



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

**EXPLORACIÓN GEOLÓGICA DEL ÁREA EL REFUGIO, DURANGO,
MÉXICO.**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN CIENCIAS
MENCION GEOLOGÍA**

ONIVER LEMUS BUSTOS

PROFESOR GUÍA:
Dra. KATJA DECKART

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
Dr. VICTOR MAKSAEV JURCHUC
Dr. BRIAN TOWNLEY CALLEJAS
Dra. NATALIA ASTUDILLO LEYTON

SANTIAGO DE CHILE
SEPTIEMBRE 2012

RESUMEN

En este trabajo de tesis se presentan los resultados de estudio geológico de exploración minera de la zona El Refugio, estos en función de la posible mineralización epitermal de metales preciosos. En esta zona de estudio existen evidencias de alteración hidrotermal (argílica y fílica), donde se ha identificado mineralización aurífera de baja ley en vetas con valores de 0,3 a 0,6 g/t Au. El área de estudio El Refugio se localiza en el flanco oriental de las montañas de la Sierra Madre Occidental, muy cerca del borde con la Mesa Central y dentro de la prolífica faja de mineralización de plata de México. Localmente se ubica en la porción centro-norte del estado de Durango dentro de terrenos de la jurisdicción de los municipios de Rodeo e Indé, y a 150 km al norte en línea recta de la ciudad de Durango.

Con el mapeo geológico estructural realizado, a escalas 1:20.000 y 1:2.000, se definieron las estructuras y vetas relacionadas al sistema de fallas San Luis - Tepehuanes con dirección NW-SE y a la distensión que generaron las fosas y pilares donde se localiza el semi-graben de Rodeo.

Con las edades U-Pb en circones obtenidas durante el presente trabajo, de $47,8 \pm 0,2$ y $49,5 \pm 0,2$ Ma, se interpretan dos edades de cristalización de los cuerpos hipabisales, ubicando a estos en el Eoceno temprano a medio, relacionado regionalmente a las estructuras del sistema de falla San Luis - Tepehuanes y al semi-graben de Rodeo como contemporáneos a estos eventos. Por medio de las dataciones U-Pb realizadas en este trabajo y los emplazamientos de estos cuerpos relacionados a las estructuras mencionadas, se postula que la mineralización del área El Refugio podría estar asociada al emplazamiento de los cuerpos datados Eoceno temprano a medio. La mineralización encontrada en el área El Refugio permite postular un potencial exploratorio por Au-Ag, asociado a ambientes epitermales de metales preciosos. La aseveración anterior es confirmada por estudios de inclusiones fluidas que permiten clasificar los sistemas de vetas en el área de estudio en depósitos epitermales de baja a intermedia sulfuración.

Por medio de los estudios geoquímicos mediante ICP-óptico para 31 elementos más oro (Au), por ensaye al fuego, se determinó que el único elemento blanco de exploración es el Au, relacionado a los elementos As y Sb como trazadores. A través de un análisis de factores de estos datos geoquímicos se determinaron los principales factores con más alta implicancia y los cuales agrupan ciertos elementos según su ocurrencia natural. Se determinaron cinco factores. Los factores 1 a 3 reflejan aspectos litológicos y los factores 4 y 5 son representativos de una mineralización de tipo Au-Sb-As. Si bien no existe buena correlación estadística entre Au y Sb-As, estos elementos presentan una relación especial y de ambiente similar, principalmente en vetas y cuerpos hipabisales.

El análisis de dispersión del elemento Au, con interés económico, se relaciona directamente al emplazamiento de las vetas del área de estudio con valores que representan anomalías del orden de 0,09 a 0,236 ppm. Además, antecedentes geoquímicos de otros estudios recientes indican que en algunas vetas del área a 0,50 m de profundidad existen leyes del orden de 0,1 a 10,0 g/t de Au y entre 18 y 77 g/t de Ag. Esto permitirá proponer esta zona de estudio, como un potencial prospecto de exploración y programar trabajos de obra directa en los lugares donde las anomalías de contraste positivo presentadas son evidentes. Se recomiendan estudios geológicos de detalle con realización de muestreo en trincheras o zanjas en las vetas.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado especialmente a todos los miembros de mi familia, mi esposa y mis hijos que fueron la fuente de energía e inspiración para su realización.

A mis padres y todos mis hermanos por su generosidad y su gran apoyo moral y a todas las personas que de una u otra manera se hicieron partícipes para que este trabajo se llevara a cabo.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer al Servicio Geológico Mexicano, por haberme brindado la oportunidad y apoyo económico para el desarrollo de este postgrado y formar un profesional competitivo, a todas y cada una de las personas que integran este organismo que de una u otra manera me brindaron su apoyo, en este proceso de formación.

De manera especial a mi asesor de tesis Dra. Katja Deckart, por su generosidad y sencillez, al brindarme la oportunidad de recurrir a su capacidad y experiencia científica y brindarme toda su confianza, afecto y amistad, fundamentales para la consumación de este trabajo.

A los miembros de la comisión los Drs. Víctor Maksaev Jurchuc, Brian Townley Callejas y Natalia Astudillo Leyton, por sus valiosas revisiones, sugerencias y acertados comentarios que sirvieron de soporte en elaboración de este trabajo.

A los Ings. Enrique Espinosa Arámburu, Eduardo Rivera Carranza y Juan A. Caballero Martínez, por estar siempre en el momento en que les solicité su colaboración y brindarme la orientación necesaria para lograr un mejor trabajo.

A mi esposa Lore y mis hijos Livier y Oniver, por brindarme todo su apoyo y darme la fuerza necesaria en los momentos más difíciles en mi estancia en Chile.

A mis padres y hermanos, que siempre estuvieron en todo momento apoyándome con sus palabras de aliento y consejos.

A mis amigos de posgrado, extranjeros y chilenos que me brindaron más que su amistad y apoyo.

Un especial agradecimiento a Pamela Castillo por todo su apoyo, en la elaboración de la tesis.

A los profesores del Departamento de Geológica de la Universidad Chile que me brindaros su apoyo y amistad.

A Dios por darme la oportunidad de lograr una meta más en mi vida.

CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN	1
I.1. Exposición del problema	2
I.2. Objetivos	3
I.1.1.- Objetivos generales	3
I.1.2.- Objetivos específicos	3
I.3. Hipótesis de trabajo	4
I.4. Ubicación y accesos	5
I.5. Metodología de trabajo	7
I.5.1.- Estudios Bibliográficos	7
I.5.2.- Estrategia de terreno	7
I.5.3.- Metodología en la toma de muestras	7
II. ANTECEDENTES GEOLÓGICOS	9
II.1. Geología regional	9
II.2.- Evolución tectónica	12
II.3. Litología	16
II.3.1.- Cubierta Mesozoica	16
II.3.1.1.-Formación Mezcalera (Kapa Cz-Lu)	16
II.3.2.-Depósitos terciarios	17
II.3.2.1.- Rocas volcánicas andesíticas (Tpae TA-A)	17
II.3.2.2.- Formación Ahuichila (Tpae Cgp)	18
II.3.2.3.- Rocas volcánicas riolíticas (To Ig-TR)	20
II.3.2.4.- Formación Santa Inés (Tm Cgp)	22
II.3.3.- Rocas Subvolcánicas hipabisales	23
II.3.3.1.- Pórfido riolítico (Te PR)	23
II.3.3.2.- Pórfido andesítico (Te PA)	24
II.3.4.- Depósitos continentales cuaternarios	25
II.3.4.1.- Conglomerado polimíctico (Qpt Cgp)	25
II.3.4.2.- Aluvión (Qho al)	26
II.4. Estructuras	28
III. PRESENTACIÓN DE LOS DATOS ANALÍTICOS Y ESTUDIO ESTADÍSTICO	31
III.1. Geología local	31
III.1.1. Mapeo Geológico de detalle	31
III.1.2. Vetas	31
III.2.- Geocronología	33
III.2.1.- Pórfido riolítico El Refugio	33
III.2.2.- Pórfido Andesítico El Refugio	34
III.3.- Mineragrafía	35
III.4.- Difracción de Rayos X	36
III.5.- Inclusiones fluidas	36
III.6.- Geoquímica	37
III.7. Análisis estadístico de datos geoquímicos	39
III.7.1. Estadística univariable	39
III.7.1.1.- Estadística básica	39
III.7.2.- Estadística multivariable	41
III.7.2.1.- Análisis de correlación múltiple	41
III.7.2.2.- Interpretación del análisis de factores rotados	44
III.7.2.3.- Distribución espacial de factores rotados	47
III.7.2.3.1.- Distribución espacial del factor 1	48

III.7.2.3.2.- Distribución espacial de factor 2	49
III.7.2.3.3.- Distribución espacial del factor 3	50
III.7.2.3.4.- Distribución espacial del factor 4	51
III.7.2.3.5.- Distribución espacial del factor 5	52
III.7.3.- Análisis de Población de elementos de interés	53
III.7.3.1.- Distribución de frecuencia y poblaciones	53
III.7.3.2.- Gráficos de distribución de frecuencia	53
III.7.3.2.1.- Distribución del As	53
III.7.3.2.2.- Distribución del Sb	54
III.7.3.2.3.- Distribución del Au	56
IV. DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS	57
IV.1.- Distribución espacial	57
IV.1.1.- Distribución del Au	57
IV.1.2.- Distribución del As y Sb	59
IV.2.- Discusión de las secciones de muestreo geoquímico realizado en terreno	61
IV.3.- Geocronología	67
IV.4.- Inclusiones fluidas	72
IV.5.- Clasificación de la mineralización	74
VI. CONCLUSIONES	78
VII. REFERENCIAS	80
ANEXOS	87
Anexo A en sobre adjunto	
A1.- Planos Geológico estructural a escala 1:20.000	
A2.- Plano Geológico estructural de detalle a escala 1:2.000	
Anexo B.	
Procedimientos de dataciones geocronológicas para circones en U-Pb	
Anexo C	
Procedimiento para Realizar el Estudio Mineragráfico	
Procedimiento para Realizar Estudios Petrográficos	
Anexo D	
Procedimiento para Determinar Especies Minerales Cristalinas por Difracción de Rayos X (Método de Polvos)	
Anexo E	
Procedimiento para Determinar la Temperatura mínima de Formación de los Yacimientos Hidrotermales.	
Anexo F	
Procedimiento para cuantificar soluciones de esquirlas en espectrómetro de (ICP óptico -Duo) Mca.Thermo-Scientific, mod. iCAP 6500.	
Procedimiento para Preparación de Muestras de Esquirlas incluyendo el oro libre	
Conceptos básicos de estadística	
Anexo G en CD adjunto	
(Archivos en PDF)	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura I.1.- Imagen de satélite (http://earth.google.com/), localización del área El Refugio y de las principales minas relacionadas al sistema de fallas San Luis-Tepehuanes marcada en línea azul. Modificado de Nieto et al. (2005).	2
Figura I.2.- Vetas de cuarzo con estructura bandeada, localidad área El Refugio.	4
Figura I.3.- Ubicación del área de estudio	5
Figura I.4.- Accesos y vías de comunicación con las comunidades más importantes que conectan el área de trabajo El Refugio.	6
Figura II.1.- <i>Ammonites</i> en fragmento de caliza, localidad Tres Hermanos, tomada en este trabajo.	10
Figura II.2.- Franjas metalogenéticas de plata y oro-plata del estado de Durango y Zacatecas mostrando las minas más importantes de la región, modificado de Davila et al. (2010).	12
Figura II.3.- Mapa tectónico de la parte central de la Sierra Madre Occidental con indicación de la orientación y edad de la deformación extensional. Tomado de Ferrari et al. (2005).	15
Figura II.4.- Secuencia de calizas y lutitas con intenso plegamiento recumbente de la Formación Mezcalera.	17
Figura II.5.- Pseudoestratificación en tobas andesíticas localidad Tres Hermanos.	18
Figura II.6 - Afloramiento de conglomerado rojo calcáreo de la Formación Ahuichila.	20
Figura II.7.- Tobas riolíticas descansando discordantemente sobre conglomerados de la Formación Ahuichila.	21
Figura II.8.- Panorámica del semigraben de Rodeo con los depósitos continentales de la Formación Santa Inés rellenando la fosa.	22
Figura II.9.- Pórfido riolítico intruyendo a conglomerado polimíctico de la Formación Ahuichila, cerro El Embudo, localidad El Refugio.	24
Figura II.10.- Pórfido Andesítico color verde afectando a secuencia sedimentaria caliza-lutita de la formación Mezcalera.	25
Figura II.11.- Plano geológico estructural según información obtenida en este trabajo, el mapa a escala 1:20 000 se puede ver en el Anexo A1 y G en CD	27
Figura II.12.- Plano Estructural regional que muestra en línea verde el Sistema de fallas San Luis-Tepehuanes, modificado de Nieto et al. (2005), la línea gris representa la provincia fisiográfica de la Mesa central de México.	28
Figura II.13.- Panorámica del área de estudio viendo al noreste de la porción centro del área El Refugio, donde se aprecia el sistema de fallas normales que dan origen al semi-graben Rodeo.	29

Figura II.14.- Imagen de Satélite Quickbird con información estructural del área El Refugio.	30
Figura III.1 Plano geológico estructural a detalle del área de estudio El Refugio.	32
Figura III.2.- Izquierda fotografía A veta de calcita y cuarzo con estructura bandeada; derecha fotografía B detalle de veta, las bandas de cuarzo reemplazando a veta de calcita.	33
Figura III.3.- Datos U-Pb de circones obtenidos por la técnica LA-ICPMS de la muestra del cuerpo subvolcánico pórfido riolítico de la muestra ERDA-01 (A) Grafico de concordia tipo Tera-Wasserburg con todos los datos y (B) grafico de edad $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ media ponderada de la muestra ERDA-01.	34
Figura III.4.- Datos U-Pb de circones obtenidos por la técnica LA-ICPMS de la muestra del cuerpo subvolcánico pórfido Andesítico de la muestra ERDA-02 (A) Grafico de concordia tipo Tera-Wasserburg con todos los datos y (B) grafico de edad $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ media ponderada de la muestra ERDA-02.	35
Figura III.5.- Mapa que muestra la distribución de las diferentes muestras tomadas en el área El Refugio, inclusiones fluidas, minerografía, difracción de rayos X, geoquímica y cronología.	38
Figura III.6.- Ploteo del factor 1 (Co, Ni, Sc, Cu, Mn, P y Fe) en que los elemento asociados a este tienen relación geológica con estructuras vetiformes, pero no generan anomalía de importancia económica.	48
Figura III.7.- Ploteo del factor 2 (Ca, Sr, Mo y Ti) en que los elemento asociados a este tienen relación geológica con los cuerpos hipabisales de composición riolítica y con estructuras vetiformes, pero son considerados dentro del contenido litológico local.	49
Figura III.8- Ploteo del factor 3 (Al, Na, K, Ba, Sc, Mg y Zn), en que los elementos asociados a este, tiene su mayor relación geológica con la litología local y menos con estructuras vetiformes.	50
Figura III.9- Ploteo del factor 4 (As y Sb) en que los elemento asociados a este tienen su mayor relación geológica a cuerpos subvolcánicos riolíticos y la litología local, poco con estructuras vetiformes, posiblemente asociado al Au.	51
Figura III.10.- Ploteo del factor 5 (Au y Ba) en que el elemento Au presenta una asociación muy importante con las vetas con la litología local y con estructuras vetiformes y rocas subvolcánicas.	52
Figura III.11- Distribución del As, mostrando del lado izquierdo los gráficos normales y del lado derecho log-normales.	54
Figura III.12.- Distribución del Sb, mostrando del lado izquierdo los gráficos normales y del lado derecho log-normales.	55
Figura III.13.- Distribución del Au, mostrando del lado izquierdo los gráficos normales y del lado derecho log-normales	56
Figura IV.1.- Dispersión del Au, en amarillo y en azul se representan los valores más altos por arriba del <i>background</i> local, (0,24 ppm).	59

- Figura IV.2.- Dispersión del As del amarillo al verde se representan los valores más altos por arriba del *background* local, (71,5 ppm). 60
- Figura IV.3.- Dispersión del Sb del amarillo al verde se representan los valores más altos por arriba del *background* local, (8,92 ppm). 61
- Figura IV.4.- Distribución de las 9 secciones realizadas en terreno, 8 de ellas (A-H) realizadas E-W, más la I, orientada NE-SW 62
- Figura IV.5.- Representación gráfica de las secciones realizados en terreno, mostrando los perfiles de la dispersión que guardan los datos reales y su relación en el contexto geológico al que pertenecen las áreas donde se manifiestan los valores de Au, As y Sb. 62 a 64
- Figura IV.6.- Localización del muestreo con valores de Au y Ag realizado por personal del Servicio Geológico Mexicano, Gomez (2011). 67
- Figura IV.7- Arriba: distribución de los depósitos epitermales en México, con sus edades correspondientes conocidas por fechamientos de las mineralizaciones o bien por relaciones geológicas con rocas fechadas. Abajo: Distribución histórica de las edades de mineralización de los depósitos epitermales en México, indicando los tres rangos de edad preferenciales (Camprubí *et al.*, 2003b). Modificado de Camprubí *et al.* (2006). 70
- Figura IV.8.- Imagen satelital (<http://earth.google.com/>), sobrepuesto mapa tectónico modificado de Ferrari *et al.* (2005), con la ubicación de los sitios donde se colectaron muestras datadas por diferentes métodos pero principalmente K-Ar, distribuidas en la cercanía del área de estudio, en verde las realizadas en este trabajo por U-Pb en circones. 71
- Figura IV.9 .- Rangos genéricos de temperatura y salinidad de tipología escogidas de depósitos minerales. Adaptado de Wilkinson (2001). Los triángulos en rojo es la ubicación del muestreo realizado en el área El Refugio. 73
- Figura IV.10.- A detalle de bandas de cuarzo con oquedades de las vetas del área El Refugio, B calcita hojosa, estas estructuras son indicadores de procesos de ebullición en sistemas epitermales. 74
- Figura IV.11- Modelo Conceptual simplificado de ambientes hidrotermales y la relación entre depósitos epitermales, intrusiones magmáticas, circulación de fluidos, rocas volcánicas y basamento, AS alta sulfuración y BS baja sulfuración (modificado de Simmons *et al.*, 2005). Se destaca con una elipse azul el ambiente y profundidad relativa de propuesta para las vetas existentes en el área de estudio. 76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla (III.1)	Párametros estadísticos básicos, en base aritmetica normal; Valores en ppm	39
Tabla (III.2)	Parámetros estadísticos; Valores en ppm.	40
Tabla (III.3)	promedio de la abundancia (o rango) de determinados elementos menores y traza en la corteza terrestre en diferentes rocas y suelo (Todos los valores en ppm, modificado de Levinson (1980).	41
Tabla III.4.-	Matriz de correlación de Pearson (n), para 21 variables con la totalidad de las muestras, destacando en diferentes colores los principales coeficientes de correlación.	42
Tabla (III.5).-	Resultado de la correlación múltiple.	43
Tabla (III.6).-	Resultados de la correlación múltiple para el Au	44
Tabla (III.7).-	Cargas factoriales	46
Tabla (III.8).-	Correlación de factores	46

I.- INTRODUCCIÓN

En el mundo la exploración de yacimientos epitermales de metales preciosos representan una proporción importante de la producción de oro y plata mundial, yacimientos que, si bien existen y se han explotado en México, con un desarrollo importante en el país. Sustentado a la existencia de ambientes geológicos en los que ocurren estos yacimientos en México, indican excelentes condiciones, la exploración de estos tiene aun mucho campo abierto. En este trabajo se presentan los resultados de un estudio geológico y geoquímico orientado a la exploración de yacimientos epitermales en la Región de Rodeo Durango.

El descubrimiento, desarrollo y la explotación de la riqueza minera de México, tiene una larga historia, la cual se resume en las siguientes épocas (1) Pre-Colonial (pre-1521); (2) Colonial (1521-1821); (3) Post-Colonial (1821-1911), incluyendo la era de Porfirio Díaz, era de inversión extranjera (1876-1911); (4) Post-Revolución, con participación extranjera adicional (1917-1961); (5) Mexicanización de la industria minera, con el cese de la inversión extranjera (1961-1992); y (6) Post-Mexicanización a partir de 1992 en adelante con la reanudación de la inversión extranjera, especialmente por compañías canadienses y americanas (Clark y Fitch, 2009).

En la historia colonial, según Bernstein (1964), la cantidad de oro y plata extraídos por los españoles en México nunca será conocida con certeza, debido a que no existen registros de esta. La minería y las actividades a ella relacionadas se deterioraron, cuando los españoles fueron expulsados o impedidos de continuar con esta actividad, lo que ocasionó así la escasez de capital y deterioro de la minería.

En el área El Refugio existen evidencias de alteración hidrotermal representada por propilítica, argílica y fílica e indicios de mineralización del orden de 0,3 a 0,6 g/t Au Lemus *et al.* (2008) en vetas de cuarzo de rumbo NW-SE y N-S principalmente. El área de estudio se ubica en la franjas conocidas de plata oro (Dávila *et al.*, 2010), situados alrededor del margen Circum-Pacífico, asociados al hidrotermalismo tardío de los sistemas volcánicos desde el Terciario (White *et al.*, 1995). Los depósitos epitermales típicamente están asociados a sistemas de subducción activos en diferentes épocas geológicas (Silberman *et al.*, 1976; Sillitoe, 1977), ambiente geológico que correspondería al presente en la región de estudio. En la actualidad en el estado de Durango se están explorando y explotando una gran cantidad de yacimientos minerales de tipo epitermal, dentro de los que destacan: Tayoltita, Topia, Canelas, Bacis, Indé, Guanaceví, El Castillo y Coneto de Comonfort (Fig. 1.1); entre otros. Estos yacimientos muestran una estrecha relación espacial a cuerpos subvolcánicos de tipo riolítico y son conocidos desde la época prehispánica. Fueron explotados desde la llegada de los españoles

al estado de Durango, siendo importante su producción de oro y plata. En épocas más recientes se han explotado los metales base (plomo, zinc y cobre) asociados a los metales preciosos.



Figura I.1.- Imagen de satélite (<http://earth.google.com/>), localización del área El Refugio y de las principales minas relacionadas al sistema de fallas San Luis-Tepehuanes marcada en línea azul. Modificado de Nieto et al. (2005).

Actualmente y debido principalmente al aumento de los precios del oro y la plata a nivel mundial, se ha hecho atractivo el reinicio de trabajos de exploración, estudios que buscan localizar nuevos yacimientos, en particular de los que existen pocas evidencias superficiales esto apoyando en técnicas de exploración, como son la geofísica, geoquímica e imágenes de satélite.

En base a lo expuesto anteriormente, se propuso realizar el trabajo de tesis sobre el área **El Refugio**, lugar donde existirán posibilidades de localizar, blancos de exploración por yacimientos del tipo epitermal de baja a intermedia sulfuración Sillitoe (1977).

I.1.- Exposición del problema

En la región de Rodeo Durango, específicamente el área denominada El Refugio, asignación que pertenece al Servicio Geológico Mexicano, existen evidencias históricas de

mineralización aurífera-argentífera del tipo epitermal. Esta área de estudio es sometida a evaluación, explotación este trabajo en virtud de los intereses nacionales por un potenciamiento de la minería en México.

La finalidad de este estudio de exploración a detalle en superficie es para determinar (con observaciones de campo y estudios de geoquímica y mineralogía) la existencia de condiciones geológicas favorables para localizar posibles depósitos minerales de tipo epitermal con mineralización aurífera.

Esta exploración se determino realizar con la información obtenida en trabajos previos Lemus *et al.* (2008) , donde se detectaron estructuras mineralizadas tipo veta (cuarzo-calcita) con algunos valores del orden de 0,3 a 0,6 g/t de oro, hospedadas en rocas sedimentarias del Cretácico Inferior, así como en rocas volcánicas y sedimentarias continentales del Paleógeno.

También se considera importante determinar la edad de las intrusiones hipabisales en la región, las que pudieran estar relacionadas con zonas mineralizadas a escala regional con características similares (Indé – La Pitarrilla – Coneto de Comonford - La Ciénega – Guanaceví - Bacis – Velardeña - Sombrerete – Zacatecas Camprubí y Albinson 2006, Dávila *et al.* 2010).

I.2- OBJETIVOS

I.2.1 - Objetivo general

El objetivo general del presente trabajo es la realización de estudios geológicos del área El Refugio para efectos de la determinación del potencial exploratorio o minero, en particular orientado a la búsqueda de ambientes hidrotermales del tipo epitermales de metales preciosos. Los trabajos incluyen mapeo geológico regional (1:20.000) y en base a la selección de áreas de potencial interés, la realización de estudios de detalle en los sectores particulares (1:2.000). Estos estudios incluyen geología, caracterización mineral (petrografía, mineragrafía y difracción de rayos X), inclusiones fluidas y cronología.

I.2.2.- Objetivos específicos

a).- Realización de estudios geológicos específicos a escala 1:2.000 de sectores que evidencian alteración hidrotermal, dentro del área El Refugio.

b).- Elaboración de estudios geocronológicos orientados a determinar la edad de dos complejos subvolcánicos, esto mediante dataciones radiométricas U-Pb en circones. Estos intrusivos se plantean posiblemente asociados genéticamente a mineralización epitermal.

c).- Obtención de estudios geoquímicos orientativos de rocas y vetas identificadas en 9 perfiles de la zona alterada (escala 1:2.000), esto para establecer distribuciones geoquímicas y detectar posibles zonas de interés exploratorio.

d).- Ejecución de estudios de inclusiones fluidas en muestras seleccionadas del sistema de vetas para determinar temperaturas y salinidades de formación de fluidos hidrotermales.

e).- Realización de estudios mineragráficos y difracción de rayos X, en muestras seleccionadas de vetas, esto para caracterización de alteración y mineralización de los sectores específicos.

I.3.- Hipótesis de trabajo

Este trabajo se lleva a cabo bajo la hipótesis de que la zona de El Refugio puede tener un interés económico de exploración para el Servicio Geológico Mexicano y empresas privadas o particulares, por la presencia e indicios de alteración hidrotermal (argílica y fílica con silicificación), propia de ambientes del tipo epitermal de metales preciosos. Este se fundamenta en la existencia de evidencias de mineralización encontradas en el campo, las que corresponden principalmente a vetas de rumbo NW-SE, NE-SW y NS (Fig. I.2).



Figura I.2.- Vetas de cuarzo con estructura bandeada, localidad área El Refugio.

La hipótesis de trabajo se basa en evidencia que indica existencia de mineralización Au-Ag del tipo epitermal en la región; ésta en una faja regional de yacimientos epitermales polimetálicos en explotación y exploración. En esta se encuentran depósitos tales como Guanaceví, El Castillo, Inde, La Pitarrilla y Coneto de Comonfort, entre otros (Fig. I.1) que ubican entre 30 km y 100 km de El Refugio, en un ambiente geológico muy similar al encontrado en el área de estudio Dávila *et al.* (2010).

I.4.- Ubicación y acceso.

El área de estudio se localiza en el flanco oriental de las montañas de la Sierra Madre Occidental, muy cerca del borde con la Mesa Central y dentro de la prolífica Faja de Mineralización de Plata de México (Fig. II.6) (Dávila *et al.* 2010).

Localmente se ubica en la porción centro-norte del estado de Durango dentro de terrenos de la jurisdicción de los municipios de Rodeo e Indé, y a 150 km al norte en línea recta de la ciudad de Durango. Se encuentra limitada por las coordenadas geográficas 25° 20' a 25° 30' de latitud norte, y 104° 34' 20" a 104° 40' de longitud oeste (Fig. I.3).

