



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

EVALUACION GEOLOGICA Y ECONOMICA DEL
PROSPECTO LA CRUZ, MUNICIPIO DE COYUCA
DE CATALAN, GUERRERO, MEXICO.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO GEOLOGO

P R E S E N T A:

SERGIO ENRIQUE RODRIGUEZ TAPIA

ASESOR: ING. GERMAN ARRIAGA GARCIA



MEXICO, 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-I-083

SR. SERGIO ENRIQUE RODRIGUEZ TAPIA
Presente

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

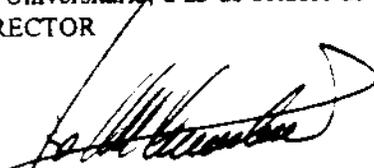
EVALUACION GEOLOGICA Y ECONOMICA DEL PROSPECTO LA CRUZ, MUNICIPIO DE COYUCA DE CATALAN, GUERRERO, MEXICO

	RESUMEN
I	GENERALIDADES.
II	GEOLOGIA
III	YACIMIENTOS MINERALES
IV	GEOFISICA
V	GEOQUIMICA
VI	PROGRAMA DE BARRENACION
VII	CONCLUSIONES
	BIBLIOGRAFIA
	MAPAS E ILUSTRACIONES

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

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

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Ciudad Universitaria, a 25 de octubre de 1996
EL DIRECTOR


ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

A DIOS.

**A MIS PADRES:
AGUSTÍN Y ENRIQUETA (†)**

**A MIS HERMANOS:
AGUSTÍN Y RODRIGO (†)**

**A MI AMADA ESPOSA Y AMIGA TERE:
LA PAREJA QUE ANHELE SIEMPRE Y QUE AHORA ESTA A
MI LADO, POR SU ESPERA, PACIENCIA, APOYO Y AMOR
BRINDADO.**

**A MI HIJO RODRIGO:
MOTIVO SUFICIENTE PARA SEGUIR ADELANTE.**

**QUE FUERON Y SON EL MAS GRANDE
APOYO QUE PUDE TENER.**

**A LA MEMORIA DE MIS ABUELOS:
LUIS, JESÚS, MARIA DE LA LUZ, SATURNINA (†)**

**A LAS FAMILIAS RODRÍGUEZ ORTEGA Y TAPIA SOTO, QUE
ORGULLOSOS DEBEN ESTAR DE ESTE LOGRO QUE
TAMBIEN ESTA DEDICADO A ELLOS.**

AGRADECIMIENTOS

Para la elaboración de este trabajo se conjugaron varios factores que permitieron su realización. Por esta razón quiero agradecer a Servicios Industriales Peñoles, S. A. de C. V., y a los Ing. Victor de la Garza Noriega e Ing. Roberto Téllez Herrera, la oportunidad y las facilidades brindadas para elaborar y presentar este trabajo recepcional.

Agradezco al Ing. Arturo Hernández Broca las enseñanzas brindadas a lo largo de mi estancia en el proyecto Mezcala, y por su apoyo para poder desarrollar este trabajo. A la brigada de prospección regional, en especial al Ing. Carlos Tavares T., durante la corta estancia del suscrito en el prospecto La Cruz, razón inicial para el desarrollo de este tema, y por su posterior asesoría.

Como una mención aparte, agradezco al Ing. J. Armando Zaragoza B., por sus consejos y sugerencias para finalizar este trabajo. A todo el personal de la Oficina de Exploración Toluca, por su camaradería y la colaboración brindada en la integración de información, en especial al Ing. Rodolfo Reyes O., al Sr. Mario Calderón C., y al Ing. Agustín Gordillo que imprimieron los mapas y secciones incluidas.

A cada uno de los sinodales, que se tomaron el tiempo para revisar y hacer recomendaciones para el mejoramiento de este trabajo. A todos los profesores de la carrera de Ingeniero Geólogo de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, por su esfuerzo para transmitir lo mejor de sus conocimientos y conducir a los estudiantes, hacia la solución de problemas con los que se encontrarán en su quehacer profesional.

CONTENIDO

	Página
LISTA DE FIGURAS Y FORMAS	vii
LISTA DE TABLAS Y CONTENIDO DEL ANEXO DE MAPAS Y SECCIONES	viii
RESUMEN	ix
I. GENERALIDADES	1
Introducción	1
1. Objetivo	1
2. Trabajos previos	1
3. Clima	3
4. Flora y fauna	3
5. Localización y acceso	4
6. Infraestructura	5
Carreteras y caminos	5
Ferrocarril	5
Transportación aérea	5
Agua	5
Mano de obra	6
Energía eléctrica	6
7. Método de trabajo	6
II. GEOLOGÍA	7
1. Geomorfología	7
2. Geología Regional	8
3. Estratigrafía	9
Asociación del Basamento (Prejurásico Superior)	11
Complejo Placeres	11
Secuencia de Arco Jurásico-Cretácico	12
Formación Zirándaro – Angao	12
Formación Comburindio	14
Formación San Lucas	14
Formación El Cajón	15
Formación Huetamo	15
Formación Mal Paso	15
Formación Cutzamala	16
Grupo Balsas	16
4. Geología Local	16
Secuencia volcanosedimentaria	17
Cretácico Inferior, Formación Comburindio-San Lucas	17
Rocas Igneas Intrusivas	17
Cretácico	17
Terciario Inferior	18
Rocas Metamórficas	18
Mármol	18
Skarn de granate y piroxeno	18
Hornfels	19
Epidosita	19
5. Geología estructural regional	19
Geología estructural local	19
6. Contexto geodinámico regional	20
III. YACIMIENTOS MINERALES	23
1. Generalidades	23
2. Origen de la mineralización	24
3. Mineralización	24

1. Forma	25
2. Dimensiones	25
3. Mineralogía	26
4. Metalurgia	26
4. Alteraciones	27
5. Controles de la mineralización	28
a. Control litoquímico	28
b. Control estructural	28
IV. GEOFÍSICA	29
1. Polarización Inducida	29
2. Metodo de trabajo	30
3. Cargabilidad y detección de anomalías.	31
Medición de la polarización inducida	31
Operación de campo	32
4. Interpretación y detección de las anomalías	33
5. Resistividad	34
6. Factor Metálico	37
7. Integración de Datos	38
8. Magnetometría	38
1. Magnetismo en rocas	39
2. Técnicas de magnetometría terrestre	41
3. Aeromagnetometría	41
4. Interpretación de anomalías magnéticas	41
9. Interpretación de resultados	42
V. GEOQUÍMICA	46
1. Introducción y generalidades	46
1. Halos primarios y dispersión primaria	47
2. Dispersión secundaria	47
2. Selección del elemento o grupo de elementos indicadores	48
3. Trabajos realizados	48
1. Preparación en laboratorio	49
4. Análisis estadístico	49
1. Análisis de correlación	49
2. Parámetros estadísticos	52
3. Planos de anomalías geoquímicas	58
5. Interpretación de resultados	58
VI. PROGRAMA DE BARRENACION CON CIRCULACIÓN INVERSA	59
1. Introducción	59
1. Definición	59
2. Ventajas del método	60
3. Desventajas del método	60
2. Descripción de equipo y herramienta	61
3. Supervisión de la operación	62
4. Descripción de barrenos	63
5. Objetivo y finalidad del muestreo	65
6. Generación, registro y captura de la información	67
7. Operación	67
8. Resultados	68
VII. CONCLUSIONES	74
BIBLIOGRAFÍA	76

LISTA DE FIGURAS Y FORMAS

Figura	Página
1. Localización del prospecto La Cruz.	4
2. Provincias geológicas de México.	7
3. Panorámica del cerro La Cruz.	8
4. Terrenos tectonoestratigráficos de México.	9
5. Localización del terreno Guerrero, y unidades mayores.	10
6. Subdivisión del terreno Guerrero.	10
7. Columnas estratigráficas del subterreno Huetamo.	12
8. Mapa geológico regional de la región de Ciudad Altamirano.	13
9. Fotografía de afloramiento de interdigitación tobas-calizas.	18
10. Reconstrucción esquemática del ambiente de depósito de la secuencia de arco Jurásico-Cretácico en el subterreno Huetamo.	21
11. Sección geológica esquemática del sur del terreno Guerrero, y reconstrucción de las principales asociaciones estratotectónicas.	22
12. Representación esquemática de un sistema inferido de pórfido de cobre, relacionado a un skarn, depósitos metasomáticos y vetas hidrotermales.	24
13. Fotografía de afloramiento de cuerpo de magnetita, área La Parotita.	26
14. Mecanismos de polarización inducida, a) polarización de membrana y b) polarización de electrodo.	30
15. Gráfica del fenómeno de polarización inducida.	32
16. Configuración de electrodos utilizados en mediciones de polarización inducida.	33
17. Perfil de PI en el dominio del tiempo usando un arreglo polo-dipolo sobre el cuerpo Gordtrum de Cu-Ag, en Irlanda.	34
18. Parámetros utilizados para definir resistividad .	35
19. Configuración de electrodos Wenner y Schlumberger.	37
20. Representación esquemática de la intensidad y orientación de dipolos elementales en los dominios ferrimagnéticos, ferromagnéticos y antiferromagnéticos.	39
21. Histograma mostrando valores medios y rangos de susceptibilidad de tipos comunes de rocas.	40
22. Un típico plan de vuelo para un levantamiento aeromagnético.	41
23. Ciclo geoquímico.	46
24. Histogramas y frecuencia acumulativa para Au en skarn, óxidos masivos y jaspe-cuarzo.	54
25. Histogramas y frecuencia acumulativa para Cu en skarn, óxidos masivos y jaspe-cuarzo.	55
26. Histogramas y frecuencia acumulativa para Fe en skarn, óxidos masivos y jaspe-cuarzo.	56
27. Polígono mostrando valores locales y regionales del umbral.	57
28. Diagrama esquemático del sistema de perforación con circulación inversa.	61
29. Diagrama de flujo del proceso de muestreo en la perforación con circulación inversa.	69
Forma	Página
1. Forma para muestreo en circulación inversa.	64
2. Forma de litología para circulación inversa.	66
3. Forma de detalle geológico para circulación inversa.	70

LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
1. Columnas estratigráficas en la porción central del subterreno Huetamo.	11
2. Resultados de pruebas metalúrgicas a muestras del prospecto La Cruz.	27
3. Valores de resistividad de algunos minerales.	36
4. Valores de polarización inducida y resistividad para litologías del Prospecto La Cruz.	43
5. Matriz de correlación por familias litológicas.	51
6. Parámetros estadísticos normales por familias litológicas, con muestras involucradas.	53
7. Parámetros estadísticos para Au, Cu y Fe por litologías, del prospecto La Cruz.	57
8. Intervalos de valores anómalos para Au, Cu y Fe por litología del prospecto La Cruz.	58
9. Programa de exploración con circulación inversa del prospecto La Cruz.	71
10. Resumen de Intersecciones mineralizadas de barrenos del prospecto La Cruz.	72
11. Evaluación de recursos del prospecto La Cruz utilizando muestreo de superficie y el barreno CIC-10.	73

ANEXO DE MAPAS Y SECCIONES

Contenido:

Mapa 1: Geología de detalle del prospecto La Cruz, Mun. Coyuca de Catalán, Gro.

Mapa 2: Magnetometría terrestre (Reducción al polo), prospecto La Cruz, Mun. Coyuca de Catalán, Gro.

Mapa 3: Configuración de anomalías de Au, prospecto La Cruz, Mun. Coyuca de Catalán, Gro.

Mapa 4: Configuración de anomalías de Cu, prospecto La Cruz, Mun. Coyuca de Catalán, Gro.

Mapa 5: Configuración de anomalías de Fe, prospecto La Cruz, Mun. Coyuca de Catalán, Gro.

Sección 1: Pseudosección LB+300E, prospecto La Cruz, Mun. Coyuca de Catalán, Gro. pag 44.

Sección 2: Pseudosección LB+1000E, prospecto La Cruz, Mun. Coyuca de Catalán, Gro. pag 45.

Sección 3: Pseudosección LB+300E, prospecto La Cruz, Mun. Coyuca de Catalán, Gro.

Sección 4: Pseudosección LB+1000E, prospecto La Cruz, Mun. Coyuca de Catalán, Gro.

Sección 5: Sección geológica 200E, prospecto La Cruz, Mun. Coyuca de Catalán, Gro.

Sección 6: Sección geológica 1000E (CIC-3), prospecto La Cruz, Mun. Coyuca de Catalán, Gro.

Sección 7: Sección geológica CIC-10 (N11°E, viendo al SE), prospecto La Cruz, Mun. Coyuca de Catalán, Gro.

RESUMEN

El prospecto La Cruz se localiza en el municipio de Coyuca de Catalán, estado de Guerrero, aproximadamente a 23 Km al N78°W de Ciudad Altamirano, en las inmediaciones de la cuadrilla Quiriricuaro.

El área de estudio se encuentra ubicada en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre del Sur, subprovincia de la Cuenca del Balsas, en la Provincia Geológica del Complejo Orogénico Guerrero-Colima. Se caracteriza por lomeríos suaves y relieves poco accidentados. El área corresponde a la etapa de madurez tardía. Abarca una extensión superficial de 3.6 Km², donde afloran rocas sedimentarias, volcánicas, intrusivas y metamórficas.

Las rocas volcanosedimentarias descansan discordantemente sobre rocas del Complejo Placeres del Jurásico Medio?, y se correlacionan con la Formación Comburindio-San Lucas del Cretácico, definidas por Pantoja-Alor, en 1990, con base en el ambiente paleogeográfico, fósiles presentes y en su cercanía a la localidad tipo. Forma parte de la asociación Huetamo del terreno Guerrero.

Estas unidades fueron afectadas por intrusiones granodioríticas a tonalíticas del Cretácico Tardío (batólito Placeres del Oro), lo que originó un metasomatismo de contacto (skarn), con un incremento consecuente de la porosidad y de la permeabilidad, de esta manera se favoreció la canalización de fluidos hidrotermales que provocaron alteración retrógrada y reemplazamiento por cuerpos de óxidos de hierro con sulfuros diseminados.

Existe un marcado patrón estructural de tendencia N65°W, que se mantiene en los contactos litológicos como en la alineación de los cuerpos intrusivos cretácicos y terciarios, por ende también de los cuerpos de skarn y de óxidos masivos, así como en los sistemas de fallas y fracturas. Se tiene un ambiente propicio para un yacimiento tipo skarn, y en particular uno de hierro, con valores asociados de Cu-Au. Probablemente se relacione con un sistema tipo pórfido de Cu, dado el ambiente de arco magmático en el que se encuentra ubicado y las alteraciones presentes en el intrusivo tonalítico.

Las anomalías geofísicas y geoquímicas (Au, Cu, Fe) son coincidentes espacialmente y corroboran el marcado control estructural del área. Las anomalías de PI/ resistividad marcan la presencia de magnetita y sulfuros diseminados en los contactos o próximos a ellos, que con la barrenación se pudo comprobar, sin embargo no contienen mineralización de interés.

Las alteraciones presentes son, en orden de importancia: propilitización, cloritización, en el skarn y en las tobas, y en menor proporción, silicificación, argilización y feldespatización, dentro del intrusivo.

La perforación desarrollada, arrojó resultados negativos para la empresa, ya que el potencial inferido no cumple con los objetivos de la empresa. Considerando una evaluación por bloques tomando en cuenta los valores de muestreo de superficie y el barreno CIC-10, se estima un potencial

inferido de 2.517,648 T con ley promedio de Au de 1.47 g/T, equivalente a 127.966 onzas troy de oro, que puede ser explotado a cielo abierto por una empresa de mediana minería.

Se propone para evaluar en una forma más cercana a la realidad, una segunda campaña de barrenación, con barrenos cortos cada 100 metros, y menores a 60 metros, en las zonas de skarn al poniente del área, y explorar el contacto sureste de las calizas y las tobas con el intrusivo tonalítico, ya que tanto las anomalías geoquímicas así como la magnetometría indican continuidad hacia el sureste, con el objetivo de localizar un cuerpo similar al de La Parotita, ya que no existe mineralización diseminada de interés en el skarn ni en el intrusivo.

I. GENERALIDADES

INTRODUCCIÓN

Como parte importante del desarrollo de un país, la minería aporta recursos frescos, provenientes del aprovechamiento de sus recursos minerales con que cuenta y es de primordial interés el generar nuevos proyectos de inversión, susceptibles de contar con nuevos volúmenes económicamente explotables, que sean generadores de empleos, y ayuden a impulsar la economía de la región.

A través de la historia, se han explotado los depósitos minerales de leyes altas, cuyas manifestaciones se presentaban aflorando o cercanas a la superficie. Estas manifestaciones fáciles de localizar son muy escasas. En muchos casos, las técnicas de exploración están orientadas a la localización de yacimientos que no afloran, tomando como base las guías de mineralización. En general, se buscan depósitos mineralizados de gran tonelaje aunque de leyes bajas, minables a cielo abierto, lo que da como consecuencia costos reducidos también se requieren buenas recuperaciones metalúrgicas y se deben adoptar las medidas necesarias para promover un desarrollo ecológico respetuoso del medio ambiente.

Entre los objetivos de exploración del grupo Peñoles está el localizar yacimientos de oro lixiviable diseminado. Las condiciones requeridas son entre otras, buena infraestructura, baja relación de descapote, y un determinado contenido de onzas troy. Bajo este punto de vista, el yacimiento metasomático de contacto (skarn Au-Fe-Cu) de "La Cruz", se exploró de forma integral para una evaluación con miras a su explotación a gran escala o negociado en el caso que no cumpla con las características mínimas propuestas por la empresa.

1. OBJETIVO

El presente trabajo tiene como interés principal analizar las características geológicas, geofísicas y geoquímicas del yacimiento, para hacer una evaluación económica de sus posibilidades como un nuevo proyecto minero generador de empleos, determinar la correlación estratigráfica de las unidades presentes en el área de estudio y mencionar las principales características del método de perforación con circulación inversa.

2. TRABAJOS PREVIOS

La región de Tierra Caliente ha sido objeto de varios estudios estratigráficos, geológicos regionales y de exploración minera. Debido a la complejidad estructural, la diversidad de facies litológicas y a la falta de edades radiométricas para las rocas magmáticas que afloran en la región, las interpretaciones paleogeográficas han resultado, en ocasiones contradictorias. En 1929, aparece el trabajo de Santillán "Geología Minera de las regiones norte, noroeste y central del estado de Guerrero". En 1930, se publicó el "Étude Synthétique sur le Mésozoïque Mexicain" de C. Burckhardt donde se hace mención del área de estudio. Entre los primeros trabajos efectuados se cuenta el

estudio estratigráfico realizado en la región de Huetamo, Mich.; por Pantoja -Alor (1959) quien sienta las bases de la estratigrafía de esta área, con base en los trabajos realizados por De Cserna(1955) y Fries *et al* en 1957 en regiones limítrofes. Posteriormente, Salazar en 1972 efectuó estudios de geología regional en la región de Ciudad Altamirano, Gro. y Huetamo, Mich., para PEMEX, e informa de la presencia de calizas interestratificadas con terrígenos (Fm. Comburindio) y lechos rojos mesozoicos (Fm. Ixtapilla).

Mauvois (1977) propone la existencia de una megaestructura visible a lo largo de 80 Km de Norte a Sur, que denota la existencia de un cabalgamiento Miocénico (?) en la depresión de Tzitzio-Huetamo. Este cabalgamiento sería el responsable de la presencia de testigos y ventanas tectónicas en las cuales, las calizas del Cretácico Inferior (Fm. Morelos?) cubrirían a lechos rojos terciarios. De Cserna *et al* (1978) interpretan las diferencias litológicas de las rocas cretácicas en el noroeste de Guerrero y áreas adyacentes de los estados de México y Michoacán como debidas a cambios de facies, desde la región oriental de Chilacachapa hasta Huetamo al poniente.

Campa *et al* (1974, 1977), Campa(1978) y, Campa y Ramírez(1979) efectuaron estudios estratigráficos y de geología regional, en la región comprendida entre el noroccidente del estado de Guerrero y Valle de Bravo, Mex. Campa distingue 4 dominios paleogeográficos y tectónicos que confluyen en la región de Tierra Caliente; estos son: un dominio interno representado por un arco insular andesítico, y un mar marginal desarrollados durante el Jurásico Superior-Cretácico Inferior; un dominio externo representado por una plataforma carbonatada desarrollada durante el Cretácico Inferior y su relleno de flysch del Cretácico Superior, y finalmente, su dominio del Cenozoico representado por el volcanismo básico a intermedio de la Faja Neovolcánica. Campa *et al* (1981) introducen el concepto de conjuntos tectonoestratigráficos para explicar la evolución tectónica del sur de México, y establecen que la Sierra Madre del Sur está constituida de 9 conjuntos tectonoestratigráficos. La región de Ciudad Altamirano formaría parte del conjunto Huetamo-Cutzamala, perteneciente al Terreno Guerrero (Campa y Coney, 1983). Las rocas que constituyen estos terrenos tectonoestratigráficos se habrían formado probablemente en el mar marginal de un arco insular activo durante el Jurásico Superior-Cretácico Inferior (Campa *et al*, 1981). Por último, otros autores han trabajado en la región, con fines paleontológicos y estratigráficos, principalmente Pantoja (1992, 1994), Alencaster, 1995, Guerrero, 1997.

En lo concerniente a la prospección minera se tienen los siguientes antecedentes: IMMSA trabajó el área del prospecto, de 1964-66 y 1969-71 en los cuales realizaron geofísica terrestre y barrenación. En 1981, pequeños mineros trabajaron 3 pequeños tajos, cuyo mineral era beneficiado en la planta de Pinzán Morado; se desconocen datos sobre la producción. Desde 1989, Peñoles ha desarrollado los siguientes trabajos: geología de detalle 1:1,000, muestreo geoquímico, magnetometría-polarización inducida-resistividad, petrografía, mineragrafía, pruebas metalúrgicas, y barrenación con circulación inversa.

3. CLIMA

De acuerdo con Köeppen el clima es seco, caliente y con lluvias torrenciales en verano (tipo Ganges), **Awo (w) ig**.

- (w) = Corresponde al mes más seco de los cálidos con lluvias en verano.
- (i) = Indica la presencia de un clima isotermal, significa esto que la oscilación de temperaturas medias mensuales no rebasan los 5° C.
- (g) = Clima tipo Ganges, la temporada de lluvias es de Junio a Septiembre.

Durante invierno y primavera, la precipitación es nula. La precipitación anual varía entre 700 y 925 mm. La temperatura media anual es de 28° centígrados; la media mensual del mes más caluroso, es alrededor de 33° C y la media mensual del mes más frío oscila entre 13° y 13.4° C.

4. FLORA Y FAUNA

Es sumamente importante cuidar el aspecto ecológico. Por lo que las zonas de reserva ecológica, parques nacionales, reservas de la biósfera están vedadas para los trabajos de exploración y explotación minera, por el impacto ambiental que pueden causar. Es por eso que a la par de los trabajos exploratorios destinados a la evaluación de un área determinada, se desarrollan estudios técnicos justificativos para cambio de uso de suelo, para cada una de las etapas del prospecto; deslindes ejidales y de propiedades, apertura de brechas, caminos de acceso, planillas y estaciones de barrenación, uso de agua, etc. Así mismo se evalúa y se trata de anular el impacto ambiental que se causará al área de exploración, como es el volumen de vegetación removida, manejo de residuos tóxicos y posible desvío de corrientes o arroyos. Durante cada una de esas etapas, el geólogo de exploración es el responsable de solicitar estos estudios y supervisarlos, razón por la cual es de gran importancia destacar las características del medio ambiente.

Entre las múltiples especies de fauna que existen en la región, se encuentran las siguientes: venado (*Cariacus virginianus*), coyote (*Canis latrans*), zorra (*Vulpes cinereo-argentatus*), tejón (*Procyon lotor* y *Nasus Nacica*), zorrillo (*Mephitis macrura*), conejo (*Lepues sylvaticus*), ardilla de tierra (*Spermophilus variegatus*), ardilla de árbol (*Sciurus variegatus*), tlacuache (*Dedelphis marsupialis*), víbora de cascabel (*Crotalus polusticus* y *Crotalus tigris*), iguana (*Iguana basiliscus*), chachalaca (*Ortalis vetula*), huilota (*Zenaidura macroura*), codorniz (*Colinus virginianus*), correcaminos (*Caprimulqus Vociferus*), y otra gran variedad de aves, así como de insectos.

Mientras que las especies de flora de la región consisten en anona (*Annona reticulata*), balsa (*Lagenaria natans*), bonete (*Jacaratia americana*), brasil (*Haematoxylom brasiletto*), capiro (*Sideroylon capiri*), carnisuelo (*Acacia cornijera*), cascalote (*Caesalpinia cacaloca*), cirian (*Crescentia cujete*), ciruelo (*Serindiani purpurea*), copal (*Protium copal*), corongoro (*Zizypus sonorensis*), cuachalalate (*Amphipterygium adstringens*), cuajilote (*Parmentiera edulis*), cueramo (*Cordia eleagnoides*), encino (*Quercus*), espino (*Mimosa egregia*), higuera (*Ficus sp.*), huizache (*Acacia hindsu*), mezquite (*Prosopis juliflora*), nopal (*Opuntia sp.*), órgano (*Cephalocereus sp.*), tamarindo

(*Tamarindus indica*), zapote blanco (*Casimiro edulis*), zacate (*Sporobolus argulus*), ceiba, parota y otros más.

En algunas regiones, existen especies endémicas que se encuentran en peligro de extinción, y que son susceptibles de protección extrema, por lo cual, los programas se modifican para cumplir con dichas condicionantes, como pueden ser desvíos en el trazado de caminos, reubicación de árboles, plantas, etc. En el prospecto La Cruz, no se presentó especie alguna susceptible de un cuidado extremo, por lo que la expedición de permisos ecológicos no presentó dificultades.

5. LOCALIZACION Y ACCESO

El prospecto La Cruz, se localiza a 23 Km en línea recta al N78°W de Ciudad Altamirano, en el municipio de Coyuca de Catalán, en las inmediaciones al sur del ejido Quiriricuaró; cerca del límite con el estado de Michoacán (río Balsas). Está ubicado en la porción noroeste del estado de Guerrero, en la región denominada Tierra Caliente, donde confluyen los estados de Guerrero, México y Michoacán. El área está comprendida entre las coordenadas geográficas de 18°00' y 18°30' de latitud Norte y 100°50' a 101°00' de Longitud Oeste, (Fig. 1).



Fig 1. Localización del prospecto La Cruz.

El acceso es el siguiente: se parte de Ciudad Altamirano, rumbo a Coyuca de Catalán por la carretera federal N° 134, Ciudad Altamirano-Coyuca de Catalán-Santa Teresa-El Naranjo, con un recorrido de 27 Km sobre pavimento, y de El Naranjo a Quirícuaro existe una desviación de 4 Km sobre terracería. Los 31 Km son transitables en cualquier época del año.

6. INFRAESTRUCTURA

Para la operación minera, los factores más importantes son:

- vías de comunicación (carreteras, caminos, ferrocarril, etc.),
- agua,
- energía eléctrica,
- mano de obra.

CARRETERAS Y CAMINOS

Las carreteras de mayor importancia cercanas al área de estudio son: la carretera federal N° 134 Toluca-Ciudad Altamirano-Zihuatanejo, que atraviesa la porción sur del estado de México hacia Ciudad Altamirano, así como el estado de Guerrero hacia el puerto de Zihuatanejo; la carretera federal N° 49 que conecta Zitácuaro-Huetamo-Ciudad Altamirano, y la carretera estatal N° 140 que conecta Ciudad Altamirano-Arcelia-Teloloapan-Iguala. Localmente, existen caminos vecinales que comunican las pequeñas comunidades agrícolas y ganaderas con las carreteras principales. En general, las carreteras y caminos se encuentran en regulares condiciones.

FERROCARRIL

Las estaciones de ferrocarril más cercanas son las de Iguala, Gro. y Zitácuaro, Mich. y se localizan aproximadamente a 118 Km al N 89° E y 133 Km al N 15° E de Ciudad Altamirano, respectivamente, aunque como en muchas partes del país ya no operan.

TRANSPORTACION AÉREA

Para transportación aérea, se cuenta con aeropista para naves menores, 5 Km al S45°E de Ciudad Altamirano, rumbo a Arcelia.

AGUA

En la zona el agua no es abundante, pero se puede obtener de pozos de las zonas agrícolas de los alrededores, y en abundancia del río Balsas a 6.2 Km al N42°W de Quirícuaro, con un desnivel de 300 m.

MANO DE OBRA

En cuanto a mano de obra se refiere, se encuentra cierta disponibilidad en los poblados de los alrededores ya que prácticamente no existen fuentes de trabajo remunerado, con excepción de las labores agrícolas, el cultivo de maíz, ajonjolí, sorgo, melón, papaya, y limón. La ganadería se desarrolla en pequeña escala (bovino, porcino y caprino); aunque gran parte de la población masculina viaja hacia los Estados Unidos para trabajar. El nivel educativo de la población es en general bajo, el promedio en la zona es el 4° de primaria, según el Anuario Estadístico del estado de Guerrero de 1997.

En Quiriricuaró, se tiene escuela primaria, en El Naranjo escuela secundaria, mientras que en Ciudad Altamirano, se cuenta con bachillerato tecnológico y otras instituciones de educación media superior.

