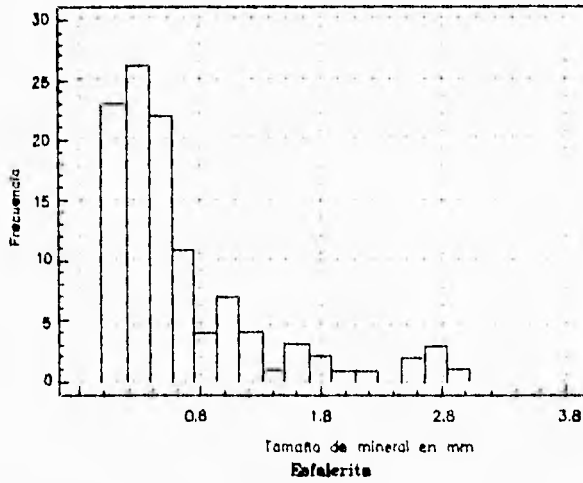
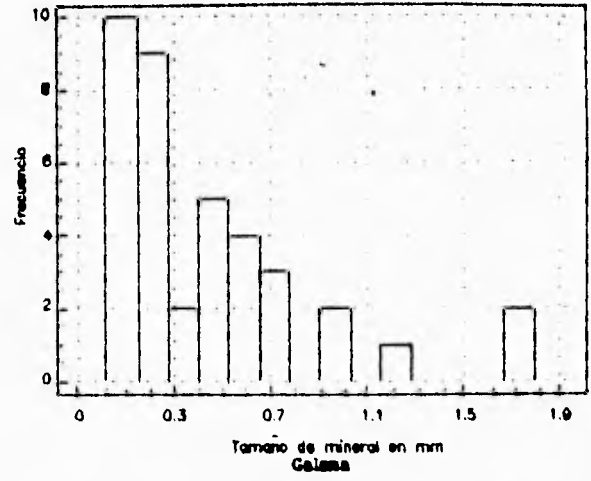
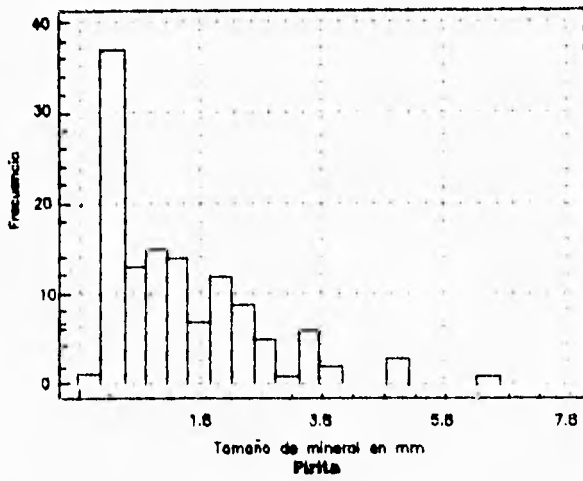
# **I. FIGURAS**



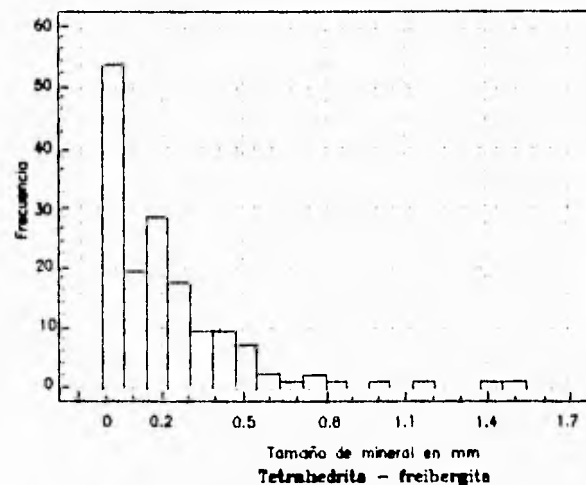
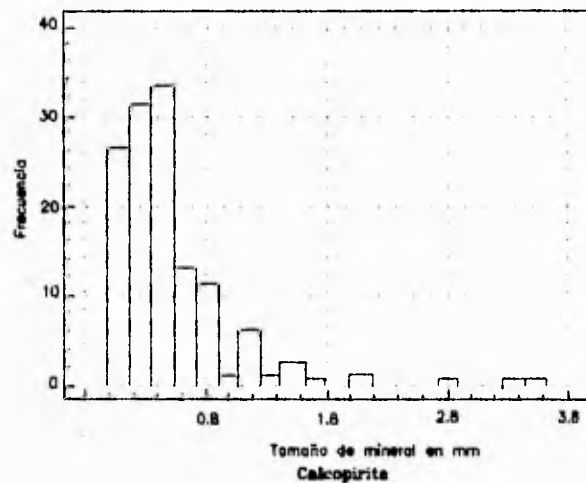
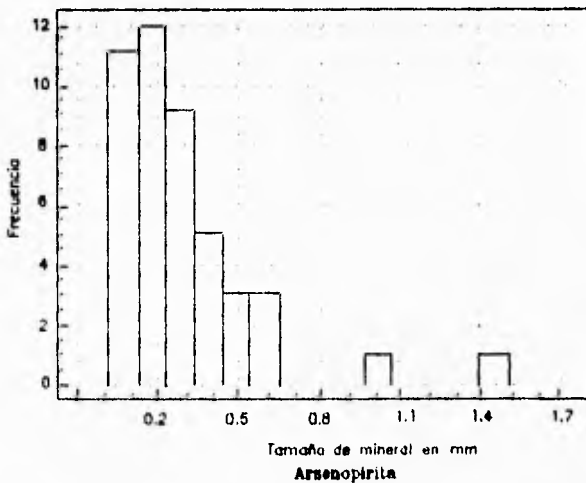
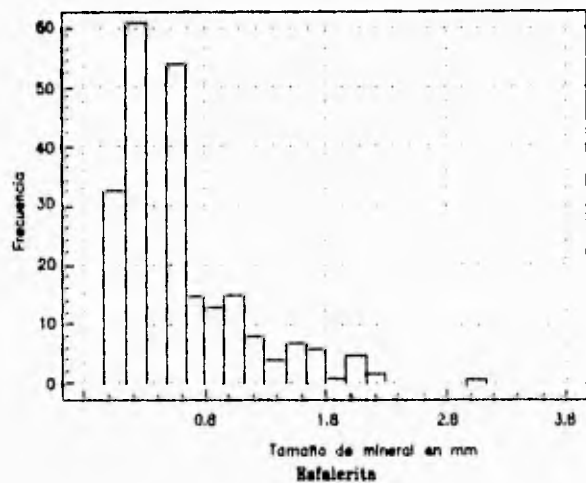
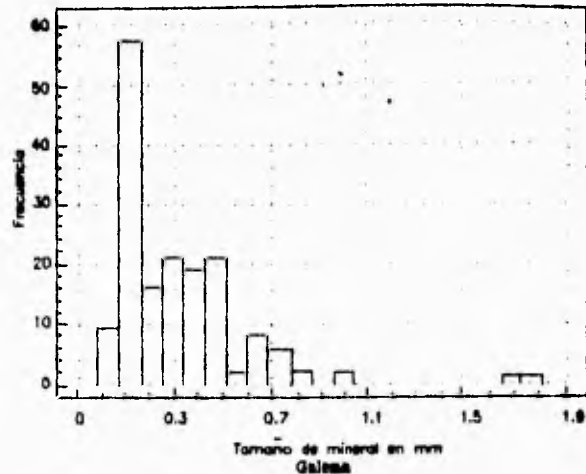
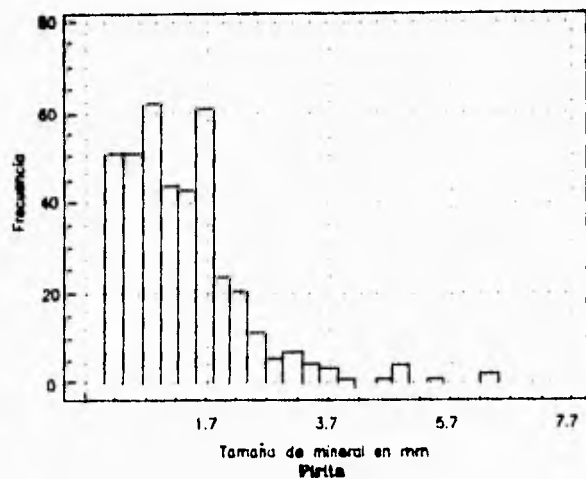
	<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>
	<b>TESIS PROFESIONAL</b>
<b>U</b>	<b>MIRIAM JEANNETTE GOMEZ ROMAN</b>
<b>N</b>	<b>HISTOGRAMAS DE TAMAÑO DE</b>
<b>A</b>	<b>MINERAL, CUERPO LI</b>
<b>M</b>	<b>ENERO-95</b>



	<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>
	<b>TESIS PROFESIONAL</b>
	<b>MIRIAM JEANNETTE GOMEZ ROMAN</b>
<b>U N A M</b>	<b>HISTOGRAMAS DE TAMAÑO DE MINERAL, CUERPO MI</b>
	<b>ENERO-95</b>



	<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>
	<b>TESIS PROFESIONAL</b>
	<b>MIRIAM JEANNETTE GOMEZ ROMAN</b>
<b>U N A M</b>	<b>HISTOGRAMAS DE TAMAÑO DE MINERAL, CUERPO M2</b>
	<b>ENERO-95</b>



	<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>
	<b>TESIS PROFESIONAL</b>
<b>U N A M</b>	<b>MIRIAM JEANNETTE GOMEZ ROMAN</b>
	<b>HISTOGRAMAS DE TAMAÑO DE MINERAL, CUERPO L1, M1, M2</b>
	<b>ENERO-95</b>