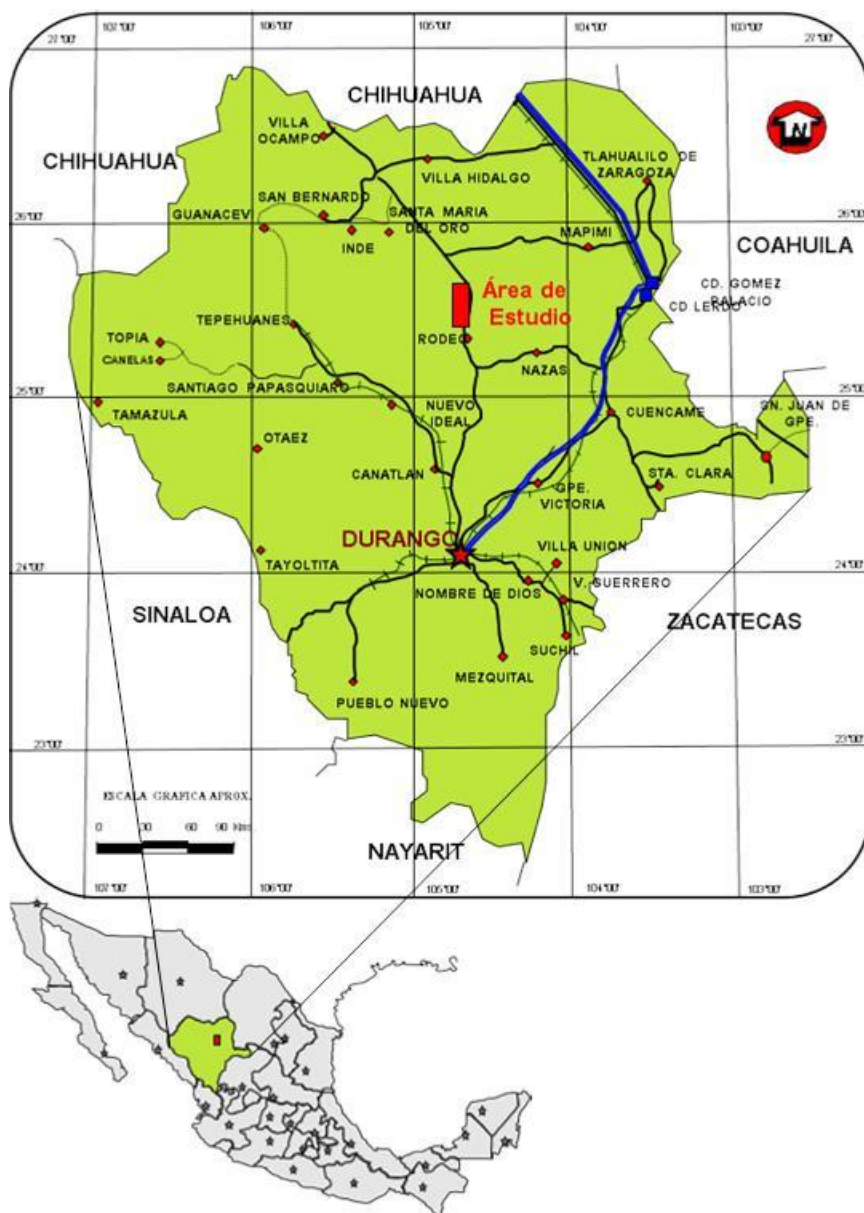


Figura I.3.- Ubicación del área de estudio.

El acceso principal es a partir de la ciudad de Durango y se realiza por la Autopista No. 40D Durango-Torreón, hasta la caseta de peaje Cuencamé o por la carretera federal No. 40 recorriendo una distancia aproximada de 142 km, hasta la misma caseta (Fig. I.4). De este lugar se continua por la carretera estatal No. 34 con dirección poniente pasando por los poblados de Pedriceña, Paso Nacional y Nazas de donde se sigue en dirección hacia Rodeo, hasta llegar al entronque con la carretera Panamericana No. 45, siguiendo al norte hasta el poblado de Rodeo.

Otro acceso es por la carretera Panamericana No. 45 en su tramo Durango-Parral, pasando por los poblados de Morcillo, Juan B. Ceballos, J. Guadalupe Aguilera, Donato Guerra, José María Patoni, Francisco Primo de Verdad, Leandro Valle, Hidalgo de San Antonio, Rodeo y Alamillo de Galeana con un recorrido de 150 km. (Fig. I.4).

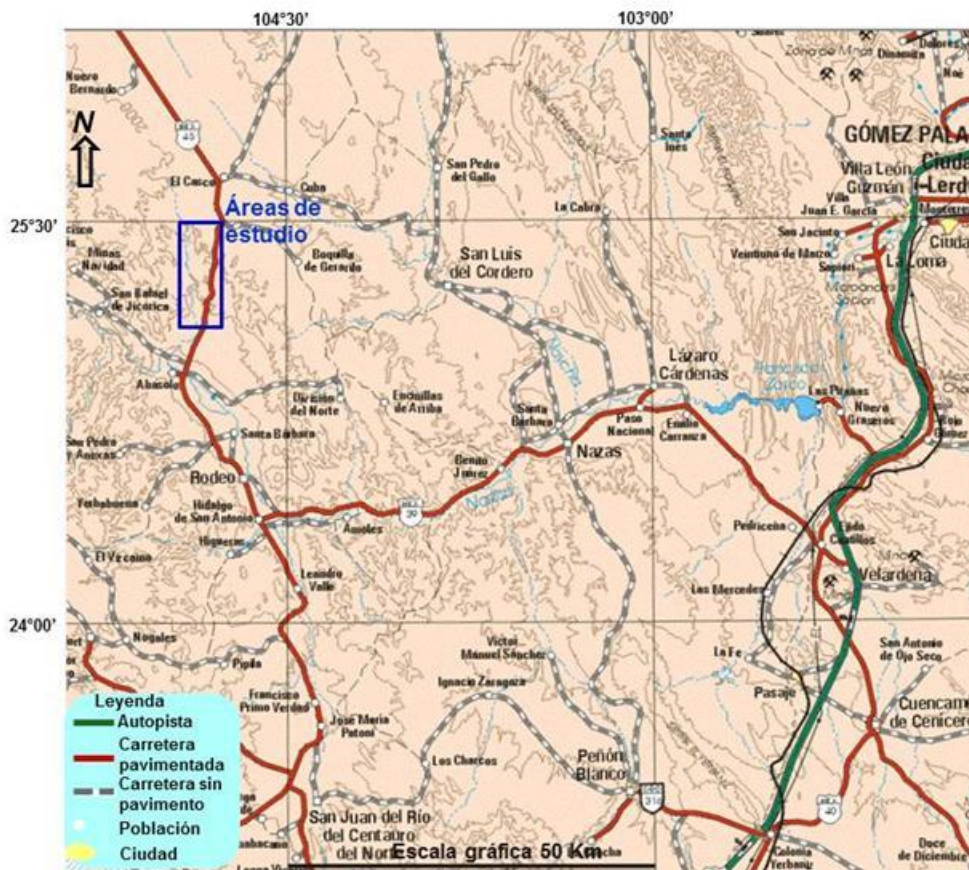


Figura I.4.- Accesos y vías de comunicación con las comunidades más importantes que conectan el área de trabajo El Refugio.

Por esta misma ruta se sigue hasta la comunidad de Alamillo de Galeana; de donde se continúa por una terracería de aproximadamente 5 km para llegar al área de trabajo.

I.5.- Metodología de trabajo

I.5.1.- Estudios Bibliográficos

El trabajo de terreno (campo) fue precedido de una investigación de los trabajos geológicos ya realizados por otras empresas, instituciones (universidades, institutos etc), de modo de conocer los fundamentos geológicos ya establecidos del área. La primera etapa de trabajo fue la integración y análisis de la información biblio-cartográfica geológico-minera, que incluye informes técnicos, artículos de investigación científica relacionados al tema, mapas geológicos, imágenes de satélite, fotografías aéreas, planos aeromagnéticos. Se compiló información de diferentes litologías, estructuras (fallas, lineamientos, plegamientos), alteraciones y se identificaron zonas estratégicas donde se realizarán secciones o recorridos para mejorar el mapeo interpretado.

I.5.2.- Estrategia de terreno

En campo se elaboró un mapeo geológico regional escala 1:20.000 y después una etapa donde se buscaron zonas específicas con indicios de alteración y mineralización. Para ese caso, se realizó un mapeo geológico con mayor detalle (escala 1: 2.000) y marcando todo lo relacionado a la búsqueda de una zona de interés económico importante en base a las estructuras mineralizadas (vetas) y a las alteraciones hidrotermales presentes en la zona.

Con la información compilada en los trabajos de cartografía geológica, se procedió a la interpretación y evolución de los ambientes geológicos, estructuras, alteración hidrotermal y posible génesis de mineralización, esto apoyado con los resultados obtenidos a partir de inclusiones fluidas, geocronología, geoquímica y mineralogía. Se pretende determinar aquellos ambientes geológicos más propicios para mineralización de Au-Ag.

I.5.3.- Metodología en la toma de muestras

Las actividades de campo se realizaron en un lapso de 4 meses, que incluyó geología y muestreo para diferentes estudios.

- i).- Muestras de esquirlas para análisis geoquímico.
- ii).- Muestras para estudio de inclusiones fluidas.
- iii).- Muestras para estudio de minerografía y petrografía.
- iv).- Muestras para estudio de difracción de rayos X.

v).- Muestras para estudio geocronológico (U/Pb).

Para la toma de muestras se siguieron los siguientes pasos:

Se realizaron nueve secciones geológicas de rumbo este-oeste, de 300 a 500 m de longitud, con separación entre 100 y 200 m donde se colectaron diferentes tipos de muestras; 434 de esquirlas de roca y vetas, 6 para inclusiones fluidas, 10 petrográficas, 5 minerográficas, 14 para análisis de difracción de rayos X y 2 para dataciones radiométricas U-Pb. Estas secciones se usaron de base en el mapeo de las unidades litológicas, estructuras (fallas y vetas) y alteraciones hidrotermales.

La recolección de muestras de esquirlas de rocas para geoquímica se llevó a cabo a lo largo de 9 secciones, 8 con dirección este-oeste y 1 de dirección noreste-suroeste separadas a 10 m y en aquellas zonas consideradas de mayor interés, Las muestras son a cada 5 m. Juntando las muestras son de aproximadamente 4 a 5 kg, en un diámetro de 2 m.

En el mismo lugar de la recolección de la muestra se realizó un cuarteo cuantas veces fue necesario, hasta quedar aproximadamente con 1.0 Kg de la misma, la cual fue enviada al laboratorio en bolsa de plástico debidamente identificada para su análisis respectivo. El protocolo de preparación de las muestras que utiliza el laboratorio para su análisis químico de esquirlas es indicado en el anexo (B).

El análisis de las muestras es por 31 elementos Aluminio (Al), Antimonio (Sb), Arsénico (As), Bario (Ba), Berilio (Be), Bismuto (Bi), Cadmio (Cd), Calcio (Ca), Cobalto (Co), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Escandio (Sc), Estaño (Sn), Estroncio (Sr), Fierro (Fe), Fósforo (P), Magnesio (Mg), Manganeso (Mn), Molibdeno (Mo), Níquel (Ni), Plata (Ag), Plomo (Pb), Potasio (K), Selenio (Se), Sodio (Na), Talio (Tl), Teluro (Te), Tungsteno (W), Uranio (U), Vanadio (V) y Zinc (Zn) más Au, para detectar anomalías geoquímicas que puedan indicar la ocurrencia de concentraciones de metales más importantes del área.

Se complementaron los estudios con 10 muestras petrográficas, para conocer con mayor precisión el tipo de roca y los minerales que la constituyen, 5 minerográficas, para identificar los diferentes minerales observables con microscopio en las vetas y determinar su paragénesis de acuerdo al ambiente de formación de estos minerales; 14 muestras para difracción de rayos X, estudio que permitió determinar los minerales arcillosos de alteración y con esto definir qué tipos de alteraciones hidrotermales se presentan en el área de estudio.

Sobre la base de estudios de inclusiones fluidas en 6 muestras, se determinó las características y posible origen de los fluidos hidrotermales involucrados.

En forma adicional se realizan dos dataciones radiométricas U/Pb en circones para determinar la edad de las unidades litológicas posiblemente asociadas con la mineralización en la zona y correlacionarla temporalmente con otros depósitos de la región.

II. ANTECEDENTES GEOLÓGICOS

II.1. Geología regional.

Las rocas más antiguas presentes en el área estudiada son del Cretácico Inferior y corresponden a la Formación Mezcalera. Inicialmente esta unidad fue propuesta como Grupo Mezcalera en informes elaborados por FYPSA (1979) y está compuesta de una secuencia de calizas, margas, lutitas, limolitas y areniscas. Este grupo se subdividía en 15 unidades litológicas, que afloran en el arroyo La Mezcalera en el Valle de Zaragoza, Chihuahua.

Esta misma compañía FYPSA (1980) la simplificó a 9 unidades. En otro informe para Petróleos Mexicanos (Servicios Geológicos, S.A., 1982, en Córdoba y Silva 1989) la reduce a 7. Posteriormente Araujo *et al.* (1986), propusieron el cambio de rango de la unidad de Grupo Mezcalera a Formación Mezcalera, argumentando que la litología presenta cierta homogeneidad, con secuencia estratigráfica y aporte de sedimentos continuos, sus espesores son muy variados dependiendo de la localidad (156-1376 m).

De acuerdo con Araujo *et al.* (1986), entre la fauna fósil que se reconoce en varias localidades del estado de Chihuahua (sección Río Conchos, arroyo Carrasco, arroyo Talamantes), se ha registrado la presencia de macro- y microfósiles destacando la presencia de amonites. De acuerdo a estos fósiles le asignan una edad del Neocomiano al Turoniano (Fig. II.1).

Garduño *et al.* (1983) realizaron un estudio tectónico-estructural de Durango-Zacatecas. En este definieron al suroeste de San Francisco de Asís una secuencia de areniscas y lutitas de la Formación Mezcalera, la cual en base a microfauna, asignaron una edad del Aptiano superior al Albiano superior.

Otra unidad presente es la Formación Ahuichila. Ésta fue definida de manera informal por (Kellum 1932), en el cañón de Ahuichila (límite de los estados de Durango, Coahuila y Zacatecas), siendo dividida en dos miembros: el miembro inferior de 30 m de espesor, constituido por material tobáceo y arenisca poco consolidadas, interestratificadas con capas delgadas de yeso; el miembro superior de 275 m de espesor, constituido por un conglomerado bien cementado con clastos de caliza, pedernal y rocas volcánicas, subredondeados de 2 a 25 cm de diámetro. Posteriormente esta unidad fue descrita formalmente por Rogers *et al.* (1961).

Ellos definieron esta unidad teniendo su localidad tipo en el flanco sur de la sierra de Jimulco, al sur de Torreón, Coahuila; lo describen como un conglomerado color rojizo calcáreo, con clastos de caliza subredondeados a subangulosos de 1 a 20 cm de diámetro, de poco a regularmente consolidado, en una matriz de carbonatos. Su estructura principalmente es masiva y en ocasiones se presenta en estratos poco definidos de 20 a 40 cm de espesor. Roldán-Quintana (1968) la describe dentro de la región, en la localidad de Peñón Blanco, como un depósito de arenisca tobácea en la base, brecha fina y arenisca en la parte media y brecha masiva en la cima. Este depósito tiene estratificación incipiente y está compuesto por fragmentos angulosos a subredondeados de caliza con pedernal, lutita y arenisca, con matriz de limo con cementante calcáreo. La potencia varía entre 50 y 250 m y se infiere una edad posterior al Cretácico Superior, entre el Eoceno y el Oligoceno. Esta unidad es interpretada como un depósito tipo molasa que se acumuló después del periodo de intenso plegamiento Laramídico y de erosión (de Cserna, 1956).



Figura II.1.- Ammonites en fragmento de caliza, localidad Tres Hermanos, tomada en este trabajo.

Las pulsaciones magmáticas están reflejadas por dos eventos volcánicos importantes. El primero fue estudiado por Fredickson (1974), quien definió informalmente a rocas volcánicas de la Sierra Madre Occidental como "Complejo Volcánico Inferior", incluyendo andesitas, tobas y brechas de composición andesítica, con sus variantes transicionales como dacitas y

traquiandesitas que fueron depositadas desde finales del Cretácico y durante el Eoceno (de Cserna y Kent 1961). Posteriormente fue definida como la Secuencia Volcánica Inferior por Mc Dowell y Keiser (1977). Damon *et al.*, (1981) realizaron dataciones en rocas de esta unidad determinando edades del Paleoceno-Eoceno.

El segundo evento representa mayor distribución en la región con potencias mayores a 800 m, en una secuencia continua con predominancia de tobas riolíticas y riolitas (Roesler *et al.*, 1994). El ambiente se relaciona al evento de volcanismo Oligocénico de 29.5 ± 0.6 y 32.2 ± 0.7 Ma determinado por Aguirre y McDowell (1991 y 1993) y Luhr *et al.* (2001) con 32.3 ± 0.09 y 30.6 ± 0.09 Ma de mayor importancia en el noroeste de México donde se generaron derrames y material explosivo asociado al desarrollo de un arco magmático continental, todo esto como resultado de la tectónica convergente que ha afectado la región (Mc Dowell y Clabaugh 1979).

En Nazas, Aguirre y McDowell (1991 y 1993) reconocieron dos paquetes ignimbríticos del Oligoceno que alcanzan un espesor conjunto de ~500 m, y para los cuales obtuvieron edades en minerales de plagioclasa y feldespato por el método K-Ar de 29.5 ± 0.6 y 32.2 ± 0.7 Ma, respectivamente. Dataciones geocronológicas realizadas por Luhr *et al.* (2001) por el método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en el área adyacente de Rodeo han reportado edades similares en sanidina de 32.3 ± 0.09 y 30.6 ± 0.09 Ma.

La unidad más joven presente en la zona corresponde a la Formación Santa Inés descrita por Pantoja (1963) quien propone el nombre formacional para rocas clásticas en la localidad tipo del pequeño poblado de Santa Inés, ubicado en la parte sureste de San Pedro del Gallo. Estas rocas cubren discordantemente a las formaciones mesozoicas y terciarias más antiguas.

Estructuralmente el área de estudio se encuentra en la franja denominada como zona de fallas San Luis – Tepehuanes, denominada así por Nieto *et al.* (2005) y dentro del Semi-graben de Rodeo (Ferrari *et al.*, 2005).

Desde el punto de vista de yacimientos minerales la zona de estudio corresponde a una franja que regionalmente es conocida como Faja de Plata (Fig. II.2).

Las rocas huéspedes que alojan las vetas del área de estudio son secuencia sedimentaria calizas, areniscas, lutitas del Cretácico Inferior, andesita y tobas andesíticas, de edades Paleoceno-Eoceno, relacionadas a la secuencia volcánica inferior de la Sierra Madre Occidental (Damon *et al.*, 1981), seguido por conglomerado polimíctico los cuales descansan sobre un basamento de rocas sedimentarias del Cretácico, muy similar a la geología que presentan los yacimientos descubiertos recientemente en Coneto por Orex Mineral Inc. al sur, La Pitarrilla por Silver Standard al noroeste y La Preciosa por Orko Silver al sur.



Figura II.2.- Franjas metalogenéticas de plata y oro-plata del estado de Durango y Zacatecas mostrando las minas más importantes de la región, modificado de Davila et al. (2010).

II.2.- Evolución tectónica

Al principio del Mesozoico, el margen oriental de México estuvo sujeto a un período distensivo que generó grandes fallas de desplazamiento lateral sinestral. Para el Triásico Superior, comenzó la subducción de la placa de Kula, debajo de la placa de Norte América, lo que originó un arco volcánico submarino, el cual adoptó una posición semi-paralela al margen del Pacífico; simultáneo a este evento comenzó la apertura del Golfo de México, causando la transgresión marina que favoreció la formación de la Cuenca Mesozoica del centro de México (Araujo *et al.*, 1986).

En el Cretácico Inferior, durante el intervalo Neocomiano-Aptiano, la transgresión marina continuó y simultáneamente la cuenca del centro de México siguió en subsidencia. El fallamiento en bloques continúa en dirección este-noreste, generando ambientes de mares abiertos relativamente profundos, mientras que la Península de Aldama y la Isla de Coahuila comenzaron a subsidir y a ser cubiertas por el mar (Araujo *et al.*, 1986).

Al occidente de la Cuenca del Centro de México, fue definida localmente, la cuenca Mezcalera, en un ambiente de mar abierto, considerada como una cuenca trasarco. Esta

cuenca se encuentra limitada al noreste por el elemento positivo de la paleopenínsula de Aldama, al este por la isla o península de Coahuila y hacia el occidente por una morfología positiva constituida por un arco volcánico. Araujo *et al.*, (1986) describen a este como el Arco Volcánico Tarahumara, descrito también por Campa y Coney (1983) como terreno Guerrero. Con la subsidencia y fallamiento se originó la acumulación de sedimentos terrígenos provenientes de dicho arco, que constituyeron los estratos basales de la Formación Mezcalera, representados por un conglomerado de clastos gruesos, el cual aflora en el área de San Francisco de Asís, aproximadamente a 20 km al oeste del área El Refugio.

En el intervalo Aptiano-Cenomaniano, hacia la porción noroccidental, centro y nororiental, continuó el aporte de sedimentos principalmente calcáreos con influencia de terrígenos provenientes del Arco Volcánico Tarahumara, representando el miembro calcáreo-arcilloso de la Formación Mezcalera.

La Sierra Madre Occidental es el resultado de diferentes episodios magmáticos y tectónicos durante el Cretácico–Cenozoico, asociado al flujo de magmas generados por la subducción de la Placa Farallón, debajo de la Placa de Norte América, este evento tectónico dio origen a la orogenia Laramide y la apertura del Golfo de California (Ferrari *et al.*, 2005), lo cual originó el emplazamiento de cuerpos intrusivos sobre extensas zonas. Se distinguen varios períodos de intrusión que van de los 130 a los 120 Ma, pero la mayoría fueron entre 90 y 50 Ma (Cretácico Superior al Eoceno).

En el área El Refugio la orogenia Laramide probablemente culminó a finales del Paleoceno, y con ello la deformación de las secuencias sedimentarias del Cretácico, depositadas en la cuenca Mesozoica del centro de México.

Después del evento tectónico larámico, siguió otro distensivo, con lo cual se formaron una serie de fosas y pilares, como consecuencia del reacomodo del basamento. Acompañando a esta etapa de deformación ocurrió una intensa erosión de las rocas sedimentarias. Asimismo, ocurrió un magmatismo de tipo andesítico constituidos por tobas y brechas andesíticas así como de lava andesítica y depósitos continentales de la Formación Ahuichila.

Durante el Eoceno, a la región de estudio ocurrió un relajamiento al cambiar de un régimen largamente compresivo, produciendo derrame de grandes cantidades de lavas andesíticas y riolíticas, acompañadas de depósitos piroclásticos, así como el emplazamiento de cuerpos graníticos, similares al que se localiza a 10 km al oriente del área de estudio (conocido como Tronco de Peras) de a $47,2 \pm 1,1$ Ma datado por K-Ar en plagioclasa (Aguirre y McDowell 1991), ubicándolo en el Eoceno medio, y cuerpos hipabisales de composición félsica que corresponden a pórfidos riolíticos.

La interrupción o disminución abrupta de la actividad magmática en la Sierra Madre Occidental, durante el Eoceno tardío, fue seguida por un período de erosión y depositación, conformando la parte superior de la Formación Ahuichila.

La actividad volcánica de composición ácida se reactivó durante el Oligoceno inferior (28-30 Ma), período durante el cual se produjo la transición de un régimen de subducción a uno de extensión intraplaca, lo cual permitió a los magmas ascender más rápidamente y a niveles más someros en la corteza, produciendo la extrusión de grandes volúmenes de material, que constituyeron potentes secuencias de rocas ignimbríticas (Aguirre y McDowell 1991); esto es interpretado como un reflejo de la migración del arco magmático continental, hacia el oriente, y su posterior regresión hacia el poniente.

La extensión probablemente se inició en el occidente de México alrededor de los 30 a 32 Ma. Dicho régimen extensional coincide con la colisión entre la placa de Norte América y la cordillera del Pacífico oriental.

En este mismo sector, la tectónica extensional ha afectado la Sierra Madre Occidental principalmente en sus bordes. En el borde oriental, en Durango, se han desarrollado fallas normales de alto ángulo que definen estructuras tipo "Basin and Range" del todo similares a las que se encuentran en Chihuahua Dickinson (2002). Aranda-Gómez *et al.* (2005) describen el magmatismo continental de cuencas y sierras Oligoceno tardío-Mioceno del graben de Rodeo y Nazas.

La edad de la deformación extensional en esta región se remonta por lo menos al principio del Oligoceno y se caracteriza por un alargamiento general ENE-WSW. En el área de Nazas, ignimbritas datadas en feldespatos mediante $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ indican una edad de 29.9 ± 1.6 Ma. Estas se encuentran basculadas hasta 35° al NE y son cubiertas por otras tobas horizontales de edad 29.5 ± 0.6 Ma datadas en plagioclasa por $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ (Aguirre y McDowell 1991-1993). En el área de Rodeo, Durango, Luhr *et al.* (2001) reconocen una extensión temprana entre 32.3 y 30.6 Ma que produjo la formación de un semigraben de dirección NNW con un desplazamiento estimado en ~ 3 km. Adicionalmente Aranda-Gómez *et al.* (2003) asocian la erupción de lavas alcalinas de ~ 24 Ma tanto en Nazas como en Rodeo con un segundo episodio extensional en el área (Fig. II.3).

Una segunda etapa de fallamiento sucedió entre los 24 y 20 Ma (Aguirre y McDowell, 1993) y originó basculamientos en las rocas volcánicas del área. A este evento se asocia también el desarrollo de una serie de esfuerzos distensivos y fallas laterales, de orientación general NW-SE, que originaron la formación de cuencas de tipo "pull-apart" (Fosa del Río Nazas).

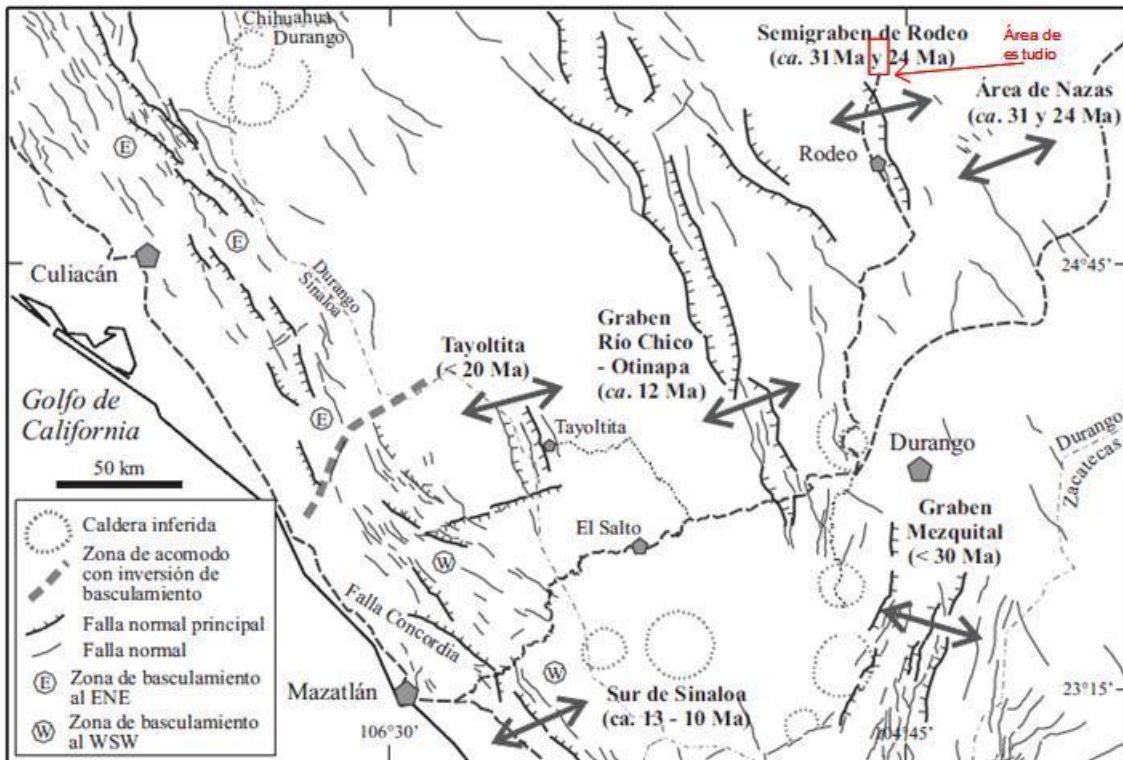


Figura II.3.- Mapa tectónico de la parte central de la Sierra Madre Occidental con indicación de la orientación y edad de la deformación extensiva. Tomado de Ferrari et al. (2005).

