

13

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA



GEOQUÍMICA DEL PROYECTO "LA CIÉNEGA",
UN CASO HISTÓRICO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO GEÓLOGO

PRESENTA:
JOSÉ MORALES RODRÍGUEZ

MÉXICO, D.F. 2000

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



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.

**A MI ESPOSA
A MIS HIJOS**

**A MI FACULTAD Y MAESTROS
CON PROFUNDO AGRADECIMIENTO.**

**A LOS INGENIEROS
VÍCTOR DE LA GARZA NORIEGA.
MIGUEL VERA OCAMPO.**



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-I-1517

SR. JOSE MORALES RODRIGUEZ

Presente

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

GEOQUIMICA DEL PROYECTO "LA CIENEGA", UN CASO HISTORICO

- I INTRODUCCION
- II GENERALIDADES
- III GEOMORFOLOGIA
- IV GEOLOGIA
- V YACIMIENTOS MINERALES
- VI GEOQUIMICA
- CONCLUSIONES
- RECOMENDACIONES
- BIBLIOGRAFIA

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

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

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cd. Universitaria, D. F., a 14 de noviembre de 2000

EL DIRECTOR


ING. GERARDO FERRANDO BRAVO .

GFB*RLLR*gtg

PP

INDICE

	<u>Página.</u>
RESUMEN.....	i
UTILIDAD DE ESTE TRABAJO.....	ii
I.- INTRODUCCIÓN.....	2
1.1-Antecedentes.....	2
1.2-Historia minera y producción.....	2
1.3-Objetivos del trabajo.....	3
II.- GENERALIDADES.....	6
2.1-Localización.....	6
2.2-Vías de comunicación.....	6
2.3-Actividades económicas.....	8
2.4-Clima y vegetación.....	8
III.- GEOMORFOLOGÍA.....	10
3.1-Provincia fisiográfica.....	10
3.2-Rasgos morfológicos.....	13
3.3-Hidrografía.....	13
IV.- GEOLOGÍA.....	15
4.1-Geología regional.....	15
4.2-Estratigrafía.....	16
4.3-Geología estructural.....	16
4.4-Geología histórica.....	18

	<u>Página</u>
V.- YACIMIENTOS MINERALES.....	20
5.1-Geometría del yacimiento.....	20
5.2-Mineralogía.....	20
5.3-Tipo de yacimiento.....	21
VI.- GEOQUÍMICA.....	26
6.1-Bases teóricas.....	26
6.2-Información proporcionada por histogramas y curvas acumulativas....	36
6.3-Estudio de orientación.....	42
6.4-Desarrollo del trabajo.....	43
6.5-Interpretación.....	45
a)-Halos de dispersión primaria en el clavo El Carmen.....	45
b)-Muestreo de las vetas La Ciénega y Jessica, en superficie y con barrenos.....	48
c)-Muestreo de las vetas Las Casas y Rosario en superficie.....	55
d)-Muestreo de nuevas áreas.....	59
CONCLUSIONES.....	63
RECOMENDACIONES.....	64
BIBLIOGRAFÍA.....	65

A P É N D I C E S.

	<u>Página</u>
Apéndice 1, plano geológico.....	67
Apéndice 2, plano de muestreo superficial.....	69
Apéndice 3, histogramas, curvas de probabilidades y matriz de correlación del muestreo superficial de las vetas La Ciénega-Jessica.....	71
Apéndice 4, perfil geoquímico del muestreo en el clavo El Carmen.....	76
Apéndice 5, planos con la interpretación del muestreo de barrenos y superficie de las vetas Ciénega-Jessica y Las Casas-Rosario.....	78

RESUMEN.

- 1.- En el clavo El Carmen de la veta La Ciénega, la sumatoria de los elementos Ag, Zn, Cu, Ba y Mn fue la que mejor definió el halo de dispersión primaria, el cual presenta una amplitud de 45.00 metros al alto de la estructura; al bajo, la dispersión es errática y de poca amplitud.
- 2.- Los mejores elementos indicadores del reflejo superficial de los clavos en las vetas La Ciénega y Jessica, fueron en orden de importancia descendente, la sumatoria $Ag+Cu+Zn+Ba$, el bario, la plata, el zinc y el oro.
- 3.- Se obtuvieron valores muy altos de Ba, en los análisis geoquímicos de las muestras superficiales colectadas en las vetas Las Casas-Rosario, lo cual implica que se desarrolle una exploración más detallada, ya que este elemento químico es indicativo de las partes altas del sistema hidrotermal.
- 4.- Además del muestreo de caracterización geoquímica de las vetas, se tomaron muestras sobre áreas de interés en una zona ubicada al E del proyecto. De este muestreo resultó atractiva la zona marcada con el número I en el plano de muestreo superficial que se encuentra en el apéndice 2.

UTILIDAD DE ESTE TRABAJO.

A.- El hecho de llegar a conocer el pobre desarrollo del halo de dispersión en torno a las vetas, permitió eliminar el plan original de trazar una cuadrícula regular de muestreo en toda el área del proyecto, lo cual hubiera significado una gran cantidad de trabajo casi inútil, mucho tiempo para desarrollarlo y de ninguna manera hubiera compensado el alto costo en función de los resultados.

B.- Se recomendó barrenación adicional buscando la continuidad a profundidad del clavo Jessica y El Carmen, lo cual incrementó las reservas del yacimiento.

C.- Se definió el tipo de respuesta de los clavos de mineral y el zoneamiento geoquímico en un sistema hidrotermal prácticamente completo, esto permitió ahorrar tiempo y recursos económicos al evaluar proyectos en el distrito como fueron Los Laureles y San Miguel del Cantil. Años después, al efectuar la primera visita al Proyecto Pinos Altos, ubicado en un ambiente similar, permitió tener una buena idea sobre la parte del sistema en que se estaba ubicado lo que fue de utilidad para estimar el potencial del proyecto.

I.- INTRODUCCIÓN.

I.- INTRODUCCIÓN.

1.1-Antecedentes.

Este proyecto, fue concesionado en el año de 1971 por la compañía Peñoles, sobre la base de estudios geológicos. Durante el desarrollo de éstos, se descubrieron afloramientos de vetas de cuarzo, los cuales al ser muestreados arrojaron valores en general subeconómicos por los elementos básicos y preciosos, solamente en algunos puntos aislados se encontraron valores interesantes, principalmente por plata. En esta misma época se proyectó y desarrolló una campaña de barrenación a diamante muy abierta con la cual se descubrió la presencia de valores económicos a profundidad, sin embargo, no se definieron los cuerpos minerales. Únicamente en el área de El Carmen, que fue donde se obtuvieron las mejores intersecciones, se dio un cruce hasta alcanzar un clavo importante, el cual fue parcialmente explotado con la finalidad de llevar el mineral a Topia, donde Peñoles tenía una operación. El proyecto continuó en espera, hasta aproximadamente 1989, cuando se efectuaron cambios importantes en las estrategias de exploración, se reactivó el proyecto, se principiaron los levantamientos geológicos de detalle, se empezaron a hacer muestreos geoquímicos y como resultado de todo ello, se planearon y efectuaron nuevas campañas de barrenación a diamante.

1.2-Historia minera y producción.

Es importante mencionar que en este distrito no existía algún tipo de obra minera, y hasta donde se sabe, no trabajaron mineros informales en esta localidad, únicamente se conoce de la existencia de una pequeña cata llamada El Cebo que fue dada en la década de 1950, sobre la veta La Ciénega en una pequeña zona con milonitas, el nombre de la obra alude al aspecto jabonoso del material rocoso. Sin embargo, con este trabajo no se descubrió nada

interesante razón por la cual no se hicieron más prospecciones. El problema que afrontaron los gambusinos, fue que el nivel de erosión del yacimiento es muy alto, o sea que el sistema está prácticamente completo, a diferencia de las estructuras que afloran en otras localidades como San Miguel del Cantil en donde en la década de 1940 se descubrieron vetas que daban valores muy altos de oro y plata asociados a plomo y zinc, desde la superficie. En la localidad antes mencionada, a unos 20.00 metros de profundidad se presentaron los sulfuros primarios, los valores de oro disminuyeron pero continuaron siendo altos, al profundizar más las obras mineras, bajaron los contenidos de plomo y zinc y los valores de oro disminuyeron drásticamente haciendo antieconómica la operación. En todos los distritos mineros de la región que fueron descubiertos desde la época de la colonia y posteriormente como es el caso de San Miguel del Cantil, afloraban estructuras mineralizadas que daban valores económicos desde la superficie, por esta razón los gambusinos pudieron prospectar en estos lugares ya que los materiales que extraían pagaban las operaciones desde inicio de las obras. Como se mencionó en párrafos anteriores, el único mineral que fue explotado en el proyecto La Ciénega fue llevado a cabo por la compañía Peñoles en la década de 1980. Existen unas pequeñas labores mineras que datan de 1954, que están localizadas prácticamente en el poblado de La Ciénega y que tuvieron como finalidad explotar cinabrio, pero este yacimiento es genéticamente independiente del que ocupa este estudio.

1.3-Objetivos del trabajo.

Los objetivos fueron:

A.- Establecer el modelo geoquímico del yacimiento a explorar, sobre la base de muestreos superficiales, de interior de mina y de núcleos de barrenación a diamante.

B.- Apoyar o desechar un programa de muestreo litogeoquímico siguiendo un patrón sistemático reticular.

C.- Recomendar nuevas localidades para barrenar dentro del proyecto.

D.- Extrapolar el modelo geoquímico para explorar nuevas áreas de interés en el distrito, como fue el caso de San Miguel del Cantil y Los Laureles.

E.- Extrapolar y adaptar el modelo hacia lugares más alejados pero dentro de ambientes similares como fue el caso de Pinos Altos, Chihuahua.

II.- GENERALIDADES.

II.- GENERALIDADES.

2.1-Localización.

El proyecto La Ciénega, se encuentra ubicado en las inmediaciones del punto cuyas coordenadas son $25^{\circ} 3' 30''$ de latitud N y $106^{\circ} 21' 15''$ de longitud W. Dista aproximadamente 125.0 km en línea recta al NW de la ciudad de Durango y 90.0 km Al W de Santiago Papasquiario.

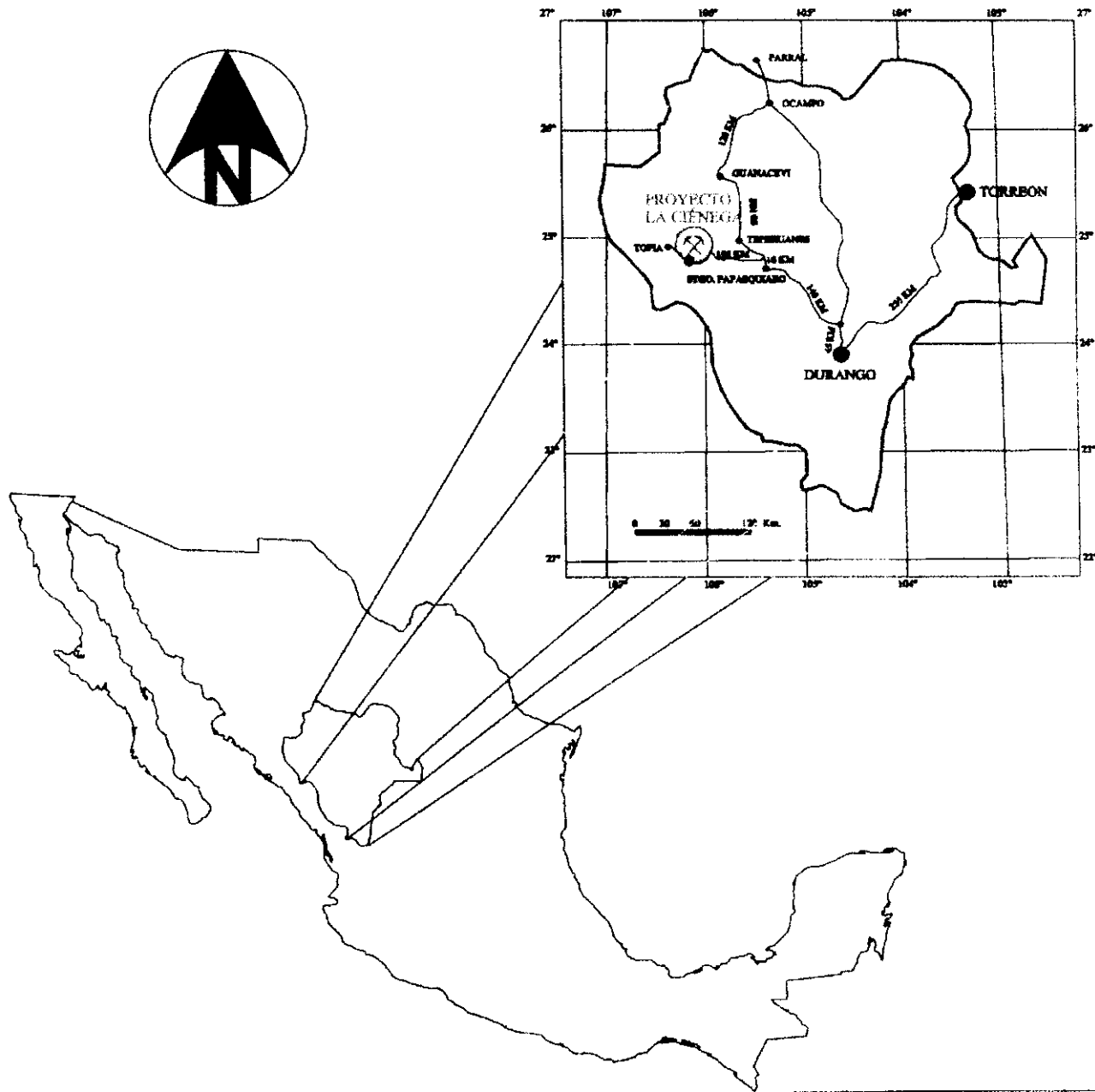
2.2-Vías de comunicación.

El acceso, partiendo de la ciudad de Durango, es hacia el norte por la carretera Panamericana, rumbo a Parral, Chihuahua; a una distancia aproximada de 45 km de Durango se corta al W, hacia la ciudad de Santiago Papasquiario la cual se encuentra aproximadamente a 140.0 km de este entronque. De la última ciudad, se toma la carretera a Tepehuanes; a unos 10.0 km existe una desviación a Topia que con un recorrido de 180 km conduce hasta la Ciénega, pasando por los poblados de Altares y Ojito de Camellones además de un buen número de rancherías (ver figura 1, plano de localización).

Al tomar la desviación a Topia, al recorrer unos 20 km se termina la carretera asfaltada (en muy mal estado); a partir de ese punto y hasta el proyecto, se transita por un bordo de terracería que se conserva en condiciones aceptables, excepto en época de lluvias. El tiempo de recorrido total desde la ciudad de Durango es de unas 8 horas en temporada de secas.

En el poblado de la Ciénega de Nuestra Señora, ubicado en las inmediaciones del proyecto existe una pista de terracería de 1200.00 metros que permite el acceso de avionetas. El tiempo de vuelo desde la ciudad de Durango es de una hora.

FIGURA I.1
PLANO DE LOCALIZACION
PROYECTO LA CIÉNEGA



**U
N
A
M**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**PLANO DE LOCALIZACION
PROYECTO LA CIÉNEGA**

FIGURA I.1

José Marvin Rodríguez

**TRABAJO PROFESIONAL
NOVIEMBRE - 2008**

2.3-Actividades económicas.

Actualmente, la minería es una actividad importante ya que prácticamente toda persona de la región, si lo desea, puede trabajar tanto en las brigadas de exploración como en el minado del clavo El Carmen.

La agricultura, fruticultura (manzanas) y la ganadería, son prácticamente de subsistencia. La industria forestal no es muy significativa ya que se reduce únicamente a negociar la venta de madera en rollo a las factorías establecidas en la ciudad de Durango, donde la procesan para fabricar aglomerados, triplay, tablonés de diferentes medidas y celulosa. Las actividades mencionadas en este párrafo, antiguamente eran las únicas que desarrollaban los habitantes de la región, así como un comercio muy raquíto.

2.4-Clima y vegetación.

El clima en el área de trabajo es templado en verano con inviernos muy fríos y se define como del tipo subtropical de montaña, esto se debe principalmente a que el área se encuentra a una altura media de 2,600 metros sobre el nivel medio del mar.

La temporada de lluvias va de fines de junio hasta septiembre. Durante los meses de octubre a enero se presentan algunas tormentas intermitentes y nevadas que duran dos o tres días. Los meses secos van de enero a junio.

La vegetación consiste de pinos y encinos principalmente, con cantidades subordinadas de arbustos.

III.- GEOMORFOLOGÍA.

III.- GEOMORFOLOGÍA.

3.1-Provincia fisiográfica.

El área de estudio se encuentra ubicada en la provincia fisiográfica denominada "Sierra Madre Occidental", la cual se localiza entre las provincias de la Sierra Madre Oriental y la Meseta Central al oriente y las de la Zona Desértica y la Llanura Costera por el occidente (ver figura III.1). La Sierra Madre Occidental pierde suavemente su elevación hacia el norte antes de llegar a la línea fronteriza con los Estados Unidos; al sur se une con la zona montañosa de la costa suroeste y la zona de Fosas Tectónicas y con las cuales no existe diferenciación fisiográfica definida.

La provincia en general está caracterizada por rocas eruptivas del Terciario Inferior, posiblemente Mioceno, que cubren rocas sedimentarias e intrusivas, gran parte de ellas de edad Eoceno, que contienen gran riqueza mineral en forma de vetas de fisura, vetas de falla y mineralización de contacto que se pueden observar sobre todo en el flanco oriental y parte del flanco occidental de la sierra.

La provincia de la Sierra Madre Occidental, se subdivide en tres subprovincias principales que corren longitudinalmente paralelas a la costa occidental de México, ellas son:

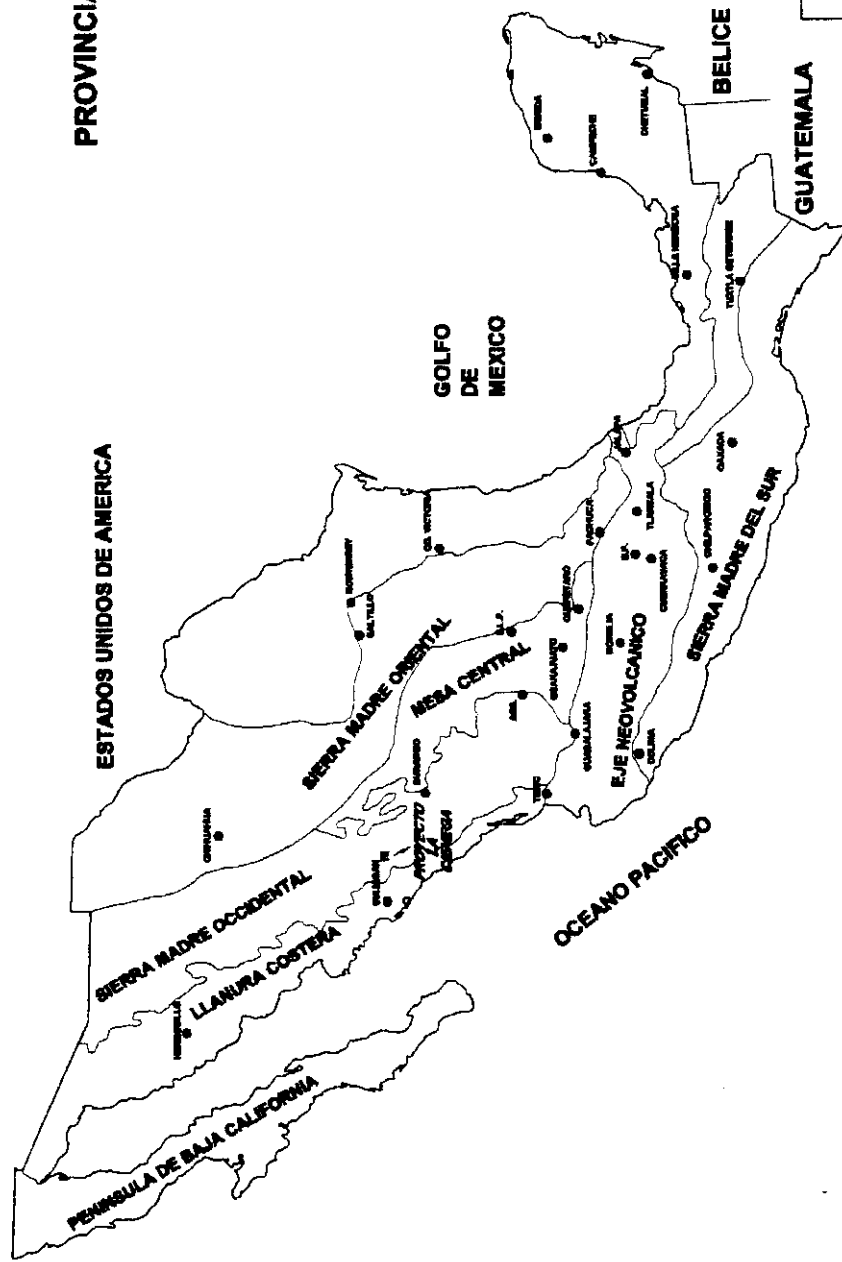
- a).- Subprovincia del Altiplano.
- b).- Subprovincia de Barrancas.
- c).- Subprovincia de Valles y Sierras Paralelas.

a).- La Subprovincia del Altiplano.

Es la más oriental y está caracterizada por una topografía de formas suaves, derivadas de emisiones riolíticas, conglomerados y rocas piroclásticas asociadas. Se observan áreas montañosas irregulares que varían en elevación de 2,000 a 3,000 metros, separadas por valles planos y drenados por ríos que son tributarios de los que corren hacia el Océano

FIGURA II.1

PROVINCIAS FISIOGRAFICAS DE MEXICO
(Salas, 1975)



U N A M	
FACULTAD DE INGENIERÍA	
PROVINCIAS FISIOGRAFICAS DE MEXICO	
FIGURA II.1	TRABAJO PROFESIONAL
José Mercedes Rodríguez	NOVIEMBRE - 2008

Pacífico. Hacia el este, las elevaciones no aumentan observándose ocasionalmente picos aislados de aproximadamente 3,000 metros de altura sobre el nivel del mar.

El límite occidental de esta subprovincia es irregular y comienza donde los bordes del altiplano han sido disectados por las corrientes que drenan del Este hacia el Océano Pacífico. El cambio de provincias, está caracterizado por largas lenguas de terreno que se proyectan hacia el occidente y por un encajonamiento notable de los ríos, formando grandes barrancas.

b.- La Subprovincia de Barrancas.

Se distingue por ser una faja de terreno que varía entre 70.00 y 130.00 km de ancho, profundamente esculpida por los ríos que fluyen hacia el suroeste. La etapa de erosión es netamente juvenil, existen barrancas hasta de 2,500 metros de profundidad y a las cuales debe su nombre esta subprovincia.

La estructura geológica, es mucho más compleja que en la zona del altiplano. Las rocas masivas subyacentes y las rocas pseudoestratificadas del altiplano pertenecientes a formaciones graníticas, andesíticas y riolíticas, han originado rasgos geomorfológicos distintivos en esta subprovincia. Existen ciertas variaciones geomorfológicas locales debido a la presencia de vetas, fallas y diques de diferentes composiciones.

c.- La Subprovincia de Valles y Sierras Paralelas.

Es la más occidental, se distingue por una serie de cadenas montañosas longitudinales, separadas por valles intermontanos paralelos y de poca extensión. La morfología y estructura de esta subprovincia es muy compleja. Las cadenas montañosas, compuestas de antiguas rocas sedimentarias y volcánicas, están intrusionadas por rocas graníticas y presentan en algunas zonas un metamorfismo incipiente, estando coronadas por rocas riolíticas. Los valles intermontanos están cubiertos por conglomerados del Terciario Superior y del Reciente.

El proyecto La Ciénega se localiza en la Subprovincia del Altiplano, prácticamente donde inicia la Subprovincia de Barrancas.

3.2-Rasgos morfológicos.

Como se mencionó en el apartado anterior, el área de estudio se encuentra ubicada en la Subprovincia del Altiplano, en general la topografía es relativamente suave, solamente se observan escarpes moderados en donde afloran las vetas o sobre la traza de las mismas, debido a que las estructuras son de cuarzo y son más resistentes a la erosión. Cuando no afloran frecuentemente ha habido silicificación en la roca encajonante, dando lugar también a escarpes moderados.

3.3-Hidrografía.

Las corrientes que drenan el área del Proyecto La Ciénega, son tributarias del río San Juan de Camarones, el cual a su vez es afluente del río San Lorenzo, éste a su vez desemboca al Océano Pacífico en las cercanías de la población de El Dorado, ubicada al sur de La ciudad de Culiacán Sinaloa.

El proyecto se encuentra prácticamente en la cabecera de la cuenca hidrográfica, razón por la cual las corrientes en este punto son de tipo intermitente, sin embargo las obras mineras efectuadas han cortado zonas fracturadas con una fuerte afluencia de agua, suficiente para las operaciones mineras y para la planta de beneficio.

IV.- GEOLOGÍA.

IV.- GEOLOGÍA.

4.1-Geología regional.

Las rocas que conforman la geología regional del área de estudio, han sido clasificadas en dos grandes grupos (ver plano geológico del apéndice 1), los cuales a continuación se describen:

GRUPO VOLCÁNICO INFERIOR. Identificado en el proyecto sólo con barrenación profunda, está constituido por tobas, lavas y brechas de composición andesítica y cantidades subordinadas de riolitas. La edad asignada a estas rocas va del Cretácico Superior a principios del Terciario.

Sobreyaciendo a este grupo, se presenta una secuencia conglomerática de tipo andesítica, distribuida irregularmente, formando lentes. Regionalmente indica una discordancia erosional, señalando el contacto entre los dos grandes grupos.

GRUPO VOLCÁNICO SUPERIOR. Estas rocas, de edad Oligoceno-Mioceno se encuentran ampliamente distribuidas en el área del proyecto y están constituidas por tobas, lavas, brechas e ignimbritas, predominantemente de composición riolítica y riodacítica; en menor grado traquítica y andesítica.

El Grupo Volcánico Inferior está intrusionado por plutones cuyas composiciones varían de granítica a granodiorítica, además de diques andesíticos y riolíticos. El Grupo Volcánico Superior está intrusionado por diques de composición riolítica.

A nivel provincia metalogénica, se considera al grupo Volcánico Inferior como el más importante desde el punto de vista económico; sin embargo, mineralización de este tipo,

se encuentra también en el distrito La Ciénega, asociada al grupo Volcánico Superior. Esto sugiere la posibilidad de que la mineralización esté asociada a una estructura de colapso regional (Caldera Resurgente), lo cual dio origen a zonas de fuerte debilidad y alta permeabilidad, donde se emplazaron las estructuras con mineralización económica, como resultado de los procesos magmáticos e hidrotermales subsecuentes (F.J. Loera, 1982).

4.2-Estratigrafía local.

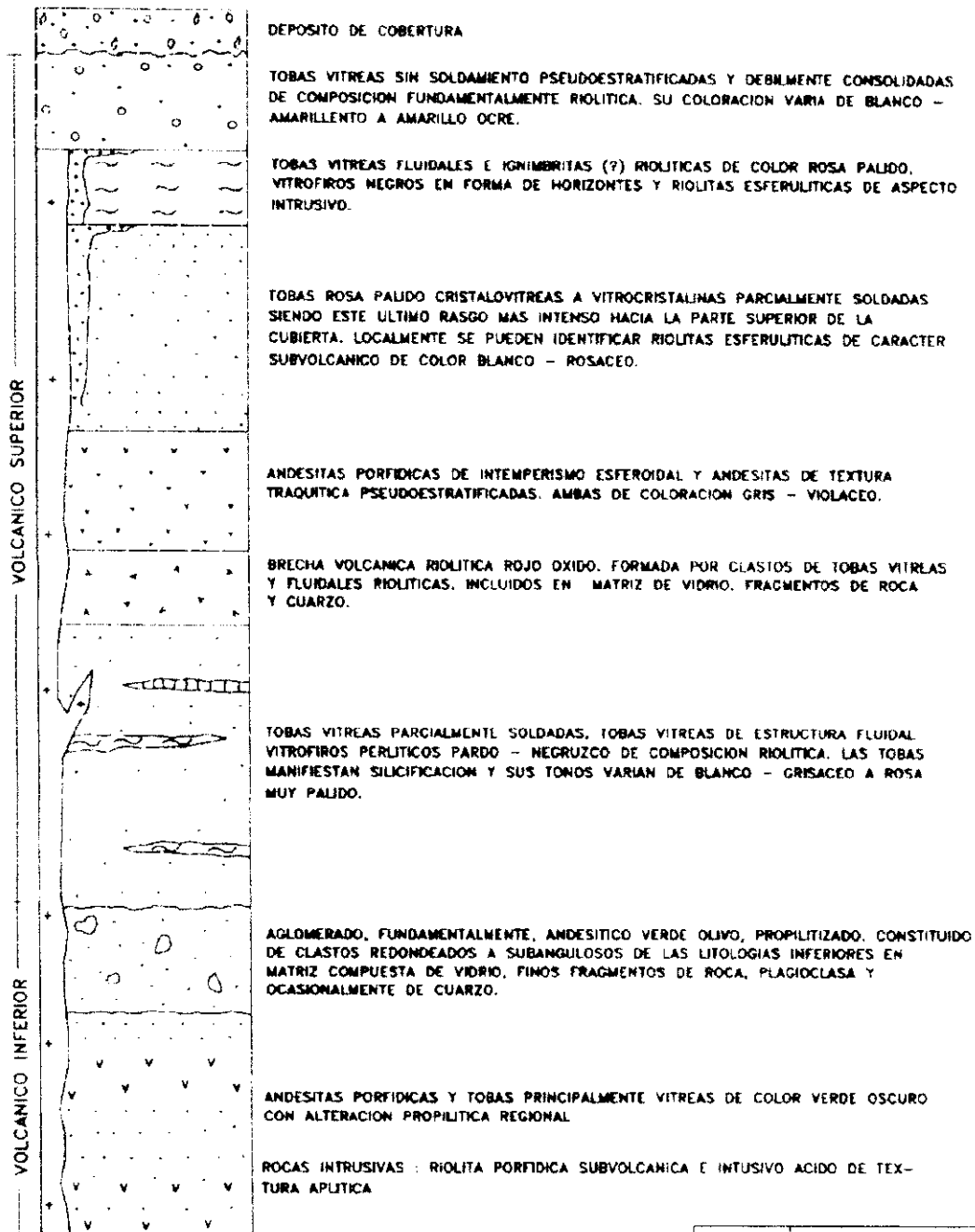
En el área del proyecto, afloran tres unidades que corresponden al grupo Volcánico Superior. La más antigua está constituida por tobas, brechas e ignimbritas de composición riodacítica principalmente y andesítica en menor proporción. La unidad intermedia está representada por tobas, lavas y brechas de composición variable de andesítica a traquítica. La unidad más joven está constituida por una serie de domos de flujo, tobas, ignimbritas y brechas de composición riodacítica y riolítica, en menor proporción presentan composición traquiandesítica y andesítica. En la tabla IV.1, se muestra la columna estratigráfica.

4.3-Geología estructural.

La estructura general del área consiste de un homoclinal, presentando pseudoestratos de rumbo NW 30° - 40° SE, con echado promedio de 26° al SW. Se observan además dos sistemas de fallas con rumbos generales N-S y NW-SE, los cuales coinciden con los dos sistemas principales de estructuras mineralizadas que se presentan en el distrito. El primero presenta un rumbo NW 60° - 80° SE y en él se alojan las vetas La Ciénega y Rosario. En el segundo sistema, cuyo rumbo es NW 5° - 25° SE, se agrupan las vetas Las Casas, Jessica y Arroyo de Plata.

TABLA IV.1

COLUMNA GEOLÓGICA



U N A M	FACULTAD DE INGENIERÍA	
	COLUMNA GEOLÓGICA	
	TABLA IV.1	
	José María Rodríguez	TRABAJO PROFESIONAL NOVIEMBRE - 2000

4.4-Geología histórica.

A continuación se hace una breve reseña de lo acontecido en esta región a partir del Cretácico.

Del Cretácico Inferior y hasta finales del mismo, ocurrió un levantamiento en la región combinado con un plegamiento intenso de rocas paleozoicas y mesozoicas, este fenómeno coincidió con un rápido movimiento de la Placa Tectónica Americana hacia el oeste, sobre la Placa Farallón.

Lavas riolíticas seguidas de derrames andesíticos, los cuales totalizaron más de 2.500.00 metros de espesor, fueron extrusionadas durante la transición Cretácico-Terciario. Hacia los inicios del Oligoceno, cesó la subducción de la Placa Farallón, al final de este evento fueron emplazados los plutones de andesita, diorita y granodiorita. En esta misma época y asociados a los intrusivos antes mencionados, tuvieron lugar las primeras generaciones de depósitos minerales como es el caso de los yacimientos ubicados en Tayoltita y Gavilanes, entre otros, en el estado de Durango. Antes de finalizar el Oligoceno se depositaron capas rojas de arenisca y conglomerado en cuencas amplias y poco profundas. La segunda mitad del Cenozoico estuvo caracterizada por la emisión de grandes volúmenes de ignimbritas, la intrusión de plutones graníticos, emisiones de riolitas y nuevos depósitos epitermales de oro, plata y metales básicos; de esta edad se puede considerar al yacimiento de La Ciénega. Finalmente ocurrieron fallamientos tipo "falla de bloque", con rotación de estos y fallamientos con desplazamientos a rumbo. Según algunos autores la geología histórica que caracteriza a esta provincia corresponde al modelo típico de la formación de una sierra del tipo cordillerano.

V.- YACIMIENTOS MINERALES.

V.- YACIMIENTOS MINERALES.

5.1-Geometría del yacimiento.

El yacimiento explorado es de tipo vetiforme con buen desarrollo longitudinal, como es el caso de las vetas La Ciénega-Jessica cuyos afloramientos se pueden seguir de manera intermitente por unos 4000.00 metros. En el caso de las vetas Las Casas-Rosario los afloramientos son menos claros y ocurren por una distancia de aproximadamente 1500.00 metros en total. Los anchos son muy variables en superficie, en pocas localidades se observan afloramientos del orden de 1.00 a 2.00 metros, siendo en general de unos pocos centímetros o simples vetilleos. En los barrenos se observaron algunas intersecciones muy formales de la veta La Ciénega con espesores hasta de 10.00 metros con vetilleos en las tablas que dieron resultados económicos al efectuar los análisis, el ancho promedio se considera de 4.20 metros.

5.2-Mineralogía.

Se distinguen 2 sistemas de vetas, de acuerdo a las características mineralógicas y físicas superficiales. Uno de ellos está formado por las vetas La Ciénega-Jessica-Arroyo de Plata, caracterizado por estructuras mas o menos definidas, constituidas por una ganga de cuarzo con tonalidades que van de gris, rojizo, amarillento a verde pálido. En algunos puntos se observa pirolusita y algo de barita, además de escasos sulfuros de plomo y zinc.

El segundo sistema, lo constituyen las vetas Las Casas-Rosario, las cuales presentan la particularidad de ser estructuras poco definidas, ya que en la mayoría de sus afloramientos se presentan como ramaleos y en otras ocasiones se manifiestan como un material brechado

muy silicificado con cementante de cuarzo criptocristalino con tonos de gris a rojizo. Otra característica importante de este sistema es que se observaron muy escasos sulfuros en superficie. solamente en una localidad se presentó escasa galena. En algunos puntos muestreados la barita fue muy abundante.

En cuanto a la mineralogía, en la zona de sulfuros primarios, en algunos barrenos se interceptaron intervalos con altos contenidos de sulfuros, principalmente galena, esfalerita, pirita y escasa calcopirita. La misma mineralogía se observa en los rebajes del clavo El Carmen que están en explotación. En esta zona son notables los valores de plata.

5.3-Tipo de yacimiento.