ENERGÍA ELÉCTRICA

Se cuenta con energía eléctrica doméstica en el ejido Quiriricuaró, mientras que de uso comercial en Santa Teresa, la televisión llega a la mayoría de los hogares por varias repetidoras, mientras que en Ciudad Altamirano y Coyuca de Catalán se tiene una estación de radio en cada población.

7. METODO DE TRABAJO

Se realizó una visita de reconocimiento en 1989, para definir si existía un potencial interesante, como parte del trabajo de prospección desarrollado por la oficina regional de exploración Zona Sur de Peñoles. Se iniciaron los trabajos con cartografía a semidetalle en 100 Ha., escala 1:2,000, y muestreo para análisis químico de 95 muestras, y se interpretó un potencial económico atractivo para la empresa. Se trazó una retícula de base topográfica para apoyar la cartografía geológica escala 1:1,000, muestreo geoquímico y geofísica terrestre (P.I./Resistividad y Magnetometría) sobre 18 secciones geológicas; se localizaron anomalías magnéticas importantes que se correlacionan con las zonas anómalas en resistividad y polarización inducida.

La cartografía geológica se realizó con brújula y cinta; se colectaron 602 muestras en afloramientos, zanjas y pozos, para análisis químico.

Se analizó toda la información generada, con lo que se desarrolló un programa de perforación con circulación inversa por 1,300.0 m distribuidos en 10 barrenos, de los cuales se ensayaron los intervalos de mayor interés, información de la cual se desprende la evaluación del prospecto.

II. GEOLOGÍA

1. GEOMORFOLOGÍA

El área de estudio se encuentra ubicada en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre del Sur, en la subprovincia de la Cuenca del Balsas, región conocida como Tierra Caliente. De acuerdo a la clasificación de provincias geológicas de Ortega *et al.*, 1992, la región se ubica en la provincia geológica del Complejo Orogénico de Guerrero-Colima, de edad Mesozoica, origen volcanosedimentario y ambiente de arco submarino caracterizado por secuencias flysch (Fig. 2).

Está caracterizada por relieves poco accidentados, con lomeríos que presentan una configuración suave en sus laderas y bases. El relieve está controlado por la erosión diferencial, debido al contraste entre las unidades litológicas presentes en el área; las zonas de calizas, skarn y hornfels son más resistentes al proceso erosivo, mientras que las volcánicas, forman la mayor parte de los relieves bajos, (Fig. 3). El patrón de drenaje es de régimen intermitente, de tipo subdendrítico a subparalelo y está controlado por la litología. El área correspondería a la etapa cuatro de madurez del ciclo de erosión de Davis, de madurez tardía.

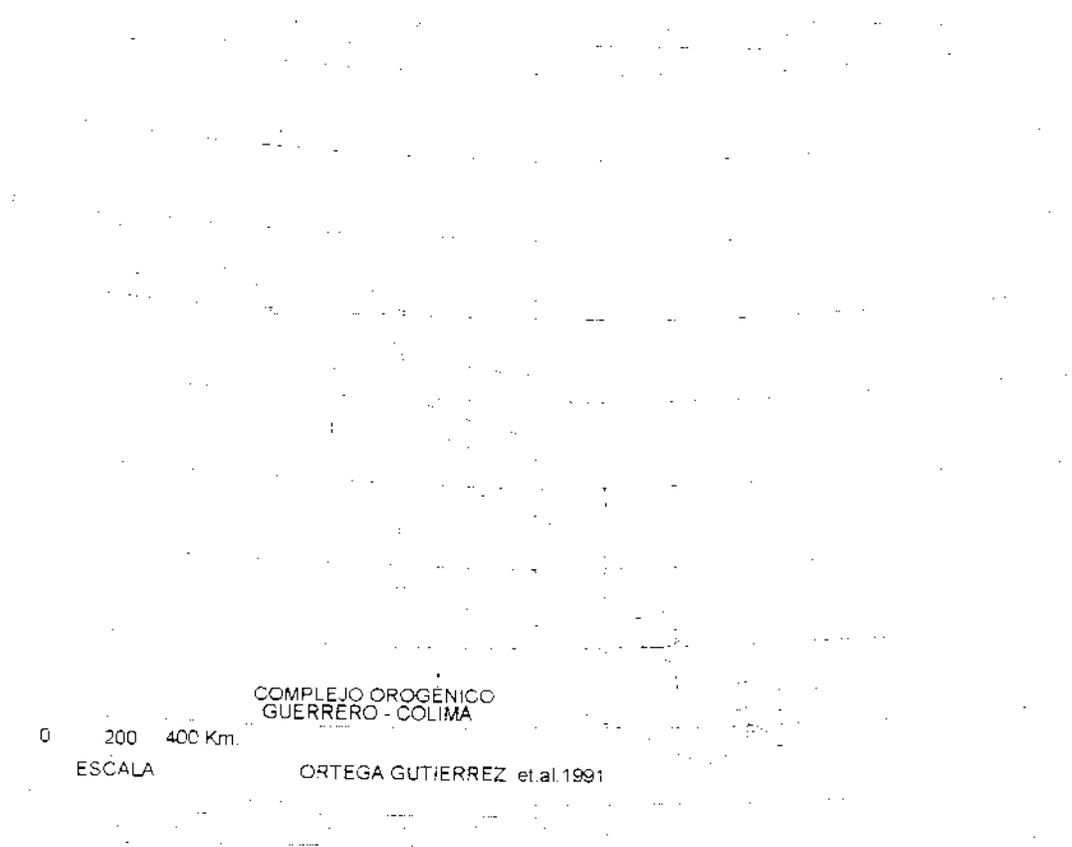


Fig. 2 Provincias geológicas de México, mostrando la del complejo orogénico Guerrero-Colima, (Ortega-Gutiérrez, *et al.*, 1992).



Fig. 3 Panorámica del cerro La Cruz.

2. GEOLOGÍA REGIONAL

La región de Ciudad Altamirano se encuentra cubierta principalmente por grandes espesores de depósitos continentales y volcánicos del Terciario. Debido al desarrollo fisiográfico posterior al Mioceno, se formaron áreas relativamente pequeñas, donde se encuentran aflorando rocas mesozoicas pertenecientes al terreno Guerrero, en la porción correspondiente al subterreno Zihuatanejo-Huetamo, (Centeno-García, *et al.*, en Ortega *et al.*, 1993).

El área de estudio se ubica dentro del terreno Guerrero que se caracteriza por una estratigrafía compleja, sus unidades litológicas son discontinuas con cambios de facies rápidos, gran deformación y cizallamiento, (Fig. 4). Centeno-García, en 1994, propuso una división del terreno Guerrero en tres subterrenos: el Zihuatanejo-Huetamo, Zacatecas, y Teloloapan (incluye la secuencia de cuenca Arcelia-Palmar Chico), basada en observaciones estratigráficas, petrográficas y estructurales, así como en análisis geoquímicos (elementos mayores y tierras raras) e isotópicos ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ y $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$), (Centeno-García *op cit*, 1993), (Fig. 5). Sin embargo, han surgido modificaciones más recientes por ella misma y otros autores, los cuales proponen la siguiente subdivisión: Zihuatanejo, Huetamo, Arcelia, Teloloapan, Fresnillo-Zacatecas, Guanajuato, Papanoa-Las Ollas-Camalotito y las unidades basamentales Arteaga y Placeres, (Centeno, 1994) (Fig. 6).

El área de estudio se encuentra en el subterreno Zihuatanejo-Huetamo, que aflora en la parte media de la provincia y a lo largo de la Costa del Pacífico, desde Zihuatanejo hasta Puerto Vallarta. Las relaciones entre este terreno y el Teloloapan (Arcelia-Palmar Chico) están oscurecidas por depósitos de lechos rojos Terciarios. Este subterreno, el más complejo en la mitad sur del terreno Guerrero, consiste de cuatro asociaciones: a) la secuencia Arteaga-Placeres, b) la secuencia Zihuatanejo, c) Huetamo y d) el Complejo Las Ollas que juntos constituyen un arco de islas desarrollado sobre corteza oceánica previamente deformada. (Fig. 5), (Centeno-García *op cit*, 1993).

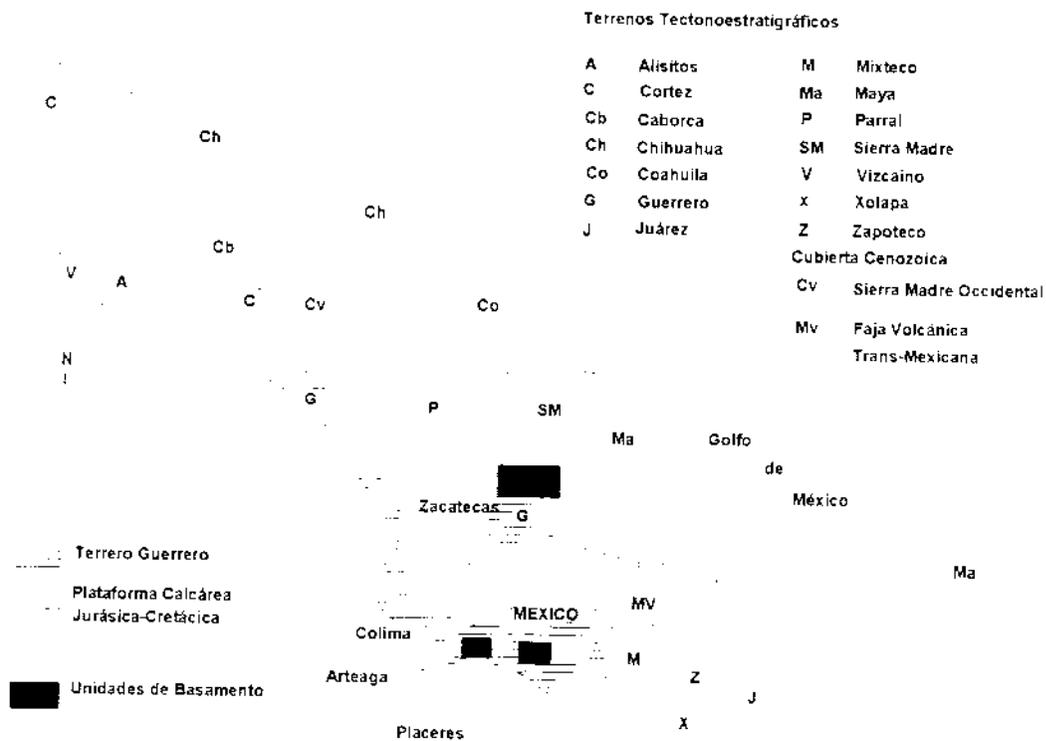


Fig. 4 Terrenos tectonoestratigráficos de México, (modificado de Campa y Coney, 1983).

De estas cuatro asociaciones es la de Huetamo, la que involucra el área de estudio: la cual está formada en su mayoría por rocas volcanosedimentarias plegadas pero no metamorfoseadas relacionadas a la asociación de arco Jurásico(?) - Cretácico. En la parte sur de este subterreno; afloran ventanas de rocas metamórficas, las cuales son mencionadas por algunos autores como el basamento del subterreno Huetamo, (De Cserna, 1978; Centeno-García, 1993 en Ortega, 1993).

3. ESTRATIGRAFIA

La estratigrafía del subterreno Huetamo se caracteriza también por rápidos cambios de facies laterales. La mayoría de las unidades relacionadas al arco, han sido descritas en su mayor parte por Pantoja (1959, 1990, 1992), aunque otros autores han realizado trabajos estratigráficos. La edad va del Neocomiano al Cenomaniano (Pantoja, 1959; Campa y Ramírez, 1979; Pantoja, 1990), pero se reportaron fósiles de edad Kimmeridgiano (Pantoja, 1959) (Fig. 8). El espesor de la columna varía de 2,000 a 3,650 m y se han definido 9 formaciones (Pantoja, 1959; Campa y Ramírez, 1979; Pantoja, 1990, 1992; Buitrón *et al.*, 1994, Alencaster *et al.*, 1995), y todavía son motivo de controversia en edad y nomenclatura, en este trabajo se utilizan principalmente las definiciones de Pantoja, 1990.

EDAD		Pantoja (1959)	Salazar (1975)	Campa(1977)	Pantoja (1990, 1995)	Guerrero (1988)	
CENOZOICO	MIOCENO						
	OLIGOCENO						
	EOCENO	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS	GRUPO BALSAS		
	PALEOCENO						
	CRETACICO	MAESTRICHTIANO					
		CAMPANIANO					
		SANTONIANO	Fm MAL PASO	Fm IXCAPILLA	Fm CUTZAMALA	Fm CUTZAMALA	Fm CUTZAMALA
		CONIACIANO		Fm MAL PASO			
		TURONIANO					
		CENOMANIANO		Fm MORELOS			
		ALBIANO	Fm MORELOS			Fm MAL PASO	Fm MAL PASO
		APTIANO					
		BARREMIANO	Fm SAN LUCAS	GRUPO SAN LUCAS	Fm SAN LUCAS	Fm SAN LUCAS	Fm SAN LUCAS
		HAUTERIVIANO					
VALANGINIANO							
BERRIASIANO							
JURASICO	TITONIANO	Fm ANGAO	Fm ANGAO		Fm ANGAO	Fm ANGAO	
	KIMMERIDGIANO				Fm ANGAO - Fm ZIRANDARO		
	MEDIO						
INFERIOR							
TRIASICO							
PALEOZOICO							

Tabla 1. Columnas estratigráficas en la porción central del subterreno Huetamo, (modificado de Guerrero, 1997).

ASOCIACION DEL BASAMENTO (PREJURASICO SUPERIOR):

COMPLEJO PLACERES. El complejo Placeres comprende rocas metamórficas (pizarras, cuarcitas y esquistos) que afloran al sur de Ciudad Altamirano (De Cserna, 1978; Pantoja, 1990) en Placeres del Oro (Fig. 7 y 8). Es similar litológicamente al complejo Arteaga, compuesto de lutitas negras interestratificadas con areniscas ricas en cuarzo y pedernal negro. Algunos sedimentos tobáceos y limolitas calcáreas de estratificación delgada, están interestratificados con terrígenos y contienen bloques de basalto y mármol. La secuencia está muy deformada y parcialmente metamorfoseada a facies de esquistos verde. El contacto entre la asociación de arco Jurásico Superior-Cretácico y el complejo Placeres no ha sido observado, sin embargo, el contraste en el grado de metamorfismo y la deformación entre ambas secuencias, así como la abundancia de fragmentos de rocas metamórficas de composición similar al complejo Placeres en conglomerados de la asociación de arco, sugiere que el contacto fue inicialmente una discordancia (Fig. 7). Como los fósiles más viejos encontrados en la asociación de arco en el subterreno Huetamo son de edad Jurásico Superior (Kimmeridgiano) (Pantoja, 1959), el complejo Placeres probablemente tiene una edad mínima del Jurásico Medio.

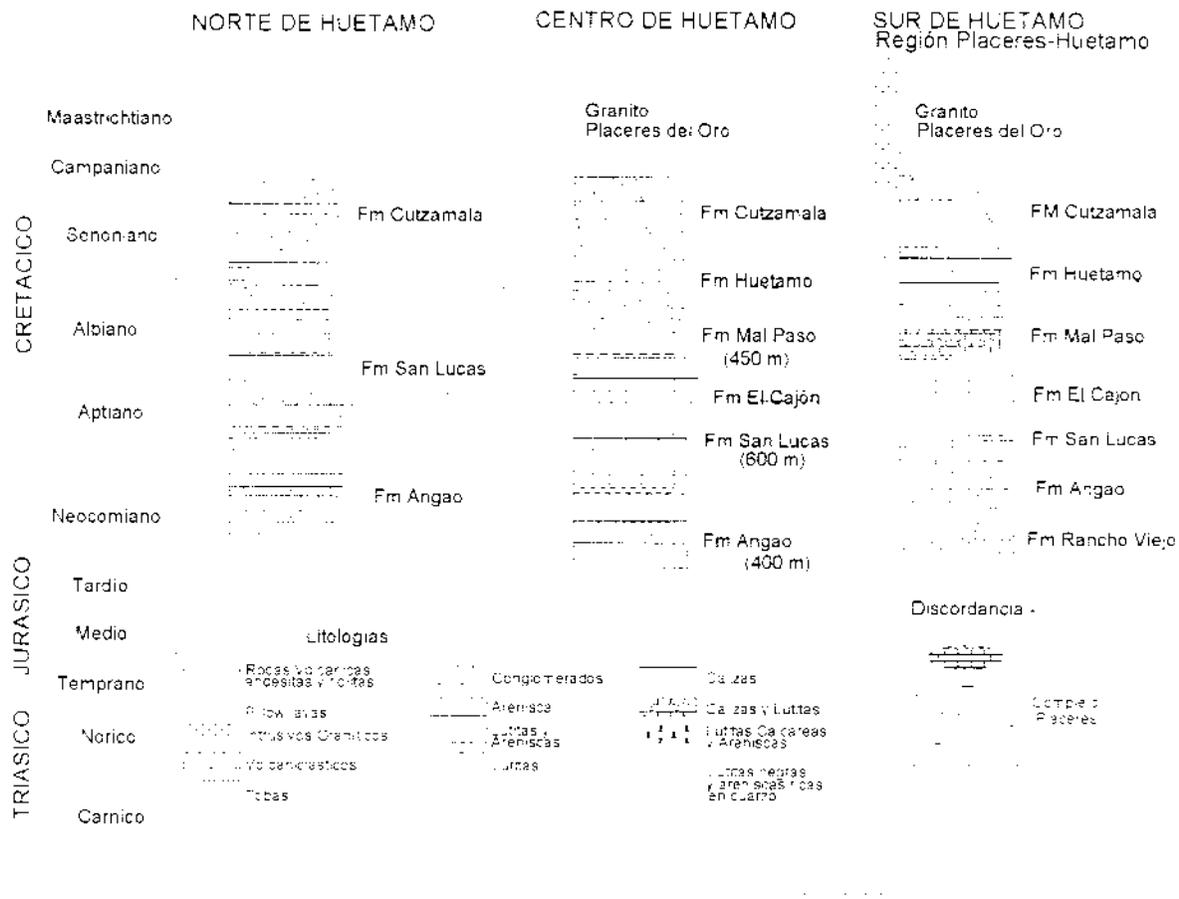


Fig 7. Columnas estratigráficas del subterreno Huetamo, (Centeno, 1994).

Las tendencias estructurales de foliación y estratificación de los sedimentos, así como las asociaciones litológicas, composiciones geoquímicas e isotópicas y las relaciones estratigráficas del complejo Placeres, son similares a los del complejo Arteaga. Estas similitudes y la proximidad geográfica entre los dos complejos (Fig. 4) indican que ambos pudieron haber formado parte de la misma unidad originalmente, (Centeno *op cit.*, 1993).

SECUENCIA DE ARCO JURASICO(?)-CRETACICO

FORMACION ZIRANDARO-ANGAO (Kimmeridgiano-Portlandiano). Es la unidad más antigua que aflora en la región occidental de Huetamo-Altamirano (Buitrón *et al.*, 1994), de edad Jurásico Tardío-Aptiano Medio. Consiste en una secuencia de lechos rojos turbidíticos deltaicos marinos; compuesta por conglomerados, areniscas y limolitas de color pardo, verde y amarillo; calizas rojizas interestratificadas y flujos de lava andesítica-dacítica, brechas y tobas; depositadas en una pequeña y subsidente plataforma continental afectada por eventos volcánicos, el espesor de esta

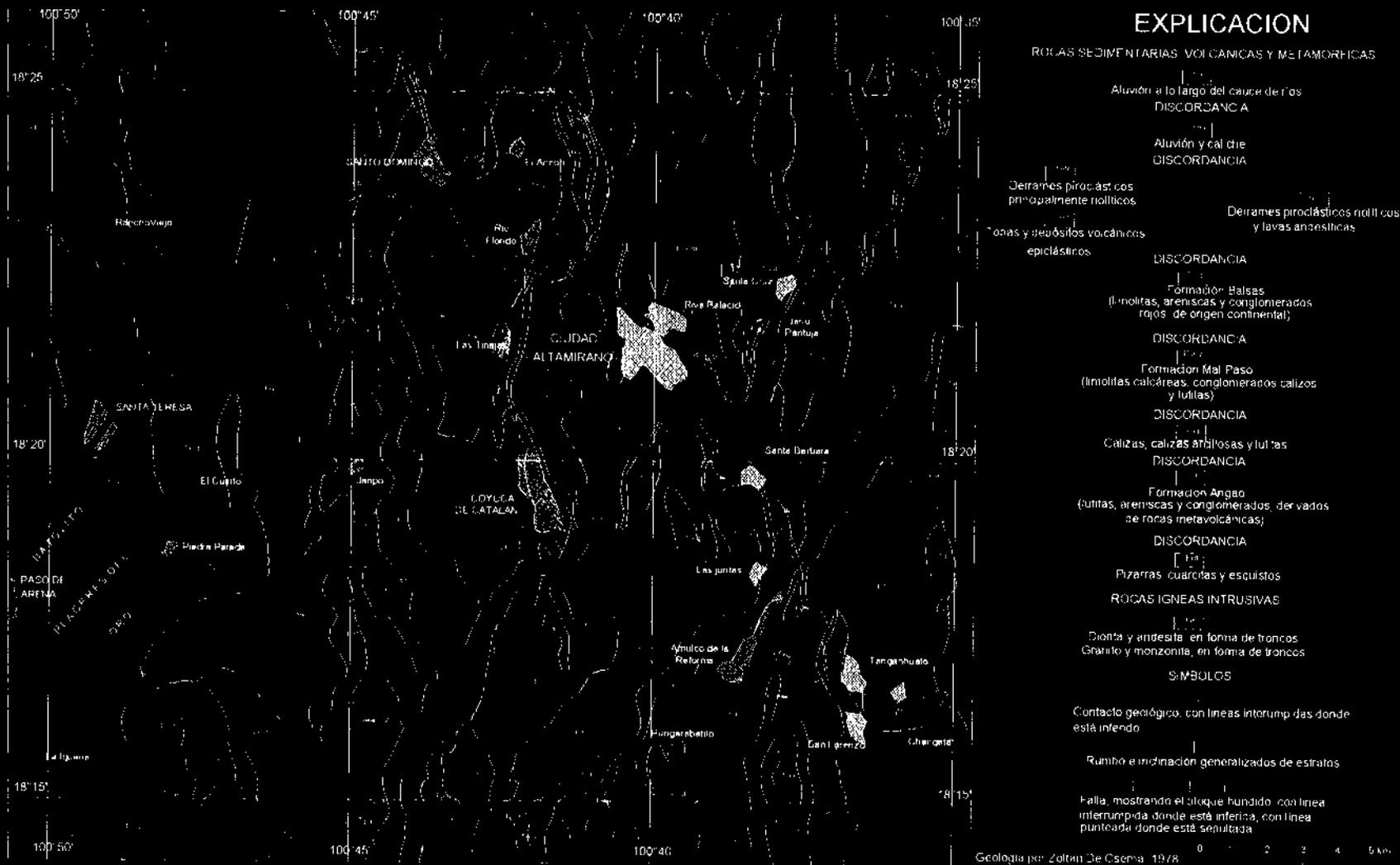


Fig. 8. Mapa geológico preliminar de la región circundante de Ciudad Altamirano, estados de Guerrero y Michoacán. Mapa-base simplificado de las hojas topográficas Ciudad Altamirano y Coyuca de Catalán de DETENAL (De Cserna, 1978).

unidad varía entre 400 y 1,200 m, debido a los cambios de facies que presenta. Hacia el este, pasa gradualmente a depósitos flysch distales, turbidíticos y de cuenca de agua profunda (Formación Angao), se han reportado fósiles (Pantoja, 1959, 1990, Buitrón *et al.*, 1994). Está discordantemente cubierta por la Formación Comburindio-San Lucas (Pantoja 1959, Buitrón *et al.*, 1994) (Fig. 7).

Por su posición estratigráfica, litología y fauna se considera a la Formación Angao como una facies intralitoral del Jurásico Superior. Se correlaciona parcialmente con la Formación Acahuizotla, descrita por De Cserna (*en* Fries, 1957) en la parte meridional del estado de Guerrero, y con las Formaciones Tecalitlán y Alberta en la región de Colima y la Formación Agua de los Indios en la región Arteaga-Tumbiscatio del subterreno Zihuatanejo.

FORMACION COMBURINDIO (Barremiano?-Aptiano). Fue propuesta por Pantoja en 1994, para una sucesión Barremiano?-Aptiano, de más de 800 m de espesor, está compuesta de areniscas, limolitas arcillosas y calizas de rudistas bioestromáticas. La sucesión mencionada cambia progresivamente a facies deltaicas formadas de lutitas rojas, limolitas, areniscas, conglomerados y brechas volcánicas con flujos de lava interestratificados y tobas de composición andesítica-dacítica.

De acuerdo con Pantoja, 1994, puede dividirse en dos miembros: el inferior Terrero Prieto, arenoso feldespático y calcáreo, el cual es muy fosilífero, se presentan al menos cuatro bioestromas arrecifales de rudistas, con algunos horizontes de flujos de lava volcánica explosiva, con una deformación suave de los sedimentos, tal como deslizamientos sindeposicionales, y estratificación convoluta; y uno superior Las Fraguas, progradante deltaico, volcaniclástico, formado de lechos rojos con lutitas, limolitas, areniscas de grano fino a medio, conglomerados (turbiditas) e intercalaciones de flujos volcánicos, brechas y tobas de composición andesítica a riolítica, (Tabla I). La edad de la parte inferior de este miembro fue establecida por la *Ammonita Taraisites bosei* Cantú y el *Aptychus Lammelaptychus Seranonis Cogrand* de edad Valanginiano tardío, y por las *Ammonitas Subsaynella* y *Karsteniceras* de edad Barremiano para las partes media y superior de este miembro según Gómez-Luna *et al.*, 1991.

El bosquejo tectono-estratigráfico de la Formación Comburindio, corresponde a un arco insular, afectado por transgresiones regionales del Barremiano al Aptiano. El miembro inferior corresponde a una secuencia de arco insular cubierto por una transgresión regional sobre una margen de subducción activa en ambientes de plataforma costera de bajo ángulo inestable tectónicamente, con facies arrecifales, lagunares y arenosas (abanicos), afectados por eventos volcánicos. Mientras que el miembro superior representa diferentes facies marinas deltaicas y continentales en un régimen local transgresivo-regresivo, en un ambiente volcánico activo, (González-Arreola *et al.*, 1996).

FORMACION SAN LUCAS.- Con este nombre se designa a una secuencia de clásticos turbidíticos marinos consistentes en lutitas, limolitas, areniscas, conglomerados y calizas intercaladas, cubiertas, con posible discordancia paralela, por calizas de la Formación El Cajón. La

coloración varía de amarillo a rojo, verde, gris y pardo; algunas veces los estratos son de color negro debido al ambiente de reducción en que fueron acumulados; las capas carbonosas contienen restos de plantas e invertebrados. La textura de esta unidad es muy variable, lo mismo que su litología; sin embargo, existe un predominio de material clástico fino. La formación, está definida al noreste del poblado de San Lucas, Michoacán, como un cambio de facies contemporáneo a la Formación Comburindio, (Pantoja, 1990).

Se puede correlacionar con estratos de la Formación Acuitlapan y Xochicalco, en la porción oriental del Terreno Guerrero.

FORMACION EL CAJON (Aptiano Superior-Albiano Inferior). Constituida por arenisca feldespática calcárea, marga y calizas arrecifales packestone y wackestone biogénicas con intercalaciones de boundstone con abundantes nerineas, orbitolinidos (meso-orbitolina), casiópodos y rudistas, de espesor promedio de 150 m; la cubre de manera concordante y transicional, una secuencia de aproximadamente 1,000 m de espesor de rocas clásticas marinas de la Fm Mal Paso (Albiano). Hacia el oeste, se correlaciona con las rocas volcánicas de la Fm Turitzio, y al este con la Fm Morelos. Esta formación se correlaciona con las Formaciones Madrid, Tecalitlán, Encino y la Caliza Resumidero en la región Arteaga-Tumbiscatio y Colima, (Pantoja, 1990).

FORMACION HUETAMO (Albiano Superior-Cenomaniano). Constituida por delgados paquetes de caliza masiva gris claro, que contiene fósiles de edad Albiano Superior-Cenomaniano; se encuentra sólo en la parte sur y central del subterreno Huetamo (Fig. 7) (Pantoja, 1990). Se correlaciona con la parte superior de la Formación Morelos al este de la entidad.

FORMACIÓN MAL PASO (Albiano Inferior-Albiano Superior). Nombre introducido por Pantoja (1959) y redefinido por él mismo en 1992, debido a la presencia de *Dicyclina schlumbergeri* *Munier-Chalmas*, y propone una edad del Albiano inferior al superior. El espesor varía entre los 750 y 1,000 m. Las condiciones paleoambientales de depósito permiten dividirla en dos unidades litoestratigráficas: un miembro inferior clástico y uno superior carbonatado. El miembro inferior clástico se inicia con un paquete de arenisca calcárea feldespática, amarillenta con fragmentos de madera fósil, que descansa en discordancia paralela o con ligero hiatus erosional sobre la Formación El Cajón. Pasa a un conglomerado polimíctico, con matriz arenosa roja, de estratificación mediana a gruesa. Continúa la secuencia con lodolitas, limolitas y areniscas de estratificación mediana, de color rojo.