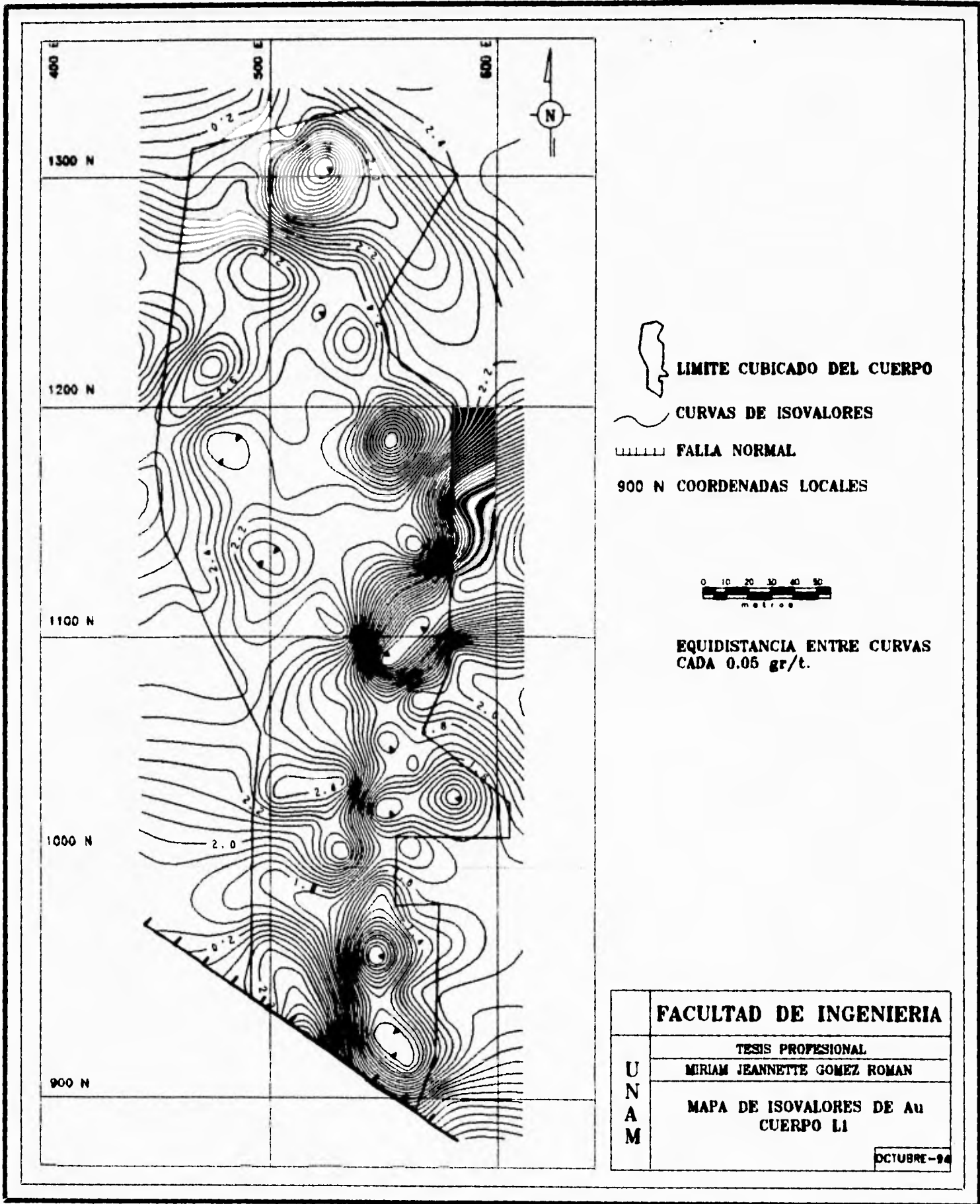


FIGURA No. 20

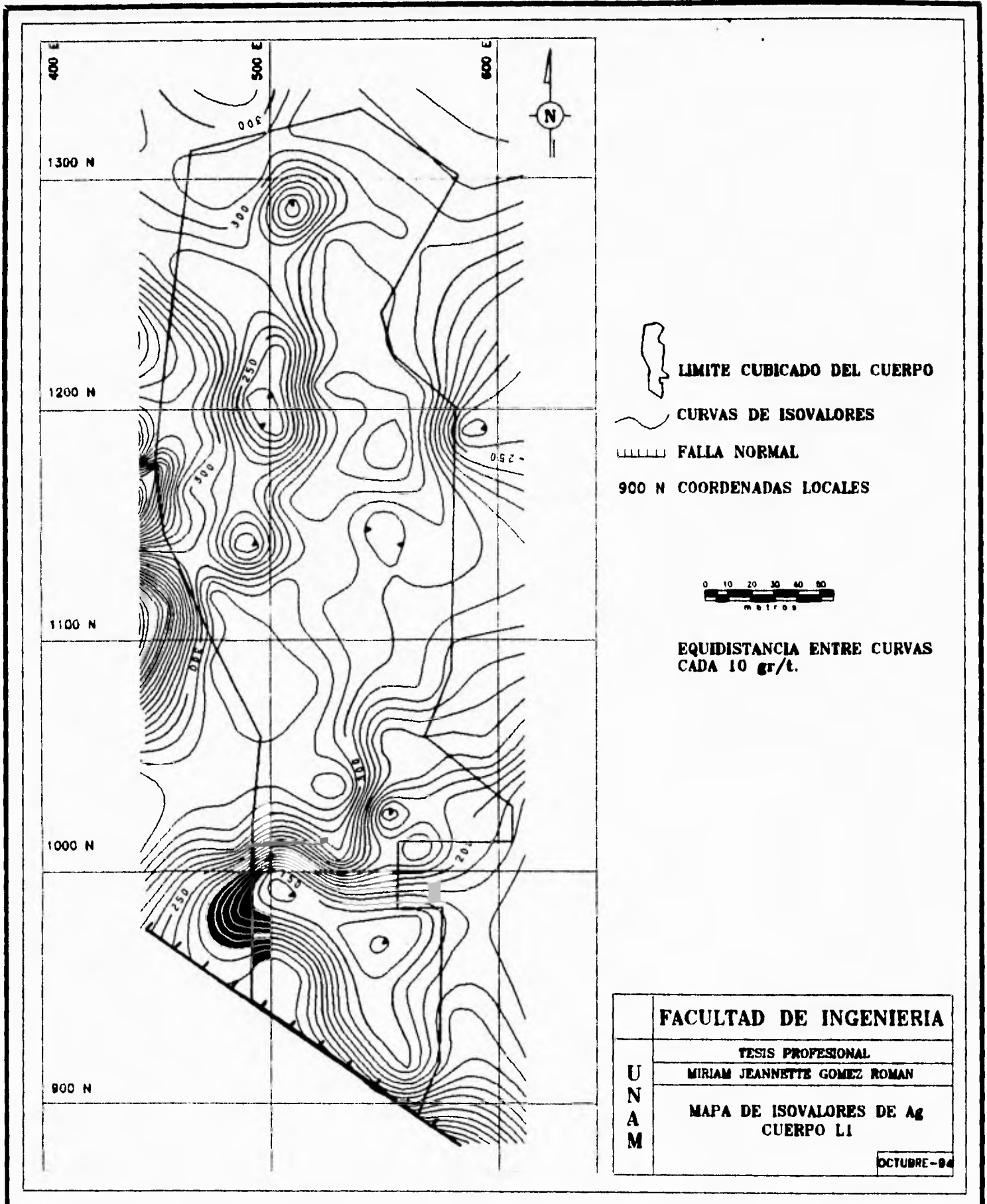


FIGURA No. 21

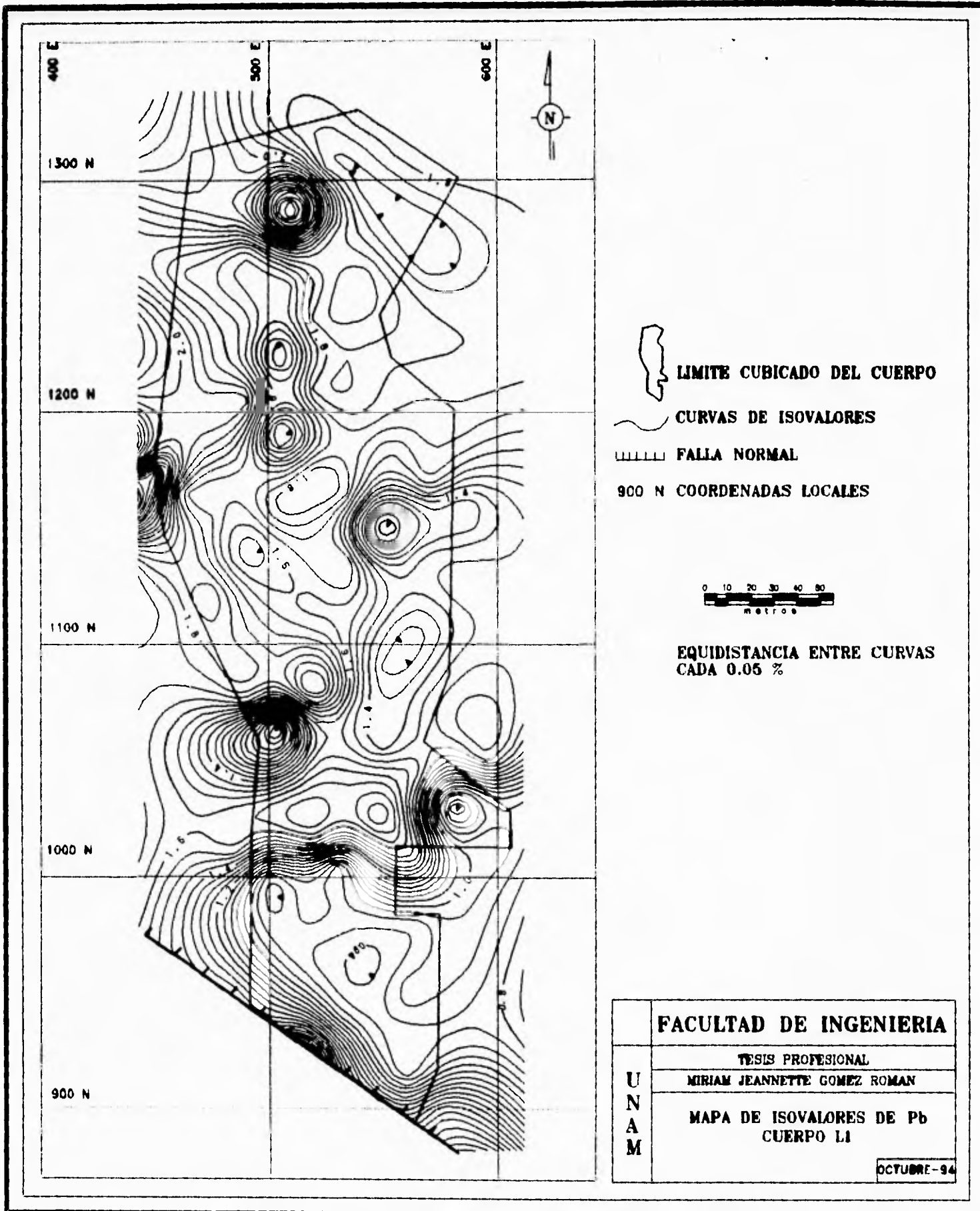
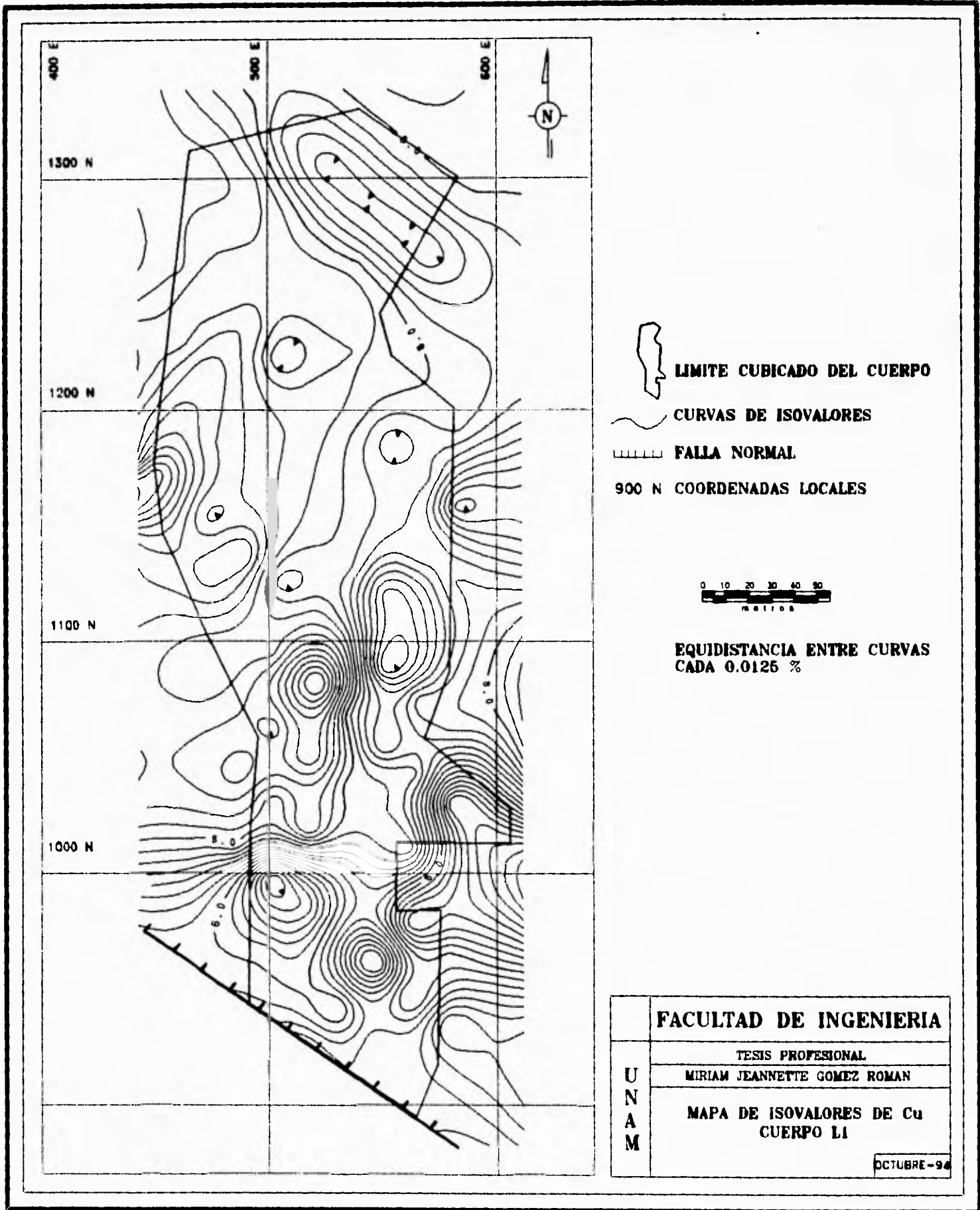