A continuación se da una tabla comparativa sobre las características entre los yacimientos de baja y alta sulfurización con la finalidad de contar con los elementos para clasificar este depósito, los datos fueron tomados de Hedensquit, Izawa, Arribas y White (1996).

	BAJA SULFURIZACIÓN.	ALTA SULFURIZACIÓN.
Forma del depósito.	Principalmente vetas de rellenos de espacios abiertos, Stockworks, escasas disseminaciones y remplazamiento.	Principalmente disseminaciones, remplazamiento, escasos stockworks, escasas vetas.
Texturas	Vetas, relleno de cavidades (bandas, colormes, drusas), breccias.	Remplazamiento de roca encajonante, breccias y vetas.
Minerales de mena.	Electrum, oro, esfalerita, galena.	Enargita, calcopirita, tenanita, covelita, oro y telururos.
Ganga	Cuarzo, calcedonia, calcita, adularia, illita, carbonatos, pirita y arsenopirita.	Cuarzo, alunita, barita, caolinita, pirofilita y pirita.
Metales.	Au, Ag, Zn, Pb (Cu, Sb, As, Hg, Se).	Cu, Au, Ag, As (Pb, Hg, Sb, Te, Sn, Mo, Bi).

Con respecto a la mineralogía se da la siguiente tabla de los mismos autores. Se marca con (*) a los minerales identificados con microscopio binocular.

BAJA SULFURIZACIÓN.

ALTA SULFURIZACIÓN.

ABUNDANTES.

Pirita*

Pirita.

Cuarzo*

Enargita

Cuarzo.

COMUNES.

Electrum*

Oro nativo

Oro nativo*

Telururos

Calcopirita*

Covelita

Esfalerita*

Tenantita

Galena*

Tetraedrita

Tetraedrita

Calcopirita

Arsenopirita*

Esfalerita

Telururos

Galena

Pirargirita*

Barita

Calcedonia*

Alunita

Adularia*

Caolinita

Illita

Pirofilita

Calcita*

Diaspora

Smectita

Illita

RAROS.

Selenuros

Electrum

Estibinita

Seleniuros

Cinabrio

Pirargirita

Enargita

Arsenopirita

Tenantita
Covelita
Barita*
Caolinita

Cinabrio
Estibinita
Calcedonia
Smectita

BAJA SULFURIZACIÓN.

ALTA SULFURIZACIÓN.

AUSENTES O COMO TRAZAS

Pirofilita
Diaspora
Alunita

Calcita
Adularia

De acuerdo a la mineralogía, al tipo de alteración presente, a los minerales de ganga y a la ocurrencia del yacimiento, se le puede clasificar como del tipo EPITERMAL DE BAJO AZUFRE. Los minerales presentes en el depósito se marcaron con un asterisco en la tabla anterior, la mineralización ocurre como vetas de relleno de fisura además hay desarrollos de stockworks y zonas breccias. La alteración típica es silicificación, prácticamente no existe la alteración argílica. El único punto discordante es que en La Ciénega en la parte alta del sistema abunda la barita, que es un sulfato de bario muy común en los yacimientos de alta sulfurización como se puede observar en los depósitos del cinturón de El Indio en Chile y Argentina, pero en La Ciénega se carece de los minerales típicos de este tipo de yacimientos como es la enargita y además no se presentan las características e inconfundibles alteraciones argílicas.

Como se mencionó, en el proyecto la alteración se reduce únicamente a diferentes grados de silicificación de la roca encajonante. La barita que es un mineral más bien típico de un yacimiento de alto azufre, en La Ciénega se piensa que en realidad indica un zoneamiento muy marcado en las zonas mineralizadas, ya que cuando aumentan los sulfuros a profundidad, los valores de bario se reducen drásticamente hasta valores traza, mientras que

en la proyección superficial de los clavos, los valores de bario son del orden de los miles de partes por millón.

VI.- GEOQUÍMICA.

VI.- GEOQUÍMICA.

6.1-Bases teóricas.

Se parte del principio ampliamente conocido de que por lo general y muy particularmente en los depósitos de relleno de fisuras, existe un zoneamiento en la depositación de los elementos contenidos en los fluidos hidrotermales que circulan a través de los espacios porosos, donde se forma el yacimiento mineral.

Durante el ascenso de los fluidos a través de la zona de debilidad, ocurren cambios físico-químicos, como son variaciones bruscas de temperatura, de presión, saturación con respecto a los compuestos formados de algunos elementos dados, reacciones químicas con la roca encajonante y los subsecuentes cambios de Ph, que a su vez propician la formación de nuevos compuestos que precipitarán o reaccionarán con el medio. Todo lo anterior constituye un sistema complejo que se complica aún más al considerar a la variable tiempo, ya que pueden, y de hecho es lo más común, que ocurran varias pulsaciones o reactivaciones del fenómeno hidrotermal, dando por resultado telescopios más o menos complejos. Además, el fenómeno de inercia química permite la migración en la solución mineralizante de elementos químicos cuyo nivel de depositación debería ser teóricamente más bajo. Evidentemente un elemento estará más afectado por este último fenómeno en función directa de su concentración en la solución.

A pesar de los anteriores problemas, es posible seleccionar algunos elementos o sus relaciones entre ellos, para determinar los contrastes que indiquen los zoneamientos de ellos, y además los puntos donde ocurrió la mayor concentración de elementos de interés económico; ya que es de suponer, que aquí también debió de ocurrir una mayor migración por inercia química, de los elementos indicadores.

En la figura VI.1, se muestran las direcciones de dispersión de los elementos químicos, en torno a un foco de dispersión, en este caso, es un modelo de veta. El eje I, corresponde a la dirección axial; para investigar la migración en este sentido fueron muestreadas las vetas Ciénega-Jessica-Las Casas-Rosario, tanto en superficie como en su intersección con barrenos a varias profundidades. El eje II, indica la migración transversal; para cuantificarla fueron muestreados sistemáticamente barrenos y obras mineras en el Clavo El Carmen. Finalmente, la migración longitudinal, la cual se esquematiza en el eje III, fue investigada muestreando en este sentido a las estructuras La Ciénega-Jessica-Las Casas-Rosario.

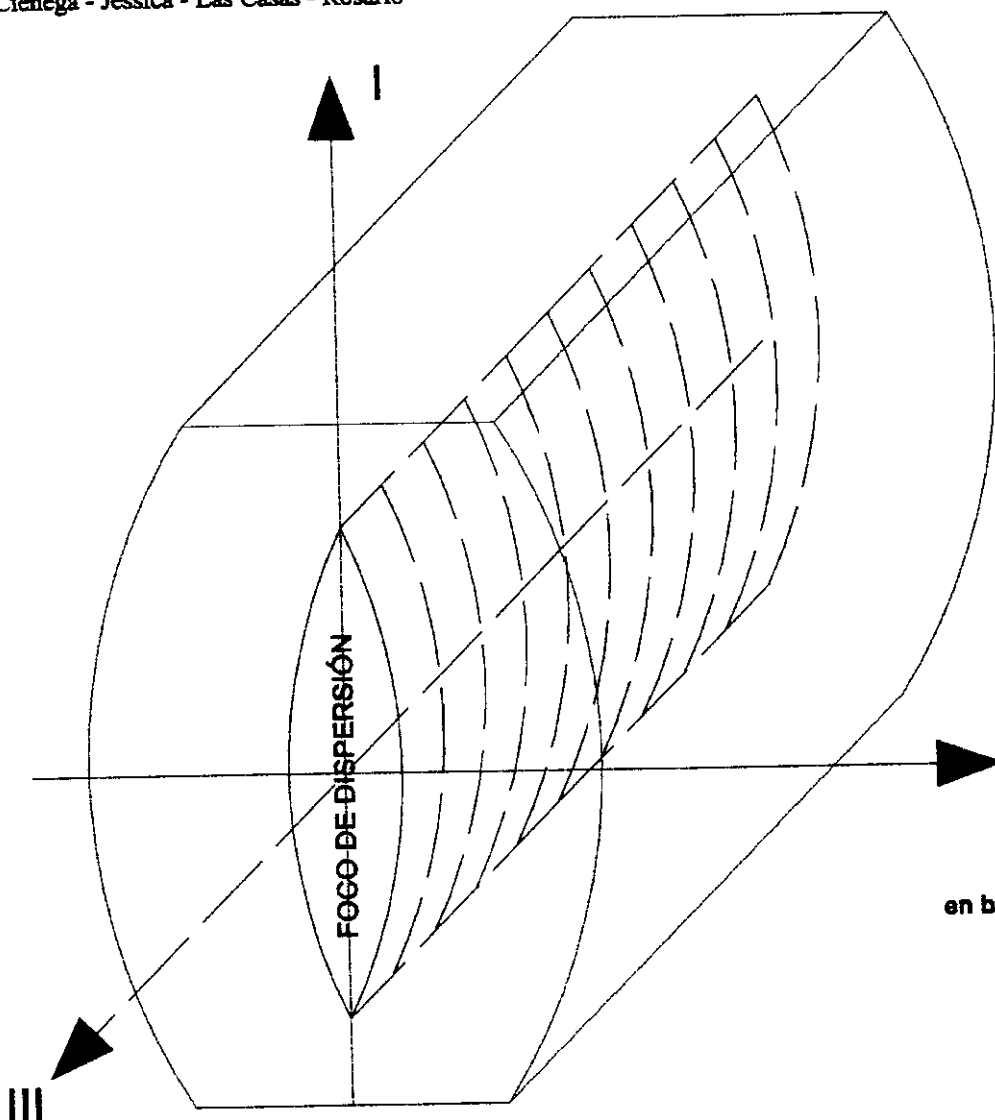
A continuación se dan las bases teóricas para efectuar la interpretación de los datos geoquímicos.

Para que un elemento migre, se requiere de una fase móvil que lo contenga, además de un mecanismo de transporte y una matriz donde ocurrirá la depositación, en esta última se generará el patrón de dispersión. La matriz mencionada, corresponde al ambiente geológico, la fase móvil es el fluido hidrotermal y el mecanismo de transporte lo constituyen las variables fisicoquímicas que intervienen en el fenómeno de transporte. En la figura VI.2, se ilustra este fenómeno. Abundando un poco más con respecto a la matriz donde ocurre la dispersión, que en este caso es la roca encajonante, mientras más inerte sea químicamente, los halos de dispersión serán mayores, por ejemplo siempre se esperarán halos más amplios en rocas silíceas que en carbonatadas. Los factores que influyen en la formación de los halos de dispersión primarios pueden ser macroscópicos, microscópicos y físico-químicos, dentro de los primeros se mencionarán:

- a) Fallas.
- b) Fracturas.
- c) Planos de estratificación.
- d) Porosidad.
- e) Permeabilidad.

FIGURA VI.1

Muestreo en superficie
y en barrenos, vetas
Ciénega - Jessica - Las Casas - Rosario



Muestreo en torno
al clavo El Carmen
en barrenos y obras mineras

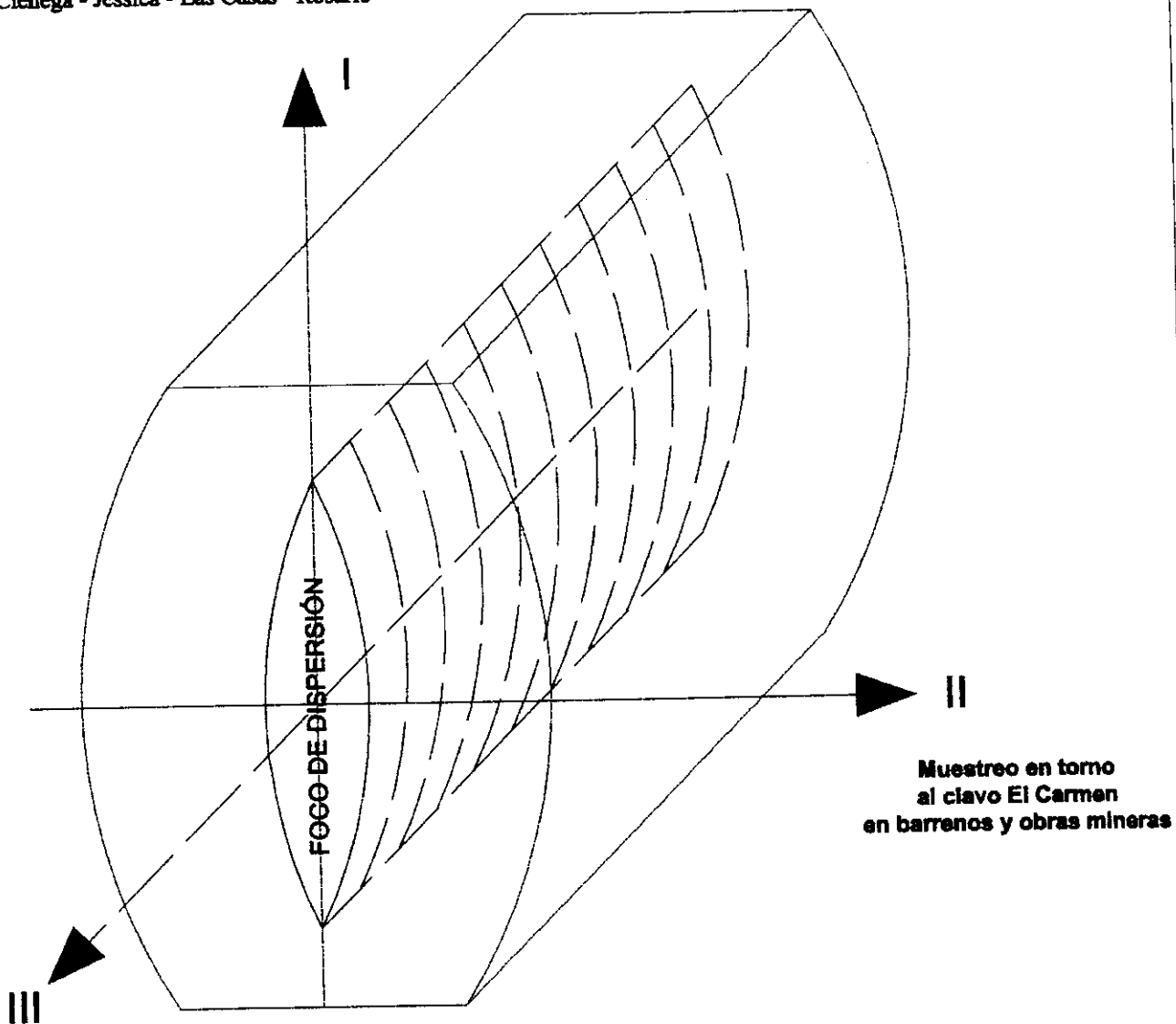
Muestreo en superficie
y en barrenos, vetas
Ciénega - Jessica - Las Casas - Rosario

Modificado de Sumin V.
Bakthin A.I. 1978

U N A M	FACULTAD DE INGENIERÍA	
	EJES DE DISPERSIÓN	
	FIGURA VI.1	
	José Morales Rodríguez	TESIS PROFESIONAL NOVIEMBRE - 2000

FIGURA VI.1

Muestreo en superficie
y en barrenos, vetas
Ciénega - Jessica - Las Casas - Rosario



Muestreo en superficie
y en barrenos, vetas
Ciénega - Jessica - Las Casas - Rosario

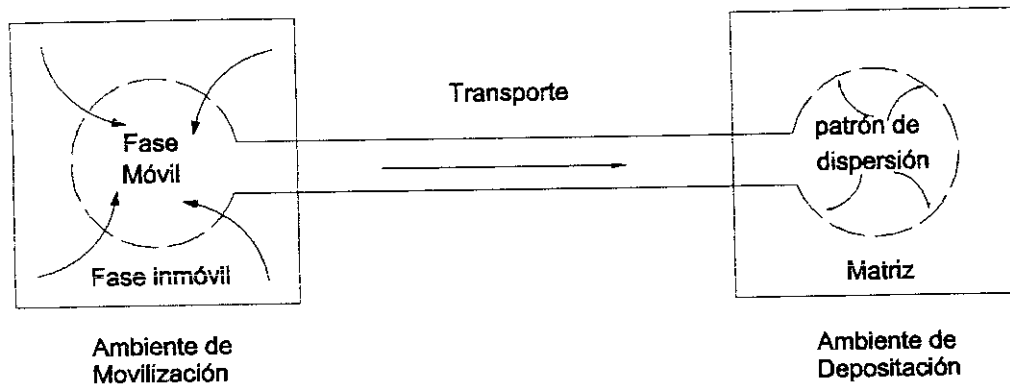
Muestreo en torno
al clavo El Carmen
en barrenos y obras mineras

Modificado de Sumin V.
Bakthin A.L 1978

U N A M	FACULTAD DE INGENIERÍA	
	EJES DE DISPERSIÓN	
	FIGURA VI.1	TESIS PROFESIONAL
	José Morales Rodríguez	NOVIEMBRE - 2000

FIGURA VI.2

EL FENÓMENO DE LA DISPERSIÓN



U N A M	FACULTAD DE INGENIERÍA	
	EL FENÓMENO DE LA DISPERSIÓN	
	FIGURA VI.2	
	José Morales Rodríguez	TESIS PROFESIONAL NOVIEMBRE - 2000

Los factores microscópicos más importantes son:

- a) Microfracturamiento.
- b) Microporosidad.
- c) Micropermeabilidad.
- d) La migración a través de la red cristalina de los minerales.

Por último en lo referente a los factores fisico-químicos, se mencionarán los siguientes:

- a) La presión y la temperatura reinante en el foco de dispersión.
- b) La naturaleza química de la roca encajonante.
- c) Las características químicas de los elementos prospectados.

Existen dos tipos de dispersión, las primarias o endógenas y las secundarias. estas últimas resultan de la destrucción de los yacimientos preexistentes mientras que las endógenas son las que se originan al momento de emplazarse el yacimiento mineral; el ambiente de formación de estas últimas, está caracterizado por altas presiones y nula disponibilidad de oxígeno libre mientras que las anomalías secundarias corresponden al ambiente superficial con presiones normales y una gran cantidad de oxígeno libre.

Las anomalías endógenas, que son las únicas que se consideraron para este trabajo, a su vez se subdividen en dos grupos a saber:

- a) Por difusión.
- b) Por fuga.

Las anomalías por difusión se originan por la migración de los elementos a nivel microscópico (investigación del halo de dispersión en torno a la veta La Ciénega en el clavo El Carmen, mediante el muestreo selectivo de roca encajonante).

Las anomalías por fuga se generan por la migración de los elementos contenidos en fluidos que migran por espacios abiertos (investigación sobre el reflejo de los clavos de mineral mediante muestro superficial y de barrenos en las vetas La Ciénega-Jessica-Las Casas-Rosario).

Evidentemente en los muestreos mencionados anteriormente, las dispersiones siguen leyes totalmente diferentes.

Una condición importante que debe cumplir un conjunto de datos geológico-geoquímicos para poder ser interpretados, es que todos ellos tengan un origen y características similares y que hayan sido tomados en el mismo tipo de roca. En caso de tener dos o más grupos independientemente homogéneos, se interpretarán individualmente. Una vez teniendo a las muestras agrupadas en conjuntos con las características antes mencionadas, lo primero que se debe investigar es el tipo de distribución que sigue cada universo y si se presenta en él una única población o existe otra que podría ser la anómala. Existen varios tipos de distribuciones de los datos de un universo dado, este fenómeno se deberá investigar para saber a cual se ajusta y poder determinar los parámetros que definan a los datos como conjunto.

Sin embargo, el problema no es tan complicado, de todos los tipos de distribuciones conocidos, dos son los más comunes, el normal y el lognormal. De ambos, el último es el más frecuente en los problemas geológicos.

La hipótesis de la distribución de frecuencias lognormal de los contenidos de metales en los yacimientos, fue formulada por primera vez en la URSS por N.K. Rasumosky en 1940, despertando una fuerte polémica. En 1954 L.H. Ahrens publicó "*The lognormal distribution of the elements*", en el cual afirma basándose en ejemplos concretos que la distribución de oligoelementos en las rocas ígneas, se hacen normales o casi normales

cuando la variable (concentración de un elemento) se transforma tomando en vez de la concentración, su logaritmo. Surgieron varias críticas a este trabajo, mismas que fueron contestadas por el autor en artículos posteriores.

Geólogos y geoquímicos de Francia y Sudáfrica, discutieron y aplicaron extensamente la distribución lognormal en la prospección geoquímica de uranio en Francia, y el contenido de oro en los yacimientos de Sudáfrica. Ellos encontraron que de hecho, la lognormalidad o la aproximación a ella, fue comprobada para los oligoelementos estudiados por la geoquímica y para las leyes en los elementos de baja ley: como es el caso de los yacimientos de oro y uranio mencionados al principio de este párrafo. Para los elementos mayores o yacimientos de alta ley se pueden presentar desviaciones con respecto a la lognormalidad, por lo cual deberá ser investigado cada caso en particular.

El que la distribución de frecuencias de los contenidos de oligoelementos sea lognormal, se ha tratado de explicar de dos maneras, una se debe a G. Matheron (1963) y la otra a A.B. Vistelius (1967).

La teoría de Matheron explica la ley lognormal por medio de la noción del efecto proporcional. Simplificado, se da el ejemplo siguiente:

En un yacimiento es más probable que si en un punto se tiene una ley de 1%, los puntos más cercanos a él tendrán leyes comprendidas entre 0.9% y 1.1% que entre 9% y 11%.

En general, en este ejemplo se cumple que la variación de una cantidad X, será directamente proporcional a X:

$$\Delta x = \alpha x$$

Si $\Delta x = \alpha x$ es pequeño, con mayor razón lo será α , que es el coeficiente de proporcionalidad, ya que $\alpha = \frac{\Delta x}{x}$, luego puede considerarse que:

$$\alpha = \Delta \gamma$$

entonces:

$$\Delta \gamma = \frac{\Delta x}{x}$$

Si Δx es infinitamente pequeño, se puede escribir:

$$\delta \gamma = \frac{\delta \chi}{\chi}$$

Integrando:

$$\gamma = \log x$$

Si se considera un gran número de puntos en un yacimiento, se tendrá que las variaciones $\delta \chi$ de la ley en torno a ellos, dará numerosos, pequeños e independientes $\delta \gamma$ por lo cual la suma de estos $\delta \gamma$ dará una variable cuya distribución de frecuencias seguirá la Ley de Gauss o la Ley normal. Luego, si "y" es una variable de distribución normal, "χ" será una variable de distribución lognormal de frecuencias.

A.B. Vistelius (1967) , basándose en varios conjuntos de análisis por P_2O_5 en granitos de diversas partes del mundo, todos con más de 60% de SiO_2 , determinó que su distribución de frecuencias aunque presentaba una curva con desviación positiva, no era estrictamente lognormal. Lo mismo comprobó para 4788 análisis por Na_2O de rocas ígneas de distintos lugares y para 200 análisis de Na_2O en 50 muestras de basalto de diferentes regiones del mundo. La distribución de los análisis en los basaltos también presentaba una desviación positiva, pero menor que en el caso de las rocas ígneas en general. De estos ejemplos, Vistelius sacó la conclusión de que la distribución de frecuencias del contenido de un elemento dado en las rocas, tomadas como un solo conjunto, debe presentar una fuerte desviación. Si se considera un conjunto más homogéneo, por ejemplo los basaltos, su

desviación es menor que para un conjunto más heterogéneo, por ejemplo todas las rocas ígneas. Esto conduce a pensar que en un conjunto perfectamente homogéneo, la curva de distribución de frecuencias no presentará desviación y por tanto será simétrica o sea lognormal.

Para comprobar esta suposición, Vistelius analizó por P₂O₅ a 29 muestras de 5.0 gr. cada una tomadas de un trozo de granodiorita de 1.0 kg de peso. Obtuvo, con un alto grado de confianza una distribución lognormal de frecuencias. Los resultados los tradujo en la siguiente afirmación:

Las distribuciones locales son lognormales (simétricas), mientras que las distribuciones de conjunto son desviadas o "asimétricas".

De sus estudios, Vistelius concluyó que la depositación de pequeñas concentraciones de un oligoelemento por procesos geoquímicos, es en general, más estable que la depositación de grandes concentraciones de él, por el mismo proceso geoquímico.

Una vez que se ha investigado el tipo de distribución del grupo de muestras, se procederá a hacer un análisis estadístico, gráfico y descriptivo de él.

Esto es de mucha utilidad, ya que este método casi siempre es el único, con el cual a un gran número de datos difíciles de interpretar, se les pueden extraer los parámetros que rigen su comportamiento. Lo anterior se logra mediante la representación gráfica de la distribución de frecuencias y la elaboración de curvas mediante el uso de gráficas probabilísticas. De esta manera se pueden visualizar los límites inferior y superior que comprende al universo de muestras, el valor promedio de la población, los límites que engloban valores anómalos y la presencia de una o varias poblaciones. Una interpretación estadística confiable, requiere que se trate un buen número de datos (entre mayor sea el número, mejores resultados se pueden

esperar), y que estos provengan de un medio homogéneo.

Los pasos necesarios para la construcción de los histogramas y las curvas de frecuencia acumulada son:

- a) Selección del conjunto de datos que constituirá el universo, el cual deberá ser lo más grande y homogéneo posible.
- b) Agrupar los valores en un número adecuado de clases.
- c) Calcular la frecuencia de la ocurrencia en cada clase.
- d) Construir y suavizar el histograma.
- e) Elaborar la gráfica de probabilidades, considerando en uno de los ejes las frecuencias acumulativas integradas hasta el 99.9% y en el otro las p.p.m. del elemento estudiado en escala logarítmica.

Un factor que es fundamental para obtener interpretaciones correctas es agrupar adecuadamente los valores. Cuando se seleccionan muy pocas clases, se enmascaran importantes características de las curvas. Cuando son demasiadas se pierden detalles valiosos, ya que resaltan los valores erráticos. En estadística, se recomienda trabajar con un número de clases comprendido entre 10 y 20. Para determinar los intervalos logarítmicos, se consideran las siguientes variables:

- a) El número de puntos (n) necesarios para construir el histograma.
- b) El intervalo de distribución de los valores (R), definido como el intervalo comprendido entre el valor más alto y el más bajo de la población.

Las variables anteriores se relacionan con el intervalo logarítmico mediante la siguiente relación:

$$\text{Intervalo logarítmico} = \frac{\log R}{n}$$

En los análisis geoquímicos, por experiencia se ha determinado que las magnitudes logarítmicas de las clases varían entre 0.039 y 0.25, por lo general.

Los histogramas ilustran claramente el comportamiento de los valores considerados en un universo, por ejemplo si existen una o más poblaciones, el intervalo de variabilidad de los valores, la sensibilidad del método analítico y la influencia que ejerce la presencia de valores extraordinarios, tanto altos como bajos.

6.2- Información proporcionada por histogramas y curvas acumulativas.

El objetivo que se persigue al construir el histograma de una población dada, es verificar en primer lugar si la distribución de ésta, se ajusta a un patrón normal o lognormal. Posteriormente se deberán obtener los parámetros básicos los cuales son:

- a.- El background, el cual corresponde al intervalo comprendido entre la muestra de valor más bajo y la media.
- b.- El threshold, el cual está definido por el límite superior del background y el primer quiebre de la recta.
- c.- La anomalía. Este grupo de muestras está comprendido sobre el límite superior del threshold y el valor más alto del universo de muestras.

Al graficar las frecuencias acumulativas, teniendo en el eje de las ordenadas una escala probabilística, se obtiene una línea recta cuando exista una única población, y dos o más, cuando la población sea multimodal. Lo más práctico es calcular de esta gráfica los parámetros mencionados en el párrafo anterior.

A continuación se dan unas definiciones para aclarar mejor las ideas:

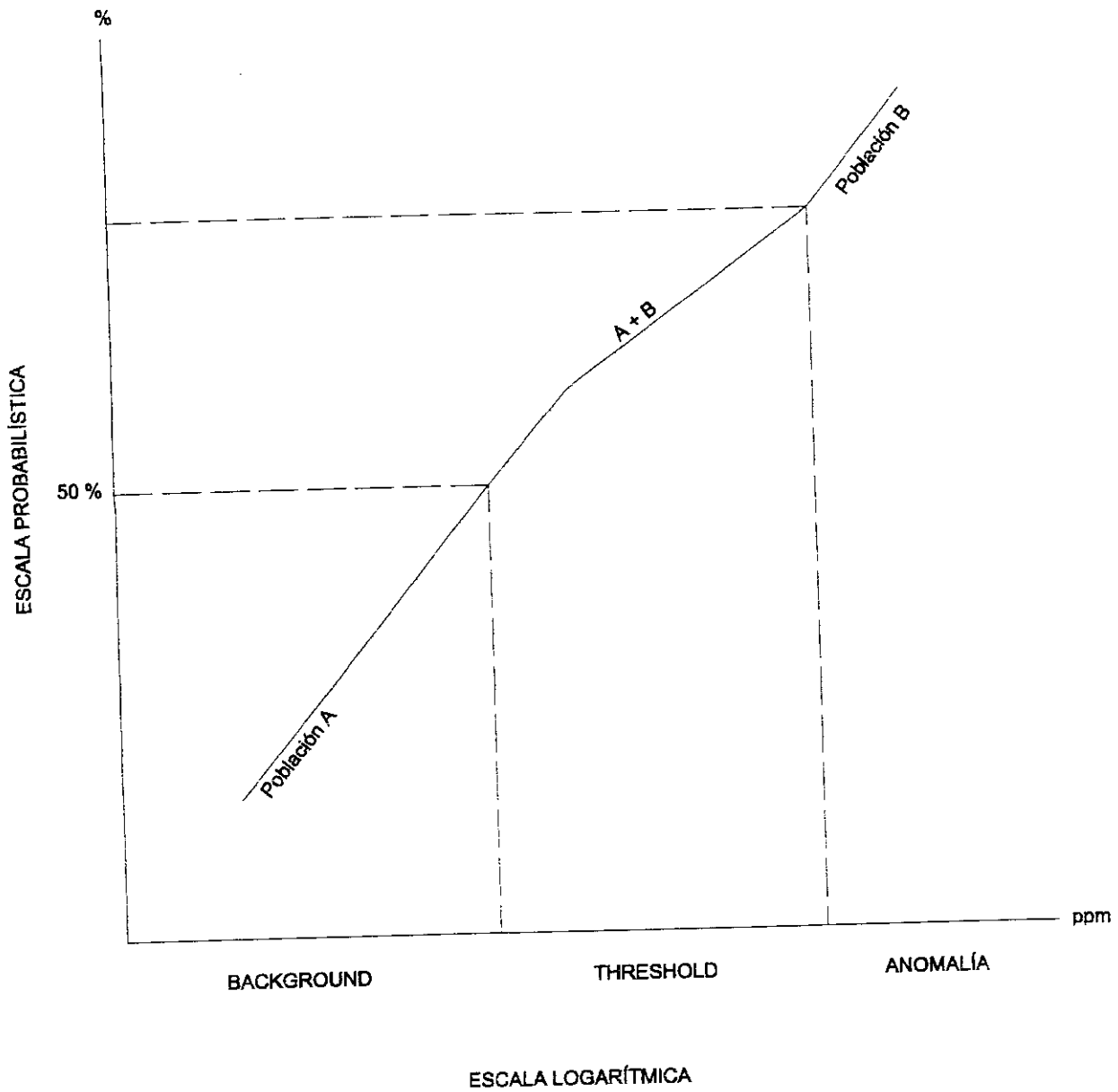
Background: Se define como la concentración normal de un elemento dado en un tipo particular de roca. Es oportuno mencionar que este término implica un intervalo, cuyo límite inferior es igual al valor más bajo del conjunto de muestras y el superior corresponderá a la media de todos los valores. El background variará de un tipo de roca a otro y de una localidad a otra, aún para la misma litología, por lo cual siempre será necesario hacer los cálculos respectivos para cada estudio. Dependiendo del tipo de trabajo, habrá backgrounds locales y regionales. Para la determinación en la gráfica de probabilidades, se traza una línea auxiliar que intercepte el 50% con la recta definida por la población estudiada, en este punto se traza otra auxiliar perpendicular al eje de las p.p.m. y sobre él, se lee el valor correspondiente, ver figura VI.3.

Threshold: Se define como un intervalo de seguridad en donde el límite inferior es el superior del background y el superior corresponde al inicio de la población B que, en caso de existir, es la anómala (ver figura VI.3). En este intervalo se incluye la zona de mezcla A+B, por lo cual algunos autores catalogan al threshold como anomalía baja.

Anomalía: Es una divergencia de los resultados geoquímicos de un área, con respecto al background y al threshold. Desde el punto de vista de la exploración geoquímica, A.W. Hawkes (1957), define a una anomalía como “un área donde las propiedades químicas de un material de ocurrencia natural, indican la presencia de un depósito mineral en la vecindad, quedando como variables sus dimensiones y sus concentraciones metálicas”. El criterio más aplicado en

FIGURA VI.3

ESTIMACIÓN DE LOS DIFERENTES INTERVALOS



U	FACULTAD DE INGENIERÍA	
	ESTIMACIÓN DE LOS DIFERENTES INTERVALOS	
	FIGURA VI.3	
	José Morales Rodríguez	TESIS PROFESIONAL NOVIEMBRE - 2000

la actualidad para definir la anomalía, es considerarla como la población B que se muestra en la gráfica de probabilidades (ver figura VI-3).

Las anomalías se clasifican como:

- a) Falsas. Cuando son originadas por la contaminación derivada de la actividad humana.
- b) Significativas. Son aquellas detectadas por más de una muestra anómala y que se encuentran apoyadas por las de la periferia del orden del threshold. En estos casos normalmente el entorno geológico es interesante.
- c) Erráticas. Con este calificativo, se engloban a todos aquellos valores aislados, que no están apoyados por los resultados de las muestras circunvecinas. En esta clasificación se pueden incluir las anomalías que pudieran resultar de un mal muestreo, de manejar inadecuadamente los materiales colectados o puede ser el producto de algún error analítico.

Otro de los conceptos estadísticos básicos, además de los mencionados anteriormente, es el índice de correlación. A continuación se menciona brevemente el concepto:

El índice de correlación es una estimación de la dependencia de los análisis geoquímicos obtenidos de un conjunto de muestras. Por ejemplo, si la concentración de zinc baja en una zona, ¿también baja la del cadmio?. Si la respuesta es afirmativa, habrá una buena correlación directa, en caso contrario, sería buena pero inversa. Se dice que no hay correlación cuando no existe ninguna dependencia entre los valores. Lo importante es llegar a una estimación de toda la población para obtener conclusiones válidas.

El índice de correlación varía entre 0 y 1 cuando es directo y entre 0 y -1 si es inverso. Sin embargo, el 0 se define como una total independencia, el 1 y el -1 indican una total dependencia directa e inversa respectivamente.

Los paquetes de estadística como el Statgraphics, incluyen este tipo de análisis; sin embargo, se mencionará una manera práctica de estimar este índice. En un papel log-log, se asigna un elemento a cada eje (ver figura VI.4). y cada muestra se ubica como un punto. Una vez graficadas todas las muestras, se trazan dos líneas paralelas a los ejes definidas por el valor del background de los elementos investigados. El cruce de estas dos líneas define un centro de gravedad a partir del cual la nube de puntos es dividida en 4 cuadrantes, los cuales son numerados como se ilustra en la figura VI.4. Posteriormente se aplicará la fórmula

$$p = \text{sen} \left[\frac{H}{2} \cdot \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right] \text{ en donde}$$

p = Índice de correlación.

El seno está dado en radianes.