Aparece un banco de caliza gris (mudstone a packestone) intercalado, de unos 10 m de espesor, con abundante *Tucasia*, caprínidos y otros rudistas. Continúa la gruesa secuencia de lodolita, limolita y arenisca roja, que pasa nuevamente a un conglomerado con matriz arenosa rojiza, con abundantes fragmentos de troncos de madera fósil. Toda la secuencia corresponde a un

ambiente deltaico marino, con corrientes de turbidez, que aportan clásticos gruesos (facies proximales) y finos (facies distales) dentro de un talud marino con bastante inestabilidad tectónica.

El miembro superior carbonatado descansa discordantemente sobre los conglomerados del miembro inferior; se inicia con una secuencia de areniscas feldespáticas calcáreas, con intercalaciones de limolita, lodolita, marga y caliza, que pasan transicionalmente a una secuencia rítmica de caliza arcillosa oscura y lutitas de estratificación delgada a mediana, que cambian a una caliza arcillosa (mudstone biógeno), en capas medianas a delgadas, con abundante paleofauna de vertebrados, e intercalaciones lenticulares de calizas arrecifales (bioestromas), con caprinidos *Caprina sp.*, *Tucasia sp.*, bivalvos, corales y otros rudistas.

Por su litología, parece que los clásticos de la Formación Mal Paso fueron derivados, en gran parte, de las rocas de la Formación Huetamo y aun más antiguas, que fueron expuestas a la erosión en un área relativamente cercana, como lo demuestra la textura gruesa de los sedimentos.

Se considera a la Formación Mal Paso posterior al Albiano y anterior al Eoceno-Oligoceno, sin descartar la posibilidad de que la base de esta formación pertenezca al Cenomaniano, por lo que se puede correlacionar tentativamente con las Formaciones Cuautla y Mezcala del Cretácico Superior, y con la Fm Encino (Col-Jal). El contacto con las capas basales de la Formación Cutzamala, que le sobreyace puede ser discordante o tectónico.

FORMACION CUTZAMALA (Albiano).- Formada por lodolitas, limolitas, areniscas y conglomerados polimícticos con matriz rojiza, con una edad del Cretácico Tardío. Se encuentra cubierta discordantemente por los clásticos rojos continentales del Grupo Balsas, (Pantoja, 1990).

GRUPO BALSAS (Eoceno Tardío-Oligoceno).- Formada por sedimentos terrígenos continentales rojizos, incluyendo limolitas, areniscas finas y conglomeráticas, conglomerados petromícticos, esencialmente volcánicos y calizos, en capas cuyo espesor varía desde algunos centímetros hasta metros. El espesor expuesto no es exacto, pero se le han calculado más de 500 m. Se encuentra distribuido en toda el área de estudio, con buenas exposiciones en la región de Arcelia-Altamirano. Aunque no se han encontrado fósiles, se le ha asignado una edad Eoceno Tardío-Oligoceno Temprano (Fries, 1956), con base en una correlación con los conglomerados rojos de la región de Guanajuato, donde se encontraron restos de un roedor, que le asigna la edad mencionada. Un estudio de Ortega de 1980, con base en correlaciones estratigráficas, sugiere la posibilidad de que se extienda hasta el Paleoceno.

4. GEOLOGIA LOCAL

En la zona de estudio, afloran rocas volcánicas y sedimentarias, que comprenden desde el Jurásico Superior hasta el Cretácico Inferior; rocas ígneas intrusivas cretácicas y terciarias, así como rocas metamórficas de contacto penecontemporáneas al intrusivo cretácico (mapa 1).

SECUENCIA VULCANOSSEDIMENTARIA

Cretácico Inferior

Formación Comburindio–San Lucas.- Se presenta en tres diferentes unidades:

Primero en afloramientos con forma de derrames lávicos de rocas andesíticas de color gris oscuro a negro con coloraciones verdosas, de textura porfídica, constituidas principalmente por fenocristales de andesina –oligoclasa, con hornblenda como mineral accesorio y cristales de pirita cúbica muy fina, alteración incipiente de los minerales primarios a clorita y sericita, intemperiza en color gris claro. Cuando se encuentra cerca del contacto con el intrusivo tonalítico, presenta una débil propilitización (clorita, epidota, calcita, cuarzo, pirita). Se encuentra interdigitada con depósitos de tobas andesíticas. Los pocos afloramientos de dicha unidad se encuentran en los arroyos al sur del área, ya que en su mayor parte está cubierta por aluvión y suelo residual, y se desconoce su espesor.

La siguiente unidad en la zona, corresponde a una unidad bioestromática formada por calizas de color gris con fósiles (rudistas). Se encuentra interdigitada con también con la unidad de tobas de composición andesítica de color gris claro con fragmentos líticos oscuros y textura porfídica (Fig. 9). Esta unidad se presenta afectada por el intrusivo tonalítico Cretácico que provocó recristalización y silicatación; y transformó las tobas a hornfels y las calizas a skarn y mármol. Posteriormente también fueron afectadas por alteración hidrotermal a epidota y clorita. La asociación litológica reconocida en el área, permite correlacionar dichas unidades litológicas con la Formación Comburindio definida por Pantoja, guardando mayor similitud con el miembro inferior Terrero Prieto.

Dentro del área de estudio, es la única formación de carácter estratificado preintrusión que aflora en el área, y está presente también material aluvionar.

ROCAS IGNEAS INTRUSIVAS

Cretácico

El principal cuerpo intrusivo del área se presenta como una apófisis de forma tabular con rumbo N65°W, con potencia aparente de 300 m y una extensión a lo largo de 1500 m, en contacto con las calizas de la Formación Comburindio. Esta roca es similar a las rocas del evento magmático de finales del Albiano y principios del Cenomaniano que dio origen al tronco granodiorítico de Placeres del Oro, del cual Larsen (1958) (en Pantoja, 1992) obtuvo un fechamiento isotópico ($Pb\alpha$) de 105 ± 10 Ma, y al cuál Damon (1987) le asigna una edad de 95.6 Ma, que de cualquier modo lo ubica dentro del Cretácico. Este intrusivo en esta área varía en composición de granodiorita a una tonalita de textura porfídica a equigranular de grano medio, con fenocristales de hornblenda y plagioclasas, en una matriz de cuarzo y plagioclasas.

Otros intrusivos, probablemente de la misma edad e incluso más jóvenes, afloran al poniente y al noreste del área, lo que afecta a la tectónica y sedimentación de la región, lo que además los favorece como regiones prospectivas.

Terciario Inferior (?)

Se encuentran en forma de diques de 0.5-20.0 metros de espesor y hasta 750 metros de largo, con un rumbo similar al de la tonalita (N65°W), son cuerpos dioríticos de textura porfírica, color verde claro a pardusco, con fenocristales de plagioclasas, y clorita intersticial, con microvetillas de calcita y cuarzo. Están débilmente alterados a sericita. Estos intrusivos afectan a toda la secuencia, por lo que al menos son de edad postskarn.

ROCAS METAMORFICAS

MARMOL- Roca de colores blanco a gris en bandas, de textura xenoblástica, con cristales de 2-3 mm, con relictos de fósiles. La roca fue afectada principalmente por dos eventos; uno el metamorfismo termal de caliza a mármol, y uno segundo hidrotermal, que dio origen a vetillas de cuarzo microcristalino, calcita, sulfuros y óxidos de Fe.



Fig 9. Fotografía de afloramiento de interdigitación tobas – calizas.

SKARN DE GRANATE Y PIROXENO - De color verde a pardo, constituida por un mosaico de cristales euedrales a anedrales de granate (grosularita-andradita), con bandeamiento, en ocasiones en una matriz de granate masivo, con escasa magnetita intersticial, y ocasionalmente calcopirita y pirita diseminados. Se encuentra afectado por un evento hidrotermal evidenciado por las vetillas de cuarzo y calcedonia con sulfuros, así como por el reemplazamiento parcial de los granates por sulfuros y magnetita, (Victoria, 1994). Esta roca se forma por el metasomatismo de contacto entre las calizas y el intrusivo tonalítico, se desarrolla a partir de ambas rocas; dependiendo del protolito que le da origen, varía en textura y en composición, por lo que se tiene la presencia de exo y endoskarn. También se encuentra alterada por soluciones hidrotermales a epidosita, o a un skarn

alterado a clorita. Presenta huecos por lixiviación, así como vetillas o parches de malaquita y limonitas.

HORNFELS- Roca color gris oscuro con textura afanítica, en la que se pueden observar fenocristales de plagioclasas alteradas y frescas, también textura piroclástica relictas, en una matriz criptocristalina, con cuarzo, granate, débil presencia de wollastonita y pirita. Al igual que el skarn, formado por metasomatismo de contacto, pero entre las tobas andesíticas y la tonalita. También alterado por soluciones hidrotermales con una cloritización incipiente con, clorita, pirita, calcita y epidota. Esta unidad se presenta en escasos afloramientos al sur del área y en el contacto norte de las calizas con las tobas.

EPIDOSITA- Es una roca verde a marrón con manchas blancas, de textura masiva, con epidota, y clorita, algo de pirita y calcopirita diseminadas, con vetillas de calcita y cuarzo, con algunos puntos de limonita. Formada por reemplazamiento hidrotermal del skarn (diafóresis a minerales hidratados de los calcosilicatos), (Victoria, 1994). Está muy relacionada con las zonas más mineralizadas dentro del skarn, sin embargo no se considera como una unidad cartografiable a gran escala.

5. GEOLOGIA ESTRUCTURAL REGIONAL

Según Campa (1978), la región de Tierra Caliente ha sufrido cuatro fases de deformación, a saber: tres deformaciones compresivas, una durante el Cenomaniano, responsable de los pliegues de rodilla y de la esquistosidad de la secuencia volcanosedimentaria; otra del Paleoceno (Laramídica), la cual provocó grandes pliegues anticlinales y sinclinales y el cabalgamiento de la secuencia volcanosedimentaria sobre las series de plataforma, y otra a finales del Mioceno, responsable del levantamiento regional de gran radio de curvatura con una orientación general NNW-SSE. La última fase de deformación es extensiva y correspondería a la neotectónica pliocuatemaria, la cual ha producido fallas y diaclasas, de acuerdo a un patrón de esfuerzos NNW-SSE, NE-SW, N-S y E-W, así como fosas, pilares, terrazas de erosión y valles relictos (Campa y Ramírez, 1979).

Los trabajos efectuados por Jonson (1990), a partir de imágenes Landsat y trabajo de campo en la región de San Lucas, Mich.; permiten reconocer la presencia de pliegues amplios y cabalgaduras laramídicas orientados hacia el NNE, que ponen en contacto la secuencia volcanosedimentaria metamorfozada del Jurásico Superior-Cretácico Inferior, con las series carbonatadas Cretácicas, e inclusive con rocas del basamento. Este tipo de deformación "cordillerana" en cuñas tectónicas, sería responsable de duplicaciones de la distribución de las formaciones mesozoicas y de la exposición de rocas del basamento (Johnson, 1990 en Ortiz *et al.*, 1991).

5.1 GEOLOGIA ESTRUCTURAL LOCAL

En el área de La Cruz, los patrones estructurales marcan una tendencia preferencial N65°W, por lo menos en lo que fallas y a contactos se refiere, coincidente con el rumbo con que aflora la tonalita y que al parecer se emplazó en la zona de debilidad marcada por el contacto entre las calizas y las rocas volcánicas, y con el principal sistema de fracturamiento, N50°W, buzando hacia el SW (60°-75°), dicho sistema pudo haber servido como canal de mineralización. Las calizas y tobas, afloran prácticamente Este-Oeste (N80°W), buzando suavemente hacia el noreste (40°), y presentan poca deformación. Los cuerpos de reemplazamiento, adoptan de manera preferente la misma tendencia comportándose como mantos, ya que se encuentran al bajo o al alto de las calizas Comburindio, aunque se interpreta que en la porción occidente del área se comportan como colgantes sobre el intrusivo.

El intrusivo tonalítico se presenta como una apófisis en forma tabular con rumbo N65°W, misma tendencia que adoptan los diques dioríticos terciarios, encajonados en fracturas distensivas producidas por enfriamiento, dentro de la tonalita, y en las cercanías de los contactos con las rocas vulcanosedimentarias. Otro rasgo que presenta la misma orientación, son los cuerpos vetiformes discordantes de cuarzo y/o sílice y que se encuentran alineados en dirección N60°W, encajonados en las calizas, mármol, tobas, y controlados por los contactos entre calizas y tobas.

6. CONTEXTO GEODINAMICO REGIONAL

El contexto geodinámico de formación de la secuencia vulcanosedimentaria de Tierra Caliente, puede establecerse a partir de las características sedimentológicas y de la afinidad de sus facies magmáticas asociadas.

Los datos geoquímicos señalan una afinidad toleítica de arco para las rocas de la secuencia vulcanosedimentaria de Huetamo (Ramírez *et al.*, 1991), y no descarta, una presencia de rocas transicionales entre toleítica y alcalina. "Parece ser que existe toda una evolución para estas rocas, ya que se conoce la existencia de espectros empobrecidos en elementos litófilos y elementos con fuerte carga iónica, hasta rocas enriquecidas en estos elementos, lo que correspondería a la transición basaltos y andesitas toleíticas-basaltos transicionales-(toleíticos-alcalinos?)-basaltos calcoalcalinos. Esto implica una evolución magmática continua, donde las características geoquímicas del magma cambian en el interior de la cámara magmática, para pasar de un magma empobrecido en elementos con fuerte carga iónica a un magma enriquecido en los mismos elementos. Estas características magmáticas son comunes en rocas de arco magmático formadas arriba de una zona de subducción, donde el enriquecimiento en elementos litófilos, se considera el resultado de la adición de fluidos hidrotermales provenientes de la zona de subducción" (Pearce, 1983 en Ortiz *et al.*, 1991).

En la región de Huetamo, la ausencia de metamorfismo, y el carácter predominantemente turbidítico y volcanoclástico de la base de la sucesión litoestratigráfica, la cual pasa en aparente

concordancia a formaciones carbonatadas arrecifales / litorales / lagunares / de marea y capas rojas subaéreas formada en sistemas aluvionares o fluviales (Johnson; 1990 en Ortiz *et al.*, 1991) sugiere que representa una zona transicional entre el océano y continente, desarrollada sobre una plataforma continental afectada por actividad volcánica de mayor intensidad hacia la porción occidental y posteriormente por intrusiones del Cretácico tardío al Terciario Medio (Fig. 10).

La secuencia volcanosedimentaria no metamorfozada de Huetamo, podría representar por lo tanto una zona de sedimentación contigua al arco magmático. Las rocas piroclásticas e hidroclásticas fueron depositadas en los flancos de los volcanes, durante su emergencia y crecimiento, dado que se tienen evidencias de campo, que algunas erupciones volcánicas se llevaron a cabo en la transición de un ambiente submarino-subaéreo, contemporáneamente al desarrollo de estructuras de tipo maar y anillos de tobas. Así, las capas rojas deformadas del Albiano-Cenomaniano presentes en la porción suroccidental del área, en las cercanías de Huetamo (Fm. Ixtapilla de Salazar, 1973 o Fm Cutzamala de Pantoja, 1990), son interpretadas como los residuos de la alteración de tobas de lapilli, depositadas en condiciones climáticas entre subacuosa-subaéreas, posiblemente en abanicos aluviales o deltas.

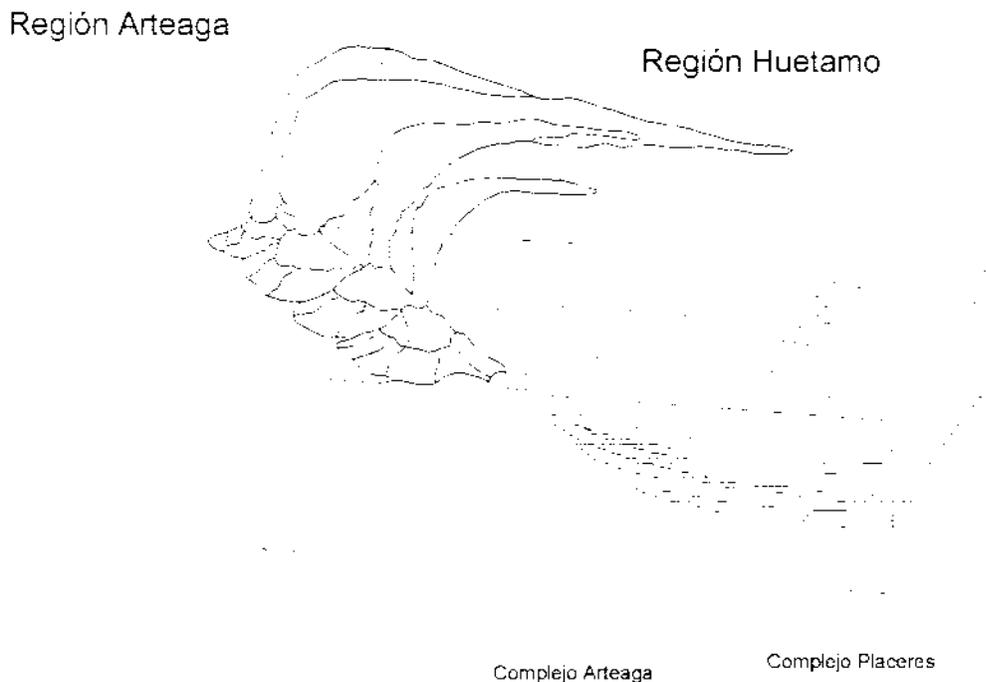


Fig. 10 Reconstrucción esquemática del ambiente deposicional de la secuencia de arco Jurásico – Cretácico del subterreno Huetamo, (Centeno, 1994).

La actividad volcánica del arco magmático oceánico de las secuencias de Palmar Chico-Arcelia y de la región de Arteaga, suministró parte del material volcanoclástico de la secuencia volcanosedimentaria contemporánea de Huetamo, el cual fue depositado por corrientes de turbidez, secuencia que representaría entonces una cuenca asociada al arco magmático. Estas secuencias fueron deformadas durante el Cenomaniano-Turoniano, y cabalgadas sobre la Plataforma Morelos-Guerrero durante la orogenia Larámide.

El origen y evolución del terreno Guerrero son todavía materia de discusión así como el bosquejo tectónico preciso. Varios modelos se han postulado para las unidades volcánicas-volcanosedimentarias de este terreno. Estos modelos incluyen: 1) un arco magmático con subducción al oriente (Campa & Ramírez, 1979); 2) un arco oceánico alóctono con subducción al occidente (Campa & Coney, 1983); 3) varios arcos cuyas afinidades, posición y edad no se conocen completamente (Campa & Coney, 1983); y 4) dos arcos magmáticos, el arco Teloloapan-Arcelia y el Zihuatanejo-Huetamo, con cuencas de retroarco asociadas, de diferente edad (Ramírez *et al.*, 1991) (Fig. 11).

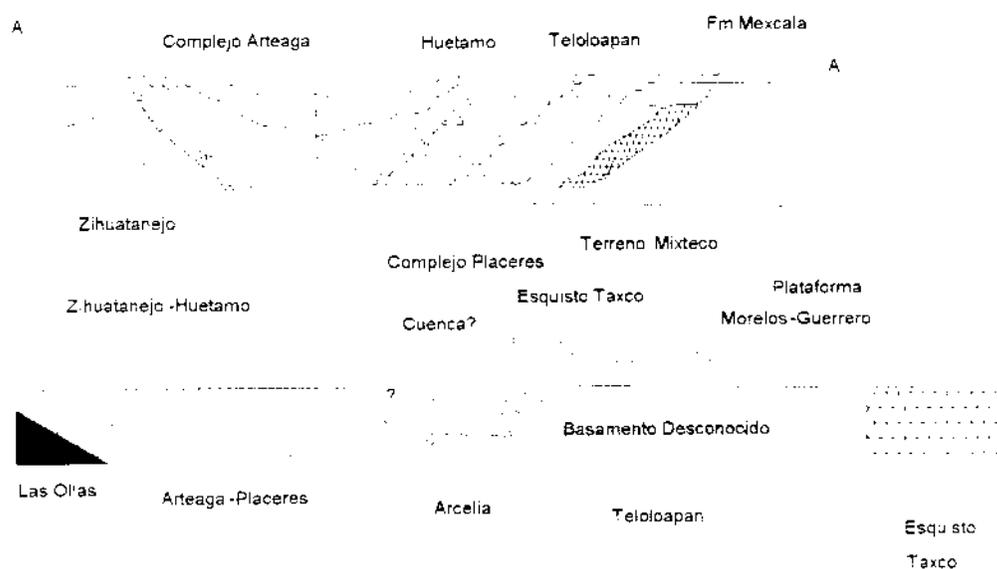


Fig 11. Sección geológica esquemática del sur del terreno Guerrero, y reconstrucción de las principales asociaciones estratotectónicas, (Centeno, 1994).

III. YACIMIENTOS MINERALES

1. GENERALIDADES

En el prospecto La Cruz; las asociaciones litológicas presentes, el tipo de alteración y mineralización, corresponden a un yacimiento tipo skarn de Fe y Cu con valores diseminados de oro, caracterizado por un skarn de granate-piroxeno, reemplazado parcialmente por cuerpos masivos de magnetita, con calcopirita y pirita diseminadas, principalmente.

Smimov (1976) sugiere la clasificación de skarns basada en la composición del protolito del skarn: calcáreo, magnésico o silicatado. Mientras Einaudi *et al.*, 1981, definen al skarn como: "reemplazamiento de carbonatos (u otras rocas sedimentarias o ígneas) por silicatos de Ca-Fe-Mg-Mn resultantes de la recristalización metamórfica de rocas silico-carbonatadas". Algunos depósitos referidos como skarns auríferos, en realidad son skarns de Fe y Cu por su contenido dominante de metales base o ferrosos, por lo que el oro se considera como un subproducto, aunque sea el elemento de interés económico.

Generalmente son exoskarns cálcicos con el oro asociado a una intensa alteración retrógrada a hidrosilicatos, aunque se conocen algunos magnésicos y en algunas áreas son dominantes. Algunos skarns auríferos tienen importancia económica dentro del endoskarn.

Entre los depósitos asociados, se incluyen skarns de Cu, Fe y Pb-Zn, y pórfidos de Cu relacionados a skarns, pórfidos de Cu-Mo o depósitos de Cu-Au, pórfidos de Cu, carbonatos con Au-Ag, reemplazamiento polimetálico y vetas polimetálicas, depósitos diseminados de Au-Ag distales, skarns de W, skarns y greissens de Sn, oro de placer, y otros depósitos relacionados a intrusiones félsicas a intermedias incluyendo sistemas de molibdeno en stockwork. En algunos distritos con oro en skarns, hay zoneamiento del centro (a veces, un pórfido de Cu u otro cuerpo) de Cu+Au y Ag; a una zona intermedia de skarn de Au y otros tipos de mineralización de Au; a una zona externa de Zn+Pb+ Ag+Au (Fig. 12).

"En su mayoría se encuentran presentes en cinturones orogénicos y arcos insulares de edad mesozoica y cenozoica; pocos se encuentran en rifts cratónicos. La distribución regional puede estar confinada por el emplazamiento de sistemas magmato-hidrotermales enriquecidos en Au posiblemente controlados por rifts grandes, activos, intersectando la orilla del cratón en el ambiente de margen continental. Este magmatismo puede estar relacionado a la actividad del tectonismo extensional de escala regional", Meinert, 1989. Para el caso del yacimiento de La Cruz, existen marcadas evidencias sobre todo estratigráficas, para establecer su presencia en un ambiente de arco insular, relacionado a una margen de subducción activa.

Las secuencias volcánicas de arcos insulares, los sedimentos clásticos y las intrusiones calcoalcalinas comagmáticas son características comunes de los terrenos que encajonan la mayor parte de los depósitos conocidos de skarn de Au (Einaudi *et al.*, 1981).

2. ORIGEN DE LA MINERALIZACION

El yacimiento metasomático de contacto de La Cruz, se formó a partir de la intrusión tonalítica en la secuencia volcanosedimentaria Jurásico-Cretácica de Huetamo, provocando una franja de skarn de granate y piroxenos, reemplazados por cuerpos masivos de magnetita con menor diseminación de pirita y calcopirita, principalmente en la secuencia calcárea.

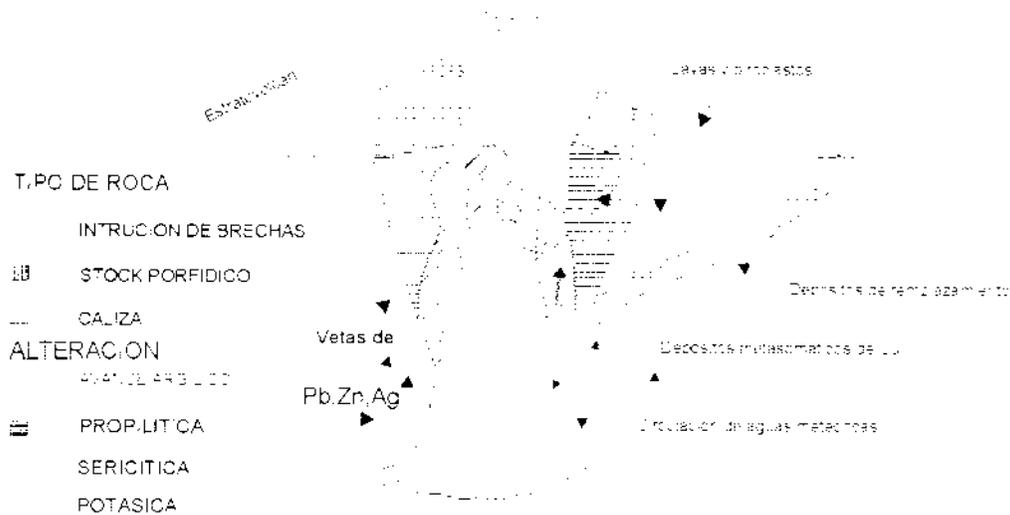


Fig. 12 Representación esquemática de un sistema Inferido de pórfido de cobre relacionado a un skarn, depósitos metasomáticos y vetas hidrotermales, (modificado de Sillitoe, 1973).

Posteriormente el skarn y los cuerpos de hierro metasomático fueron afectados por el paso de fluidos hidrotermales que provocaron el reemplazamiento de los silicatos anhidros por clorita, epidota, calcita y cuarzo (alteración retrógrada), con sulfuros y óxidos de hierro (magnetita, hematita, limonita) diseminados en la matriz, y vetillas y cuerpos de sílice (jaspe, calcedonia y cuarzo).

3. MINERALIZACION

La mineralización económica del yacimiento, se presenta principalmente en tres formas:

- a) Como cuerpos masivos de magnetita con diseminación de calcopirita y pirita, parcialmente oxidados a limonitas por procesos supergénicos, lo que provoca un enriquecimiento en oro, con vetillas de cuarzo cristalino y calcedonia, con trazas de sulfuros.
- b) Cuerpos vetiformes de cuarzo microcristalino y calcedonia, con trazas de calcopirita y pirita, parcialmente oxidados a limonitas.
- c) Mineralización diseminada de sulfuros (pirita, calcopirita, magnetita), en matriz de diferentes litologías, principalmente skarn, tonalita y volcánicas y/o hornfels, con sus productos de alteración supergénica respectivos (limonitas, malaquita, azurita, etc.).

3.1 FORMA

En el prospecto se tienen varios cuerpos de hierro, que se comportan de manera mantiforme dentro de la secuencia volcanosedimentaria, o al contacto con la tonalita, y de manera irregular dentro del intrusivo y el endoskarn, en las andesitas y en las tobas, alcanzando hasta 20 metros de potencia y dimensiones de hasta 400 metros por 100 metros.

Los cuerpos de sílice se comportan principalmente de dos formas; como vetas de cuarzo masivo burdamente bandeado blanco a crema con calcedonia, y en ocasiones como estructuras brechadas asociadas al parecer a varias etapas de actividad hidrotermal, con drusas en cavidades y con vetillas de calcita, y pirita diseminada se alinean con un rumbo general N65°W, aproximadamente. Y como cuerpos de jaspe, preferentemente de manera mantiforme, dentro de las calizas, producto del reemplazamiento de las mismas calizas.

El otro tipo de mineralización, es diseminación de magnetita, pirita y calcopirita en matriz de skarn, intrusivo y rocas volcánicas y/o hornfels, por lo que se presenta de forma irregular.

3.2 DIMENSIONES

Debido a que el objetivo es definir mineralización diseminada, las estructuras de cuarzo y jaspe no se consideran como recursos unitarios, sino que se integran dentro de áreas susceptibles de extracción. Se reconocen 4 áreas de alteración-mineralización distribuidos de la siguiente forma:

El area I (Oeste), al noroeste del prospecto, constituido por un cuerpo al bajo de la caliza, y al alto de la tonalita, disminuyendo su potencia hacia el sureste al cambiar a facies volcánicas, entre las secciones L100 hasta la L600 y la LR y L150S. Se tienen tres cuerpos:

CUERPO	LONGITUD	ANCHO	POTENCIA
1	200	80	20
2	400	40	20
3	200	100	20

El área II se encuentra entre las secciones L600 y L1000, tratándose de un cuerpo subparalelo al anterior, encajonado entre calizas al alto y tobas al bajo, se estima una longitud de 400 m y 10 de ancho.

El área III (Área Norte L1000), con afloramientos a lo largo de 100 m, con un ancho inferido de 25 m, al igual que los otros dos, encajonado entre las calizas y las tobas, con una potencia estimada de 50 m.