FIGURA No. 22







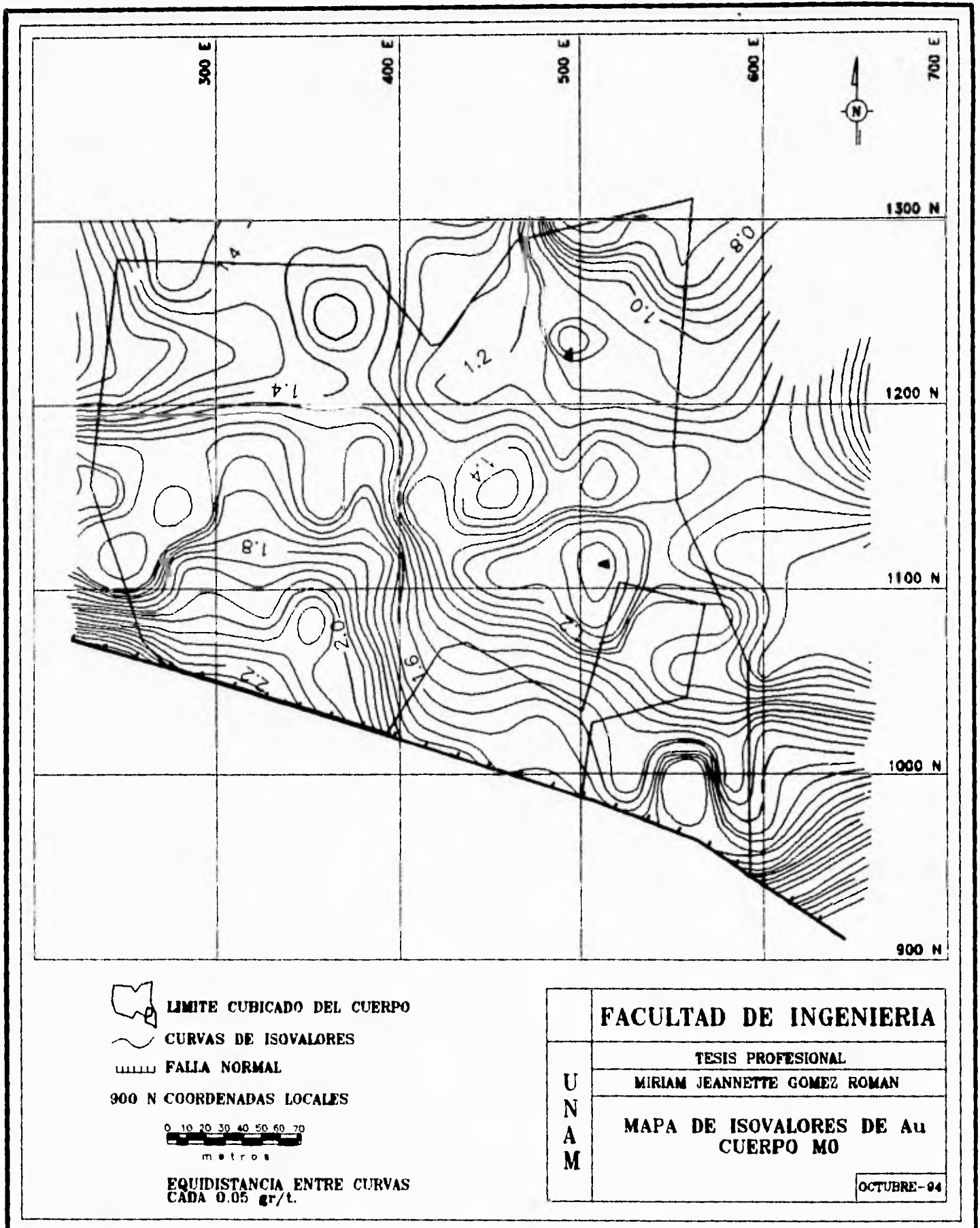
-  **LIMITE CUBICADO DEL CUERPO**
-  **CURVAS DE ISOVALORES**
-  **FALLA NORMAL**
- 900 N COORDENADAS LOCALES**






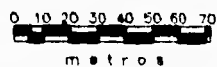
**EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS  
CADA 0.0125 %**

<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>	
<b>TESIS PROFESIONAL</b>	
<b>MIRIAM JEANNETTE GOMEZ ROMAN</b>	
<b>U N A M</b>	<b>MAPA DE ISOVALORES DE Cu CUERPO LI</b>
	<b>OCTUBRE-94</b>

FIGURA No. 24



-  LIMITE CUBICADO DEL CUERPO
-  CURVAS DE ISOVALORES
-  FALLA NORMAL
- 900 N COORDENADAS LOCALES



EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS  
CADA 0.05 gr/l.

<b>U N A M</b>	<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>
	TESIS PROFESIONAL
	MIRIAM JEANNETTE GOMEZ ROMAN
	<b>MAPA DE ISOVALORES DE Au CUERPO M0</b>
	OCTUBRE-94