En el Mioceno tardío, el movimiento relativo entre la placa de Farallón y la placa de Norte América ha sido asociado con una serie de esfuerzos distensivos, que dieron origen a fallamiento normales de carácter regional, de orientación general NW-SE, relacionados con la apertura del Golfo de California. Este fenómeno reactivó y configuró una serie de fosas y pilares tectónicos con la misma orientación, que dio lugar a la provincia tectónica de cuencas y sierras del NW de México (Coney, 1987). Dichas cuencas fueron rellenadas por conglomerados polimícticos y brechas provenientes de la erosión de las rocas preexistentes. En la localidad de El Rodeo se presenta la formación Santa Inés y depósitos recientes del Cuaternario tales como: conglomerado y aluvión.

II.3. Litología

Plano geológico estructural (Figura II.11; mapa a escala 1:20 000 en el Anexo A1).

El Área de estudio se encuentra dentro del terreno Guerrero, con base en los conceptos estratotectónicos y conjuntos petrotectónicos desarrollados en México por Campa y Coney, (1983-1987).

II.3.1.- Cubierta Mesozoica

II.3.1.1.- Formación Mezcalera **Kapa (Cz-Lu)**

En el área de estudio aflora una secuencia de calizas, areniscas, limolitas y lutitas. Las calizas son de color gris oscuro con intemperización a tonos amarillentos. Tienen textura microcristalina a criptocristalina, están estratificadas en capas de 5 a 30 cm, con vetillas rellenas de calcita. Las areniscas son de color gris oscuro a verdoso con intemperización en tonos amarillentos, con textura clástica de grano fino. La estructura es laminar y en capas de 1 a 10 cm. Está constituida por granos de cuarzo y minerales arcillosos en un cementante calcáreo (Fig. II.11). En algunos afloramientos, esta unidad tiene cambio o variaciones a rocas más arcillosas, la limolita es de color morado e intemperiza en tonos rojizo, con textura clástica, estructura laminar, constituida por cuarzo, minerales arcillosos y óxidos de fierro en un cementante calcáreo. La lutita es de color gris oscuro e intemperiza con tonos amarillentos y parduscos, con textura clástica, estructura laminar fina. Está constituido por minerales arcillosos, óxidos de fierro y cuarzo en un cementante calcáreo (Lemus *et al.*, 2009).

En esta unidad se han identificado tres miembros que muestran una variación litológica. En la porción basal existe un predominio terrígeno con una alternancia de lutita – arenisca, que varía a caliza – limolita en la parte intermedia y hacia la porción superior se tiene cambio de facies a una secuencia de caliza -lutita (Fig. II.4), con esporádicos horizontes de arenisca y limolita; en este trabajo únicamente se pudo identificar el miembro superior.

Por su litología y contenido faunístico de ammonites alcanza una edad del Aptiano inferior- Albiano inferior. En la localidad de Tres Hermanos existen fósiles de ammonites (Figura II.1), lo cual permite confirmar en parte la edad Aptiano-Albiano de esta unidad. Se correlaciona con la Formación La Carbonera, Taraises, Cupido la Peña, Navarrete, Las Vigas, La Virgen, Grupo Aurora, Benavides, Loma de Plata y Ojinaga en el área de Coahuila y Chihuahua (Araujo *et al.*, 1986).

Se interpreta un ambiente de cuenca profunda de baja circulación de las aguas marinas.



Figura II.4.- Secuencia de calizas y lutitas con intenso plegamiento recumbente de la Formación Mezcalera.

II.2.2.- Depósitos terciarios

II.3.2.1.- Rocas volcánicas andesíticas (*Tpae TA-A*)

Esta unidad no ha sido definida formalmente: En el presente trabajo, se han cartografiado rocas volcánicas constituidas de tobas andesítica y andesíticas que subyacen de manera concordante a rocas conglomeráticas de la Formación Ahuichila que a su vez subyacen discordantemente a una toba riolítica y riolita de edad Oligoceno.

Esta unidad está constituida por derrames de andesita, brechas y tobas andesíticas (Fig. II.11). En el área de trabajo afloran tobas andesíticas color gris verdoso a violeta que intemperizan en tonos grises y morados. Estas rocas piroclásticas incluyen algunos cristales de plagioclasa y presentan una estructura con pseudo-estratificación de 0,30 a 1,0 m y con intenso fracturamiento perpendicular a los estratos y vetillas rellenas de calcita (Fig. II.5). En ocasiones se presentan en forma de brecha con fragmentos angulosos de 1 a 10 cm en una matriz

tobácea-arenosa con ceniza. Los derrames se encuentran intercalados y son de color morado a gris oscuro con textura afanítica, estructura fluidal, constituidos por plagioclasas y hornblenda como ferromagnesianos alterados a limonitas.



Figura II.5.- Pseudoestratificación en tobas andesíticas localidad Tres Hermanos.

Estas rocas se distribuyen en el sector noroeste en Tres Hermanos, al norte en El Abra, al centro en El Cerro Gigante, sobre el arroyo La Tajada y en las inmediaciones de la ranchería El Fresnito y Los Potreros. En el campo se observó con un espesor estimado de 50 m.

En esta unidad Mc Dowell y Keiser (1977) realizaron dataciones en una muestra de la Sierra El Registro a 180 km al suroeste del área de estudio se obtuvo una edad K-Ar en plagioclasa de $51,6 \pm 1,3$ Ma, posicionándola en el Eoceno temprano.

Esta unidad se puede correlacionar con la Secuencia Volcánica Inferior (de Cserna y Kent 1961).

Se interpreta un ambiente de formación del tipo continental, asociado a los límites del vulcanismo de la Sierra Madre Occidental.

II.3.2.2.- Formación Ahuichila (***Tpae Cgp***).

Esta unidad fue definida por Rogers *et al.* (1961) teniendo su localidad tipo en el flanco sur de la sierra de Jimulco, al sur de Torreón, Coahuila; lo describe como un conglomerado color rojizo calcáreo, con clastos de caliza subredondeados a subangulosos de 1 a 20 cm de diámetro, de poco a regularmente consolidado, en una matriz de carbonatos (Fig. II.11). La

estructura es principalmente masiva y en ocasiones se presenta en estratos poco definidos de 20 a 40 cm de espesor. Se encuentra sobreyaciendo en forma de discordancia angular con rocas de la Formación Mezcalera y subyace concordantemente con rocas volcánicas de tobas andesítica del Paleoceno-Eoceno. También es cubierta discordantemente por derrames lávicos riolíticos del Oligoceno y conglomerado de la Formación Santa Inés y es afectada por cuerpos riolíticos y andesíticos.

Esta unidad se encuentra distribuida en el sector noroccidental en el tramo del poblado de Alamillo de Galeana a puerto El Casco, en el área El Abra, cerro La Catedral y en las inmediaciones del rancho El Fresnito, El Refugio y en el centro del área de estudio. El espesor de esta unidad está en función de las condiciones que predominaron durante el depósito y ésta varía desde unos cuantos metros hasta 200 m (Pantoja-Alor 1963). Al sur de Eugenio Zapata, Enciso de la Vega (1963) estimó un espesor de 150 m, aunque llega a acuñarse en muchos lugares. Las capas basales de esta unidad están compuestas por limolita, arenisca de color rosado y con horizontes de material tobáceo. En general el espesor de las capas varía de 10 a 50 cm; mientras que la parte superior está formada casi en su totalidad por conglomerado de color gris con fragmentos de caliza de 1 a 20 cm de diámetro con cantidades menores de fragmentos de pedernal de forma tabular. En algunos afloramientos debido a lo masivo, no es posible observar el espesor. En algunos paquetes los clastos son de forma angulosa lo cual se debe a que han sufrido poco transporte.

Los afloramientos de esta unidad de conglomerado son de color rojo en roca fresca con intemperización en tonos grisáceo claro y oscuro, y con estructura en estratos de grosor entre 0,60 y 1,50 m. Está constituido por fragmentos subredondeados de caliza, arenisca, lutita, fragmentos de calcita, cuarzo y pedernal de tamaños de 1 a 40, cm soportados por una matriz arcillo-arenosa rojiza (Fig. II.6, Lemus *et al.*, 2009).

La edad de esta unidad ha sido muy controversial, Pantoja-Alor (1963) lo considera con una edad Cretácico Tardío al Oligoceno temprano; Córdoba (1988) le asigna una edad del Paleoceno-Eoceno temprano; tomando en consideración la posición estratigráfica, correlación y algunas de las observaciones realizadas por los autores antes mencionados. En el presente trabajo se le asigna una edad de Paleoceno – Eoceno temprano de acuerdo a la edad asignada por Córdoba (1988).

La posición estratigráfica en el área ubica la base intercalada con tobas andesíticas del Paleoceno – Eoceno y descansa discordantemente sobre rocas sedimentarias de la Formación Mezcalera. Es sobreyacida discordantemente por tobas riolíticas y riolitas del Oligoceno.

Se correlaciona con Conglomerado Rojo de Guanajuato en el estado de Guanajuato (Edwards, 1955).

Corresponde a un depósito continental tipo "molassa", formado inmediatamente después del intenso plegamiento y erosión correspondiente a la orogénesis Larámide.



Figura II.6 - Afloramiento de conglomerado rojo calcáreo de la Formación Ahuichila.

II.3.2.3.- Rocas volcánicas riolíticas (*To Ig -TR*)

Esta unidad volcánica ha sido definida por Roldan (1969) en la Sierra de Gamón (Mc Dowell y Clabaugh, 1972) y en los cortes de la carretera que comunica de Durango–Mazatlan. Corresponden a paquetes volcánicos de riolita constituídos por toba y derrames masivos. Esta unidad se encuentra cubriendo discordantemente a rocas más antiguas de la Formación Mezcalera, rocas volcánicas andesíticas y conglomerado de la Formación Ahuichila y, es cubierta de manera discordante por conglomerados de la Formación Santa Inés.

Se encuentra distribuída en manchones aislados de la zona de estudio, puerto El Casco, mesa Las Animas, Cerro La Campana, Cerro Blanco, Cerro Prieto y Cerro El Pulpo (Fig. II.11). La potencia en el área de estudio es variable entre 50 a 100 m. Mc Dowell y Keizer (1977) estimaron espesores mayores de 800 m en una secuencia continua con predominancia de tobas riolíticas y riolita.

Esta unidad consiste, en su porción basal, en un paquete de toba riolítica que varía en color rosáceo rojizo, rosáceo claro, blanco, con fragmentos de andesita, pómez y minerales de plagioclasa, cuarzo, biotita y vidrio en una masa fundamental de ceniza con estructura masiva (Fig. II.7). Ocasionalmente se presentan horizontes delgados con fragmentos de riolitas e ignimbritas, de 1 a 2 cm de diámetro, subangulosos, así como horizontes caolinizados, en estratos de 10 cm de espesor.

En ocasiones presentan intemperización esferoidal. Hacia la porción superior se presentan ignimbritas con estructura masiva en ocasiones columnar, de color rosáceo claro, textura compacta, vítrea con plagioclasas y cuarzo.

La edad se indica como Oligoceno esto con dataciones realizadas por Aguirre y Mc Dowell (1991) obteniendo edades en plagioclasas y feldespato por el método K-Ar, una edad de $29,5 \pm 0,6$ Ma; se correlaciona con el volcanismo superior de la Sierra Madre Occidental.

Su ambiente de depósito es continental y se relaciona al evento de volcanismo ácido del Oligoceno de mayor importancia en el noreste de México, donde se generaron derrames y material explosivo asociado al desarrollo de un arco magmático continental.



Figura II.7.- Tobas riolíticas descansando discordantemente sobre conglomerados de la Formación Ahuichila.

II.3.2.4.- Formación Santa Inés (*Tm Cgp*)

Esta unidad fue definida por Pantoja (1963) quien propone el nombre formacional. Este corresponde a una secuencia de clásticos continentales poco consolidados, transportados y depositados por el agua, caracterizada por gravas gruesas, guijarros y cantos rodados de caliza, cantidades menores de pedernal, fragmentos volcánicos semiredondeados a bien redondeados, comúnmente mal clasificados. El tamaño de los fragmentos varía de 1 a 40 cm, en una matriz arenosa, con lentes de arcilla y limo. En la cima de esta formación se observa una costra delgada de caliche.

Sobreyace en discordancia angular a las unidades más antiguas y está cubierta por los depósitos aluviales del Pleistoceno y del reciente (Fig. II.11).

Se distribuye en la porción centro y sur en las inmediaciones del poblado Alamillo de Galeana.

La potencia es variable y depende de las profundidades de las fosas en que se depositó (Fig. II.8). En el área de estudio se observaron espesores de 50 a 100 m.



Figura II.8.- Panorámica del semigraben de Rodeo con los depósitos continentales de la Formación Santa Inés rellenando la fosa.

En este trabajo se le asigna tentativamente una edad Mioceno. Se le asigna esta edad por su posición estratigráfica y una datación de $22,3 \pm 1,6$ Ma por el método K-Ar en basaltos

que se encuentran intercalados con los conglomerados, realizada por (Aguirre y McDowell 1991), lo que se interpreta como de edad igual o mayor a esta, localizada en el área de Nazas a 45 Km al SW del área de estudio.

Pantoja-Alor (1963) lo ubica en el Plioceno tardío al Pleistoceno temprano y lo correlaciona con la Formación Mayran de la parte oriental de la región de Parras, Coahuila.

Fue depositado en abanicos aluviales por corrientes intermitentes ocasionadas por lluvias torrenciales, esto en base a la expresión geomorfológica. Se interpreta un clima que fue más árido que el actual y que permitió el desarrollo de caliche en algunos horizontes (Pantoja-Alor, 1963).

II.3.3.-Rocas Subvolcánicas hipabisales

II.3.3.1.- Pórfido riolítico (Te PR)

En el área de estudio existen algunos cuerpos de rocas hipabisales de composición riolítica. Se asigna una edad del Eoceno en base a dataciones de U-Pb en circones realizadas en este estudio (ver más adelante).

Estas rocas corresponden a pórfido riolítico color gris claro. Presenta intemperización en tonos rojo intensos y amarillentos, textura porfídica, con cristales bien desarrollados de feldespato; cuarzo en forma de ojos en una mesostasis vítrea afanítica y estructura masiva. En algunas zonas se encuentra silicificada, especialmente donde está asociado con fallamiento o en los contactos de las rocas que está afectando formando brechamiento y una intensa oxidación con vetillas en diferentes direcciones rellenas de hematita y limonita (Fig. II.9).

Esta unidad está expuesta en gran parte del área en afloramientos aislados en la porción norte, en el cañón El Abra, cerro La Tajada, centro Cerro Colorado, y más al suroeste, en la ranchería El Fresnito (Fig. II.11).



Figura II.9.- Pórfido riolítico intruyendo a conglomerado polimíctico de la Formación Ahuichila, cerro El Embudo, localidad El Refugio.

II.3.3.2.- Pórfido andesítico (Te PA)

En el sector sur del área de estudio se localizan una serie de cuerpos intrusivos de composición granítica y cuerpos subvolcánicos hipabisales. Estos se asignan al Eoceno en base a dataciones U-Pb en circones realizadas en este trabajo (ver más adelante).

La roca es compacta de color verde oscuro, con textura porfídica y estructura masiva. Presenta fenocristales de plagioclasa, anfíbola en una mesostasis de vidrio, con clinopiroxeno subordinado y presenta calcita, feldespato y biotita como minerales de alteración. Además se observan altamente cloritizadas, con limonita y pirita diseminada (Fig. II.10)

Se distribuyen en afloramientos al occidente y sur de la ranchería El Refugio y al occidente del poblado Alamillo de Galeana (Fig. II.11), afectando a rocas de la secuencia sedimentaria cretácica principalmente.



Figura II.10.- Pórfido Andesítico color verde afectando a secuencia sedimentaria caliza-lutita de la formación Mezcalera.

II.3.4.- Depósitos continentales cuaternarios

II.3.4.1.- Conglomerado polimíctico (*Qpt Cgp*)

En la elaboración de este trabajo se cartografió un conglomerado polimíctico poco consolidado. No tiene nombre formacional y fue descrito de acuerdo a las observaciones de campo.

Está constituido de fragmentos angulosos a subredondeados de diferentes tipos de rocas (caliza, arenisca, pórfido riolítico, riolita, e ignimbrita y granito), con tamaño granulométrico amplio, de boleos a gravas y areniscas sin consolidar, mismos que se encuentran distribuidos caóticamente.

Estos depósitos se encuentran en las partes bajas de las sierras (pie de monte) y en las partes bajas de las cuencas formando abanicos aluviales como producto de la desintegración de las unidades litológicas preexistentes (Fig. II.11).

Esta unidad litológica es considerada del Pleistoceno de acuerdo a su posición estratigráfica.

II.3.4.2.- Aluvión (**Qho al**)

Para efectos de la cartografía se definieron depósitos de aluvión. Estos depósitos se encuentran distribuido en los causes de los ríos y arroyos (Fig. II.11). Son el producto de la desintegración de las unidades litológicas más antiguas.

En su mayoría están constituidos por fragmentos angulosos a subredondeados de diferentes tipos de rocas, con tamaño granulométrico de arena, gravas y que se encuentran distribuidos caóticamente.

El ambiente de formación se relaciona a depósitos continentales y aluviales. Esta unidad litológica es considerada del Holoceno de acuerdo a su posición estratigráfica.

MAPA GEOLÓGICO ESTRUCTURAL

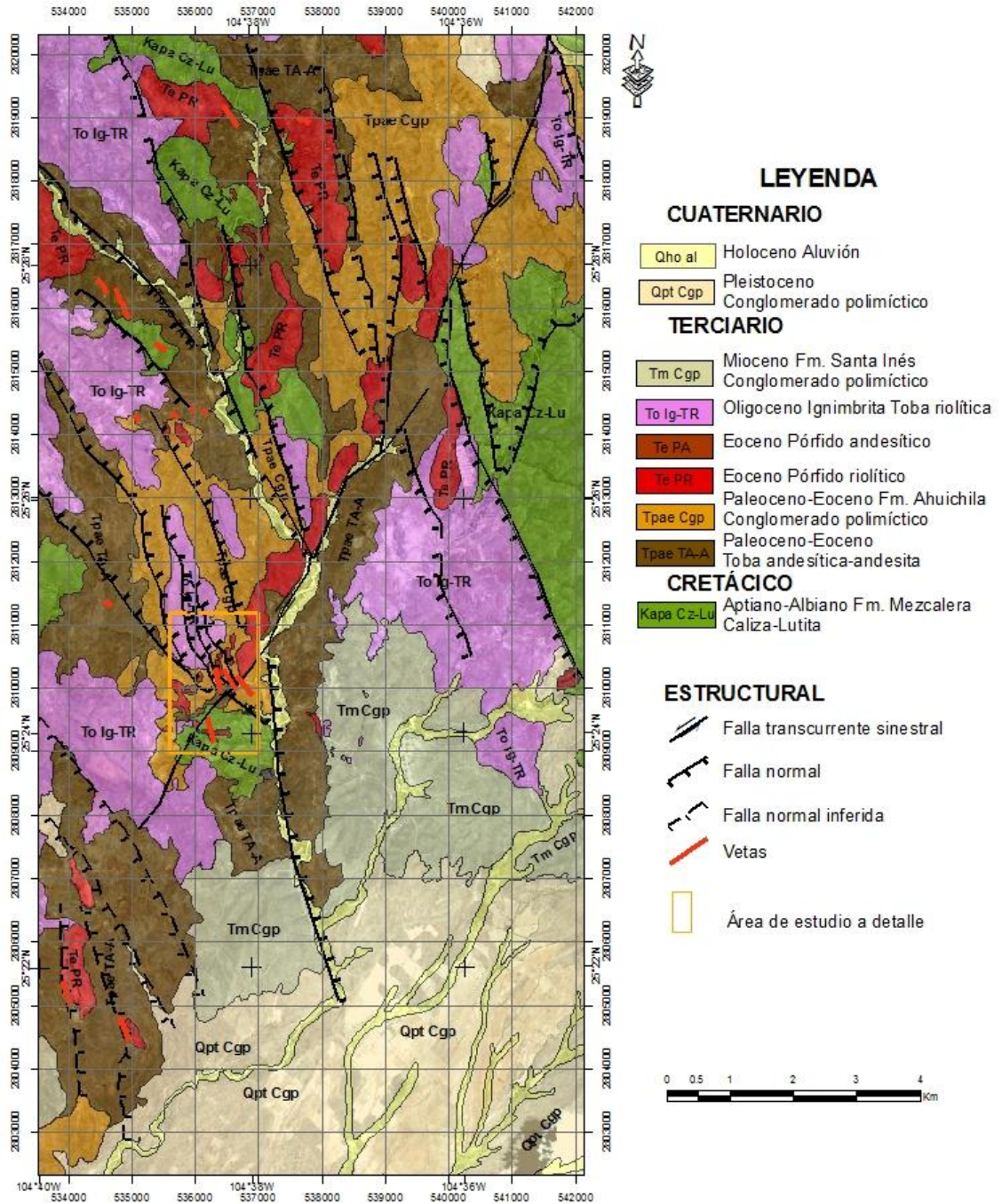


Figura II.11.- Plano geol3gico estructural seg3n informaci3n obtenida en este trabajo, el mapa e escala 1:20 000 se puede ver en el Anexo A1 y G en CD

II.4. Estructuras

Las estructuras presentes en el área estudiada son parte de un sistema de fallas regional denominado sistema de fallas San Luis-Tepehuanes definido por Nieto *et al.* (2005, Fig. II.12), donde se localiza el semi-graben Rodeo. En este sistema se han desarrollado fallas normales de alto ángulo que definen estructuras tipo “*basin and range*” (Ferrari *et al.*, 2005) con fase de extensión temprana entre 32,3 Ma y 30 Ma. Luhr *et al.* (2001) y Aranda-Gómez *et al.* (2003) lo asocian a un segundo evento de extensión a los ~24 Ma.

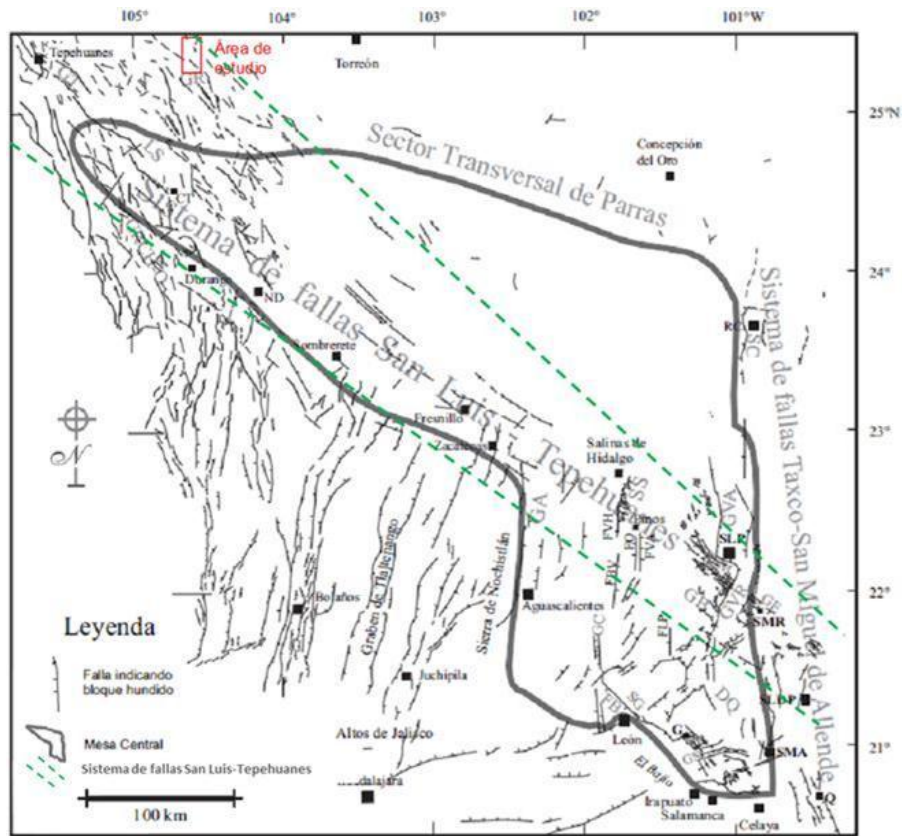


Figura II.12.- Plano Estructural regional que muestra en línea verde el Sistema de Fallas San Luis-Tepehuanes, modificado de Nieto *et al.* (2005), la línea gris representa la provincia fisiográfica de la Mesa central de México.

Sin embargo anterior a esto Silva-Romo (1996) reconoce tres fases de deformación frágil extensional. La más antigua corresponde a fallas ~N-S y WNW; la segunda fase se indica responsable de la activación de las fallas WNW que cortan las sierras y que pertenecen a las fallas San Luis Tepehuanes. A estas dos fases se asigna una edad del Eoceno temprano-medio argumentando que fueron contemporáneas o anteriores al emplazamiento de cuerpos graníticos

como el de Peñón Blanco datado por K-Ar en muscovita en 48 ± 4 Ma (Mujica y Albarrán, 1983), esta unidad se encuentra emplazado en este sistema de fallas WNW. Una tercera fase de deformación se relaciona con fallas N-S que limitan a la sierra hacia el occidente. La edad de esta deformación no es indicada por el autor.

De manera regional existen otras dataciones que muestran edades de 51 a 47 Ma, en K-Ar realizadas por Aguirre y McDowell (1991) en rocas subvolcánicas y cuerpos intrusivos, relacionados al sistema de falla San Luis Tepehuanes NNW, y emplazados dentro del semi-graben de Rodeo, que se pueden relacionar al a fase extensional propuesta por Silva-Romo (1996) del Eoceno temprano-medio.

Las fallas del área El Refugio son fundamentalmente de rumbo NNW y NNE. En estas se observa el emplazamiento de cuerpos subvolcánicos reconocidos como pórfidos andesíticos y riolíticos que se relacionan espacialmente a estructuras vetiformes y a la mineralización del área.

En el presente trabajo las fallas corresponden al sistema de falla principal NNW y se distribuyen en gran parte del área de estudio (Fig. II.14), a ellas se asocian espacialmente cuerpos subvolcánicos y vetas que presentan esa misma orientación. También se presenta un sistema de falla transcurrente sinestral de rumbo NE conocida como falla El Refugio en el centro del área (Fig. II.14), en el cual a lo largo se emplazaron cuerpos subvolcánicos; esencialmente pórfidos riolíticos (Cerro El Embudo) en dirección NE (Fig. II.13). Esta falla puede estar relacionada a un segundo evento de deformación ya que afecta a los depósitos continentales conglomerado y rocas volcánicas andesíticas generadas posiblemente en el desarrollo del semi-graben Rodeo.



Figura II.13.- Panorámica del área de estudio viendo al noreste de la porción centro del área El Refugio, donde se aprecia el sistema de fallas normales que dan origen al semi-graben Rodeo.