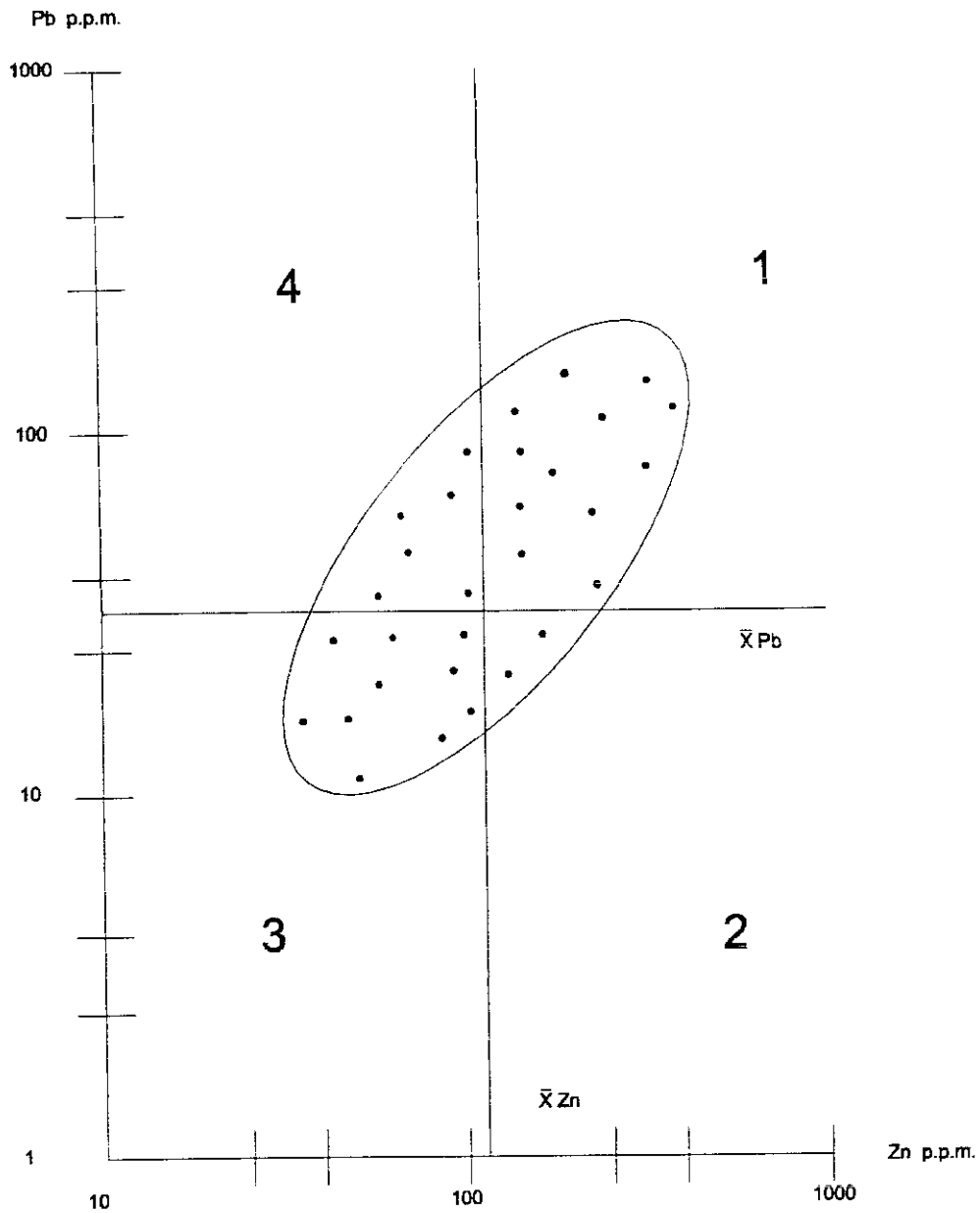
N_1 y N_2 es el número de puntos contenidos en el 1ro. y 2do. Cuadrantes.

El método anterior dará una estimación rápida y sencilla de los índices de correlación que existirán entre el grupo de elementos analizados en un proyecto y esto a su vez nos servirá para tener una buena idea de la asociación genética de los elementos en el ambiente geológico investigado.

Todo lo mencionado en este capítulo, no tiene sentido si no se hace tomando en cuenta el factor geológico, ya que una anomalía siempre debe analizarse desde este punto de vista.

FIGURA VI.4

CÁLCULO DE ÍNDICE DE CORRELACIÓN



$$r = \text{sen} \left[\frac{1}{2} \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right]$$

U N A M	FACULTAD DE INGENIERÍA	
	CÁLCULO DE ÍNDICE DE CORRELACIÓN	
	FIGURA VI.4	
	José Morales Rodríguez	TESIS PROFESIONAL NOVIEMBRE - 2000

considerando por ejemplo estratificación, fracturamientos, litología, etc., como se mencionó en párrafos anteriores.

Otro punto importante es el referente a los trabajos de orientación. Esta investigación deberá ser hecha siempre que se inicie el estudio de una nueva área. Los objetivos de éste serán:

- a) Determinar los materiales a muestrear.
- b) Caracterizar las menas a fin de elegir que elementos se deberán analizar(indicadores directos e indirectos).
- c) Diseñar el muestreo.

Para hacer un trabajo de orientación se deberá consultar la literatura correspondiente a fin de tener una guía académica para iniciar con el problema, pero esta primera fase deberá ser seguida por el trabajo experimental que incluirá la toma de muestras estratégicas para resolver los tres incisos antes mencionados.

6.3-Estudio de orientación.

Para caracterizar a la mena del yacimiento, se eligieron las muestras 157, 178, 185, 187 y 256, las cuales fueron colectadas en puntos representativos de las zonas mineralizadas. Los ejemplares fueron enviados a los laboratorios de Skyline en Tucson, Arizona y fueron analizados por Au, Ag, As, Sb, Hg, Cu, Pb, Zn, Bi, Cd, Te, Ba, Mn, y Fe, por el método de absorción atómica. De estos elementos se eligieron seis: Au, Ag, Zn, Cu, Ba, y Mn, que fueron los que mejor definieron al yacimiento, por este grupo de elementos fueron analizadas todas las muestras colectadas en el trabajo de campo. La razón para elegir al conjunto de elementos mencionados anteriormente obedeció a su comportamiento con

respecto a los elementos de interés económico, como es el caso del Cu, Ba, Mn. Se analizaron por Au, Ag y Zn debido a que estos elementos son los que dan valor al yacimiento. Los seis elementos mencionados presentan en general un buen índice de correlación positivo y negativo, como puede verse en la figura VI.5, estas características son importantes para investigar el zoneamiento geoquímico del yacimiento mineral.

6.4-Desarrollo del trabajo.

El muestreo superficial consistió en tomar muestras selectivas del sistema hidrotermal con la finalidad de investigar en él, el comportamiento de los elementos analizados. El trabajo fue muy laborioso porque en algunas localidades donde no se presentaba una estructura definida, fue necesario muestrear las vetillas que constituyen la expresión superficial del sistema. En el plano del muestreo superficial que se anexa en el apéndice 2, se indican las localidades con sus respectivos números de identificación.

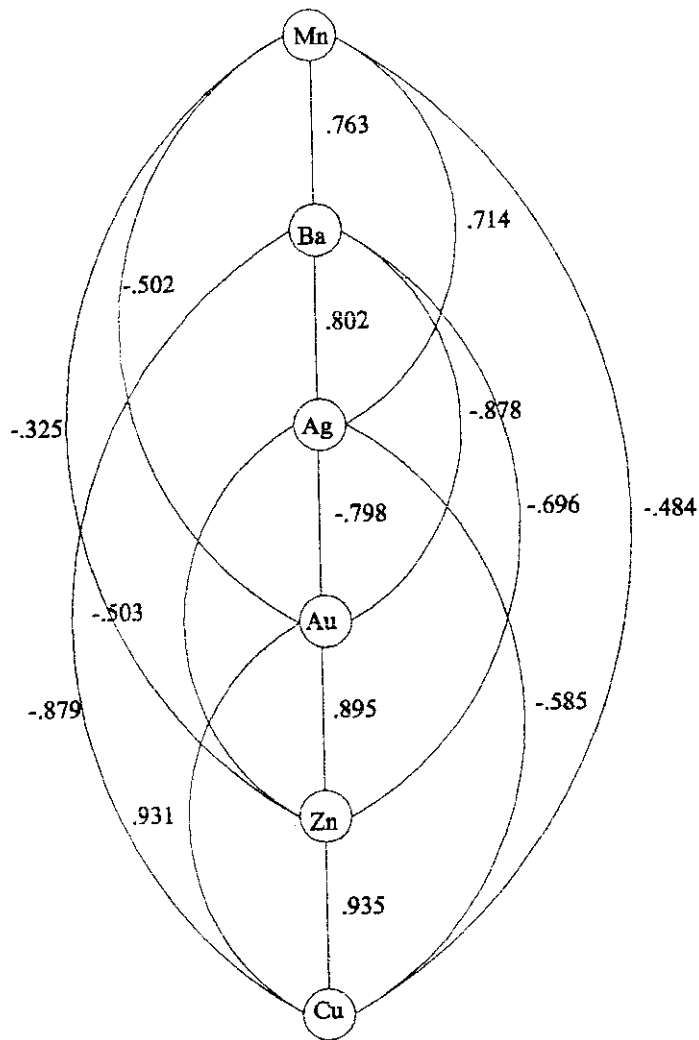
Otra fase del trabajo, consistió en investigar los halos de dispersión en torno al clavo El Carmen, para lo cual se muestrearon los niveles 2520 y 2430, a cada cinco metros, sistemáticamente a partir de la veta, hasta 100 metros fuera de ella. En este caso, las esquirlas fueron colectadas teniendo el mayor cuidado de que estuvieran libres de vetillas para tratar de cuantificar el halo de difusión.

El total de muestras colectadas fue de 407, las cuales fueron analizadas por Au, Ag, Zn Cu, Ba y Mn, en los laboratorios de Skyline en Tucson, Arizona, por el método de absorción atómica.

El análisis estadístico fue hecho en una computadora Hewlett Packard de la serie 900-236, utilizando un programa de estadística básica y avanzada, editado por el mismo fabricante del equipo

FIGURA VI.5

ESTUDIO DE ORIENTACION RESUMEN DE CORRELACIONES



RESUMEN

Au-Ag	-.798
Au.Cu	.931
Au-Zn	.895
Au-Ba	-.878
Au-Mn	-.502
Ag-Cu	-.585
Ag-Zn	-.503
Ag-Ba	.802
Ag-Mn	.714
Cu-Zn	.935
Cu-Ba	-.879
Cu-Mn	-.484
Zn-Ba	-.696
Zn-Mn	-.325
Ba-Mn	.763

U N A M	FACULTAD DE INGENIERÍA	
	ESTUDIO DE ORIENTACION RESUMEN DE CORRELACIONES	
	FIGURA VI.5	
	José Morales Rodríguez	TESIS PROFESIONAL NOVIEMBRE - 2000

6.5-Interpretación.

a)-Halos de dispersión primaria en el clavo El Carmen.

Para detectar estos halos, se eligieron los socavones 2430 y 2520, además de los barrenos LC-12, LC-14, LC-24-1, LC-42-2 LC-42-5, LC-42-13 y LC-42-14, los cuales fueron muestreados sistemáticamente cada 5 metros a partir de las vetas y alejándose de ella hasta una distancia de 100 metros. A los análisis geoquímicos de la población obtenida, se les calcularon los estadígrafos correspondientes los cuales se muestran en la tabla VI.1 y además sus índices de correlación que pueden verse en la figura VI.6, sin embargo, los mejores resultados se obtuvieron elaborando perfiles geoquímicos para diversos elementos y sumatorias de ellos. En el apéndice 4, se presenta el perfil geoquímico de la sumatoria de plata, zinc, cobre, bario y manganeso, elaborado a partir del muestreo tomado al alto de la veta en el socavón El Carmen y que fue la que mejor definió el fenómeno. Se utiliza el criterio de que el halo se extiende hasta el punto donde ocurre un cambio de pendiente significativo en el perfil, en este caso se ve claramente que el halo de dispersión se extiende 45.00 metros a partir de la estructura.

SOCAVÓN 2520. Localizado al alto de la veta; esta obra corresponde al nivel más alto muestreado, el perfil que mejor se definió fue el de la sumatoria de $Ag+Zn+Ba$, observándose que presenta un cambio de pendiente a partir de los 40.00 metros y otro más brusco a 70.00 metros.

SOCAVÓN 2430. En este caso, se elaboró el perfil de la sumatoria de $Ag+Zn+Cu+Ba+Mn$, en el cual se observa un cambio de pendiente significativo a los 45.0 metros; en el caso del perfil del zinc, el cambio de pendiente ocurre entre los 30.00 y 35.00 metros. El muestreo en este caso, correspondió al alto de la veta.

VALORES DE DISPERSION EN EL CLAVO EL CARMEN,
VETA LA CIENEGA, VALORES EN P.P.M.

ELEMENTO	BACKGROUND	THRESHOLD	ANOMALIA
Au	0.03 a 0.05	No definido	No definida
Ag	0.05 a 0.70	0.71 a 1.80	Sobre 1.80
Zn	12.0 a 118.9	119.0 a 411.4	Sobre 411.4
Cu	16.0 a 68.5	68.6 a 77.5	Sobre 77.5
Ba	280.0 a 1891.5	1891.6 a 2606.8	Sobre 2606.8
Mn	120.0 a 326.8	326.9 a 876.8	Sobre 876.8

TABLA VI.1

BARRENO LC 42-1. Este barreno fue dado al alto de la veta, se graficaron Cu, Zn, Ba y la sumatoria Ag+Cu+Zn+Ba. En este caso el zinc es el que mejor se comporta, ya que no es afectado por los ruidos del Ba, mismos que sí perturban a la sumatoria; sin embargo los disturbios del Ba que se presentan entre los 50.00 y 65.00 metros podrian indicar los efectos de una zona mineralizada más profunda. El zinc, para los fines de este estudio, es el que mejor define el halo, el cual se extiende hasta los 35.00 metros.

BARRENO LC 42-2. Fue dado también al alto, se graficaron las sumatorias que incluye a la Ag+Cu+Zn+Mn, que es la que mejor representa al fenómeno, ocurriendo el primer cambio de pendiente significativo a los 30.00 metros. Nuevamente en el otro perfil, el bario, crea mucho ruido, enmascarando el halo de dispersión.

BARRENO LC-14. Fue dado al bajo de la veta y se muestreó para definir el halo de dispersión en esta posición de la estructura. Los elementos y la relación que mejor se comportan para los fines buscados, el más explicativo es el del Zn, el cual define un halo que apenas se extiende entre 15.00 y 20.00 metros.

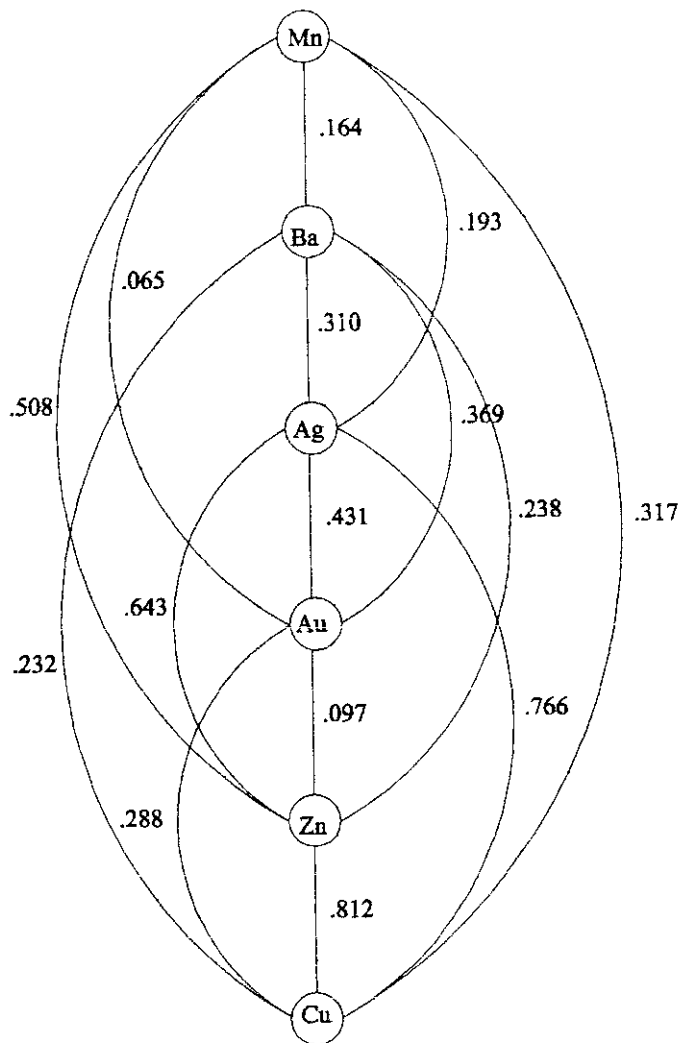
b)-Muestreo de las vetas La Ciénega y Jessica, en superficie y con barrenos.

En el trabajo de superficie, como se mencionó en párrafos anteriores, se colectaron un total de 60 muestras, las cuales fueron tomadas preferentemente sobre el sistema hidrotermal. La finalidad de este estudio fue detectar en superficie el reflejo de los clavos, tanto los que afloran como los ocultos, dando énfasis a los que se encuentran en el último caso.

Las correlaciones entre los elementos analizados, se muestran en la figura VI.7, en la cual se aprecia una fuerte dependencia Cu-Zn-Ag y en menor proporción de estos con el bario. Individualmente el oro y la plata muestran una débil correlación, igualmente ocurre entre el

FIGURA VI.7

MUESTREO SUPERFICIAL VETAS LA CIÉNEGA - JESSICA RESUMEN DE CORRELACIONES



RESUMEN

Au-Ag	.431
Au-Cu	.288
Au-Zn	.097
Au-Ba	.369
Au-Mn	.065
Ag-Cu	.766
Ag-Zn	.643
Ag-Ba	.310
Ag-Mn	.193
Cu-Zn	.812
Cu-Ba	.232
Cu-Mn	.317
Zn-Ba	.238
Zn-Mn	.508
Ba-Mn	.164

U N A M	FACULTAD DE INGENIERÍA	
	MUESTREO SUPERFICIAL VETAS LA CIÉNEGA - JESSICA RESUMEN DE CORRELACIONES	
	FIGURA VI.7	
	José Morales Rodríguez	TESIS PROFESIONAL NOVIEMBRE - 2000

zinc y el manganeso. En el resto de los casos, se observa una casi total independencia. En la tabla VI.2, se muestran los estadígrafos que resultaron del análisis de esta población. En el apéndice 3, se incluyen los histogramas, las curvas de probabilidades y la matriz de correlación que se elaboraron para estudiar el comportamiento de la población.

Simultánea a la interpretación de los datos de superficie, se trabajó con los resultados de 72 muestras elegidas de los núcleos que cortaron las vetas La Ciénega y Jessica; del análisis estadístico de esta información se obtuvieron los resultados mostrados en la figura VI.8 en lo referente a correlaciones, y la tabla VI.3 en cuanto a los estadígrafos de los diferentes elementos analizados.

Al trabajar con los resultados de laboratorio, se graficaron todos los elementos y un buen número de relaciones entre ellos tales como cocientes, propiedades aditivas y multiplicativas. De todo el material resultante, en este caso, se presenta únicamente el perfil de la sumatoria en el apéndice 5. La sumatoria mencionada anteriormente, es la que mejor describe el fenómeno investigado. sin embargo, se hicieron las gráficas y perfiles de todos los elementos analizados. A continuación se hacen los siguientes comentarios:

SUMATORIA DE LOS LOGARITMOS DE Ag, Zn, Cu, Ba y Mn.

Esta combinación de resultados tiene la particularidad de mostrar una tendencia del grupo de elementos mencionados, minimizando la influencia de litologías (pero deben ser afines) o como en este caso, se suaviza la influencia de la heterogeneidad que pueda existir en el medio muestreado. En general las anomalías resultantes en el muestreo de barrenos, se alinean al contacto geológico entre el Grupo Volcánico Superior y el Inferior, quedando abiertas en algunos casos hacia abajo. En lo que respecta al perfil geoquímico, se marcan dos anomalías principales las cuales corresponden a los clavos conocidos (ver apéndice 5).

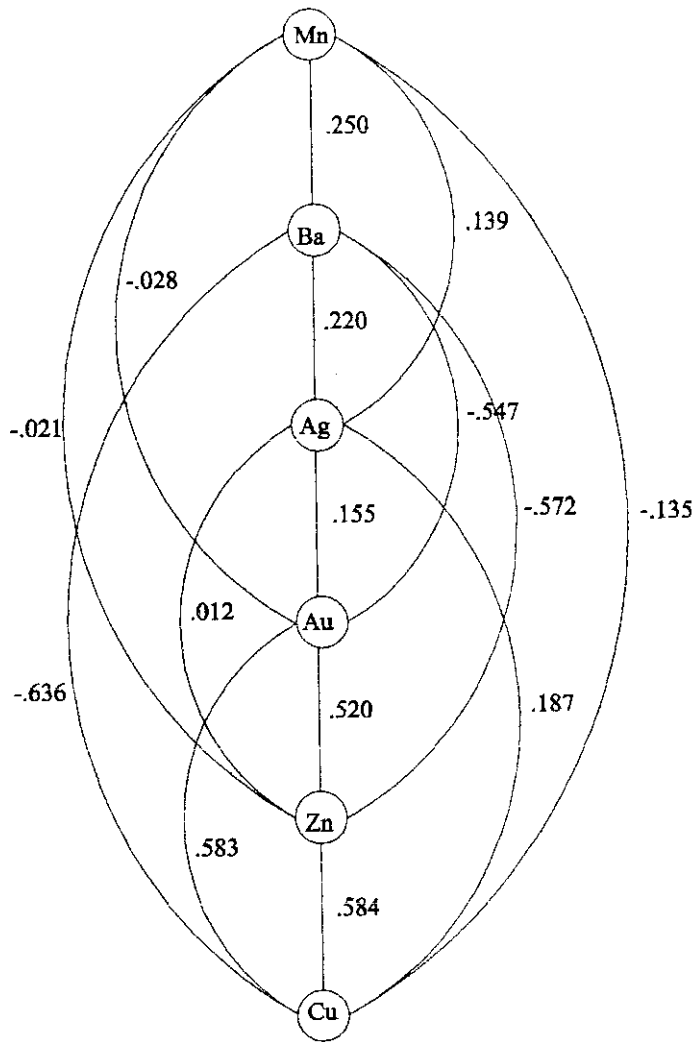
MUESTREO DE VETAS EN SUPERFICIE,
CIENEGA - JESSICA, VALORES EN P.P.M.

ELEMENTO	BACKGROUND	THRESHOLD	ANOMALIA
Au	0.00 a 0.05	No definido	No definida
Ag	0.2 a 91.7	91.8 a 115.5	Sobre 115.5
Zn	2.0 a 235.0	236.0 a 286.0	Sobre 286.0
Cu	2.0 a 53.0	54.0 a 105.0	Sobre 105.0
Ba	170.0 a 1905.0	1906.0 a 9716.0	Sobre 9716.0
Mn	130.0 a 1000.0	1001.0 a 1288.0	Sobre 1288.0
Sum logAg+logZn logCu+logBa+ logMn	5.6092 a 12.8929	12.8939 a 13.5357	Sobre 13.5357

TABLA VI.2

FIGURA VI.8

MUESTREO DE BARRENOS VETAS LA CIÉNEGA - JESSICA RESUMEN DE CORRELACIONES



RESUMEN

Au-Ag	.155
Au-Cu	.583
Au-Zn	.520
Au-Ba	-.547
Au-Mn	-.028
Ag-Cu	.187
Ag-Zn	.012
Ag-Ba	.220
Ag-Mn	.139
Cu-Zn	.584
Cu-Ba	-.636
Cu-Mn	-.135
Zn-Ba	-.572
Zn-Mn	-.021
Ba-Mn	.250

U N A M	FACULTAD DE INGENIERÍA	
	MUESTREO DE BARRENOS VETAS LA CIÉNEGA - JESSICA RESUMEN DE CORRELACIONES	
	FIGURA VI.8	
	José Morales Rodríguez	TESIS PROFESIONAL NOVIEMBRE - 2000

**MUESTREO DE BARRENOS EN LA INTERSECCION
CON LAS VETAS CIENEGA - JESSICA
VALORES EN P.P.M.**

ELEMENTO	BACKGROUND	THRESHOLD	ANOMALIA
Au	0.05 a 1.0	1.1 a 1.6	Sobre 1.6
Ag	3.5 a 112.2	112.3 a 307.3	Sobre 307.3
Zn	125.0 a 2053.5	2053.6 a 5011.9	Sobre 5011.9
Cu	34.0 a 432.2	432.3 a 509.4	Sobre 509.4
Ba	190.0 a 2313.7	2313.8 a 5907.4	Sobre 5907.4
Mn	130.0 a 662.8	662.9 a 1778.3	Sobre 1778.3
Sum logAg+logZn logCu+logBa+ logMn	11.1285 a 14.5786	14.5786 a 15.90	Sobre 15.90

TABLA VI.3

ORO.- En el plano correspondiente se puede ver claramente en el perfil que existe una buena respuesta sobre los clavos conocidos. A pesar de que no fue posible definir los límites de threshold y anomalía, se observan muestras con valores lo suficientemente elevados como para indicar la presencia de zonas de interés. Si se observan los valores que se presentan en los barrenos, es obvio que las concentraciones de este metal se incrementan a profundidad hasta un cierto nivel, en este caso indicado por la curva de isovalores de 10, la cual muestra una tendencia sensiblemente paralela al contacto geológico entre el Grupo Volcánico Inferior y el Superior. En general, se concluye que a partir de las zonas de altos valores, las concentraciones disminuyen hacia arriba hasta llegar a la superficie donde únicamente 4 muestras superaron el límite de 1.0 p.p.m.

PLATA.- En lo que respecta a este elemento, muestra una correlación baja con los demás, pero sus zonas de alta concentración coinciden con las del Au; sin embargo, su dispersión es mucho más amplia que la de éste, ya que la curva del threshold, en el muestreo de barrenos queda abierta hacia la superficie en ambos clavos, manifestándose como unos altos muy pronunciados en el perfil geoquímico. Inclusive el clavo Centenario Poniente aparentemente se refleja en superficie por Ag. En conclusión, éste es un buen elemento indicador.

ZINC.- Al observar este elemento, llama la atención por su mayor afinidad con el oro, manifestándose por una coincidencia en anomalías, en lo que respecta a los resultados del muestreo de los barrenos. Las zonas anómalas también se asocian al contacto entre el Grupo Volcánico Inferior y Superior. A pesar de que los valores decrecen hacia arriba, en el muestreo superficial se detectaron valores anómalos que indican los clavos, principalmente en El Carmen.

BARIO.- Este elemento, muestra una moderada correlación inversa con el oro (-.547), por lo cual las anomalías no coinciden, además al contrario de lo que ocurre con este elemento,

las concentraciones aumentan hacia arriba, obteniéndose valores muy altos en superficie. Debido a lo anterior, las curvas de isovalores configuradas con el muestreo de barrenos, están abiertas hacia la superficie. Por eso, se concluye que el Ba es el mejor elemento indicador de los clavos auríferos ocultos.

c)-Muestreo de las vetas Las Casas-Rosario en superficie.

Durante el desarrollo de este trabajo, se colectaron únicamente 31 muestras; no fue posible obtener más, debido a que los afloramientos son muy escasos. Sin embargo, se elaboró el análisis estadístico, el cual se debe tomar con reservas por su pequeña población.

En la tabla VI.4, se muestran los estadígrafos y en la figura VI.9, las correlaciones existentes entre los elementos analizados. Resulta muy notorio que así como el sistema Ciénega-Jessica-Arroyo de Plata conforman una entidad geoquímica, las vetas Las Casas-Rosario constituyen otro, por lo cual se agruparon todas las muestras colectadas en este último sistema como se hizo en el primero. Los resultados de los análisis de las muestras de los barrenos, por su escaso número sirvieron únicamente para delinear tendencias muy generales.

A continuación se comentan los las gráficas obtenidas.

SUMATORIA DE LOG Ag+ LOG Zn+ LOG Cu+ LOG Ba+ LOG Mn.

Esta relación, como puede verse en el plano ubicado en el apéndice 5 define las dos anomalías por bario y plata en la veta Rosario. En el caso de la estructura Las Casas resalta una anomalía directamente sobre la proyección en superficie de la intersección del barreno LCA-1. Las otras anomalías que se reflejaron por Ba, se suavizan, persistiendo el valor alto detectado por la muestra M-295.

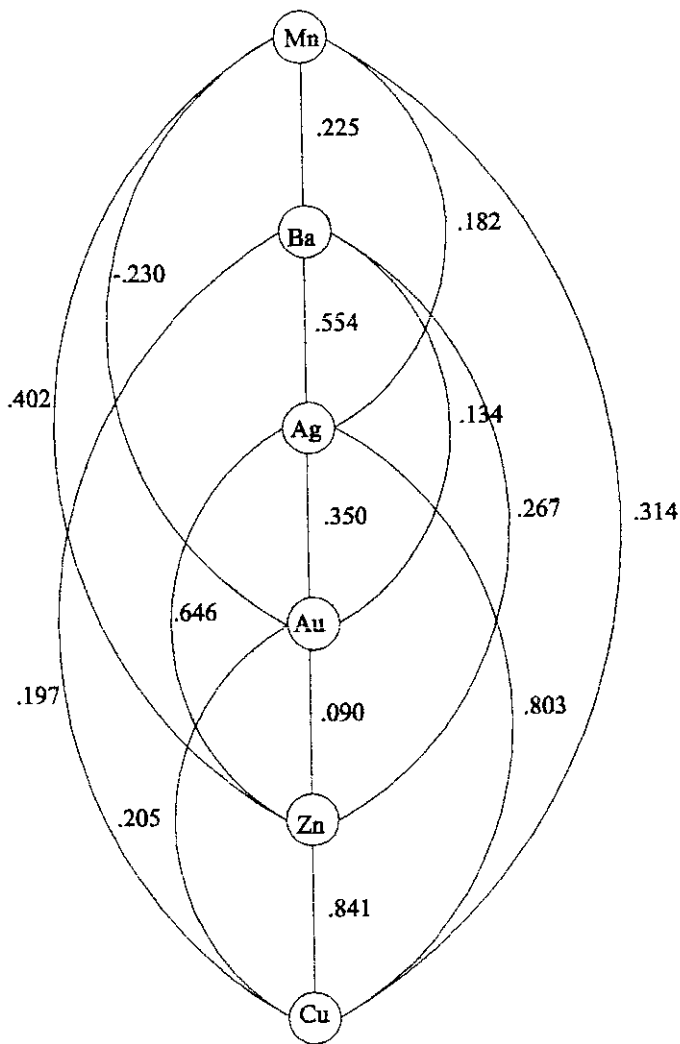
MUESTREO DE VETAS EN SUPERFICIE
LAS CASAS - ROSARIO, VALORES EN P.P.M.

ELEMENTO	BACKGROUND	THRESHOLD	ANOMALIA
Au	0.00 a 0.05	No definido	No definida
Ag	0.35 a 38.70	38.80 a 86.60	Sobre 86.60
Zn	8.0 a 136.7	No definido	No definida
Cu	2.0 a 13.7	No definido	No definida
Ba	540.0 a 64136.0	64137.0 a 76542.0	Sobre 76542.0
Mn	50.0 a 158.5	158.6 a 631.0	Sobre 631.0
Sum logAg+logZn logCu+logBa+ logMn	5.18 a 11.90	12.00 a 14.00	Sobre 14.0

TABLA VI.4

FIGURA VI.9

MUESTREO SUPERFICIAL VETAS LAS CASAS-ROSARIO RESUMEN DE CORRELACIONES



RESUMEN

Au-Ag	.350
Au-Cu	.205
Au-Zn	.090
Au-Ba	.134
Au-Mn	-.230
Ag-Cu	.803
Ag-Zn	.646
Ag-Ba	.554
Ag-Mn	.182
Cu-Zn	.841
Cu-Ba	.197
Cu-Mn	.314
Zn-Ba	.267
Zn-Mn	.402
Ba-Mn	.225

U N A M	FACULTAD DE INGENIERÍA	
	MUESTREO SUPERFICIAL VETAS LAS CASAS-ROSARIO RESUMEN DE CORRELACIONES	
	FIGURA VI.9	
	José Morales Rodríguez	TESIS PROFESIONAL NOVIEMBRE - 2000

ORO.- Por este elemento, la respuesta es moderadamente alta en la veta Las Casas, y únicamente en los puntos M-290, M-296 y M-301. Debido a los pocos barrenos dados, no se pueden inferir tendencias confiables, probablemente queden abiertas hacia abajo.

PLATA.- En el perfil se muestra una anomalía ubicada sobre la intersección del barreno LCA-1 con la veta, así como otra localizada en las inmediaciones de la proyección de la intersección del barreno R-1. En ambos casos con la escasa información de los barrenos se infiere que las anomalías quedan abiertas hacia abajo, lo mismo se intuye para los barrenos LCA-3, LCA-4 y R-2.

ZINC.- Para este elemento, no fue posible definir ni el threshold, ni la anomalía. Los valores son relativamente bajos en el muestreo superficial, exceptuando dos puntos (como se muestra en el plano 8 del apéndice 4). En la localidad M-352, que fue la más alta, se observó escasa galena y trazas de esfalerita; sin embargo se observa alguna tendencia de los valores a aumentar a profundidad.

BARIO.- Los resultados por este elemento, son los que más hacen pensar en que existe una diferencia notable entre el sistema de vetas La Ciénega-Jessica-Arroyo de Plata. Como puede verse en el plano correspondiente en el apéndice 5, los valores son extraordinariamente elevados.

De dos áreas claramente anómalas, en la veta Rosario, una de ellas comprende de las muestras M-348 a la M-351 y la otra de M-338 a M-341. En la veta Las Casas el punto M-301 y los M-295, 296 y 297 definen una anomalía que se deberá detallar mejor.

Los altos valores de bario y los bajos por los otros elementos (pero que de cualquier manera presentan anomalías), hacen suponer que este sistema se encontrará a un nivel más alto con respecto al integrado por las vetas Ciénega-Jessica-Arroyo de Plata. Por consiguiente, se

recomienda, como se dijo anteriormente, detallar las anomalías por bario y explorarlas con barrenos más profundos.

d)-Muestreo de nuevas áreas.

Al finalizar el muestreo de rutina para modelar geoquímicamente las vetas conocidas, existentes en el proyecto, se recorrió una zona situada al SE de la Ciénega.

Las muestras 280, 281 y 282, fueron tomadas sobre zonas oxidadas, pero no se discuten porque no revelaron nada de interés como ocurrió también con la 362. Sin embargo, las numeradas del 355 hasta la 365, exceptuando la 362, las cuales fueron tomadas sobre una estructura brechada vetiforme, con espesor promedio de 2.0 m y una amplia zona de oxidación, resultaron anómalas por bario. Las rocas encajonantes de esta estructura, son las ignimbritas y riolitas de la parte alta del Grupo Volcánico Superior, por lo cual se infiere que se debe estar en la parte más elevada del sistema hidrotermal. Esta zona está marcada con el número I en el plano de muestreo superficial ubicado en el apéndice 2.

Las muestras comprendidas entre los números 366 a 390, inclusive, fueron tomadas en la zona marcada con el número II, en el plano del apéndice 2, lugar donde se observa una breccia con afloramientos intermitentes, ya que en gran parte está cubierta por suelos y depósitos de talud. A pesar de que los resultados fueron bajos se deberían tomar algunas muestras más.

Para este grupo de muestras, se presentan los estadígrafos en la tabla VI.5 y el resumen de correlaciones se muestran en la figura VI.10.