FIGURA No. 25

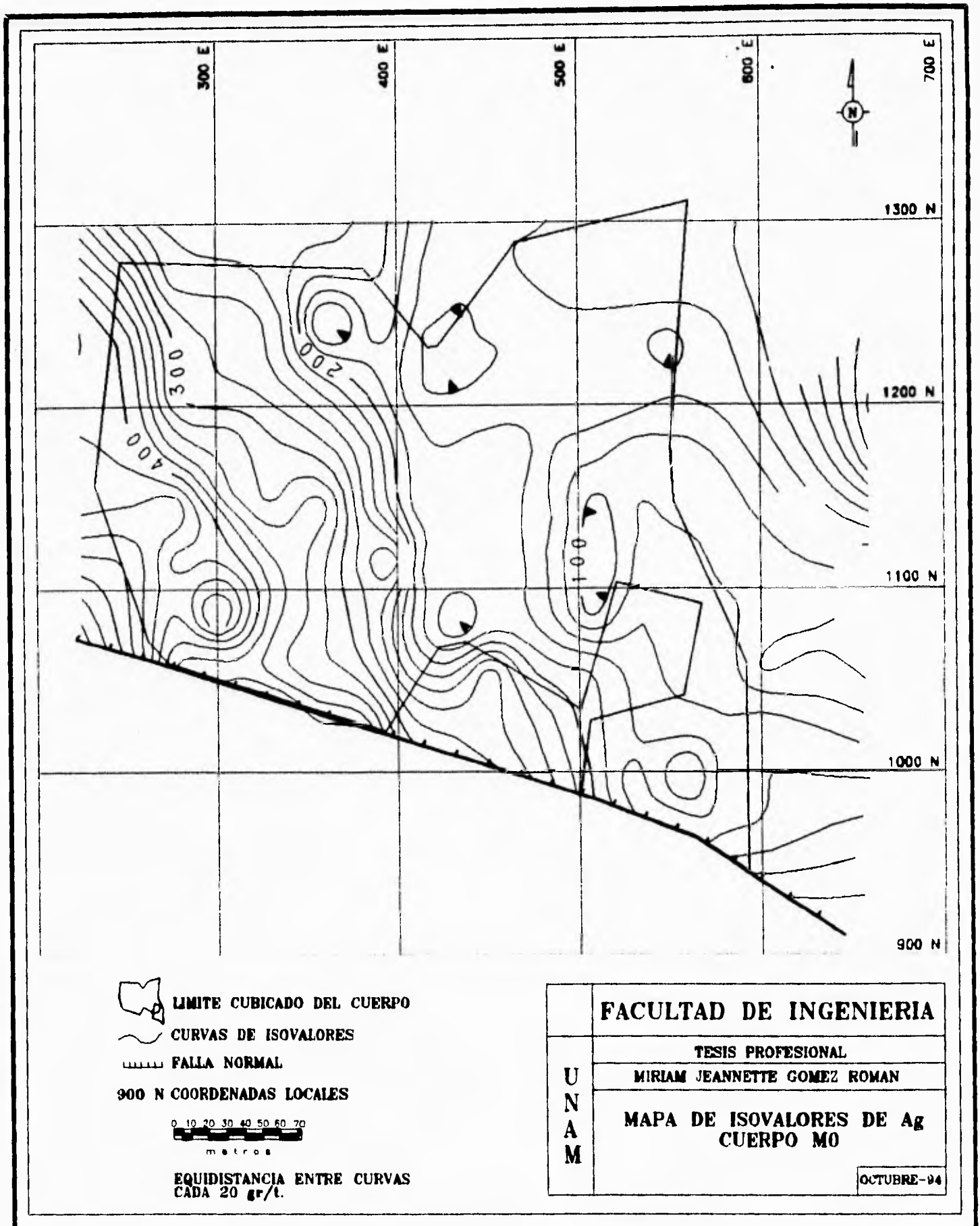


FIGURA No. 26

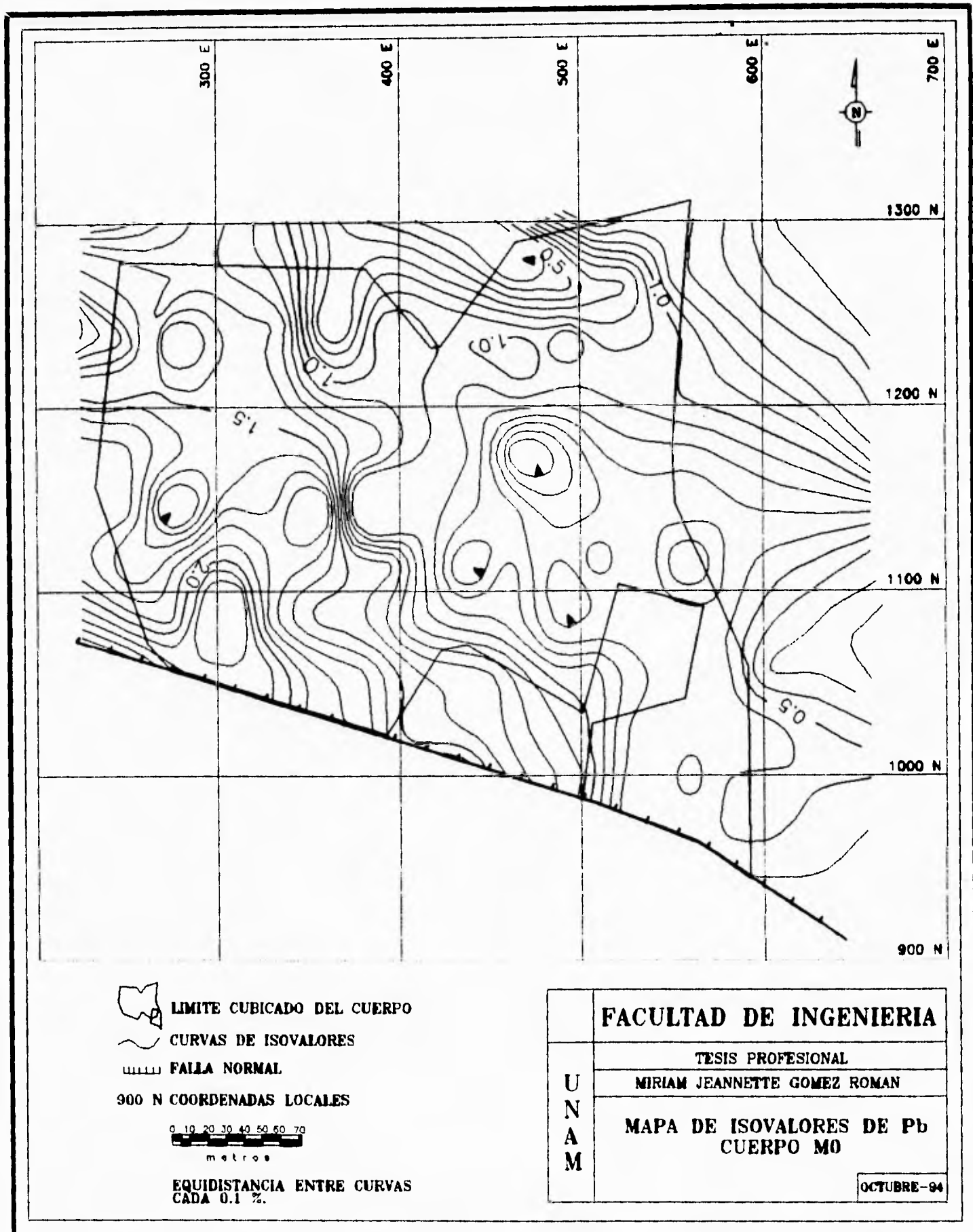


FIGURA No. 27

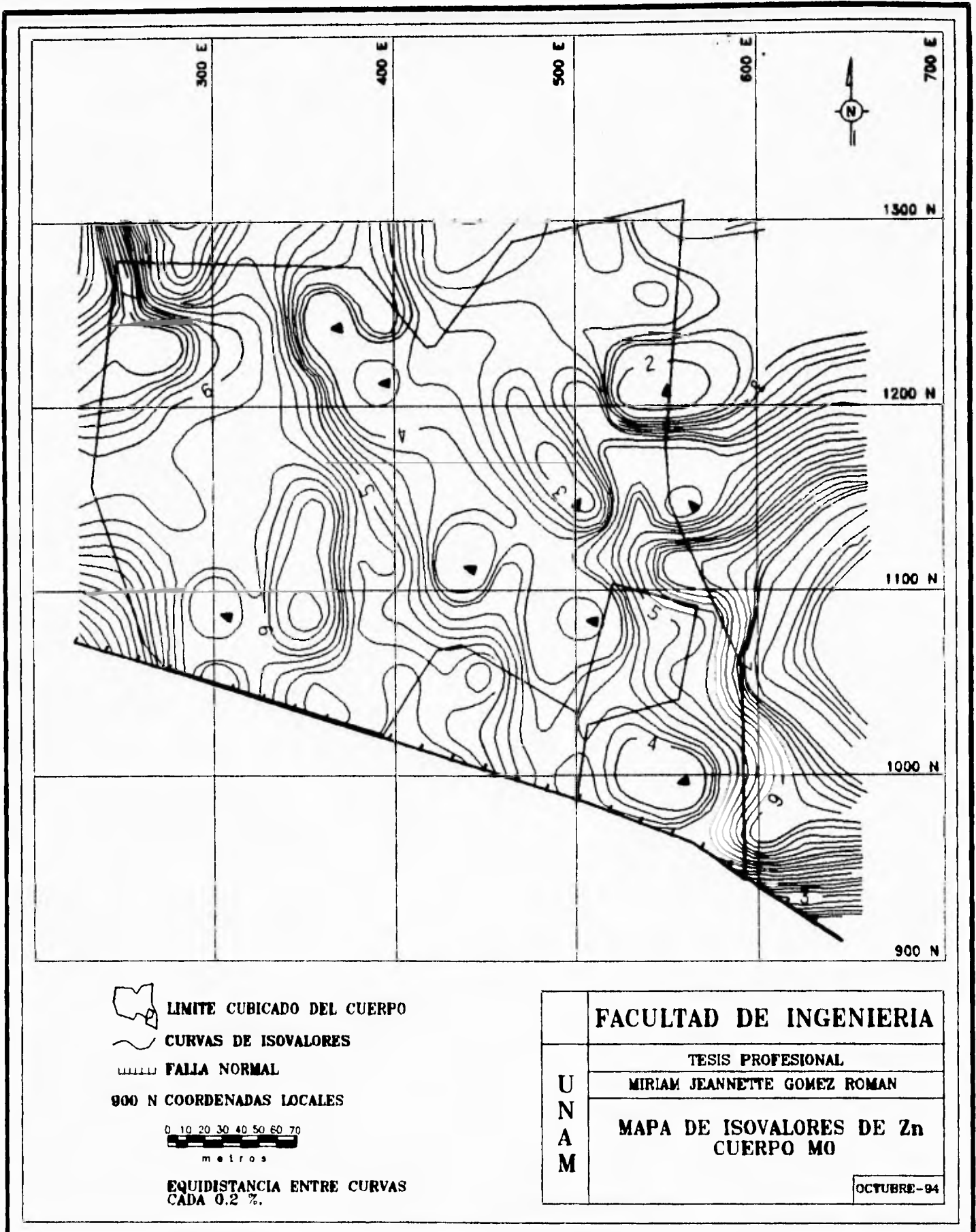


FIGURA No. 28

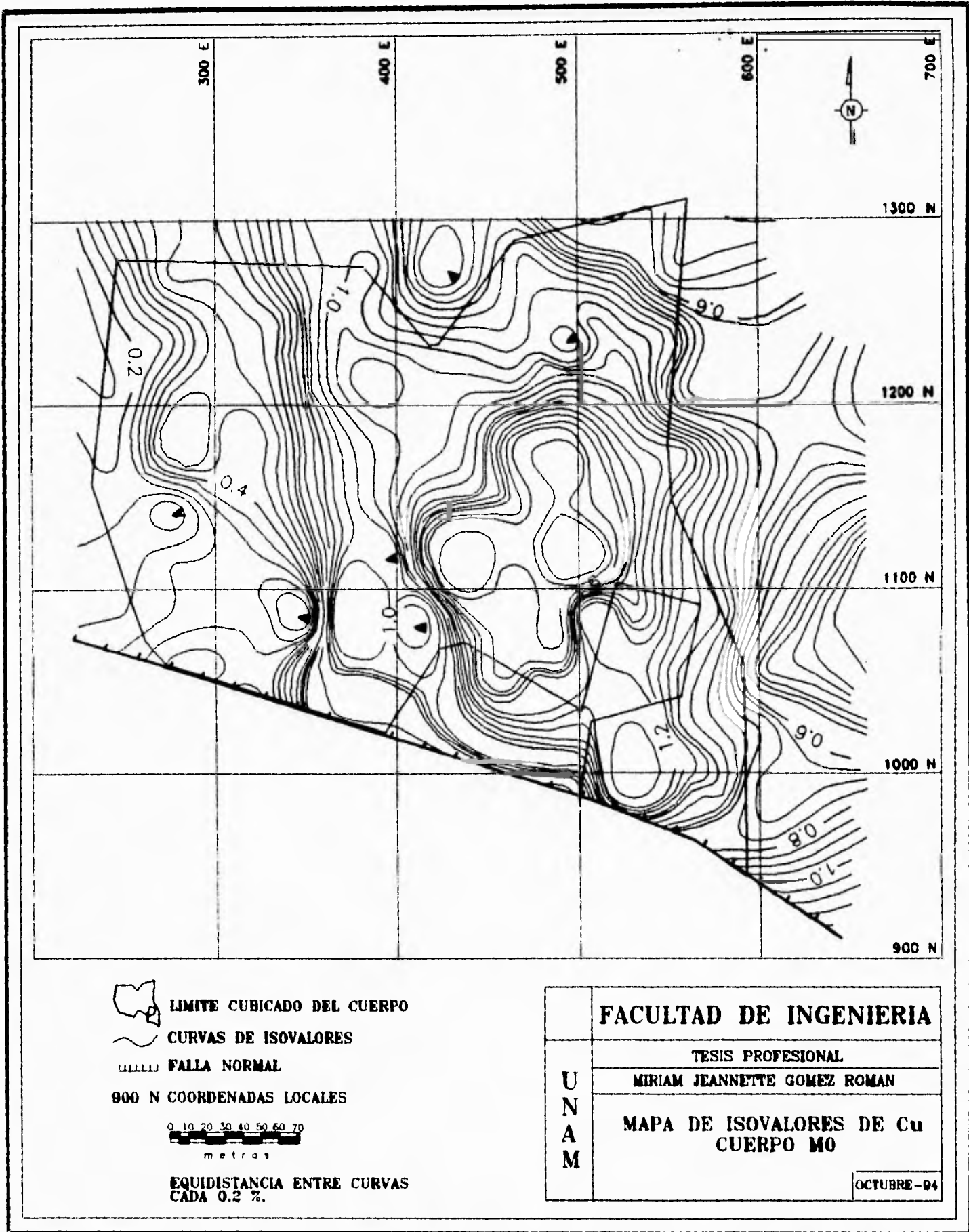
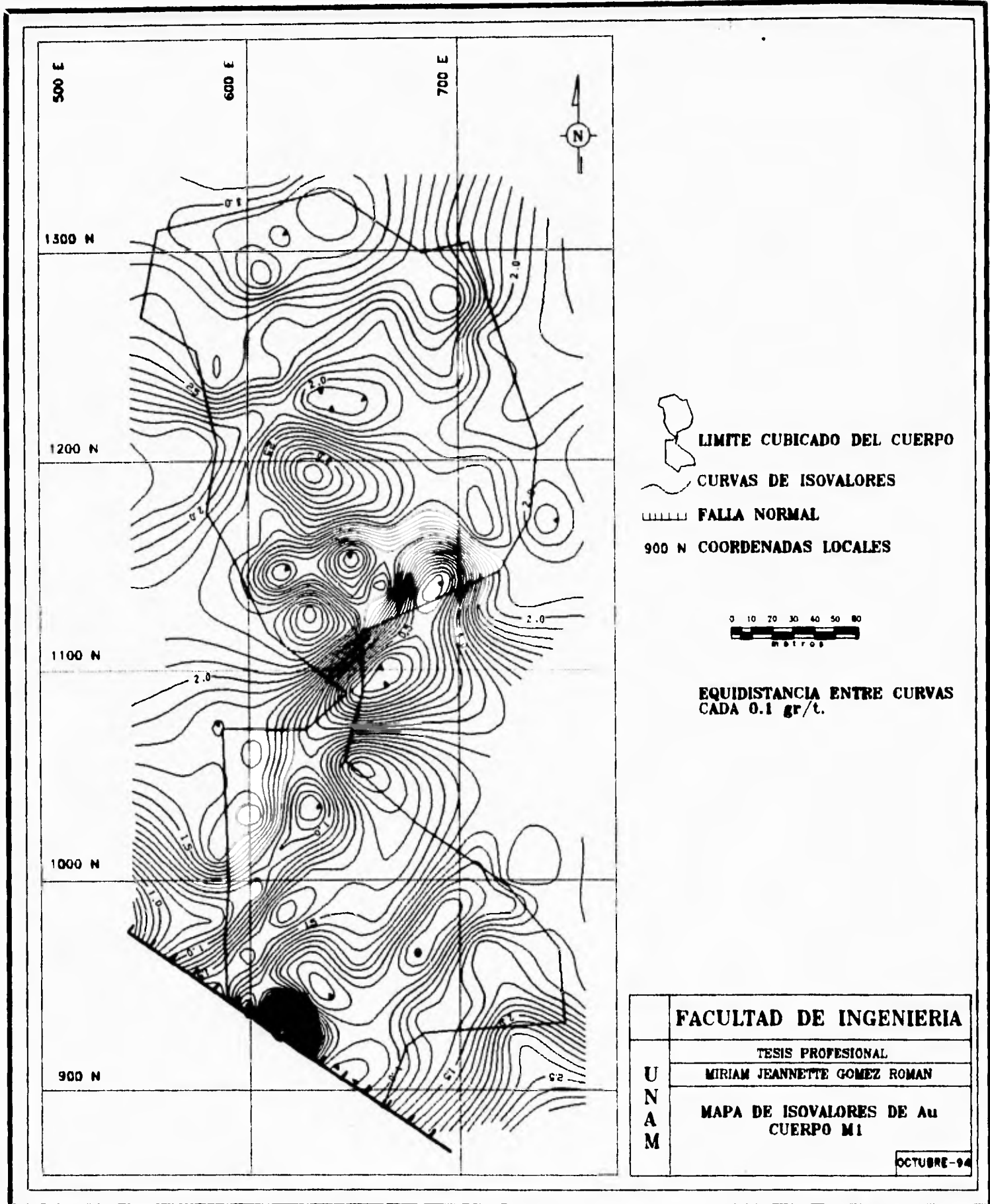
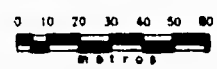


FIGURA No. 29



- LIMITE CUBICADO DEL CUERPO
- CURVAS DE ISOVALORES
- FALLA NORMAL
- 900 N COORDENADAS LOCALES

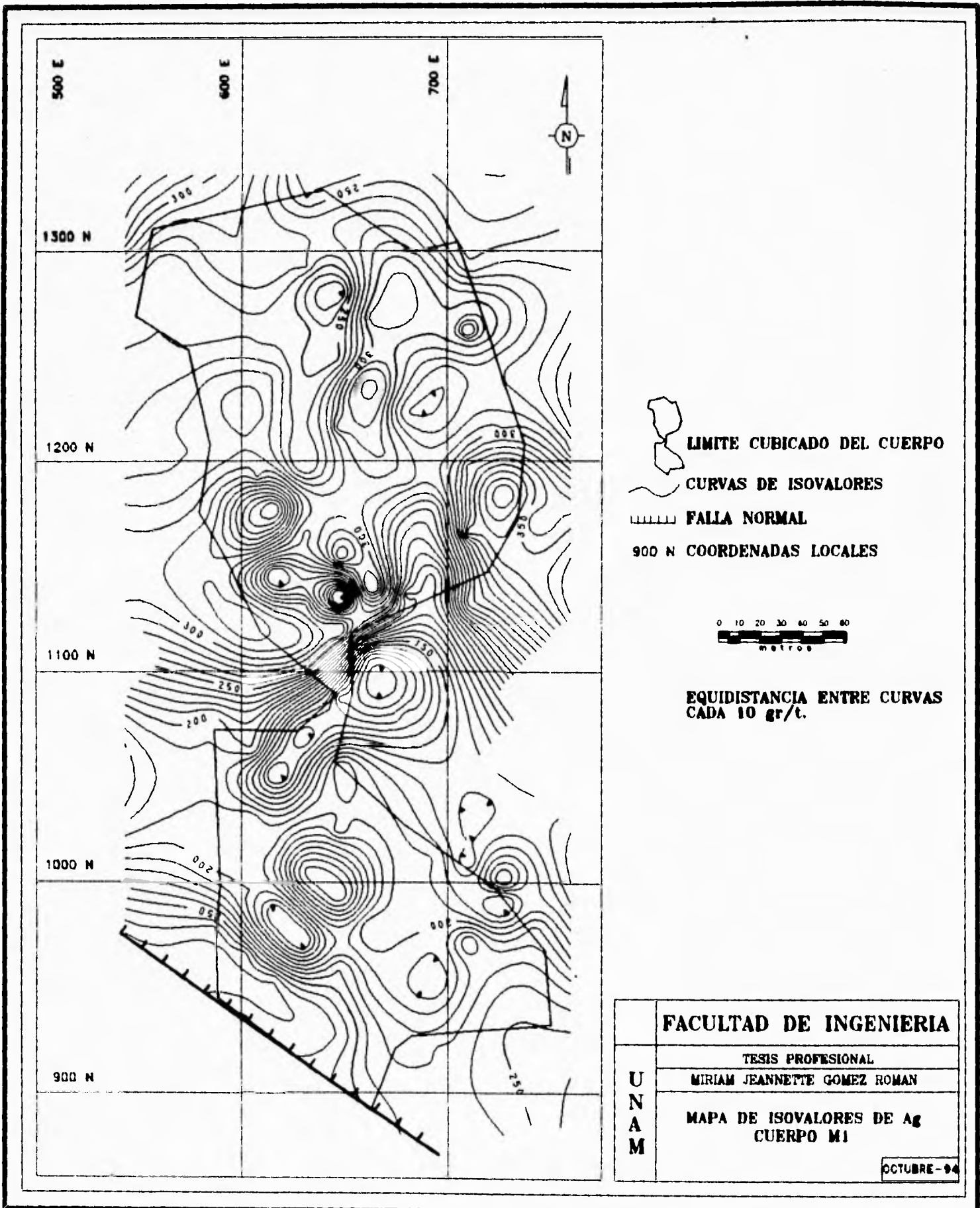


EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS  
CADA 0.1 gr/t.