ESTRUCTURAL ÁREA EL REFUGIO

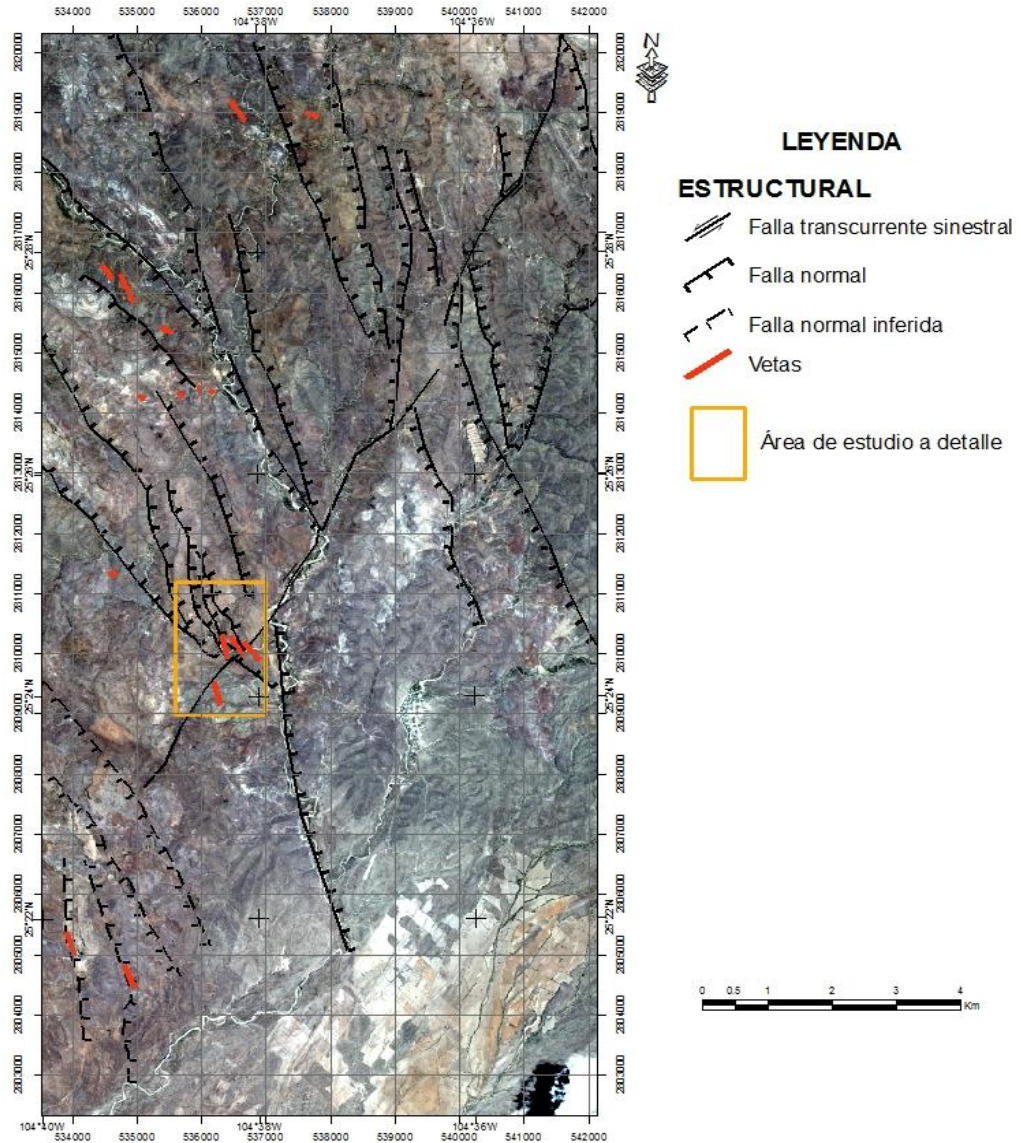


Figura II.14.- Imagen de Satélite Quickbird con información estructural del área El Refugio.

III. PRESENTACIÓN DE LOS DATOS ANALÍTICOS Y ESTUDIO ESTADÍSTICO

III.1. Geología local

III.1.1. Mapeo Geológico de detalle

El mapeo geológico de detalle (Fig. III.1 plano geológico de detalle 1:2.000 anexo A2), se realizó en un tiempo de terreno de 4 meses, dividido en dos etapas, de Enero a Marzo y Julio a Agosto del 2010. En esta campaña de terreno se realizaron las tareas de cartografía geológica de detalle y la toma de muestras del área de estudio para diversos tipos de estudio.

Los trabajos de cartografía geológica cubren un área de 158 Km² levantamiento realizado a escala 1: 20.000 (Fig. II.11, y también en el anexo adjunto). En este mapa se muestra la litología descrita en el capítulo anterior así como las estructuras que afectan la región.

El trabajo de cartografía geológica de detalle se realizó a escala 1:2.000, esto de la zona considerada de mayor interés por las condiciones geológicas observadas y evidencias de mineralización en vetas con alteración hidrotermal. Esta área específica se seleccionó para realizar estudios de exploración geológica y geoquímica y fue aquí donde se realizó un muestreo sistemático de roca y vetas, se mapearon las diferentes unidades litológicas, estructuras mineralizadas y zonas de alteración (Fig. III.1) y se realizó la toma de muestras. Con la cartografía detallada se confeccionó un mapa a escala 1:2.000 (Anexo F2).

III.1.2. Vetas

Las estructuras de mayor relevancia en el área El Refugio son vetas de cuarzo y calcita con rumbo general NW–SE, algunas casi N-S con ligera tendencia al NNE (Fig. III.1). Se caracterizan por presentar estructura bandeada cuarzo blanco lechoso y calcedónico, calcita blanca (Fig. III.2), calcita hojosa con remplazamiento por sílice, características de origen epitermales de baja sulfuración. Estas vetas tienen un ancho de 30 cm a 1,20 metros y longitudes visibles de 50 a 300 metros con minerales de pirita, hematita, magnetita y goethita donde se observa alteración argílica y fílica con minerales de montmorillonita illita, sericita y óxidos de hierro (hemetita, limonita y jarosita). En total fue posible evidenciar y mapear aproximadamente 35 vetas. La ocurrencia de capa de regolito dificultó el mapeo de otras vetas posiblemente cubiertas no descartables en el área de estudio.

Los sistemas de vetas generalmente están emplazadas en secuencias de rocas sedimentaria de la Formación Mezcalera del Mesozoico y rocas del Paleógeno, constituidas por andesita y

tobas andesíticas y conglomerado polimíctico de la Formación Ahuichila, representadas en el mapa a escala 1: 2.000 (ver anexo F2 y Fig. III.1).

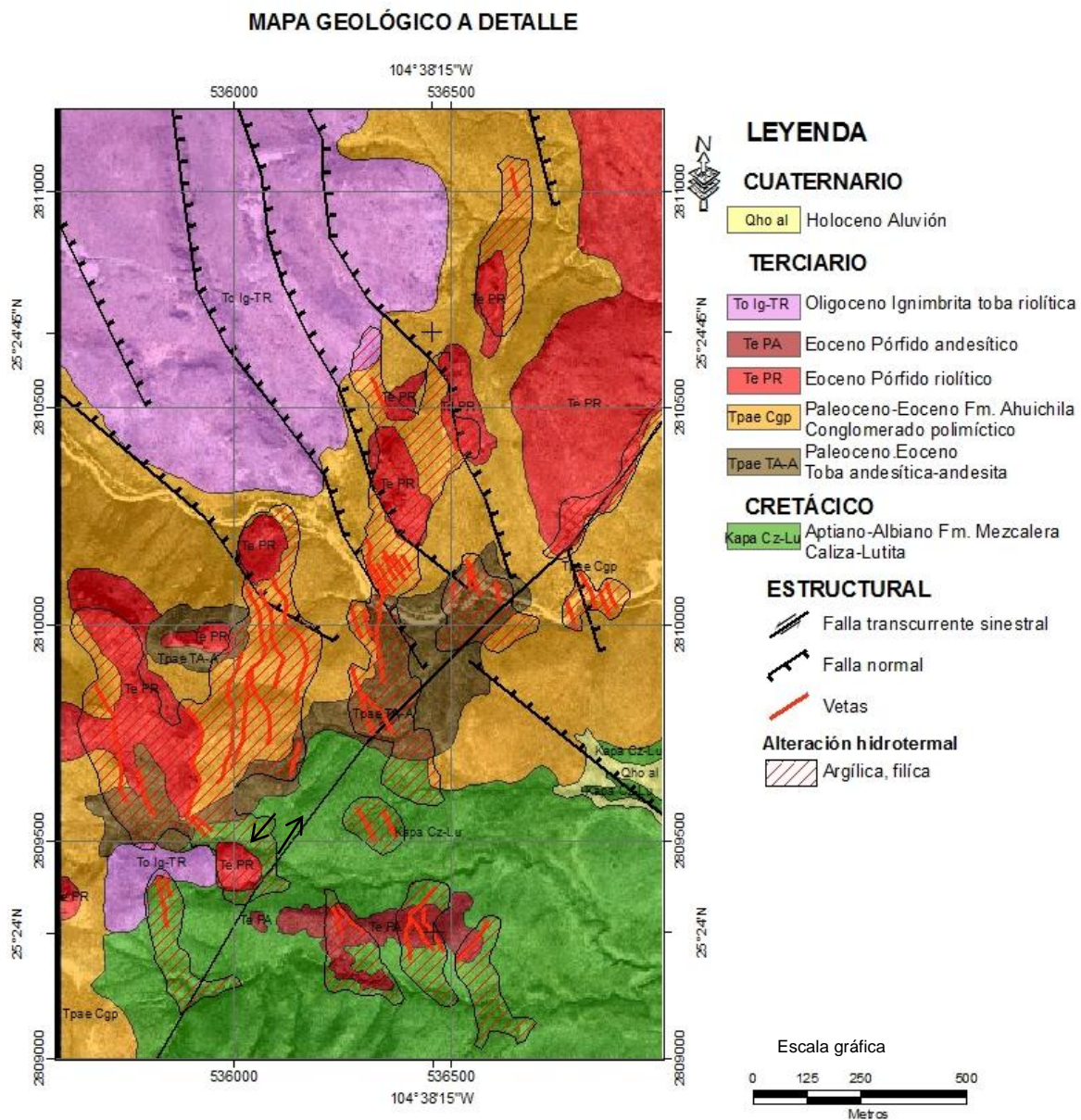


Figura III.1 Plano geológico estructural a detalle del área de estudio El Refugio.



Figura III.2.- A. veta de calcita y cuarzo con estructura bandeada; B. detalle de veta, las bandas de cuarzo reemplazando a veta de calcita.

III.2.- Geocronología

Para el área El Refugio se realizaron dos dataciones radiométricas de U-Pb en circones en las muestras ERDA-01 en pórfido riolítico y ERDA-02 en pórfido andesítico, con la finalidad de conocer la edad de cristalización de estas rocas. Los estudios se realizaron en el laboratorio del Centro de Geociencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) campus Juriquilla Querétaro. La relevancia de realizar los estudios, se base en las observaciones de campo y radica en que es a estos cuerpos subvolcánicos a los que se les atribuye la generación de fluidos hidrotermales que dieron origen a las vetas y la mineralización de oro presente en el área

Los estudios geocronológicos se realizaron por la técnica LA-ICP-MS para U-Pb en circones. Los datos y las metodologías analíticas se muestran en las Tablas B1 y B2 en el anexo B, así como las fotografías de catodoluminiscencia de los circones datados (Figs. B2 y B3, Anexo B).

Las edades U-Pb media ponderada se calcularon con el programa computacional Isoplot 3.00 de Ludwig (2003), y se muestran en las gráficas de las (Figs III.3 y III.4).

III.2.1.- Pórfido riolítico El Refugio

Se separaron 80 circones, de los cuales 40 fueron seleccionados buscando evitar los núcleos heredados, fracturados e inclusiones, con el fin de obtener mejores datos analíticos. De

éstos, 3 de ellos no reportaron ningún dato, únicamente 20 de los 37 analizados (elipses de color negro figura III.3) fueron seleccionados para calcular la edad $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$.

Circones de la muestra ERDA-01 perteneciente al cuerpo subvolcánico pórfido riolítico, ubicado en las coordenadas UTM datum WGS 84, 536400 E y 2810263 N. Los datos U-Pb obtenidos para esta muestra se grafican en el diagrama de concordia Tera-Wasserburg (Fig. III.3) apreciándose que todos los análisis ($n=20$) son relativamente concordantes y se obtuvo una edad $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ media ponderada de $49,5 \pm 0,2$ Ma (2-sigma; MSWD = 1.7, $n=20$), Eoceno temprano.

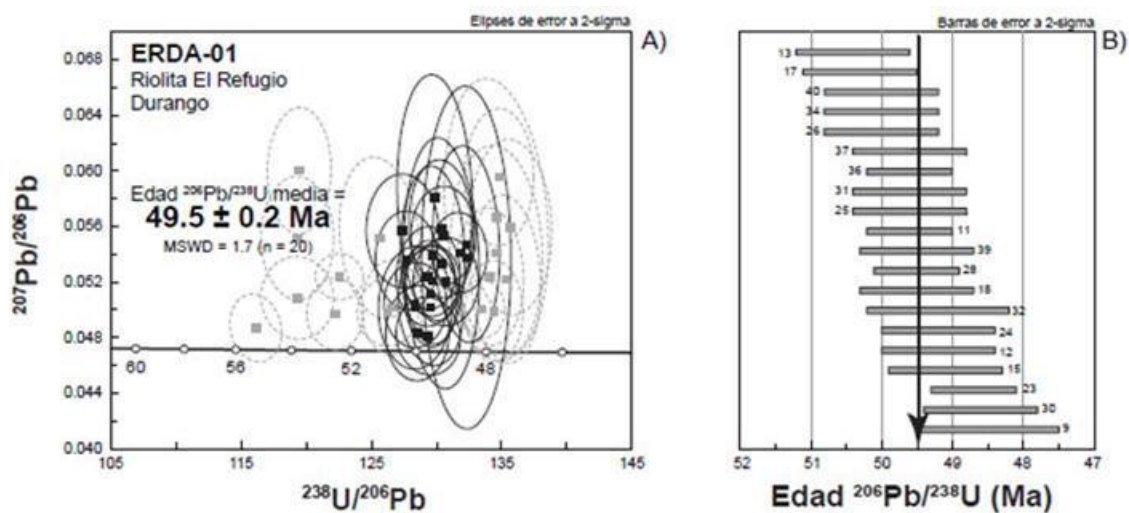


Figura III.3.- Datos U-Pb de circones obtenidos por la técnica LA-ICPMS de la muestra del cuerpo subvolcánico pórfido riolítico de la muestra ERDA-01 (A) Grafico de concordia tipo Tera-Wasserburg con todos los datos y (B) grafico de edad $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ media ponderada de la muestra ERDA-01.

III.2.2.- Pórfido Andesítico El Refugio

La segunda muestra fue recolectada de un pórfido andesítico en el área El Refugio ERDA-02, ubicado en las coordenadas UTM datum WGS 84, 536056 E y 2809317 N. Se separaron 80 circones, de los cuales 40 fueron seleccionados usando los mismos criterios para la primera muestra geocronológica. De éstos, uno de ellos no reportó ningún dato, únicamente 19 de los 39 analizados (elipses de color negro) fueron seleccionados para calcular la edad $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ media ponderada. Los datos U-Pb obtenidos para esta muestra se grafican en el diagrama de concordia Tera-Wasserburg (Fig. III.4) apreciándose que todos los análisis ($n=19$) son relativamente concordante y apropiados para obtener una edad $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ media ponderada de $47,8 \pm 0,2$ Ma (2-sigma; MSWD = 1.6, $n=19$), Eoceno medio (Fig. III.4).

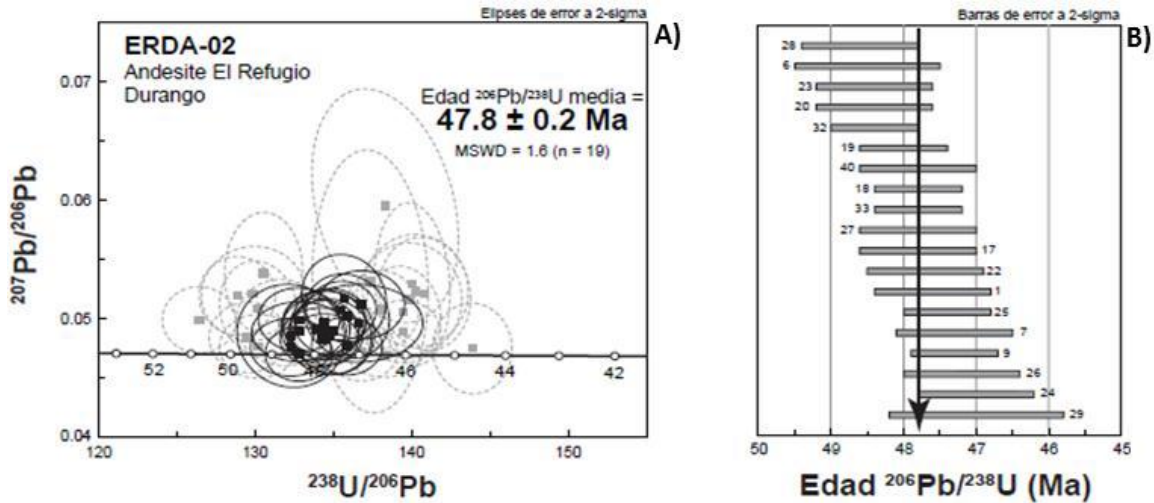


Figura III.4.- Datos U-Pb de circones obtenidos por la técnica LA-ICPMS de la muestra del cuerpo subvolcánico pórfido andesítico de la muestra ERDA-02 (A) Grafico de concordia tipo Tera-Wasserburg con todos los datos (B) grafico de edad $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ media ponderada de la muestra ERDA-02.

III.3.- Minerografía

El muestreo para este estudio se realizó en vetas, con la finalidad de conocer los diferentes tipos de minerales metálicos, sucesión, orden mineralógico y paragénesis. Se analizaron 5 muestras en diferentes vetas, las cuales fueron tomadas donde se observó un contenido de minerales como piritita y hematita, tratando de que fueran lo más representativas posible ya que en la mayoría de las vetas no es posible observar los minerales macroscópicamente. Estas muestras fueron colectadas en los lugares donde se tomaron las muestras para el estudio geoquímico (Fig. III.5).

Los resultados del muestreo de minerografía muestran algunos minerales metálicos, piritita, hematita y goethita (Tab.C1) anexo C. Estos minerales principalmente se observan en las vetas de cuarzo de rumbo N-S y NW-SE. Se presenta en forma diseminada y en las vetillas, rellenando fracturas con hematita, goethita y piritita. Estas se encuentran intensamente oxidadas y desintegradas por acción supergena.

En base a las asociaciones minerales es posible identificar la paragénesis y sucesión mineralógica que presenta en el área de estudio (Tab. C1 anexo C), esto en un contexto mineralógico regional del área, propio de las estructuras encontradas.

En forma adicional se colectaron 10 muestras de corte transparente (petrográficos), que muestran los minerales principales de las diferentes litologías mapeadas. Los resultados de

estos estudios se encuentran en la (Tab. C2 anexo C). Los procedimientos y resultados para cada estudio se integran al anexo C.

III.5.- Difracción de Rayos X

Los estudios de DRX, se realizaron para 14 muestras ubicadas en diferentes zonas del área de estudio.

Las especies mineralógicas determinadas por difracción de rayos X permiten determinar los minerales asociados a distintos tipos de alteración hidrotermal presentes en rocas. Los minerales feldespato potásico, plagioclasa, cuarzo y algunas biotitas primarias se interpretan como minerales propios de la litología presente en el área. Los minerales hidrotermales descritos corresponden a cuarzo, calcita, hematita, muscovita, illita, caolinita, montmorillonita.

Los minerales citados anteriormente representan el resultado de las muestras analizadas en este trabajo, y las cuales son características de alteración argílica, fílica y cuarzo-sericita, siendo estos los tipos de alteración más comunes en la zona de estudio.

Las 14 muestras fueron colectadas en lugares donde se realizó el muestreo geoquímico para conocer los minerales arcillosos de alteración (ej., illita, caolinita, montmorillonita) relacionados a las vetas y respaldos (alto y bajo de las vetas) que es donde se observan las mayores proporciones de minerales arcillosos en el área (Fig. III.5; Tab. D1 anexo D). Los procedimientos para este tipo de estudio se encuentran el anexo D.

III.5.- Inclusiones fluidas

La microtermometría de inclusiones fluidas es una técnica analítica que permite determinar temperaturas de homogenización y antecedentes respecto a la composición salina de los fluidos hidrotermales que formaron los minerales hidrotermales (Tab. E1), y las características de los fluidos mineralizadores de numerosas tipologías de yacimientos minerales.

En este apartado se analizaron 6 muestras de diferentes vetas de la zona para conocer y determinar preliminarmente las temperaturas y salinidades de los fluidos hidrotermales mineralizantes. Este muestreo se realizó donde se colectaron las muestras para el estudio geoquímico, de minerografía y de difracción de rayos X (Fig. III.5).

Entre las variables de interés que esta técnica permite determinar, las principales son (1) la temperatura de homogenización, que constituye la temperatura mínima de atrapamiento de las inclusiones fluidas y que, en determinadas circunstancias, equivale a la temperatura de

atrapamiento, y (2) la salinidad del fluido, expresada como porcentaje en peso equivalente de NaCl y, en caso de inclusiones con cristales hijos, expresada como porcentaje en peso de NaCl, KCl, CaCl₂, u otros solutos.

Las temperaturas de homogenización medidas en las muestras analizadas de cuarzo y calcita (Figs. E1-E6 en el anexo E) oscilan entre 170-400°C con salinidades en NaCl equivalente, entre 0.53-6.43 % (Tab. E1 del anexo E) tomadas en las estructuras mineralizadas y pueden relacionarse con la mineralización del área de estudio.

Todas las muestras para el estudio de inclusiones fluidas se tomaron de vetas de cuarzo y calcita, porque se pretende conocer las temperaturas a las cuales pudieron formarse éstas, por ser el foco de atención del presente estudio. Los resultados permiten orientar al tipo de depósito o ambiente hidrotermal potencialmente presente en el área El Refugio.

Los resultados indican en su mayoría temperaturas entre 170 y 400°C, los cuales son indicadores para depósitos de baja temperatura como epitermales y Kuroko. Con las condiciones geológicas presentes en la zona, y con un sistema de vetas de cuarzo bandeado, cuarzo blanco, lechoso, calcedónico, calcita y calcita hojosa principalmente y su relación con otros depósitos de la región se confirma que pertenecen a depósitos epitermales de baja a intermedia sulfuración (Sillitoe y Hedenquist, 2003).

Los procedimientos para este tipo de muestreo se encuentran en el anexo E de inclusiones fluidas.

III.6.- Geoquímica

Para realizar el estudio geoquímico se colectaron 434 muestras a lo largo de 9 secciones y algunas en puntos estratégicos selectivos, donde afloran vetas o rocas con alteración hidrotermal (Fig. III.5). Las muestras se analizaron por 31 elementos más oro. Los análisis geoquímicos fueron efectuados en el laboratorio del Servicio Geológico Mexicano ubicado en la ciudad de Oaxaca, Oaxaca. La metodología empleada es ICP-AES y Au por ensaye al fuego (anexo F). Los resultados de geoquímica están presentados en el anexo G (anexo digital adjunto), así como los resultados de muestras de control o estándar utilizados para control de calidad en análisis.

Estos estudios se sometieron a un análisis estadístico para un mejor entendimiento en la interpretación del gran número de datos.

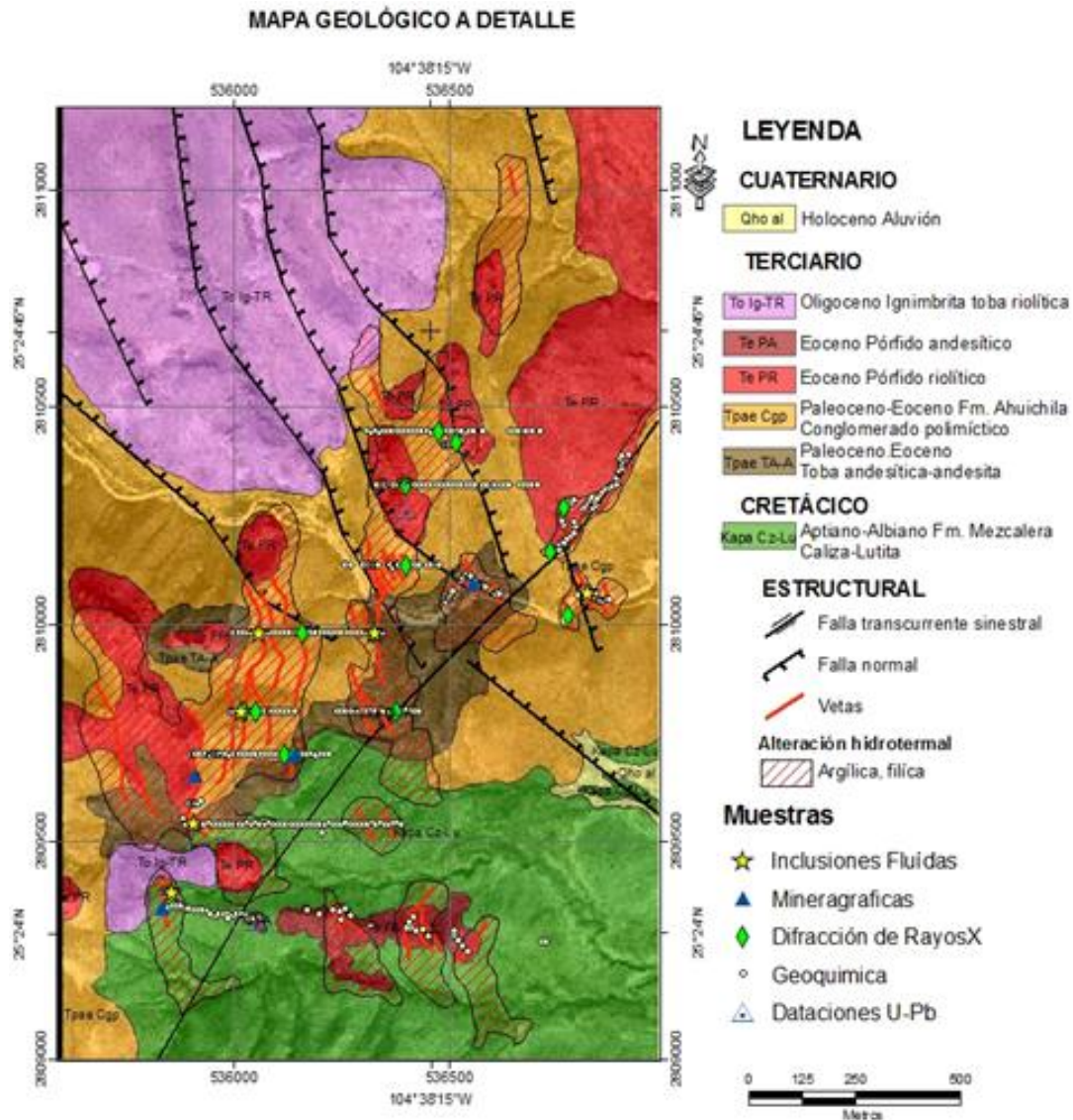


Figura III.5.- Mapa que muestra la distribuci6n de las diferentes muestras tomadas en el 6rea El Refugio, inclusiones fluidas, mineragrafia, difracci6n de rayos X, geoquimica y cronologfa.

III.7. Análisis estadístico de datos geoquímicos

III.7.1. Estadísticas univariable

III.7.1.1.- Estadísticas básicas

Los parámetros estadísticos básicos como media, desviación estándar valor máximo y mínimo se determinó a través del programa XLSTAT versión 7.5.2. Se usaron las variables (elementos químicos) analizados en el laboratorio cuyos concentraciones superan el límite de detección en >50% de las muestras (Tab. III.1).