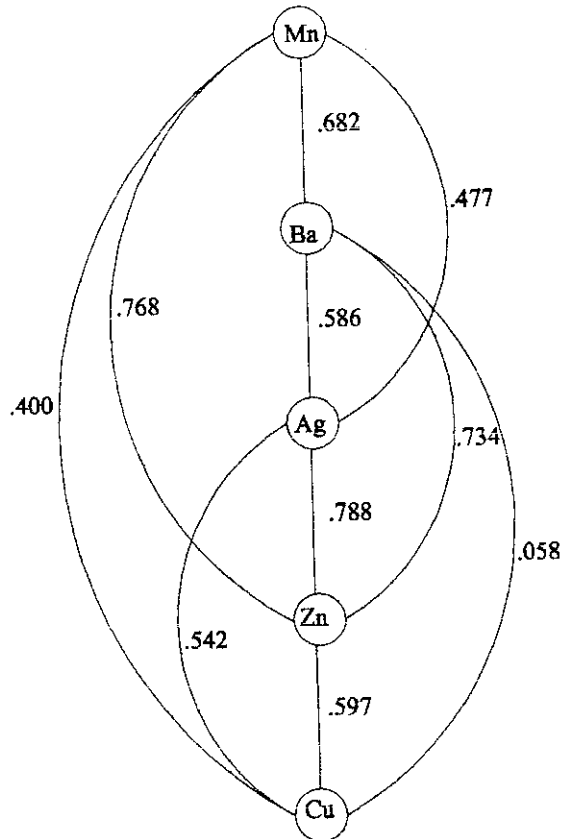
**MUESTREO DE AREAS NUEVAS.
VALORES EN P.P.M.**

ELEMENTO	BACKGROUND	THRESHOLD	ANOMALIA
Au	0.00 a 0.05	0.06 A 0.54	Sobre 0.54
Zn	2.0 a 13.4	13.5 a 28.2	Sobre 28.2
Cu	2.0 a 3.2	No definido	No definida
Ba	50.0 a 762.3	762.4 a 1090.2	Sobre 1090.2
Mn	80.0 a 263.9	No definido	No definida

TABLA VI.5

FIGURA VI.10

NUEVAS AREAS RESUMEN DE CORRELACIONES



RESUMEN

Ag-Cu	.542
Ag-Zn	.788
Ag-Ba	.586
Ag-Mn	.477
Cu-Zn	.597
Cu-Ba	.058
Cu-Mn	.400
Zn-Ba	.734
Zn-Mn	.768
Ba-Mn	.682

U N A M	FACULTAD DE INGENIERÍA	
	NUEVAS AREAS RESUMEN DE CORRELACIONES	
	FIGURA VI.10	
	José Morales Rodríguez	TESIS PROFESIONAL NOVIEMBRE - 2000

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

CONCLUSIONES.

- 1) El halo de dispersión primaria en torno al clavo El Carmen de la veta La Ciénega, se define mejor con la sumatoria de la plata, el zinc, el cobre, el bario y el manganeso, el cual tiene una amplitud de 45 metros al alto de la estructura, al bajo la dispersión es errática, por esta razón, se recomiendan los muestreos litogeoquímicos superficiales para trabajos de mucho detalle.
- 2) Los elementos o relaciones que mejor indican los clavos de las vetas La Ciénega y Jessica, en muestreos superficiales, son en orden decreciente, la sumatoria de la plata, el cobre, zinc, bario y manganeso y el bario, la plata, el oro y el zinc, vistos como elementos individuales.
- 3) Se obtuvieron anomalías muy altas por bario en las vetas Las Casas-Rosario, lo cual muy probablemente indica que el nivel de erosión es muy alto.
- 4) Se detectó una zona interesante ubicada al este del proyecto, la cual está marcada con el número I en el plano de muestreo superficial.

RECOMENDACIONES.

- 1) Se descarta el muestreo siguiendo un patrón sistemático reticular debido a que se requeriría un gran número de muestras para cubrir toda el área del proyecto.
- 2) Se recomienda en todo caso, muestrear todas las evidencias de fugas de sistemas hidrotermales que se pueden presentar en el área del proyecto e interpretarlas de acuerdo al modelo elaborado.
- 3) Investigar con barrenación a diamante la continuidad a profundidad de los clavos El Carmen y Jessica, así como las zonas Centenario Poniente y El Centenario. En la proyección superficial de estas dos últimas zonas se observan respuestas geoquímicas y sería de esperarse que existiera mineralización económica a la altura del contacto entre los Grupos Volcánicos Superior e Inferior. Obsérvese que esto ocurre en el clavo Jessica.
- 4) Debido a los altos valores de bario, en las vetas Las Casas y Rosario, se recomienda detallar mejor las anomalías, e investigarlas con barrenos más profundos que los dados anteriormente.
- 5) De las zonas muestreadas al E del proyecto La Ciénega, la que corresponde al I, y que aparece en el plano de muestreo superficial, resultó anómala por bario, se recomienda hacerle trabajos de detalle.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

RECOMENDACIONES.

- 1) Se descarta el muestreo siguiendo un patrón sistemático reticular debido a que se requeriría un gran número de muestras para cubrir toda el área del proyecto.
- 2) Se recomienda en todo caso, muestrear todas las evidencias de fugas de sistemas hidrotermales que se pueden presentar en el área del proyecto e interpretarlas de acuerdo al modelo elaborado.
- 3) Investigar con barrenación a diamante la continuidad a profundidad de los clavos El Carmen y Jessica, así como las zonas Centenario Poniente y El Centenario. En la proyección superficial de estas dos últimas zonas se observan respuestas geoquímicas y sería de esperarse que existiera mineralización económica a la altura del contacto entre los Grupos Volcánicos Superior e Inferior. Obsérvese que esto ocurre en el clavo Jessica.
- 4) Debido a los altos valores de bario, en las vetas Las Casas y Rosario, se recomienda detallar mejor las anomalías, e investigarlas con barrenos más profundos que los dados anteriormente.
- 5) De las zonas muestreadas al E del proyecto La Ciénega, la que corresponde al I, y que aparece en el plano de muestreo superficial, resultó anómala por bario, se recomienda hacerle trabajos de detalle.

V. BIBLIOGRAFÍA.

BEUSS A.A. and GRIGORIAN S.V., 1977. Geochemical Exploration Methods for Mineral Deposits. Applied Publishing Ltd.

FLORES S. GUILLERMO., 1985. Informe de Avance Proyecto La Ciénega. Reporte Interno, S.I.P.S.A. DE C.V.

FYFE W.S., 1970. Geochemistry of Solids. Mc Graw Hill Book Company.

FYFE W.S., PRICE N.J. and THOMPSON A.B., 1978. Fluids in the earth's Crust. Elsevier Scientific Publishing Company.

HEDENSQUIT, IZAWA, ARRIBAS and WHITE., 1996. Epithermal gold deposits: Styles, characteristics, and exploration. Society of Resource Geology. Tokyo, Japan.

LEPELTIER, C., 1969. A simplified statistical treatment of geochemical data by graphical representation. Econ. Geol., 64: 538-550.

LEVINSON A.A., 1980. Introduction to Exploration Geochemistry. Applied Publishing Ltd.

LOERA, F., 1982. The La Ciénega Vein and It's Geological Setting, Durango México. Unpublished M.S. Thesis. University of Arizona.

POLIKARPORCHKIN V.V; KITAYEV N.A. and SARAPULOVA V.N., 1965. Structure and Vertical Zonation of the Primary Dispersion Aureoles at the Baley Gold Deposits. Institute of Geochemistry, Siberian Branch of the Academy of Sciences USSR.

ROSE A.W., HAWKES H.E. and WEBB J.S., 1979. *Geochemistry in Mineral Exploration*. Academic Press.

SINCLAIR, A. J., 1974. Selection of thresholds in geochemical data using probability graphs. *J. Geochem. Explor.*, 3: 129-149.

SIEGEL F.R., 1977. *Applied Geochemistry*. A Wiley Interscience Publication.

APÉNDICE 1

PLANO GEOLÓGICO.

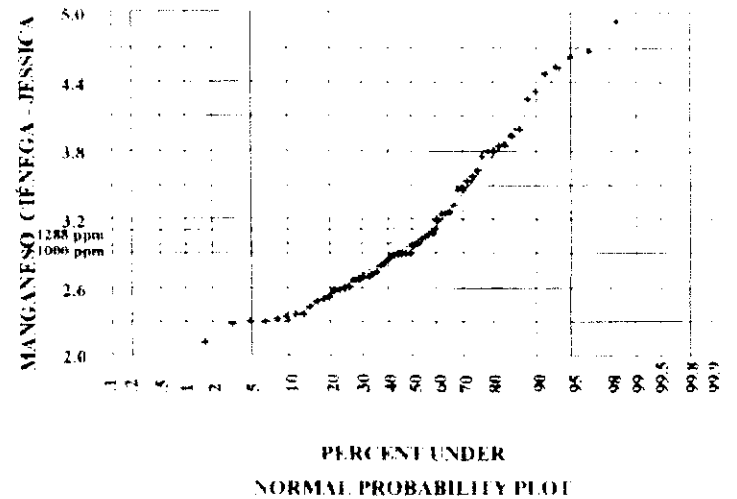
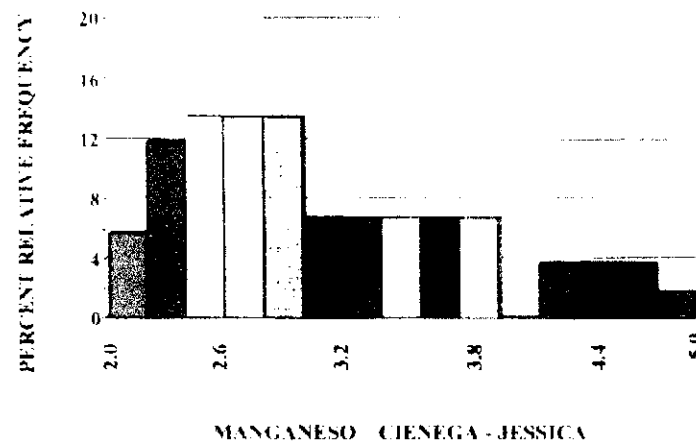
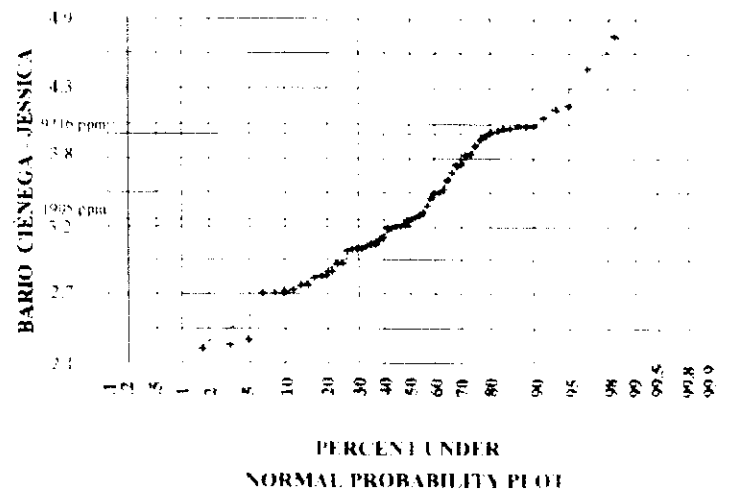
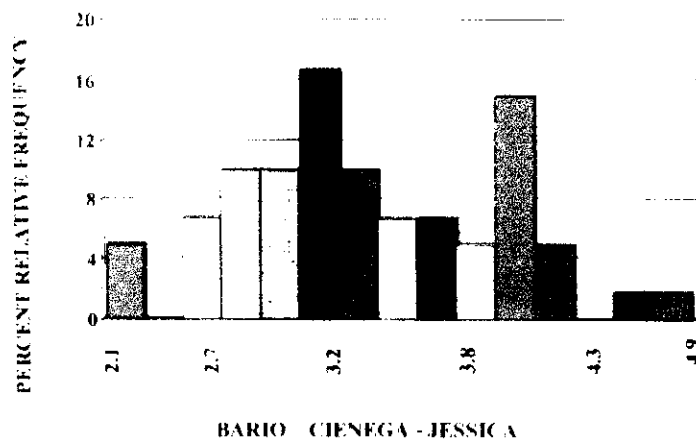
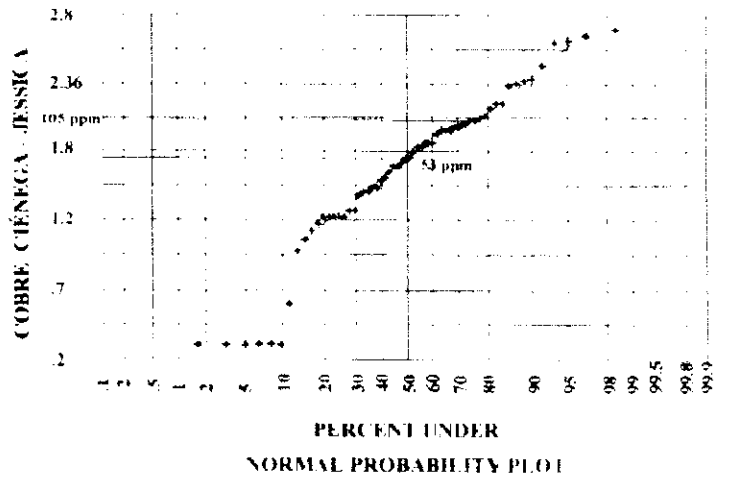
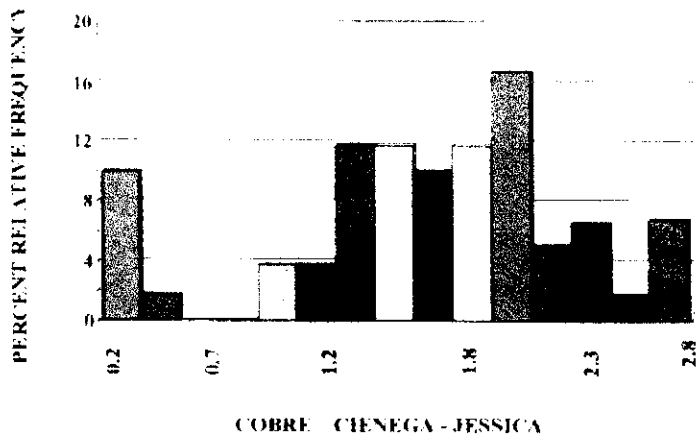
APÉNDICE 2

PLANO DEL MUESTREO SUPERFICIAL.

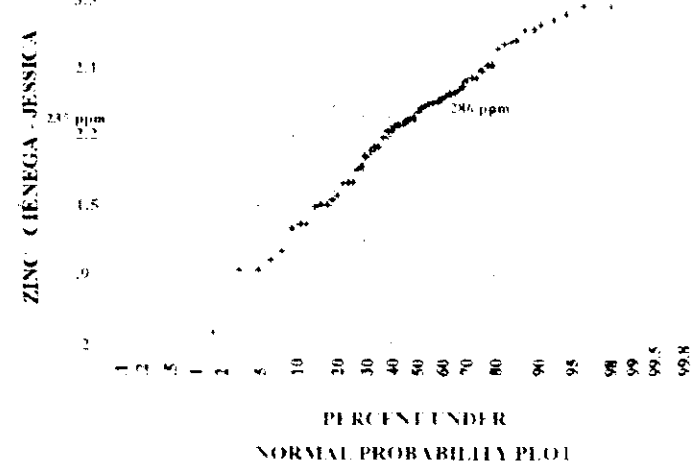
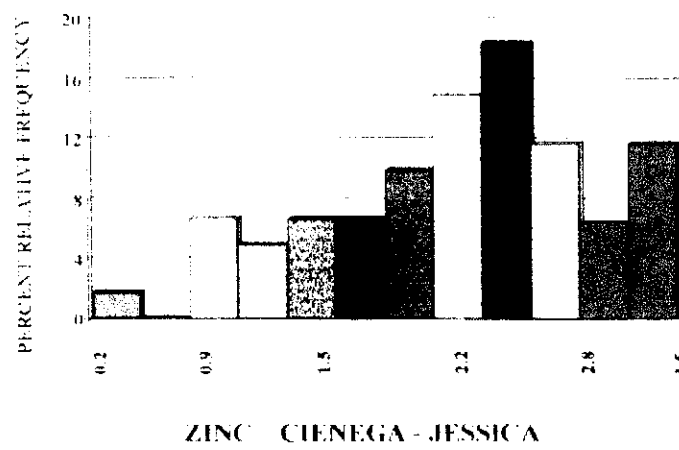
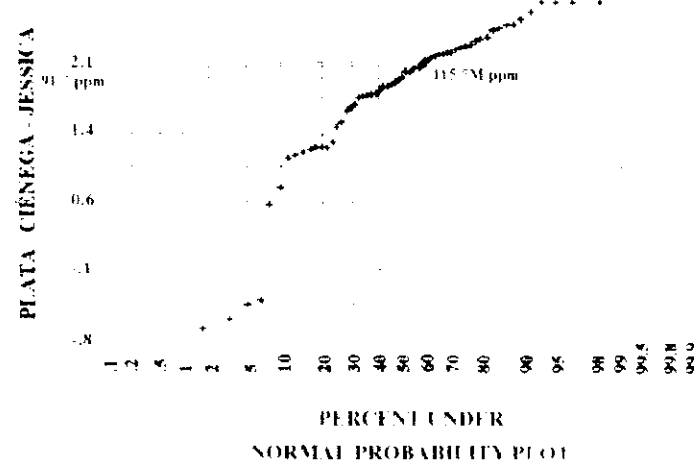
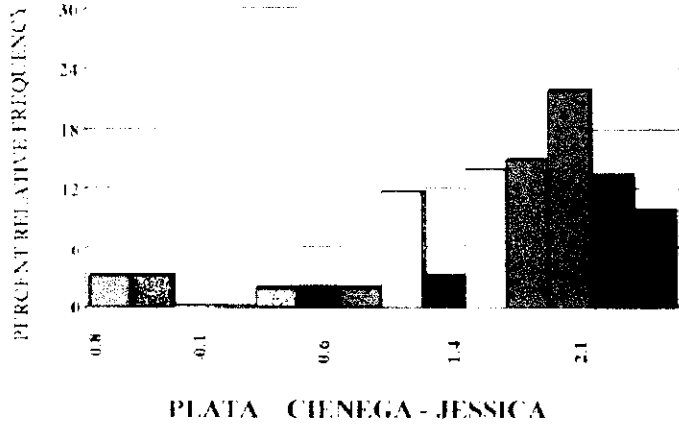
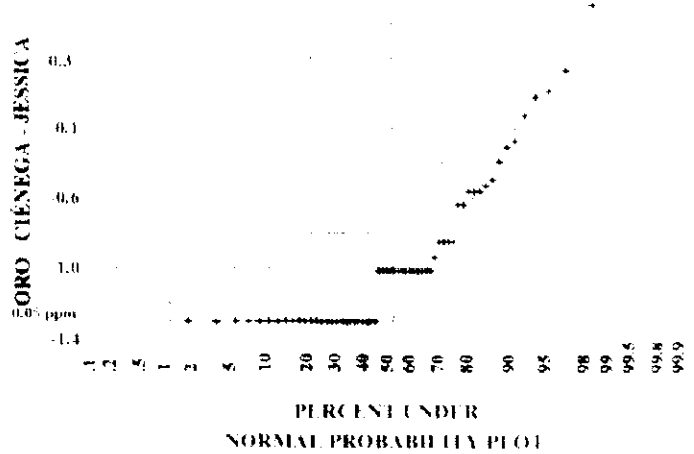
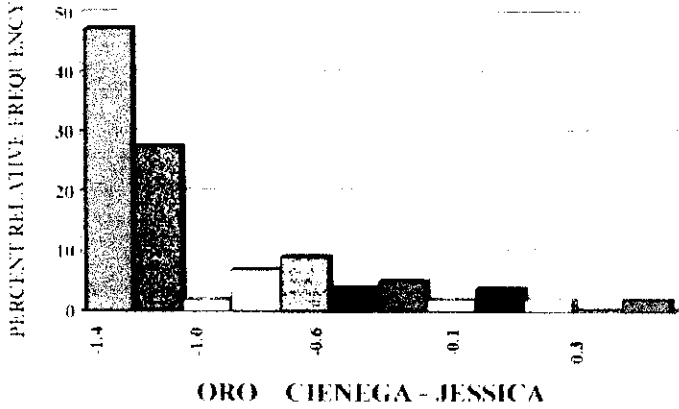
APÉNDICE 3

**HISTOGRAMAS, CURVAS DE PROBABILIDADES Y
MATRIZ DE CORRELACIÓN DEL MUESTREO
SUPERFICIAL DE LAS VETAS LA CIÉNEGA-
JESSICA.**

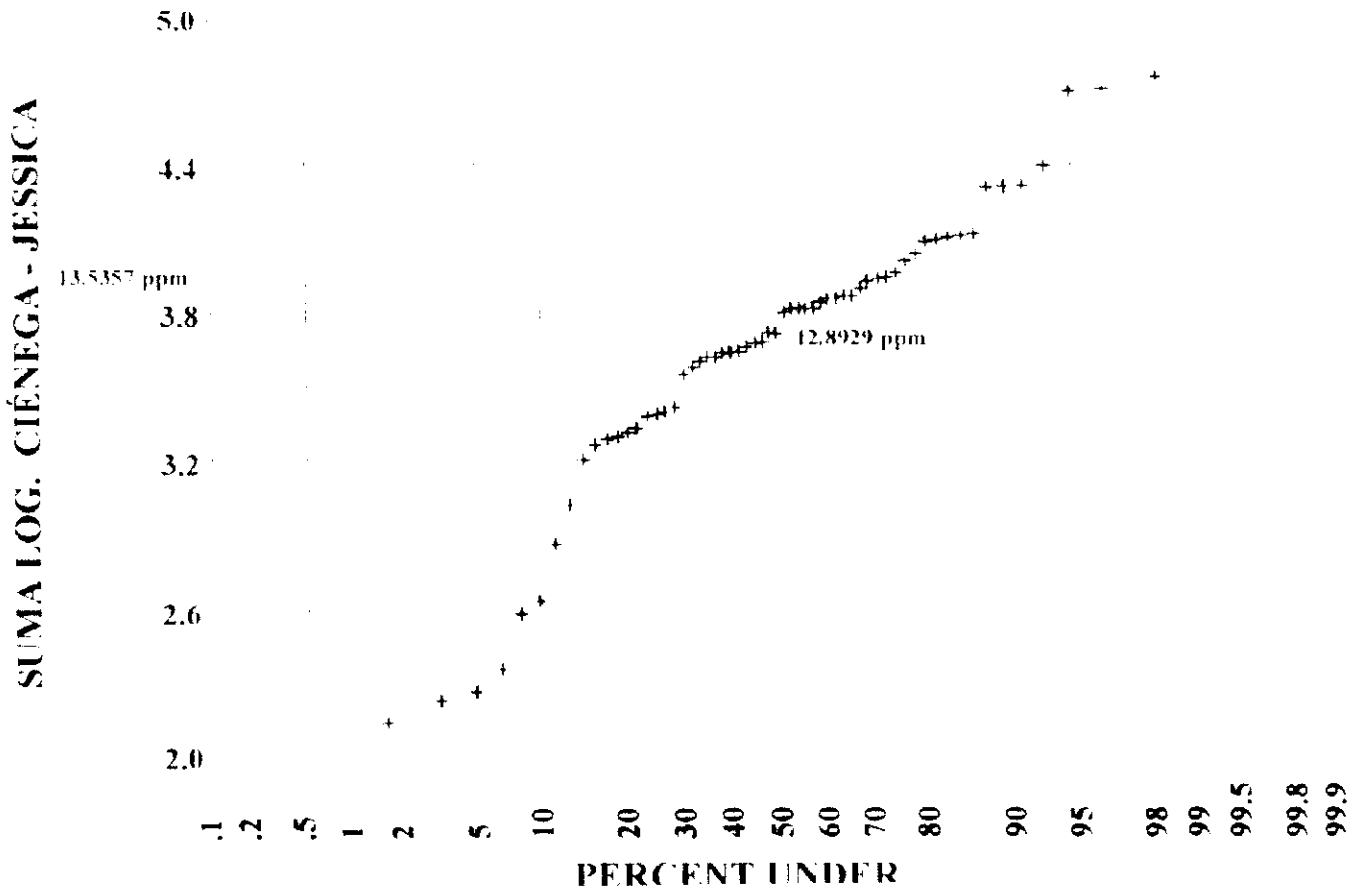
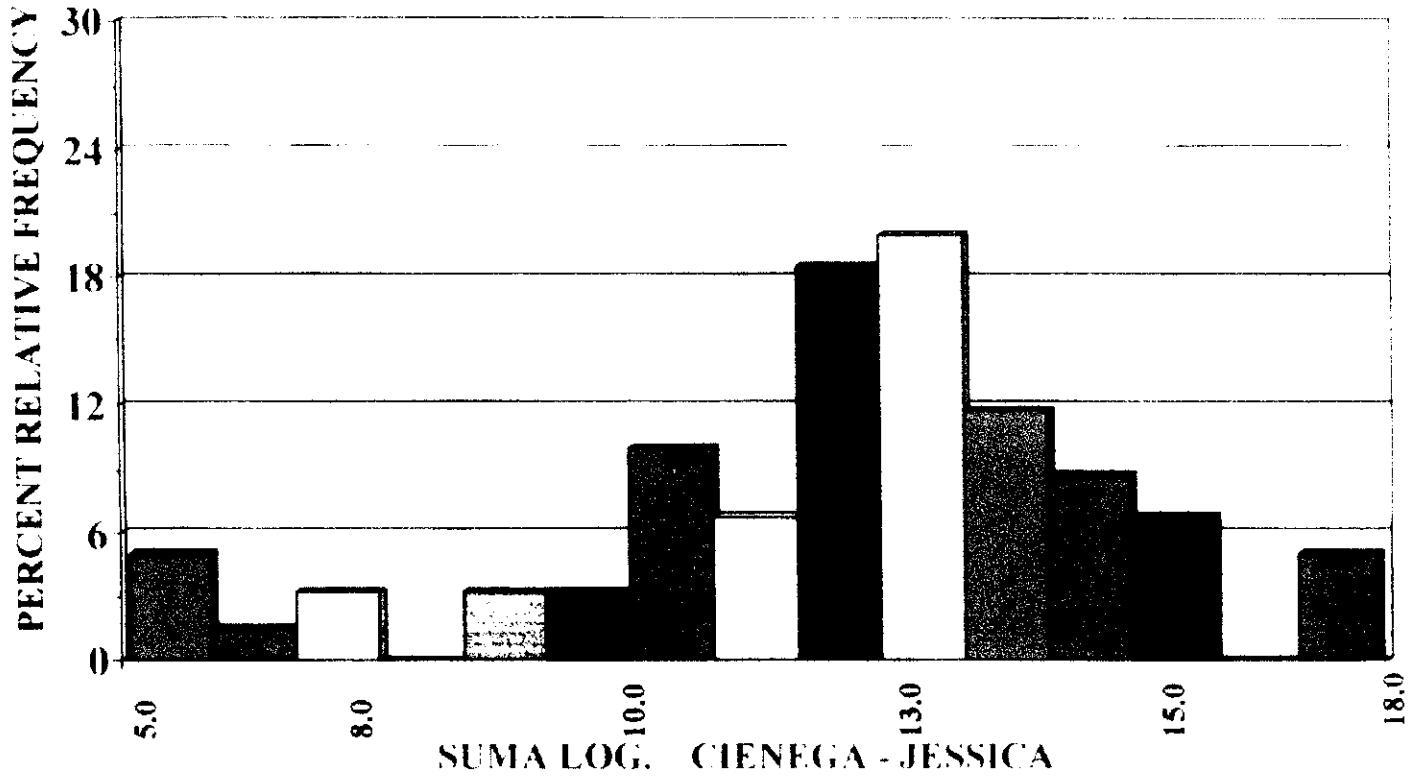
MUESTREO DE VETAS EN SUPERFICIE



MUESTREO DE VETAS EN SUPERFICIE



MUESTREO DE VETAS EN SUPERFICIE



MATRIZ DE CORRELACIONES

MUESTREO SUPERFICIAL DE LAS VETAS
LA CIÉNEGA-JESSICA

	PLATA	COBRE	ZINC	BARIO	MANGANESO
ORO	.431	.288	.097	.369	.065
PLATA		.776	.643	.310	.193
COBRE			.812	.232	.317
ZINC				.238	.508

APÉNDICE 4

PERFÍL GEOQUÍMICO DEL MUESTREO EN EL CLAVO EL CARMEN.

APÉNDICE 5.

**PLANOS CON LA INTERPRETACIÓN DEL
MUESTREO DE BARRENOS Y SUPERFICIE DE LAS
VETAS CIÉNEGA-JESSICA Y LAS CASAS-
ROSARIO.**

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA



GEOQUÍMICA DEL PROYECTO "LA CIÉNEGA",
UN CASO HISTÓRICO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO GEÓLOGO

PRESENTA:
JOSÉ MORALES RODRÍGUEZ

MÉXICO, D.F. 2000

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

**A MI ESPOSA
A MIS HIJOS**

**A MI FACULTAD Y MAESTROS
CON PROFUNDO AGRADECIMIENTO.**

**A LOS INGENIEROS
VÍCTOR DE LA GARZA NORIEGA.
MIGUEL VERA OCAMPO.**



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-I-1517

SR. JOSE MORALES RODRIGUEZ

Presente

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

GEOQUIMICA DEL PROYECTO "LA CIENEGA", UN CASO HISTORICO

- I INTRODUCCION**
- II GENERALIDADES**
- III GEOMORFOLOGIA**
- IV GEOLOGIA**
- V YACIMIENTOS MINERALES**
- VI GEOQUIMICA**
- CONCLUSIONES**
- RECOMENDACIONES**
- BIBLIOGRAFIA**

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

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

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cd. Universitaria, D. F., a 14 de noviembre de 2000

EL DIRECTOR


ING. GERARDO FERRANDO BRAVO .

GFB*RLLR*gtg

PP

INDICE

	<u>Página</u>
RESUMEN.....	i
UTILIDAD DE ESTE TRABAJO.....	ii
I.- INTRODUCCIÓN.....	2
1.1-Antecedentes.....	2
1.2-Historia minera y producción.....	2
1.3-Objetivos del trabajo.....	3
II.- GENERALIDADES.....	6
2.1-Localización.....	6
2.2-Vías de comunicación.....	6
2.3-Actividades económicas.....	8
2.4-Clima y vegetación.....	8
III.- GEOMORFOLOGÍA.....	10
3.1-Provincia fisiográfica.....	10
3.2-Rasgos morfológicos.....	13
3.3-Hidrografía.....	13
IV.- GEOLOGÍA.....	15
4.1-Geología regional.....	15
4.2-Estratigrafía.....	16
4.3-Geología estructural.....	16
4.4-Geología histórica.....	18

	<u>Página</u>
V.- YACIMIENTOS MINERALES.....	20
5.1-Geometría del yacimiento.....	20
5.2-Mineralogía.....	20
5.3-Tipo de yacimiento.....	21
VI.- GEOQUÍMICA.....	26
6.1-Bases teóricas.....	26
6.2-Información proporcionada por histogramas y curvas acumulativas....	36
6.3-Estudio de orientación.....	42
6.4-Desarrollo del trabajo.....	43
6.5-Interpretación.....	45
a)-Halos de dispersión primaria en el clavo El Carmen.....	45
b)-Muestreo de las vetas La Ciénega y Jessica, en superficie y con barrenos.....	48
c)-Muestreo de las vetas Las Casas y Rosario en superficie.....	55
d)-Muestreo de nuevas áreas.....	59
CONCLUSIONES.....	63
RECOMENDACIONES.....	64
BIBLIOGRAFÍA.....	65

A P É N D I C E S.

	<u>Página</u>
Apéndice 1, plano geológico.....	67
Apéndice 2, plano de muestreo superficial.....	69
Apéndice 3, histogramas, curvas de probabilidades y matriz de correlación del muestreo superficial de las vetas La Ciénega-Jessica.....	71
Apéndice 4, perfil geoquímico del muestreo en el clavo El Carmen.....	76
Apéndice 5, planos con la interpretación del muestreo de barrenos y superficie de las vetas Ciénega-Jessica y Las Casas-Rosario.....	78

RESUMEN.

- 1.- En el clavo El Carmen de la veta La Ciénega, la sumatoria de los elementos Ag, Zn, Cu, Ba y Mn fue la que mejor definió el halo de dispersión primaria, el cual presenta una amplitud de 45.00 metros al alto de la estructura; al bajo, la dispersión es errática y de poca amplitud.
- 2.- Los mejores elementos indicadores del reflejo superficial de los clavos en las vetas La Ciénega y Jessica, fueron en orden de importancia descendente, la sumatoria Ag+Cu+Zn+Ba, el bario, la plata, el zinc y el oro.
- 3.- Se obtuvieron valores muy altos de Ba, en los análisis geoquímicos de las muestras superficiales colectadas en las vetas Las Casas-Rosario, lo cual implica que se desarrolle una exploración más detallada, ya que este elemento químico es indicativo de las partes altas del sistema hidrotermal.
- 4.- Además del muestreo de caracterización geoquímica de las vetas, se tomaron muestras sobre áreas de interés en una zona ubicada al E del proyecto. De este muestreo resultó atractiva la zona marcada con el número I en el plano de muestreo superficial que se encuentra en el apéndice 2.

UTILIDAD DE ESTE TRABAJO.

A.- El hecho de llegar a conocer el pobre desarrollo del halo de dispersión en torno a las vetas, permitió eliminar el plan original de trazar una cuadrícula regular de muestreo en toda el área del proyecto, lo cual hubiera significado una gran cantidad de trabajo casi inútil, mucho tiempo para desarrollarlo y de ninguna manera hubiera compensado el alto costo en función de los resultados.

B.- Se recomendó barrenación adicional buscando la continuidad a profundidad del clavo Jessica y El Carmen, lo cual incrementó las reservas del yacimiento.

C.- Se definió el tipo de respuesta de los clavos de mineral y el zoneamiento geoquímico en un sistema hidrotermal prácticamente completo, esto permitió ahorrar tiempo y recursos económicos al evaluar proyectos en el distrito como fueron Los Laureles y San Miguel del Cantil. Años después, al efectuar la primera visita al Proyecto Pinos Altos, ubicado en un ambiente similar, permitió tener una buena idea sobre la parte del sistema en que se estaba ubicado lo que fue de utilidad para estimar el potencial del proyecto.

I.- INTRODUCCIÓN.

I.- INTRODUCCIÓN.

1.1-Antecedentes.

Este proyecto, fue concesionado en el año de 1971 por la compañía Peñoles, sobre la base de estudios geológicos. Durante el desarrollo de éstos, se descubrieron afloramientos de vetas de cuarzo, los cuales al ser muestreados arrojaron valores en general subeconómicos por los elementos básicos y preciosos, solamente en algunos puntos aislados se encontraron valores interesantes, principalmente por plata. En esta misma época se proyectó y desarrolló una campaña de barrenación a diamante muy abierta con la cual se descubrió la presencia de valores económicos a profundidad, sin embargo, no se definieron los cuerpos minerales. Únicamente en el área de El Carmen, que fue donde se obtuvieron las mejores intersecciones, se dio un cruce hasta alcanzar un clavo importante, el cual fue parcialmente explotado con la finalidad de llevar el mineral a Topia, donde Peñoles tenía una operación. El proyecto continuó en espera, hasta aproximadamente 1989, cuando se efectuaron cambios importantes en las estrategias de exploración, se reactivó el proyecto, se principiaron los levantamientos geológicos de detalle, se empezaron a hacer muestreos geoquímicos y como resultado de todo ello, se planearon y efectuaron nuevas campañas de barrenación a diamante.

1.2-Historia minera y producción.

Es importante mencionar que en este distrito no existía algún tipo de obra minera, y hasta donde se sabe, no trabajaron mineros informales en esta localidad, únicamente se conoce de la existencia de una pequeña cata llamada El Cebo que fue dada en la década de 1950, sobre la veta La Ciénega en una pequeña zona con milonitas, el nombre de la obra alude al aspecto jabonoso del material rocoso. Sin embargo, con este trabajo no se descubrió nada

interesante razón por la cual no se hicieron más prospecciones. El problema que afrontaron los gambusinos, fue que el nivel de erosión del yacimiento es muy alto, o sea que el sistema está prácticamente completo, a diferencia de las estructuras que afloran en otras localidades como San Miguel del Cantil en donde en la década de 1940 se descubrieron vetas que daban valores muy altos de oro y plata asociados a plomo y zinc, desde la superficie. En la localidad antes mencionada, a unos 20.00 metros de profundidad se presentaron los sulfuros primarios, los valores de oro disminuyeron pero continuaron siendo altos, al profundizar más las obras mineras, bajaron los contenidos de plomo y zinc y los valores de oro disminuyeron drásticamente haciendo antieconómica la operación. En todos los distritos mineros de la región que fueron descubiertos desde la época de la colonia y posteriormente como es el caso de San Miguel del Cantil, afloraban estructuras mineralizadas que daban valores económicos desde la superficie, por esta razón los gambusinos pudieron prospectar en estos lugares ya que los materiales que extraían pagaban las operaciones desde inicio de las obras. Como se mencionó en párrafos anteriores, el único mineral que fue explotado en el proyecto La Ciénega fue llevado a cabo por la compañía Peñoles en la década de 1980. Existen unas pequeñas labores mineras que datan de 1954, que están localizadas prácticamente en el poblado de La Ciénega y que tuvieron como finalidad explotar cinabrio, pero este yacimiento es genéticamente independiente del que ocupa este estudio.