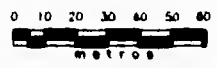
<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>	
TESIS PROFESIONAL	
MIRIAM JEANNETTE GOMEZ ROMAN	
<b>U N A M</b>	<b>MAPA DE ISOVALORES DE Au CUERPO M1</b>
	OCTUBRE-94

FIGURA No. 30





**LIMITE CUBICADO DEL CUERPO**  
**CURVAS DE ISOVALORES**  
**FALLA NORMAL**  
**900 N COORDENADAS LOCALES**



**EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS  
CADA 10 gr/t.**

<b>U N A M</b>	<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>
	TESIS PROFESIONAL
	MIRIAM JEANNETTE GOMEZ ROMAN
	<b>MAPA DE ISOVALORES DE Ag CUERPO M1</b>
	OCTUBRE-94

FIGURA No. 31

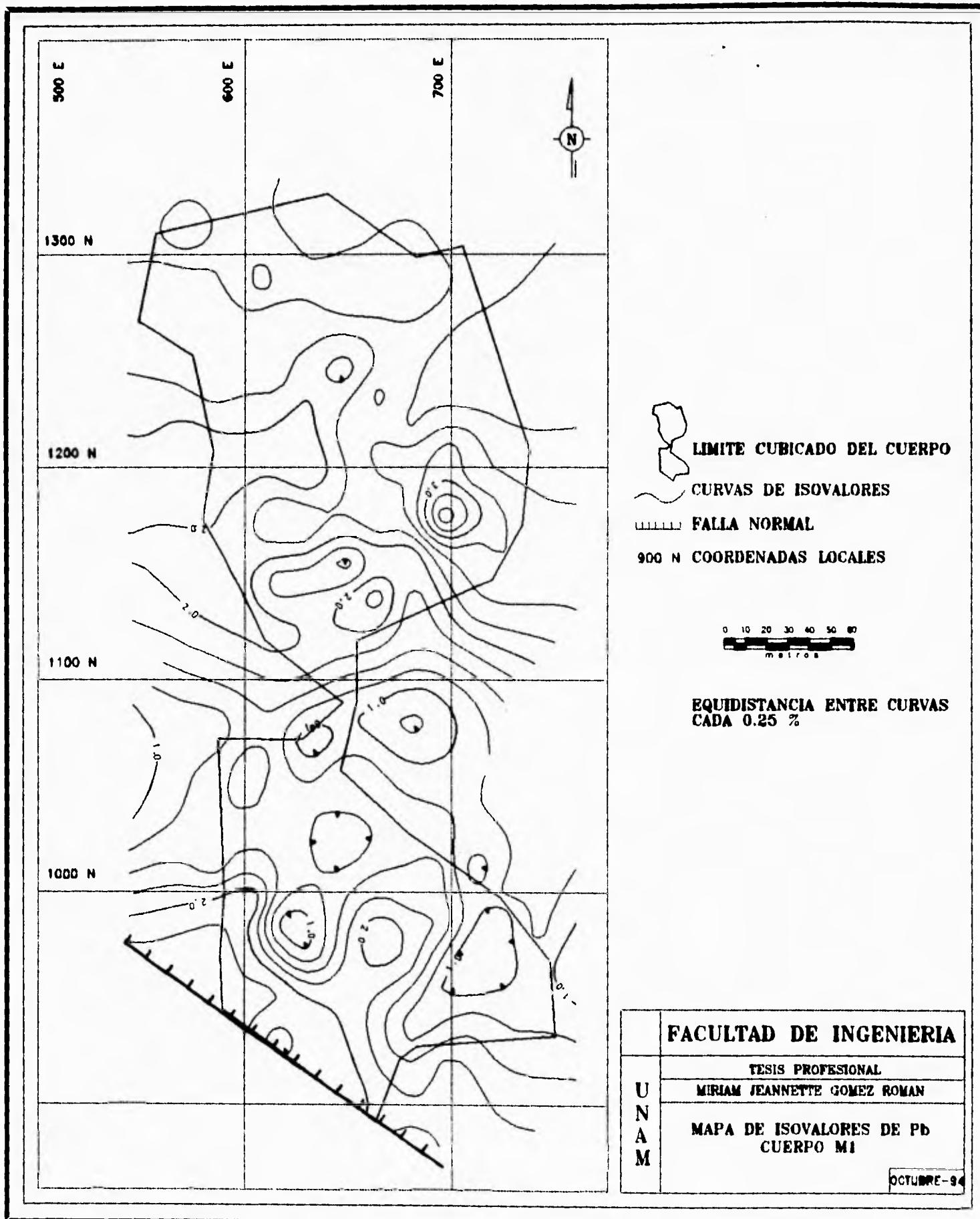
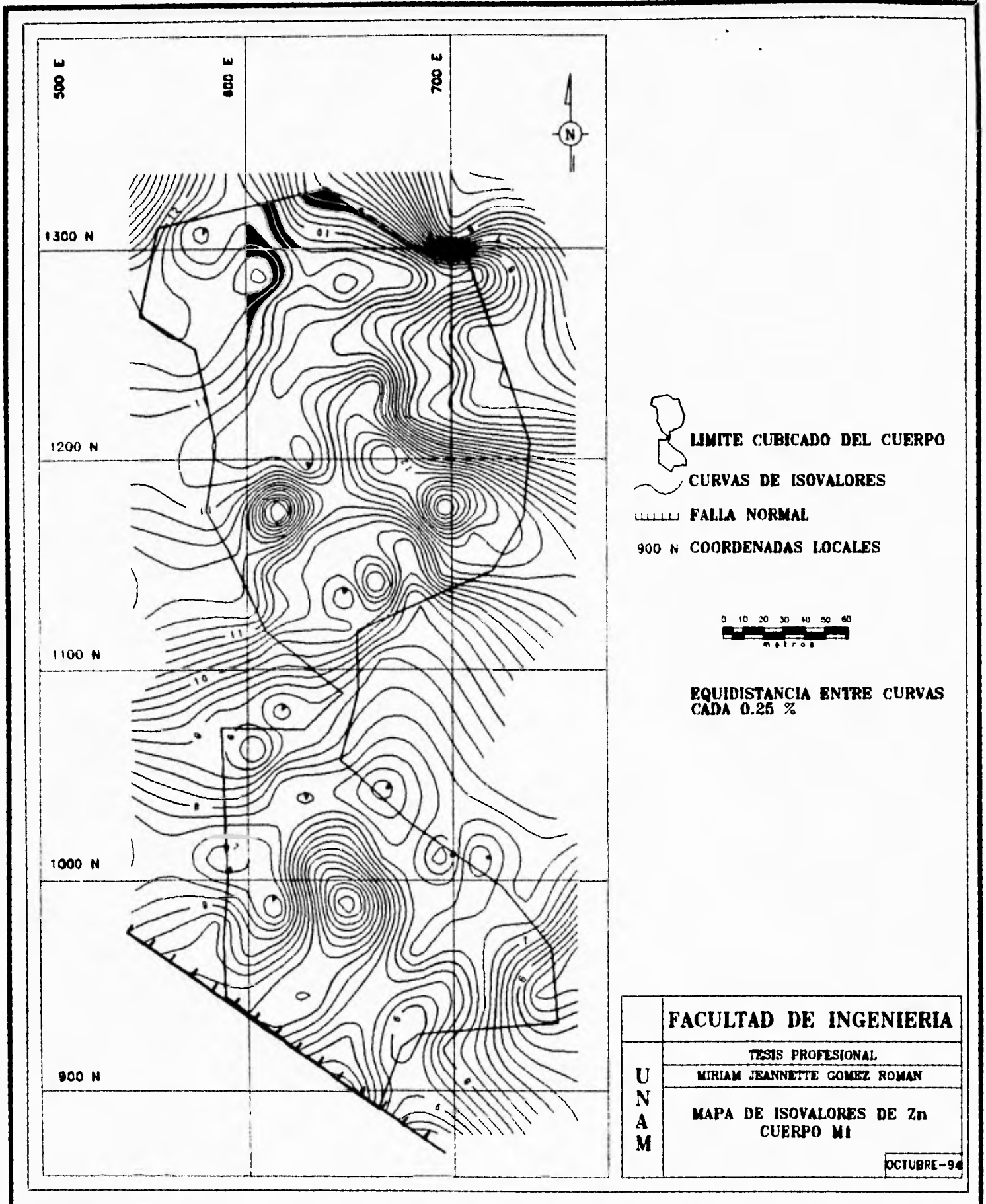



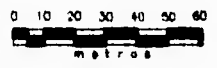


FIGURA No. 32



-  LIMITE CUBICADO DEL CUERPO
-  CURVAS DE ISOVALORES
-  FALLA NORMAL
- 900 N COORDENADAS LOCALES



EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS  
CADA 0.25 %

<b>U N A M</b>	<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>
	TESIS PROFESIONAL
	MIRIAM JEANNETTE GOMEZ ROMAN
	MAPA DE ISOVALORES DE Zn CUERPO MI
	OCTUBRE-94