Por último, el área IV (La Parotita), en la parte suroccidental del área, con óxidos masivos de hierro y skarn con diseminación de magnetita y pirita, encajonado en tobas, (Fig. 13). Se localiza entre las secciones L250 y L400, con dimensiones de 200 m de longitud, por 25 m de ancho.



Fig. 13 Fotografía de afloramiento de cuerpo de magnetita, área La Parotita.

3.3 MINERALOGIA

En orden de abundancia, los minerales de importancia económica son: oro, calcopirita, bornita, malaquita, pirita, aunque los valores de oro están directamente relacionados con magnetita, hematita, limonitas, jaspe, cuarzo.

Mientras que la ganga está formada por calcita, granate, piroxenos, epidota, feldespatos, clorita, hornblenda, magnetita, hematita, limonitas, jaspe, cuarzo.

3.4 METALURGIA

Se pueden considerar varios grupos de mena, desde el punto de vista de tratamiento metalúrgico y grupo mineralógico, dado que el proceso involucrado para su beneficio depende de las características físicas y químicas de cada grupo, ya que responden de manera diferente a los procesos de liberación de la mena.

En el prospecto se diferencian, principalmente los siguientes tipos de mineral:

a) LC-1 Son cuerpos masivos y semimasivos de hierro, consistentes de magnetita y hematita primaria, parcialmente oxidados a limonitas secundarias que resultan enriquecidas en oro. Ocasionalmente vienen acompañadas de jaspe, cuarzo y calcedonia en vetillas.

b) LC-2 Diseminación de minerales supergénicos de cobre y óxidos de hierro, principalmente en matriz de skarn de granate.

c) LC-3 Los cuerpos de sílice son menos abundantes, con textura masiva, brechada, celular, en vetillas de cuarzo blanco con drusas, y cuerpos de jaspe y con pequeñas hojuelas de especularita, pirita y galena diseminadas, así como óxidos de hierro secundarios.

d) LC-4 La diseminación de sulfuros se encuentra presente en el skarn, y en menor proporción en los cuerpos masivos de hierro, en las tobas y en el intrusivo, estando representados por pirita, calcopirita, bornita, esfalerita (marmatita).

Con estos tipos de mineral, se realizó investigación metalúrgica, mediante cianuración en botellas en dos diferentes granulometrías, con una sola aplicación de cianuro de sodio (NaCN) y 7 días de lixiviación con los siguientes resultados:

LITOLOGIA	LEY DE CABEZA CALCULADA			% RECUPERACION		
	Au g/T	Ag g/T	Cu %	Au	Ag	Cu
LC-1	1.39	4	0.17	78.45	67.52	47.79
LC-2	1.07	5	0.84	53.37	50.81	24.66
LC-3	2.13	33	0.11	89.2	79.91	12.13
LC-4	0.22	9	0.84	8.88	18.68	23.59

Tabla 2. Resultados de pruebas metalúrgicas a muestras del prospecto La Cruz.

Estos resultados no pueden considerarse definitivos, pero dan una idea del comportamiento metalúrgico del prospecto, se puede observar que los cuerpos de óxidos y de cuarzo-jaspe, presentan muy buenas recuperaciones, con 78.45% y 89.2%, respectivamente, mientras que las muestras con mayor contenido de cobre (cianicida) presentaron recuperaciones más bajas e incluso malas, lo que provocaría problemas de disminución de recursos en el momento de evaluar el prospecto. Mientras que para la muestra LC-4, se aprecian malas recuperaciones, ya que los sulfuros consumen mucho cianuro para disolver el oro.

4. ALTERACIONES

En la caliza, penecontemporáneamente a la intrusión ocurre una alteración metasomática de calcosilicatos, formada por granate, piroxeno, calcita, cuarzo, formando la aureola de skarn, al contacto con la tonalita, por lo cual se considera una alteración primaria.

Mientras que las alteraciones hidrotermales directamente relacionadas a la mineralización en el mismo skarn, producto de una diafóresis a minerales hidratados por parte de las fases anhidras, son una propilitización de moderada a intensa, con predominio de epidota, y en menor abundancia

clorita, calcita, cuarzo, pirita, albita. Dependiendo de la proporción de minerales de alteración presentes, también se tiene cloritización y silicificación.

Mientras que en el intrusivo tonalítico, se encuentran presentes las siguientes alteraciones:

Argilización: producto de la alteración de los feldespatos a arcillas, principalmente caolinita, sericita, montmorillonita, illita.

Cloritización: afectando a los minerales máficos, hornblenda y biotita, con menor presencia de epidota.

Feldespatización: una incipiente alteración de las plagioclasa a feldespato potásico, y también ocurriendo en vetillas de unos cuantos milímetros y en áreas muy restringidas.

En las tobas, la principal alteración es una silicificación de incipiente a moderada, guardando una relación directa con la distancia al contacto con el intrusivo tonalítico, acompañada de trazas de pirita, y una menor presencia de clorita, epidota y calcita.

5. CONTROLES DE LA MINERALIZACION

Es posible observar dos tendencias de control para la mineralización en el prospecto La Cruz; uno litoquímico, y otro estructural.

5.a Control Litoquímico

De manera preferente, las calizas son más susceptibles a comportarse como barreras geoquímicas para el reemplazamiento por calcosilicatos, ya que al reaccionar con el intrusivo, las fases mineralógicas que se encuentran en equilibrio corresponden a dicha familia de minerales ya sea exo o endoskarn; en el mapa 1 puede observarse que la mayoría de los cuerpos que afloran, se encuentran relacionados al skarn debido probablemente al incremento en porosidad y a mayor afinidad geoquímica por este tipo de minerales. Sin embargo, cuando el factor dominante es el estructural, no se considera relevante la litología involucrada, como en el caso del área La Parotita, donde las litologías involucradas son rocas volcánicas y el skarn de granate.

5.b Control Estructural

Localmente se observa un lineamiento entre el intrusivo, las calizas y las tobas, de tendencia N75°W, misma tendencia que observan los diques dioríticos terciarios post-mineralización, los sistemas de fallas, y los mismos cuerpos mineralizados, que aunque varían un poco en rumbo a N40°W, señalan una tendencia clara a favorecerlos como canales de mineralización.

IV. GEOFISICA

La exploración geológico-minera es una labor de alto riesgo económico, a mediano y en ocasiones a largo plazo, ya que llegan a transcurrir más de 20 años para desarrollar un proyecto minero. Por lo tanto, es necesario utilizar todos los soportes tecnológicos adicionales que apoyen las evidencias geológicas superficiales de interés para continuar el desarrollo de los prospectos en las subsecuentes fases de exploración directa; motivo por el cual, se hace uso de la exploración indirecta por métodos geofísicos; al seleccionar las técnicas o recursos que mejor se adapten a las características físicas del modelo geológico a evaluar.

Como aporte para la comunidad estudiantil que cursan las carreras relacionadas a las Ciencias de la Tierra va implícito el deseo de informar sobre los métodos indirectos de exploración, utilizados en la evaluación del prospecto La Cruz, que son: POLARIZACION INDUCIDA/RESISTIVIDAD y MAGNETOMETRIA TERRESTRE, al considerar sus fundamentos teóricos, generalidades, planeación, desarrollo y evaluación de resultados.

1. POLARIZACION INDUCIDA

Conrad Schlumberger fue el primero en describir el fenómeno de la respuesta de polarización inducida (polarisation provoquée) en su libro publicado en 1920; a él se le reconoce por ser el primero en estudiar el fenómeno, pero fue Robert Fox el primero en observar el fenómeno en 1815.

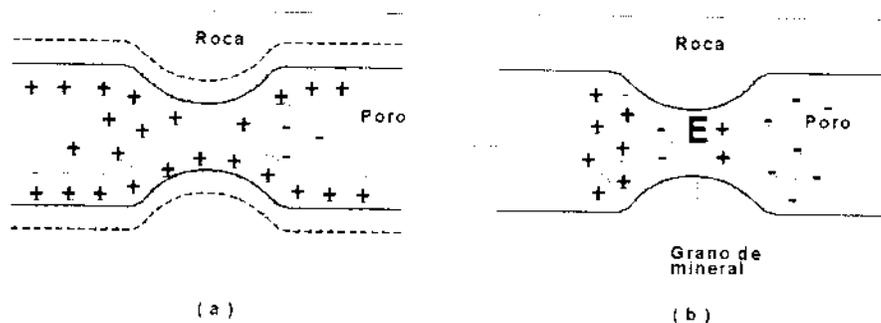
El efecto de polarización inducida (PI) se observa cuando la inyección de corriente ha sido interrumpida en el subsuelo. La respuesta será parte integral del contenido mineralógico de las rocas del terreno donde se aplique la inyección de corriente eléctrica. Existen conductores iónicos y metálicos:

- * los iónicos o electrolíticos son aquellos que conducen la electricidad por medio de los iones, estos iones llenan los espacios saturados de agua en las rocas, como las arcillosas y silicatadas. Un terreno que transmite cantidades importantes de electricidad constituye un conductor electrolítico.
- * los conductores metálicos o electrónicos son aquellos que conducen la electricidad por medio de los electrones, en este grupo están incluidos la mayoría de los sulfuros de los metales base (Cu, Pb, Zn, etc.), algunos óxidos de hierro y el grafito; a este grupo se le llama comúnmente de minerales metálicos.

El método de P.I. está basado en las propiedades eléctricas mostradas por los conductores electrónicos envueltos en una matriz conductora electrolítica. Cuando esto sucede, el fenómeno de P.I. resulta de la acción de bloqueo o polarización de estos conductores electrónicos en el medio de conducción iónica, y ocurre precisamente en las interfases en donde el modo de conducción cambia de iónica (en las soluciones que llenan los espacios porosos de las rocas) a electrónica (en los minerales metálicos).

Si se considera una sección de terreno en la que se inyecta una corriente continua por medio de los electrodos P1 y P2. En la capa A, la corriente es transmitida por los iones de los electrolitos

presentes en los poros de las rocas de esa capa. En la capa B, el paso de esos iones es interrumpido por un grano de mineral metálico que conduce la corriente por medio de electrones. Por ello, en la cara izquierda de entrada de corriente, se apilan los iones positivos y los negativos en la cara derecha, por donde sale la corriente; las cargas iónicas formadas crean un voltaje que tiende a oponerse al flujo de corriente que cruza la partícula metálica y ésta se dice que está polarizada. Cuando se interrumpe la corriente, sigue existiendo en cierto tiempo un voltaje residual debido a que estas cargas iónicas depositadas sobre las caras de las partículas se difunden lentamente en los poros del electrolito. Este voltaje residual que decrece rápidamente con el tiempo es el que origina el efecto de Polarización Inducida, (Fig. 14). Este método es llamado de IMPULSO TRANSITORIO, donde la polarización se detecta como una pequeña corriente amortiguándose, que fluye después de una corriente continua aplicada, conectada y desconectada en intervalos regulares de tiempo. La medida real se hace en términos de la pequeña cantidad de tiempo en que esta corriente fluye; esta medida se describe como realizada en el dominio del tiempo, (Kearey, 1984).



Mecanismo de polarización inducida
 { a } Membrana de polarización
 { b } Electrodo de polarización

Fig. 14 Mecanismos de polarización inducida, a) Polarización de membrana y b) Polarización de electrodo, (Kearey, 1984).

En el método de FRECUENCIA VARIABLE, se efectúa la medida en términos del efecto producido por el cambio de frecuencia de la corriente aplicada y la polarización se detecta por la disminución de la resistividad cuando aumenta la frecuencia de la corriente aplicada.

2. METODO DE TRABAJO

Para seleccionar los métodos geofísicos que mejor se adapten al modelo que se desea probar, es necesario considerar las características geológicas, mineralógicas y litológicas inherentes relacionadas a un yacimiento metasomático de contacto de Cu-Fe con valores de Au. De lo anterior,

se desprendió un levantamiento de PI/RESISTIVIDAD en el dominio del tiempo y MAGNETOMETRIA TERRESTRE, como apoyo a las áreas de interés geológico y geoquímico, con lo cual se pretendía definir contrastes en los valores de Resistividad Aparente y cargabilidad relacionados a profundidad con un intrusivo como fuente de posible mineralización y a partir de estos resultados, soportar un programa de barrenación.

El equipo geofísico utilizado para el trabajo de PI/RESISTIVIDAD, fue un transmisor Scintrex TSQ-4/10Kw y un receptor Scintrex IP-4.

Con orientación N-S, se corrieron las líneas de PI/RESISTIVIDAD, 17850 m con arreglo dipolo-dipolo a 50 m y 3700 m con arreglo a 100 m, en 18 secciones separadas cada 100 m hacia el Este de la línea base. Se levantaron 35100 m de MAGNETOMETRIA en líneas cada 100 m y estaciones cada 12.5 m con equipo GEOMETRIC G856 y MP-2 de 18 gammas de resolución y un sensor en posición ALBASTON. Se inició el trazo de una retícula con estacado y numeración de estaciones, en la primera fase se construyeron 11 líneas, 8 de 800 m y 3 de 150 m cada una. Posteriormente se continuaron por 950 y 650 m respectivamente. Se trazaron otras 7 más, 1 de 1000 m y 6 de 1950 m, con dipolos de 50 m.

Concluida la retícula con el estacado de las estaciones de medición, se procedió a realizar pequeños pozos con secciones de 25-30 cm de diámetro por 40-50 cm de profundidad en las estaciones donde se inyectaría corriente, tomando como referencia una línea base perpendicular a las líneas.

En el método del DOMINIO DEL TIEMPO con arreglo electródico dipolo-dipolo, se procede a hacer inyecciones de corriente a través de electrodos colocados en cada pozo, tomándose las lecturas en cada estación, las cuales se registran para después generar la base de datos en una computadora, se realiza el procesamiento de la información mediante el paquete de computo denominado GEO-SOFT que contiene programas para cálculo y configuración.

Con estos datos procesados, se obtienen los valores tanto de Resistividad Aparente, Cargabilidad y Magnetometría, se elaboran los perfiles de cada línea, y se hacen los cálculos para la obtención del perfil de factor metálico. Estos perfiles se combinan con la sección geológica para procurar una interpretación más satisfactoria.

En la actualidad, al utilizar arreglos con 100 m de espaciamento entre dipolos se obtiene información sobre 900 m de la línea, y para arreglos con 50 m de espaciamento entre dipolos se logra información sobre 450 m lineales.

3. CARGABILIDAD Y DETECCION DE ANOMALIAS

Medición de la polarización inducida

En las mediciones realizadas durante los levantamientos de polarización inducida, el parámetro más comúnmente medido es la cargabilidad M, definida como el área A, por abajo de la

curva de decaimiento durante un intervalo de tiempo (t_1 - t_2) normalizado por la estabilidad de la diferencia de potencial V_c :

$$M = \frac{A}{\Delta V_c} = \frac{1}{\Delta V_c} \int_{t_1}^{t_2} V(t) d(t)$$

La cargabilidad se mide durante un intervalo corto de tiempo después de que la corriente de polarización se interrumpe (Fig. 15). El área A, la determina el aparato de medición por integración analógica. Los diferentes minerales se distinguen por su cargabilidad característica (ms/s), por ejemplo, la pirita tiene una $M=13.4$ ms/s y la magnetita $M=2.2$ ms/s.

Operación de campo

El equipo de PI es similar al de resistividad, pero más voluminoso y sofisticado, teóricamente cualquier extensión estándar puede emplearse, pero en la práctica las configuraciones polo-dipolo, dipolo-dipolo y Schlumberger son las efectivas. El espaciamiento entre electrodos puede variar de 3-300 m, con los más largos utilizados en estudios de reconocimiento. Para disminuir el trabajo de mover los electrodos de corriente y el generador, se utilizan varios pares de electrodos de corriente, conectados al generador mediante un interruptor múltiple. Los recorridos se realizan sobre el área de interés, y las lecturas de PI se registran en el punto medio (x) del arreglo de los electrodos (fig. 16).

Los ruidos en PI resultan de varios fenómenos. Las corrientes telúricas causan efectos anómalos similares a aquellos detectados en las mediciones de resistividad. Otros ruidos resultan del efecto general de PI en rocas estériles, causado por la membrana de polarización, y el que resulta del equipo de medición a partir del acoplamiento electromagnético entre cables adyacentes.

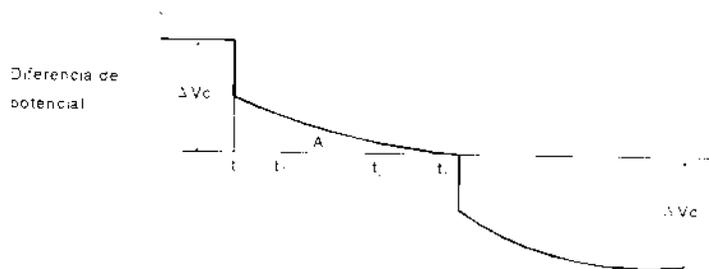


Fig 15. Gráfica del fenómeno de polarización inducida. Al tiempo t_0 , la corriente se apaga y la diferencia de potencial medida, después de una larga descarga inicial del valor inicial ΔV_c , ésta decae gradualmente a cero. Una secuencia similar ocurre cuando la corriente se enciende al tiempo t_1 . A representa el área bajo la curva de decaimiento para el incremento de tiempo $t_1 - t_2$ (Kearey, 1984).

4. INTERPRETACION Y DETECCION DE ANOMALIAS

La interpretación cuantitativa es considerablemente más compleja que en el método de resistividad. La respuesta en PI ha sido computarizada analíticamente para formas simples como esferas, elipsoides, diques, contactos verticales y estratos horizontales; con esto se facilita el uso de técnicas de interpretación indirecta (modelación numérica).

Los modelos de laboratorio también pueden emplearse en interpretación indirecta para simular y observar anomalías de PI.

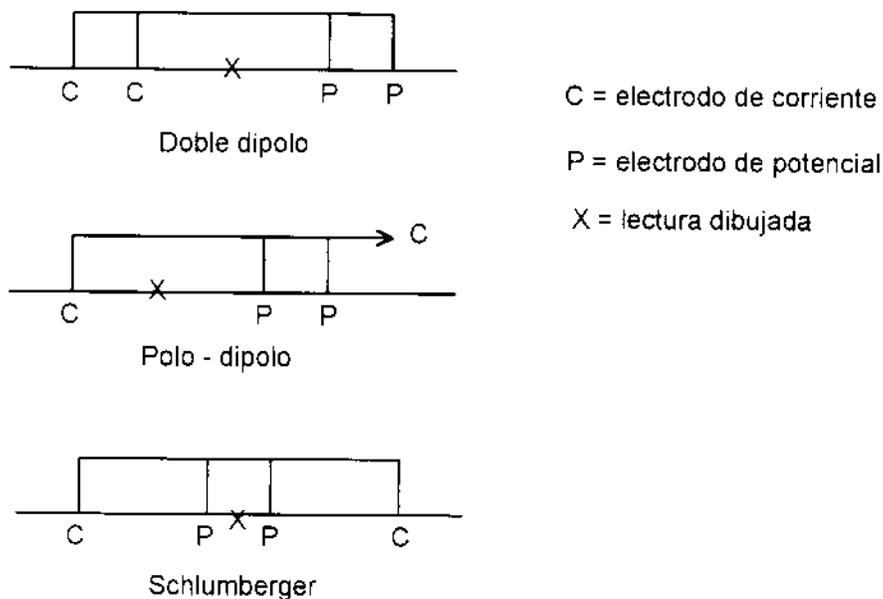


Fig. 16 Configuraciones de electrodos utilizadas en mediciones de polarización inducida.
(Kearey, 1984).

Mucha de la interpretación en PI, sin embargo, es sólo cualitativa. Los parámetros simples de las anomalías, tales como agudeza, simetría, amplitud y distribución espacial pueden usarse para estimar la localización, extensión lateral, echado y profundidad de las zonas anómalas.

El método de PI experimenta las mismas desventajas que los estudios de resistividad.

Otra aplicación importante y fuentes de anomalías de PI significativas, son las zonas de cizalla llenas de agua, zonas de falla con espesor considerable de milonitas y sedimentos estratificados de grafito que pueden generar fuertes efectos de PI.

El método de PI, se usa ampliamente en la exploración de metales base y metales preciosos asociados, ya que se ha tenido éxito en la localización de depósitos de baja ley con sulfuros diseminados, debido a que tienen un fuerte efecto, pero no son conductores, por lo que la PI es con mucho el método geofísico más efectivo que puede usarse en la búsqueda de estos blancos de

La resistividad (ρ) de un material se define como la resistencia en ohms entre las caras opuestas de una unidad cúbica de un material. Para un cilindro conductor de resistencia δR , longitud δL y área seccional δA , la resistividad está dada por (fig. 18):

$$\rho = \frac{\delta R \delta A}{\delta L}$$

La unidad de resistividad en el Sistema Internacional es el ohm.metro (Ωm).

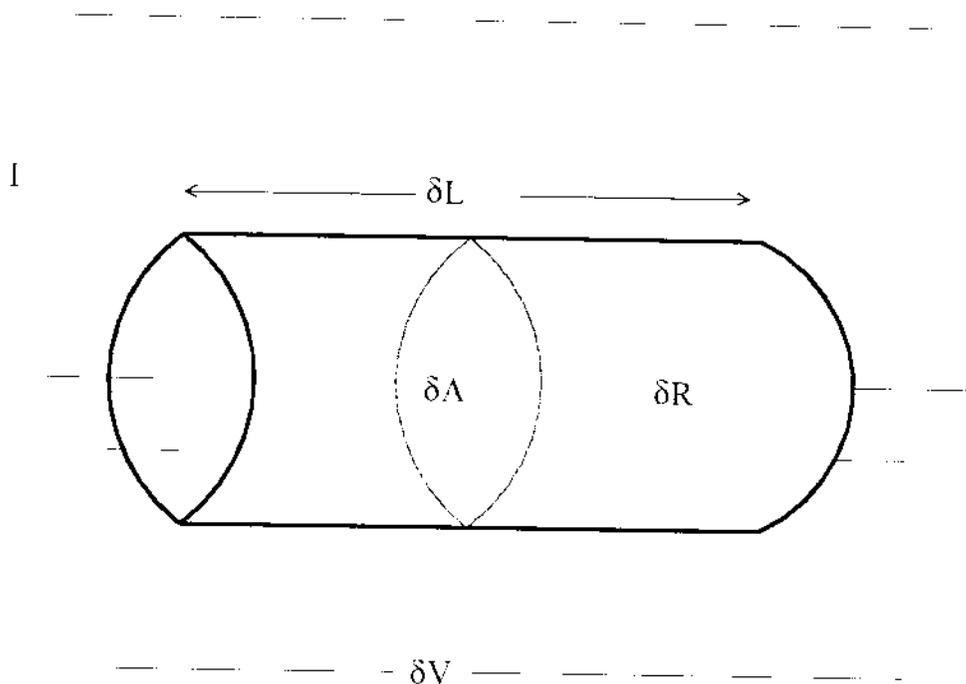


Fig. 18 Parámetros utilizados para definir resistividad, (Kearey, 1984).

La aplicación de los métodos geoelectrónicos exige el conocimiento de las propiedades electromagnéticas de las rocas y de los minerales constituyentes. Estas propiedades se expresan fundamentalmente por medio de 3 magnitudes físicas que son; la resistividad eléctrica (o su inversa, la conductividad), la constante dieléctrica y la permeabilidad magnética. Las propiedades que interesan al geofísico son las de las rocas y los minerales reales, tal como se encuentran en la naturaleza, con sus impurezas, fisuras, diaclasas, humedad, etc. El muestreo debe hacerse de la roca o mineral de interés (esto si es posible) y de las rocas encajonantes, esto para tener una idea del contraste de resistividad o cualquier otra propiedad física.

Los minerales y rocas presentan características de resistividad al paso de la corriente, aunque es complicado asignar un valor específico para cada mineral, si éste se encuentra en

diferentes condiciones al que se aplica en un prospecto, sin embargo, es importante constatar cuáles podrían ser mas o menos resistivos que otros. En la tabla 3, se enlistan algunos:

MINERALES DE RESISTIVIDAD BAJA (0.000001 - 0.001 Ωm)			
ARSENOPIRITA	FeAs	BORNITA	Cu ₅ FeS ₄
CALCOPIRITA	CuFeS ₂	CALCOCITA	Cu ₂ S
COVELITA	CuS	DISCRACITA	CuFeS ₂
HESSITA	Ag ₂ Te	MAGNETITA	Fe ₃ O ₄
PIRITA	FeS ₂	PIRROTITA	Fe ₇ S ₈
MINERALES DE RESISTIVIDAD MEDIA (0.001 - 1 Ωm)			
BRAUNITA	Mn ₂ O ₃	CALCOPIRITA	CuFeS ₂
CASITERITA	SnO ₂	COBALTITA	CoAsS
GALENA	PbS	ILMENITA	TiFeO ₂
MAGNETITA	Fe ₃ O ₄	MANGANITA	MnO(OH)
MARCASITA	FeS ₂	MOLIBDENITA	MoS ₂
PIROLUSITA	MnO ₂		
MINERALES DE RESISTIVIDAD ALTA (1 - 1000 Ωm)			
ALEMONITA	SbAs ₃	BISMUTINA	Bi ₂ S ₃
CROMITA	FeCr ₂ O	CUPRITA	Cu ₂ O
MOLIBDENITA	MoS ₂	PIROLUSITA	MnO ₂
SIDERITA	FeCO ₃	URININITA	UO ₂
WOLFRAMITA	MnFeWO ₄		

Tabla 3. Valores de resistividad de algunos minerales, (Kearey, 1984).

En esta tabla, se observa mucha variabilidad, por ejemplo, la pirita y calcopirita, esto es debido a la fuerte anisotropía que presentan los minerales. Los minerales más importantes que se comportan como aislantes o dieléctricos son: cuarzo, blenda, cinabrio, fluorita, hematita, algunas sales y silicatos.

El método de resistividad aparente está basado, en esencia, en el mismo principio que el de las líneas equipotenciales, pero es mucho más valioso, porque proporciona una medida cuantitativa de las propiedades conductoras del subsuelo. En condiciones favorables, esta técnica puede ser empleada para determinar las profundidades a que se encuentran capas de subsuelo que presentan conductividades anómalas bajas o elevadas, y para determinar la profundidad y forma aproximada de yacimientos minerales discretos con resistividad anómala.

El procedimiento básico consiste en medir el gradiente de potencial en la superficie, asociado a una corriente de intensidad conocida que circula por el subsuelo. Las irregularidades de la conductividad por debajo de la superficie influyen en la relación entre corriente y la caída del potencial en la superficie.

Cuando la resistividad no es constante a través del medio, la resistividad efectiva varía con la posición de los electrodos. Si estos son dispuestos a lo largo de una línea, y se van aumentando

las separaciones de una manera sistemática, la variación de la resistividad con el espaciamiento de los electrodos hace posible, en muchos casos sencillos, determinar la variación de la resistividad con respecto a la profundidad. la resistividad calculada se designa como "resistividad aparente".

En la práctica real se emplean diferentes configuraciones para los electrodos de corriente y los de potencial colocados a lo largo de una línea. Los arreglos utilizados más comunes en la medición del efecto de P.I. son: Wenner, Schlumberger, dipolo-dipolo, polo-dipolo, gradiente-gradiente, polo-polo lateral, polo-polo en línea. fig. 19.

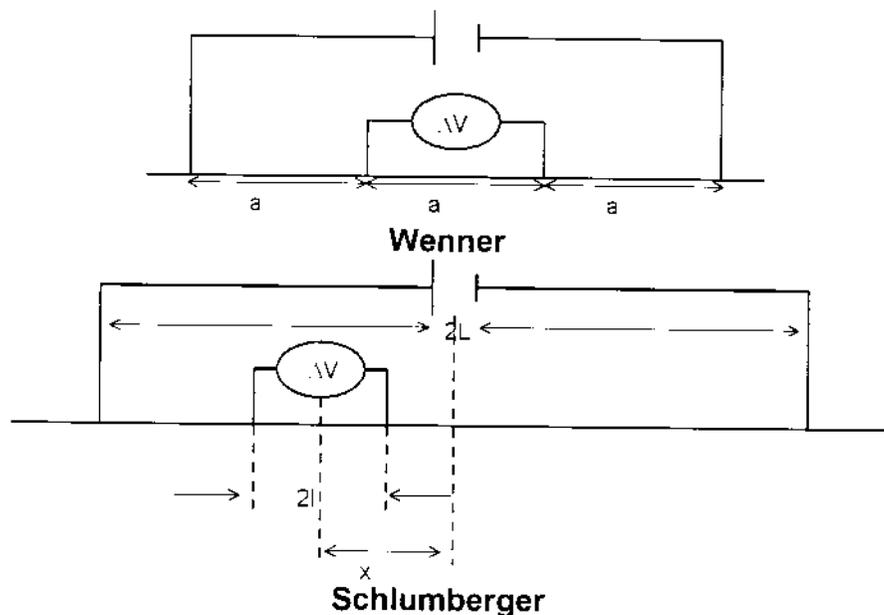


Fig. 19 Configuración de electrodos Wenner y Schlumberger, (Kearey, 1984).

6. FACTOR METÁLICO

El cociente entre los voltajes secundario y primario proporciona la cargabilidad aparente en milisegundos. La resistividad aparente se obtiene dividiendo el voltaje primario por la corriente y multiplicando el resultado por un factor dependiente de la geometría del dispositivo de los electrodos.