1.3-Objetivos del trabajo.

Los objetivos fueron:

A.- Establecer el modelo geoquímico del yacimiento a explorar, sobre la base de muestreos superficiales, de interior de mina y de núcleos de barrenación a diamante.

B.- Apoyar o desechar un programa de muestreo litogeoquímico siguiendo un patrón sistemático reticular.

C.- Recomendar nuevas localidades para barrenar dentro del proyecto.

D.- Extrapolar el modelo geoquímico para explorar nuevas áreas de interés en el distrito, como fue el caso de San Miguel del Cantil y Los Laureles.

E.- Extrapolar y adaptar el modelo hacia lugares más alejados pero dentro de ambientes similares como fue el caso de Pinos Altos, Chihuahua.

II.- GENERALIDADES.

II.- GENERALIDADES.

2.1-Localización.

El proyecto La Ciénega, se encuentra ubicado en las inmediaciones del punto cuyas coordenadas son $25^{\circ} 3' 30''$ de latitud N y $106^{\circ} 21' 15''$ de longitud W. Dista aproximadamente 125.0 km en línea recta al NW de la ciudad de Durango y 90.0 km Al W de Santiago Papasquiario.

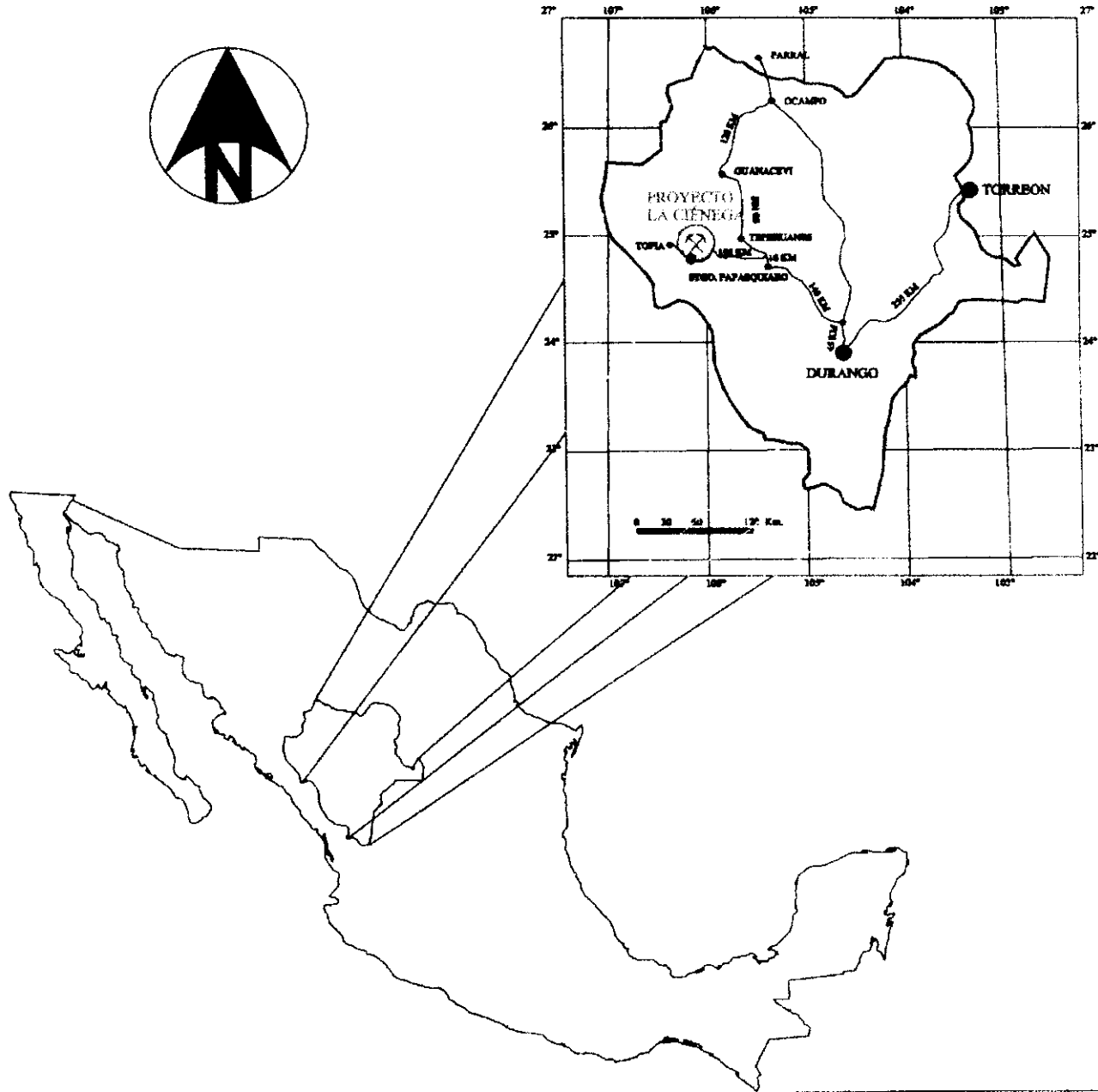
2.2-Vías de comunicación.

El acceso, partiendo de la ciudad de Durango, es hacia el norte por la carretera Panamericana, rumbo a Parral, Chihuahua; a una distancia aproximada de 45 km de Durango se corta al W, hacia la ciudad de Santiago Papasquiario la cual se encuentra aproximadamente a 140.0 km de este entronque. De la última ciudad, se toma la carretera a Tepehuanes; a unos 10.0 km existe una desviación a Topia que con un recorrido de 180 km conduce hasta la Ciénega, pasando por los poblados de Altares y Ojito de Camellones además de un buen número de rancherías (ver figura 1, plano de localización).

Al tomar la desviación a Topia, al recorrer unos 20 km se termina la carretera asfaltada (en muy mal estado); a partir de ese punto y hasta el proyecto, se transita por un bordo de terracería que se conserva en condiciones aceptables, excepto en época de lluvias. El tiempo de recorrido total desde la ciudad de Durango es de unas 8 horas en temporada de secas.

En el poblado de la Ciénega de Nuestra Señora, ubicado en las inmediaciones del proyecto existe una pista de terracería de 1200.00 metros que permite el acceso de avionetas. El tiempo de vuelo desde la ciudad de Durango es de una hora.

FIGURA I.1 PLANO DE LOCALIZACION PROYECTO LA CIÉNEGA



U N A M	FACULTAD DE INGENIERÍA	
	PLANO DE LOCALIZACION PROYECTO LA CIÉNEGA	
	FIGURA I.1	
	José Manuel Rodríguez	TRABAJO PROFESIONAL NOVIEMBRE - 2008

2.3-Actividades económicas.

Actualmente, la minería es una actividad importante ya que prácticamente toda persona de la región, si lo desea, puede trabajar tanto en las brigadas de exploración como en el minado del clavo El Carmen.

La agricultura, fruticultura (manzanas) y la ganadería, son prácticamente de subsistencia. La industria forestal no es muy significativa ya que se reduce únicamente a negociar la venta de madera en rollo a las factorías establecidas en la ciudad de Durango, donde la procesan para fabricar aglomerados, triplay, tablonés de diferentes medidas y celulosa. Las actividades mencionadas en este párrafo, antiguamente eran las únicas que desarrollaban los habitantes de la región, así como un comercio muy raquíico.

2.4-Clima y vegetación.

El clima en el área de trabajo es templado en verano con inviernos muy fríos y se define como del tipo subtropical de montaña, esto se debe principalmente a que el área se encuentra a una altura media de 2,600 metros sobre el nivel medio del mar.

La temporada de lluvias va de fines de junio hasta septiembre. Durante los meses de octubre a enero se presentan algunas tormentas intermitentes y nevadas que duran dos o tres días. Los meses secos van de enero a junio.

La vegetación consiste de pinos y encinos principalmente, con cantidades subordinadas de arbustos.

III.- GEOMORFOLOGÍA.

III.- GEOMORFOLOGÍA.

3.1-Provincia fisiográfica.

El área de estudio se encuentra ubicada en la provincia fisiográfica denominada "Sierra Madre Occidental", la cual se localiza entre las provincias de la Sierra Madre Oriental y la Meseta Central al oriente y las de la Zona Desértica y la Llanura Costera por el occidente (ver figura III.1). La Sierra Madre Occidental pierde suavemente su elevación hacia el norte antes de llegar a la línea fronteriza con los Estados Unidos; al sur se une con la zona montañosa de la costa suroeste y la zona de Fosas Tectónicas y con las cuales no existe diferenciación fisiográfica definida.

La provincia en general está caracterizada por rocas eruptivas del Terciario Inferior, posiblemente Mioceno, que cubren rocas sedimentarias e intrusivas, gran parte de ellas de edad Eoceno, que contienen gran riqueza mineral en forma de vetas de fisura, vetas de falla y mineralización de contacto que se pueden observar sobre todo en el flanco oriental y parte del flanco occidental de la sierra.

La provincia de la Sierra Madre Occidental, se subdivide en tres subprovincias principales que corren longitudinalmente paralelas a la costa occidental de México, ellas son:

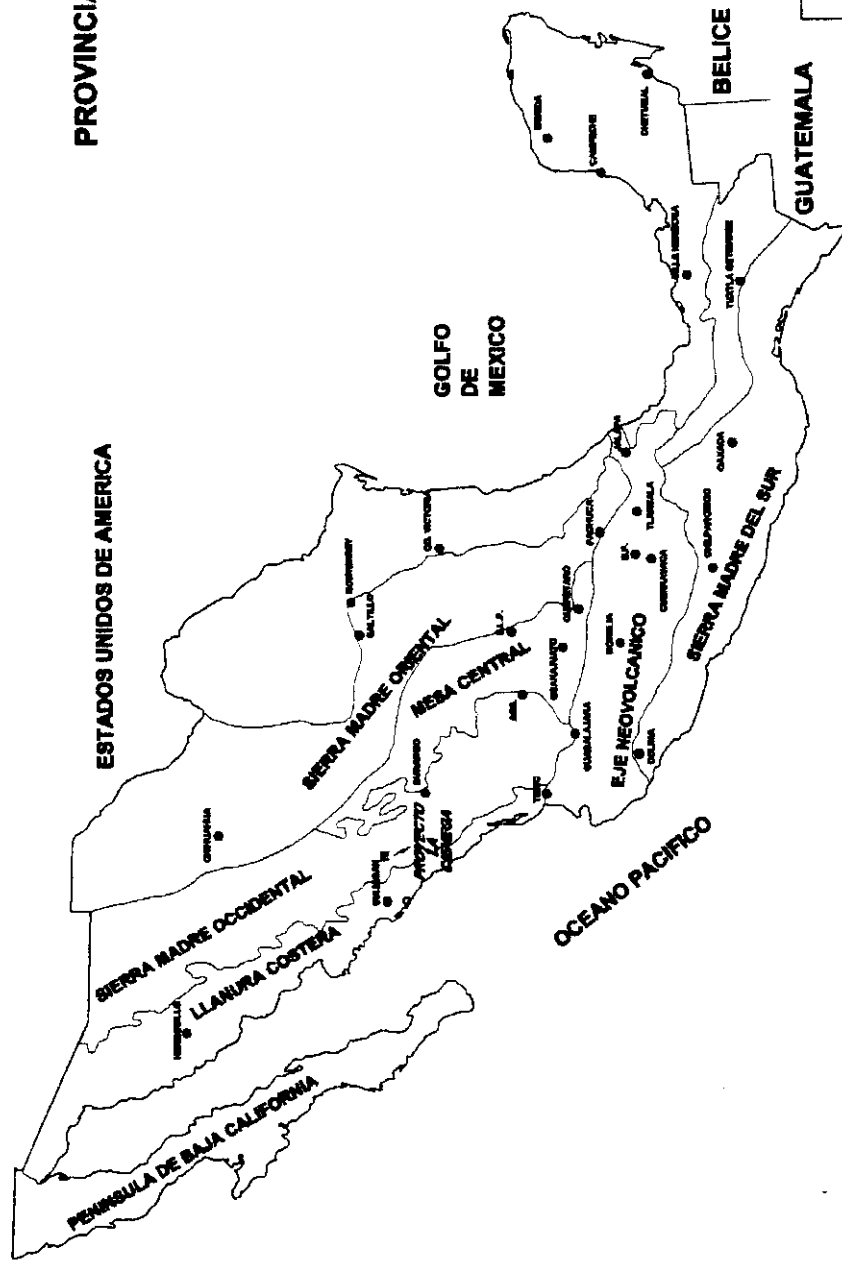
- a).- Subprovincia del Altiplano.
- b).- Subprovincia de Barrancas.
- c).- Subprovincia de Valles y Sierras Paralelas.

a).- La Subprovincia del Altiplano.

Es la más oriental y está caracterizada por una topografía de formas suaves, derivadas de emisiones riolíticas, conglomerados y rocas piroclásticas asociadas. Se observan áreas montañosas irregulares que varían en elevación de 2,000 a 3,000 metros, separadas por valles planos y drenados por ríos que son tributarios de los que corren hacia el Océano

FIGURA II.1

PROVINCIAS FISIOGRAFICAS DE MEXICO
(Salas, 1975)



U N A M	
FACULTAD DE INGENIERÍA	
PROVINCIAS FISIOGRAFICAS DE MEXICO	
FIGURA II.1	TRABAJO PROFESIONAL
José Mercedes Rodríguez	NOVIEMBRE - 2008

Pacífico. Hacia el este, las elevaciones no aumentan observándose ocasionalmente picos aislados de aproximadamente 3,000 metros de altura sobre el nivel del mar.

El límite occidental de esta subprovincia es irregular y comienza donde los bordes del altiplano han sido disectados por las corrientes que drenan del Este hacia el Océano Pacífico. El cambio de provincias, está caracterizado por largas lenguas de terreno que se proyectan hacia el occidente y por un encajonamiento notable de los ríos, formando grandes barrancas.

b.- La Subprovincia de Barrancas.

Se distingue por ser una faja de terreno que varía entre 70.00 y 130.00 km de ancho, profundamente esculpida por los ríos que fluyen hacia el suroeste. La etapa de erosión es netamente juvenil, existen barrancas hasta de 2,500 metros de profundidad y a las cuales debe su nombre esta subprovincia.

La estructura geológica, es mucho más compleja que en la zona del altiplano. Las rocas masivas subyacentes y las rocas pseudoestratificadas del altiplano pertenecientes a formaciones graníticas, andesíticas y riolíticas, han originado rasgos geomorfológicos distintivos en esta subprovincia. Existen ciertas variaciones geomorfológicas locales debido a la presencia de vetas, fallas y diques de diferentes composiciones.

c.- La Subprovincia de Valles y Sierras Paralelas.

Es la más occidental, se distingue por una serie de cadenas montañosas longitudinales, separadas por valles intermontanos paralelos y de poca extensión. La morfología y estructura de esta subprovincia es muy compleja. Las cadenas montañosas, compuestas de antiguas rocas sedimentarias y volcánicas, están intrusionadas por rocas graníticas y presentan en algunas zonas un metamorfismo incipiente, estando coronadas por rocas riolíticas. Los valles intermontanos están cubiertos por conglomerados del Terciario Superior y del Reciente.

El proyecto La Ciénega se localiza en la Subprovincia del Altiplano, prácticamente donde inicia la Subprovincia de Barrancas.

3.2-Rasgos morfológicos.

Como se mencionó en el apartado anterior, el área de estudio se encuentra ubicada en la Subprovincia del Altiplano, en general la topografía es relativamente suave, solamente se observan escarpes moderados en donde afloran las vetas o sobre la traza de las mismas, debido a que las estructuras son de cuarzo y son más resistentes a la erosión. Cuando no afloran frecuentemente ha habido silicificación en la roca encajonante, dando lugar también a escarpes moderados.

3.3-Hidrografía.

Las corrientes que drenan el área del Proyecto La Ciénega, son tributarias del río San Juan de Camarones, el cual a su vez es afluente del río San Lorenzo, éste a su vez desemboca al Océano Pacífico en las cercanías de la población de El Dorado, ubicada al sur de La ciudad de Culiacán Sinaloa.

El proyecto se encuentra prácticamente en la cabecera de la cuenca hidrográfica, razón por la cual las corrientes en este punto son de tipo intermitente, sin embargo las obras mineras efectuadas han cortado zonas fracturadas con una fuerte afluencia de agua, suficiente para las operaciones mineras y para la planta de beneficio.

IV.- GEOLOGÍA.

IV.- GEOLOGÍA.

4.1-Geología regional.

Las rocas que conforman la geología regional del área de estudio, han sido clasificadas en dos grandes grupos (ver plano geológico del apéndice 1), los cuales a continuación se describen:

GRUPO VOLCÁNICO INFERIOR. Identificado en el proyecto sólo con barrenación profunda, está constituido por tobas, lavas y brechas de composición andesítica y cantidades subordinadas de riolitas. La edad asignada a estas rocas va del Cretácico Superior a principios del Terciario.

Sobreyaciendo a este grupo, se presenta una secuencia conglomerática de tipo andesítica, distribuida irregularmente, formando lentes. Regionalmente indica una discordancia erosional, señalando el contacto entre los dos grandes grupos.

GRUPO VOLCÁNICO SUPERIOR. Estas rocas, de edad Oligoceno-Mioceno se encuentran ampliamente distribuidas en el área del proyecto y están constituidas por tobas, lavas, brechas e ignimbritas, predominantemente de composición riolítica y riodacítica; en menor grado traquítica y andesítica.

El Grupo Volcánico Inferior está intrusionado por plutones cuyas composiciones varían de granítica a granodiorítica, además de diques andesíticos y riolíticos. El Grupo Volcánico Superior está intrusionado por diques de composición riolítica.

A nivel provincia metalogénica, se considera al grupo Volcánico Inferior como el más importante desde el punto de vista económico; sin embargo, mineralización de este tipo,

se encuentra también en el distrito La Ciénega, asociada al grupo Volcánico Superior. Esto sugiere la posibilidad de que la mineralización esté asociada a una estructura de colapso regional (Caldera Resurgente), lo cual dio origen a zonas de fuerte debilidad y alta permeabilidad, donde se emplazaron las estructuras con mineralización económica, como resultado de los procesos magmáticos e hidrotermales subsecuentes (F.J. Loera, 1982).

4.2-Estratigrafía local.

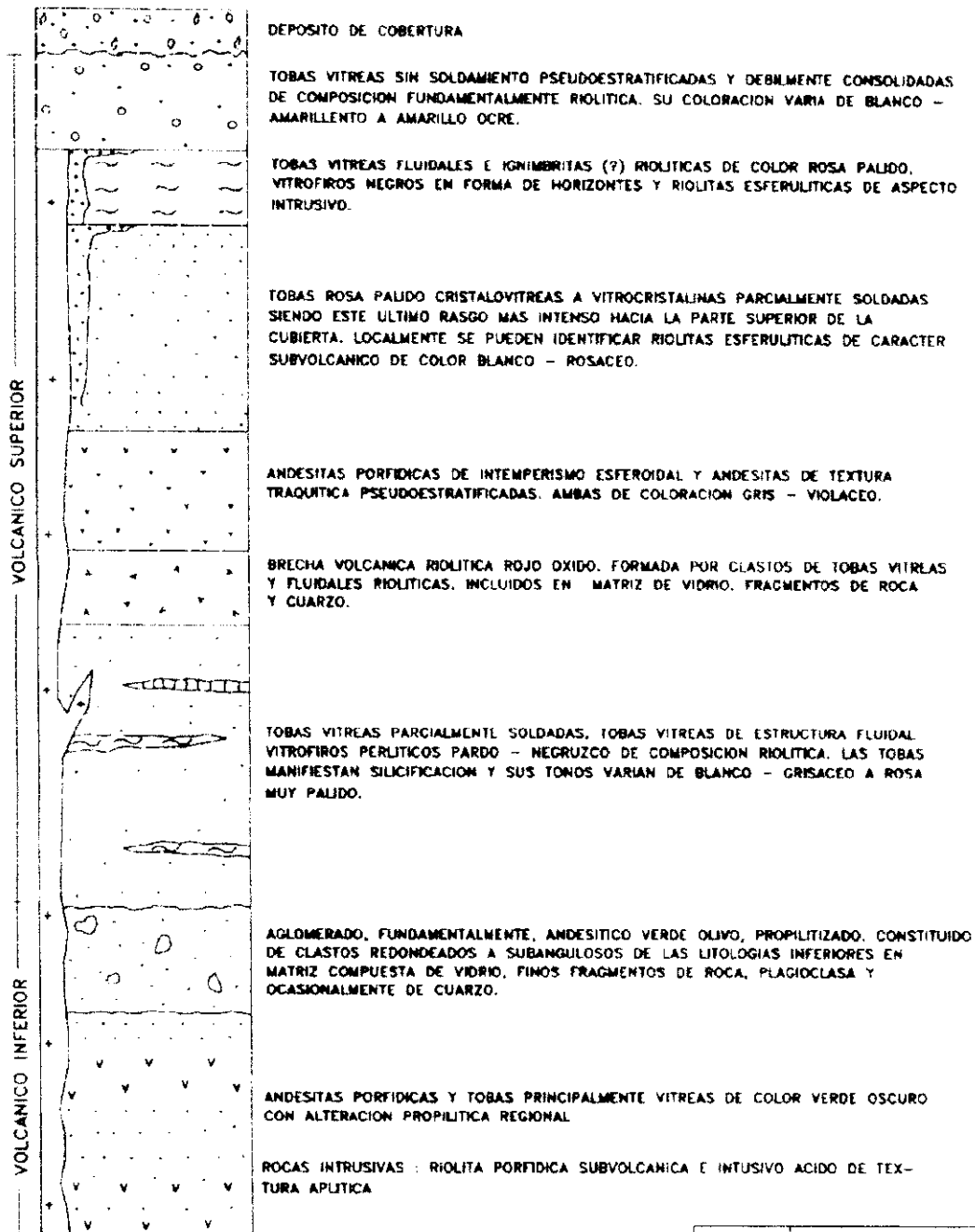
En el área del proyecto, afloran tres unidades que corresponden al grupo Volcánico Superior. La más antigua está constituida por tobas, brechas e ignimbritas de composición riodacítica principalmente y andesítica en menor proporción. La unidad intermedia está representada por tobas, lavas y brechas de composición variable de andesítica a traquítica. La unidad más joven está constituida por una serie de domos de flujo, tobas, ignimbritas y brechas de composición riodacítica y riolítica, en menor proporción presentan composición traquiandesítica y andesítica. En la tabla IV.1, se muestra la columna estratigráfica.

4.3-Geología estructural.

La estructura general del área consiste de un homoclinal, presentando pseudoestratos de rumbo NW 30° - 40° SE, con echado promedio de 26° al SW. Se observan además dos sistemas de fallas con rumbos generales N-S y NW-SE, los cuales coinciden con los dos sistemas principales de estructuras mineralizadas que se presentan en el distrito. El primero presenta un rumbo NW 60° - 80° SE y en él se alojan las vetas La Ciénega y Rosario. En el segundo sistema, cuyo rumbo es NW 5° - 25° SE, se agrupan las vetas Las Casas, Jessica y Arroyo de Plata.

TABLA IV.1

COLUMNA GEOLÓGICA



U
N
A
M

FACULTAD DE INGENIERÍA

COLUMNA
GEOLÓGICA

TABLA IV.1

José María Rodríguez

TRABAJO PROFESIONAL
NOVIEMBRE - 2000

4.4-Geología histórica.

A continuación se hace una breve reseña de lo acontecido en esta región a partir del Cretácico.

Del Cretácico Inferior y hasta finales del mismo, ocurrió un levantamiento en la región combinado con un plegamiento intenso de rocas paleozoicas y mesozoicas, este fenómeno coincidió con un rápido movimiento de la Placa Tectónica Americana hacia el oeste, sobre la Placa Farallón.

Lavas riolíticas seguidas de derrames andesíticos, los cuales totalizaron más de 2.500.00 metros de espesor, fueron extrusionadas durante la transición Cretácico-Terciario. Hacia los inicios del Oligoceno, cesó la subducción de la Placa Farallón, al final de este evento fueron emplazados los plutones de andesita, diorita y granodiorita. En esta misma época y asociados a los intrusivos antes mencionados, tuvieron lugar las primeras generaciones de depósitos minerales como es el caso de los yacimientos ubicados en Tayoltita y Gavilanes, entre otros, en el estado de Durango. Antes de finalizar el Oligoceno se depositaron capas rojas de arenisca y conglomerado en cuencas amplias y poco profundas. La segunda mitad del Cenozoico estuvo caracterizada por la emisión de grandes volúmenes de ignimbritas, la intrusión de plutones graníticos, emisiones de riolitas y nuevos depósitos epitermales de oro, plata y metales básicos; de esta edad se puede considerar al yacimiento de La Ciénega. Finalmente ocurrieron fallamientos tipo "falla de bloque", con rotación de estos y fallamientos con desplazamientos a rumbo. Según algunos autores la geología histórica que caracteriza a esta provincia corresponde al modelo típico de la formación de una sierra del tipo cordillerano.

V.- YACIMIENTOS MINERALES.

V.- YACIMIENTOS MINERALES.

5.1-Geometría del yacimiento.

El yacimiento explorado es de tipo vetiforme con buen desarrollo longitudinal, como es el caso de las vetas La Ciénega-Jessica cuyos afloramientos se pueden seguir de manera intermitente por unos 4000.00 metros. En el caso de las vetas Las Casas-Rosario los afloramientos son menos claros y ocurren por una distancia de aproximadamente 1500.00 metros en total. Los anchos son muy variables en superficie, en pocas localidades se observan afloramientos del orden de 1.00 a 2.00 metros, siendo en general de unos pocos centímetros o simples vetilleos. En los barrenos se observaron algunas intersecciones muy formales de la veta La Ciénega con espesores hasta de 10.00 metros con vetilleos en las tablas que dieron resultados económicos al efectuar los análisis, el ancho promedio se considera de 4.20 metros.

5.2-Mineralogía.

Se distinguen 2 sistemas de vetas, de acuerdo a las características mineralógicas y físicas superficiales. Uno de ellos está formado por las vetas La Ciénega-Jessica-Arroyo de Plata, caracterizado por estructuras mas o menos definidas, constituidas por una ganga de cuarzo con tonalidades que van de gris, rojizo, amarillento a verde pálido. En algunos puntos se observa pirolusita y algo de barita, además de escasos sulfuros de plomo y zinc.

El segundo sistema, lo constituyen las vetas Las Casas-Rosario, las cuales presentan la particularidad de ser estructuras poco definidas, ya que en la mayoría de sus afloramientos se presentan como ramaleos y en otras ocasiones se manifiestan como un material brechado

muy silicificado con cementante de cuarzo criptocristalino con tonos de gris a rojizo. Otra característica importante de este sistema es que se observaron muy escasos sulfuros en superficie. solamente en una localidad se presentó escasa galena. En algunos puntos muestreados la barita fue muy abundante.

En cuanto a la mineralogía, en la zona de sulfuros primarios, en algunos barrenos se interceptaron intervalos con altos contenidos de sulfuros, principalmente galena, esfalerita, pirita y escasa calcopirita. La misma mineralogía se observa en los rebajes del clavo El Carmen que están en explotación. En esta zona son notables los valores de plata.

5.3-Tipo de yacimiento.

A continuación se da una tabla comparativa sobre las características entre los yacimientos de baja y alta sulfurización con la finalidad de contar con los elementos para clasificar este depósito, los datos fueron tomados de Hedensquit, Izawa, Arribas y White (1996).

	BAJA SULFURIZACIÓN.	ALTA SULFURIZACIÓN.
Forma del depósito.	Principalmente vetas de rellenos de espacios abiertos, Stockworks, escasas disseminaciones y remplazamiento.	Principalmente disseminaciones, remplazamiento, escasos stockworks, escasas vetas.
Texturas	Vetas, relleno de cavidades (bandas, colormes, drusas), breccias.	Remplazamiento de roca encajonante, breccias y vetas.
Minerales de mena.	Electrum, oro, esfalerita, galena.	Enargita, calcopirita, tenanita, covelita, oro y telururos.
Ganga	Cuarzo, calcedonia, calcita, adularia, illita, carbonatos, pirita y arsenopirita.	Cuarzo, alunita, barita, caolinita, pirofilita y pirita.
Metales.	Au, Ag, Zn, Pb (Cu, Sb, As, Hg, Se).	Cu, Au, Ag, As (Pb, Hg, Sb, Te, Sn, Mo, Bi).

Con respecto a la mineralogía se da la siguiente tabla de los mismos autores. Se marca con (*) a los minerales identificados con microscopio binocular.

BAJA SULFURIZACIÓN.

ALTA SULFURIZACIÓN.

ABUNDANTES.

Pirita*

Pirita.

Cuarzo*

Enargita

Cuarzo.

COMUNES.

Electrum*

Oro nativo

Oro nativo*

Telururos

Calcopirita*

Covelita

Esfalerita*

Tenantita

Galena*

Tetraedrita

Tetraedrita

Calcopirita

Arsenopirita*

Esfalerita

Telururos

Galena

Pirargirita*

Barita

Calcedonia*

Alunita

Adularia*

Caolinita

Illita

Pirofilita

Calcita*

Diaspora

Smectita

Illita

RAROS.

Selenuros

Electrum

Estibinita

Seleniuros

Cinabrio

Pirargirita

Enargita

Arsenopirita

Tenantita	Cinabrio
Covelita	Estibinita
Barita*	Calcedonia
Caolinita	Smectita

BAJA SULFURIZACIÓN.

ALTA SULFURIZACIÓN.

AUSENTES O COMO TRAZAS

Pirofilita	Calcita
Diaspora	Adularia
Alunita	

De acuerdo a la mineralogía, al tipo de alteración presente, a los minerales de ganga y a la ocurrencia del yacimiento, se le puede clasificar como del tipo EPITERMAL DE BAJO AZUFRE. Los minerales presentes en el depósito se marcaron con un asterisco en la tabla anterior, la mineralización ocurre como vetas de relleno de fisura además hay desarrollos de stockworks y zonas breccias. La alteración típica es silicificación, prácticamente no existe la alteración argílica. El único punto discordante es que en La Ciénega en la parte alta del sistema abunda la barita, que es un sulfato de bario muy común en los yacimientos de alta sulfurización como se puede observar en los depósitos del cinturón de El Indio en Chile y Argentina, pero en La Ciénega se carece de los minerales típicos de este tipo de yacimientos como es la enargita y además no se presentan las características e inconfundibles alteraciones argílicas.

Como se mencionó, en el proyecto la alteración se reduce únicamente a diferentes grados de silicificación de la roca encajonante. La barita que es un mineral más bien típico de un yacimiento de alto azufre, en La Ciénega se piensa que en realidad indica un zoneamiento muy marcado en las zonas mineralizadas, ya que cuando aumentan los sulfuros a profundidad, los valores de bario se reducen drásticamente hasta valores traza, mientras que

en la proyección superficial de los clavos, los valores de bario son del orden de los miles de partes por millón.

VI.- GEOQUÍMICA.

VI.- GEOQUÍMICA.

6.1-Bases teóricas.

Se parte del principio ampliamente conocido de que por lo general y muy particularmente en los depósitos de relleno de fisuras, existe un zoneamiento en la depositación de los elementos contenidos en los fluidos hidrotermales que circulan a través de los espacios porosos, donde se forma el yacimiento mineral.

Durante el ascenso de los fluidos a través de la zona de debilidad, ocurren cambios físico-químicos, como son variaciones bruscas de temperatura, de presión, saturación con respecto a los compuestos formados de algunos elementos dados, reacciones químicas con la roca encajonante y los subsecuentes cambios de Ph, que a su vez propician la formación de nuevos compuestos que precipitarán o reaccionarán con el medio. Todo lo anterior constituye un sistema complejo que se complica aún más al considerar a la variable tiempo, ya que pueden, y de hecho es lo más común, que ocurran varias pulsaciones o reactivaciones del fenómeno hidrotermal, dando por resultado telescopios más o menos complejos. Además, el fenómeno de inercia química permite la migración en la solución mineralizante de elementos químicos cuyo nivel de depositación debería ser teóricamente más bajo. Evidentemente un elemento estará más afectado por este último fenómeno en función directa de su concentración en la solución.

A pesar de los anteriores problemas, es posible seleccionar algunos elementos o sus relaciones entre ellos, para determinar los contrastes que indiquen los zoneamientos de ellos, y además los puntos donde ocurrió la mayor concentración de elementos de interés económico; ya que es de suponer, que aquí también debió de ocurrir una mayor migración por inercia química, de los elementos indicadores.

En la figura VI.1, se muestran las direcciones de dispersión de los elementos químicos, en torno a un foco de dispersión, en este caso, es un modelo de veta. El eje I, corresponde a la dirección axial; para investigar la migración en este sentido fueron muestreadas las vetas Ciénega-Jessica-Las Casas-Rosario, tanto en superficie como en su intersección con barrenos a varias profundidades. El eje II, indica la migración transversal; para cuantificarla fueron muestreados sistemáticamente barrenos y obras mineras en el Clavo El Carmen. Finalmente, la migración longitudinal, la cual se esquematiza en el eje III, fue investigada muestreando en este sentido a las estructuras La Ciénega-Jessica-Las Casas-Rosario.

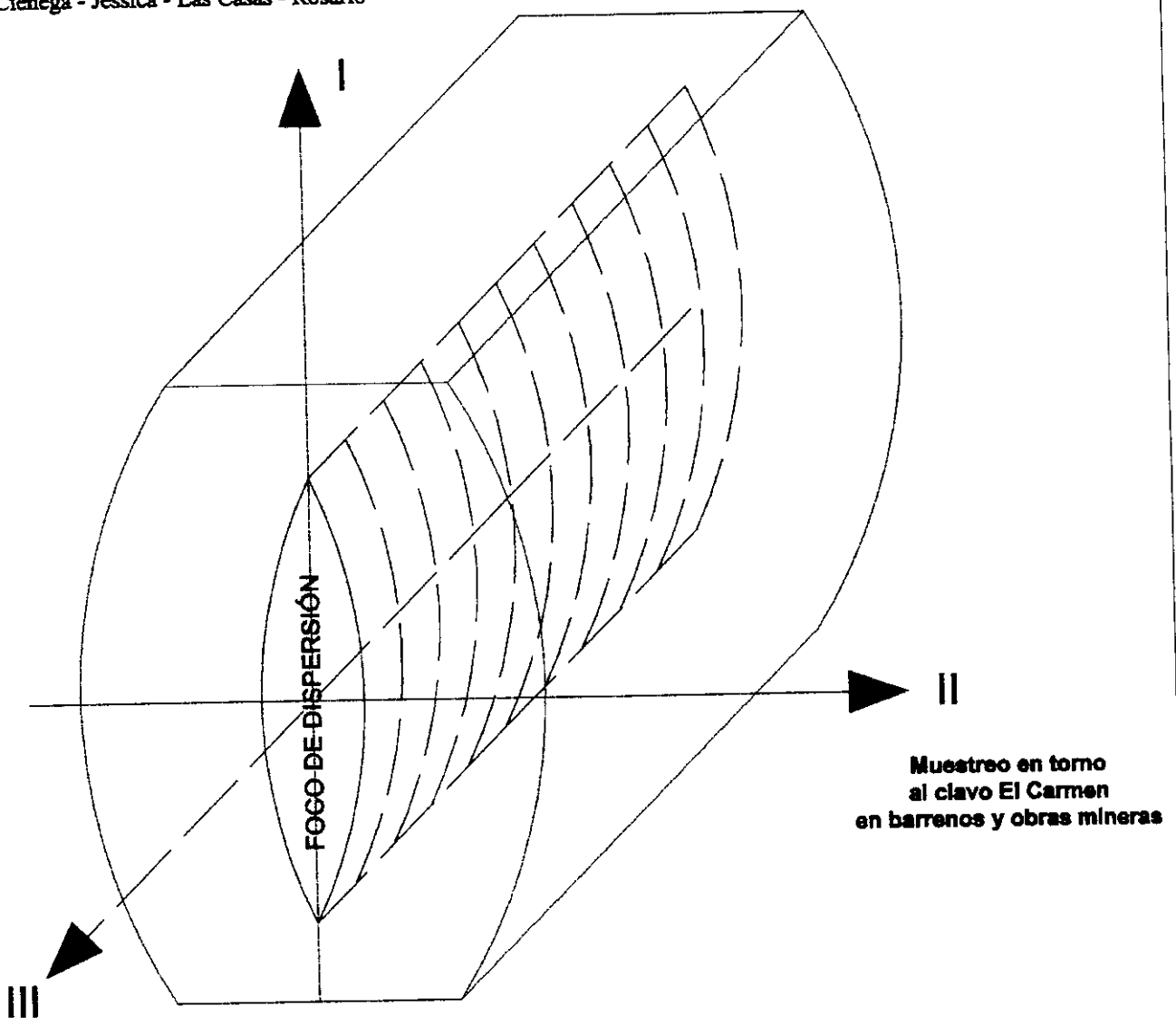
A continuación se dan las bases teóricas para efectuar la interpretación de los datos geoquímicos.