FIGURA No. 33

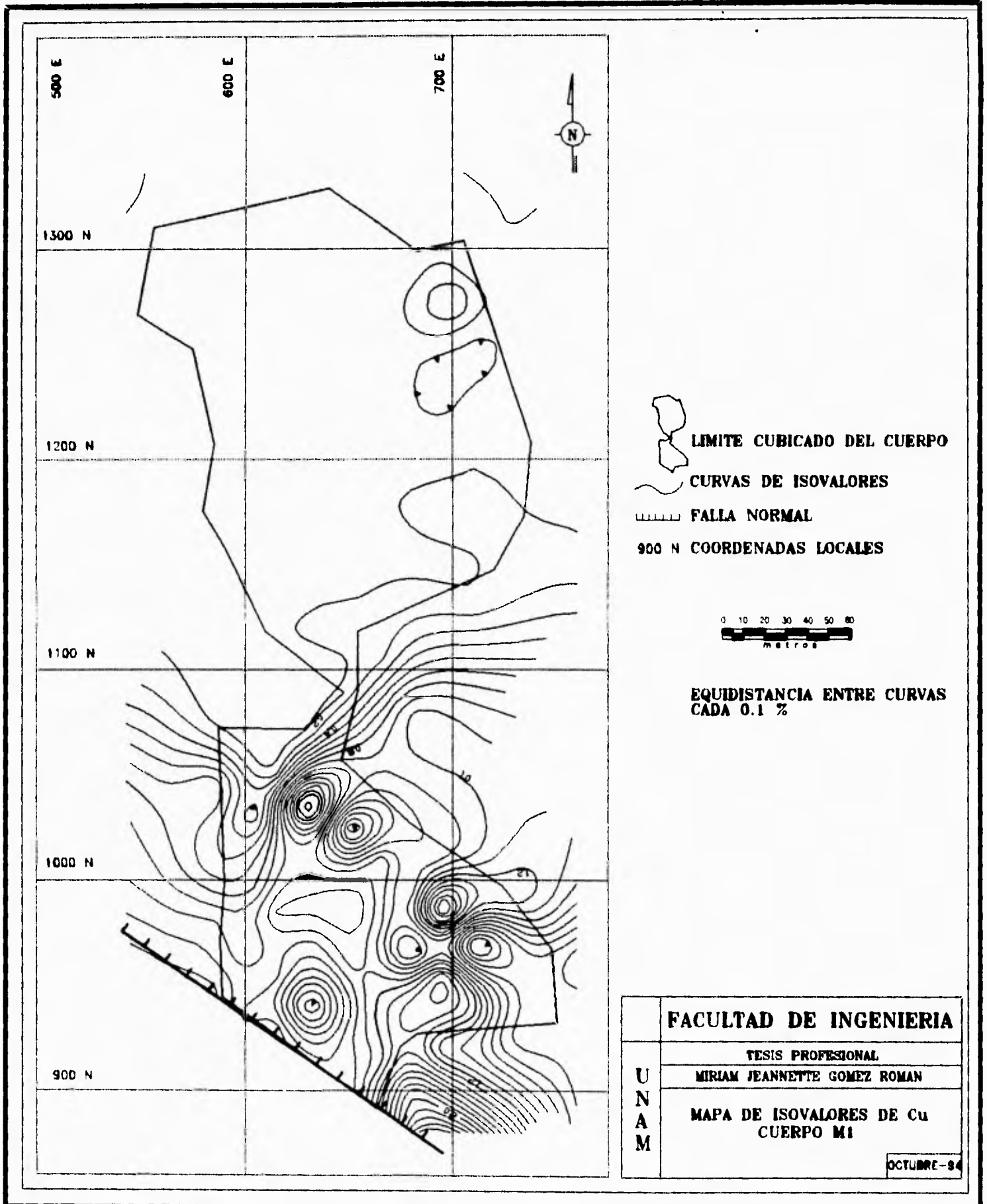
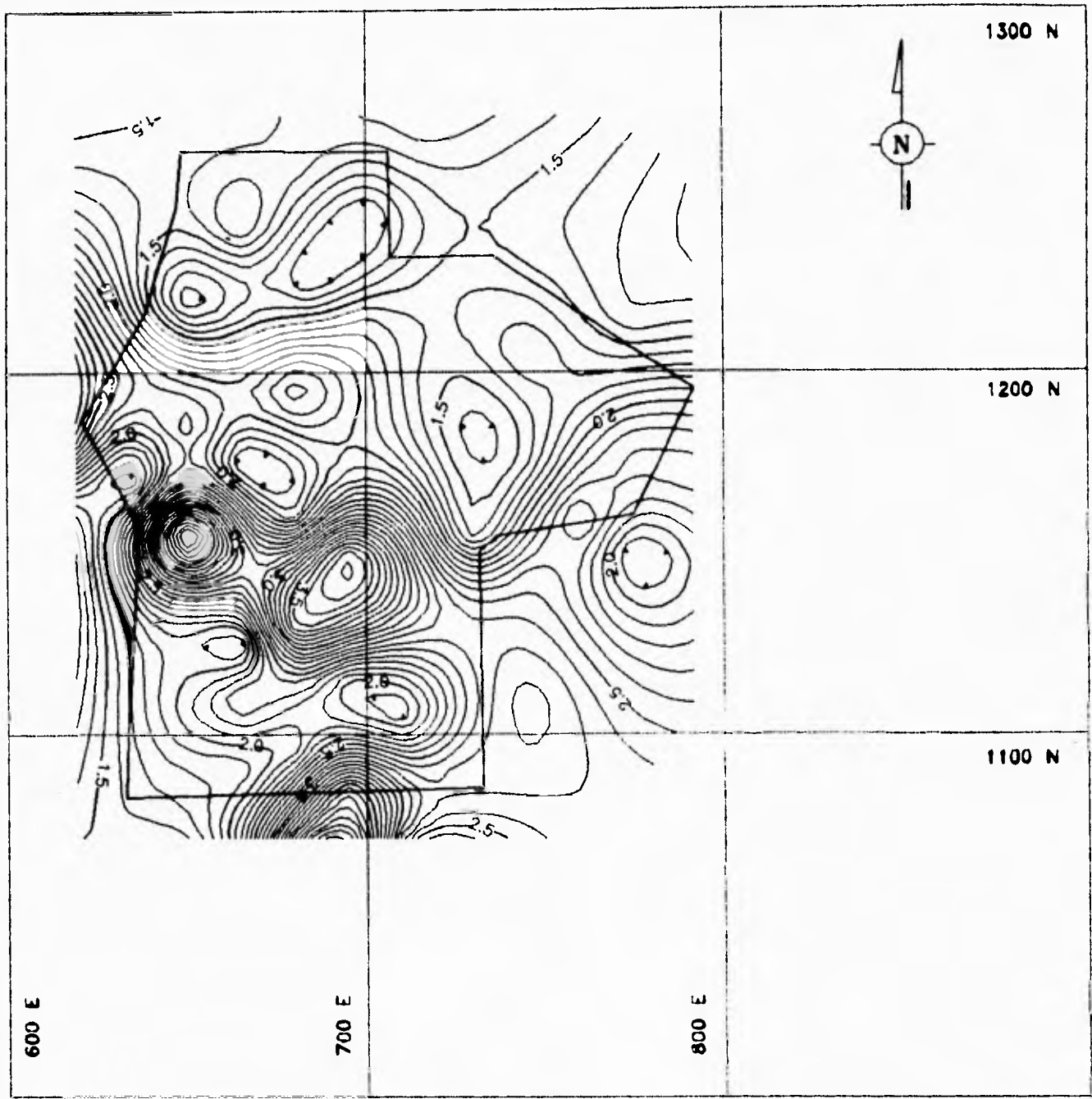





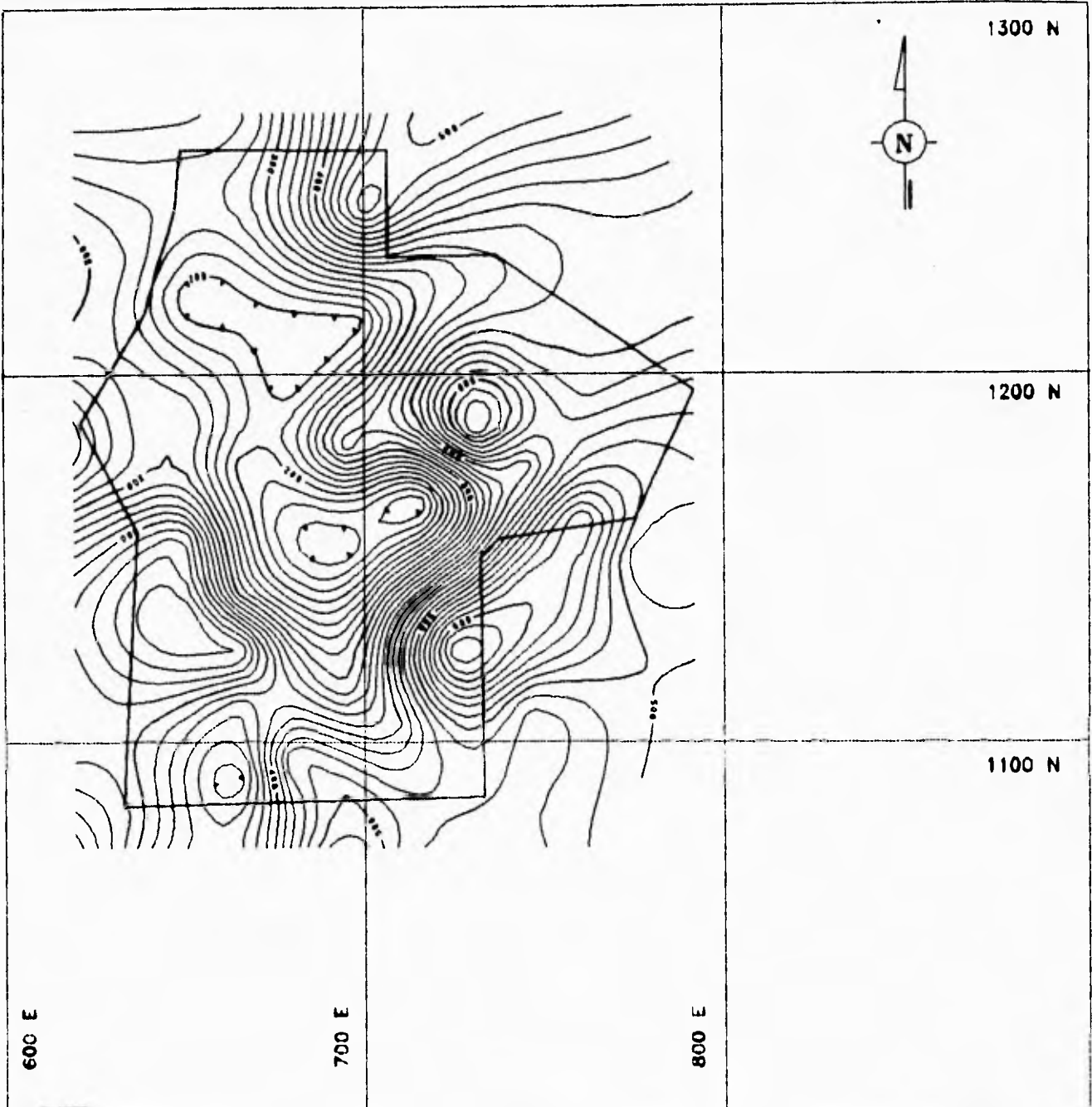
FIGURA No. 34



 **LIMITE CUBICADO DEL CUERPO**  
 **CURVAS DE ISOVALORES**  
**600 E COORDENADAS LOCALES**  
  
**EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS**  
**CADA 0.1 gr/t.**

<b>U N A M</b>	<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>
	TESIS PROFESIONAL
	MIRIAM JEANNETTE GOMEZ ROMAN
	<b>MAPA DE ISOVALORES DE Au</b> <b>CUERPO M2</b>
	OCTUBRE - 94

FIGURA No. 35



**LIMITE CUBICADO DEL CUERPO**

**CURVAS DE ISOVALORES**

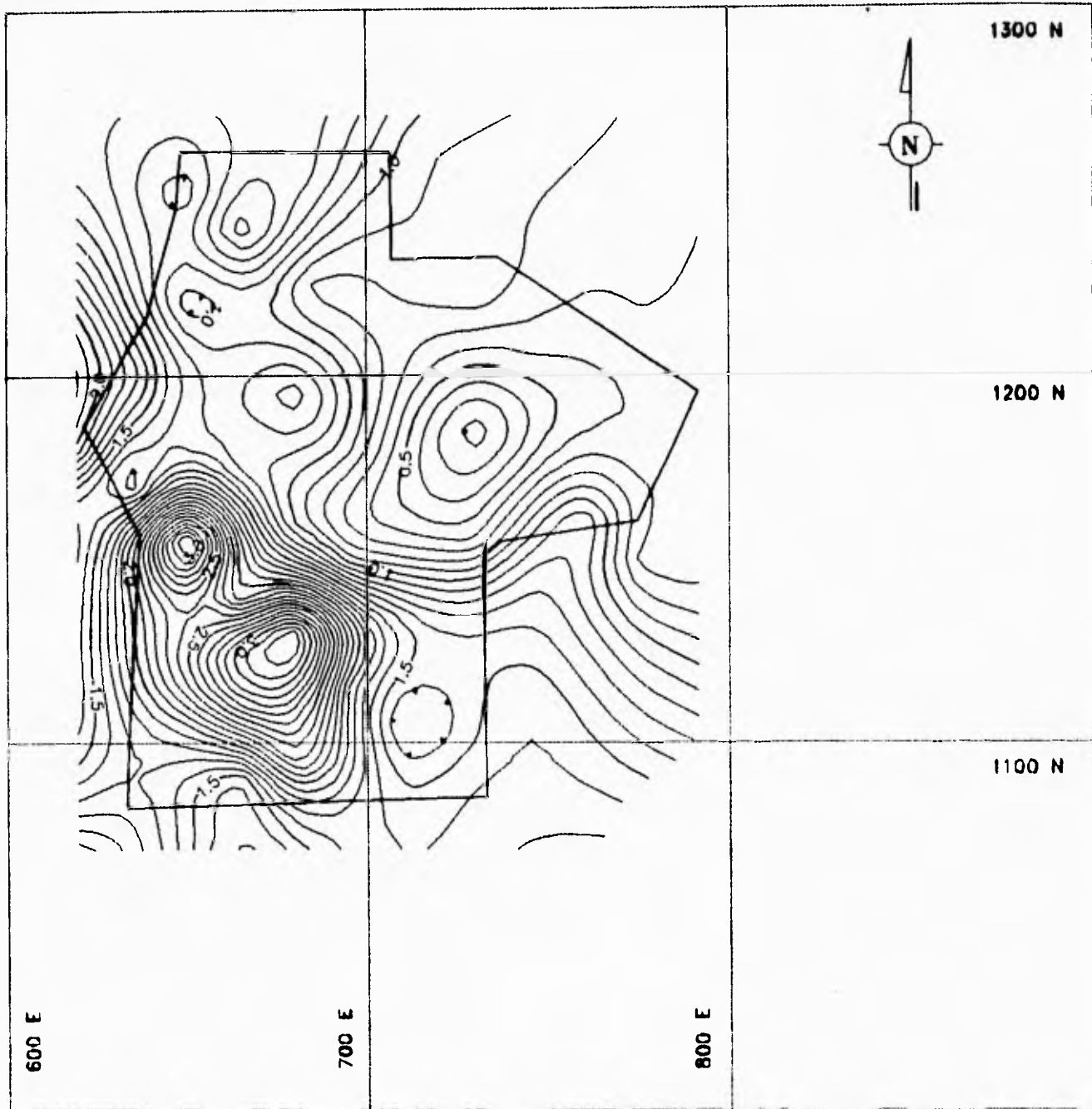
**600 E COORDENADAS LOCALES**



**EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS  
CADA 20 gr/t.**

<b>U N A M</b>	<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>
	TESIS PROFESIONAL
	MIRIAM JEANNETTE GOMEZ ROMAN
	<b>MAPA DE ISOVALORES DE Ag CUERPO M2</b>
	OCTUBRE - 84