El factor metálico se utiliza para normalizar el efecto porcentual de frecuencia para variaciones en la conductividad del suelo y se obtiene dividiendo el valor de PI entre la resistividad aparente, multiplicado por 1000 ($PI/\rho *1000$).

La separación de los electrodos es variable y se determina según los objetivos; para investigaciones muy detalladas y superficiales será de unos 15 m y puede llegar hasta 300 m o más. En general, cuanto mayor es la longitud del dipolo y la separación entre los dipolos, mayor es la profundidad de penetración y menor la resolución.

7. INTEGRACION DE DATOS

La información que periódicamente se ha obtenido conforme avanzan las actividades de campo, se capturan paralelamente en computadora. Con el uso de programas (GEO-SOFT), se toman en cuenta los factores externos que pueden impactar en el resultado final como es el caso del ruido geológico referido a cualquier respuesta de un cuerpo o zona que no es de importancia económica y que interfiere con la respuesta del objetivo. Tal como pueden ser presencia de sulfuros no económicos, espectros generados por varios tipos de mineralización, arcillas, zeolitas, rocas sedimentarias carbonosas, etc., manifestaciones culturales, cercas, líneas de alta tensión, tuberías subterráneas y exteriores, así como el efecto topográfico que puede producir picos resistivos anómalos.

Una vez procesados los datos, se toman en consideración los factores señalados y se obtienen los valores tanto de resistividad aparente como de cargabilidad. Se elaboran los perfiles de cada línea y posteriormente, se hacen los cálculos para obtener los perfiles del factor metálico. Estos perfiles se integran con la sección geológica de superficie y la magnetometría, generándose una reinterpretación para la obtención de un producto final satisfactorio cuyo objetivo será la programación de barrenos para exploración directa. En la práctica, se tiene información en 900 m para líneas con dipolos de 100 m y en 450 m para dipolos de 50 m.

8. MAGNETOMETRIA

La magnetometría aérea es una técnica muy empleada, ya que la velocidad de operación, hace que el método sea muy atractivo en la búsqueda de ciertos tipos de yacimientos que contienen minerales magnéticos, tal es el caso de los yacimientos de skarn Fe, Cu (Au), en los que el oro está íntimamente relacionado con los minerales de hierro, aunado a que la mayoría de los minerales formadores de rocas son no-magnéticos, provoca que las anomalías sean fácilmente identificables o muy significativas.

Todas las sustancias son magnéticas a escala atómica, ya que actúan como dipolos debido al "spin" o giro de los electrones y a las trayectorias orbitales de los electrones alrededor del núcleo.

Existen materiales diamagnéticos y paramagnéticos. En los materiales diamagnéticos, todos los orbitales están completos y no existen electrones desapareados, por lo que cuando se colocan en un campo magnético el sentido de rotación de los electrones produce un campo magnético opuesto al campo aplicado, por consecuencia la susceptibilidad de estas sustancias es débil y negativa. Las sustancias paramagnéticas son las que presentan un dominio magnético, debido a que sus orbitales están incompletos por lo que se genera un campo magnético del "spin" o giro de los electrones desapareados, que cuando son afectados por un campo magnético externo, los dipolos correspondientes a los spins de electrones desapareados giran para producir un campo en el mismo sentido del campo aplicado, por lo que es de susceptibilidad positiva pero de efecto débil. Dentro de las sustancias paramagnéticas, de acuerdo a su dominio magnético, es decir, según el grado de superposición de

los orbitales electrónicos, ya sea paralelos o antiparalelos, se encuentran las siguientes:(fig. 20)

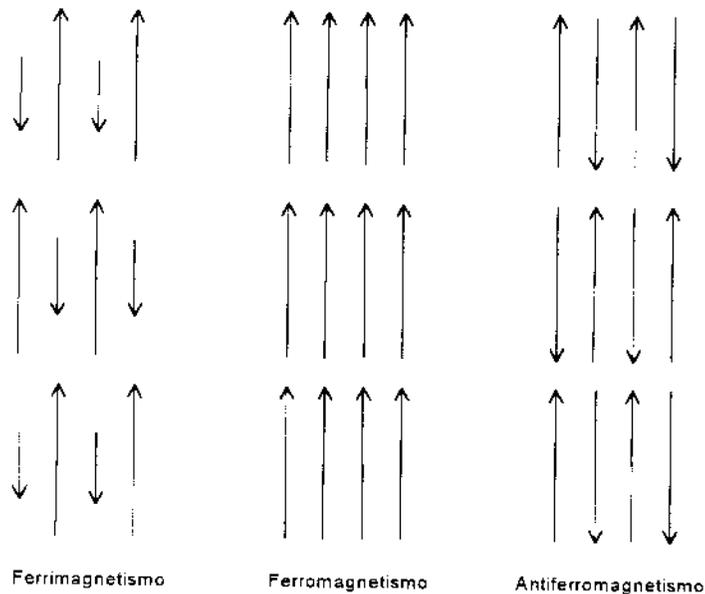


Fig. 20 Representación esquemática de la magnitud y orientación de dipolos elementales en los dominios ferrimagnéticos, ferromagnéticos y antiferromagnéticos, (Kearey, 1984).

MATERIALES FERROMAGNETICOS.- Los dipolos son paralelos, lo que origina una magnetización espontánea muy fuerte, que puede existir aún en ausencia de un campo magnético externo y una susceptibilidad muy alta, ej.; Fe, Ni, Co y raramente ocurre en la corteza terrestre.

MATERIALES ANTIFERROMAGNETICOS.- El acoplamiento de dipolos es antiparalelo con igual número de dipolos en cada dirección, los campos magnéticos de los dipolos se autocancelan, por lo que existe efecto magnético externo, sin embargo pueden presentarse pequeñas magnetizaciones debidas a defectos en la estructura cristalina, un ejemplo de sustancia de estos materiales es la hematita.

MATERIALES FERRIMAGNETICOS.- El acoplamiento de dipolos es antiparalelo, pero con un número diferente de dipolos en cada dirección, por lo que exhiben una fuerte magnetización espontánea y alta susceptibilidad, como ejemplo se tiene la magnetita.

Virtualmente todos los minerales responsables de las propiedades magnéticas de los tipos de rocas más comunes caen dentro de esta categoría.

La magnetización remanente secundaria puede manifestarse en la historia de una roca cuando crecen o recristalizan minerales magnéticos durante la diagénesis o metamorfismo (llamada también MAGNETIZACION QUIMICA REMANENTE, MQR o CRM -por sus siglas en inglés-).

8.1 MAGNETISMO EN ROCAS

La mayoría de los minerales formadores de roca comunes exhiben muy baja susceptibilidad

magnética y las rocas detentan ese carácter magnético a la baja proporción de los minerales magnéticos que poseen. Existen sólo dos grupos geoquímicos que proveen tales minerales. Los siderófilos, grupo hierro-titanio-oxígeno que forman una serie en solución sólida de minerales magnéticos de la magnetita (Fe_3O_4) a la Ulvospinela (FeTiO_4). El grupo de hierro-azufre que aporta la pirrotita (Fe_{1-x} , $0 < x < 0.15$) cuya susceptibilidad magnética depende de la composición.

Debido a que la magnetita es el mineral magnético más común, resulta razonable clasificar el comportamiento magnético de las rocas de acuerdo al contenido total de la misma, (fig. 21).

Las rocas ígneas básicas son altamente magnéticas debido a su relativo alto contenido de magnetita. El contenido de magnetita tiende a disminuir con el incremento en acidez, por lo que las rocas ácidas son menos magnéticas. Las rocas metamórficas, son variables en su carácter magnético. Si la presión parcial de oxígeno es relativamente baja, la magnetita es reabsorbida y el hierro y el oxígeno se incorporan a otras fases minerales conforme se incrementa el grado de metamorfismo. En cambio, si la presión parcial de oxígeno es alta, se forma magnetita como mineral accesorio.

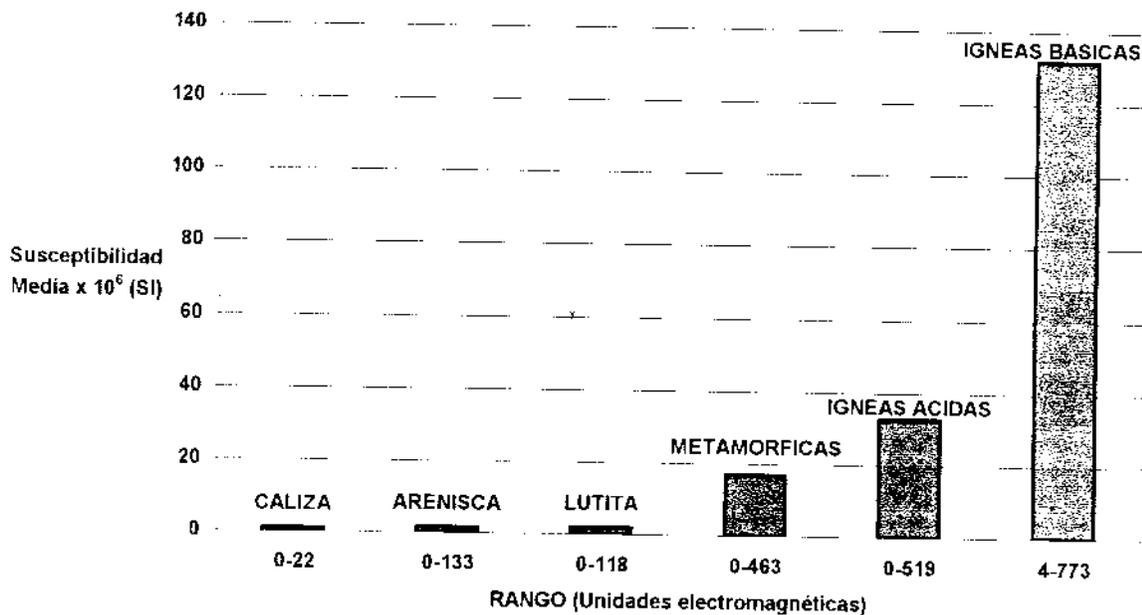


Fig. 21 Histograma mostrando valores medios y rangos en susceptibilidad de tipos comunes de roca. (Kearey, 1984).

Comúnmente, no es posible identificar con certeza la litología causante de cualquier anomalía, sólo a partir de información magnética. Sin embargo, las rocas sedimentarias son efectivamente no magnéticas a menos que contengan una cantidad significativa de magnetita en la fracción pesada. Donde se observan anomalías magnéticas sobre áreas cubiertas por sedimentos, generalmente son causadas por basamentos ígneos o metamórficos subyacentes o por intrusivos.

Dentro de las causas más comunes de anomalías se incluyen diques, mantos truncados, fallados o plegados, flujos de lava, intrusiones básicas masivas, rocas del basamento metamórfico o yacimientos o cuerpos de magnetita. Las anomalías magnéticas varían en amplitud de unas decenas de nT (nanoTeslas) sobre basamento metamórfico profundo a varios cientos de nT sobre intrusiones básicas, hasta alcanzar varios miles de nT sobre menas de magnetita.

8.2 TECNICAS DE MAGNETOMETRIA TERRESTRE

El espaciamiento comúnmente usado oscila entre 10-100 m, aunque puede ser menor en donde se tienen altos gradientes magnéticos. Las lecturas deben evitarse en las vecindades de objetos metálicos como líneas de ferrocarril, autos, carreteras, cercas, casas, etc., que perturben el campo magnético local. Por la misma razón, los operadores de instrumentos (magnetómetro) no deben portar objetos metálicos.

8.3 AEROMAGNETOMETRIA

En ésta técnica, se lleva el sensor encerrado en un nicho conocido como "pájaro", para aislar al instrumento de los efectos magnéticos de la aeronave. Es un método rápido y efectivo en costos, ya que es aproximadamente 40% menor en costo de línea por Km que el terrestre. Pueden cubrirse amplias regiones sin el costo de mandar una brigada de campo en el área a estudiar y pueden obtenerse datos de áreas inaccesibles por tierra (fig. 22). Para el prospecto La Cruz, se efectuó también aeromagnetometría para definir zonas con similitud y así extender o realizar nuevos denuncios.

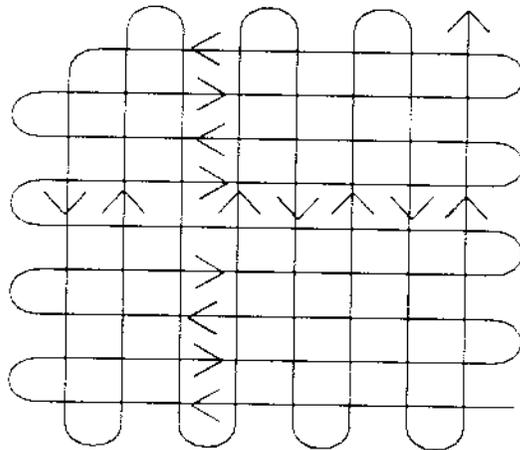


Fig. 22 Un plan de vuelo típico para un levantamiento aeromagnético, (Kearey, 1984).

8.4 INTERPRETACION DE ANOMALIAS MAGNETICAS

La anomalía magnética de un cuerpo finito invariablemente contiene elementos positivos y negativos resultantes de la naturaleza dipolar del magnetismo, además es una cantidad vectorial, por

lo que ésta controla la forma de la anomalía, lo que significa que cuerpos de idéntica forma, pueden producir diferentes anomalías magnéticas.

Mucha información cualitativa, se deriva de un mapa de contornos magnéticos, que dan mayor cantidad de pistas de la geología y estructura de una región, a partir de los impuestos por las formas y tendencias de las anomalías.

En áreas cubiertas por sedimentos, con el basamento relativamente profundo están típicamente representados por suaves contornos magnéticos reflejando estructuras del basamento y contrastes de magnetización. Los terrenos ígneos y metamórficos generan anomalías mucho más complejas y los efectos de formas geológicas profundas podrían obscurecerse por anomalías de longitudes de onda mayores de origen cercano a la superficie. De ahí la utilidad del mapa aeromagnético para los mapas de reconocimiento geológico.

Hay países que tienen la cobertura total de su extensión territorial en aeromagnetometría, y otras técnicas geofísicas de exploración; en México, el Consejo de Recursos Minerales está desarrollando una cobertura parcial con este método de exploración, que es de suma importancia para la exploración minera.

La Reducción al Polo, es una conversión de las anomalías en su forma equivalente en el Polo Norte Magnético, de esta forma, se simplifica la anomalía, a como el ambiente del campo está, entonces es vertical y los cuerpos con magnetización, son anomalías producidas e inducidas que son simétricas a su eje.

9. INTERPRETACION DE RESULTADOS

Con la integración de datos y el proceso desarrollado por el departamento de Geofísica de Servicios Industriales Peñoles, se elaboraron los perfiles de resistividad, polarización inducida, factor metálico y magnetometría para las 18 secciones, configurando pseudo-secciones (secciones 1-4), con las que se dio soporte al programa de perforación elaborado por el departamento de Prospección Regional de la Oficina Regional de Exploración Zona Sur. En este trabajo, se presentan 2 pseudo-secciones representativas en diferente formato, por un lado se integra información geofísica (secciones 1 y 2) y por otro lado geofísica y geológica (secciones 3 y 4).

Los intervalos de valores obtenidos para polarización inducida y resistividad de acuerdo al tipo de rocas que afloran en el prospecto se presentan en la tabla 4, estos valores son los mismos que se utilizaron para interpretar las pseudo-secciones de PI/resistividad, considerando los colores rojos como valores altos y los azules valores bajos.

Se aprecia que la tonalita exhibe valores altos de PI, que pueden originarse por la presencia de ferromagnesianos (biotita y hornblenda), y en ocasiones sulfuros diseminados.

El skarn de granate presenta valores de PI y resistividad, dos veces más altos que el skarn con presencia de óxidos y sílice.

El skarn de granate, la caliza con óxidos y las tobas presentan valores parecidos de PI y

resistividad. Los cuerpos de jaspe con óxidos y las calizas recristalizadas son los que presentan valores más altos de resistividad.

LITOLOGIA	POLARIZACION INDUCIDA	RESISTIVIDAD
	(mV)	(Ω m)
TONALITA	6-25	150-900
SKARN DE GRANATE	8-13	350-800
SKARN DE GRANATE, CON SILICE Y OXIDOS DE HIERRO	4-8	150-500
CUERPOS DE JASPE CON OXIDOS DE HIERRO	5-13	550-1600
CALIZA SILICIFICADA CON OXIDOS DE HIERRO	6-12	250-800
CALIZA RECRISTALIZADA	8-15	400-2500
TOBAS	5-12	150-750

Tabla 4. Valores de polarización inducida y resistividad para litologías del prospecto La Cruz.

En la pseudo-sección LB+300E, se aprecia un contraste marcado entre las estaciones 2+50S y 1+00N, coincidente con cuerpos de sílice y caliza silicificada, próximos al contraste con la tonalita. En la pseudo-sección LB+1000E se observa una interfase de interés en resistividad y cargabilidad, que se puede interpretar como un posible contacto caliza-tonalita, y/o un cambio gradual caliza-skarn-tonalita, con presencia de piritita diseminada. En ambos casos, se observa la presencia de un dipolo magnético de 1500 gammas.

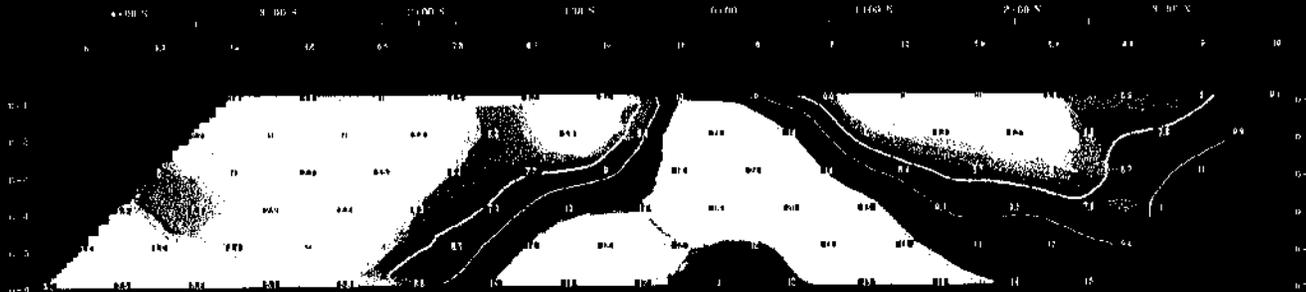
De las observaciones anteriores, se concluye que la información geofísica conjuntamente con las anomalías de geoquímica y la geología de superficie, resultó una herramienta útil para interpretar contactos entre litologías, y soportar blancos de perforación en el prospecto La Cruz.

Del levantamiento de los perfiles magnéticos se generó un plano de intensidad magnética total, del cual se derivó una reducción al polo (plano 2). En dicho plano se observan dipolos entre los bajos magnéticos de la caliza y los altos del intrusivo o zonas de skarn con cuerpos de hierro masivos, próximos o en el contacto de las rocas volcanosedimentarias con el intrusivo.

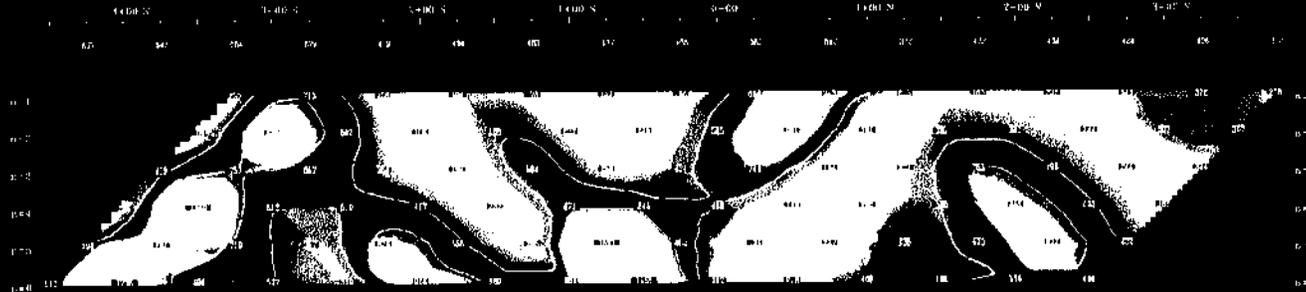
A continuación se mencionan los dipolos magnéticos observados:

- 1) Entre las líneas 100-200E y 325-375S, con longitud de 150-200 m, que corresponde a una zona de skarn con cuerpos de hierro.
- 2) Entre las líneas 100-600E y LB0-100S, con longitud mínima de 400 m, que es una extensión de la anterior hacia el SE.
- 3) Entre las líneas 900-1100E y 150-250N; con longitud mínima de 200 m, y que refleja una zona de skarn con cuerpos de magnetita-hematita y diseminación de sulfuros (piritita-calcopirita).
- 4) El mayor alto magnético del área se localiza entre las líneas 100-500E y 850-1200S, y corresponde al área denominada La Parotita con una longitud mínima de 500 m, coincidente con un cuerpo de óxidos masivos de magnetita-hematita, en el contacto tobas-andesita.

11
Metros



12
Metros



13
Metros



LÍNEA 300 E



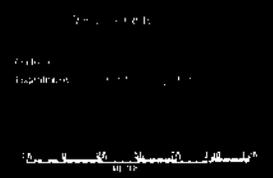
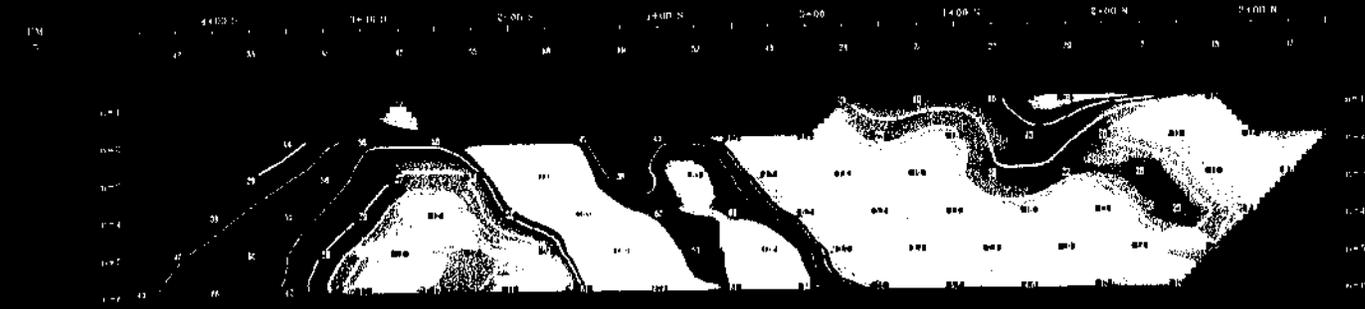
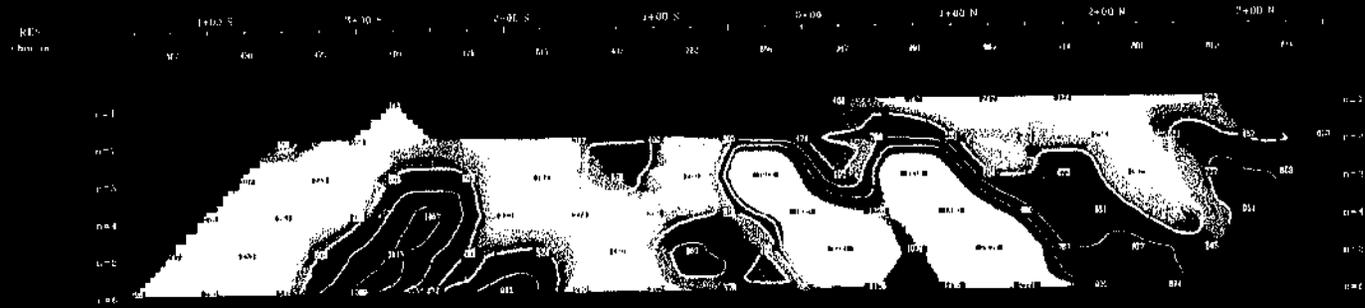
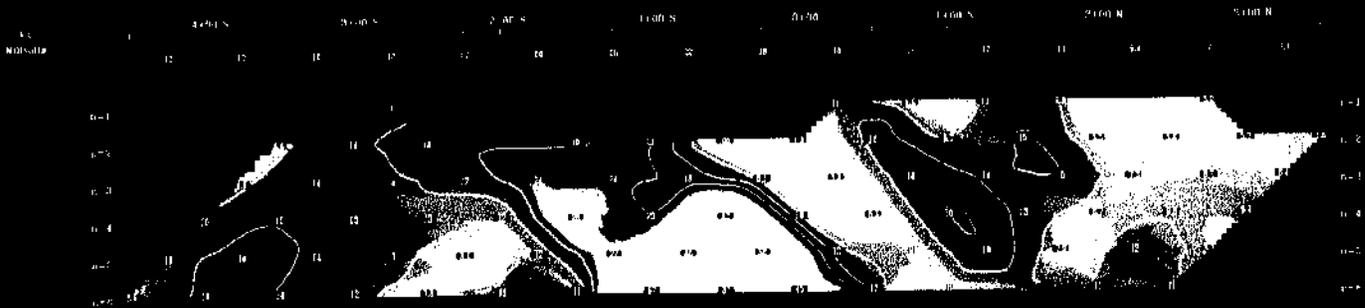
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA

TESIS PROFESIONAL

PROYECTO DE PROSPECTO A PLAZA
MUNICIPAL DE TATAPAN LHO

SERGIO ENRIQUE RODRIGUEZ TAPIA ESCALA: UNASICA
31 DE ENERO DE 2000 1:1000

LINEA 1000'



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA

TESIS PROFESIONAL

INSELDISECCION LD - 1000
PROSPECTO A CRUIZ
MIEN CUYUCA DE CALIFORNIA, BDO

INGENIERO EN PONTONERÍA
SEPTIEMBRE DE 2000

INGENIERO EN PONTONERÍA
SEPTIEMBRE DE 2000

V. GEOQUIMICA

1 INTRODUCCION Y GENERALIDADES

La geoquímica estudia el comportamiento de los elementos químicos en las rocas y minerales, y en ocasiones, en plantas, agua y en la atmósfera, y al referirse específicamente a la minería, la finalidad de la prospección geoquímica es el detectar valores anómalos de elementos con interés económico o de elementos guía hacia depósitos económicamente explotables, los cuales están concentrados en las rocas, suelos, sedimentos, agua o vegetación.

Dichos valores anómalos se deben a dispersiones primarias o secundarias de elementos que existen en los materiales de la corteza terrestre y dan lugar a un ciclo geoquímico. En la litósfera, el ciclo geoquímico comienza con la cristalización inicial de un magma, después de su denudación, prosigue con el intemperismo y alteración de las rocas y con el transporte y deposición del material producido, continua durante la diagénesis y litificación, hasta el metamorfismo de grado sucesivamente más elevado, y por anatexis, se regenera el magma, (Fig. 23). De acuerdo con lo anterior existen dos tipos de dispersiones geoquímicas; la primaria y la secundaria.

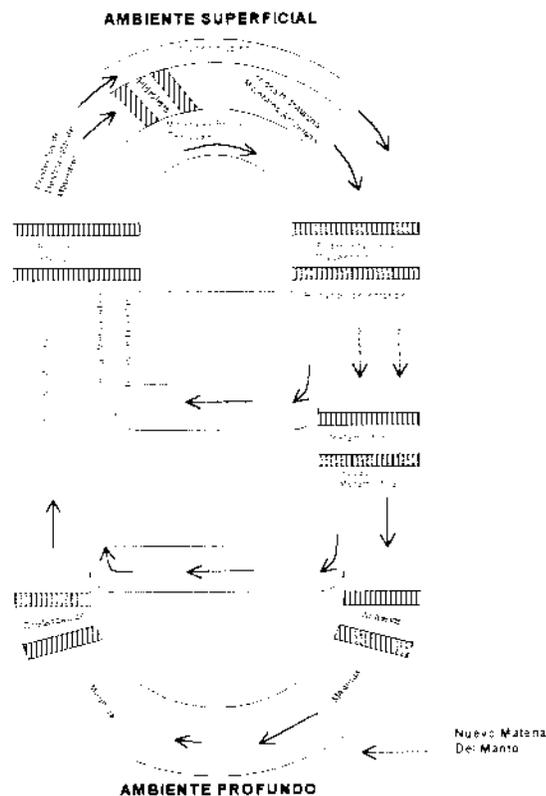


Fig. 23 Ciclo geoquímico, (Rose et al, 1979).

La dispersión primaria se origina dentro de la roca encajonante durante el período de mineralización y está controlada por factores como la temperatura, presión, circulación de fluido y

fugacidad de oxígeno. Esta dispersión se pone de manifiesto por la distribución de trazas de metales en las paredes de la roca encajonante.

La dispersión secundaria es la más importante desde el punto de vista exploratorio, como resultado del intemperismo, erosión, disgregación y lixiviación de zonas con minerales primarios que se redistribuyen dependiendo de las condiciones locales. Esta dispersión se basa en la movilidad propia del elemento, debido a sus propiedades químicas, radio iónico, estructura y energía interna de los cristales en los diferentes ambientes.