Para que un elemento migre, se requiere de una fase móvil que lo contenga, además de un mecanismo de transporte y una matriz donde ocurrirá la depositación, en esta última se generará el patrón de dispersión. La matriz mencionada, corresponde al ambiente geológico, la fase móvil es el fluido hidrotermal y el mecanismo de transporte lo constituyen las variables fisicoquímicas que intervienen en el fenómeno de transporte. En la figura VI.2, se ilustra este fenómeno. Abundando un poco más con respecto a la matriz donde ocurre la dispersión, que en este caso es la roca encajonante, mientras más inerte sea químicamente, los halos de dispersión serán mayores, por ejemplo siempre se esperarán halos más amplios en rocas silíceas que en carbonatadas. Los factores que influyen en la formación de los halos de dispersión primarios pueden ser macroscópicos, microscópicos y físico-químicos, dentro de los primeros se mencionarán:

- a) Fallas.
- b) Fracturas.
- c) Planos de estratificación.
- d) Porosidad.
- e) Permeabilidad.

FIGURA VI.1

Muestreo en superficie
y en barrenos, vetas
Ciénega - Jessica - Las Casas - Rosario



Muestreo en superficie
y en barrenos, vetas
Ciénega - Jessica - Las Casas - Rosario

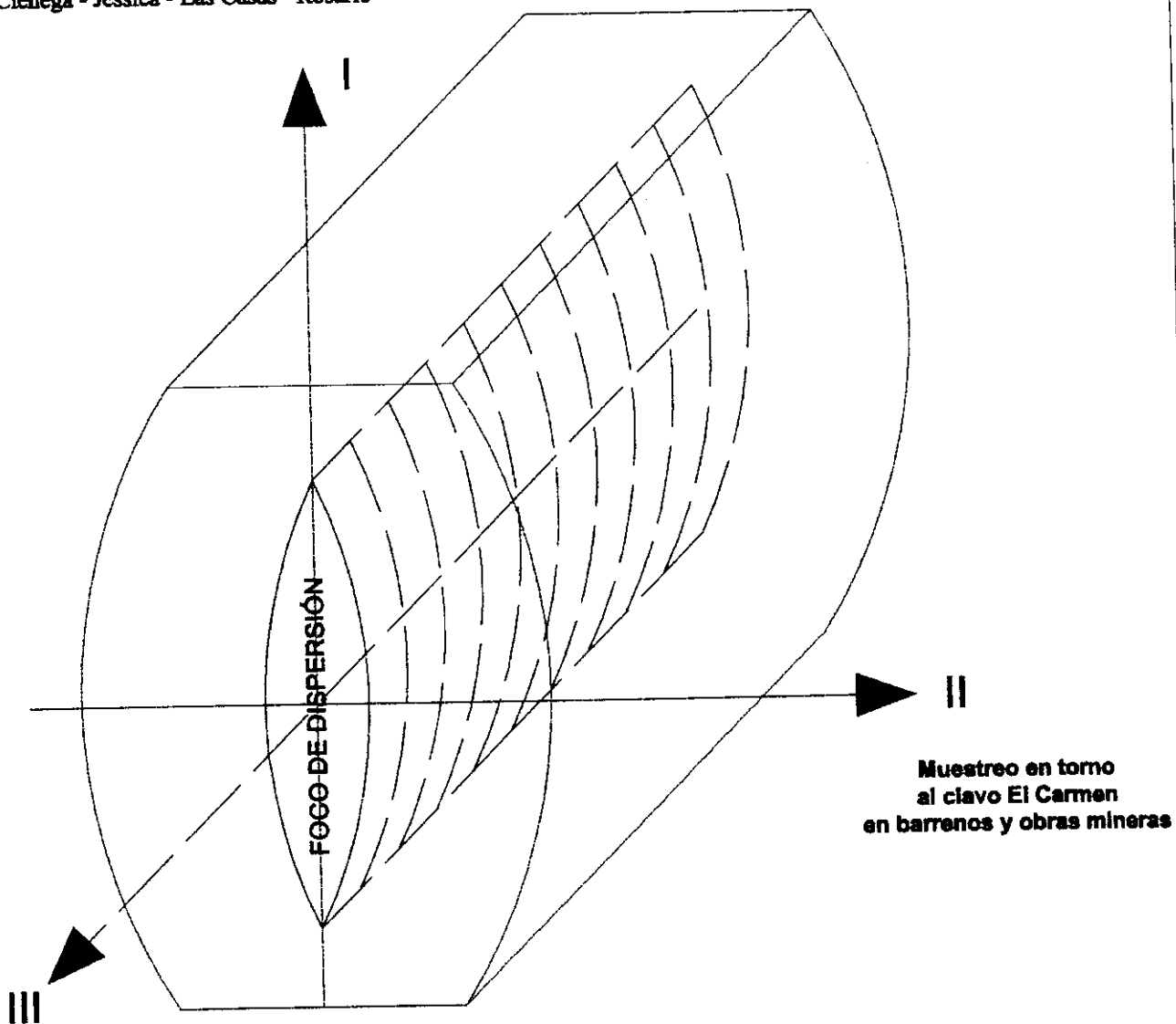
Muestreo en torno
al clavo El Carmen
en barrenos y obras mineras

Modificado de Sumin V.
Bakthin A.I. 1978

U N A M	FACULTAD DE INGENIERÍA	
	EJES DE DISPERSIÓN	
	FIGURA VI.1	
	José Morales Rodríguez	TESIS PROFESIONAL NOVIEMBRE - 2000

FIGURA VI.1

Muestreo en superficie
y en barrenos, vetas
Ciénega - Jessica - Las Casas - Rosario



Muestreo en superficie
y en barrenos, vetas
Ciénega - Jessica - Las Casas - Rosario

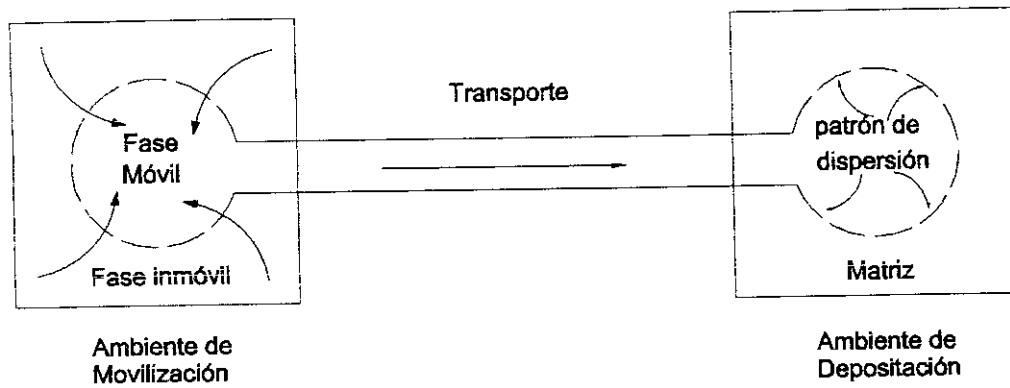
Muestreo en torno
al clavo El Carmen
en barrenos y obras mineras

Modificado de Sumin V.
Bakthin A.L 1978

U N A M	FACULTAD DE INGENIERÍA	
	EJES DE DISPERSIÓN	
	FIGURA VI.1	TESIS PROFESIONAL
	José Morales Rodríguez	NOVIEMBRE - 2000

FIGURA VI.2

EL FENÓMENO DE LA DISPERSIÓN



**U
N
A
M**

FACULTAD DE INGENIERÍA

EL FENÓMENO DE
LA DISPERSIÓN

FIGURA VI.2

José Morales Rodríguez

TESIS PROFESIONAL
NOVIEMBRE - 2000

Los factores microscópicos más importantes son:

- a) Microfracturamiento.
- b) Microporosidad.
- c) Micropermeabilidad.
- d) La migración a través de la red cristalina de los minerales.

Por último en lo referente a los factores fisico-químicos, se mencionarán los siguientes:

- a) La presión y la temperatura reinante en el foco de dispersión.
- b) La naturaleza química de la roca encajonante.
- c) Las características químicas de los elementos prospectados.

Existen dos tipos de dispersión, las primarias o endógenas y las secundarias. estas últimas resultan de la destrucción de los yacimientos preexistentes mientras que las endógenas son las que se originan al momento de emplazarse el yacimiento mineral; el ambiente de formación de estas últimas, está caracterizado por altas presiones y nula disponibilidad de oxígeno libre mientras que las anomalías secundarias corresponden al ambiente superficial con presiones normales y una gran cantidad de oxígeno libre.

Las anomalías endógenas, que son las únicas que se consideraron para este trabajo, a su vez se subdividen en dos grupos a saber:

- a) Por difusión.
- b) Por fuga.

Las anomalías por difusión se originan por la migración de los elementos a nivel microscópico (investigación del halo de dispersión en torno a la veta La Ciénega en el clavo El Carmen, mediante el muestreo selectivo de roca encajonante).

Las anomalías por fuga se generan por la migración de los elementos contenidos en fluidos que migran por espacios abiertos (investigación sobre el reflejo de los clavos de mineral mediante muestro superficial y de barrenos en las vetas La Ciénega-Jessica-Las Casas-Rosario).

Evidentemente en los muestreos mencionados anteriormente, las dispersiones siguen leyes totalmente diferentes.

Una condición importante que debe cumplir un conjunto de datos geológico-geoquímicos para poder ser interpretados, es que todos ellos tengan un origen y características similares y que hayan sido tomados en el mismo tipo de roca. En caso de tener dos o más grupos independientemente homogéneos, se interpretarán individualmente. Una vez teniendo a las muestras agrupadas en conjuntos con las características antes mencionadas, lo primero que se debe investigar es el tipo de distribución que sigue cada universo y si se presenta en él una única población o existe otra que podría ser la anómala. Existen varios tipos de distribuciones de los datos de un universo dado, este fenómeno se deberá investigar para saber a cual se ajusta y poder determinar los parámetros que definan a los datos como conjunto.

Sin embargo, el problema no es tan complicado, de todos los tipos de distribuciones conocidos, dos son los más comunes, el normal y el lognormal. De ambos, el último es el más frecuente en los problemas geológicos.

La hipótesis de la distribución de frecuencias lognormal de los contenidos de metales en los yacimientos, fue formulada por primera vez en la URSS por N.K. Rasumosky en 1940, despertando una fuerte polémica. En 1954 L.H. Ahrens publicó "*The lognormal distribution of the elements*", en el cual afirma basándose en ejemplos concretos que la distribución de oligoelementos en las rocas ígneas, se hacen normales o casi normales

cuando la variable (concentración de un elemento) se transforma tomando en vez de la concentración, su logaritmo. Surgieron varias críticas a este trabajo, mismas que fueron contestadas por el autor en artículos posteriores.

Geólogos y geoquímicos de Francia y Sudáfrica, discutieron y aplicaron extensamente la distribución lognormal en la prospección geoquímica de uranio en Francia, y el contenido de oro en los yacimientos de Sudáfrica. Ellos encontraron que de hecho, la lognormalidad o la aproximación a ella, fue comprobada para los oligoelementos estudiados por la geoquímica y para las leyes en los elementos de baja ley: como es el caso de los yacimientos de oro y uranio mencionados al principio de este párrafo. Para los elementos mayores o yacimientos de alta ley se pueden presentar desviaciones con respecto a la lognormalidad, por lo cual deberá ser investigado cada caso en particular.

El que la distribución de frecuencias de los contenidos de oligoelementos sea lognormal, se ha tratado de explicar de dos maneras, una se debe a G. Matheron (1963) y la otra a A.B. Vistelius (1967).

La teoría de Matheron explica la ley lognormal por medio de la noción del efecto proporcional. Simplificado, se da el ejemplo siguiente:

En un yacimiento es más probable que si en un punto se tiene una ley de 1%, los puntos más cercanos a él tendrán leyes comprendidas entre 0.9% y 1.1% que entre 9% y 11%.

En general, en este ejemplo se cumple que la variación de una cantidad X, será directamente proporcional a X:

$$\Delta x = \alpha x$$

Si $\Delta x = \alpha x$ es pequeño, con mayor razón lo será α , que es el coeficiente de proporcionalidad, ya que $\alpha = \frac{\Delta x}{x}$, luego puede considerarse que:

$$\alpha = \Delta \gamma$$

entonces:

$$\Delta \gamma = \frac{\Delta x}{x}$$

Si Δx es infinitamente pequeño, se puede escribir:

$$\delta \gamma = \frac{\delta \chi}{\chi}$$

Integrando:

$$\gamma = \log x$$

Si se considera un gran número de puntos en un yacimiento, se tendrá que las variaciones $\delta \chi$ de la ley en torno a ellos, dará numerosos, pequeños e independientes $\delta \gamma$ por lo cual la suma de estos $\delta \gamma$ dará una variable cuya distribución de frecuencias seguirá la Ley de Gauss o la Ley normal. Luego, si “y” es una variable de distribución normal, “ χ ” será una variable de distribución lognormal de frecuencias.

A.B. Vistelius (1967) , basándose en varios conjuntos de análisis por P_2O_5 en granitos de diversas partes del mundo, todos con más de 60% de SiO_2 , determinó que su distribución de frecuencias aunque presentaba una curva con desviación positiva, no era estrictamente lognormal. Lo mismo comprobó para 4788 análisis por Na_2O de rocas ígneas de distintos lugares y para 200 análisis de Na_2O en 50 muestras de basalto de diferentes regiones del mundo. La distribución de los análisis en los basaltos también presentaba una desviación positiva, pero menor que en el caso de las rocas ígneas en general. De estos ejemplos, Vistelius sacó la conclusión de que la distribución de frecuencias del contenido de un elemento dado en las rocas, tomadas como un solo conjunto, debe presentar una fuerte desviación. Si se considera un conjunto más homogéneo, por ejemplo los basaltos, su

desviación es menor que para un conjunto más heterogéneo, por ejemplo todas las rocas ígneas. Esto conduce a pensar que en un conjunto perfectamente homogéneo, la curva de distribución de frecuencias no presentará desviación y por tanto será simétrica o sea lognormal.

Para comprobar esta suposición, Vistelius analizó por P₂O₅ a 29 muestras de 5.0 gr. cada una tomadas de un trozo de granodiorita de 1.0 kg de peso. Obtuvo, con un alto grado de confianza una distribución lognormal de frecuencias. Los resultados los tradujo en la siguiente afirmación:

Las distribuciones locales son lognormales (simétricas), mientras que las distribuciones de conjunto son desviadas o "asimétricas".

De sus estudios, Vistelius concluyó que la depositación de pequeñas concentraciones de un oligoelemento por procesos geoquímicos, es en general, más estable que la depositación de grandes concentraciones de él, por el mismo proceso geoquímico.

Una vez que se ha investigado el tipo de distribución del grupo de muestras, se procederá a hacer un análisis estadístico, gráfico y descriptivo de él.

Esto es de mucha utilidad, ya que este método casi siempre es el único, con el cual a un gran número de datos difíciles de interpretar, se les pueden extraer los parámetros que rigen su comportamiento. Lo anterior se logra mediante la representación gráfica de la distribución de frecuencias y la elaboración de curvas mediante el uso de gráficas probabilísticas. De esta manera se pueden visualizar los límites inferior y superior que comprende al universo de muestras, el valor promedio de la población, los límites que engloban valores anómalos y la presencia de una o varias poblaciones. Una interpretación estadística confiable, requiere que se trate un buen número de datos (entre mayor sea el número, mejores resultados se pueden

esperar), y que estos provengan de un medio homogéneo.

Los pasos necesarios para la construcción de los histogramas y las curvas de frecuencia acumulada son:

- a) Selección del conjunto de datos que constituirá el universo, el cual deberá ser lo más grande y homogéneo posible.
- b) Agrupar los valores en un número adecuado de clases.
- c) Calcular la frecuencia de la ocurrencia en cada clase.
- d) Construir y suavizar el histograma.
- e) Elaborar la gráfica de probabilidades, considerando en uno de los ejes las frecuencias acumulativas integradas hasta el 99.9% y en el otro las p.p.m. del elemento estudiado en escala logarítmica.

Un factor que es fundamental para obtener interpretaciones correctas es agrupar adecuadamente los valores. Cuando se seleccionan muy pocas clases, se enmascaran importantes características de las curvas. Cuando son demasiadas se pierden detalles valiosos, ya que resaltan los valores erráticos. En estadística, se recomienda trabajar con un número de clases comprendido entre 10 y 20. Para determinar los intervalos logarítmicos, se consideran las siguientes variables:

- a) El número de puntos (n) necesarios para construir el histograma.
- b) El intervalo de distribución de los valores (R), definido como el intervalo comprendido entre el valor más alto y el más bajo de la población.

Las variables anteriores se relacionan con el intervalo logarítmico mediante la siguiente relación:

$$\text{Intervalo logarítmico} = \frac{\log R}{n}$$

En los análisis geoquímicos, por experiencia se ha determinado que las magnitudes logarítmicas de las clases varían entre 0.039 y 0.25, por lo general.

Los histogramas ilustran claramente el comportamiento de los valores considerados en un universo, por ejemplo si existen una o más poblaciones, el intervalo de variabilidad de los valores, la sensibilidad del método analítico y la influencia que ejerce la presencia de valores extraordinarios, tanto altos como bajos.

6.2- Información proporcionada por histogramas y curvas acumulativas.

El objetivo que se persigue al construir el histograma de una población dada, es verificar en primer lugar si la distribución de ésta, se ajusta a un patrón normal o lognormal. Posteriormente se deberán obtener los parámetros básicos los cuales son:

- a.- El background, el cual corresponde al intervalo comprendido entre la muestra de valor más bajo y la media.
- b.- El threshold, el cual está definido por el límite superior del background y el primer quiebre de la recta.
- c.- La anomalía. Este grupo de muestras está comprendido sobre el límite superior del threshold y el valor más alto del universo de muestras.

Al graficar las frecuencias acumulativas, teniendo en el eje de las ordenadas una escala probabilística, se obtiene una línea recta cuando exista una única población, y dos o más, cuando la población sea multimodal. Lo más práctico es calcular de esta gráfica los parámetros mencionados en el párrafo anterior.

A continuación se dan unas definiciones para aclarar mejor las ideas:

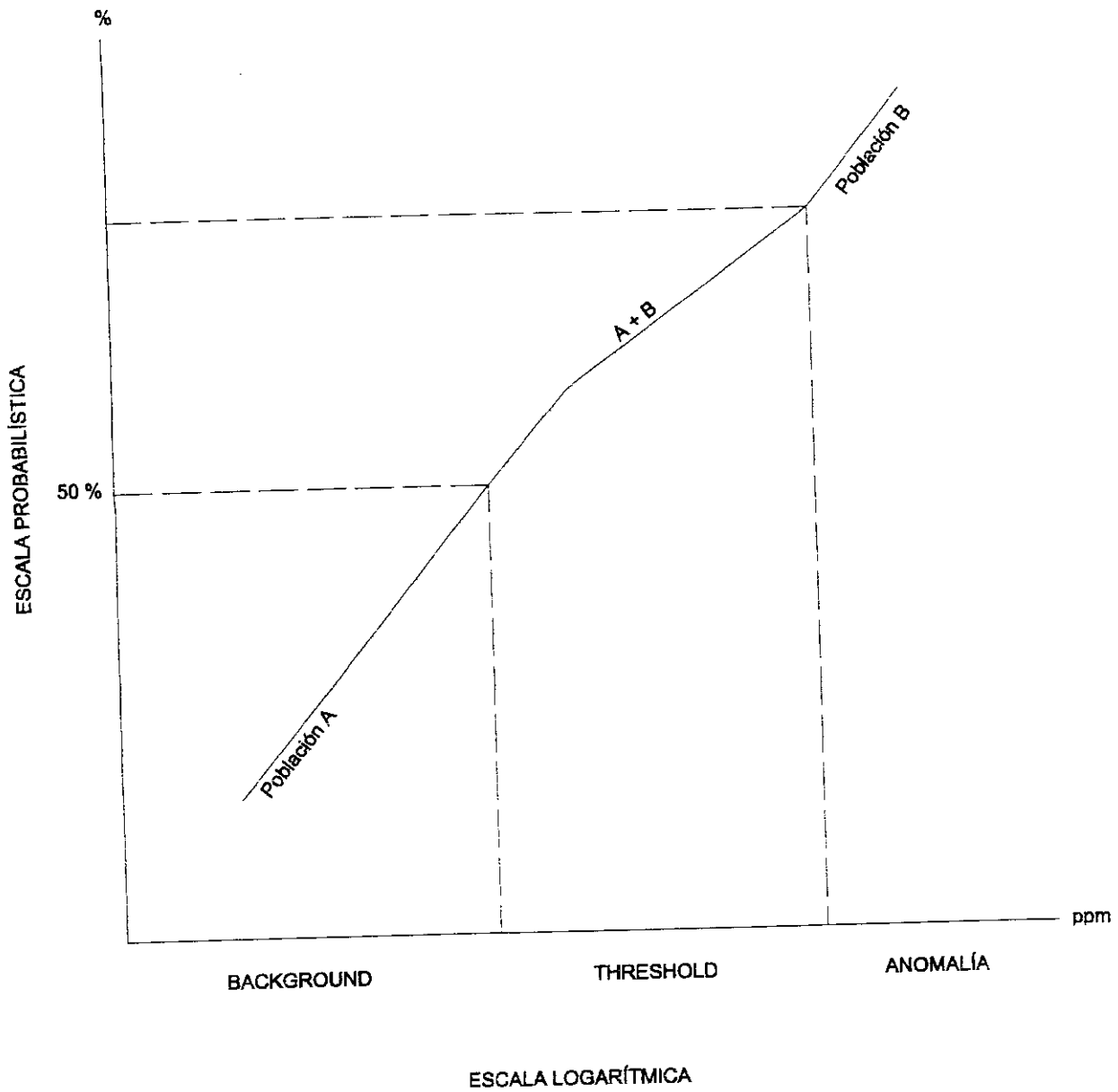
Background: Se define como la concentración normal de un elemento dado en un tipo particular de roca. Es oportuno mencionar que este término implica un intervalo, cuyo límite inferior es igual al valor más bajo del conjunto de muestras y el superior corresponderá a la media de todos los valores. El background variará de un tipo de roca a otro y de una localidad a otra, aún para la misma litología, por lo cual siempre será necesario hacer los cálculos respectivos para cada estudio. Dependiendo del tipo de trabajo, habrá backgrounds locales y regionales. Para la determinación en la gráfica de probabilidades, se traza una línea auxiliar que intercepte el 50% con la recta definida por la población estudiada, en este punto se traza otra auxiliar perpendicular al eje de las p.p.m. y sobre él, se lee el valor correspondiente, ver figura VI.3.

Threshold: Se define como un intervalo de seguridad en donde el límite inferior es el superior del background y el superior corresponde al inicio de la población B que, en caso de existir, es la anómala (ver figura VI.3). En este intervalo se incluye la zona de mezcla A+B, por lo cual algunos autores catalogan al threshold como anomalía baja.

Anomalía: Es una divergencia de los resultados geoquímicos de un área, con respecto al background y al threshold. Desde el punto de vista de la exploración geoquímica, A.W. Hawkes (1957), define a una anomalía como “un área donde las propiedades químicas de un material de ocurrencia natural, indican la presencia de un depósito mineral en la vecindad, quedando como variables sus dimensiones y sus concentraciones metálicas”. El criterio más aplicado en

FIGURA VI.3

ESTIMACIÓN DE LOS DIFERENTES INTERVALOS



U N A M	FACULTAD DE INGENIERÍA	
	ESTIMACIÓN DE LOS DIFERENTES INTERVALOS	
	FIGURA VI.3	
	José Morales Rodríguez	TESIS PROFESIONAL NOVIEMBRE - 2000

la actualidad para definir la anomalía, es considerarla como la población B que se muestra en la gráfica de probabilidades (ver figura VI-3).

Las anomalías se clasifican como:

- a) Falsas. Cuando son originadas por la contaminación derivada de la actividad humana.
- b) Significativas. Son aquellas detectadas por más de una muestra anómala y que se encuentran apoyadas por las de la periferia del orden del threshold. En estos casos normalmente el entorno geológico es interesante.
- c) Erráticas. Con este calificativo, se engloban a todos aquellos valores aislados, que no están apoyados por los resultados de las muestras circunvecinas. En esta clasificación se pueden incluir las anomalías que pudieran resultar de un mal muestreo, de manejar inadecuadamente los materiales colectados o puede ser el producto de algún error analítico.

Otro de los conceptos estadísticos básicos, además de los mencionados anteriormente, es el índice de correlación. A continuación se menciona brevemente el concepto:

El índice de correlación es una estimación de la dependencia de los análisis geoquímicos obtenidos de un conjunto de muestras. Por ejemplo, si la concentración de zinc baja en una zona, ¿también baja la del cadmio?. Si la respuesta es afirmativa, habrá una buena correlación directa, en caso contrario, sería buena pero inversa. Se dice que no hay correlación cuando no existe ninguna dependencia entre los valores. Lo importante es llegar a una estimación de toda la población para obtener conclusiones válidas.

El índice de correlación varía entre 0 y 1 cuando es directo y entre 0 y -1 si es inverso. Sin embargo, el 0 se define como una total independencia, el 1 y el -1 indican una total dependencia directa e inversa respectivamente.

Los paquetes de estadística como el Statgraphics, incluyen este tipo de análisis; sin embargo, se mencionará una manera práctica de estimar este índice. En un papel log-log, se asigna un elemento a cada eje (ver figura VI.4). y cada muestra se ubica como un punto. Una vez graficadas todas las muestras, se trazan dos líneas paralelas a los ejes definidas por el valor del background de los elementos investigados. El cruce de estas dos líneas define un centro de gravedad a partir del cual la nube de puntos es dividida en 4 cuadrantes, los cuales son numerados como se ilustra en la figura VI.4. Posteriormente se aplicará la fórmula

$$p = \text{sen} \left[\frac{H}{2} \cdot \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right] \text{ en donde}$$

p = Índice de correlación.

El seno está dado en radianes.

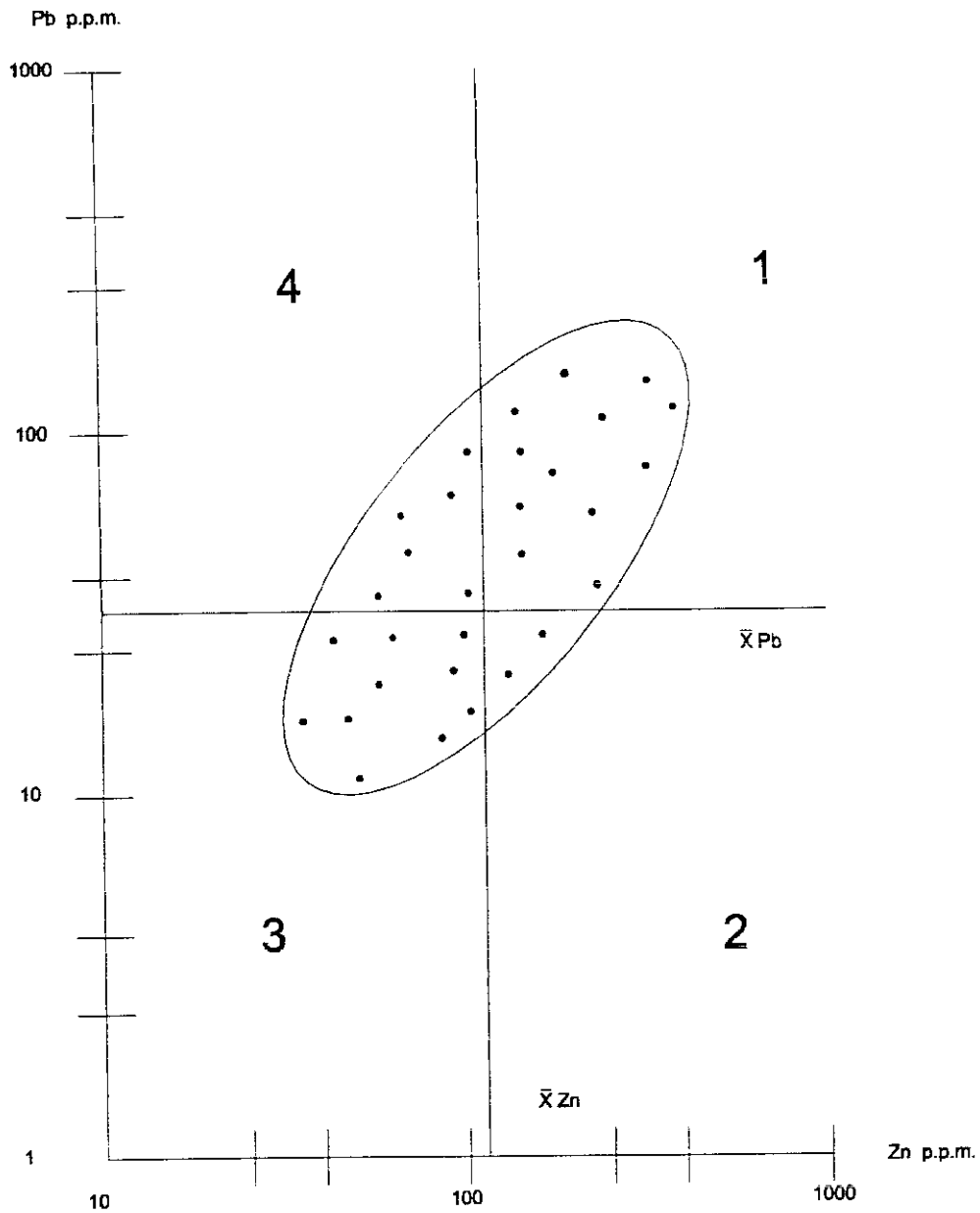
N_1 y N_2 es el número de puntos contenidos en el 1ro. y 2do. Cuadrantes.

El método anterior dará una estimación rápida y sencilla de los índices de correlación que existirán entre el grupo de elementos analizados en un proyecto y esto a su vez nos servirá para tener una buena idea de la asociación genética de los elementos en el ambiente geológico investigado.

Todo lo mencionado en este capítulo, no tiene sentido si no se hace tomando en cuenta el factor geológico, ya que una anomalía siempre debe analizarse desde este punto de vista.

FIGURA VI.4

CÁLCULO DE ÍNDICE DE CORRELACIÓN



$$r = \text{sen} \left[\frac{1}{2} \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2} \right]$$

U N A M	FACULTAD DE INGENIERÍA	
	CÁLCULO DE ÍNDICE DE CORRELACIÓN	
	FIGURA VI.4	
	José Morales Rodríguez	TESIS PROFESIONAL NOVIEMBRE - 2000

considerando por ejemplo estratificación, fracturamientos, litología, etc., como se mencionó en párrafos anteriores.

Otro punto importante es el referente a los trabajos de orientación. Esta investigación deberá ser hecha siempre que se inicie el estudio de una nueva área. Los objetivos de éste serán:

- a) Determinar los materiales a muestrear.
- b) Caracterizar las menas a fin de elegir que elementos se deberán analizar(indicadores directos e indirectos).
- c) Diseñar el muestreo.

Para hacer un trabajo de orientación se deberá consultar la literatura correspondiente a fin de tener una guía académica para iniciar con el problema, pero esta primera fase deberá ser seguida por el trabajo experimental que incluirá la toma de muestras estratégicas para resolver los tres incisos antes mencionados.

6.3-Estudio de orientación.

Para caracterizar a la mena del yacimiento, se eligieron las muestras 157, 178, 185, 187 y 256, las cuales fueron colectadas en puntos representativos de las zonas mineralizadas. Los ejemplares fueron enviados a los laboratorios de Skyline en Tucson, Arizona y fueron analizados por Au, Ag, As, Sb, Hg, Cu, Pb, Zn, Bi, Cd, Te, Ba, Mn, y Fe, por el método de absorción atómica. De estos elementos se eligieron seis: Au, Ag, Zn, Cu, Ba, y Mn, que fueron los que mejor definieron al yacimiento, por este grupo de elementos fueron analizadas todas las muestras colectadas en el trabajo de campo. La razón para elegir al conjunto de elementos mencionados anteriormente obedeció a su comportamiento con

respecto a los elementos de interés económico, como es el caso del Cu, Ba, Mn. Se analizaron por Au, Ag y Zn debido a que estos elementos son los que dan valor al yacimiento. Los seis elementos mencionados presentan en general un buen índice de correlación positivo y negativo, como puede verse en la figura VI.5, estas características son importantes para investigar el zoneamiento geoquímico del yacimiento mineral.

6.4-Desarrollo del trabajo.

El muestreo superficial consistió en tomar muestras selectivas del sistema hidrotermal con la finalidad de investigar en él, el comportamiento de los elementos analizados. El trabajo fue muy laborioso porque en algunas localidades donde no se presentaba una estructura definida, fue necesario muestrear las vetillas que constituyen la expresión superficial del sistema. En el plano del muestreo superficial que se anexa en el apéndice 2, se indican las localidades con sus respectivos números de identificación.

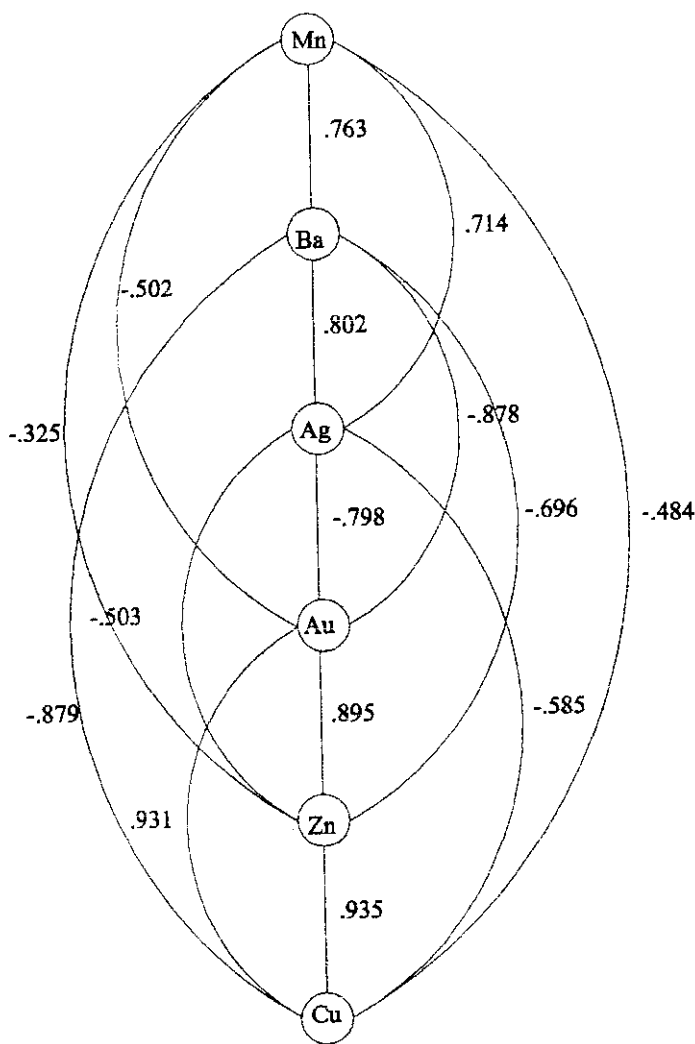
Otra fase del trabajo, consistió en investigar los halos de dispersión en torno al clavo El Carmen, para lo cual se muestrearon los niveles 2520 y 2430, a cada cinco metros, sistemáticamente a partir de la veta, hasta 100 metros fuera de ella. En este caso, las esquirlas fueron colectadas teniendo el mayor cuidado de que estuvieran libres de vetillas para tratar de cuantificar el halo de difusión.