FIGURA No. 36

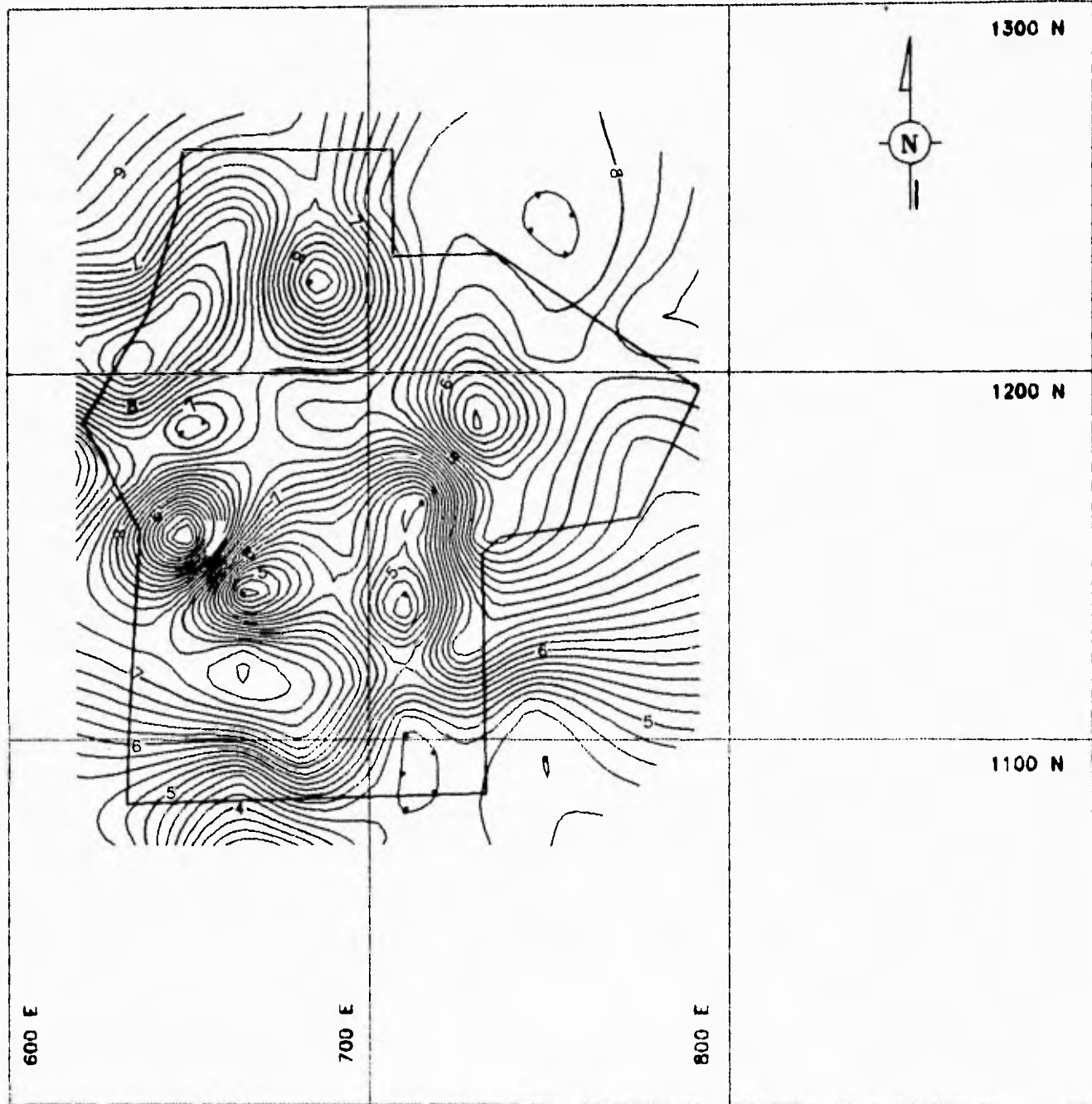


**LIMITE CUBICADO DEL CUERPO**  
**CURVAS DE ISOVALORES**  
**600 E COORDENADAS LOCALES**



**EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS**  
**CADA 0.1 %**

	<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>
	<b>TESIS PROFESIONAL</b>
	<b>MIRIAM JEANNETTE GOMEZ ROMAN</b>
<b>U N A M</b>	<b>MAPA DE ISOVALORES DE Pb CUERPO M2</b>
	<b>OCTUBRE - 94</b>

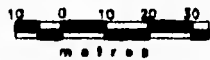


**LIMITE CUBICADO DEL CUERPO**

**CURVAS DE ISOVALORES**

**600 E**

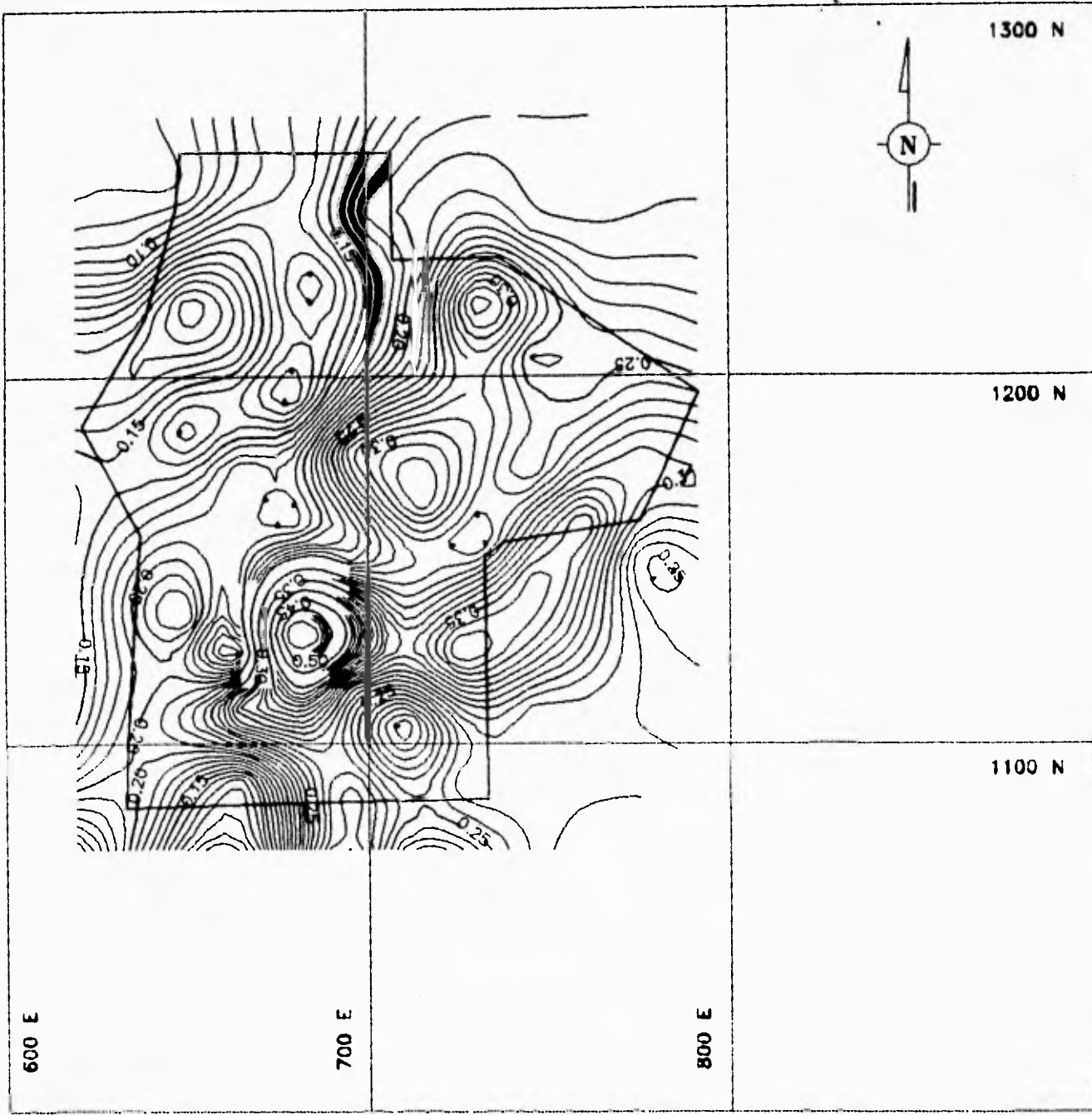
**COORDENADAS LOCALES**



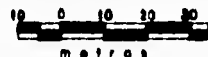


**EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS  
CADA 0.2 %**

	<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>
	<b>TESIS PROFESIONAL</b>
	<b>MIRIAM JEANNETTE GOMEZ ROMAN</b>
<b>U N A M</b>	<b>MAPA DE ISOVALORES DE Zn CUERPO M2</b>
	<b>OCTUBRE - 94</b>





 **LIMITE CUBICADO DEL CUERPO**  
 **CURVAS DE ISOVALORES**  
**600 E COORDENADAS LOCALES**  
  
**EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS**  
**CADA 0.1 gr/t.**

	<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>
	<b>TESIS PROFESIONAL</b>
	<b>MIRIAM JEANNETTE GOMEZ ROMAN</b>
<b>U N A M</b>	<b>MAPA DE ISOVALORES DE Cu</b> <b>CUERPO M2</b>
	<b>OCTUBRE - 84</b>

FIGURA No. 39

## **II. PETROGRAFIA**

ESTUDIO DE PETROGRAFIA											
Muestra No.	Localidad	Descripción Macroscópica			Descripción Microscópica					Caracteres especiales	Clasificación
		Color	Est y Tex	Min Observables	Textura	Min Esen	Min Acce	Min Sec	Mat o cem		
4	Arroyo El Ahogado	gris oscuro diseminación de sulfuros	Comp, mas	micas, cz, pg	lp, gr, aug	cz, mic	bt, mcv, op, cl, rut	ser	ninguno	Min con orientación preferencial, cz con ext ondulante, micas deformadas, frag de mic con estruc de enrejado	Esq de cz y mic
5	A. Ahogado	crema, pardo	comp, gne	micas, cz, fd, frmag	lep, xe	cz, mic	bt, mcv, op	ser	ninguno	Min con orientación preferencial, cz extinción ondulante, micas deformadas, cristales anedrales de cz, mic con estruc de enrejado. Facies de anfibolita	Esq de cz - fd y mcv
12	Cro 10 102 SW	verd olivo	fsil, esq	micas, cz, fd, frmag	lep, gr	cz, mic	mcv, op	ser	ninguno	Min con orientación preferencial, cz con extinción ondulante, mic anedral diseminación de sulfuros. Facies de esquistos verde	Esq de cz, fd, mcv
13	Cro 10 102 SW	verd olivo	fsil, esq	micas, cz, fd, frmag	lep, gr	cz, mic	mcv, op	ser	ninguno	Min con orientación preferencial, cz con extinción ondulante, diseminación de sulfuros, mcv en bandas continuas y partes deformada. Facies de esquistos verde	Esq de cz, fd, mcv
26	Cro 10 102 SW Contacto SM y esquistos	verd olivo	comp, esq	micas, cz, fd, frmag	lep, gr, pd	cz, mic	mcv, op	ser	ninguno	Aumenta la diseminación de sulfuros. Min con orientación preferencial, cz extinción ondulante, fracturamiento en los min opacos	Esq de cz, fd, mcv
27	Cro 10 102 SW	verd olivo	comp, esq	micas, cz, fd, frmag	lep, gr, xe	cz, mic	mcv, cl, op	ser, cl	ninguno	Min con orientación preferencial, cz extinción ondulante, cristales de cz fracturados, diseminación de sulfuros	Esq de cz, fd, mcv, cl
35	Rpa 10 012 NW	verd	comp, esq	micas, cz, fd, frmag	lep, gr, xe	cz, mic	mcv, op	ser	ninguno	Min con orientación preferencial, cz extinción ondulante, mcv deformada mic anedral.	Esq de cz, fd, mcv, cl
40	Rpa 10 012 NW	verd	comp, esq	micas, cz, fd, frmag	lep, xe	cz, fd	mcv, op	ser	ninguno	Intercrecimiento de cz, en la mcv, cz con extinción ondulante, mcv alterada, diseminación de sulfuros	Esq de cz, fd, mcv, cl
42	Rpa 10 012 NW	bl perlado	semicomp esq	micas, cz	lep, xen, gr	cz, fd	mcv, cl, op	ser, carb	ninguno	Mcv alterada, cz y fd forman un mosaico granoblastico, empaquetamiento de los cristales de cz es de tipo suturado, diseminación de sulfuros	Esq de cz - mcv
43	Rpa 10 012 NW	bl perlado	semicomp esq	micas, cz	lep, xe, gr	cz, fd	mcv, cl, op	ser, carb	ninguno	Diseminación de sulfuros, cz con extinción ondulante, cz y fd forman un mosaico granoblastico, cristales de cz fracturados.	Esq de cz - mcv
45	Rpa 10 012 NW	gris perlado	comp, esq, diseminado de sulfuros	micas, cz y op	xe	cz	mcv, cl, op	ser, carb	ninguno	Micas sericizadas, cz de extinción ondulante, micas deformadas, el contacto entre los cristales es de tipo suturado, diseminación de sulfuros	Esq de cz - mcv