Tabla (III.1) Parámetros estadísticos básicos, en base aritmetica normal; Valores en ppm					
Elemento	Número de muestras	Valor Mínimo	Valor Máximo	Media	Desviación Estándar
Au	434	0.00	0.236	0.024	0.035
Al	434	16.50	7010	1062.073	1110.708
As	434	1.00	1990	71.527	150.286
Ba	434	11.74	3015	225.834	355.110
Ca	434	40.00	39420	13955.545	11673.991
Co	434	0.28	34.7	3.023	3.750
Cr	434	0.85	284	31.352	32.169
Cu	434	0.65	212.7	22.087	18.820
Fe	434	159.00	12180	1616.318	1152.316
K	434	7.60	2750	368.933	335.730
Mg	434	30.00	1970	257.349	287.405
Mn	434	46.29	6275	505.629	661.711
Mo	434	0.17	10.5	2.288	1.869
Na	434	45.00	2996	214.326	285.241
Ni	434	0.50	65.56	9.432	9.121
P	434	32.00	1429	274.369	229.226
Sb	434	1.00	134.7	8.915	13.552
Sc	434	0.05	18.74	2.400	2.509
Sr	434	7.48	1262	363.577	307.052
Ti	434	2.00	1235	168.649	182.081
Zn	434	0.100	242.000	19.464	19.008

El muestreo geoquímico realizado en este trabajo tiene como principal objetivo determinar y proponer por medio de análisis estadístico áreas de interés o blancos de potencial exploración. Los resultados reportan 31 elementos más oro (Ag, Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Te, Tl, Ti, U, W y Zn + Au). De estas variables fueron descartadas aquellas que no cumplieron con los requisitos estadísticos por ejemplo, elementos en que no se supera el límite de detección o bien donde el 50% de las muestras no supera el límite de detección. En base al primer filtro se reducen las variables a: Al, Sb, As, Ba, Ca, Co, Cu, Cr, Sc, Sr, Fe, P, Mg, Mn, Mo, Ni, K, Na, Ti, y Zn, para un total de 20 variables, incluyendo Au, queda un total de 21 elementos. Por lo tanto 11 elementos fueron

eliminados y no se discuten. Para estos se presentan de igual forma en las tablas del anexo (ver anexo B en CD adjunto).

La metodología estadística para el tratamiento de los datos consistió en la determinación de los parámetros básicos y frecuencia de cada elemento con el propósito de obtener los patrones de distribución en el área con base a un nivel de fondo (background) y las anomalías probables o posibles del área.

Tabla (III.2) Parámetros estadísticos; Valores en ppm				
Elemento	Media (μ) en ppm	Desviación Estándar (DE) en ppm	Media (<i>Background</i>) en ppm	Umbral = $\mu + 2(DE)$
Au	0.024	0.035	0 - 0,024	0.094
Al	1062.07	1110.71	0 - 1062	3283
As	71.53	150.29	0 - 71,53	372
Ba	225.83	355.11	0 - 225,83	936
Ca	13955.54	11673.99	0 - 13955	37303
Co	3.02	3.75	0 - 3,02	10
Cr	31.35	32.17	0 - 31,35	95
Cu	22.09	18.82	0 - 22,08	59
Fe	1616.32	1152.32	0 - 1616	3920
K	368.93	335.73	0 - 368,93	1040
Mg	257.35	287.4	0 - 257,34	832
Mn	505.63	661.71	0 - 505,62	1829
Mo	2.29	1.87	0 - 2,28	6
Na	214.33	285.24	0 - 214,32	784
Ni	9.43	9.12	0 - 9,43	27
P	274.37	229.23	0 - 274,36	732
Sb	8.92	13.55	0 - 8,91	36
Sc	2.4	2.51	0 - 2,40	7
Sr	363.58	307.05	0 - 363,57	977
Ti	168.65	182.08	0 - 168,64	532
Zn	19.46	19.01	0 - 19,46	57

Para obtener estos parámetros se realizaron cálculos estadísticos de todos los datos obtenidos del laboratorio determinando su media y desviación estándar. Para este caso se considera la media igual al *background* y el umbral estadístico (Tab. III.2) se determina como la

media más 2 veces la desviación estándar, donde μ , es la media de los datos analíticos obtenidos y DE, es la desviación estándar de los mismos.

Con estos parámetros determinamos la anomalía geoquímica para las variables con un umbral o *threshold* que rebasen el valor medio de la corteza terrestre mostrado en la tabla III.3. Estas tablas son el resultado de investigaciones de varios autores, que en algunos casos pueden tener algunas variaciones en los datos. En nuestro caso utilizaremos como parámetro de comparación la tabla realizada por Levinson (1980).

En la tabla III.3 se presenta la composición media de las rocas terrestres. La tabla ilustra concentraciones medias de seis tipos de rocas principales como las rocas ígneas ultramáfica, máfica y granítica, la arenisca, caliza y la pelita, utilizando los valores de la corteza terrestre principalmente.

Tabla (III.3) promedio de la abundancia (o rango) de determinados elementos menores y traza en la corteza terrestre en diferentes rocas y suelo (Todos los valores en ppm, modificado de Levinson (1980))								
Elemento	Corteza terrestre	Ultramaficas	Basalto	Granodiorita	Granito	Esquisto	Caliza	Suelo
Ag	0.07	0.06	0.1	0.07	0.04	0.05	1	0.1
As	1.8	1	2	2	1.5	15	2.5	1--50
Au	0.004	0.005	0.004	0.004	0.004	0.004	0.005	
Ba	425	2	250	500	600	700	100	100-3000
Be	2.8		0.5	2	5	3	1	6
Bi	0.17	0.02	0.15		0.1	0.18		
Cd	0.2		0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	1
Co	25	150	50	10	1	20	4	1--40
Cr	100	2000	200	20	4	100	10	5--1000
Cu	55	10	100	30	10	50	15	2--100
Mn	950	1300	2200	1200	500	850	1100	850
Mo	1.5	0.3	1	1	2	3	1	2
Ni	75	2000	150	20	0.5	70	12	5--500
Pb	12.5	0.1	5	15	20	20	8	2--200
Sb	0.02	0.1	0.2	0.2	0.2	1		5
Sc	16	10	38	10	5	15	5	
Se	0.05		0.05		0.05	0.6	0.08	0.2
Sm	6	0.57	4.2	6.8	3	6	0.8	
Sn	2	0.5	1	2	3	4	4	10
Sr	375	1	465	450	285	300	500	50--1000
Te	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.01		
Ti	5700	3000	9000	8000	2300	4600	400	5000
Tl	0.45	0.05	0.1	0.5	0.75	0.3		0.1
U	2.7	0.001	0.6	3	4.8	4	2	1
W	1.5	0.5	1	2	2	2	0.5	
Zn	70	50	100	60	40	100	25	10--300

III.7.2.- Estadística multivariable.

III.7.2.1.- Análisis de correlación múltiple

Para interpretar adecuadamente la matriz de correlación de datos geoquímicos (Tab. III.8), obtenidos en el muestreo realizado, se han utilizado dos técnicas estadísticas. En primera instancia se usa el análisis de correlación múltiple (Tab. III.9), que es adecuado para conocer la posible relación entre dos variables. En segunda instancia se ocupa el análisis de factores para visualizar y poder interpretar las interrelaciones de los elementos.

Tabla III.4.- Matriz de correlación de Pearson (n), para 21 variables con la totalidad de las muestras, destacando en diferentes colores los principales coeficientes de correlación

Variables	Au_ppb	Al_%	Sb_ppm	As_ppm	Ba_ppm	Ca_%	Co_ppm	Cu_ppm	Cr_ppm	Sc_ppm	Sr_ppm	Fe_%	P_ppm	Mg_%	Mn_ppm	Mo_ppm	Ni_ppm	K_%	Na_ppm	Ti_ppm	Zn_ppm
Au_ppb	1																				
Al_%	0.035	1																			
Sb_ppm	0.206	0.025	1																		
As_ppm	0.155	0.047	0.725	1																	
Ba_ppm	0.090	0.351	0.027	0.047	1																
Ca_%	-0.162	-0.316	-0.293	-0.219	-0.150	1															
Co_ppm	0.144	0.663	0.111	0.147	0.193	-0.286	1														
Cu_ppm	0.181	0.397	0.085	0.107	0.132	-0.472	0.646	1													
Cr_ppm	0.136	0.124	0.187	0.102	0.043	-0.473	0.336	0.339	1												
Sc_ppm	0.107	0.820	0.016	0.027	0.260	-0.210	0.824	0.585	0.260	1											
Sr_ppm	-0.158	-0.333	-0.276	-0.194	-0.119	0.907	-0.271	-0.429	-0.397	-0.217	1										
Fe_%	0.234	0.569	0.464	0.599	0.239	-0.527	0.654	0.550	0.250	0.624	-0.507	1									
P_ppm	0.086	0.511	0.242	0.251	0.113	-0.475	0.600	0.484	0.273	0.624	-0.457	0.690	1								
Mg_%	-0.115	0.772	-0.169	-0.108	0.231	0.067	0.585	0.213	0.011	0.696	0.049	0.346	0.300	1							
Mn_ppm	0.106	0.287	-0.038	-0.006	0.182	0.225	0.564	0.353	0.090	0.505	0.179	0.193	0.179	0.300	1						
Mo_ppm	0.146	-0.164	0.218	0.185	0.009	-0.642	-0.054	0.309	0.340	-0.173	-0.581	0.232	0.119	-0.320	-0.276	1					
Ni_ppm	0.122	0.559	0.131	0.157	0.152	-0.420	0.829	0.740	0.462	0.789	-0.365	0.682	0.621	0.465	0.375	0.181	1				
K_%	0.049	0.920	0.058	0.092	0.401	-0.383	0.614	0.442	0.157	0.749	-0.376	0.569	0.503	0.625	0.270	-0.034	0.552	1			
Na_ppm	-0.069	0.676	-0.031	-0.019	0.345	-0.241	0.322	0.168	0.061	0.487	-0.214	0.336	0.323	0.498	0.045	-0.114	0.285	0.721	1		
Ti_ppm	-0.152	0.356	0.068	-0.039	0.069	-0.596	0.276	0.283	0.142	0.292	-0.571	0.344	0.463	0.121	-0.120	0.256	0.333	0.371	0.267	1	
Zn_ppm	0.074	0.587	0.211	0.151	0.213	-0.446	0.483	0.302	0.391	0.520	-0.460	0.540	0.496	0.388	0.153	0.070	0.441	0.535	0.399	0.351	1

Para el análisis de correlación múltiple utilizamos los valores de matriz de correlación, los cuales están presentados en la (Tab. III.4). Se determinan correlaciones positivas y negativas. Para los valores positivos que varían entre $> 0,5$ y < 1 (ej., 1.-0,9, 0,9-0,8), se buscan los pares geoquímicos correspondientes de cada rango (Tab. III.5). Para determinar los pares de la correlación negativa se hace exactamente lo mismo, solo que con los valores negativos y así se determinan las variables posibles correlacionables. Aunque el Au es muy importante, en este estudio de exploración, por este método de correlación múltiple no se correlaciona con ninguna variable, siendo el oro una variable independiente.

Tabla (III.5).- Resultado de la correlación múltiple.									
Coeficiente de correlación positiva					Coeficiente de correlación negativa				
1 - 0.9	0.9 - 0.8	0.8 - 0.7	0.7 - 0.6	0.6 - 0.5	(-0.7)-(-0.6)	(-0.6)-(-0.5)			
K-Al	Sc-Al	Mg-Al	Co-Al	Fe-As	Mo-Ca	Ti-Ca			
Sr-Ca	Sc-Co	As-Sb	Na-Al	Zn-Al		Mo-Sr			
	Ni-Co	Ni-Cu	Cu-Co	Sc-Cu		Ti-Sr			
		Ni-Sc	Fe-Co	Mg-Co		Fe-Ca			
		K-Sc	P-Co	Fe-Al		Fe-Sr			
		Na-K	K-Co	K-Fe		Fe-Sr			
			Fe-Sc	Mn-Co					
			P-Sc	Ni-Al					
			Mg-Sc	K-Ni					
			P-Fe	Fe-Cu					
			Ni-Fe	Zn-Fe					
			Ni-P	Zn-K					
			K-Mg	Zn-Sc					
				P-Al					
				Mn-Sc					
				K-P					

Para el Au, se confeccionó el mismo estudio de correlación múltiple, para determinar los pares de correlaciones que presente este elemento, para esto utilizamos los valores $> 0,1$ y $< 0,3$ de igual manera se toma en cuenta los valores tanto positivos como negativos.

No obstante que el Au es estadísticamente independiente, no se descarta una relación de distribución espacial con otros elementos, esto asociado a mineralización de sulfuros en vetas. Del análisis de correlación los valores más altos ocurren para los pares Sb-Au, Fe-Au, seguido por As-Au, Cu-Au y Mo-Au, entre otros (Tab. III.6).

Tabla (III.6).- Resultados de la correlación múltiple para el Au.					
Para el Au se tomarón los valores > 0.1 (+)			Para el Au se tomarón los valores > 0.1 (-)		
0.2-0.3	0.1-0.2			0.1-0.2	
Sb-Au	Cu-Au			Ca-Au	
Fe-Au	As-Au			Sr-Au	
	Mo-Au			Ti-Au	
	Co-Au			Mg-Au	
	Cr-Au				
	Ni-Au				
	Sc-Au				
	Mn-Au				

III.7.2.2.- Interpretación del análisis de factores rotados

Para mejorar la calidad en la estructura de los factores y obtener altas cargas factoriales para pocas variables, se realiza una rotación de ellos, aplicando el método de rotación Varimax (XLSTAT versión 2012.3.04) propuesto por Kaiser (1958; en Seguel, 1995), que es el más utilizado en este tipo de análisis.

La rotación de los factores es una herramienta importante para interpretar datos estadísticos. Esta significa un cambio de los ejes de referencia sobre el origen hasta que alcanza otra posición. El efecto de la rotación es redistribuir la varianza para obtener un patrón de factores con mayor significado. El criterio de esta rotación se centra en simplificar al máximo los vectores y trabajar con pocas variables de cargas altas con valores propios mayores a 1, lo que equivale a descargar la varianza de cada variable en menos factores (Castillo, 2008). Para esta simplificación es común realizar una rotación varimax de los factores, que permite obtener unas cargas más extremas (cercasas al -1 o al +1) y otras cargas cercanas al 0 (Seguel, 1995). El interés de esta rotación es que permite interpretar los factores mas fácilmente, al iniciar una asociación positiva o negativa clara entre las variables y el factor (o una ausencia de asociación si el valor esta cercano a 0).

El programa permite elegir el número de factores rotados, en este caso, al considerar la población total de datos y los 21 elementos, debido a que se generan asociaciones de elementos que presentan un comportamiento similar y que pueden reflejar procesos geológicos, esto en términos de asociaciones de elementos que representan asociaciones de minerales.

A partir de esta matriz de correlación y aplicando el Método del Componente Principal se extraen 21 factores que explican el 100% de varianza del sistema.

Lógicamente, el número de factores extraídos, debe ser reducido para obtener una información más sintética de los datos, por esta razón, se emplea el criterio propuesto por Kaiser (1958; en Seguel, 1995), eligiendo los factores cuyos valores propios son mayores a 1. Para este estudio se eligieron los primeros cinco factores que tienen un valor propio superior a 1, representando una varianza total de 75.1%

En la tabla. III.7 se pueden observar las cargas factoriales de los 5 factores elegidos, destacándose la celda en color ocre y número negro, aquellas cargas positivas superiores a 0,5. Se utiliza este valor dado que las cargas que resultaron para los 5 factores son bajas y se buscó el valor más apropiado para realizar la interpretación sin que se saliera de los rangos propios del análisis.

El factor está representado por la variable con mayor carga factorial para ese factor en particular utilizando sus valores tanto positivos (+), como los (-). Se determinan las asociaciones de elementos para cada factor enmarcados en color ocre, los valores (+) y (-) representan condiciones específicas, si en un factor existe altos valores positivos, indica una relación directa entre la variable y el factor. Por su parte los altos valores negativos determinan una relación inversa es decir cuando se incrementa un elemento que posee una elevada carga positiva en un factor específico, el elemento con elevada carga negativa debería disminuir. A continuación se detallan dichas asociaciones (Tab. III.8), con los elementos ordenados de modo decreciente, en relación a su carga para cada factor:

Tabla (III.7).- Cargas factoriales					
Variable	F1	F2	F3	F4	F5
Au_ppm	0.172	0.116	-0.093	0.2	0.704
Al_ppm	0.422	0.091	0.848	0.042	-0.037
Sb_ppm	0.015	0.171	-0.049	0.872	0.059
As_ppm	0.05	0.06	-0.02	0.928	0.049
Ba_ppm	-0.041	0.073	0.556	-0.003	0.557
Ca_ppm	-0.15	-0.919	-0.171	-0.166	-0.02
Co_ppm	0.854	0.063	0.358	0.115	0.003
Cu_ppm	0.744	0.379	0.066	0.005	0.116
Cr_ppm	0.425	0.481	-0.103	0.014	0.174
Sc_ppm	0.761	0.004	0.572	0.024	-0.023
Sr_ppm	-0.135	-0.875	-0.186	-0.16	0
Fe_ppm	0.513	0.32	0.378	0.594	0.014
P_ppm	0.543	0.338	0.325	0.302	-0.234
Mg_ppm	0.42	-0.245	0.693	-0.112	-0.142
Mn_ppm	0.676	-0.392	0.076	-0.037	0.235
Mo_ppm	-0.012	0.781	-0.272	0.091	0.164
Ni_ppm	0.842	0.274	0.237	0.096	-0.022
K_ppm	0.371	0.188	0.824	0.058	0.043
Na_ppm	0.031	0.119	0.833	-0.027	-0.009
Ti_ppm	0.132	0.612	0.304	-0.043	-0.44
Zn_ppm	0.33	0.334	0.501	0.195	-0.037

Tabla (III.8).- Correlación de factores

Factor 1: +Co, +Ni, +Sc, +Cu, +Mn, +P, +Fe.

Factor 2: -Ca, -Sr, +Mo, +Ti.

Factor 3: +Al, +Na, +K, +Ba, +Sc, +Mg, +Zn.

Factor 4: +As, +Sb, +Fe.

Factor 5: +Au, +Ba

En base a estas observaciones se considera el factor 5 como el principal indicador que contiene Au (Tab. III.8), junto con Ba, sugerente de mineralización aurífera con baritina. El factor 4 se puede considerar como un factor que se relaciona en algunos depósitos minerales con Au.

Estos dos factores están constituidos por los elementos Au, As, Sb de carácter calcófilo, es decir con fuerte afinidad con el azufre (Rankama y Sahama 1949). Estos

forman fácilmente sulfuros y se recomiendan como elementos indicadores y guías en la exploración geoquímica.

Por otra parte, las asociaciones de elementos de los factores 1, 2 y 3 son de tipo litófilo (Rankama y Sahama 1949), ya que la gran mayoría de los elementos que constituyen estos factores son formadores de silicatos y por lo tanto se encuentran representando la litología del área. Estos factores incluyen al Cu y Mo, que son elementos de carácter calcófilos, pero en el área de estudio superficialmente no se manifiestan minerales que puedan contener estos elementos y la respuesta que se manifiesta con el estudio de geoquímica es baja, por lo tanto se considera que estos dos elementos Cu y Mo son parte de la litología local del área.

El factor 2 en particular presenta cargas negativas para el Ca y Sr, y positivas para el Mo, Ti. Esto explica una relación inversa entre mineralización de Mo, Ti, las cargas positivas se representa en las vetas y posiblemente las cargas negativas se den en un ambiente de vetas carbonatadas y contenido litológico donde puede manifestar esta asociación Ca-Sr.

En resumen, podemos definir que el factor 4 y 5 son los de mayor importancia por los resultados que presentan, donde se involucra al Au como principal elemento económico a explorar y sus elementos traza relacionados a él, como el As y Sb, esta última también de acuerdo a los mejores valores de concentración para el Au.

III.7.2.3.- Distribución espacial de los factores rotados

Los resultados obtenidos en el análisis de factores (Tab. III.7) son plotados en ArGis para observar su distribución espacial en el área de estudio, los datos que fueron plotados se agregan el anexo (F 4) y se grafican en las figuras III.6-III.10.

Los factores 1, 2 y 3 tienen una distribución en el área que en general se relaciona con litología local, ya que estos elementos tienden a ser formadores de roca, principalmente en silicatos (Figus. III.6.a III.8).

Los factores 4 y 5 se distribuyen principalmente en las vetas y en las zonas de alteración hidrotermal y son considerados del tipo calcófilos ya que tienden a relacionarse con el Au, y generalmente forman sulfuros.

III.7.2.3.1.- Distribución espacial del factor 1

Este factor contiene al elemento Cu. Como podemos ver en la figura III.6 existen valores altos relacionados con vetas, a partir de la cual se interpreta que el Cu es considerado de origen hidrotermal y se representa su distribución espacial en estas. El resto de los valores bajos son interpretados al contenido litológico local del área de estudio.

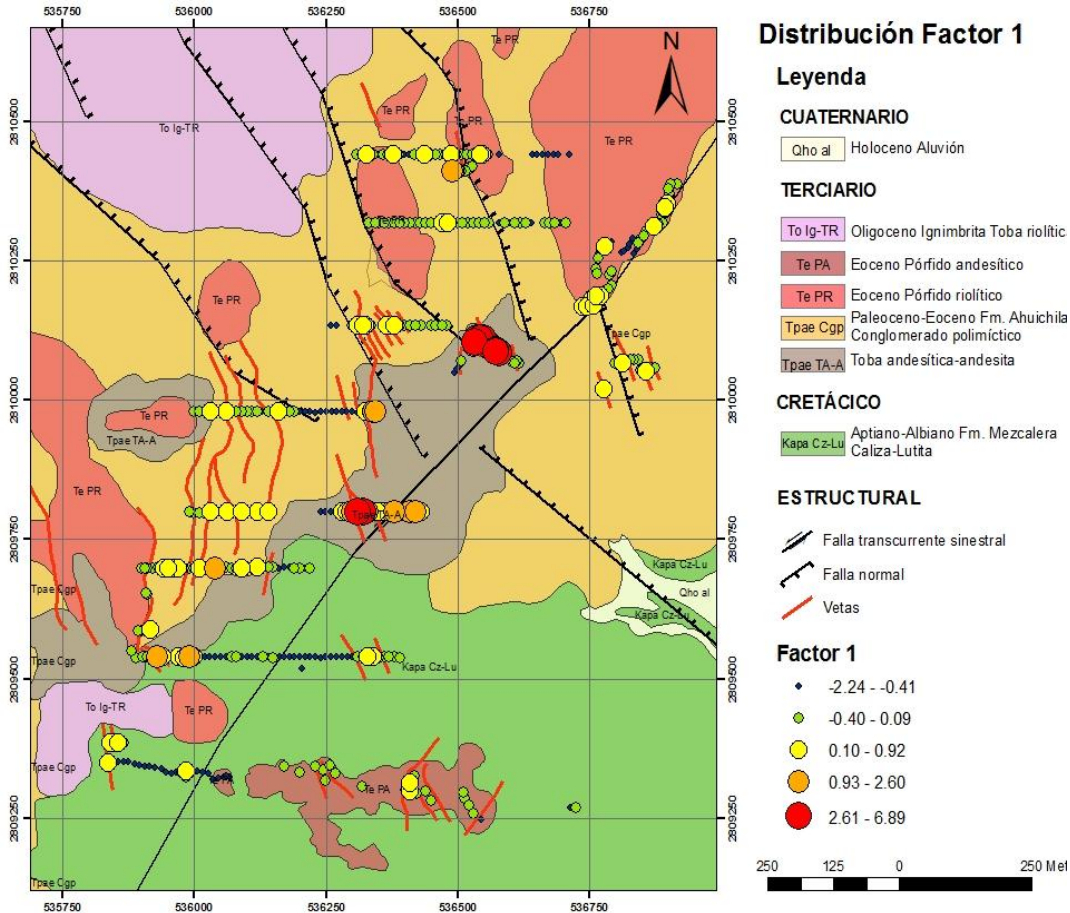


Figura III.6.- Ploteo del factor 1 (Co, Ni, Sc, Cu, Mn, P y Fe) en que los elemento asociados a este tienen relación geológica con estructuras vetiformes, pero no generan anomalía de importancia económica.

III.7.2.3.2.- Distribución espacial de factor 2

En el factor 2 se tienen cargas factoriales negativas para el Ca y Sr, cargas factoriales positivas para el Mo y Ti. Esto se refleja en la figura III.7, donde se aprecian valores altos relacionados con vetas, se interpretados que las cargas positivas pertenecen de valores altos del Mo y Ti. La relación indica que Ca y Sr se comportan opuestos a los elementos Mo y Ti. El Ca y Sr con cargas negativas se relacionan al contenido litológico del área constituida de caliza, arenisca, lutitas, andesita, conglomerado calcáreo y riolita con vetilleo de calcita, siendo en estas rocas donde pueden manifestarse estos elementos en el área de estudio.

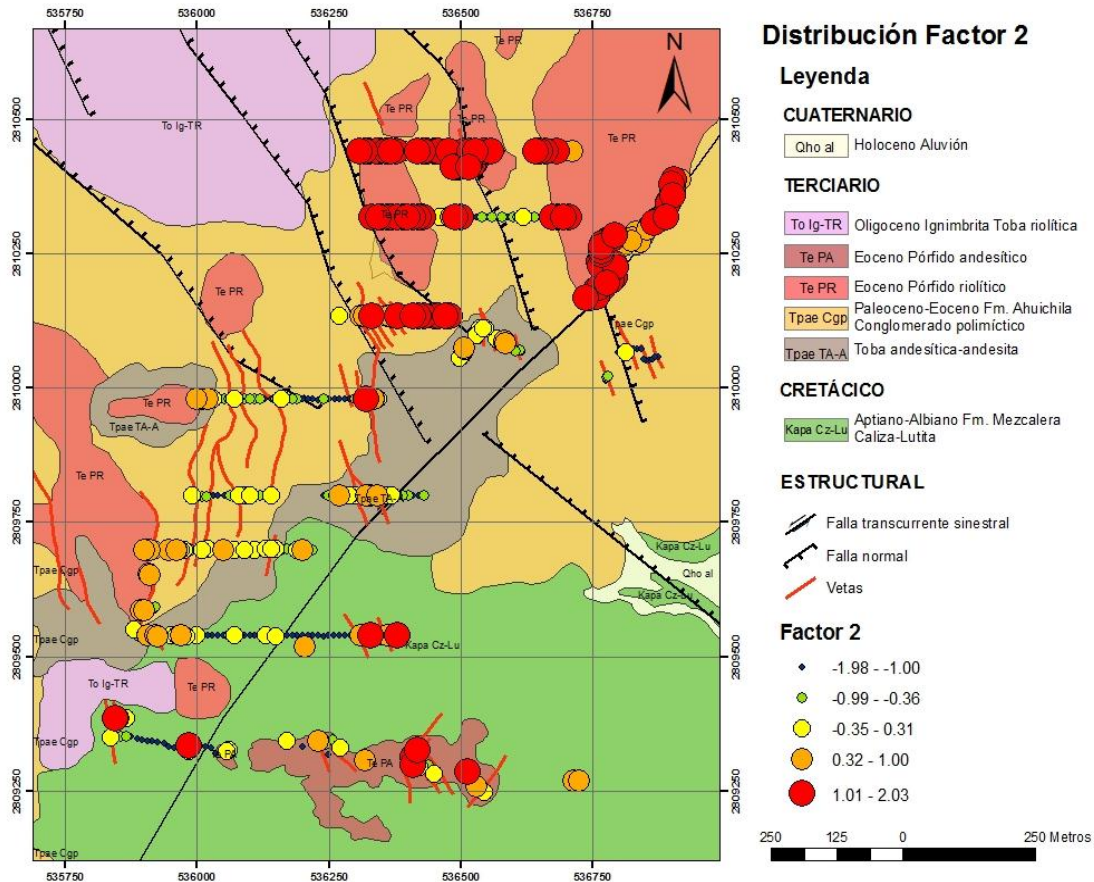


Figura III.7.- Ploteo del factor 2 (Ca, Sr, Mo y Ti) en que los elemento asociados a este tienen relación geológica con los cuerpos hipabisales de composición riolítica y con estructuras vetiformes, pero son considerados dentro del contenido litológico local.