1.1 HALOS PRIMARIOS Y DISPERSION PRIMARIA

En las rocas ígneas existe la mayor distribución de los elementos formadores de minerales, controlada por condiciones de temperatura y presión y la concentración de iones metálicos en el magma original. Se sabe que al disminuir la temperatura y la presión, la composición de los fluidos residuales en el magma puede acercarse mucho a la de las soluciones hidrotermales durante la cristalización y diferenciación magmáticas, por lo que dichas soluciones abandonan la cámara magmática en forma de gases y soluciones que al condensarse dan origen a la mayoría de los depósitos hidrotermales. En algunos depósitos de minerales se observa un descenso progresivo en la concentración de los elementos o del elemento de interés económico que rodea al depósito hidrotermal, hasta un valor en que los elementos alcanzan una concentración mínima o límite de normalidad dentro de las rocas estériles. A esta zona dentro de la cual el contenido de los elementos decrece hasta tener valores de background, se le conoce como HALO PRIMARIO (Rose *et al.*, 1979).

1.2 DISPERSION SECUNDARIA

Los factores que afectan el fenómeno de dispersión secundaria son químicos (composición química, procesos supergénicos, movilidad en diferentes medios, pH), biológicos (vegetación, microorganismos), físicos (gravedad, efectos de dispersión) y del medio ambiente (clima, topografía, geología, tiempo) (Rose *op cit*, 1979). La movilidad de los elementos químicos en el ambiente secundario está controlada por dos factores, la absorción de elementos pesados por minerales de hierro y manganeso, y las condiciones de pH en el medio secundario que controla la movilidad de los elementos en medios acuosos.

Los factores físicos que deben tomarse en cuenta en la dispersión secundaria son: la topografía, hidrología, sistema de drenaje y la precipitación pluvial.

Cuando se identifica el fenómeno de dispersión secundaria en un caso práctico, debe determinarse cuáles factores influyen más, si los físicos o los químicos.

Si la dispersión se debe a factores físicos, normalmente sólo se consideran los procesos erosivos, que involucran menos incógnitas que los factores químicos.

2. SELECCION DEL ELEMENTO O GRUPO DE ELEMENTOS INDICADORES

Existen dos razones primordiales para el uso de elementos guía:

1. Que sean más móviles que el elemento buscado, lo que dará origen a un halo más amplio que el del elemento buscado, por ejemplo, Hg para un depósito de sulfuros complejos de Pb-Zn-Ag, Zn-Cu para depósitos de Cu.
2. Los métodos analíticos usados para detectarlos, son más simples, más económicos y aún más sensibles que los empleados para los elementos buscados.

Cuando se selecciona un elemento o grupo de elementos indicadores se debe considerar el trabajo que se va a realizar, ya sea de reconocimiento o de detalle. En el caso de este prospecto, se consideraron al principio como elementos guía los mismos elementos a buscar, Au, Ag y Cu. Posteriormente se incluyeron Pb, Zn, Fe, As, Mo, y Sb, con la experiencia proporcionada por el prospecto Mezcala. En la literatura, recomiendan además para este tipo de yacimientos, el Bi, Se, As, Te y Co.

3. TRABAJOS REALIZADOS

Existen los siguientes métodos de muestreo geoquímico: sedimentos de arroyo, de suelo, de roca, de vegetación, de agua y de gases. Cada método consiste de una secuencia lógica de pasos que llevan a la localización de halos de dispersión de elementos indicadores o de los buscados, tomando en cuenta siempre factores que pudieran alterar los resultados como pueden ser minas cercanas, poblados, topografía, contaminación industrial, etc.

Gran parte del muestreo geoquímico se realizó a la par de la cartografía geológica, y se colectaron 602 muestras de esquirlas de roca de afloramiento, subafloramiento, y pequeñas obras superficiales, en una superficie de 2 Km².

Las muestras fueron analizadas por Au, Ag, Cu, Pb, Zn, As, Sb, Mo y Fe, por el método de ensaye al fuego y absorción atómica. Sin embargo, existe una gran variación en el universo de muestras, lo cual impide hacer un análisis de mayor alcance. Para las 602 muestras colectadas, se tiene la siguiente composición:

- 602 muestras ensayadas por Au-Ag (100%);
- 471 muestras ensayadas por Au-Ag-Cu (78.07%);
- 259 muestras ensayadas por Au-Ag-Cu-Pb-Zn (43.02%);
- 240 muestras ensayadas por Au-Ag-Cu-Pb-Zn-Fe (39.86%);
- 74 muestras ensayadas por Au-Ag-Cu-Pb-Zn-Fe-As (12.29%); y
- 53 muestras ensayadas por Au-Ag-Cu-Pb-Zn-Fe-As-Mo-Sb (8.8%).

Esta variabilidad en los elementos a ensayar se debe básicamente a los diferentes criterios del personal que intervino en la exploración.

3.1 PREPARACIÓN EN LABORATORIO

Para la preparación normal de muestras, se procede de la manera siguiente:

- Cuando las muestras llegan al laboratorio de preparación se acomodan en orden de acuerdo al formulario de envío que proporcionó el cliente.
- Se pesan las muestras y se colocan en las charolas de secado para introducir las al horno, el cual tiene una temperatura fija de 150°C, hasta que se secan por completo, normalmente en un tiempo de 8 horas.
- Se dejan secar las muestras y después se trituran. La trituradora debe limpiarse antes de procesar cada orden de trabajo, y entre muestra y muestra con aire comprimido y grava de río, para eliminar la contaminación entre muestras, sobre todo si se aprecia que se pueden contener valores altos.
- La trituración se realiza a un mínimo de 75% a –10 mallas, normalmente se debe verificar una de diez muestras para controlar el proceso.
- Cuando la muestra está triturada se separa en un cuarteador “Jones”, para proporcionar un corte representante de 250 g por muestra, que se empaqueta en un sobre de papel kraft identificado con el número de orden y muestra, el sobrante se almacena.
- La muestra de 250 g se pulveriza en una pulverizadora de anillos a –150 mallas (esto varía de acuerdo a los estándares del laboratorio) y se envía al laboratorio para el análisis requerido.

Con el desarrollo de la técnica de Absorción Atómica y Emisión Espectroscópica de Plasma, la exploración se ha visto beneficiada para reconocer huellas de mayor cantidad de elementos, con lo que se incrementa la posibilidad de localizar yacimientos ocultos donde no hay afloramientos o estructuras visibles. Antes del desarrollo de estos métodos, el límite inferior de detección para el oro era de 0.01 oz/ton, ahora existe la posibilidad de medir hasta 0.001 ppb ó 0.000292 oz/ton.

4. ANALISIS ESTADISTICO

Se agruparon las muestras por familias litológicas, para hacer de cada una su matriz de correlación y la obtención de parámetros estadísticos.

4.1 Análisis de correlación

Este se realiza para determinar la variación entre dos conjuntos de datos, es decir, si los valores altos de un conjunto están asociados con los valores altos del otro (correlación positiva), si los valores bajos de un conjunto están asociados con los valores bajos del otro (correlación negativa) o si los valores de ambos conjuntos no están relacionados (correlación con tendencia a cero).

Se realizaron matrices de correlación para las poblaciones de muestras agrupadas por litología (Tabla 5). El total de 602 muestras, se distribuyen de la siguiente forma:

48.68 % (293 muestras) de skarn con diseminación de sulfuros y óxidos de hierro principalmente;

22.92 % (138 muestras) de cuerpos de óxidos masivos (magnetita, hematita y limonitas);

- 12.96% (78 muestras) de cuerpos de cuarzo y jaspe con débil diseminación de sulfuros;
- 7.64% (46 muestras) de tobas con alteración y mineralización diseminada;
- 3.82% (23 muestras) de calizas con vetilleo de cuarzo y diseminación de óxidos de hierro;
- 3.32% (20 muestras) de intrusivo con alteración, principalmente silicatación y silicificación; y
- 0.66% (4 muestras) de cuerpos cuarzodioríticos, con alteración presente.

De esta población no se consideraron representativas las muestras de cuarzodiorita.

SKARN	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe	As	Sb	Mo
Au	1								
Ag	0.283876	1							
Cu	0.557278	0.421958	1						
Pb	-0.05759	-0.02826	-0.06104	1					
Zn	-0.02803	0.033405	-0.01539	-0.00028	1				
Fe	0.094721	0.042678	0.237341	0.118091	0.026509	1			
As	-0.22355	-0.25292	-0.29119	#DIV/0!	-0.13098	-0.28467	1		
Sb	-1.1E-16	0	-9.1E-17	-1	5.14E-17	-2E-16	-7.6E-16	1	
Mo	-0.33317	0.613517	-0.20483	-6.4E-17	0.378598	0.263429	0.153603	6.4E-17	1
OXIDOS	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe	As	Sb	Mo
Au	1								
Ag	0.003759	1							
Cu	0.208093	0.352397	1						
Pb	0.085599	0.255216	0.076868	1					
Zn	-0.05864	0.17953	0.18674	0.526879	1				
Fe	0.058758	-0.14307	-0.11377	-0.27455	-0.15167	1			
As	4.94E-17	-5.9E-17	-1.7E-16	1	9.09E-17	-1.5E-15	1		
Sb	#DIV/0!	1							
Mo	0.92714	0.885099	0.989419	#DIV/0!	-0.2616	-0.60289	#DIV/0!	#DIV/0!	1
CUARZO-JASPE	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe	As	Sb	Mo
Au	1								
Ag	0.401771	1							
Cu	0.624793	0.276619	1						
Pb	-0.11383	-0.11839	0.120507	1					
Zn	-0.07703	-0.00909	-0.03245	-0.14599	1				
Fe	0.441224	0.508904	0.581393	0.446375	0.151036	1			
As	0.622588	-0.13655	-0.04888	-0.13655	-0.12904	0.510089	1		
Sb	-0.39223	0.632456	0.632456	0.632456	0.632331	0.408592	0	1	
Mo	-0.12403	1	1	1	0.999803	#DIV/0!	-0.06222	0.632456	1
TOBAS	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe	As	Sb	Mo
Au	1								
Ag	0.080186	1							
Cu	0.446457	0.534792	1						
Pb	-0.14604	-0.08003	-0.09409	1					
Zn	0.276269	-0.10935	-0.12659	-0.06802	1				
Fe	0.327725	0.127676	0.213928	1.15E-16	-0.27521	1			
As	0.441837	0.041689	0.064123	#DIV/0!	-0.30645	0.283285	1		
Sb	0.323085	0.689343	0.756835	-1.9E-16	-0.19899	#DIV/0!	0.345537	1	
Mo	0.763198	-0.05833	0.351346	-2.2E-16	-0.22335	-0.28196	0.291095	0.260125	1

CALIZAS	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe	As	Sb	Mo
Au	1								
Ag	0.651818	1							
Cu	0.334857	0.404661	1						
Pb	-0.47977	0.989071	-0.69349	1					
Zn	-0.23961	0.921549	-0.84727	0.956038	1				
Fe	0.00542	0.222352	0.574409	#DIV/0!	#DIV/0!	1			
As	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	1		
Sb	#DIV/0!	1							
Mo	#DIV/0!	1							
TONALITA	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe	As	Sb	Mo
Au	1								
Ag	0.770659	1							
Cu	0.978667	0.676487	1						
Pb	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	1					
Zn	0.614858	0.276491	0.161656	#DIV/0!	1				
Fe	0.584518	0.481904	0.568639	#DIV/0!	#DIV/0!	1			
As	-0.12432	-0.11124	-0.30686	-1.5E-17	-0.16212	-0.34169	1		
Sb	0.007207	-0.05026	0.097438	1.58E-17	-0.24431	0.8055	-0.436	1	
Mo	-0.21634	-0.2397	0.117612	2.54E-17	-0.35181	-0.49978	-0.22112	0.328904	1

NOTA: #DIV/0! Significa que su varianza es cero, es, decir que no hay valores diferentes.

Tabla 5. Matriz de correlación por familias litológicas.

1. Para el skarn, el dato más sobresaliente es la regular correlación entre el oro y el cobre, de lo que se puede interpretar presencia de oro en minerales de cobre, y una cierta correlación entre plata y molibdeno. Esta relación de Ag-Mo podría indicar que se tienen sobrepuestos dos sistemas diferentes.
2. En los óxidos, se pueden observar 6 valores indicativos de análisis; la relación entre As-Pb, no es significativa debido a que las muestras involucradas no presentan variación en valores; mientras que la de Pb-Zn puede indicar la coexistencia de galena y esfalerita; la correlación que arroja la matriz para Au-Ag-Cu-Fe con Mo, no se puede considerar concluyente, ya que sólo son cinco muestras las que se combinan, con valores de Mo (0.001-0.002 %).
3. Al analizar los resultados para los cuerpos de cuarzo-jaspe, ocurre que la correlación de Mo y Sb con Ag, Cu, Pb, Zn y entre ellos mismos no puede ser tomada como concluyente ya que sólo una muestra resultó con valores arriba del límite de detección; aparentemente existe también una regular correlación entre Au-As-Cu, que podría ser interpretado también como coexistencia del oro con minerales de cobre y de arsénico.
4. En la rocas volcánicas, se puede observar una regular a alta correlación del Sb con Ag-Cu.
5. Para las calizas, la relación Au-Ag es regularmente directa, así como entre Ag-Pb-Zn. lo cual se puede interpretar como una coexistencia de minerales de plata con galena y esfalerita; mientras que a mayor contenido de Pb-Zn, menor contenido de Cu, sin embargo son pocas muestras las ensayadas por Pb-Zn.

6. En la tonalita, existe una alta correlación entre Au-Ag-Cu, que bien puede deberse a enriquecimiento supergénico.
7. Por último, en los diques cuarzodioríticos, que son la última etapa de actividad intrusiva; el poco número de muestras existentes, no se considera suficiente para pronunciar conclusión alguna.

Como resultado de este análisis se puede afirmar que debido a lo irregular de las campañas de muestreo, no se pueden hacer correlaciones concluyentes, ya que los únicos elementos ensayados en la totalidad son las subpoblaciones de Au y Ag. Sin embargo se puede interpretar un sistema de Cu-Au relacionado con valores de Fe y Ag.

4.2 Parámetros Estadísticos

Para realizar la correcta obtención de los parámetros, después de agruparlos hay que verificar el tipo de distribución por elemento, y obtener la media, desviación estándar y varianza. No se consideraron para análisis las poblaciones menores a 30 muestras ya que no son representativas, así como las que su variación no permitía realizar una interpretación, por lo que de la obtención de parámetros estadísticos de los valores reales, se eliminan subconjuntos, como se puede apreciar en la tabla 6. Se obtienen logaritmos de los valores para cada elemento, se elaboran histogramas de frecuencia y curvas de frecuencia acumulativa por elemento-familia litológica con el objeto de verificar el tipo de distribución, y así obtener el valor de fondo, umbral, y las anomalías.

Ai interpretar las gráficas para los diferentes subconjuntos, la mayoría se comporta como lognormal, como se puede apreciar en las Fig. 24 a 26, y la única población que tiene una distribución normal es la del Fe en los óxidos masivos, por lo que es a partir de los valores logarítmicos de donde se obtiene la media a emplearse en los planos de anomalías.

A continuación se presentan los histogramas de frecuencia y curvas de frecuencia acumulativa de Au, Cu y Fe para skarn, óxidos y jaspe-cuarzo que son las litologías más relacionadas con la mineralización y con mayor número de muestras, para lo cual se utilizó el paquete STATGRAPHICS, de MAGUNISTICS.

LITOLOGIA		Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe	As	Sb	Mo
SKARN	σ	1.3475	11.5309	0.7509	0.1998	0.2329	11.7817	0.0018	0.0000	0.0161
	σ^2	1.8157	132.9627	0.5639	0.0399	0.0542	138.8092	0.0000	0.0000	0.0003
	media	0.8757	5.7986	0.5070	0.0299	0.0626	18.4292	0.0104	0.0010	0.0074
	mínimo	0.0100	1.0000	0.01	0.01	0.01	1.9	0.01	0.001	0.001
	Máximo	7.6000	143.0000	4.95	2.28	2.33	62.0	0.17	0.001	0.06
	MUESTRAS	293	293	218	129	129	106	16	14	14
OXIDOS MASIVOS	σ	1.3338	10.7589	0.5497	0.0195	0.1252	15.0092	0.0000	0.0000	0.0260
	σ^2	1.7792	115.7529	0.3022	0.0004	0.0157	225.2755	0.0000	0.0000	0.0007
	media	1.0537	6.1159	0.3147	0.0155	0.0790	43.7514	0.0100	0.0010	0.0136
	mínimo	0.01	1.0	0.01	0.01	0.01	0.02	0.001	0.001	0.001
	Máximo	8.0	96.0	3.85	0.12	0.65	66.6	0.06	0.001	0.06
	MUESTRAS	138	138	100	58	58	58	20	5	5
CUARZO-JASPE	σ	1.7699	17.6296	0.4728	0.5558	0.1592	9.3774	0.0042	0.0005	0.0004
	σ^2	3.1326	310.8025	0.2236	0.3089	0.0254	87.9356	0.0000	0.0000	0.0000
	Media	0.9177	15.7179	0.2423	0.2473	0.1008	8.6908	0.0053	0.0013	0.0012
	Mínimo	0.1	1.0	0.01	0.01	0.01	0.42	0.001	0.001	0.001
	Máximo	9.4	75.0	2.29	2.62	0.8	28.3	0.012	0.002	0.002
	MUESTRAS	78	78	61	26	26	12	7	6	6
TOBAS	σ	1.2926	16.7195	1.2073	0.4024	0.0474	9.6553	0.0033	0.0043	0.0019
	σ^2	1.6709	279.5425	1.4577	0.1620	0.0022	93.2250	0.0000	0.0000	0.0000
	media	0.5346	12.4565	0.6636	0.0939	0.0348	13.6203	0.0047	0.0042	0.0025
	mínimo	0.01	1.0	0.01	0.01	0.01	2.20	0.005	0.001	0.001
	Máximo	6.45	67.0	5.9	1.94	0.15	42.4	0.01	0.016	0.006
	MUESTRAS	46	46	45	23	23	32	15	13	13
CALIZAS	σ	1.6280	10.1637	0.9856	0.0850	0.2760	14.6676	0.0000	0.0000	0.0000
	σ^2	2.6503	103.3004	0.9714	0.0072	0.0762	215.1375	0.0000	0.0000	0.0000
	media	1.2365	12.1304	0.9274	0.0480	0.1780	20.6956	0.0330	0.0040	0.0010
	mínimo	0.1	1.0	0.01	0.01	0.01	1.81	0.0330	0.0040	0.0010
	Máximo	6.5	46.0	3.25	0.2	0.65	49.4	0.0330	0.0040	0.0010
	MUESTRAS	23	23	23	5	5	18	1	1	1
TONALITA	σ	1.2472	54.8475	1.0063	0.0000	0.0063	9.4600	1.5855	0.0052	0.0130
	σ^2	1.5556	3008.2526	1.0126	0.0000	0.0000	89.4908	2.5138	0.0000	0.0002
	media	0.5360	23.6000	0.3760	0.0100	0.0140	8.6682	0.4654	0.0079	0.0097
	mínimo	0.01	1.0	0.01	0.01	0.01	0.87	0.05	0.001	0.001
	Máximo	5.2	220.0	4.45	0.01	0.03	27.4	5.5	0.02	0.03
	MUESTRAS	20	20	20	15	15	11	12	11	11
CUARZO DIORITA	σ	0.2320	1.5000	0.0189	0.0000	0.0000	6.8246	0.0029	0.0040	0.0159
	σ^2	0.0538	2.2500	0.0004	0.0000	0.0000	46.5757	0.0000	0.0000	0.0003
	media	0.1525	1.7500	0.0325	0.0100	0.0100	4.8200	0.0083	0.0077	0.0117
	mínimo	0.02	1.0	0.02	0.01	0.01	0.81	0.005	0.003	0.002
	Máximo	0.5	4.0	0.06	0.01	0.01	12.7	0.01	0.01	0.03
	MUESTRAS	4	4	4	3	3	3	3	3	3

Tabla 6. Parámetros estadísticos normales por familias litológicas, con muestras involucradas.

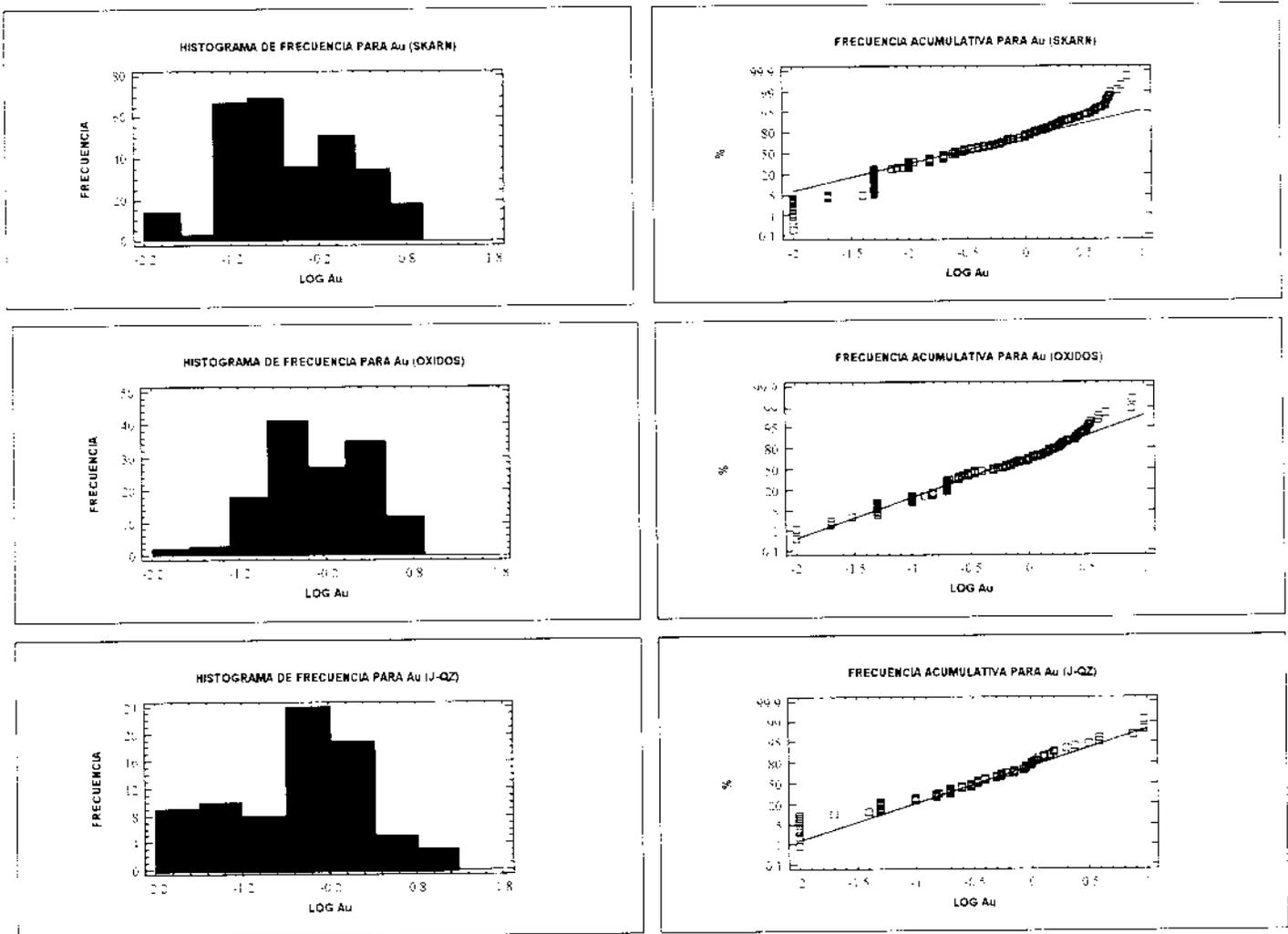


Fig 24. Histogramas y frecuencia acumulativa para Au en skarn, óxidos masivos y jaspe-cuarzo.

En la Fig. 24 se observa que la distribución del oro tiende a una distribución log normal, y se acerca a una campana en los histogramas y a una recta en la gráfica de frecuencia acumulativa.

En los histogramas de la Fig. 25 se observa que la población del Cu tiende a la distribución log normal, tanto en el histograma, como en la frecuencia acumulativa.

Por último, en la Fig. 26 el Fe es el único elemento que presenta un subconjunto de muestras que tienden a comportarse como una población normal, la de óxidos masivos, donde tanto en histograma como en frecuencia acumulativa se aprecia dicho comportamiento. Mientras que para los otros dos subconjuntos de muestras, existe una tendencia a poblaciones lognormales, como se puede observar en las gráficas.

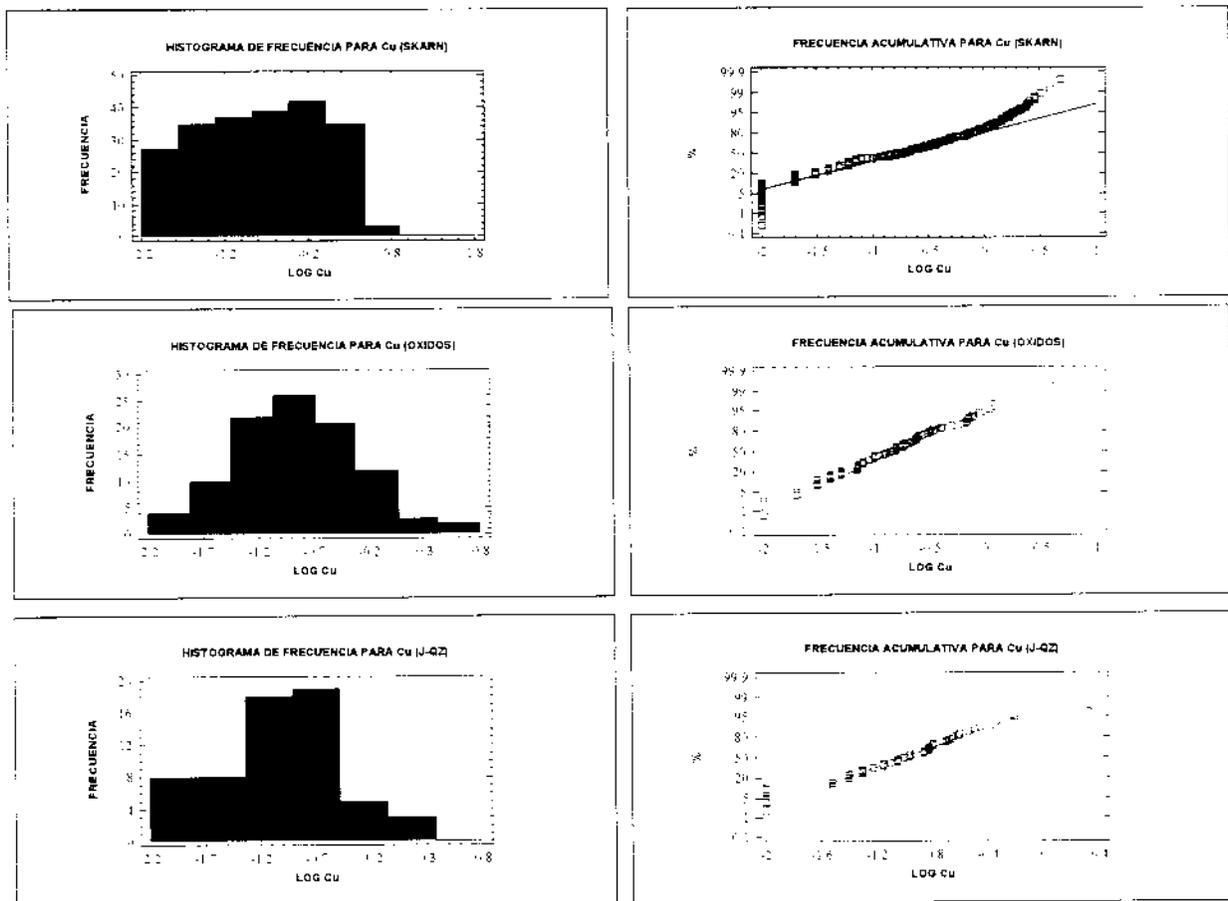


Fig 25. Histogramas y frecuencia acumulativa para Cu en skarn, óxidos masivos y jaspes-cuarzo.

Una vez definido el tipo de poblaciones, se determinan los valores numéricos de la media, desviación estándar y varianza para cada población y así graficar los planos de anomalías para los elementos seleccionados, en este caso Au, Cu y Fe.

Estos valores se muestran en la tabla 7, con los cuales se elaboraron los planos de anomalías de Au, Cu y Fe del prospecto La Cruz.

Para precisar las zonas anómalas se definen a continuación los conceptos utilizados:

Valor de fondo (Background): es la abundancia normal de un elemento en material sin mineralización presente por lo cual varía de una roca a otra. Para Parslow y otros equivale a la media ($\leq 50\%$).

Umbral (Threshold): es la concentración de un elemento indicador, sobre el cual, una muestra se considera anómala, es decir, es el límite superior de las fluctuaciones normales del valor de fondo.

Parslow le asigna el 75% de la curva de frecuencia acumulativa.