										exhiben contornos cúbicos	
51	Rpa 9 952 SW	crema, gns	comp, esq	cz, micas, op	xe, lep	cz	cl, op,	goetita, ser, carb	ninguno	cz deformado exhibe extinción ondulante, diseminación de sulfuros, laminaciones de goetita, micas alteradas, contacto entre los cristales de tipo suturado	Esq de cz - cl
52	Rpa 9 952 SW	crema, gns, partes rojizo	Comp, esq con dis de sulf	cz, micas, op	xe, lep	cz	cl, op,	goetita, ser, carb	ninguno	Mineralogía con orientación preferencial, laminaciones de goetita, clorita y cuarzo, micas deformadas	Esq de cz - cl
59	Rpa 9 952 SW	crema gnsáceo	comp, afanit sulfuros dis	cz, fd, op	xe	cz, fd	mcv, cl, op	ser, carb	ninguno	Micas deformadas, alteradas, diseminación de sulfuros de forma anedral, exhibe carbonatos	Felsita
62	Rpa 9 952 SW	negro gnsáceo, lustre sedoso	comp, esq	cz, fd, op	xe, lep, gr	cz, fd	mcv, grafito, sulf	ser	ninguno	Mineralogía con orientación preferencial, cuarzo formando un mosaico granoblástico, micas deformadas	Filita grafitica
63	Cro 95 niv 1247	bl gnsáceo, lustre perlado	comp, esq dis de sulf	cz, fd, op	xe, lep	cz, mic	mcv, cl, py, sph	ser	ninguno	Mineralogía con orientación preferencial, bandeamiento alternado de cz-micas, sulfuros fracturados de forma anedral	Esq de mcv, cl, cz
69	Cro 95 niv 1247	verd gnsáceo lustre perlado	comp, esq	cz, fd, micas, op	xe, lep	cz, mic	mcv, sulfuros, cl, lina, grafito	ser, carb	ninguno	cz con extinción ondulante, mcv alterada, micas deformadas, diseminación de sulfuros	Esq de mcv, cl y cz
70	Cro 71 niv 1247	bl perlado lustre sedoso	semicomp esq	cz, fd, micas, op	xe, lep	cz, fd	mcv, cl, sulfuros	ser, goetita	ninguno	cz con extinción ondulante, cristales deformados, contactos suturados, sulfuros diseminados, fracturados, deformados de forma anedral	Esq de mcv, cl
74	Cro 71 niv 1247	bl perlado, diseminación de sulfuros	Comp, esq dis de sulf	cz, fd, micas, op	xe, lep	cz, fd,	mcv, bt, cl, sulf	ser, goetita	ninguno	Micas deformadas, parte alteradas cz de extinción ondulante, sulfuros de forma anedral	Esq mcv, bt, cz, fd
75	Cro 71 niv 1247	crema	Comp, esq, dis de sulf	cz, fd, micas, op	xe, lep, gr	cz, fd	cv, cl, op	ser, carb	ninguno	Micas deformadas, cz de extinción ondulante, contactos suturados de los cristales de cz, micas deformadas	Esq mcv - cl
109	Cro 02 niv 1247	negro gris lustre perlado	Deleznable	cz, arc, sulfuros	lep, xe, gr	cz, mic	mcv, grafito	ser	ninguno	Mineralogía con orientación preferencial, cz con extinción ondulante, diseminación de sulfuros, de forma anedral	Esq mcv - cl
bl - blanco	le - lepidoblástica	cz - cuarzo		cl - clorita	ser - sericita	Min - mineralogía					
verd - verde	gr - granoblástica	fd - feldespato		mcv - muscovita	carb - carbonatos	dis - diseminación					
	gne - gneisica	pg - plagioclasa		bt - biotita	arc - arcillas	sulf - sulfuros					
	aug - augen	frmag - ferromagnesianos		rut - rutilo		ext - extinción					
	afanit - afanítica	mic - microclina		op - opacos		frag - fragmentos					
	xe - xenomórfica					Cro - crucero					
						Rpa - Rampa					

### **III. MINERAGRAFIA**

ESTUDIO DE MINERAGRAFIA						
Muestra No.	Descripción Macroscópica		Descripción Microscópica			Caracteres especiales
	Color	Estruc y Textura	Textura	Min. Mena	Min. Ganga	
14 L1	verd olivo diseminación de sulfuros	Comp, Esq	hi, ca, cl, pd	pi, cp, esf, gal, te fb,	mt	pi masiva, intercrecida con otros sulfuros, cp anedral, inclusiones de esf en la pi.
16 L1	Am met	comp, mas	hi, ca, cl, pd,	pi, esf	mt	pi masiva, en cristales fragmentados, esf como inclusiones
17 L1	Bl perlado con min gris	Esquistosa con diseminado de sulfuros	hi, ca, pd	pi, cp, esf, gal, arp te fb	mt	Sulfuros diseminados en esquistos pi intercrecida con esf, gal subordinada a la esf.
18 L1	Am met y gris met	Comp, mas, Estratificación de sulfuros	hi, pd, ca	pi, cp, esf, gal, arp te fb	mt	Mosaico de sulfuros, estratificación de pi, gal, esf. Te fb reemplaza a la esf, arp reemplaza a la pi.
19 L1	Am met y gris met	Comp, estratificación de sulfuros	xe, pd, ca	pi, cp, esf, arp, gal, te fb	mt	pi en una matriz de sulfuros de Zn, Pb, en partes de mt
21 L1	Am met y gris met	Comp, mas, ves	hi, xe, pd, ca	pi, esf, gal, arp, te fb	mt	Estratificación de sulfuros en alternancia con mt, esf forma bandas monomineralicas
25 L1	Am verd met y gris met	Comp, mas, ves	hi, pd, ca	pi, cp, esf, gal	mt	esf con reflexiones internas color rojo sangre, estratificación de pirita con otros sulfuros
29 L1	Am verd met y gris met	Comp, mas, ves	hi, pd, ca	pi, arp, te fb,	mt	pi intercrecida con esf, asociación pi-esf-gal-te fb
30 L1	Gris perlado	Comp	id, hi, pd	pi, cp, esf, arp, te fb	mt	pi en cristales euedrales y subedrales, gal intercrecida con la esf.
31 L1	Am verd met y bl met	Comp, mas, ves Estratificación de pi esf	id, hi, cl	pi, esf, gal, arp, te fb	mt	Cristales de pi en una matriz de mt Partes mosaico de pi, la gal y esf ocupan los intersticios de la pi esf con reflexiones rojas
36 M2	Am met gris met	Comp, mas	id, hi, cl	pi, arp, cp, te fb,	mt	Mosaico de pi, en sus intersticios están emplazados gal, cp, esf. esf con reflexiones de color rojo.
37 M2	Am met gris met	Comp, mas	xe, ca	pi, cp, esf, gal, arp te fb	mt	Mosaico de pi, en sus intersticios están emplazados gal, cp, esf
40 M2	Am met gris met	Comp, mas, ves	xe, ca	pi, esf, gal, arp, te fb	mt	Diseminación de sulfuros en una matriz de mt.

45 M2	Am met	Comp, mas	hi,pd,ca	pi, esf,gal,te fb	mt	Estratificación de sulfuros en alternancia con mt.
	gris met					
46 M2	Am met	Comp, mas	hi,pd, ca	pi, esf,te fb	mt	Cristales de pi en una matriz de mineral de ganga, fb asociada a la esf.
	gris met					
47 M2	Am met	Comp, mas	hi,pd,ca	pi,esf,gal,cp,te fb	mt	Sulfuros diseminados en mineral de ganga
				arp		
48 M2	Am met	Comp, mas	hi,xp,pd,ca	pi,esf,arp, te fb, fb	mt	Estratificación de sulfuros en alternancia con mineral de ganga
	gris met					
49 M2	Am met	Comp, mas	xp,hi,pd,ca	pi,esf,gal, arp,te fb	mt	arp reemplazando a la pi, pi ma-va, esf es reemplazada por mt
	gris Met					
50 M2	Am met	Comp, mas	xp,ca	pi,cp,esf,gal,te fb	mt	Estratificación de sulfuros en alternancia con mt
51 M2	Am met	Comp, mas	xp,pd,ca	pi,cp,esf,gal	mt	Sulfuros diseminados en mineral de ganga
52 M2	Crema con tonos verd	Comp, esq	xp,pd,ca	pi,cp,esf	mt	pi intercrecida con esf, cp reemplazando a la esfalerita
53 M2	Gris met	Comp, mas,ves,	xp,pd,ca	pi,cp,esf	mt	Sulfuros diseminados en mineral de ganga. Asociación de pi-esf-gal
	Am met	Laminación de sulfuros				
55 M2	Gris met	Comp, mas	xp,pd	pi,cp,esf,gal,arp	mt	Estratificación de sulfuros en alternancia de mineral de ganga. arp reemplazando a la galena
	Am met			te fb, fb		
56 M2	Am met	Comp, mas	xp, pd	pi,cp,sesf,arp	mt	Estratificación de sulfuros en alternancia con mineral transparente. Te fb asociado a la esf.
60 M1	Am met	Comp, mas	xp,pd,ca	pi,esf,cp,gal,fb	mt	Diseminación de sulfuros (pi, gal, esf) en una matriz de mineral de ganga.
61 M1	Gris met	Laminación de sulfuros, Comp	hi,pd,ca	pi,esf,arp,te fb	mt	Diseminación de sulfuros. Asociación de pi-esf-gal-te fb
	am met					
63 M1	Gris met	comp	xp,pd	pi,esf,gal	mt	Diseminación de sulfuros en mineral de ganga. Cristales anedrales de pi,esf, gal
	Am met					
64 M1	Am verd met	Comp, mas,ves,	hi,xp,cl,ca	pi,cp,esf,arp,te fb	mt	Estratificación de pi en alternancia con mineral de ganga
	gris met	laminación de sulfuros				
66 M1	Am verd met	Comp, ves, laminación de sulfuros	hi,pd,ca	pi,cp,esf,arp,te fb	mt	pi en intercrecimiento con otros sulfuros, estratificación de sulfuros y de
	gris met					

						mt.
69 M1	Verde gris	Comp, esq, laminación de sulfuros	xe, pd	pi, esf	mt	Diseminación de sulfuros en mineral de ganga. esf como inclusiones en la pi.
71 M1	Am met gris met	Comp, laminación de sulfuros	xe, ca	pi, cp, esf, arp, gal, arp, te fb, fb	mt	Gal subordinada a la esf, cp en cristales anedrales, arp reemplazando a la pi.
73 M1	Am Met Gris met	Estratificación de sulfuros	xe, hi, pd, ca	pi, cp, esf, arp, te fb	mt	Estratificación de sulfuros, cp ocupando los intersticios de la pi.
74 M1	Bl perlado verd grisáceo	Comp, esq	hi, pd, ca	pi, cp, esf, gal	mt	Diseminación de sulfuros en mineral de ganga.
75 M1	Am met	Comp	xe, hi	pi, esf, gal	mt	Diseminación de sulfuros en mineral de ganga, gal intercrecida con la esf
77 M1	Negro de lustre aperlado	Comp, esq, deformada	xe, pd, ca	pi, cp, esf, gal, te fb	mt	pi intercrecida con otros sulfuros, reemplazamiento de mt, cp anedral
78 M1	Am met gris met	Comp, masiva, estratificación sulf	xe, pd, ca	pi, cp, esf, arp, te fb	mt	Cristales de pi en una matriz de sulfuros y mineral de ganga. arp reemplazando a la pi.
79 M1	Am ver met gris met	Comp, esq	xe	pi, cp, esf, gal, fb	mt	Mosaico de pirita, en los intersticios mineral de ganga. gal, cp.
80 M1	Am met gris met	comp, mas, ves	hi, ca	pi, cp, esf, gal, arp, te fb, fb	mt	Pirita en una matriz de sulfuros y mt fb en cristales anedrales
81 M1	Am met	Comp, mas, ves	xe	pi, cp, esf, gal, arp, fb	mt	Los sulfuros que constituyen la mena en orden de abundancia son: pi, esf, cp, gal, fb
108 M1	Am ver met	Comp, mas, ves	xe	pi, cp, esf, gal, arp, fb, te fb	mt	Diseminación de sulfuros en una matriz de ganga. esf con reflexiones internas color rojo sangre.
109 M1	Negro gris	Delaznable, foliable	xe, pd, hi	pi, pd, hi	mt	Diseminación de pi en filita grafitica reemplazamiento de la esf en la pi
110 M1	Negro gris	Comp, esq, ves, laminación de sulf	xe, pd, cl, hi	pi, esf	mt	Diseminación de pi en una matriz de mineral de ganga ( contiene grafito)
111 M1	Am met	comp, mas	hi	pi, esf, gal, arp	mt	Mosaico de sulfuros. Pirita intercrecida con esf.
comp -compacta		hi - hipiomórfica		pi - pirita		L1 - cuerpo L1



esq - esquistosa		ca - caries		esf - esfalerita		M1 - cuerpo M1
mes - masiva		cl - clástica		arp - arsenopirita		M2 - cuerpo M2
ves - vesicular		pd - porfídica		cp - calcopirita		sulf - sulfuros
		xe - xenomórfica		gal - galena		
am - amarillo		id - idiomórfica		te fb - tetraedrita freibergita		
bl - blanco						
verd - verde						
met - metálico						