III.7.2.3.3.- Distribución espacial del factor 3

El factor 3 no contiene ningún elemento que se considere de interés para la exploración. Los elementos en correlación están ligados al contenido litológico local. Los valores altos que presenta pueden estar relacionados con Al pero este elemento se integra a las alteraciones hidrotermales fílica, en concentraciones menores, que no llegan a generar una anomalía en el área local, el elemento Zn, se puede relacionar a las vetas pero no genera una anomalía que pueda ser considerable en este estudio (Fig. III.8).

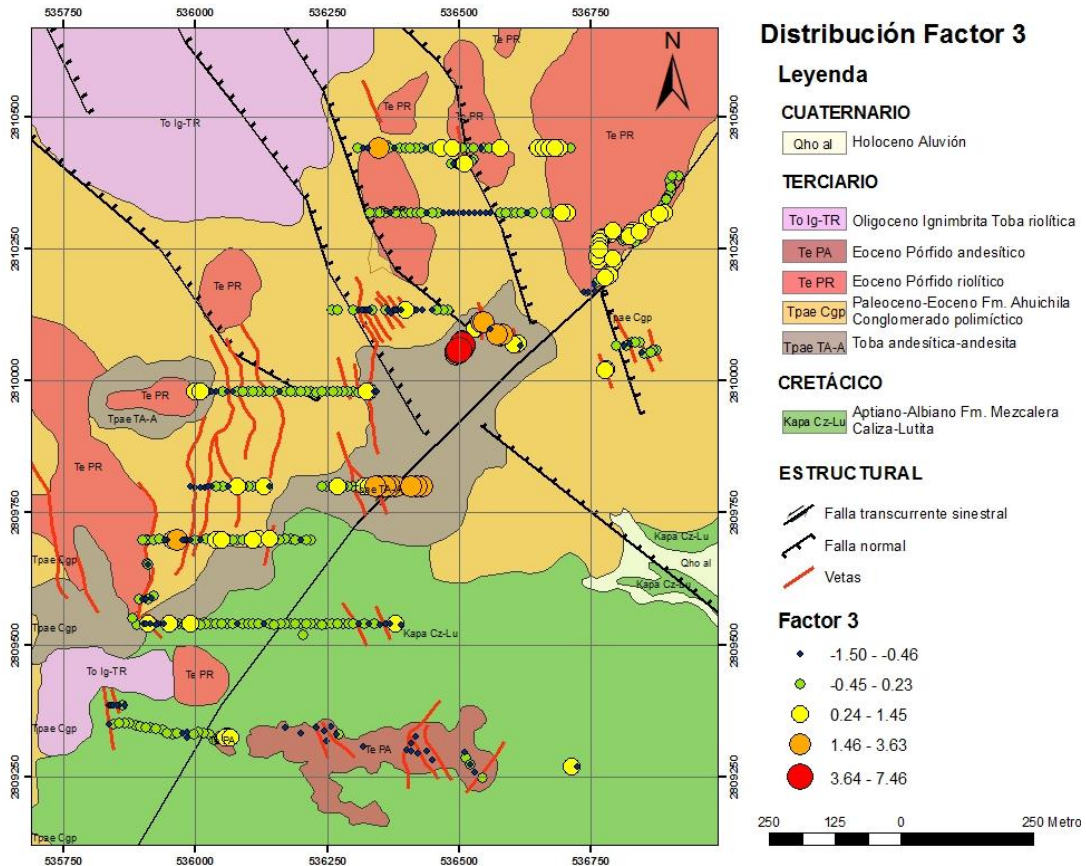


Figura III.8- Ploteo del factor 3 (Al, Na, K, Ba,Sc, Mg y Zn), en que los elementos asociados a este, tiene su mayor relación geológica con la litología local y menos con estructuras vetiformes.

III.7.2.3.4.- Distribución espacial del factor 4

El factor 4 presenta los elementos As y Sb con mayor afinidad a formar sulfuros que pueden estar asociados al oro (Fig. V.9). Se observa que los valores altos de estos elementos están relacionados a las vetas y al emplazamiento de cuerpos subvolcánicos con alteración argílica y fílica, los valores bajos se relacionan al contenido litológico local del área de estudio.

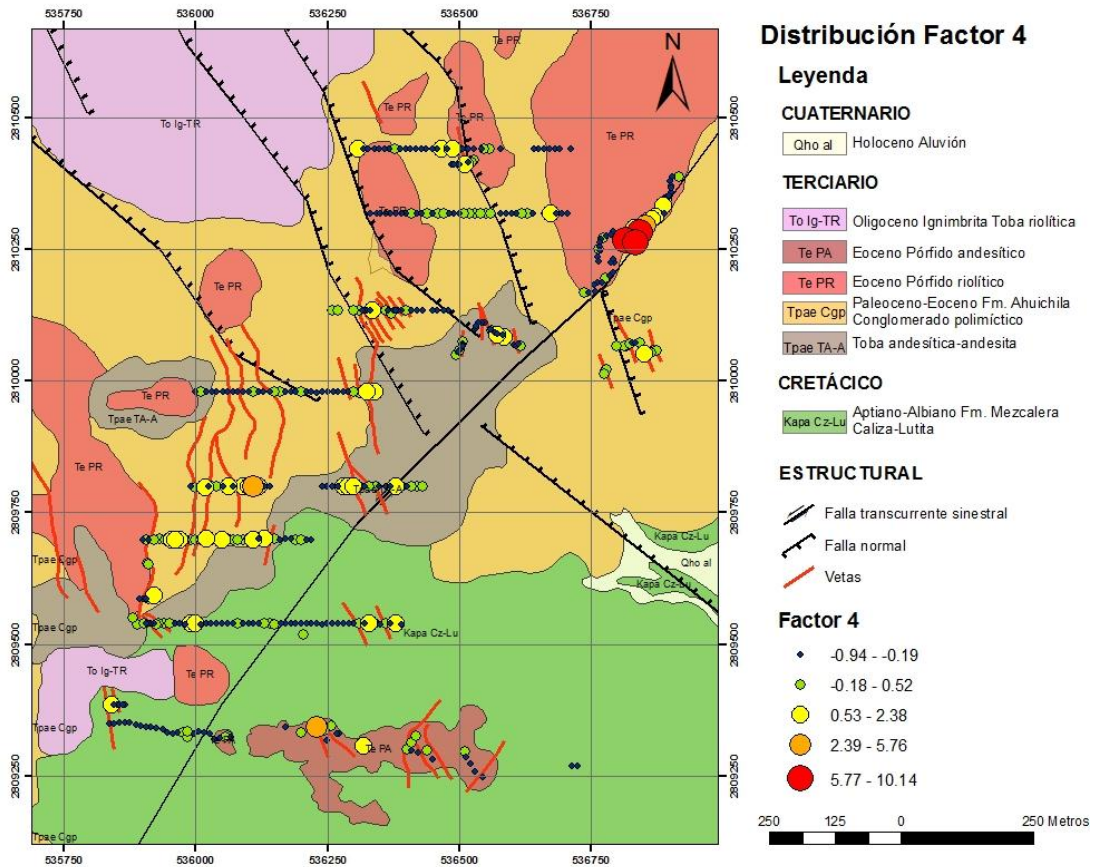


Figura III.9.- Ploteo del factor 4 (As y Sb) en que los elemento asociados a este tienen su mayor relación geológica a cuerpos subvolcánica riolítica y la litología local, poco con estructuras vetiformes, posiblemente asociado al Au.

III.7.2.3.5.- Distribución espacial del factor 5

El factor 5 se compone de los elementos Au y Ba (Fig. III.10). Como se puede apreciar, la única relación del Au es con el Ba. En distribución espacial Au y Ba se manifiestan con mayor acumulación o intensidad en las vetas o muy cercana a ellas. Los valores altos están íntimamente relacionados a las vetas del área de estudio. Siendo estas las blancas con mayor posibilidad a explorar el Au. El resto de los valores bajos se interpreta como parte del contenido litológico local.

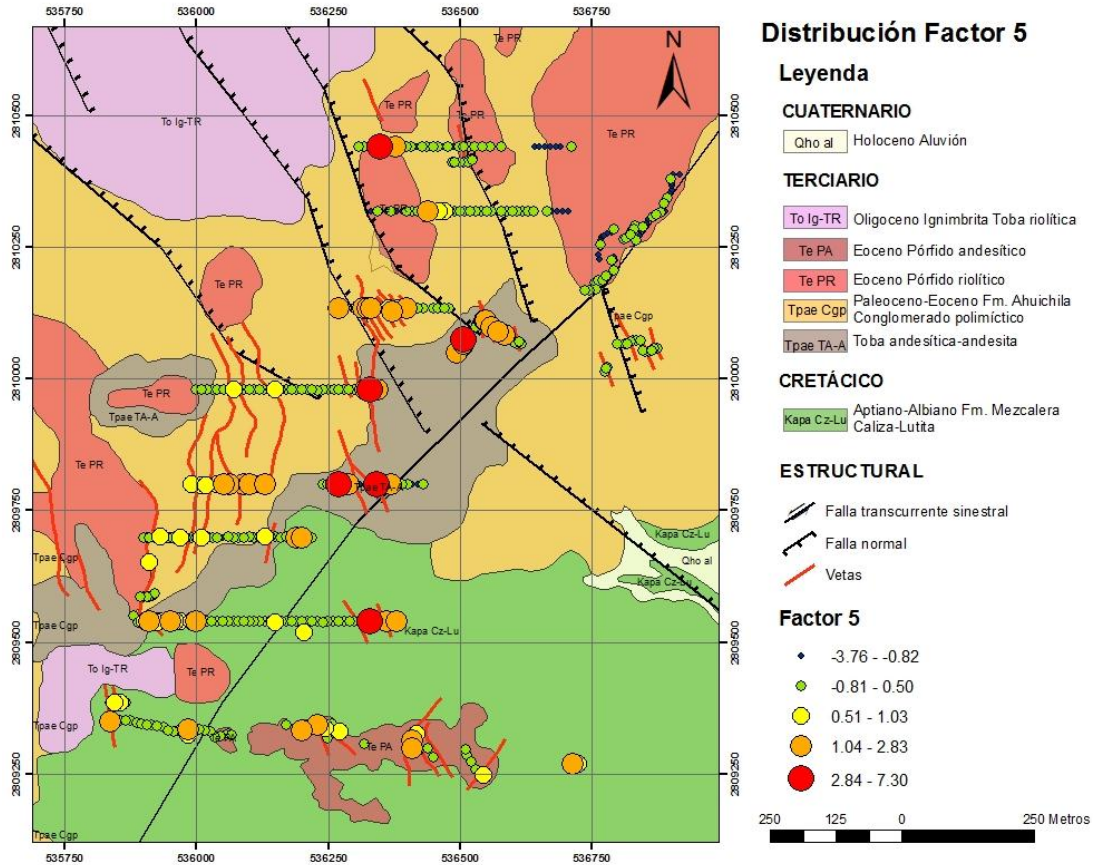


Figura III.10.- Ploteo del factor 5 (Au y Ba) en que el elemento Au presenta una asociación muy importante con las vetas, litología local y rocas subvolcanicas.

III.7.3.- Análisis de Población de elementos de interés

III.7.3.1.- Distribución de frecuencia y poblaciones

Se realizó una distribución normal y log-normal de una campana Gaussiana utilizando histogramas, distribución acumulada y probabilidad acumulada de los principales elementos (Fig. III.11 - III.13) que se consideran importantes para la exploración de depósitos minerales del área de estudio As, Sb y Au. Donde se busca reconocer las poblaciones de datos que representen a estos elementos y definir cuales de estas poblaciones representadas en los gráficos pertenecen a las concentraciones litológico del área y cuales pueden presentar una anomalía mineralógica en la zona de estudio.

Los histogramas muestran la distribución normal y log-normal de los datos en una campana Gaussiana.

La distribución acumulada compara los datos en de una población empírica y teórica normal y log-normal, indicando que existe la probabilidad de que los datos se distribuyen mejor hacia una población log-normal, donde las poblaciones empíricas y teóricas se hacen muy semejantes.

La probabilidad acumulada nos representa las poblaciones de acuerdo al cambio de valores que se presentan, de menor a mayor valor, conocido como cambio de pendiente, cada cambio de pendiente representa una población, cada población son cambios de valores y así estos datos generan valores que van variando dependiendo de las concentraciones que presentan las muestras.

III.7.3.2.- Gráficos de distribución de frecuencia

III.7.3.2.1.- Distribución del As

Estos gráficos muestran las concentraciones de los elementos con una probabilidad de que los datos se distribuyen mejor hacia una población log-normal apreciándose mejor en la grafica de probabilidad acumulada donde los cambios de pendientes indican diferentes poblaciones de datos de este elemento. Según la estadística, para este elemento tenemos una media de 71,53, con una desviación estándar de 150,29, y umbral de 372 todo en ppm. Según Levinson (1980), (Tab. III.7), el

promedio de concentración en la corteza terrestre para este elemento es de 1,8 ppm, lo que indica claramente que los valores locales están por encima de este promedio, interpretándose como una anomalía local de este elemento en la zona de estudio.

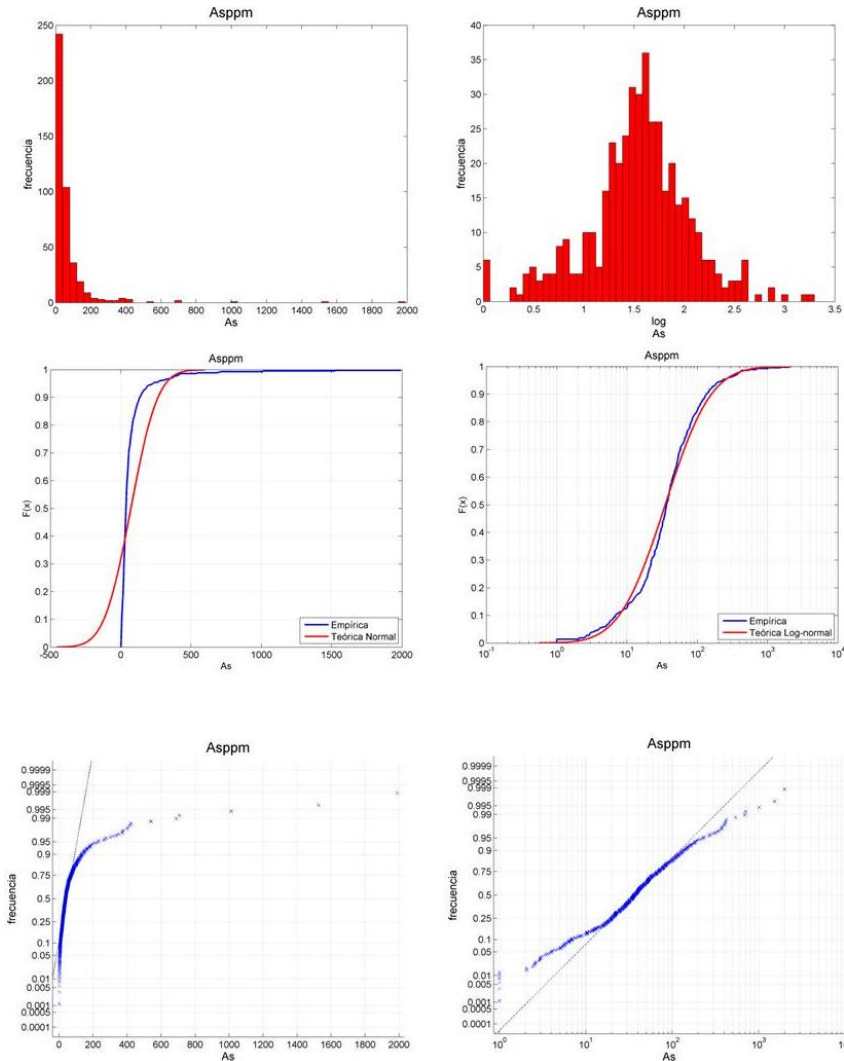


Figura III.11- Distribución del As, mostrando del lado izquierdo los gráficos normales y del lado derecho log-normales.

Distribución del Sb

En estos gráficos también se observa que los datos tienden a comportarse de manera log-normal, es donde se aprecian mejor las concentraciones de poblaciones, la probabilidad acumulada muestra los cambios de pendientes que indican diferentes poblaciones de datos de este elemento, según la estadística. Para este elemento

tenemos una media de 8,92, con una desviación estándar de 13,55, y umbral de 36 todo en ppm. Según Levinson (1980), Tab. III.7, el promedio de concentración en la corteza terrestre para este elemento es de 0,02 ppm, lo que indica claramente que los valores locales están por encima de este promedio, interpretándose que existen datos que representan una anomalía local de este elemento en la zona de estudio

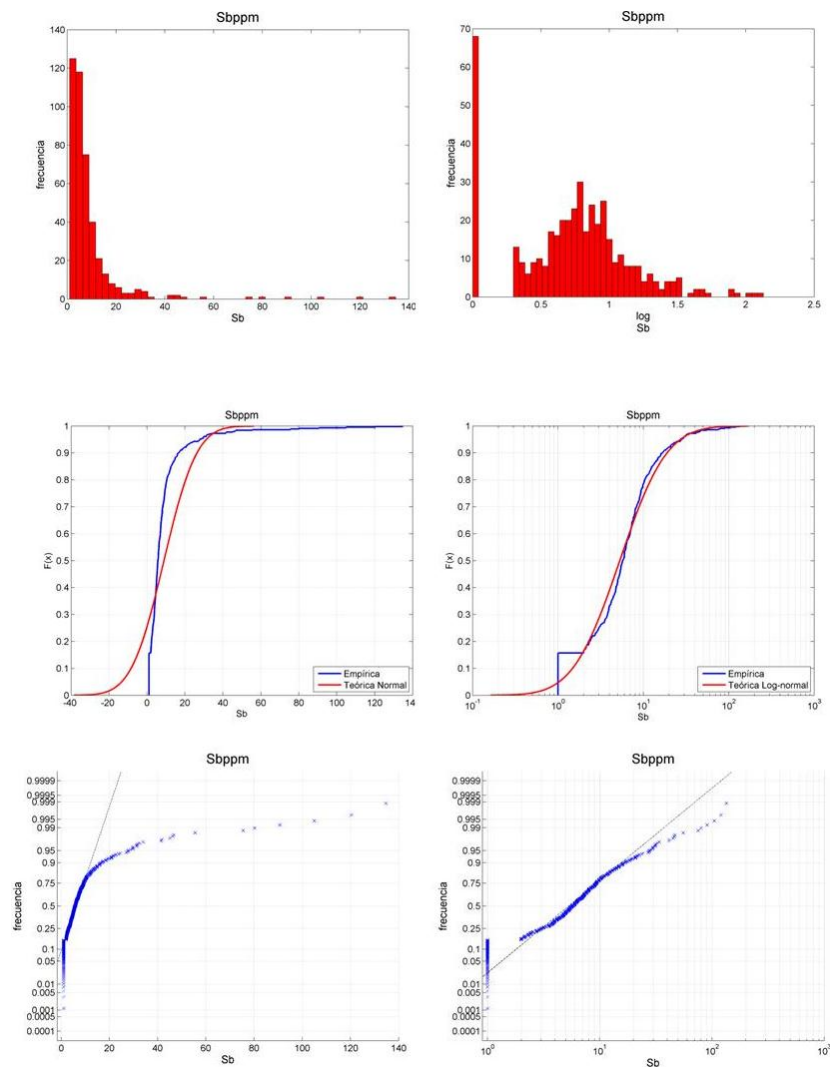


Figura III.12.- Distribución del Sb, mostrando del lado izquierdo los gráficos normales y del lado derecho log-normales.

Distribución del Au

Los gráficos muestran que los datos analíticos de geoquímica, tiene una tendencia a log-normal. Las concentraciones de este elemento se aprecia en los cambios de pendientes de la probabilidad acumulada, indican diferentes poblaciones de datos de este elemento, según la estadística. Para este elemento tenemos una media de 24, con una desviación estándar de 35, y umbral de 94 todo en ppb. Según Levinson (1980), Tab. III.7, el promedio de concentración en la corteza terrestre para este elemento es de 0,4 ppb, esto se interpreta que los datos por arriba del umbral, representan una anomalía local de este elemento en la zona de estudio

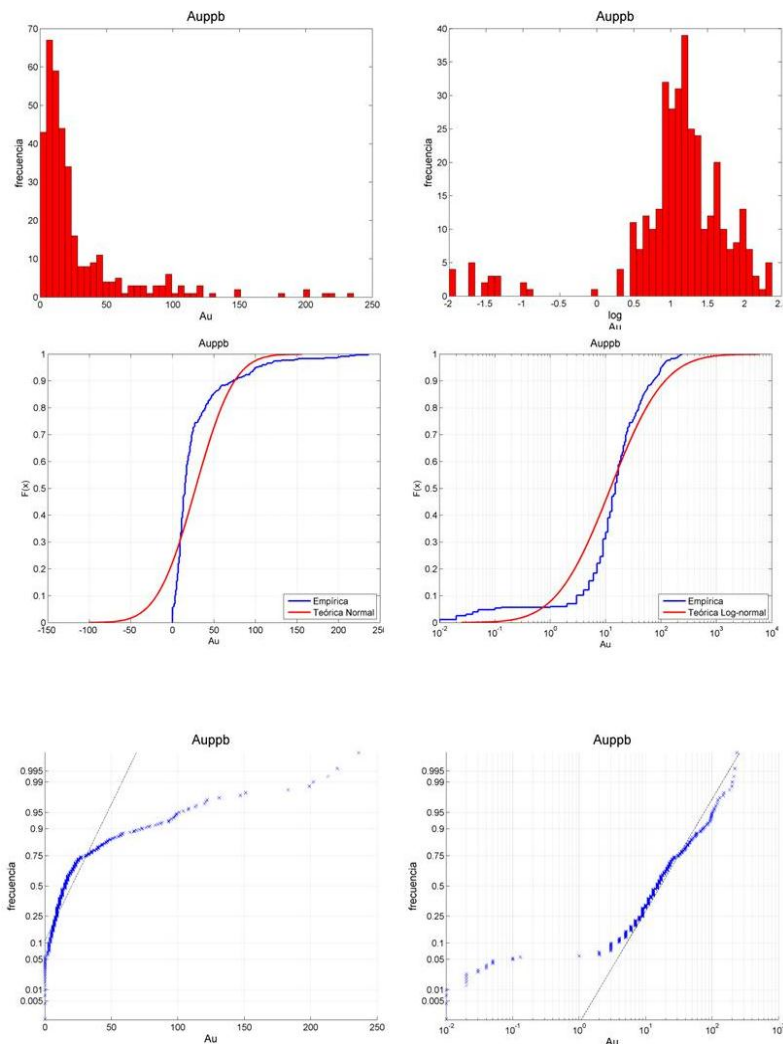


Figura III.13.- Distribución del Au, mostrando del lado izquierdo los gráficos normales y del lado derecho log-normales

IV. DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS

Es este capítulo se presenta una integración de toda la información recopilada y/o generada en este estudio. La integración de información permite una interpretación transversal para efectos de evaluación de la región de estudio y determinación de sectores de interés exploratorio como ambientes hidrotermales del tipo epitermal de metales preciosos.

La integración de resultados incluye la determinación de asociaciones y/o ocurrencias minerales, edades geocronológicas, caracterización mineral, estudios de inclusiones fluidas y geoquímicos, para la interpretación de ambientes hidrotermales y potenciales yacimientos. Se busca evaluar la zona de estudio para efecto de realizar una propuesta de sitios donde se determine que exista un potencial de encontrar concentraciones de minerales económicos en la zona.

Los datos considerados en la interpretación incluyen el mapeo a escalas 1:20.000 y 1:2.000 y los muestreos para: geoquímica, geocronología, inclusiones fluidas, mineragrafía, petrografía y difracción de rayos X.

Tomando como punto de partida los depósitos conocidos de la misma franja metalogénica son considerados como de tipo epitermal (e.g. Camprubí *et al*, (2003)), se ha desarrollado este trabajo sobre la hipótesis de que los tipos de alteración hidrotermal y mineralización son de carácter epitermal.

IV.1.- Distribución espacial

En el área El Refugio se realizó un muestreo geoquímico orientativo que ha permitido destacar ambientes de vetas de mayor potencial de exploración, por posibles yacimientos epitermales de metales preciosos de baja sulfuración.

En una perspectiva de prospección el elemento principal a explorar es el Au, los elementos As y Sb propuestos como elemento trazadores para la búsqueda de Au, pero no siempre ligados.

Los resultados de los estudios geoquímicos muestran áreas de interés solamente por Au, descartándose Ag, Pb, y Zn elementos comunes en este tipo de yacimientos. Se sugiere que estos ambientes encontrados en este estudio, corresponden a niveles epitermales someros solamente auríferos.

Para evaluar la distribución espacial de los elementos considerados importantes a explorar, en el que destaca el oro, este en posible relación con elementos guías entre estos As y Sb. La distribución espacial se estudió mediante el uso del Software ArcGis 9.3. En este software se determinaron rangos de valores mediante la metodología de quiebres naturales, esto según la curva de distribución de frecuencia (capítulo III).

La distribución de los elementos permite identificar potenciales blancos de interés exploratorio. La ubicación de zonas con desarrollo de anomalías de contraste positivas para Au, As y Sb se puede ver en las figuras IV.1 a IV.3.

Los valores que se disparan con mayor concentración de Au, que representan la anomalía de contraste local se concentran en las vetas (Fig. IV.1). Por lo general estas son de cuarzo blanco calcedónico a lechoso y calcita blanca a beige amarillenta en ocasiones hojosas, con estructura bandeada y esporádicamente con piritita diseminada y vetilleo de hematita.

Distribución del Au

En la figura IV.1, se muestra la geología y la distribución geoquímica del Au. Si consideramos que el *background* local de Au es de 0,024 ppm (Tab. III.2) y el promedio en abundancia de la corteza terrestre es de 0,004 ppm (Tab. III.3); Levinson, 1980), podemos apreciar que los valores anómalos por arriba del *background* local de este elemento están en color azul y amarillo umbral que es 6 veces más alto que los valores de la corteza. Los valores que generan una anomalía de contraste positivo en el área de estudio corresponden principalmente a muestras de estructuras vetiformes y esporádicamente al emplazamiento de cuerpos subvolcánicos.

En el análisis de factores, según la tabla III.7, el factor 5 contiene al elemento Au, con menor Ba, y no presenta ninguna correlación con otros elementos. Esto sugiere que el oro se encuentra libre, y se asocia en su mayoría con el sistema de vetas de rumbo NW-SE, y N-S y en menor parte a los cuerpos intrusivos hipabisales representados en el área, posiblemente con ganga de baritina en vetillas.