El total de muestras colectadas fue de 407, las cuales fueron analizadas por Au, Ag, Zn Cu, Ba y Mn, en los laboratorios de Skyline en Tucson, Arizona, por el método de absorción atómica.

El análisis estadístico fue hecho en una computadora Hewlett Packard de la serie 900-236, utilizando un programa de estadística básica y avanzada, editado por el mismo fabricante del equipo

FIGURA VI.5

ESTUDIO DE ORIENTACION RESUMEN DE CORRELACIONES



RESUMEN

Au-Ag	-.798
Au.Cu	.931
Au-Zn	.895
Au-Ba	-.878
Au-Mn	-.502
Ag-Cu	-.585
Ag-Zn	-.503
Ag-Ba	.802
Ag-Mn	.714
Cu-Zn	.935
Cu-Ba	-.879
Cu-Mn	-.484
Zn-Ba	-.696
Zn-Mn	-.325
Ba-Mn	.763

U N A M	FACULTAD DE INGENIERÍA	
	ESTUDIO DE ORIENTACION RESUMEN DE CORRELACIONES	
	FIGURA VI.5	
	José Morales Rodríguez	TESIS PROFESIONAL NOVIEMBRE - 2000

6.5-Interpretación.

a)-Halos de dispersión primaria en el clavo El Carmen.

Para detectar estos halos, se eligieron los socavones 2430 y 2520, además de los barrenos LC-12, LC-14, LC-24-1, LC-42-2 LC-42-5, LC-42-13 y LC-42-14, los cuales fueron muestreados sistemáticamente cada 5 metros a partir de las vetas y alejándose de ella hasta una distancia de 100 metros. A los análisis geoquímicos de la población obtenida, se les calcularon los estadígrafos correspondientes los cuales se muestran en la tabla VI.1 y además sus índices de correlación que pueden verse en la figura VI.6, sin embargo, los mejores resultados se obtuvieron elaborando perfiles geoquímicos para diversos elementos y sumatorias de ellos. En el apéndice 4, se presenta el perfil geoquímico de la sumatoria de plata, zinc, cobre, bario y manganeso, elaborado a partir del muestreo tomado al alto de la veta en el socavón El Carmen y que fue la que mejor definió el fenómeno. Se utiliza el criterio de que el halo se extiende hasta el punto donde ocurre un cambio de pendiente significativo en el perfil, en este caso se ve claramente que el halo de dispersión se extiende 45.00 metros a partir de la estructura.

SOCAVÓN 2520. Localizado al alto de la veta; esta obra corresponde al nivel más alto muestreado, el perfil que mejor se definió fue el de la sumatoria de $Ag+Zn+Ba$, observándose que presenta un cambio de pendiente a partir de los 40.00 metros y otro más brusco a 70.00 metros.

SOCAVÓN 2430. En este caso, se elaboró el perfil de la sumatoria de $Ag+Zn+Cu+Ba+Mn$, en el cual se observa un cambio de pendiente significativo a los 45.0 metros; en el caso del perfil del zinc, el cambio de pendiente ocurre entre los 30.00 y 35.00 metros. El muestreo en este caso, correspondió al alto de la veta.

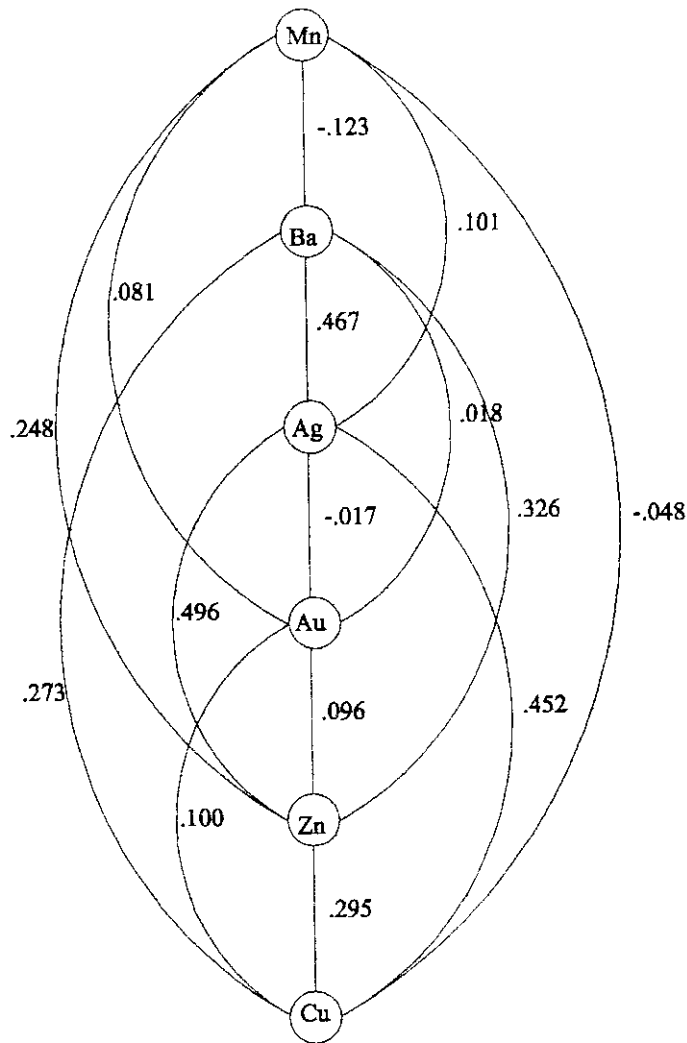
VALORES DE DISPERSION EN EL CLAVO EL CARMEN,
VETA LA CIENEGA, VALORES EN P.P.M.

ELEMENTO	BACKGROUND	THRESHOLD	ANOMALIA
Au	0.03 a 0.05	No definido	No definida
Ag	0.05 a 0.70	0.71 a 1.80	Sobre 1.80
Zn	12.0 a 118.9	119.0 a 411.4	Sobre 411.4
Cu	16.0 a 68.5	68.6 a 77.5	Sobre 77.5
Ba	280.0 a 1891.5	1891.6 a 2606.8	Sobre 2606.8
Mn	120.0 a 326.8	326.9 a 876.8	Sobre 876.8

TABLA VI.1

FIGURA VI.6

HALOS DE DISPERSION RESUMEN DE CORRELACIONES



RESUMEN

Au-Ag	-.017
Au.Cu	.100
Au-Zn	.096
Au-Ba	.018
Au-Mn	.081
Ag-Cu	.452
Ag-Zn	.496
Ag-Ba	.467
Ag-Mn	.101
Cu-Zn	.295
Cu-Ba	.273
Cu-Mn	-.048
Zn-Ba	.326
Zn-Mn	.248
Ba-Mn	-.123

U N A M	FACULTAD DE INGENIERÍA	
	HALOS DE DISPERSION RESUMEN DE CORRELACIONES	
	FIGURA VI.6	
	<small>José Morán Rodríguez</small>	<small>TESIS PROFESIONAL NOVIEMBRE - 2000</small>

BARRENO LC 42-1. Este barreno fue dado al alto de la veta, se graficaron Cu, Zn, Ba y la sumatoria Ag+Cu+Zn+Ba. En este caso el zinc es el que mejor se comporta, ya que no es afectado por los ruidos del Ba, mismos que sí perturban a la sumatoria; sin embargo los disturbios del Ba que se presentan entre los 50.00 y 65.00 metros podrian indicar los efectos de una zona mineralizada más profunda. El zinc, para los fines de este estudio, es el que mejor define el halo, el cual se extiende hasta los 35.00 metros.

BARRENO LC 42-2. Fue dado también al alto, se graficaron las sumatorias que incluye a la Ag+Cu+Zn+Mn, que es la que mejor representa al fenómeno, ocurriendo el primer cambio de pendiente significativo a los 30.00 metros. Nuevamente en el otro perfil, el bario, crea mucho ruido, enmascarando el halo de dispersión.

BARRENO LC-14. Fue dado al bajo de la veta y se muestreó para definir el halo de dispersión en esta posición de la estructura. Los elementos y la relación que mejor se comportan para los fines buscados, el más explicativo es el del Zn, el cual define un halo que apenas se extiende entre 15.00 y 20.00 metros.

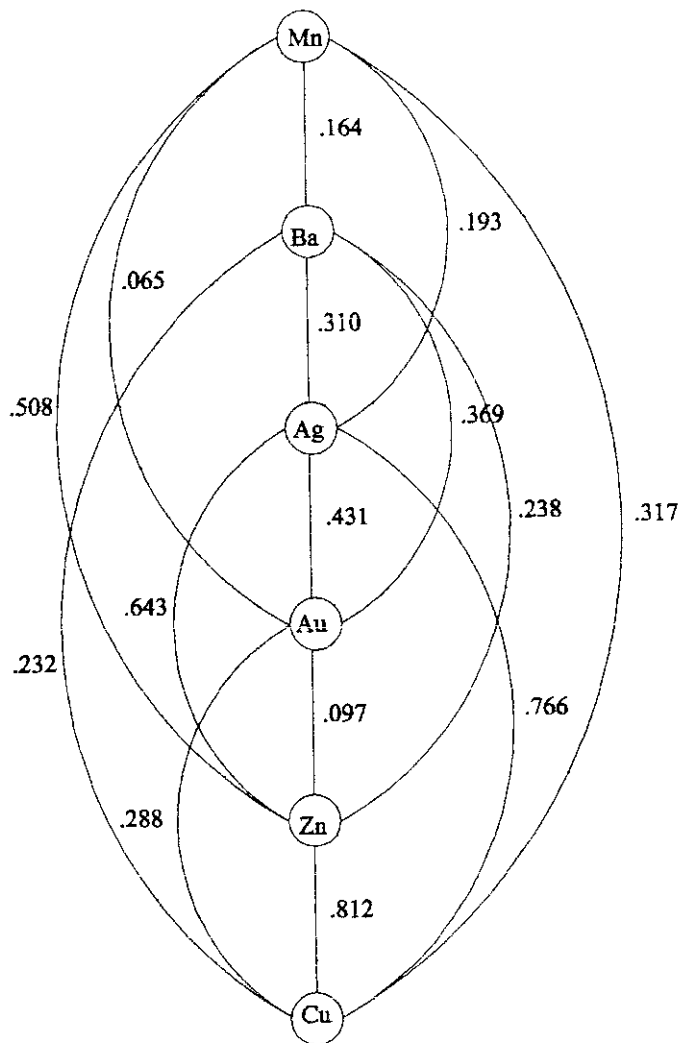
b)-Muestreo de las vetas La Ciénega y Jessica, en superficie y con barrenos.

En el trabajo de superficie, como se mencionó en párrafos anteriores, se colectaron un total de 60 muestras, las cuales fueron tomadas preferentemente sobre el sistema hidrotermal. La finalidad de este estudio fue detectar en superficie el reflejo de los clavos, tanto los que afloran como los ocultos, dando énfasis a los que se encuentran en el último caso.

Las correlaciones entre los elementos analizados, se muestran en la figura VI.7, en la cual se aprecia una fuerte dependencia Cu-Zn-Ag y en menor proporción de estos con el bario. Individualmente el oro y la plata muestran una débil correlación, igualmente ocurre entre el

FIGURA VI.7

MUESTREO SUPERFICIAL VETAS LA CIÉNEGA - JESSICA RESUMEN DE CORRELACIONES



RESUMEN

Au-Ag	.431
Au-Cu	.288
Au-Zn	.097
Au-Ba	.369
Au-Mn	.065
Ag-Cu	.766
Ag-Zn	.643
Ag-Ba	.310
Ag-Mn	.193
Cu-Zn	.812
Cu-Ba	.232
Cu-Mn	.317
Zn-Ba	.238
Zn-Mn	.508
Ba-Mn	.164

U N A M	FACULTAD DE INGENIERÍA	
	MUESTREO SUPERFICIAL VETAS LA CIÉNEGA - JESSICA RESUMEN DE CORRELACIONES	
	FIGURA VI.7	
	José Morales Rodríguez	TESIS PROFESIONAL NOVIEMBRE - 2000

zinc y el manganeso. En el resto de los casos, se observa una casi total independencia. En la tabla VI.2, se muestran los estadígrafos que resultaron del análisis de esta población. En el apéndice 3, se incluyen los histogramas, las curvas de probabilidades y la matriz de correlación que se elaboraron para estudiar el comportamiento de la población.

Simultánea a la interpretación de los datos de superficie, se trabajó con los resultados de 72 muestras elegidas de los núcleos que cortaron las vetas La Ciénega y Jessica; del análisis estadístico de esta información se obtuvieron los resultados mostrados en la figura VI.8 en lo referente a correlaciones, y la tabla VI.3 en cuanto a los estadígrafos de los diferentes elementos analizados.

Al trabajar con los resultados de laboratorio, se graficaron todos los elementos y un buen número de relaciones entre ellos tales como cocientes, propiedades aditivas y multiplicativas. De todo el material resultante, en este caso, se presenta únicamente el perfil de la sumatoria en el apéndice 5. La sumatoria mencionada anteriormente, es la que mejor describe el fenómeno investigado. sin embargo, se hicieron las gráficas y perfiles de todos los elementos analizados. A continuación se hacen los siguientes comentarios:

SUMATORIA DE LOS LOGARITMOS DE Ag, Zn, Cu, Ba y Mn.

Esta combinación de resultados tiene la particularidad de mostrar una tendencia del grupo de elementos mencionados, minimizando la influencia de litologías (pero deben ser afines) o como en este caso, se suaviza la influencia de la heterogeneidad que pueda existir en el medio muestreado. En general las anomalías resultantes en el muestreo de barrenos, se alinean al contacto geológico entre el Grupo Volcánico Superior y el Inferior, quedando abiertas en algunos casos hacia abajo. En lo que respecta al perfil geoquímico, se marcan dos anomalías principales las cuales corresponden a los clavos conocidos (ver apéndice 5).

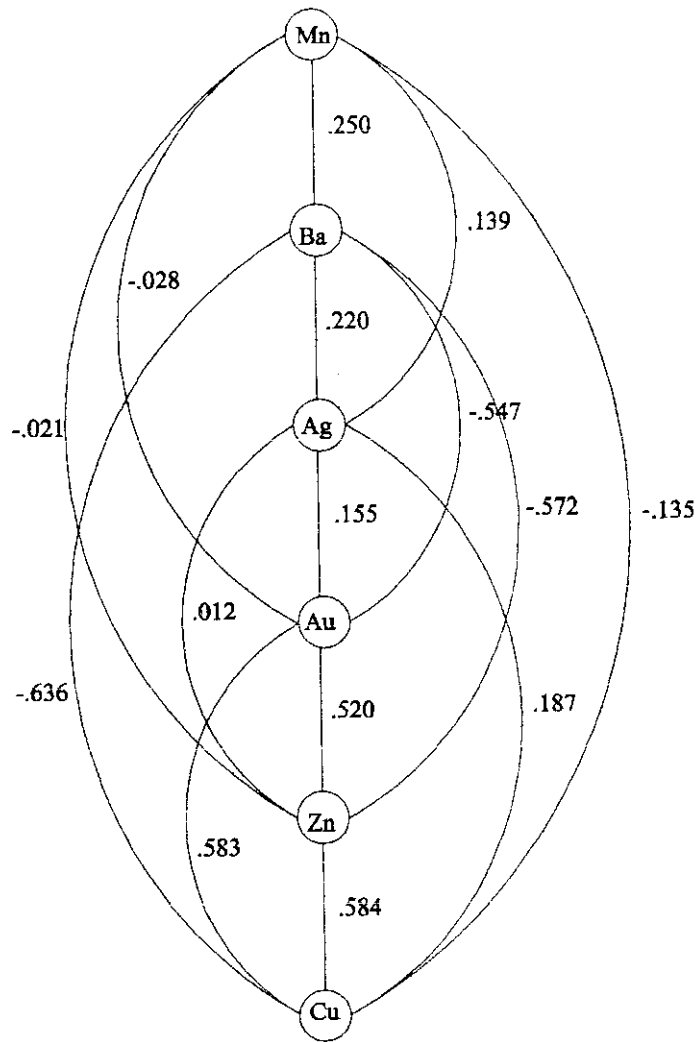
MUESTREO DE VETAS EN SUPERFICIE,
CIENEGA - JESSICA, VALORES EN P.P.M.

ELEMENTO	BACKGROUND	THRESHOLD	ANOMALIA
Au	0.00 a 0.05	No definido	No definida
Ag	0.2 a 91.7	91.8 a 115.5	Sobre 115.5
Zn	2.0 a 235.0	236.0 a 286.0	Sobre 286.0
Cu	2.0 a 53.0	54.0 a 105.0	Sobre 105.0
Ba	170.0 a 1905.0	1906.0 a 9716.0	Sobre 9716.0
Mn	130.0 a 1000.0	1001.0 a 1288.0	Sobre 1288.0
Sum logAg+logZn logCu+logBa+ logMn	5.6092 a 12.8929	12.8939 a 13.5357	Sobre 13.5357

TABLA VI.2

FIGURA VI.8

MUESTREO DE BARRENOS VETAS LA CIÉNEGA - JESSICA RESUMEN DE CORRELACIONES



RESUMEN

Au-Ag	.155
Au-Cu	.583
Au-Zn	.520
Au-Ba	-.547
Au-Mn	-.028
Ag-Cu	.187
Ag-Zn	.012
Ag-Ba	.220
Ag-Mn	.139
Cu-Zn	.584
Cu-Ba	-.636
Cu-Mn	-.135
Zn-Ba	-.572
Zn-Mn	-.021
Ba-Mn	.250

U N A M	FACULTAD DE INGENIERÍA	
	MUESTREO DE BARRENOS VETAS LA CIÉNEGA - JESSICA RESUMEN DE CORRELACIONES	
	FIGURA VI.8	
	José Morales Rodríguez	TESIS PROFESIONAL NOVIEMBRE - 2000

**MUESTREO DE BARRENOS EN LA INTERSECCION
CON LAS VETAS CIENEGA - JESSICA
VALORES EN P.P.M.**

ELEMENTO	BACKGROUND	THRESHOLD	ANOMALIA
Au	0.05 a 1.0	1.1 a 1.6	Sobre 1.6
Ag	3.5 a 112.2	112.3 a 307.3	Sobre 307.3
Zn	125.0 a 2053.5	2053.6 a 5011.9	Sobre 5011.9
Cu	34.0 a 432.2	432.3 a 509.4	Sobre 509.4
Ba	190.0 a 2313.7	2313.8 a 5907.4	Sobre 5907.4
Mn	130.0 a 662.8	662.9 a 1778.3	Sobre 1778.3
Sum logAg+logZn logCu+logBa+ logMn	11.1285 a 14.5786	14.5786 a 15.90	Sobre 15.90

TABLA VI.3

ORO.- En el plano correspondiente se puede ver claramente en el perfil que existe una buena respuesta sobre los clavos conocidos. A pesar de que no fue posible definir los límites de threshold y anomalía, se observan muestras con valores lo suficientemente elevados como para indicar la presencia de zonas de interés. Si se observan los valores que se presentan en los barrenos, es obvio que las concentraciones de este metal se incrementan a profundidad hasta un cierto nivel, en este caso indicado por la curva de isovalores de 10, la cual muestra una tendencia sensiblemente paralela al contacto geológico entre el Grupo Volcánico Inferior y el Superior. En general, se concluye que a partir de las zonas de altos valores, las concentraciones disminuyen hacia arriba hasta llegar a la superficie donde únicamente 4 muestras superaron el límite de 1.0 p.p.m.

PLATA.- En lo que respecta a este elemento, muestra una correlación baja con los demás, pero sus zonas de alta concentración coinciden con las del Au; sin embargo, su dispersión es mucho más amplia que la de éste, ya que la curva del threshold, en el muestreo de barrenos queda abierta hacia la superficie en ambos clavos, manifestándose como unos altos muy pronunciados en el perfil geoquímico. Inclusive el clavo Centenario Poniente aparentemente se refleja en superficie por Ag. En conclusión, éste es un buen elemento indicador.

ZINC.- Al observar este elemento, llama la atención por su mayor afinidad con el oro, manifestándose por una coincidencia en anomalías, en lo que respecta a los resultados del muestreo de los barrenos. Las zonas anómalas también se asocian al contacto entre el Grupo Volcánico Inferior y Superior. A pesar de que los valores decrecen hacia arriba, en el muestreo superficial se detectaron valores anómalos que indican los clavos, principalmente en El Carmen.

BARIO.- Este elemento, muestra una moderada correlación inversa con el oro (-.547), por lo cual las anomalías no coinciden, además al contrario de lo que ocurre con este elemento,

las concentraciones aumentan hacia arriba, obteniéndose valores muy altos en superficie. Debido a lo anterior, las curvas de isovalores configuradas con el muestreo de barrenos, están abiertas hacia la superficie. Por eso, se concluye que el Ba es el mejor elemento indicador de los clavos auríferos ocultos.

c)-Muestreo de las vetas Las Casas-Rosario en superficie.

Durante el desarrollo de este trabajo, se colectaron únicamente 31 muestras; no fue posible obtener más, debido a que los afloramientos son muy escasos. Sin embargo, se elaboró el análisis estadístico, el cual se debe tomar con reservas por su pequeña población.

En la tabla VI.4, se muestran los estadígrafos y en la figura VI.9, las correlaciones existentes entre los elementos analizados. Resulta muy notorio que así como el sistema Ciénega-Jessica-Arroyo de Plata conforman una entidad geoquímica, las vetas Las Casas-Rosario constituyen otro, por lo cual se agruparon todas las muestras colectadas en este último sistema como se hizo en el primero. Los resultados de los análisis de las muestras de los barrenos, por su escaso número sirvieron únicamente para delinear tendencias muy generales.

A continuación se comentan los las gráficas obtenidas.

SUMATORIA DE LOG Ag+ LOG Zn+ LOG Cu+ LOG Ba+ LOG Mn.

Esta relación, como puede verse en el plano ubicado en el apéndice 5 define las dos anomalías por bario y plata en la veta Rosario. En el caso de la estructura Las Casas resalta una anomalía directamente sobre la proyección en superficie de la intersección del barreno LCA-1. Las otras anomalías que se reflejaron por Ba, se suavizan, persistiendo el valor alto detectado por la muestra M-295.

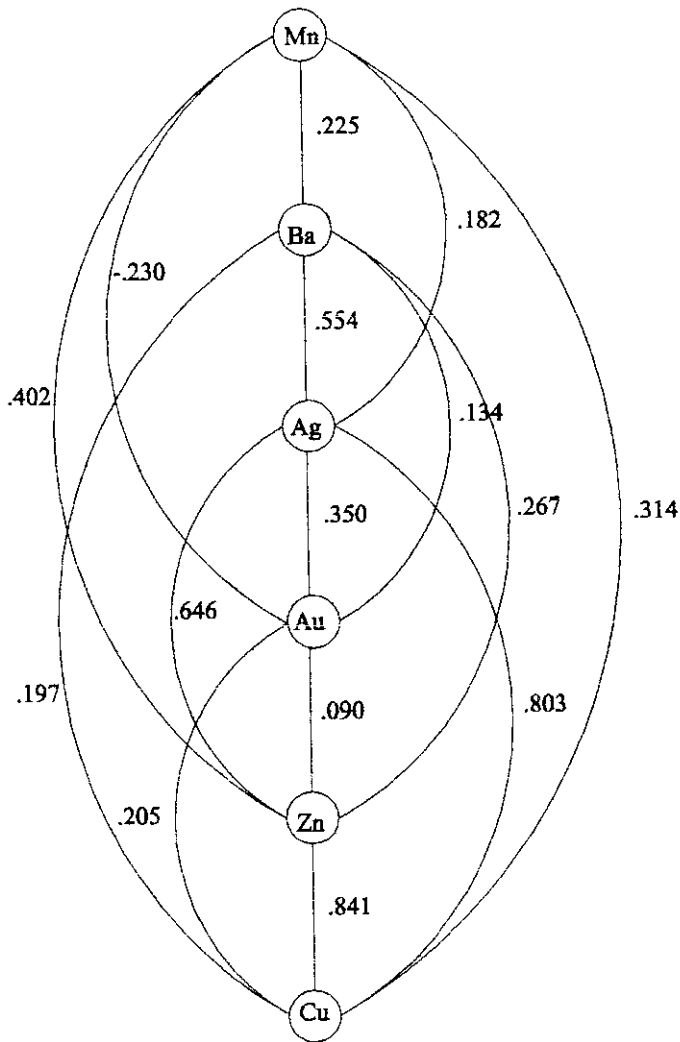
MUESTREO DE VETAS EN SUPERFICIE
LAS CASAS - ROSARIO, VALORES EN P.P.M.

ELEMENTO	BACKGROUND	THRESHOLD	ANOMALIA
Au	0.00 a 0.05	No definido	No definida
Ag	0.35 a 38.70	38.80 a 86.60	Sobre 86.60
Zn	8.0 a 136.7	No definido	No definida
Cu	2.0 a 13.7	No definido	No definida
Ba	540.0 a 64136.0	64137.0 a 76542.0	Sobre 76542.0
Mn	50.0 a 158.5	158.6 a 631.0	Sobre 631.0
Sum logAg+logZn logCu+logBa+ logMn	5.18 a 11.90	12.00 a 14.00	Sobre 14.0

TABLA VI.4

FIGURA VI.9

MUESTREO SUPERFICIAL VETAS LAS CASAS-ROSARIO RESUMEN DE CORRELACIONES



RESUMEN

Au-Ag	.350
Au-Cu	.205
Au-Zn	.090
Au-Ba	.134
Au-Mn	-.230
Ag-Cu	.803
Ag-Zn	.646
Ag-Ba	.554
Ag-Mn	.182
Cu-Zn	.841
Cu-Ba	.197
Cu-Mn	.314
Zn-Ba	.267
Zn-Mn	.402
Ba-Mn	.225

**U
N
A
M**

FACULTAD DE INGENIERÍA

MUESTREO SUPERFICIAL
VETAS LAS CASAS-ROSARIO
RESUMEN
DE CORRELACIONES

FIGURA VI.9

José Morales Rodríguez

TESIS PROFESIONAL
NOVIEMBRE - 2000

ORO.- Por este elemento, la respuesta es moderadamente alta en la veta Las Casas, y únicamente en los puntos M-290, M-296 y M-301. Debido a los pocos barrenos dados, no se pueden inferir tendencias confiables, probablemente queden abiertas hacia abajo.

PLATA.- En el perfil se muestra una anomalía ubicada sobre la intersección del barreno LCA-1 con la veta, así como otra localizada en las inmediaciones de la proyección de la intersección del barreno R-1. En ambos casos con la escasa información de los barrenos se infiere que las anomalías quedan abiertas hacia abajo, lo mismo se intuye para los barrenos LCA-3, LCA-4 y R-2.

ZINC.- Para este elemento, no fue posible definir ni el threshold, ni la anomalía. Los valores son relativamente bajos en el muestreo superficial, exceptuando dos puntos (como se muestra en el plano 8 del apéndice 4). En la localidad M-352, que fue la más alta, se observó escasa galena y trazas de esfalerita; sin embargo se observa alguna tendencia de los valores a aumentar a profundidad.

BARIO.- Los resultados por este elemento, son los que más hacen pensar en que existe una diferencia notable entre el sistema de vetas La Ciénega-Jessica-Arroyo de Plata. Como puede verse en el plano correspondiente en el apéndice 5, los valores son extraordinariamente elevados.

De dos áreas claramente anómalas, en la veta Rosario, una de ellas comprende de las muestras M-348 a la M-351 y la otra de M-338 a M-341. En la veta Las Casas el punto M-301 y los M-295, 296 y 297 definen una anomalía que se deberá detallar mejor.

Los altos valores de bario y los bajos por los otros elementos (pero que de cualquier manera presentan anomalías), hacen suponer que este sistema se encontrará a un nivel más alto con respecto al integrado por las vetas Ciénega-Jessica-Arroyo de Plata. Por consiguiente, se

recomienda, como se dijo anteriormente, detallar las anomalías por bario y explorarlas con barrenos más profundos.

d)-Muestreo de nuevas áreas.

Al finalizar el muestreo de rutina para modelar geoquímicamente las vetas conocidas, existentes en el proyecto, se recorrió una zona situada al SE de la Ciénega.

Las muestras 280, 281 y 282, fueron tomadas sobre zonas oxidadas, pero no se discuten porque no revelaron nada de interés como ocurrió también con la 362. Sin embargo, las numeradas del 355 hasta la 365, exceptuando la 362, las cuales fueron tomadas sobre una estructura brechada vetiforme, con espesor promedio de 2.0 m y una amplia zona de oxidación, resultaron anómalas por bario. Las rocas encajonantes de esta estructura, son las ignimbritas y riolitas de la parte alta del Grupo Volcánico Superior, por lo cual se infiere que se debe estar en la parte más elevada del sistema hidrotermal. Esta zona está marcada con el número I en el plano de muestreo superficial ubicado en el apéndice 2.

Las muestras comprendidas entre los números 366 a 390, inclusive, fueron tomadas en la zona marcada con el número II, en el plano del apéndice 2, lugar donde se observa una breccia con afloramientos intermitentes, ya que en gran parte está cubierta por suelos y depósitos de talud. A pesar de que los resultados fueron bajos se deberían tomar algunas muestras más.

Para este grupo de muestras, se presentan los estadígrafos en la tabla VI.5 y el resumen de correlaciones se muestran en la figura VI.10.

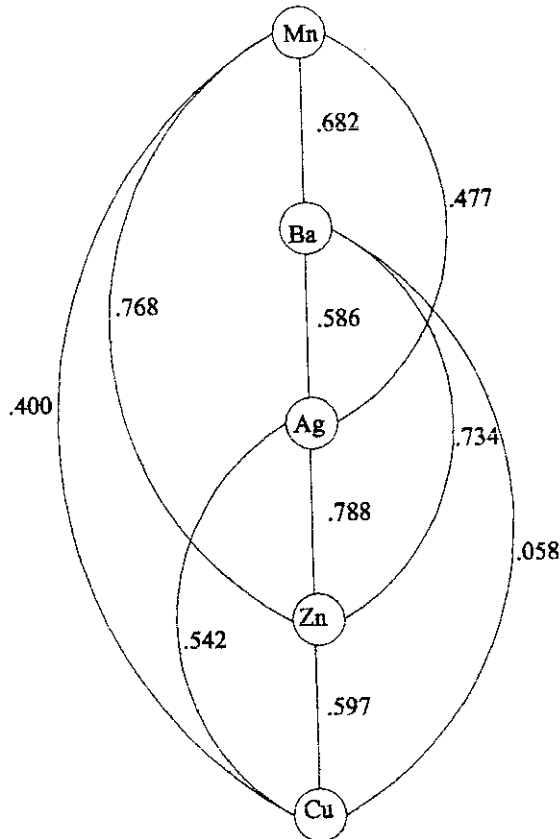
**MUESTREO DE AREAS NUEVAS.
VALORES EN P.P.M.**

ELEMENTO	BACKGROUND	THRESHOLD	ANOMALIA
Au	0.00 a 0.05	0.06 A 0.54	Sobre 0.54
Zn	2.0 a 13.4	13.5 a 28.2	Sobre 28.2
Cu	2.0 a 3.2	No definido	No definida
Ba	50.0 a 762.3	762.4 a 1090.2	Sobre 1090.2
Mn	80.0 a 263.9	No definido	No definida

TABLA VI.5

FIGURA VI.10

NUEVAS AREAS RESUMEN DE CORRELACIONES



RESUMEN

Ag-Cu	.542
Ag-Zn	.788
Ag-Ba	.586
Ag-Mn	.477
Cu-Zn	.597
Cu-Ba	.058
Cu-Mn	.400
Zn-Ba	.734
Zn-Mn	.768
Ba-Mn	.682

U N A M	FACULTAD DE INGENIERÍA	
	NUEVAS AREAS RESUMEN DE CORRELACIONES	
	FIGURA VI.10	
	José Morales Rodríguez	TESIS PROFESIONAL NOVIEMBRE - 2000

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

CONCLUSIONES.

- 1) El halo de dispersión primaria en torno al clavo El Carmen de la veta La Ciénega, se define mejor con la sumatoria de la plata, el zinc, el cobre, el bario y el manganeso, el cual tiene una amplitud de 45 metros al alto de la estructura, al bajo la dispersión es errática, por esta razón, se recomiendan los muestreos litogeoquímicos superficiales para trabajos de mucho detalle.
- 2) Los elementos o relaciones que mejor indican los clavos de las vetas La Ciénega y Jessica, en muestreos superficiales, son en orden decreciente, la sumatoria de la plata, el cobre, zinc, bario y manganeso y el bario, la plata, el oro y el zinc, vistos como elementos individuales.
- 3) Se obtuvieron anomalías muy altas por bario en las vetas Las Casas-Rosario, lo cual muy probablemente indica que el nivel de erosión es muy alto.
- 4) Se detectó una zona interesante ubicada al este del proyecto, la cual está marcada con el número I en el plano de muestreo superficial.

RECOMENDACIONES.

- 1) Se descarta el muestreo siguiendo un patrón sistemático reticular debido a que se requeriría un gran número de muestras para cubrir toda el área del proyecto.
- 2) Se recomienda en todo caso, muestrear todas las evidencias de fugas de sistemas hidrotermales que se pueden presentar en el área del proyecto e interpretarlas de acuerdo al modelo elaborado.
- 3) Investigar con barrenación a diamante la continuidad a profundidad de los clavos El Carmen y Jessica, así como las zonas Centenario Poniente y El Centenario. En la proyección superficial de estas dos últimas zonas se observan respuestas geoquímicas y sería de esperarse que existiera mineralización económica a la altura del contacto entre los Grupos Volcánicos Superior e Inferior. Obsérvese que esto ocurre en el clavo Jessica.
- 4) Debido a los altos valores de bario, en las vetas Las Casas y Rosario, se recomienda detallar mejor las anomalías, e investigarlas con barrenos más profundos que los dados anteriormente.
- 5) De las zonas muestreadas al E del proyecto La Ciénega, la que corresponde al I, y que aparece en el plano de muestreo superficial, resultó anómala por bario, se recomienda hacerle trabajos de detalle.

V. BIBLIOGRAFÍA.

BEUSS A.A. and GRIGORIAN S.V., 1977. Geochemical Exploration Methods for Mineral Deposits. Applied Publishing Ltd.

FLORES S. GUILLERMO., 1985. Informe de Avance Proyecto La Ciénega. Reporte Interno, S.I.P.S.A. DE C.V.

FYFE W.S., 1970. Geochemistry of Solids. Mc Graw Hill Book Company.

FYFE W.S., PRICE N.J. and THOMPSON A.B., 1978. Fluids in the earth's Crust. Elsevier Scientific Publishing Company.

HEDENSQUIT, IZAWA, ARRIBAS and WHITE., 1996. Epithermal gold deposits: Styles, characteristics, and exploration. Society of Resource Geology. Tokyo, Japan.