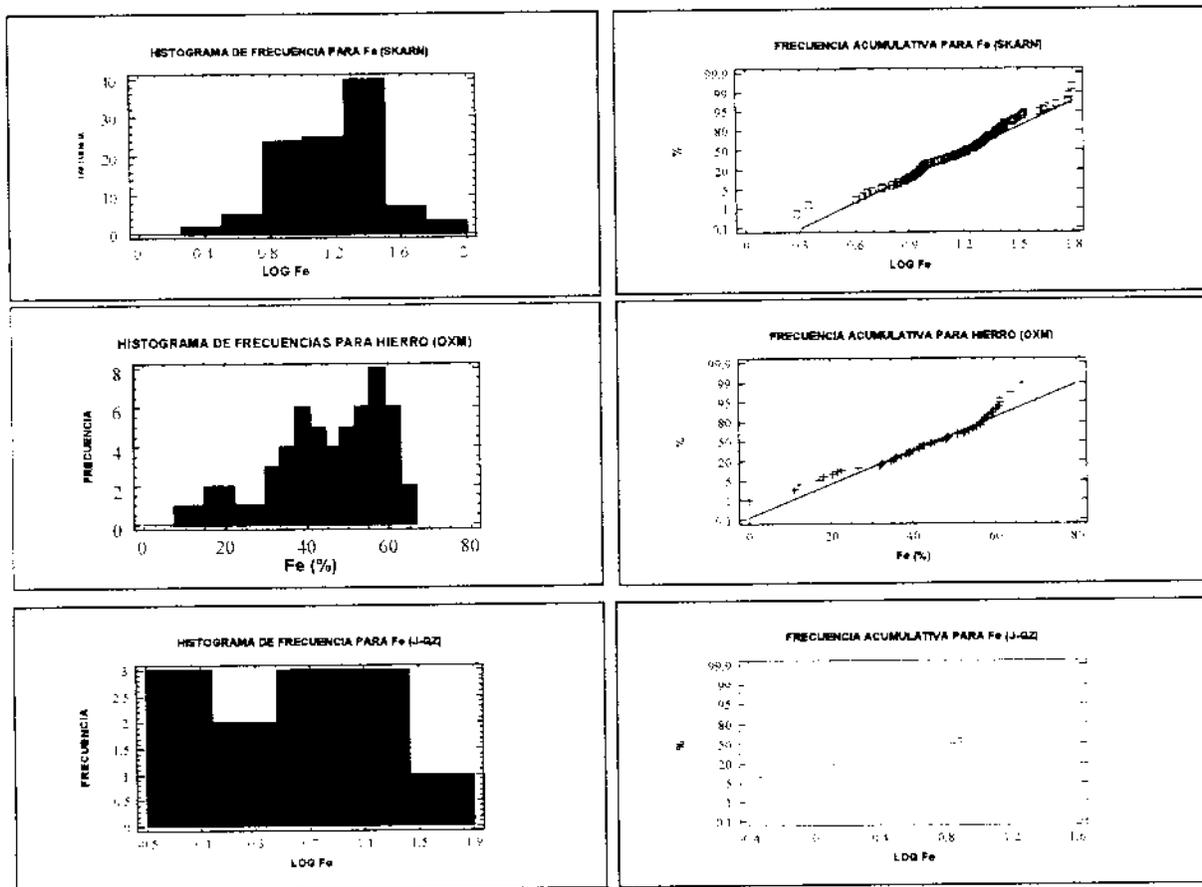


Fig. 26 Histogramas y frecuencia acumulativa para Fe en skarn, óxidos masivos y jaspe-cuarzo.

Anomalía Geoquímica: es una desviación de la norma de los patrones geoquímicos que son normales para un área dada de un ambiente geoquímico. En términos numéricos son valores mayores al valor de fondo.

Las anomalías relacionadas a la mineralización pueden ser localizadas en un valor de fondo con valores más altos que los normales; y representan un relieve geoquímico consistente de: 1) un plano horizontal inferior de valor de fondo regional, separado por un umbral regional, 2) una meseta de valores más altos relacionados a mineralización más débil o dispersión, de las que se desprenden, 3) las anomalías más relacionadas a la mena, definida por el umbral local, (Fig. 27).

Como resultado de todo este proceso estadístico, se decidió utilizar como elementos representativos para planos de anomalías, Au, Cu y Fe, debido al tipo de yacimiento. La plata se omitió debido a su similitud en comportamiento con el oro. A continuación se presentan los intervalos de valores anómalos para los elementos seleccionados (Tabla 8).

ELEMENTO	LITOLOGÍA	SKARN	OXIDOS	J-QZ	TOBAS	CALIZA	TONALITA
Au	σ	1.3475	1.3338	1.7699	1.2926	1.6280	1.2472
	2σ	2.6950	2.6676	3.5398	2.5852	3.2560	2.4944
	σ^2	1.8157	1.7792	3.1326	1.6709	2.6503	1.5556
	mínimo	0.01	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100
	Máximo	7.6	8.0000	9.4000	6.4500	6.5000	5.2000
	media log	0.2750	0.4724	0.2650	0.1179	0.5486	0.0829
	media	0.8757	1.0537	0.9177	0.5346	1.2365	0.5360
	MUESTRAS	293	138	78	46	23	20
Cu	σ	0.7509	0.5497	0.4728	1.2073	0.9856	1.0063
	2σ	1.5018	1.0994	0.9456	2.4146	1.9712	2.0126
	σ^2	0.5639	0.3022	0.2236	1.4577	0.9714	1.0126
	mínimo	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100
	Máximo	4.9500	3.8500	2.2900	5.9000	3.2500	4.4500
	media log	0.1556	0.1401	0.0965	0.1467	0.3773	0.0763
	media	0.5070	0.3147	0.2423	0.6636	0.9274	0.3760
	MUESTRAS	218	100	61	45	23	20
Fe	σ	11.7817	15.0092	9.3774	9.6553	14.6676	9.4600
	2σ	23.5634	30.0184	18.7548	19.3106	29.3352	18.9200
	σ^2	138.8092	225.2775	87.9356	93.2250	215.1375	89.4908
	mínimo	1.9000	0.0200	0.4200	2.2000	1.8100	0.8700
	Máximo	62.0000	66.6000	28.3000	42.4000	49.4000	27.4000
	media log	15.2008	36.4919	3.7317	10.2598	15.0630	4.5816
	media	18.4292	43.7514	8.6908	13.6203	20.6956	8.6682
	MUESTRAS	106	58	12	32	18	11

Tabla 7. Parámetros estadísticos para Au, Cu y Fe por litologías, del prospecto La Cruz.

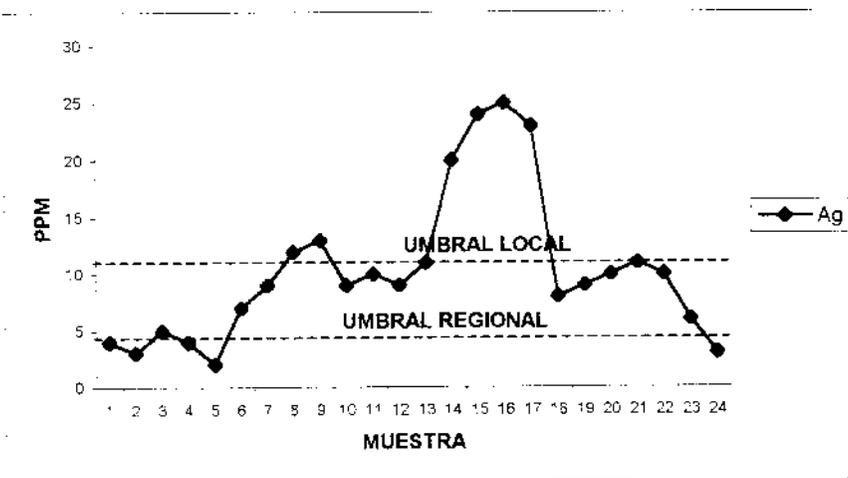


Fig. 27 Polígono mostrando valores locales y regionales del umbral.

ELEMENTO	LITOLOGIA	SKARN	OXIDOS	J-QZ	TOBAS	CALIZA	TONALITA
Au	$x - x + \sigma$	0.2750 - 1.6225	0.4724 - 1.8062	0.2650 - 2.0349	0.1179 - 1.4105	0.5486 - 2.1766	0.0829 - 1.3301
	$x + \sigma - x + 2\sigma$	1.6226 - 2.9700	1.8063 - 3.1400	2.0350 - 3.8048	1.4106 - 2.7031	2.1767 - 3.8046	1.3302 - 2.5773
	$x + 2\sigma - \text{Max}$	2.9701 - 7.6000	3.1401 - 8.0000	3.8049 - 9.4000	2.7032 - 6.4500	3.8047 - 6.5000	2.5774 - 5.2000
Cu	$x - x + \sigma$	0.1556 - 0.9065	0.1401 - 0.6898	0.0965 - 0.5693	0.1467 - 1.3540	0.3773 - 1.3629	0.0763 - 1.0826
	$x + \sigma - x + 2\sigma$	0.9066 - 1.6574	0.6899 - 1.2395	0.5694 - 1.0421	1.3541 - 2.5613	1.3630 - 2.3485	1.0827 - 2.0889
	$x + 2\sigma - \text{Max}$	1.6575 - 4.9500	1.2396 - 3.8500	1.0422 - 2.2900	2.5614 - 5.9000	2.3486 - 3.2500	2.0890 - 4.4500
Fe	$x - x + \sigma$	15.2008 - 26.9825	36.4919 - 51.5011	3.7317 - 13.1091	10.2598 - 19.9151	15.0630 - 29.7306	4.5816 - 14.0416
	$x + \sigma - x + 2\sigma$	26.9826 - 38.7642	51.5012 - 66.5103	13.1092 - 22.4865	19.9152 - 29.5704	29.7307 - 44.3982	14.0417 - 23.5016
	$x + 2\sigma - \text{Max}$	38.7643 - 62.0000	66.5104 - 66.6000	22.4866 - 28.3000	29.5705 - 42.4000	44.3983 - 49.4000	23.5017 - 27.4000

Tabla 8. Intervalos de valores anómalos para Au, Cu y Fe por litología del prospecto La Cruz.

4.3 Planos de Anomalías Geoquímicas

De la tabla 8, se toman los valores para definir de manera gráfica los contornos de isovalores para Au, Cu y Fe, realizando los dibujos en AUTOCAD.

5. Interpretación de Resultados

Al interpretar los contornos de isovalores, se observa que la distribución de anomalías para los tres elementos tienen una correspondencia entre sí.

Geológicamente, las anomalías están controladas estructural y litológicamente. Al norte de la sección 500 S, todas las anomalías están relacionadas a contactos litológicos, ya sea entre tobas, calizas y skarn y los cuerpos de óxidos masivos encajonados en skarn, y con una tendencia de $N60^{\circ}-75^{\circ}W$, por lo que se mantiene dicha tendencia estructural. Mientras que al sur de la línea 500 S sólo se tienen dos anomalías, una al contacto entre tobas y andesita, y la otra sobre el intrusivo tonalítico.

La anomalía de mayores dimensiones (300 m X 500 m), se encuentra ubicada entre las secciones L0 E y L300E; y la 50 N y 450 S, con una extensión que sigue el contacto tonalita-tobas-caliza por 500 m con rumbo $S65^{\circ}E$. Esta anomalía continúa hacia el SE, pero de menor expresión, con dimensiones de 80 m X 400 m, entre las secciones 1200-1500 E y 250-500 S.

La otra anomalía de interés se encuentra en la parte suroccidental del área, entre las secciones 200-400 E y 900-1100 S.

Por último, hay otras dos anomalías, entre las secciones 700-800 E y 550-600 S; y otra al norte en el contacto tobas-caliza-skarn, entre las secciones 1000-1100 E y 150-250 N.

Se puede observar que las anomalías están controladas estructural y litológicamente, y que a pesar de lo irregular del análisis de las muestras colectadas, se logró configurar las tendencias geoquímicas. Los mapas de anomalías pueden observarse en el Anexo de mapas, (mapas 3 a 5).

VI. PROGRAMA DE BARRENACION CON CIRCULACION INVERSA

1. INTRODUCCION

Después de que en un prospecto se conjugan geología, geoquímica y geofísica para definir blancos de barrenación que deben evaluarse con diamante o circulación inversa, debe tomarse una decisión respecto al método a emplearse, ya que los costos de esta etapa son los más altos de la exploración, e impactan mucho más en las finanzas de la compañía exploradora.

Sea cual fuese el método de perforación, diamante o circulación inversa, el producto final y el más importante, es la muestra obtenida junto con la información topográfica del barreno, ya que a partir de ésta se genera la información complementaria del subsuelo; geología, geoquímica, y en ocasiones información geofísica, que permite interpretar o comprobar el modelo geológico inferido, determinar extensiones, zoneamiento y paragénesis del yacimiento, evaluar leyes del mineral y en ocasiones conocer las propiedades petrofísicas de las rocas, etc.

El programa de exploración, debe soportarse en un conjunto de datos geológicos (alteración-mineralización, estructurales), geofísicos (anomalías de interés de primer orden), geoquímicos (anomalías de interés, curvas de isovalores, cocientes metálicos, etc.), así como de una planeación logística adecuada, ya que el retraso en los programas de perforación, deficiencia en el manejo de la muestra, bajas recuperaciones, mala operación, etc., conlleva a un incremento en los costos y defasamiento de las actividades subsecuentes directamente relacionadas.

En la actualidad, una forma rápida de evaluar un yacimiento involucra el uso de la perforación con circulación inversa, sobre todo enfocada a yacimientos de tipo diseminado o placeres, como en el caso del prospecto La Cruz.

1.1. Definición

El método de circulación inversa inicia su desarrollo en el oeste de los Estados Unidos de América, principalmente en el estado de Nevada y estados adyacentes durante los años de 1976-1977 dada la imperiosa necesidad de explorar y evaluar yacimientos principalmente de oro y cobre, de carácter diseminado, es decir, grandes volúmenes de mineral con leyes menores a 1.5 g/T de Au.

La característica principal de este sistema, es el uso para su operación de aire o agua, inyectados a presión por medio de un compresor que permite la extracción desde el subsuelo del recorte de perforación, que llega a la superficie por tuberías de doble pared. Esta tubería evita contaminación de las muestras al limitarse el contacto directo de éstas con la pared del pozo. Cuando la muestra llega a la superficie, descarga en un ciclón de donde pasa a un cuarteador fijo o giratorio que por diseño separa la muestra en dos porciones, del 10% y 90%.

El proceso de perforación utiliza broca tricónica con impregnaciones de carburo de tungsteno o martillo neumático, se recomienda el uso de este último por garantizar mejor recuperación de

muestra sobre todo cuando ésta se realiza en seco. Ambas herramientas permiten la recuperación al fondo es decir, que desde que la muestra es cortada inmediatamente es succionada por la presión del aire o del agua, evitándose contacto con la pared del pozo.

Tanto martillo como broca tricónica son de mayor diámetro (5 1/4"- 5 3/4") que la tubería exterior lo que también de alguna forma contribuye a disminuir los riesgos por contaminación en la columna perforada.

1.2. Ventajas del Método

A continuación se enumeran las principales ventajas que ofrece este tipo de perforación:

- Bajos costos. Sin lugar a dudas un factor de impacto importante es el aspecto económico, ya que este tipo de perforación representa 1/3 del costo de la perforación con diamante.
- Productividad. Sin duda la alta productividad del método en condiciones normales de operación, puesto que en turnos de 10 horas perforan de 80 a 120 m promedio, llegando a perforar hasta 42 m/h.
- Volumen de muestra. Dado el diámetro que se utiliza, es posible obtener entre 30 y 60 Kg/m por muestra unitaria, suficiente para ensaye e investigaciones y estudios posteriores.
- Representatividad. Cuando se realiza la operación en seco se obtienen muestras que son representativas de los intervalos cortados, incluso en formaciones sin consolidar o terreros.
- Versatilidad en movimiento e instalación. Debido a que el equipo está montado sobre camión, requiriéndose en condiciones ideales, no más de 1 hora de movilización, para el inicio del siguiente barreno.
- Detección de zonas mineralizadas. Resulta fácil diferenciar las zonas mineralizadas, por sus características físicas como color, densidad, etc.
- Bajo riesgo de contaminación de la muestra. La recuperación al fondo del pozo tanto en broca como martillo, así como la utilización de tubería de doble pared disminuyen el efecto contaminante por caídos o colapsos de las paredes del barreno.
- Baja contaminación ambiental. Como la perforación generalmente se realiza en seco, su efecto en el medio ambiente es mínimo, pues raramente se utilizan aditivos o lodos de perforación; se restringe la contaminación a la combustión del motor y al ruido del compresor.
- Además, es posible obtener esquirlas de roca representativas, para estudios petrográficos y mineragráficos.

1.3. Desventajas del Método

Dentro de las desventajas del método, las principales son:

- Pérdida de detalle geológico. Quizás el aspecto menos ventajoso de la perforación con circulación inversa, en comparación con otros métodos, dado que el tamaño de los recortes dificulta el detalle en relación con las estructuras, texturas.

- Condicionado por la infraestructura. Debido a las dimensiones y peso del equipo (aproximadamente 30 toneladas), los accesos requieren un ancho de 6m, curvas amplias y pendientes menores de 13%. Las estaciones para barrenos inclinados requieren dimensiones mínimas de 10 por 20 m, por lo que en terrenos con topografía abrupta el acceso para esta maquinaria queda limitado, así como en zonas de protección de especies endémicas.
- Limitaciones petrofísicas y geomecánicas. Por el tamaño de partícula es difícil hacer determinaciones petrofísicas, como resistividad, susceptibilidad magnética, y la obtención de parámetros como el RQD (Rock Quality Degree, por sus siglas en inglés).
- Contaminación de la muestra en zonas muy fracturadas. Al igual que otros métodos, no está exenta de contaminación, sobre todo, cuando se perforan formaciones blandas en la influencia de rocas fracturadas con desarrollo de cavidades de disolución. En estos casos por efecto de la presión de aire o agua, el material fino y deleznable es inyectado en las zonas con porosidad secundaria dispersando los valores de mineral más allá de lo real.
- Pérdida de finos. Cuando la perforación se realiza con agua es factible la pérdida de finos. Al lavarse la muestra en el agua, se pierden los sólidos en suspensión, por lo que si se tienen valores en esta fracción se pierde representatividad de la muestra.

2. DESCRIPCION DE EQUIPO Y HERRAMIENTA

La perforación de circulación inversa, se fundamenta en un cabezal elevado de movimiento giratorio, tubería de doble pared una dentro de la otra, con entrada anular exterior para la inyección de fluidos, conectada a la broca tricónica o martillo. La tubería exterior está diseñada para soportar golpeo y tracción, asociada a la rotación, mientras que la interior sufre poca tensión, está asentada sobre monturas, y es por la cual fluye el recorte (Fig. 27).

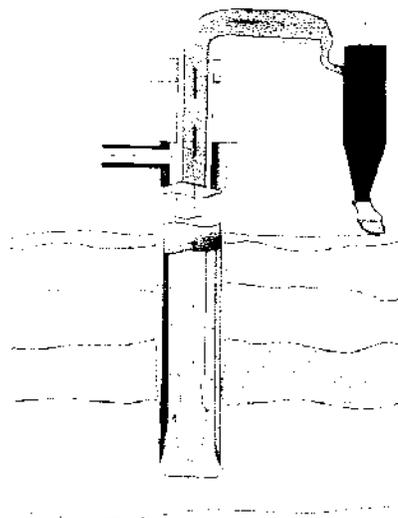


Fig. 27 Diagrama esquemático del sistema de perforación con circulación inversa.

Los diámetros más comunes de estas tuberías se mencionan a continuación:

Diámetro exterior (Pulgadas)	Diámetro interior (Pulgadas)
3.5	1.732
4.5	2.469
5.5	3.250

El diámetro interior define el tamaño y volumen de la muestra, que es crítico en el éxito del sistema. Generalmente la perforación se realiza en diámetro de 2.5-3.25 pulgadas.

Ambas herramientas, tanto martillo como broca, permiten la recuperación al fondo, es decir, que desde que la muestra es cortada, inmediatamente es succionada por la presión del aire o del agua. Tanto martillo como broca tricónica son de mayor diámetro (5 1/4"- 5 3/4") que la tubería exterior lo que también contribuye a disminuir la contaminación de las muestras.

Generalmente la perforación con broca tricónica se hace en terreno blando, relleno, aluviones o terreros. El martillo es más eficiente en formaciones duras o simplemente bien consolidadas, pero en zonas húmedas presenta menor eficiencia, y los perforistas prefieren no utilizarlo después de los 150 m de profundidad.

El aire y otros fluidos de perforación se inyectan en el orificio lateral del cabezal, entre las paredes del doble tubo y la broca. Los recortes y fluidos se dirigen al centro de la broca o martillo, para ser transportada a la superficie a través de la tubería interior, y al llegar al cabezal es dirigido a través de una manga de descarga, al ciclón de muestreo.

La muestra llega a la superficie en forma continua a ciclones de forma tubular - cónica, con mayor diámetro pero menor altura lo cual le da más área que retarda la caída de la muestra y su colección se realiza en bolsas para el 10% y el 90%, después de ser cuarteada.

3. SUPERVISION DE LA OPERACION

El porqué de una supervisión tan rigurosa y estricta de las actividades que se realizan en la perforación con circulación inversa, está en función de dos aspectos fundamentales: el primero de ellos, responde a lo valiosa de la información que el método va a proporcionar para tomar decisiones trascendentales en la vida futura del prospecto, y la segunda que por lo general, las empresas no cuentan con un equipo de estas características y que por tanto debe ser contratado, lo que se traduce en costos por metro del orden de los \$48.00 USD. La contratación se realiza a través de concursos; y los contratos deben ser cumplidos estrictamente por ambas partes.

El proceso de perforación involucra personal técnico capacitado de la compañía contratista, integrado por un perforista al que auxilian, dos o más ayudantes para movimiento de tubería y maniobras. Por parte de la empresa que contrata los servicios, el Ing. Geólogo en turno, es la máxima autoridad para tomar decisiones en el campo o negociar algunas cláusulas del contrato en situaciones de cambio de broca por martillo o viceversa, tiempos de movimiento y

acondicionamiento del pozo, cambio de perforación en seco a húmeda; pero lo más importante, que se esté cumpliendo con el mínimo de recuperación requerida y se esté cuidando la limpieza de la muestra evitando su contaminación.

Para cumplir con esta responsabilidad, al ingeniero lo apoya un muestrero que en un formato tipo (FORMA 1), y en bitácora registra los eventos que se desarrollan en el transcurso del turno, rotula y etiqueta las bolsas, almacena en los contenedores especiales el recorte obtenido de la perforación, para archivo y descripción detallada. Para el manejo de las muestras en campo, el muestrero y dos ayudantes se encargan de la colecta, pesado y movimiento de la muestra.

Debido a que se trabajan jornadas de 24 horas, de la alta productividad, y de que mensualmente se tienen que hacer estimaciones para el pago de facturas, diariamente el perforista de cada turno elabora un reporte, que es revisado por el geólogo del turno para su visto bueno. A su vez los geólogos responsables de los turnos tienen interacción directa en campo, además de llevar una bitácora en donde se registran los detalles geológicos y operacionales.

Un aspecto importante para lograr el éxito conjunto entre cliente y proveedor lo constituye la comunicación estrecha entre los representantes de ambas partes, con la mira de corregir las posibles desviaciones del proceso de perforación.

4. DESCRIPCION DE BARRENOS

En la mayoría de los proyectos de gran volumen - baja ley que se ubican en la última etapa de evaluación, se acostumbra únicamente realizar muestreo para ensaye, y una breve descripción del recorte o polvos generados por este sistema.

A pesar del tamaño de los fragmentos y de la pérdida de detalle geológico se debe aprovechar al máximo la información que se desprende de la muestra, ya que como se mencionó el costo por metro es caro.

Para cumplir con este objetivo, el recorte de perforación se colecta en contenedores especiales de madera y plástico con divisiones que representan intervalos de 2 metros, mismos que coinciden con el tramo en donde se colecta la muestra, este material es lavado y tamizado a diferentes mallas (-20 mallas, 2mm de abertura) para formar dos tipos de registros. El primero, con la fracción arriba de -20 mallas, que consiste en una tabla con la columna litológica a escala, que representa el barreno y que junto con las cajas de plástico, las cuales preservan las características del recorte como sale del pozo, con los que se elabora la descripción al microscopio; y el segundo ("litofile"), en el que se utiliza el material menor a -20 mallas para formar un registro de carácter ejecutivo con datos simplificados de la litología y ensayes.

La primera descripción que se hace del recorte inicia en el campo en donde, cada geólogo en su respectivo turno la registra en un formato y que debe contener la siguiente información: número de barreno, proyecto, área, geólogo en turno, fecha, máquina, broca, ángulo y rumbo de barreno, intervalo, número de muestra, litología, mineralización, alteración, color, porcentaje de recuperación,

registro gráfico, breve descripción litológica por intervalo de 2 metros que equivale a una muestra unitaria, y en algunos casos fallamiento, reconocido por algunas características del recorte (FORMA 2). La familiarización con el terreno llega a ser tan destacada, que el geólogo por la densidad del material y color del polvo puede diferenciar el tipo de roca de que se trata. Un elemento de apoyo para el control del barreno durante su perforación, corresponde a las secciones geológicas en donde se infiere el modelo geológico que se explora o evalúa, según sea el caso.

La siguiente fase de descripción se realiza con microscopio binocular de 8X, 32X y 60X, con el fin de lograr mayor detalle geológico, que permita la mejor definición de litologías, para la correcta interpretación de secciones y posterior modelaje del yacimiento para la evaluación de recursos. La descripción final se vacía en formatos especiales en donde se resaltan todos los elementos geológicos mapeables: litología, alteración, mineralogía primaria y secundaria, posibles zonas de falla, y protolito, con su respectiva columna gráfica, profundidad, número de muestra, resultados de ensaye y datos generales del barreno (FORMA 3).

5. OBJETIVO Y FINALIDAD DEL MUESTREO

A través de todas las fases que sigue la exploración y evaluación de un yacimiento mineral, el muestreo en sus diferentes formas se convierte en el proceso más importante y no es la excepción en el proceso de circulación inversa, que además de proveer de datos cuantitativos y cualitativos del mineral, también funciona para trabajos de petrografía, caracterización mineralógica e investigación metalúrgica.

Durante los últimos tiempos, se ha puesto en duda el grado de confiabilidad de este método, que por lo general es bastante seguro, siempre y cuando el equipo opere en óptimas condiciones.

El proceso se inicia desde el rompimiento del barreno (brocal) para instalar el ademe y desahogar la salida del polvo que sale por el espacio anular entre la tubería y el pozo. La muestra es colectada por tramos de 2 metros, de manera unitaria, y separada directamente en el cuarteador; manejándose para caso húmedo, el 10 % en bolsa microporo de 35 por 55 cm para secado y decantación directa y el 90 % en bolsa de plástico (calibre #1000) de 55 por 75 cm. Cuando se perfora en seco, la variante es de que en lugar de bolsa de microporo para el 10%, se emplea una bolsa de plástico. El 90% de la muestra se pesa para estimar la recuperación de acuerdo a una estimación volumétrica del cilindro de perforación.

Con una broca de 5¼", equivalente a 13.335 cm de diámetro o radio de 0.066675 m, se obtiene un volumen de 27.932 dm³, que con una densidad de 2 g/cm³, equivale a 55.8645 Kg, mientras que con 3 g/cm³, equivale a 83.7968 Kg, y en promedio 69.83 Kg; datos con los cuales se estimaría la recuperación del 100%.

Los detalles más importantes a considerar durante el desarrollo de la operación, son la recuperación y colecta del 100 % del recorte que sale del barreno, y el correcto etiquetado de bolsas y el movimiento de la misma en el campo.

Una vez que el barrenado se termina, las muestras colectadas se trasladan a la sección de preparación y envío, esta actividad debe realizarse con el mayor cuidado posible para evitar la pérdida de muestra. Para el caso de las muestras del 10 %, éstas se registran en el formato de envío para el laboratorio con las instrucciones específicas sobre el tipo de preparación y ensayo requerido. La muestra del 90 % se cuartea y almacena, quedando disponible para ser utilizada en fases posteriores de investigación como petrografía, caracterización (gold metallics), investigación metalúrgica (recuperación, pruebas de lixiviación en columna y botella), y reensayos. (Fig 28).

6. GENERACION, REGISTRO Y CAPTURA DE LA INFORMACION

Como se ha mencionado con anterioridad, la descripción del recorte de perforación principia en el campo con los registros de muestreo y geología en donde se toman datos del barrenado; número de la muestra; características de la perforación relacionados al uso de broca o martillo; perforación en húmedo o seco; peso y recuperación de la muestra; litología; alteración; mineralización, con la cual se va compilando toda la base de datos del proyecto. La información anterior complementa la descripción detallada que se realiza con el microscopio binocular para detallar litología, alteración, mineralización, textura y estructura.

Como se puede apreciar, a lo largo del proceso se genera una abundante información misma que se va registrando en la forma 3 de detalle, uno de los más importantes ya que en él se registran datos de eminente contenido geológico con claves o codificaciones para su registro en computadora. Esta información se almacena en una base de datos para la elaboración de plantas geológicas y secciones transversales de litología, contornos de menas, estructuras y alteración, que posteriormente son interpretadas para realizar el modelo del yacimiento, e inventario de recursos geológicos.

La información relacionada con el número de muestras e intervalos de muestreo, así como los resultados de ensayo se capturan conforme la información se genera, actualmente dicha información es transmitida vía internet, por lo que se eliminan los errores de captura. En este proceso, se verifica la recepción de muestras en el laboratorio y el estado en que se reciben, también se verifica la fecha de recepción de resultados, así como la factura para su pago correspondiente. Una vez que se tienen los resultados de los ensayos proporcionados por el laboratorio, se distribuyen y archivan éstos, procediéndose a la captura y revisión de la información capturada que se integra en la base de datos generándose de esa forma los planos y secciones de ensayo que serán utilizados en el inventario de los recursos al igual que la información geológica.