MAPA GEOLÓGICO A DETALLE

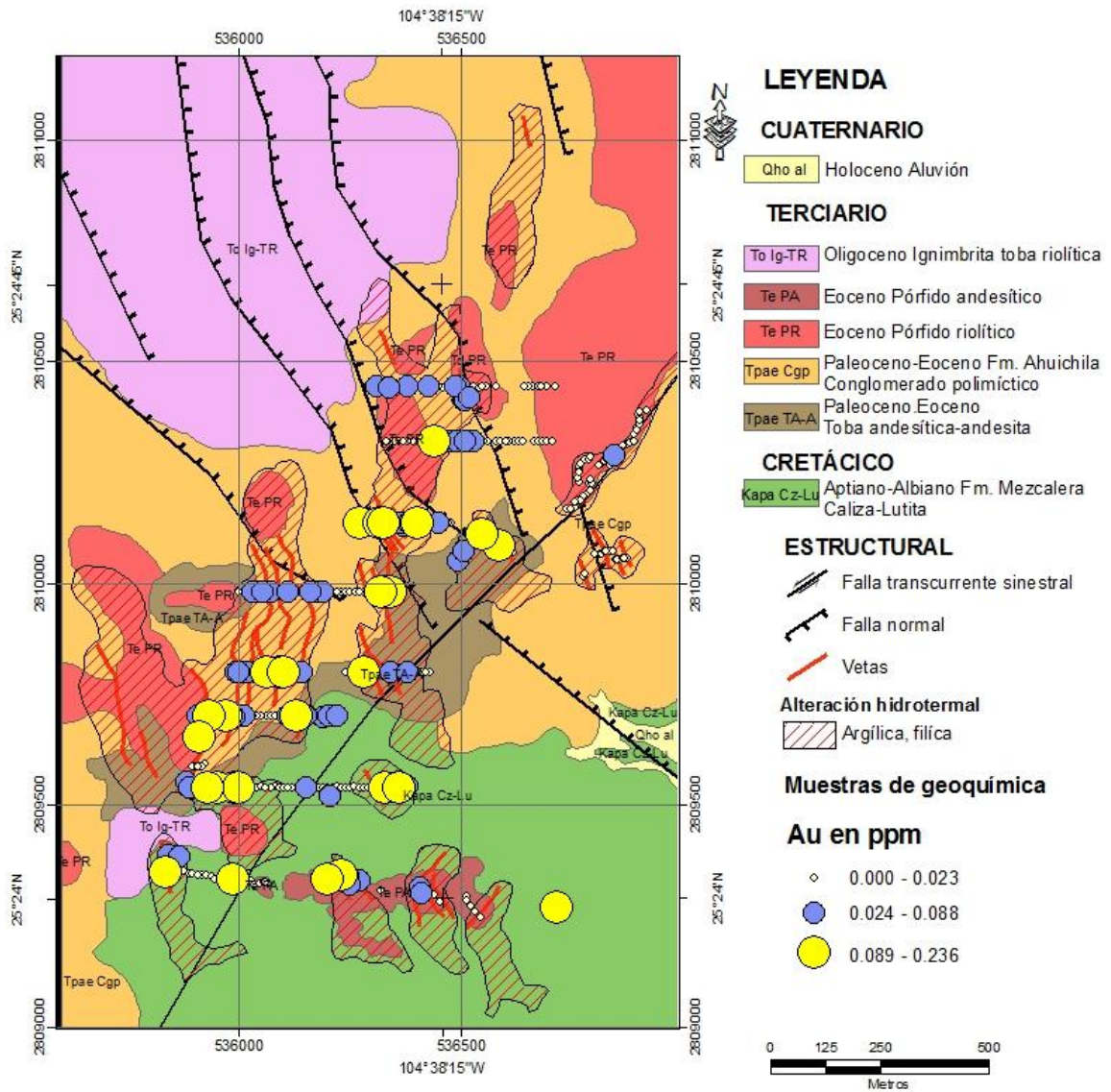


Figura IV.1.- Dispersi3n del Au, en amarillo y en azul se representan los valores m3s altos por arriba del *background* local, 0,24 ppm.

Distribuci3n del As y Sb

Estos elementos se distribuyen de manera muy semejante entre si, pero con poca relaci3n con Au. En algunas vetas ocurren estos elementos, pero en general el As y Sb presentan una relaci3n espacial m3s cercana a cuerpos subvoc3nicos tanto de composici3n riol3tico como andes3tico (Figs. IV.2 y IV.3).

Considerando el *background* local del As en 71,5 ppm y del Sb en 8,92 ppm (Tab. III.2) con un promedio para la corteza terrestre de 1,8 ppm (As) y de 0,02 ppm (Sb) (Tab. III.3; Levinson (1980)), se determinan concentraciones elevadas en la zona de estudio respecto a la corteza terrestre. En las figuras IV.2 y IV.3 se muestra la geología del área de estudio y la distribución de concentraciones de los elemento As y Sb en las muestras tomadas. Se puede apreciar que en el sector oriental de la zona de estudio se manifiestan anomalías de contraste positivo para estos elementos. Estas se asocian a una zona de brecha hidrotermal adyacente y relacionada con el emplazamiento del pórfido riolítico. En los sectores centro y sur del área de estudio también se aprecia la existencia de estos elementos con anomalía de contraste positivo relacionado con los cuerpos subvolcánicos y en forma discreta en las vetas, siendo en estas donde los valores de Au se manifiestan con mayor concentración.

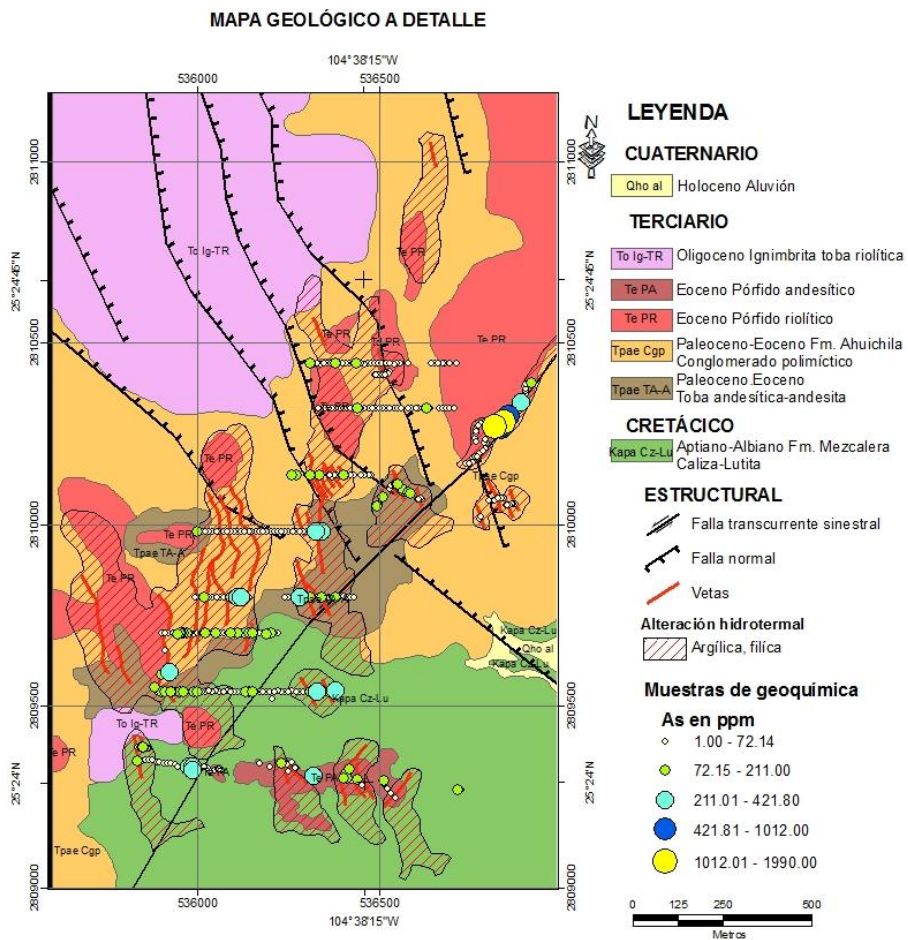


Figura IV.2.- Dispersión del As del amarillo al verde se representan los valores más altos por arriba del *background* local, 71,5 ppm.

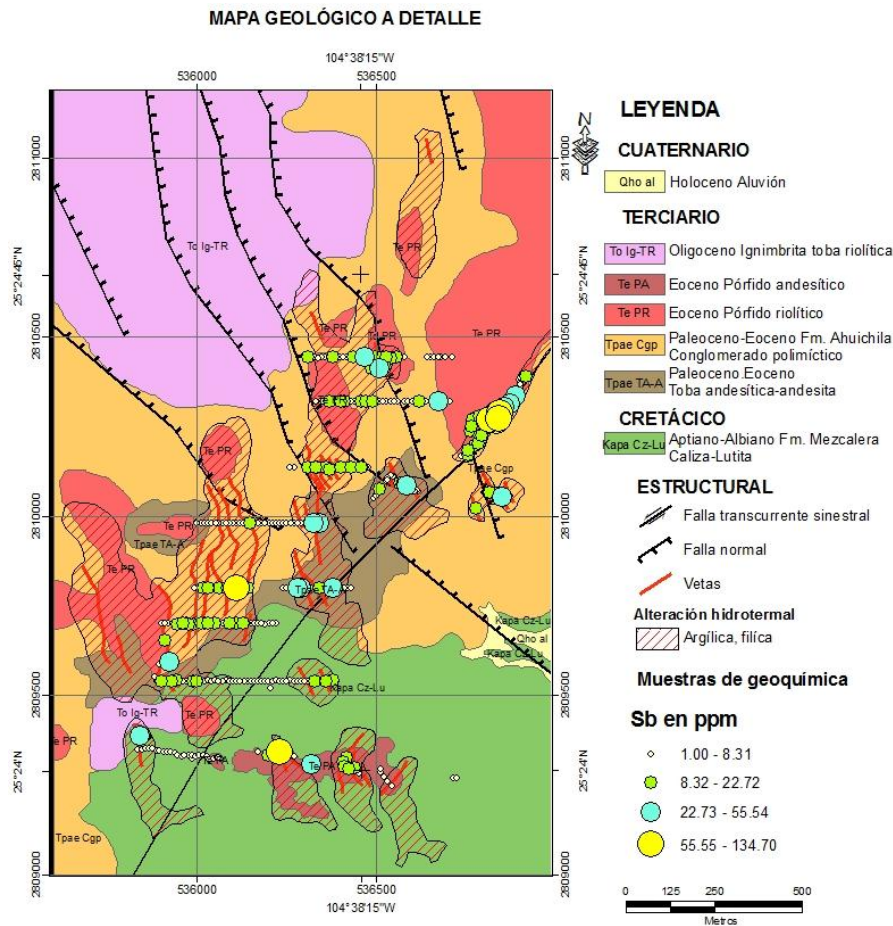


Figura IV.3.- Dispersi3n del Sb del amarillo al verde se representan los valores m3s altos por arriba del *background* local, 8,92 ppm.

IV.2.- Discusi3n de las secciones de muestreo geoqu3mico realizado en terreno

Con el fin de visualizar las anomal3as naturales de oro y su relaci3n directa con la geol3gia y estructuras mapeadas en el 3rea de estudio se realiz3 el siguiente an3lisis.

En el programa Adobe Illustrator CS5.1 se plotearon los datos de geoqu3mica de las 9 secciones geoqu3micas realizadas en terreno (Fig. IV.4), mostrando los perfiles de las distribuciones de los elementos Au, As y Sb, para cada secci3n (Fig. IV.5). Se consideraron a estos los elementos As y Sb gu3as o trazadores en la b3squeda del elemento principal Au. Con esto se intent3 visualizar la relaci3n geol3gica real que puedan tener estos elementos en la zona de estudio.

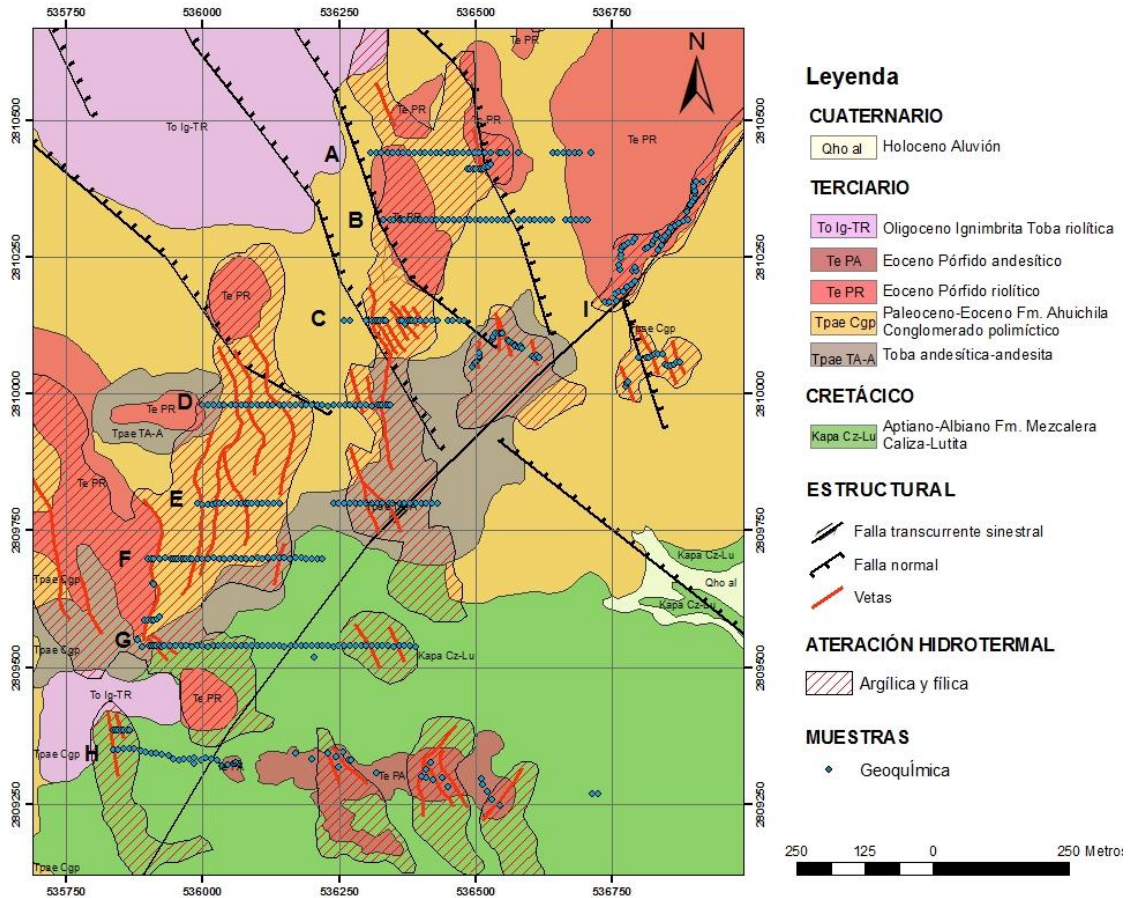


Figura IV.4.- Distribución de las 9 secciones realizadas en terreno, 8 de ellas (A-H) realizadas E-W, más la I, orientada NE-SW

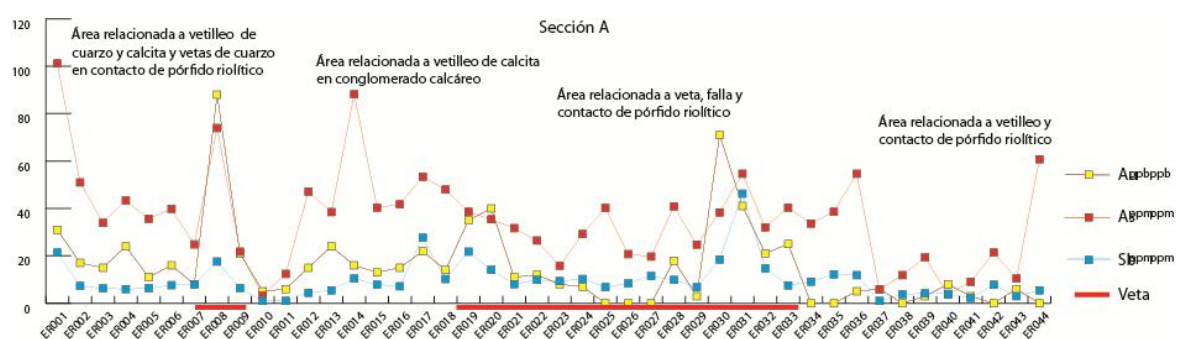
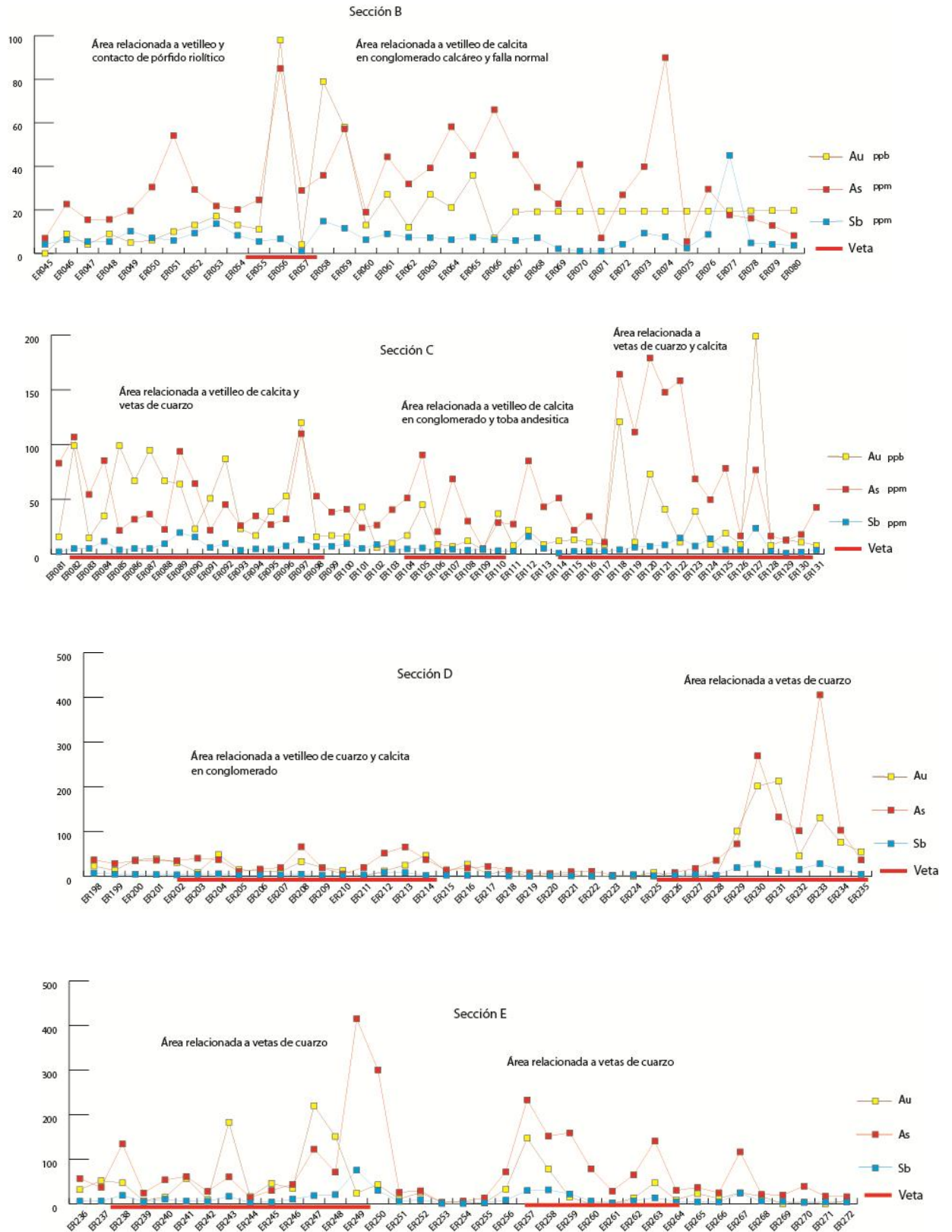
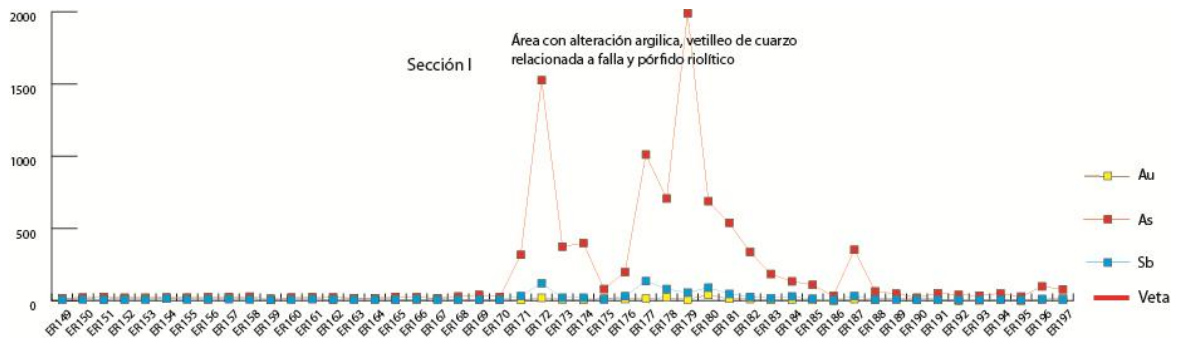
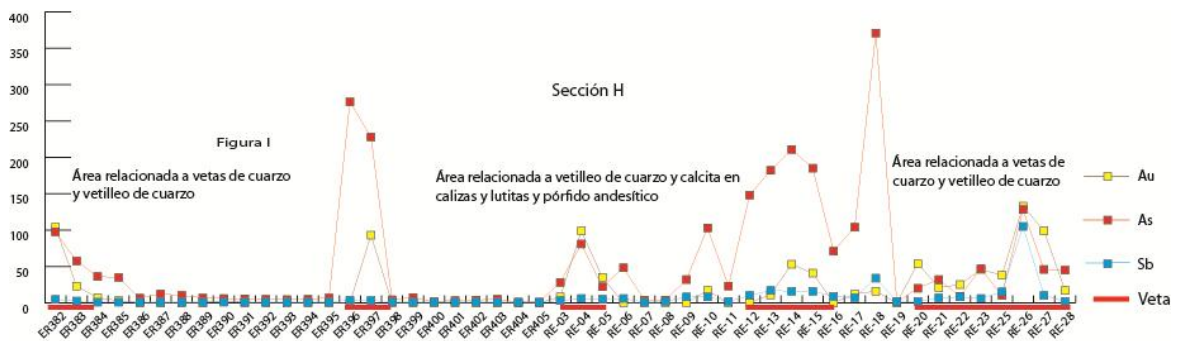
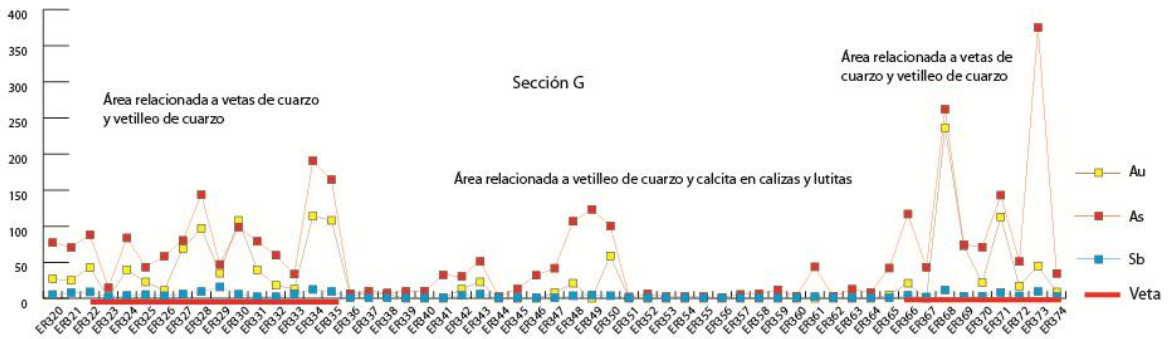
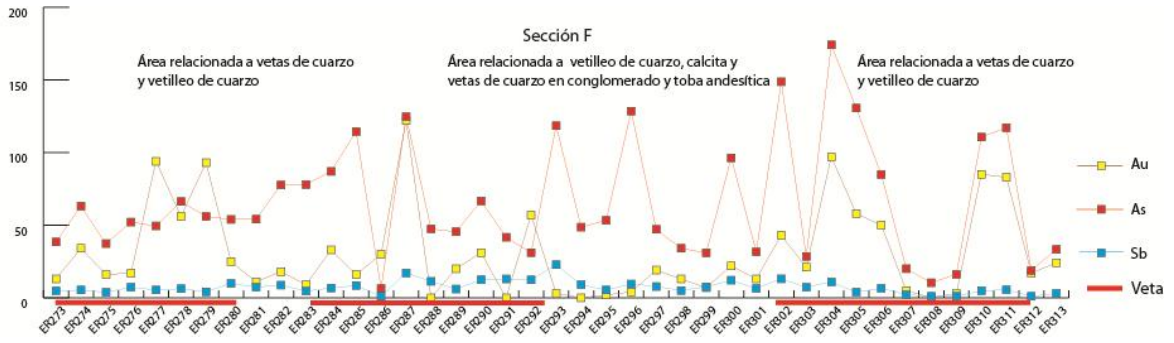


Figura IV.5.- Representación gráfica de las secciones realizados en terreno, mostrando los perfiles de la dispersión que guardan los datos reales y su relación en el contexto geológico al que pertenecen las áreas donde se manifiestan los valores de Au, As y Sb.



Continuación Figura IV.5



Continuación Figura IV.5

En estos gráficos de la sección A hasta la H de rumbo E-W (Figs. IV.4 y 5), se puede apreciar que existen valores dispersos del elemento Au, Sb y As, con una fuerte relación a las estructuras vetiformes, al emplazamiento de cuerpos subvolcánicos y a las alteraciones hidrotermales argílica y fílica principalmente. Se observa claramente que los elementos con mayor variabilidad en concentración son los que se relacionan a las vetas, siendo en estas estructuras donde se aprecia que estos tres elementos (Au, As y Sb) tienen relación y se presentan en forma conjunta.

Las muestras fueron colectadas en las rocas a una distancia de 10 m y en la zona de vetas a cada 5 m, las secciones presentan distintos números de muestras, sus distancias varían dependiendo de la cantidad de vetas que corta la sección. Por lo tanto, las secciones A a C, tienen una extensión de 350 m y se componen por 44, 36 y 51 muestras respectivamente. En la sección C de la figura IV.4, en el centro del área del muestreo, se dejó de muestrear por contenido de regolito que no fue mapeado y se continuó más al sur donde afloran algunas vetas.

Las secciones D a F tienen un largo de 300 m y un total de muestra de 38, 37 y 41, respectivamente. En la sección D de la figura IV.4 se observa un tramo intermedio que no fue muestreado por contener una capa de regolito que no fue mapeado.

Además la sección G con 480 m de largo tiene 55 muestras y la sección H con 500 m la cual se compone de 49 muestras. En la sección H se realizó el muestreo en diferentes zonas. En la parte central de la sección se muestrearon las vetas con mayor intensidad y solo algunas muestras en la litología (Fig. IV.4), el resto de la sección se realizó de acuerdo a lo programado.

Eso no ocurre en la Sección I de rumbo NE (Figs. IV.4 y 5), donde los valores de Au, son muy bajos y los de As y Sb resaltan o se hacen más dispersos en la parte central de esta (Fig. IV.5). A lo largo de los 350 m se tomaron 49 muestras, en esta sección no existen vetas, por lo que la dispersión del As y Sb que se interpreta está relacionado al emplazamiento de un cuerpo subvolcánico riolítico, que es afectado por una falla de rumbo y a una intensa alteración argílica en dicha localidad.

Las muestras que se localizan al sur de esta sección no fueron consideradas en el análisis de estos perfiles, así mismo otras que no se encuentran directamente dentro de las secciones, haciendo un total de 34 muestras.

La zona de estudio si bien se encuentra en la franja Au-Ag (Dávila *et al.* 2010, Camprubí *et al.* 2003), en esta no se ha detectado la presencia de Ag, solamente evidencias de mineralización por Au. No obstante, el muestreo se realizó de manera

superficial y es posible que los elementos como Ag, Pb, Zn estén lixiviados y no fueron detectados en el muestreo, no se descarta una posible existencia de mineralización argentífera en ambientes más profundos de estas vetas. La plata es un elemento fácilmente lixiviable en superficie, donde evidencias de fuerte lixiviación superficial pueden explicar ausencia de este elemento en superficie.