LEPELTIER, C., 1969. A simplified statistical treatment of geochemical data by graphical representation. Econ. Geol., 64: 538-550.

LEVINSON A.A., 1980. Introduction to Exploration Geochemistry. Applied Publishing Ltd.

LOERA, F., 1982. The La Ciénega Vein and It's Geological Setting, Durango México. Unpublished M.S. Thesis. University of Arizona.

POLIKARPORCHKIN V.V; KITAYEV N.A. and SARAPULOVA V.N., 1965. Structure and Vertical Zonation of the Primary Dispersion Aureoles at the Baley Gold Deposits. Institute of Geochemistry, Siberian Branch of the Academy of Sciences USSR.

ROSE A.W., HAWKES H.E. and WEBB J.S., 1979. *Geochemistry in Mineral Exploration*. Academic Press.

SINCLAIR, A. J., 1974. Selection of thresholds in geochemical data using probability graphs. *J. Geochem. Explor.*, 3: 129-149.

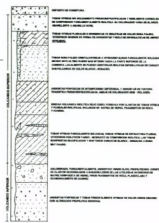
SIEGEL F.R., 1977. *Applied Geochemistry*. A Wiley Interscience Publication.

APÉNDICE 1

PLANO GEOLÓGICO.

EXPLICACION

LITOLOGIA



SIMBOLOS GEOLOGICOS



SIMBOLOS TOPOGRAFICOS



ESCALA 1:20 000

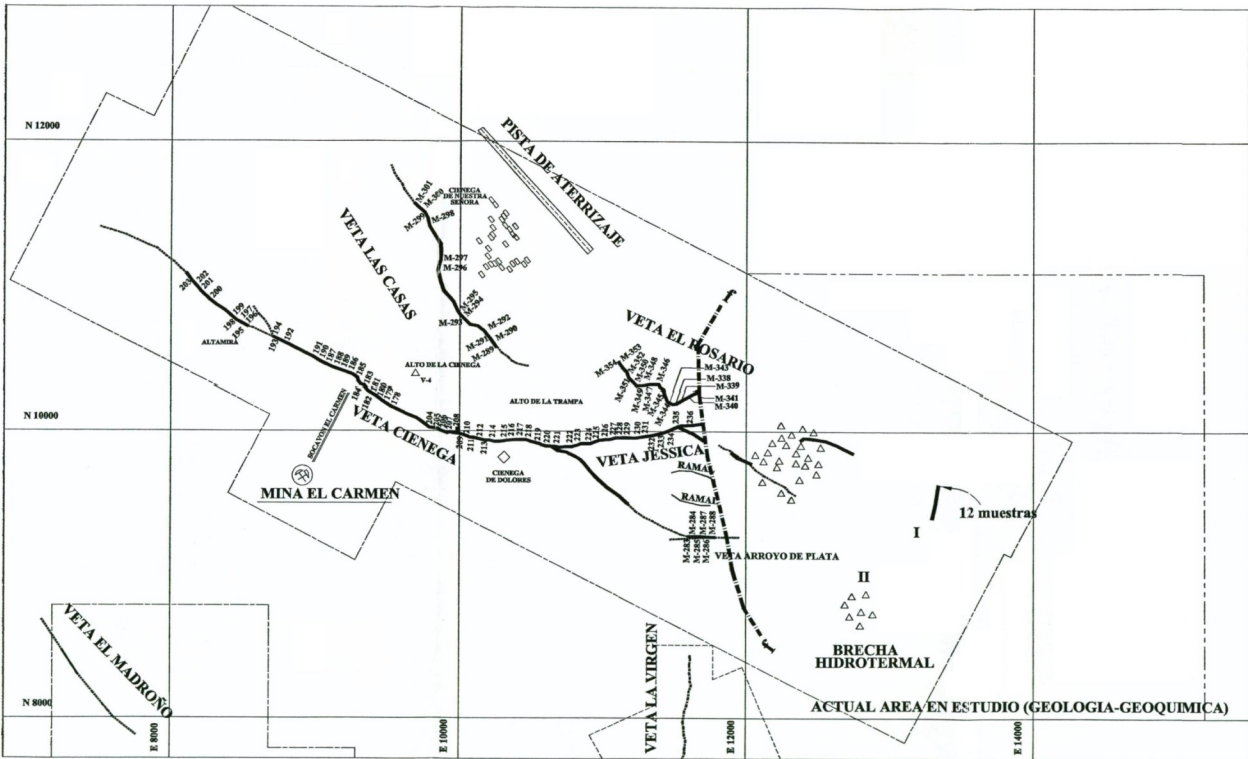


U. N. A. M.
FACULTAD DE INGENIERIA
PROYECTO LA CIENEGA
MUNICIPIO DE SANTIAGO PAPAHOARD DGO.
GEOLOGIA REGIONAL

José Mondragón Rodríguez TESIS PROFESIONAL Estado público
 Diciembre, 2008

APÉNDICE 2

PLANO DEL MUESTREO SUPERFICIAL.



EXPLICACION

- Poblado
- Vértice Topográfico
- Límite de fundo minero
- P.P. Punto de partida
- Mina
- Muestra geoquímica
- Veta
- Veta Inferida
- Zona Brechada
- Falla

ESCALA GRAFICA



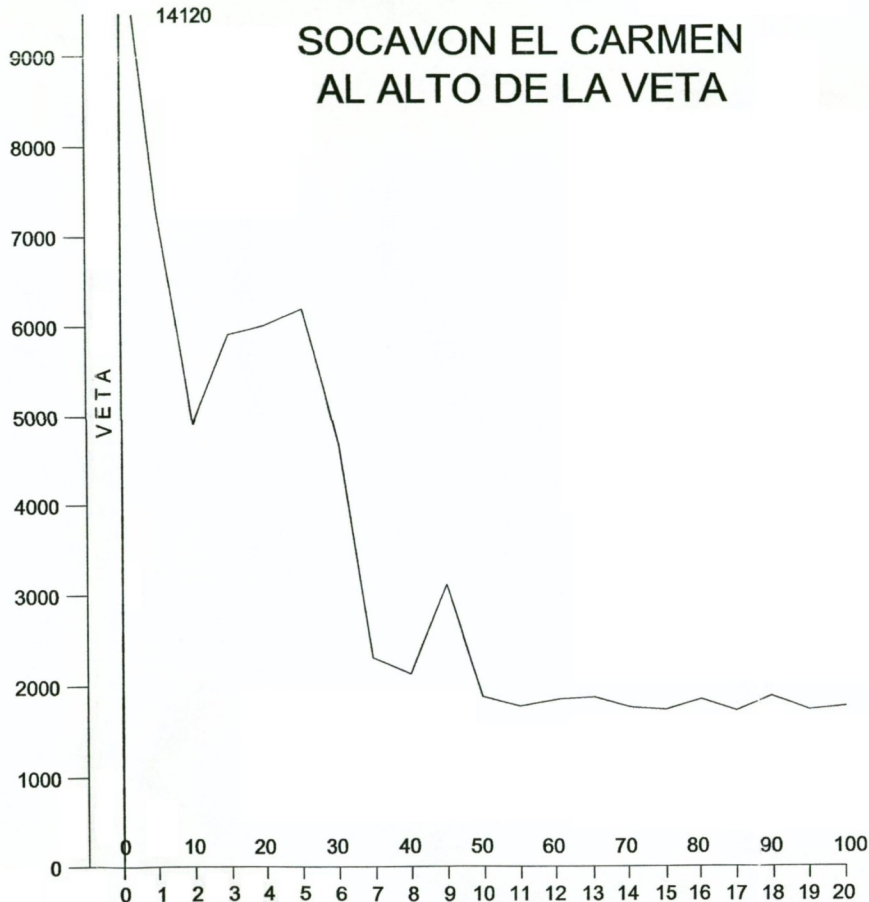
U. N. A. M.
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 PROYECTO LA CIÉNEGA
 Municipio de Santiago Papasquiaro Dgo.
 PLANO DE LOCALIZACIÓN DE MUESTRAS

José Miravalles Rodríguez | Tesis profesional | Escala gráfica
 Diciembre, 2009.

APÉNDICE 3

**HISTOGRAMAS, CURVAS DE PROBABILIDADES Y
MATRIZ DE CORRELACIÓN DEL MUESTREO
SUPERFICIAL DE LAS VETAS LA CIÉNEGA-
JESSICA.**



Σ p.p.m. Ag+Zn+Cu+Ba+Mn



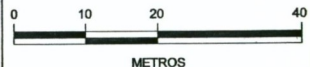
SOCAVON EL CARMEN AL ALTO DE LA VETA

PERFIL 1

EXPLICACION

-  Perfil geoquímico
- 13** Muestra geoquímica
-  Ag+Zn+Cu+Ba+Mn

ESCALA GRAFICA

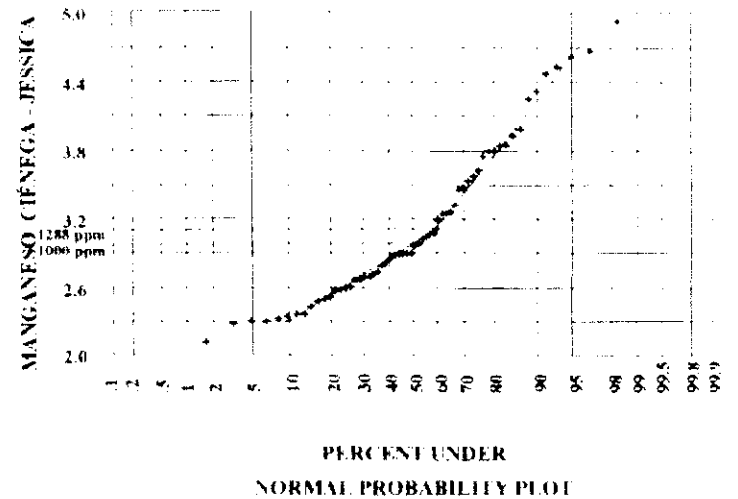
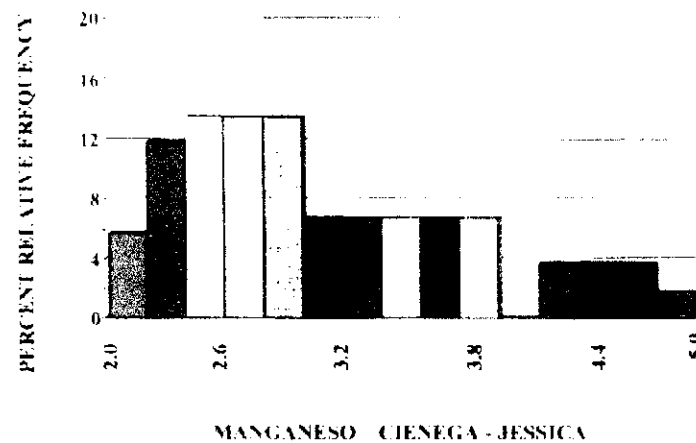
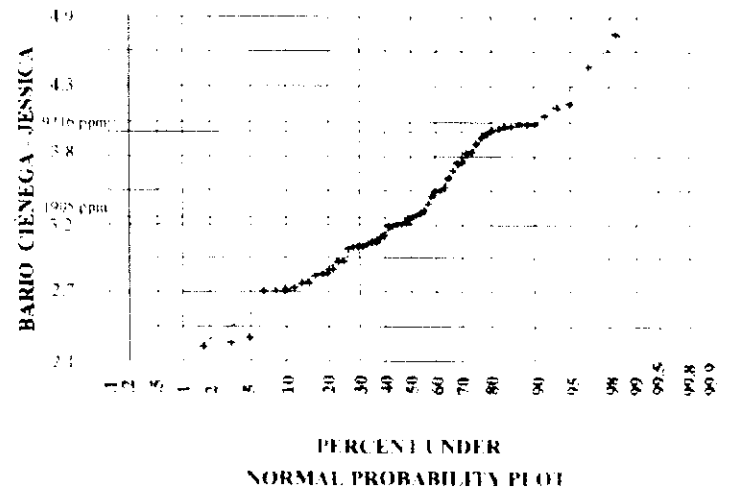
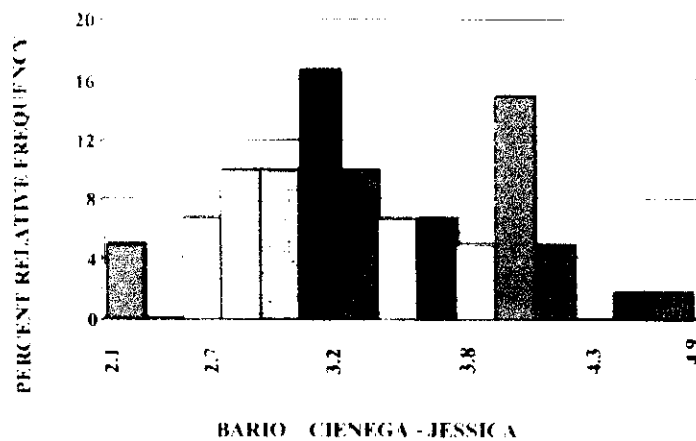
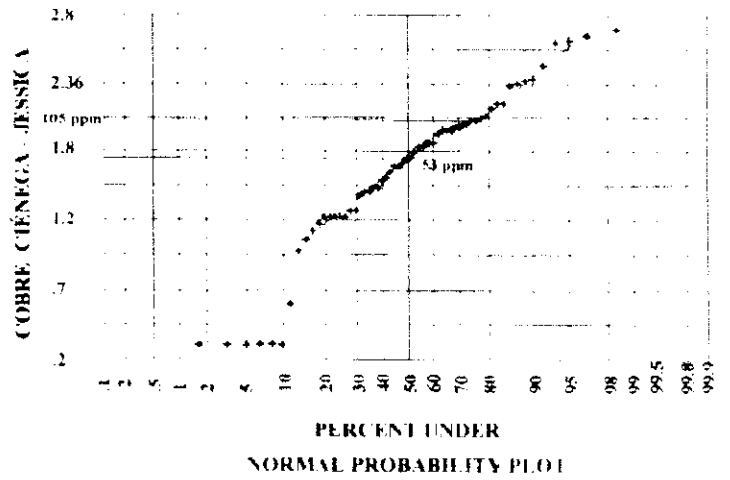
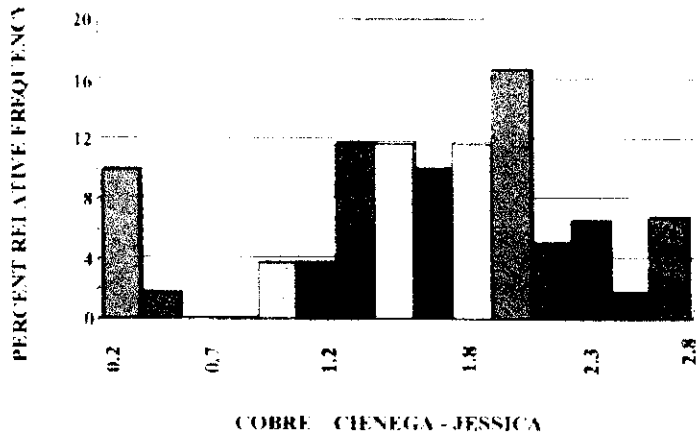


U. N. A. M.
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROYECTO LA CIENEGA
Municipio de Santiago Papasquiaro Dgo.
Perfil geoquímico mostrando el halo de
Dispersión primaria al alto de la veta La
Ciénega, en el socavón El Carmen.

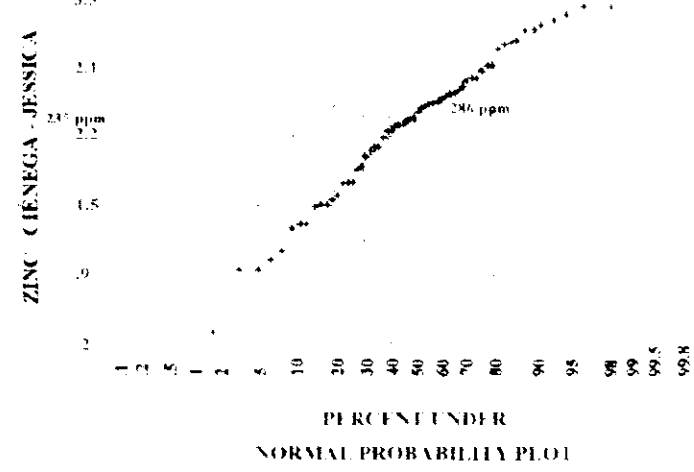
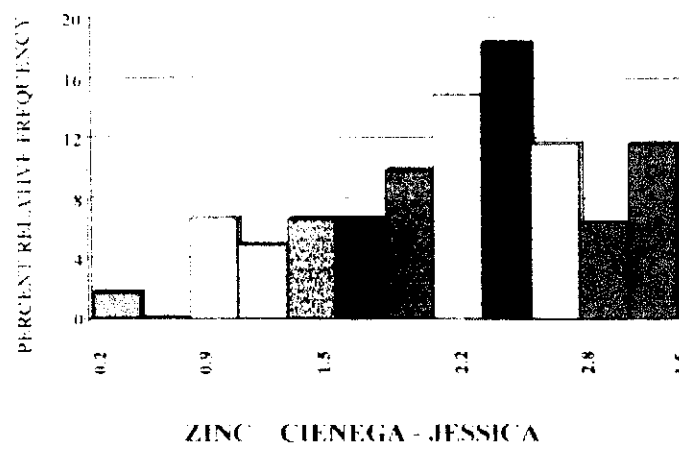
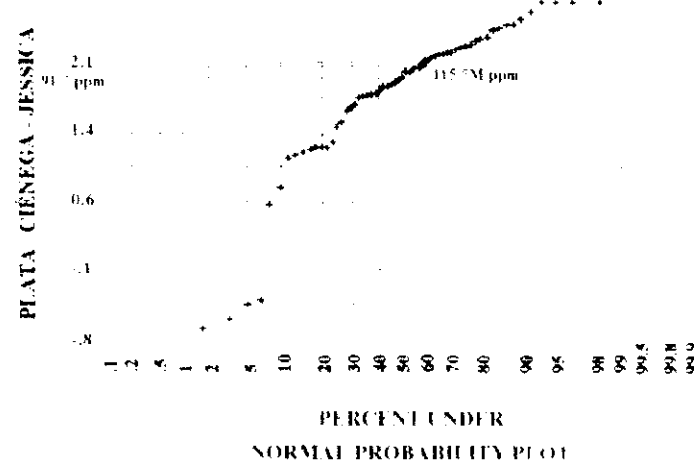
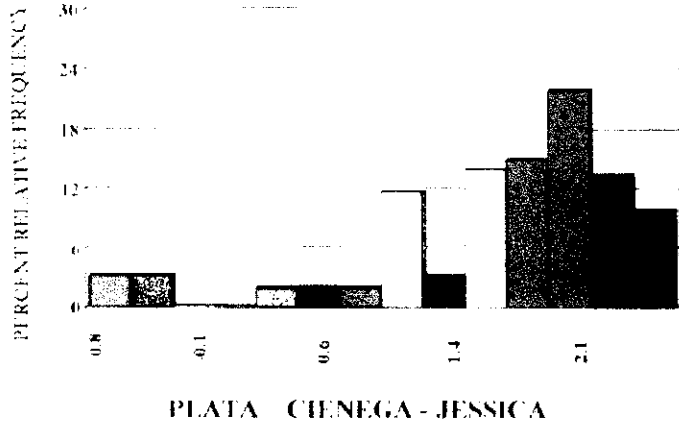
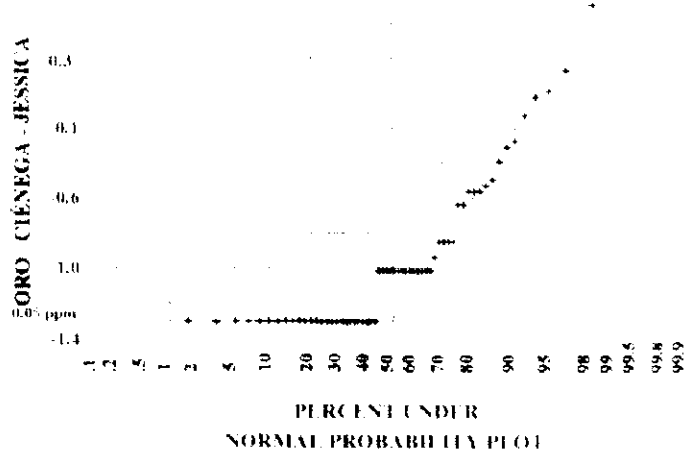
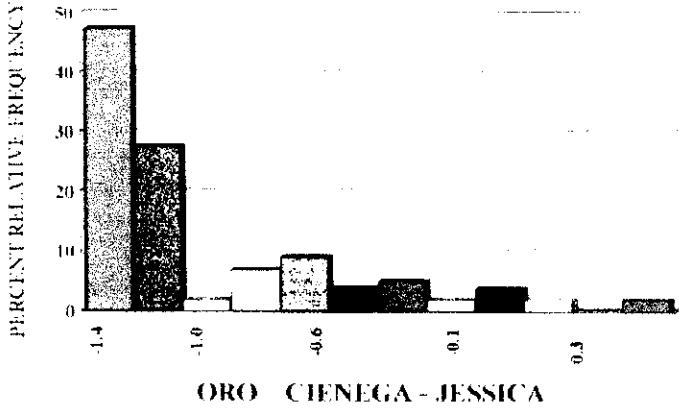
José Morales Rodríguez | Técnico profesional | Escala gráfica
Diciembre, 2000

metros
No. DE MUESTRA

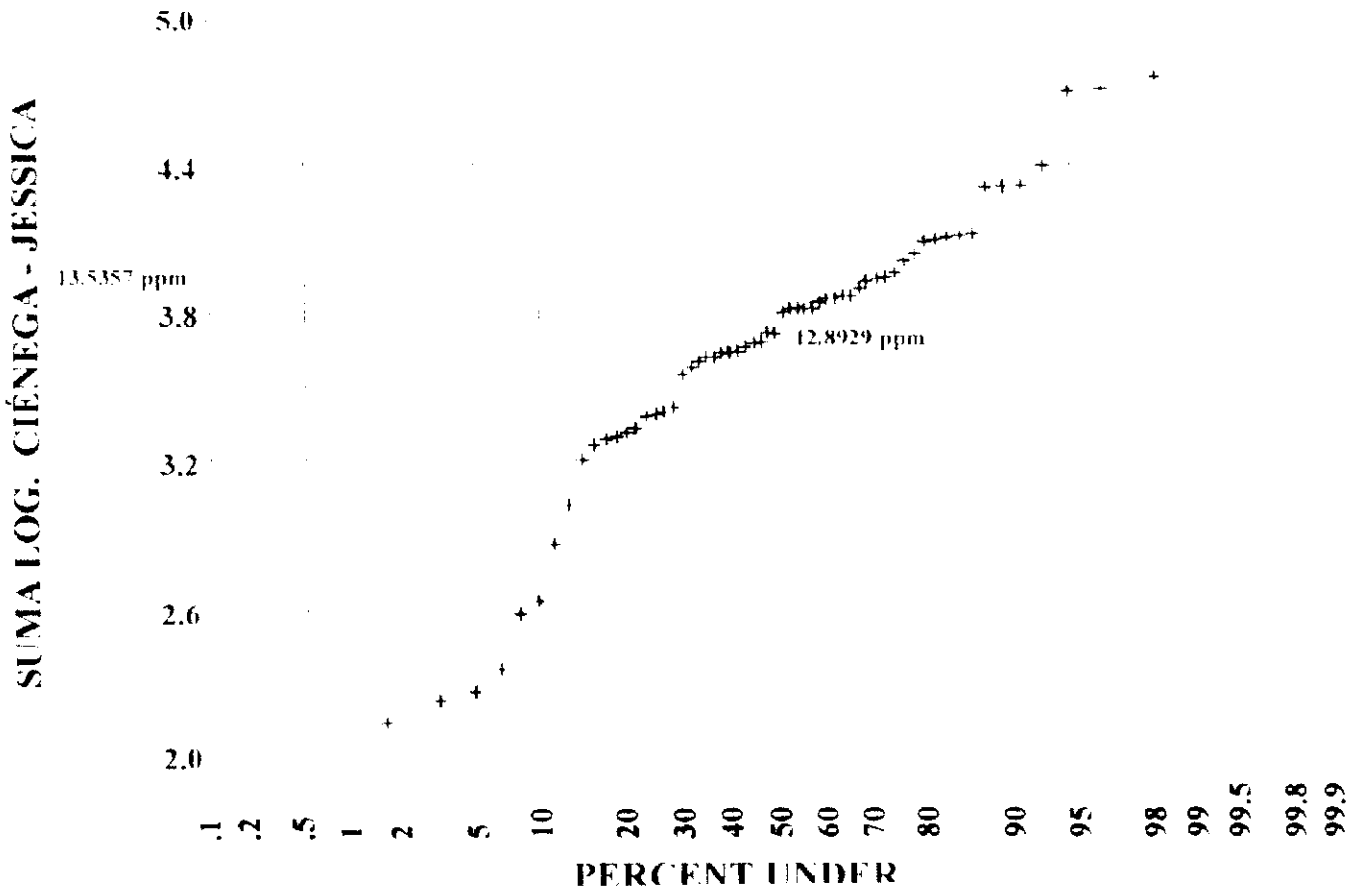
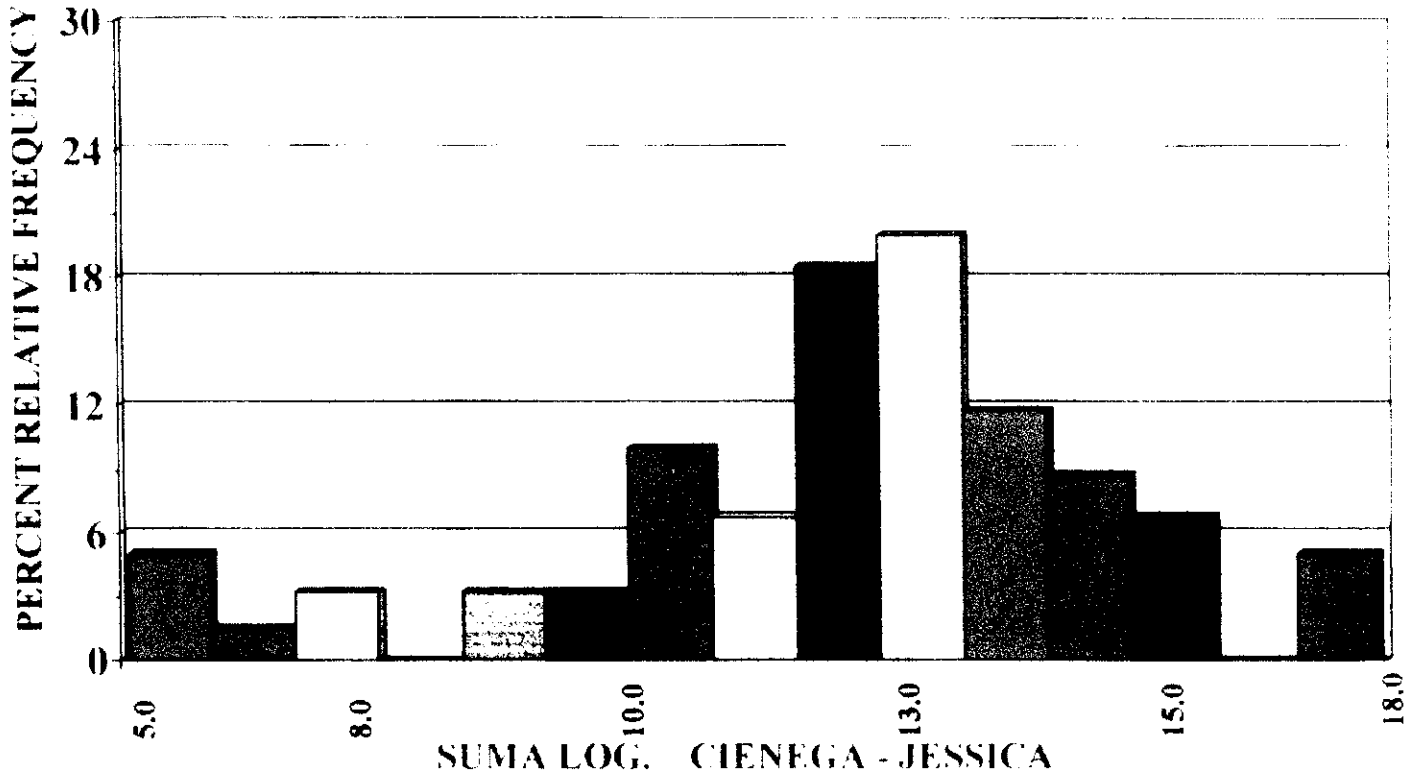
MUESTREO DE VETAS EN SUPERFICIE



MUESTREO DE VETAS EN SUPERFICIE



MUESTREO DE VETAS EN SUPERFICIE



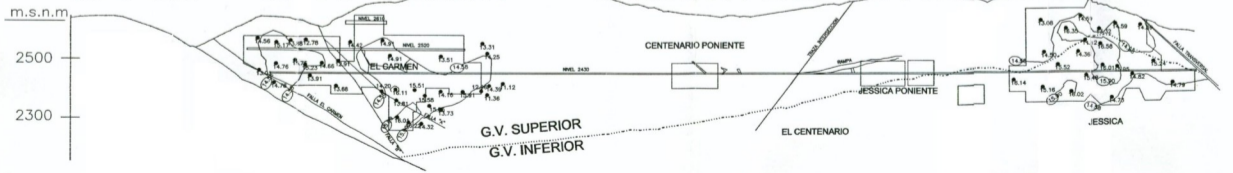
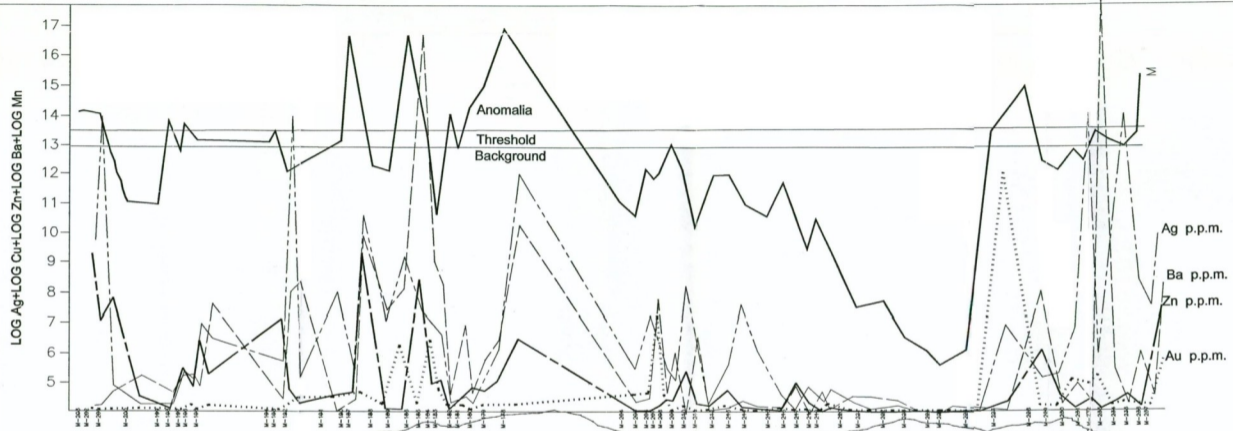
MATRIZ DE CORRELACIONES

MUESTREO SUPERFICIAL DE LAS VETAS LA CIÉNEGA-JESSICA

	PLATA	COBRE	ZINC	BARIO	MANGANESO
ORO	.431	.288	.097	.369	.065
PLATA		.776	.643	.310	.193
COBRE			.812	.232	.317
ZINC				.238	.508

APÉNDICE 4

PERFÍL GEOQUÍMICO DEL MUESTREO EN EL CLAVO EL CARMEN.



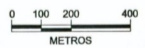
EXPLICACION

- Faja
- Traza de las vetas Clénega-Jessica
- Contacto geológico
- Perfil Topográfico
- Bloque de mineral económico
- Obra minera
- Perfil geoquímico
- Muestra geoquímica superficial
- Muestra geoquímica de barrenos, con su valor en P.P.M.
- Curvas de isovisiones

ESTADIGRAFOS

MUESTRO SUPERFICIAL	MUESTRO DE BARRENOS
BACKGROUND 12.800	BACKGROUND 11.53 + 14.88
THRESHOLD 12.800 + 13.887	THRESHOLD 14.58 + 15.88
ANOMALIA SOBRE 13.887	ANOMALIA SOBRE 15.88

ESCALA GRAFICA

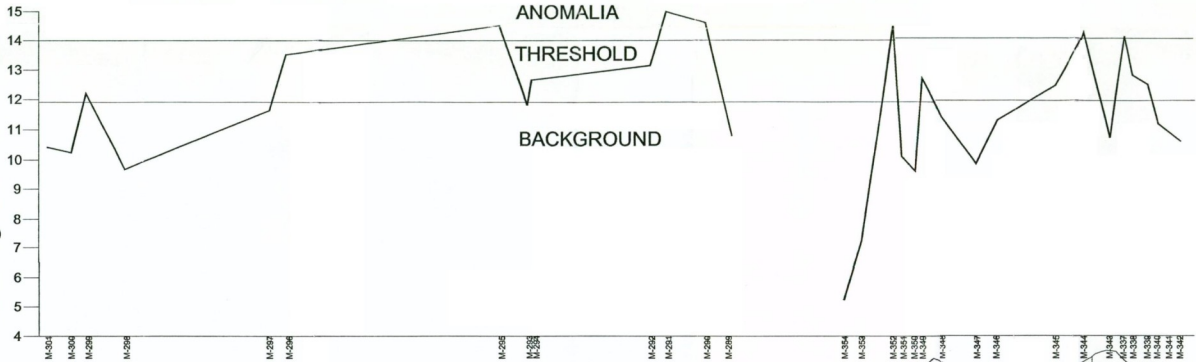


U. N. A. M.
FACULTAD DE INGENIERÍA.
PROYECTO LA CIENEGA
 Municipio de Santiago Papasquiaro Dgo.
 Elng Ag+log Zn+log Ba+log Mn, perfil
 topográfico y clasificación de minerales de barrenos.
Vetas Clénega-Jessica
 José Morales Rodríguez | Tesis Profesional
 Diciembre, 2010 | Escala gráfica

APÉNDICE 5.

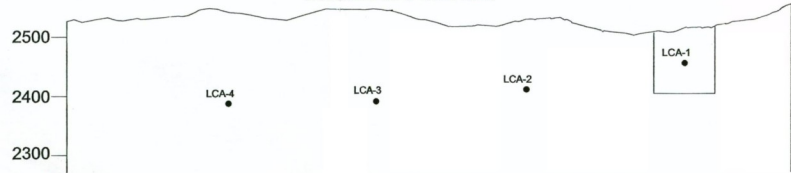
**PLANOS CON LA INTERPRETACIÓN DEL
MUESTREO DE BARRENOS Y SUPERFICIE DE LAS
VETAS CIÉNEGA-JESSICA Y LAS CASAS-
ROSARIO.**

LOG. Ag+Zn+Cu+Ba+Mn



m.s.n.m.






VETA LAS CASAS
SECCION RBO. N35°W VIENDO AL NE



VETA ROSARIO
SECCION RBO. N 35°W VIENDO AL NE



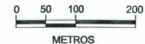
EXPLICACION

-  Perfil geoquímico
-  Perfil Topográfico
-  Zonas de mineral de interés
-  M-301 Muestra geoquímica superficial
-  LCA-1 Localización de Barrinos

ESTADIGRAFOS

MUESTREO SUPERFICIAL	
BACKGROUND	-----
THRESHOLD	-----
ANOMALIA	-----

ESCALA GRAFICA



U. N. A. M.
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROYECTO LA CIENEGA
Municipio de Santiago Papasquiaro Dgo.
Elog Ag+log Zn+log Cu+log Ba+log Mn
y Perfil geoquímico superficial
Vetas Las Casas-Rosario

José Manuel Rodríguez Tesis profesional Diciembre, 2000 Escala gráfica