7. OPERACION

En el prospecto La Cruz, se perforaron 1,300 m distribuidos en 10 barrenos, con una máquina de circulación inversa DRILLTECH D40K, y un solo compresor. La operación se desarrolló

con bastante fluidez, ya que las condiciones del terreno fueron propicias, por lo homogéneo del terreno, lo que permitió un avance constante y una disminución de riesgos para la herramienta.

Desde el punto de vista ecológico, las restricciones fueron mínimas, ya que las características de la flora, matorral bajo, no ameritaban medidas excesivas de cuidado por alguna especie en particular. El desarrollo de los caminos, sólo se limitó al control de pendientes y al menor desmonte posible.

En la tabla 9 se muestra el programa de exploración desarrollado en el prospecto La Cruz:

8. RESULTADOS

De los 10 barrenos programados, siete presentaron intersecciones mineralizadas, más no en forma continua y de importancia; ya que está restringida a horizontes específicos directamente relacionados con diseminación de sulfuros y magnetita, y cercanos al contacto caliza - tobas y/o caliza – skarn - tonalita, y a cuerpos masivos de sílice (jaspe) y/o magnetita.

Con los barrenos realizados en la porción central al norte del área, se verificó la interdigitación de las calizas con rocas piroclásticas, que se pudo observar en los barrenos CIC-01 al 06 con escasas manifestaciones de mineralización y de skarnificación.

En el barrenos CIC-07, se cortó en la cima un horizonte de skarn, con presencia de un cuerpo de óxidos de 13-17 m; al parecer este cuerpo skarnificado corresponde a un colgante, lo que significa que la zona estuvo sujeta a un alto grado de erosión. Entre los barrenos desarrollados al suroccidente del área se encuentra el de resultados más atractivos, el CIC-10, que presenta un intervalo de 6.0 m con cuerpos de óxidos encajonados en un skarn de granate desarrollado a partir de tobas, y cercano al contacto con las andesitas (sección 7).

Geológicamente, la barrenación ayudó a definir el paleoambiente de depósito del prospecto La Cruz, que ocurrió en un alto topográfico bajo el nivel del mar, que permitió la formación de un biostroma arrecifal, afectado en su periferia por actividad volcánica. La intrusión tonalítica del Cretácico Tardío propició el desarrollo de un halo de skarn que favoreció el reemplazamiento a cuerpos de magnetita-hematita con sulfuros diseminados. Posteriormente la actividad hidrotermal tardía provocó alteración retrógrada en el skarn y desarrollo de vetillas de cuarzo con sulfuros que corresponden a un evento tardío de mineralización. En la tabla 10, se presenta un resumen de las intersecciones mineralizadas de interés.

De este breve resumen, se observa que existe diseminación de sulfuros tanto en tobas, skarn y tonalita, así como en cuerpos de óxidos, y se encuentran muy relacionados a contactos entre litologías, sin embargo no de carácter económico.

Los resultados de ensaye obtenidos para los barrenos CIC-01 al CIC-06, no sustentan brindar seguimiento hacia la zona norte.

DIAGRAMA DE FLUJO.

MUESTREO EN LA PERFORACION CON CIRCULACION INVERSA

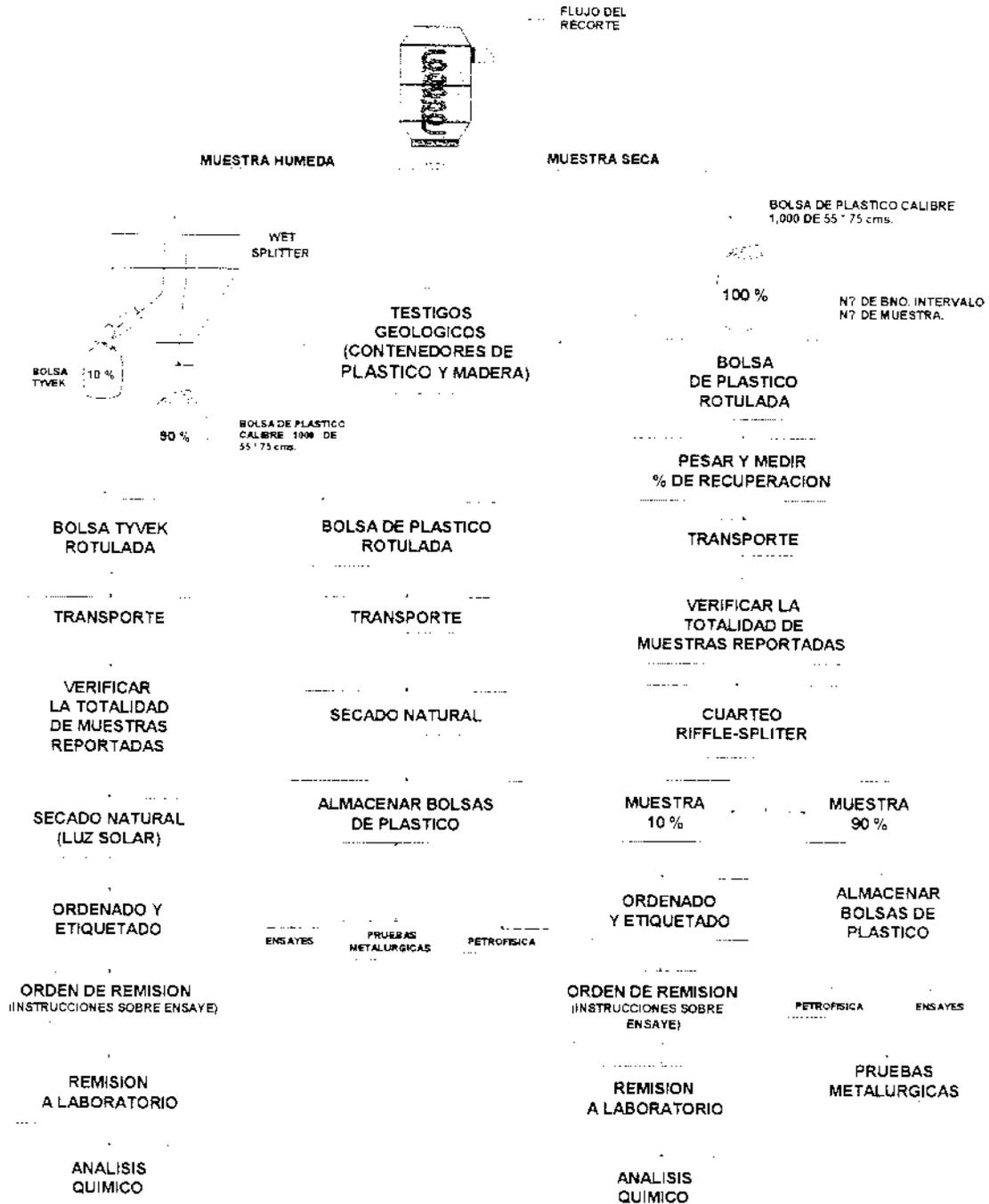


Fig. 28 Diagrama de flujo del proceso de muestreo en la perforación con circulación inversa.



OFICINA REGIONAL DE EXPLORACION TOLUCA

SECCION:

BARRENO: _____ INCLINACION: _____ COORD NORTE: _____ ELEVACION: _____ FECHA: _____
 AREA: _____ RUMBO: _____ COORD ESTE: _____ PROF. TOTAL: _____

DESCRITO POR		MENA						SKARN Y ALTERACION										PAG. 1 DE								
PROFUNDIDAD	%REC	ENSAYE		MAGNETITA	SULFUROS	PIRITA OXIDADA	HEMATITA	LIMONITA	TEXTURAS Y ESTRUCTURAS	ESTRUCTURA	PROGRADO	RETROGRADO	PROLITICA	SILICIFICACION	ARGILIZACION	OXIDACION	GSP	POTASICA	CUOX	CARBONATOS	MnOx	SiO2	EXO	EMDO	GRAFICO	DESCRIPCION 1=DEBIL 2=MODERADO 3=INTENSO
		FIRE ASSAY g/ton	Ch. g/To																							
0.0																										
10.0																										
20.0																										
30.0																										
40.0																										
50.0																										
60.0																										

Forma 3. Forma de detalle geológico para circulación inversa.

BARRENO	UBICACIÓN	RUMBO	INCLINACION	PROFUNDIDAD		OBJETIVO	SOPORTE
				PROG	REAL		
CIC-1	15 m AL S23°E DE L1200+200S	VERTICAL	-90°	150	127	SKARN DE GRANATE CON DISEMINACIÓN DE FeOx; CONTACTO CALIZA-TOBAS- TONALITA	ANOMALÍA MAGNÉTICA DE 41650 γ. VALORES DE PI 32 mV, RESISTIVIDAD DE 83-548 Ω-m, VALORES EN SUPERFICIE ≤1.8 g/T Au
CIC-2	L1100+110S	SUR	-60°	140	140	CONTACTO CALIZA- TONALITA, CON POSIBILIDAD DE INTERSECTAR SKARN MINERALIZADO DE 75 m DE ESPESOR.	ANOMALÍA MAGNÉTICA DE 42000 γ. VALORES DE PI 49 mV, RESISTIVIDAD DE 97-578 Ω-m. VALORES EN SUPERFICIE ≤2.8 g/T Au
CIC-3	L1000+36S	VERTICAL	-90°	180	107	POSIBLE CUERPO MASIVO DE FeOx, AL ALTO DE LAS CALIZAS, CON SKARN DE GRANATE AL BAJO EN EL CONTACTO CALIZA- TONALITA-SKARN.	DIPOLO MAGNÉTICO CON ALTO DE 41700 γ. VALORES DE PI 50 mV, RESISTIVIDAD DE 220-618 Ω-m, VALORES EN SUPERFICIE ≤1.2 g/T Au
CIC-4	25 m AL S32°E DE L800LB	VERTICAL	-90°	100	150	CONTACTO CALIZA- TONALITA-SKARN CON SULFUROS DISEMINADOS (CALCOPIRITA-PIRITA).	ANOMALÍA MAGNÉTICA DE 42000 γ. VALORES DE PI 58 mV. RESISTIVIDAD DE 190-800 Ω-m, VALORES EN SUPERFICIE ≤5.7 g/T Au
CIC-5	L600+30N	VERTICAL	-90°	90	150	CONTACTO CALIZA- TONALITA-CUERPOS DE FeOx MASIVOS, SÍLICE MASIVA Y SKARN DE GRANATE.	ANOMALIA MAGNÉTICA DE 42000 γ. VALORES DE PI 58 mV, RESISTIVIDAD DE 190-800 Ω-m, VALORES EN SUPERFICIE ≤5.7 g/T Au
CIC-6	L400+100N	VERTICAL	-90°	130	144	CONTACTO CALIZA- TONALITA-CUERPOS DE FeOx MASIVOS, SÍLICE MASIVA Y SKARN DE GRANATE.	ANOMALÍA MAGNÉTICA DE 42000 γ. VALORES DE PI 23 mV, RESISTIVIDAD DE 145-777 Ω-m, VALORES EN SUPERFICIE ≤3.3 g/T Au
CIC-7	L200+12S	SUR	-60°	90	80	SKARN DE GRANATE CON DISEMINACION DE FeOx, CUERPOS DE FeOx Y SILICE MASIVOS	ANOMALÍA MAGNÉTICA DE 43000 γ. VALORES DE PI 22 mV RESISTIVIDAD DE 219-575 Ω-m VALORES EN SUPERFICIE ≤3.3 g/T Au
CIC-8	L250+850S	S18°E	-45°	180	168	CUERPOS MASIVOS DE FeOx CON RELICTOS DE SKARN DE GRANATE, CONTACTO ANDESITAS- TOBAS	ANOMALÍA MAGNÉTICA DE 46000 γ. VALORES EN SUPERFICIE ≤26.0 g/T Au
CIC-9	L250+850S	S20°W	-58.5°	120	102	CUERPOS MASIVOS DE FeOx CON RELICTOS DE SKARN DE GRANATE, CONTACTO ANDESITAS- TOBAS	ANOMALÍA MAGNÉTICA DE 46000 γ. VALORES EN SUPERFICIE ≤26.0 g/T Au
CIC-10	L350+975S	S10°W	-44°	140	132	CUERPOS MASIVOS DE FeOx CON RELICTOS DE SKARN DE GRANATE, CONTACTO ANDESITAS- TOBAS	ANOMALÍA MAGNÉTICA DE 46000 γ. VALORES EN SUPERFICIE ≤26.0 g/T Au
TOTAL				1300			

Tabla 9.- Programa de exploración con circulación inversa del prospecto La Cruz.

Se puede interpretar, que la mineralización está controlada estructuralmente por zonas de contacto, que actuaron como zonas más permeables y porosas al paso de las soluciones mineralizantes, como puede observarse en las secciones 5 y 6.

BARRENO	INTERVALO		ANCHO (m)	Au	Ag	Cu	DESCRIPCION
	DE	A		g/T	g/T	%	
CIC-01	40.00	46.00	6.00	1.25	1.33	0.24	Magnetita y pirita (45-20%) diseminada en tobas.
CIC-01	52.00	56.00	4.00	0.90	1.05	0.07	Magnetita y pirita (45-20%) diseminada en tobas.
CIC-04	43.00	45.00	2.00	0.37	4.00	0.12	Pirita y calcopirita (80-10%), en matriz de tobas con abundante clorita.
CIC-04	59.00	61.00	2.00	0.15	1.50	0.12	Tobas con pirita diseminada (5%).
CIC-05	12.00	14.00	2.00	0.77	4.00	0.17	Cuerpo de J-Hm en matriz tobácea, con pirita diseminada (15%), en contacto tobas-calizas.
CIC-05	106.00	112.00	6.00	0.72	3.90	0.26	Cuerpo de óxidos masivos, con pirita y jaspe en contacto calizas-tobas.
CIC-07	8.00	18.00	10.00	0.43	8.23	0.28	Cuerpo masivo de Hm-Mt, con sílice porosa, en matriz de skarn de granate, con tonalita al bajo.
CIC-07	26.00	32.00	6.00	0.74	32.50	0.44	Endoskarn de granate, con magnetita y calcopirita diseminados, con vetilleo de calcita-hematita, con clorita, al alto de tonalita.
CIC-07	34.00	36.00	2.00	0.24	2.20	0.41	Skarn de granate, con vetillas de calcita, y trazas de calcopirita y magnetita diseminadas (<1%).
CIC-08	48.00	50.00	2.00	0.21	6.20	0.17	Endoskarn parcialmente remplazado por pirita y magnetita (40-60%).
CIC-08	54.00	56.00	2.00	0.62	3.10	0.09	Óxidos masivos de magnetita-pirita (70-20%) reemplazando skarn de clorita, al bajo de andesita y al alto de skarn.
CIC-09	70.00	72.00	2.00	0.15	21.20	0.99	Cuerpo de magnetita-pirita (40-15%) reemplazando skarn de granate, relictos de tobas cloritizadas.
CIC-10	30.00	36.00	6.00	12.92	27.70	0.07	Cuerpo de óxidos masivos, hematita-magnetita-limonitas (80-10-10%), encajonado en skarn de granate y hornfels.

Tabla 10. Resumen de Intersecciones mineralizadas de barrenos del prospecto La Cruz.

Desafortunadamente, los cuerpos de reemplazamiento son de poco espesor y de forma irregular; la zona que resultó con mayor interés es la de La Parotita (CIC-10), como se puede observar en la tabla 10 y en la sección 7.

Con la perforación desarrollada en esta zona, se verificó que las andesitas porfídicas y las tobas son coevales, lo que permite incluirlas dentro de la Formación Comburindio-San Lucas.

En la tabla 11, se presenta en forma resumida la evaluación realizada utilizando el muestreo realizado en la porción noroccidental del área y el intervalo mineralizado de mayor interés del barreno CIC-10, del área La Parotita, en la que se puede observar un potencial inferido cercano a 128,000 onzas de oro, con una ley promedio de 1.47 g/T. Por lo que para el grupo Peñoles, se ve limitado de manera considerable, pero que bien pudiera ser negociado a una empresa o particular para su explotación, representando actualmente un valor aproximado de mineral de \$32,000,000 USD, con un precio de \$250.00 USD/onza.

RESERVAS INDICADAS						
CUERPO	AREA	ALTURA	DENSIDAD	Au (g/T)	TONELADAS	ONZAS DE Au
1	9092	10	2.8	1.8	254576	15222.04395
2	4662	10	2.8	1.05	130536	4553.051971
3	3754	10	2.8	1.3	105112	4539.193117
4	27130	10	2.8	1.91	759640	48197.46541
CIC-10	400	4	2.8	12.9	4480	1919.77677
TOTAL				1.74	1254344	74431.53122
RESERVAS INFERIDAS						
CUERPO	AREA	ALTURA	DENSIDAD	Au (g/T)	TONELADAS	ONZAS DE Au
1	9092	10	2.8	1.26	254576	10655.43076
2	4662	10	2.8	0.74	130536	3208.817579
3	3754	10	2.8	0.91	105112	3177.435182
4	27130	10	2.8	1.34	759640	33813.92861
CIC-10	1200	4	2.8	6	13440	2678.758284
TOTAL				1.21	1263304	53534.37042
INDICADAS					1254344	74431.53122
INFERIDAS					1263304	53534.37042
TOTAL					2517648	127965.9016

Tabla 11. Evaluación de recursos del prospecto La Cruz utilizando muestreo de superficie y el barreno CIC-10.

VII. CONCLUSIONES

El prospecto La Cruz cuenta con una buena infraestructura, suficiente para desarrollar una operación minera a gran escala, y se puede considerar como un área de gran potencialidad.

El área de La Cruz se encuentra ubicada en el subterreno Huetamo del terreno Guerrero.

Las unidades litológicas presentes en el área de estudio, se pueden correlacionar con la Formación Comburindio, definida por Pantoja y otros autores, debido a la similitud de ambientes de depósito y características propias similares. Sin embargo se requiere trabajo estratigráfico de detalle para hacer una correlación más precisa.

El cuerpo tonalítico, se considera una apofisis del batolito Placeres del Oro y por tanto de edad cretácica. Además propició el metasomatismo de contacto, que favoreció la formación del depósito.

Se definen cuatro áreas con mineralización, para probar continuidad a rumbo y profundidad.

Se tienen tres diferentes tipos de mena por su naturaleza química: los cuerpos de óxidos masivos y diseminados, los cuerpos de sílice y los de sulfuros diseminados; que debido a sus características manifiestan comportamiento diferente a las investigaciones metalúrgicas realizadas.

Las alteraciones presentes son en orden de importancia: propilitización, cloritización, principalmente en el skarn y en las tobas; y silicificación, argilización y feldespatización, en la tonalita.

Existen dos controles de la mineralización: en primer lugar, el litológico, donde las calizas se ven más favorecidas a ser reemplazadas por cuerpos de óxidos masivos, que albergan la mayor parte de la mineralización económica y los cuerpos de skarn que al volverse más porosos recibieron a los sulfuros. Y en segundo lugar, el estructural, con un tendencia N45°-65°W, regido en un principio por la zona de debilidad en la interdigitación tobas-calizas, que fue el principal factor para el emplazamiento del intrusivo tonalítico, que es el que preparó el terreno para recibir las soluciones mineralizantes, sin embargo no pueden descartarse por completo las facies volcanoclásticas, como es el caso del área La Parotita.

Los métodos geofísicos utilizados en el prospecto son: Polarización Inducida, Resistividad y Magnetometría, levantando 17,850 m de PI/Resistividad y 31,500 m de Magnetometría.

La respuesta del medio a los métodos geofísicos permitió interpretar y soportar la campaña de barrenación, aunque desafortunadamente con resultados negativos.

Se puede observar una coincidencia de las anomalías geofísicas con las zonas de skarn y óxidos de hierro, y contactos entre la caliza y el skarn.

El uso de herramientas estadísticas (matriz de correlación, histogramas de frecuencia y curvas de frecuencia acumulativa), es un apoyo para la interpretación de valores geoquímicos, de tal manera que se puede definir a que tipo de distribución corresponde un elemento de determinado conjunto de muestras y asignar valores más apegados a la realidad de cada familia litológica. La mayoría de los subconjuntos creados presentan una distribución lognormal, a excepción del hierro en

la familia litológica de los cuerpos de óxidos. La matriz de correlación también permitió interpretar que el yacimiento La Cruz corresponde a un skarn de Fe con valores asociados de Au-Cu-Ag.

Para realizar una correcta interpretación debe controlarse de manera efectiva el muestreo geoquímico, ya que las muestras son las que permitirán decidir sobre la viabilidad de un prospecto. En el caso del prospecto La Cruz, se decidió de manera muy heterogénea los elementos a ensayar debido a lo intermitente de la actividad; razón por la cual no se pueden enunciar conclusiones de mayor alcance.

Las anomalías de Au, Cu, Fe son coincidentes con las anomalías geofísicas y con las zonas de skarn y óxidos de hierro, y siguen el contacto entre las calizas y las tobas, manteniendo una tendencia preferencial N65°W.

El carácter diseminado de la mineralización en el skarn y la disposición de la mayoría de los cuerpos conocidos, así como el costo por metro, fueron las razones principales para la selección del método de circulación inversa para explorar el prospecto La Cruz.

La operación en el prospecto se desarrolló con una perforadora DRILTECH D40K con buenas recuperaciones sin contratiempo alguno; se respetaron las normas ecológicas vigentes emitidas por SEMARNAP y el Gobierno del estado de Guerrero.

Se perforaron 1.300 m distribuidos en 10 barrenos, con resultados negativos para la empresa, ya que el potencial evaluado no cumple con los parámetros mínimos de la empresa.

Aunque la geofísica muestra anomalías de interés dentro del intrusivo tonalítico, no se presenta mineralización diseminada de interés económico, ya que las anomalías de cargabilidad exploradas se deben a pirita diseminada en la tonalita.

Con una evaluación por bloques, tomando en cuenta los valores de muestreo de superficie en el área noroeste y el barreno CIC-10, se estima un potencial inferido de 2.517,648 T con ley promedio de Au de 1.47 g/T, equivalente a 127,966 onzas troy de oro, que puede ser explotado a cielo abierto por una empresa de mediana minería.

Para definir con mayor exactitud la cuantificación de recursos y su extensión a profundidad, se propone una segunda campaña de barrenación, con barrenos cortos cada 100 metros, con profundidad menor a 60 m en las zonas de skarn al norponiente del área; así como explorar el contacto sureste de las calizas con las tobas, ya que las anomalías geoquímicas y la magnetometría, señalan continuidad hacia el sureste.

BIBLIOGRAFIA

- Alencaster, G., Pantoja-Alor, J., 1995, **New Early Aptian rudists (Bivalvia-Hippuritacea) from the Huetamo area in southwestern Mexico**, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, Vol. 12, 2, pp. 123-134.
- Buitrón, B.E., Pantoja-Alor, J., 1994, **Esponjas perforantes de moluscos del Cretácico Temprano en la región centrooccidental de México**, UNAM, Instituto de Geología, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, Vol. 11, 2, p. 222-231.
- Campa-Uranga, M.F., 1978, **La evolución tectónica de Tierra Caliente**, Guerrero: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, v. 39, p 52-64.
- Campa, M.F., Ramírez, J., 1979, **La Evolución Geológica y la Metalogénesis de Guerrero**: Universidad Autónoma de Guerrero, Serie Técnico-Científica, v. 1, 84 pp.
- Campa-Uranga, M.F. and Coney, P.J., 1983, **Tectonostratigraphic terranes and mineral resource distributions in Mexico**, *Canadian Journal Earth Science*, v. 20, p. 1040-1051.
- Centeno-García, Elena, 1994, **Tectonic Evolution of the Guerrero terrane**, western Mexico, Tucson, University of Arizona, Ph. D. Dissertation, 200 p.
- Cserna, Zoltan De, 1978, **Notas sobre la geología de la región comprendida entre Iguala, Ciudad Altamirano y Temascaltepec, estados de Guerrero y México**: Sociedad Geológica Mexicana, Libro-Guía de la excursión a Tierra Caliente, p. 1-25.
- Einaudi, M.T., Meinert, L.D., Newberry, R.J., 1981, **Skarn Deposits**, *Economic Geology*. 75th Anniversary Volume, p. 317-391.
- González-Arreola, C., Pantoja-Alor, J., Oloriz, F., Villaseñor, A.B., García-Barrera, P., 1996, **Lower Aptian Ammonitina *Pseudohaploceras liptoviense* (Zeuschner) in the Comburindio Formation (Southwestern México)**, *Geobios*, Vol. 29, 1, p. 35-43.
- Gómez-Luna, M.E., Contreras-y-Montero, B., Guerrero-Suástegui, M., Ramírez-Espinosa, J., 1991, **Amonites del Valanginiano superior y Barremiano de la Formación San Lucas en el área de Huetamo, Mich.**, *Sociedad Mexicana de Paleontología*, Congreso Nacional de Paleontología, 2, Resúmenes, p. 105.
- Guerrero-Suastegui, M., 1997, **Depositional history and sedimentary petrology of the Huetamo sequence, Southwestern Mexico**, University of Texas at El Paso, Master of Science, 120 p.
- Informe del Prospecto La Cruz, Coyuca de Catalán, Gro.**; Depto. de Prospección Regional, Exploraciones Peñoles, S.A. de C.V., 1996. Informe Interno.
- Kearey, P; Brooks, M.; 1984; **An introduction to geophysical exploration**; Gran Bretaña; pp: 171-224; Blackwell Scientific Publications.
- Levinson, A. A., 1974, **Introduction to Exploration Geochemistry**, Applied Pub. Co., Calgary, 612 pp.
- Meinert, L.D., 1989, **Gold Skarn Deposits - Geology and Exploration Criteria, Economic Geology Monograph 6, The Geology of Gold Deposits: The perspective in 1988-1989**; The Economic Geology Publishing Co., pp:

Ortega-Gutiérrez, F., Mitre-Salazar, L.M., Roldán-Quintana, J., Aranda-Gómez, J.J., Morán-Zenteno, Dante, Alaniz-Álvarez, S.A., Nieto-Samaniego, A.F., 1992, **Carta Geológica de la República Mexicana**, 5° ed.: UNAM, Instituto de Geología; y Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, Consejo de Recursos Minerales, mapa con texto explicativo, escala 1:2'000,000, 74 p.

Ortega-Gutiérrez, F., Elías-Herrera, M., Centeno-García, E., García, J.L., Guerrero, M., Ramírez, J., Salinas-Prieto, J.C., Talavera, O., Morán-Zenteno, D.J., Corona-Esquivel, R., Alaniz-Álvarez, S. and Nieto-Samaniego, A., 1993, **First Circum-Pacific and Circum-Atlantic terrane conference, guidebook field trip B**. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, United States Geological Survey, Instituto de Geofísica UNAM, Instituto Mexicano del Petróleo and International Geological Correlation Program, Project 279, 97 p.

Ortiz-Hernández, E. Y Lapierre, H., 1991, **Un contexto magmático asociado al desarrollo de estratovolcanes submarinos, para el origen de sulfuros masivos estratiformes polimetálicos (Pb, Zn, Cu, Ag, Au) de la región de Tierra Caliente, Gro.**: Asociación de Ingenieros Mineros, Metalurgistas y Geólogos de México, XIX Convención, Acapulco, Gro., Memoria Técnica, p. 270-296.

Pantoja-Alor, J., 1959, **Estudio geológico de reconocimiento de la región de Huetamo, Estado de Michoacán**, Boletín del Consejo de Recursos Naturales no Renovables, Vol. 50, p. 36.

Pantoja-Alor, J., 1990, **Redefinición de las unidades estratigráficas de la secuencia mesozoica de la región Huetamo-Altamirano, Estados de Michoacán y Guerrero**: Soc. Geol. Mexicana, X Conv. Geol. Nac., México, D.F., Resúmenes, p.66.

Pantoja-Alor, J., 1992, **La Formación Mal Paso y su importancia en la estratigrafía del sur de México**, Memoria XI Convención Geológica Nacional, Sociedad Geológica Mexicana, p. 66.

Prospecto La Cruz, Estimación de Recursos Naturales, Septiembre 1999., Compañía Minera La Parreña, S.A. de C.V. Informe interno.

Ramírez, J., Campa, M.F., Talavera, O., Guerrero, M., 1991, **Caracterización de los arcos insulares de la Sierra Madre del Sur y sus implicaciones tectónicas**, Convención sobre la Evolución Geológica Mexicana, 1er Congreso Mexicano de Mineralogía, Pachuca, Memoir, p. 163-166.

Resumen y recomendaciones de levantamiento geofísico de PI/Resistividad y Magnetometría, Depto de Geofísica, Exploraciones Peñoles, S.A. de C.V., 1994, informe interno.

Rose, A. W., Hawkes, H. E., Webb, J. S., 1979, **Geochemistry in Mineral Exploration**, Academic Press, USA, 657 pp.

Sedlock, R.L., Ortega-Gutiérrez, F., and Speed, R.C., 1993, **Tectonostratigraphic Terranes and Tectonic Evolution of Mexico**: Boulder, Colorado, Geological Society of America, Special Paper 2278, 153 p.

Victoria-Morales, A., 1994, **Diez estudios petrográficos y tres minerográficos realizados a muestras procedentes del proyecto la Cruz, Gro.** para Exploraciones Peñoles, S.A. de C.V.. Informe Interno.