La anterior interpretación sobre mineralización argentífera se basa en trabajos recientes llevados a cabo en esta misma área por personal del Servicio Geológico Mexicano. En Gómez (2011) se describe un trabajo de muestreo de canal en zanjas de 50 cm de profundidad ejecutadas a pico y pala. Los resultados analíticos presentan valores en algunas muestras entre 0.1 y 10 g/t de Au y entre 18 y 77 g/t de Ag (Fig. IV.6). Estas concentraciones de Ag son elevadas y podrían indicar una mineralización argentífera en profundidad.

Tomando como base los resultados obtenidos durante el trabajo de terreno y los resultados geoquímicos y geoestadísticos y considerando dentro de estos los datos obtenidos por Gómez (2011), podemos afirmar que existe potencial exploratorio por mineralización de oro y plata, la que generalmente se encuentran dentro de las zonas oxidadas en superficie, no siendo posible identificar especies minerales.

En base a los resultados se puede deducir que la mineralización importante posiblemente se puede localizar a mayor profundidad. Esto es comparable con aspectos mineralógicos del depósito de Santa Cruz en Guanaceví, yacimientos que en superficie muestran semejanza con mineralización superficial del área El Refugio. Devlin *et al.* (2009) mencionan en el estudio de la mina Santa Cruz, con edad de mineralización de 38.7 ± 0.8 Ma, que desde la superficie hasta el nivel 6 ubicado en la cota 2370 m s.n.m., la mineralización es principalmente de óxidos y a partir de este nivel hasta el nivel 8 ubicado en la cota 2330 m s.n.m. se manifiesta una zona de transición de óxidos a sulfuros. Se interpreta que en el área El Refugio, localizada a 130 km y una altura de 2200 m s.n.m. al sureste de Guanaceví, probablemente se podría encontrar condiciones similares, sabiendo que corresponde a la misma franja metalogenética auro-argentífera, aunque con edades distintas.

MAPA GEOLÓGICO A DETALLE

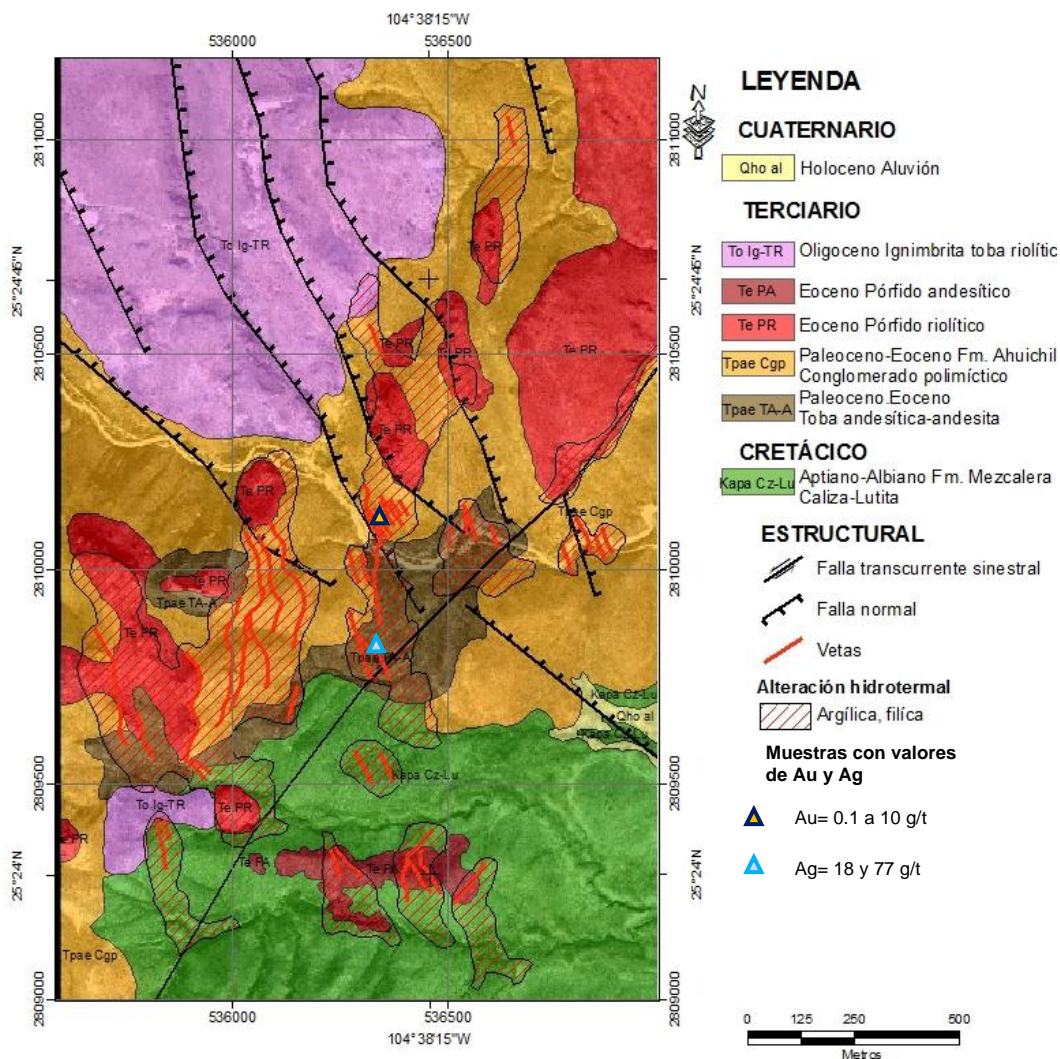


Figura IV.6.- Localización del muestreo con valores de Au y Ag realizado por personal del Servicio Geológico Mexicano, Gomez (2011).

IV.2.- Geocronología

Las rocas más antiguas en la zona de estudio están representadas por las unidades litológicas sedimentarias del Cretácico Inferior, conocida como Formación Mezcalera, incluida dentro del terreno Guerrero. Están cubiertas discordantemente por rocas volcánicas correlacionables con la secuencia volcánica inferior de la Sierra Madre Occidental compuesta por tobas andesíticas–andesitas de edad del Paleoceno-Eoceno temprano (Mc Dowell y Keiser, 1977). Estas rocas son las que hospedan a los sistemas de vetas mineralizadas principalmente de plata, oro, plomo y zinc, yacimientos que se

han explotado en las minas de Guanaceví, Indé, Sombrerete, Ciénega y Coneto de Comonford entre otros.

Las rocas huéspedes de las vetas El Refugio, están constituidas por rocas volcánicas de la Sierra Madre Occidental y sedimentarias, las cuales fueron depositadas en forma singenética a rocas continentales de la Formación Ahuichila del Paleoceno-Eoceno (Córdoba 1988) en el semi-graben de Rodeo. Son estas unidades volcánicas y sedimentarias, las de interés exploratorio, por ser las que contienen estructuras mineralizadas en el área de estudio, siendo las mismas que albergan la mineralización de plata-oro en diferentes minas de la faja auro-argentífera de México en la que se encuentra la mina La Pitarrilla, ubicada a 40 km al oeste del área de estudio.

Toda la secuencia antes descrita es intruida por rocas hipabisales de tipo pórfido andesítico y riolítico con edades del Eoceno medio al Oligoceno, evento que se reconoce en la mayoría de las minas que se ubican dentro de la franja de plata-oro (Fig.IV.7).

Estas unidades son cubiertas por rocas volcánicas félsicas de tipo ignimbrita-toba riolítica, correlacionables con la secuencia volcánica superior de la Sierra Madre Occidental. Aguirre y Mc Dowell (1991 y 1993) indican una edad de Oligoceno entre $32,2 \pm 0,7$ y $29,5 \pm 0,6$ Ma.

Las características geológicas presentes en el área de estudio implican una estrecha interrelación entre los eventos tectónicos, las formaciones litoestratigráficas y la formación de yacimientos minerales metálicos.

La información geocronológica pre-existente respecto a las rocas del área de estudio (Fig. IV.8) indica edades radiométricas que varían desde 51,9 a 24,3 Ma (Eoceno-Oligoceno), obtenidas en tobas riolíticas y cuerpos subvolcánicos. Este rango se basa en estudios realizados por Aguirre y Mc Dowell (1991 y 1993) y Luhr (2001) por el método K-Ar en minerales de feldespato, utilizados para definir la edad de faja metalogénica auro-argentífera de México.

Con la información existente se tiene solo una idea muy generalizada sobre la edad de las rocas de la región. A fin de determinar con mayor precisión la edad de las rocas intrusivas a las que probablemente se asocia la mineralización, se decidió realizar dos dataciones empleando el método U-Pb LA-ICPMS en circones de los cuerpos subvolcánicos, los que arrojan edades para el pórfido riolítico de **$49,5 \pm 0,2$ Ma** y **$47,8 \pm 0,2$ Ma** en el pórfido andesítico (Fig. IV.8). Estas se interpretan como edades de cristalización, situándolas en el Eoceno temprano a medio.

El evento de la tectónica extensional en el área de estudio se ha tratado de representar con una edad Oligoceno, entre 31 hasta 24 Ma (Ferrari *et a.*, 2005). Sin embargo relacionado a estos datos geocronológicos Aguirre y Mc Dowell (1991) publicaron edades entre de 51 y 47 Ma (Fig. IV.8). Las edades obtenidas en el presente trabajo son de **49,5 ± 0,2 Ma** y **47,8 ± 0,2 Ma** las cuales confirman que los movimientos extensionales ya existían en el Eoceno tardío o se estaban iniciando en esa época, y por consecuencia los cuerpos intrusivos y subvolcánicos fueron emplazados durante esta fase de extensión.

Esto es consistente con interpretaciones de Silva-Romo (1996). Dicho autor menciona que el sistema de semi-graben está relacionado con el Sistema de fallas San Luis-Tepehuanes del Eoceno temprano-medio contemporáneas o previos al emplazamiento de cuerpos graníticos de 48 Ma en esta zona.

De manera general las vetas detectadas con incipiente mineralización en el área El Refugio se encuentran dentro del semi-graben de Rodeo como parte del sistema de fallas San Luis-Tepehuanes,. Estas se relacionan con un evento extensional en el cual se encuentran emplazados cuerpos intrusivos e hipabisales de composición félsica con edades de 51 a 47 Ma Aguirre y Mc Dowell (1991) y los realizados en este estudio.

Se postula que la tectónica extensional permitió ascenso de magmas calcoalcalinos de los cuales derivaron los fluidos hidrotermales mineralizadores que generaron las vetas en la zona de estudio. Si este vínculo genético es correcto, los cuerpos mineralizados serian posterior a edades Eoceno temprano-medio posiblemente un poco más joven. Esto cambiaría la interpretación de la cronología de la franja de plata para esta zona originalmente del Oligoceno Camprubí y Albinson (2006) a posible mente Eoceno tardío. Lo que permite establecer que esta parte de la faja del Oligoceno, presenta datos que corresponderían a la parte situada más al oeste denominada faja Au-Ag (Dávila *et al.*, 2010) y formada durante el Eoceno (Camprubí y Albinsin 2006), (figura IV.7).

Los resultados geocronológicoc de este trabajo pueden ser comparados con otros resultados similares, el caso Zacatecas, con una edad de cristalización de $48,91 \pm 0,09$ Ma (Loza-Aguirre *et al.*, 2008) y también para la mina Real de Ángeles, con una edad de 45 Ma (Harder 1987) en Camprubí *et al.* (2003).

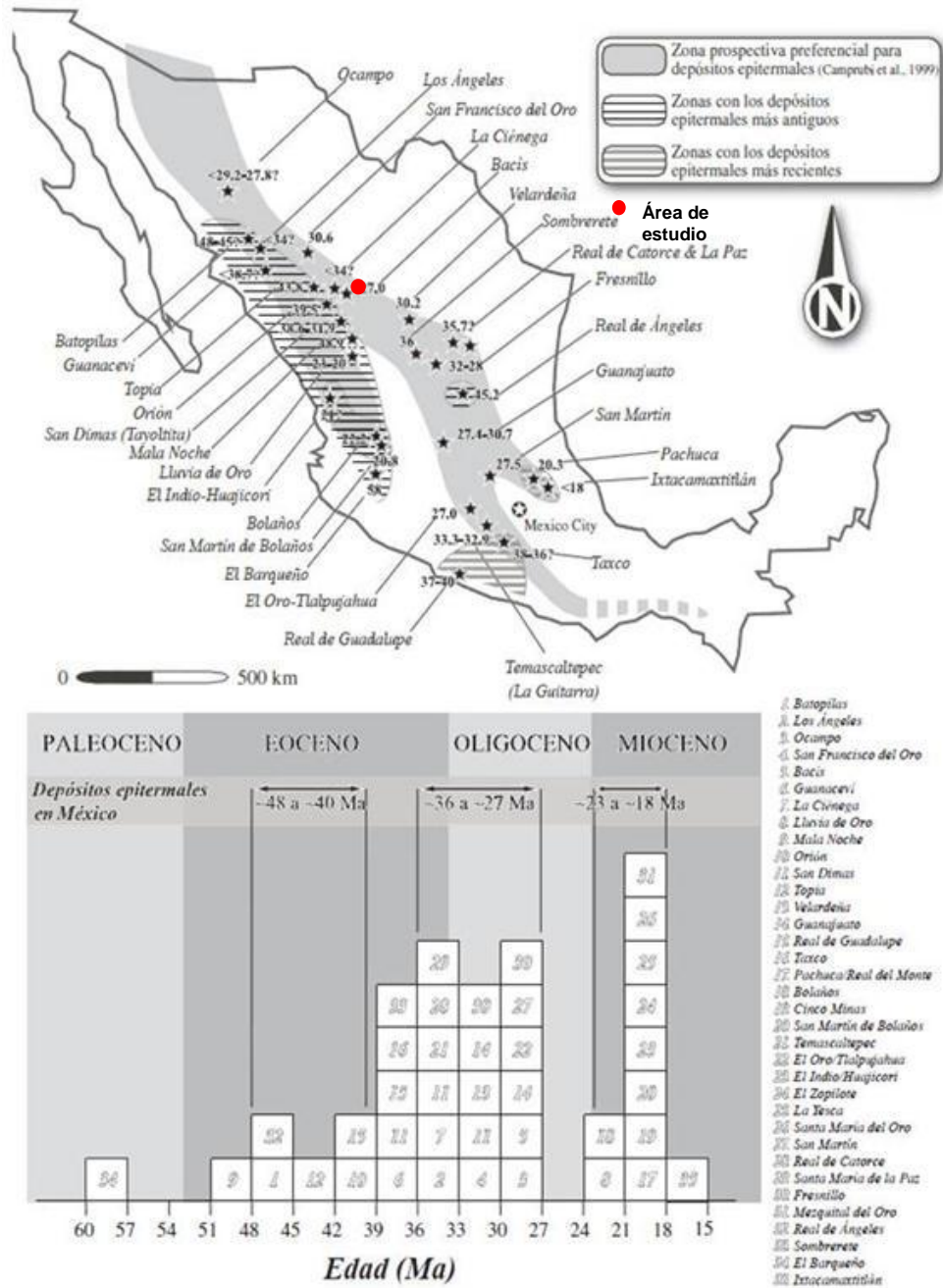


Figura IV.7- Arriba: distribución de los depósitos epitermales en México, con sus edades correspondientes conocidas por fechamientos de las mineralizaciones o bien por relaciones geológicas con rocas fechadas. Abajo: Distribución histórica de las edades de mineralización de los depósitos epitermales en México, indicando los tres rangos de edad preferenciales (Camprubí et al., 2003b). Modificado de Camprubí y Albinson (2006).

Existen otros yacimientos del Eoceno tardío, entre estas la veta Santa Cruz, que pudiera tener cierta relación con el área El Refugio localizada en las inmediaciones de Guanacevi (Devlin *et al.*, 2009). En esta se interpreta una edad de cristalización de los magmas por dataciones de K-Ar en roca total de 38.7 ± 0.8 Ma (Clark *et al.*, 1977), otra datación a 45 Km al NE de Guanacevi, realizada por Tuta *et al.* (1988) por el método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ indica una edad de 39.6 ± 0.5 Ma Eoceno tardío y de 52 Ma Eoceno temprano en andesita, realizada cerca de la ciudad de Durango. Están interpretadas de presentar la edad de mineralización para Guanacevi del Eoceno tardío (Devlin *et al.*, 2009).

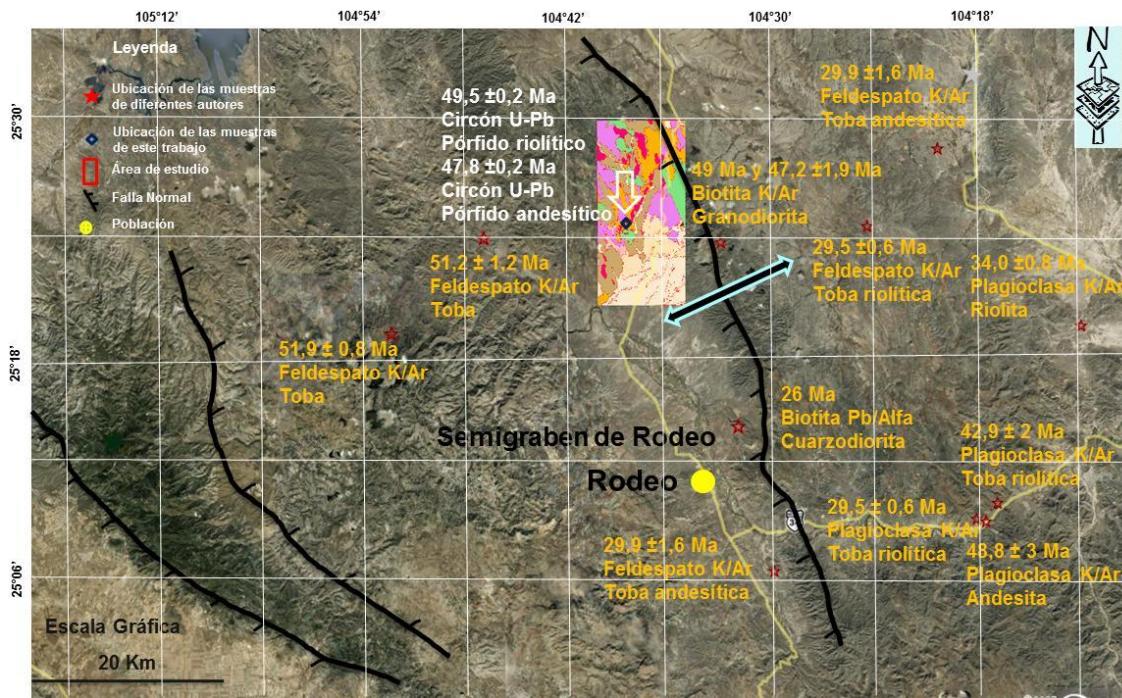


Figura IV.8.- Imagen satelital (<http://earth.google.com/>), sobrepuesto mapa tectónico modificado de Ferrari et al. (2005), con la ubicación de los sitios donde se colectaron muestras datadas por diferentes métodos pero principalmente K-Ar, distribuidas en la cercanía del área de estudio, en verde las realizadas en este trabajo por U-Pb en circones.

En la faja metalogenética auro-argentífera mexicana Camprubí y Albinson (2006) define dos edades de mineralización para la zona noroccidental del país. Una en la parte occidental de la faja, con una edad Eoceno de (48 a 40 Ma) y otra al oriente con una edad de Oligoceno (36 a 27 Ma Fig. IV.7). Para el área El Refugio, situada en la porción oriental de la faja del Oligoceno, se observa claramente que existen edades de plutones del Eoceno medio a tardío que pudieran estar relacionados a la mineralización. Por lo expuesto anteriormente, posiblemente existieran dos eventos de mineralización para esta

parte de la faja auro-argentífera y no solo del Oligoceno como la define Camprubí y Albinson (2006).

Con los datos geocronológicos obtenidos en este trabajo en cuerpos subvolcánicos y las realizadas por Aguirre y Mc Dowell (1991) se interpreta que la mineralización del área El Refugio es asociado al emplazamiento de los cuerpos subvolcánicos datados Eoceno temprano a medio.

Comparando estos resultados con las edades publicadas, se puede observar que existen unidades litológicas con edades similares hasta más jóvenes de las obtenidas en este trabajo, lo que apunta a la existencia de dos eventos magmáticos y probablemente mineralizadores dentro de la misma faja mineralizada; uno de Eoceno temprano y otro del Oligoceno. Dentro de estos podemos mencionar Real de Ángeles de 45 Ma, Sombrerete, La Ciénega, Basis, Fresnillo y Guanajuato entre otros de 36 y 27 Ma, edades obtenidas por el método K-Ar (Fig. IV.7; Camprubí y Albinson 2006).

IV.3.- Inclusiones Fluidas

En este trabajo se realizaron estudios de inclusiones fluidas en 6 muestras de vetas de cuarzo, cuarzo bandeado, calcita y calcita hojosa estas del área El Refugio. Los resultados indican generalmente un rango de temperatura de homogenización entre 170-198°C y salinidades de 0,53 -6,43% NaCl equivalente, con excepción de una muestra (Tabla E1 del anexo E). Los resultados de este estudio son consistentes con los reportados por Wilkinson (2001) y Camprubí (2010) para el rango de temperatura y salinidad de yacimientos epitermales.

Los valores obtenidos en este trabajo son propios de depósitos de baja temperatura como los epitermales (Fig. IV.9), resultado consistente con la hipótesis de estudio de este trabajo.

El sistema de vetas de cuarzo bandeado, cuarzo blanco, lechoso calcedónico, calcita y calcita hojosa principalmente (Fig. IV.10) estudiado tiene una relación geológica estructural a cuerpos hipabisales riolíticos del sistema de fallas San Luis-Tepehuanes y al semi-graben de Rodeo, ambos con dirección NW-SE.

Cabe mencionar que una de las muestras determinó temperaturas de homogenización cercanas a los 400° C y salinidad de 15 % NaCl eq. El significado de éste análisis es incierto, pudiendo representar un evento hidrotermal distinto, pre-

existente o posterior respecto de las vetas en la zona. En todo caso, el muestreo es muy limitado para poder llegar a conclusiones definitivas.

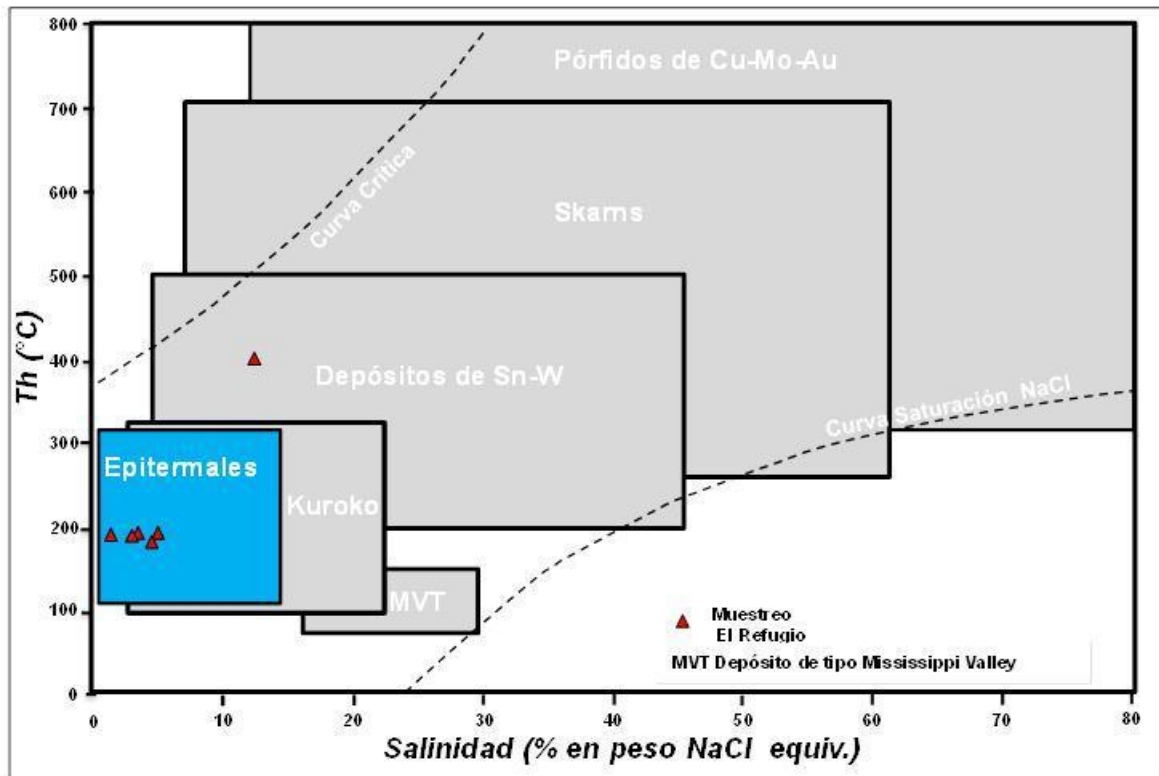


Figura IV.9 .- Rangos genéricos de temperatura y salinidad de tipología escogidas de depósitos minerales. Adaptado de Wilkinson (2001). Los triángulos en rojo es la ubicación del muestreo realizado en el área El Refugio.

Los resultados de los estudios de inclusiones fluidas y caracterización mineral de las vetas de cuarzo y calcita del área El Refugio, conjuntamente con estructuras y texturas que evidencian procesos de ebullición, confirman ambientes hidrotermales del tipo epitermal de baja sulfuración. Esto es compatible con distritos mineros aledaños como Indé, Guanaceví, Coneto de Comonford, Velardeña, Sombrerete, entre otros, dentro de la misma faja metalogénica de Au-Ag, clasificados como depósitos de baja a intermedia sulfuración.



Figura IV.10.- A detalle de bandas de cuarzo con oquedades de las vetas del área El Refugio, B calcita hojosa, estas estructuras son indicadores de procesos de ebullición en sistemas epitermales.

IV.4.- Clasificación de la mineralización

Con los resultados obtenidos del muestreo de minerografía tomado en diferentes vetas, se determinaron las especies mineralógicas metálicas en las vetas y se determinó la paragénesis cuarzo pirita con una sucesión cuarzo, calcita, pirita y hematita (Tab. C1 del anexo C). Cabe mencionar que la pirita fina se encuentra diseminada en las vetas y la hematita relleno vetillas.

Los minerales de alteración más comunes determinados por Difracción de Rayos X son: illita, hematita, goethita, muscovita, caolinita, montmorillonita, cuarzo, calcita, relacionados a las vetas de estructuras de cuarzo bandeado, cuarzo amorfo calcedónico y calcita hojosa (Fig. IV.10) con presencia de sulfuros pirita fina diseminada.

Para explicar la presencia de Au, detectado con el análisis geoquímico, se enviaron muestras para estudio minerográfico. Con este método no fue posible determinar o detectar este mineral, razón por la cual se concluye que este se encuentra probablemente libre en el sistema o posiblemente encapsulado dentro de la pirita fina diseminada. Cuando esta es alterada por agentes meteóricos, la pirita se descompone y genera hematita supergena e hidróxidos de hierro (limonita etc.) por consecuencia la pirita puede liberar el Au.

Los valores de Au más altos en este estudio de El Refugio son del orden de 0,094 a 0,236 ppm y se relaciona principalmente con vetas. Estas estructuras presentan características de oxidación como los mencionados anteriormente.

Las especies mineralógicas determinadas por difracción de rayos X en el área El Refugio indican asociaciones minerales propios de alteración hidrotermal del tipo argílica, cuarzo-sericita (illita-muscovita) y vetas de carbonatos.

Las alteraciones hidrotermales asociadas a la mineralización aurífera, texturas bandeadas y halos de alteración sugieren ambientes epitermales de baja sulfuración.

La integración de resultados, interpretación y modelamientos de estos permite establecer criterios de exploración, esto con el objetivo de lograr nuevos descubrimientos de yacimientos con posible potencial económico.

De acuerdo a los resultados de los estudios de mineralización metálica y la relación de estos con las asociaciones minerales de alteración, la paragénesis propuesta es la siguiente:

- 1).- Cuarzo-pirita
- 2).- Calcita-pirita
- 3).- Cuarzo-hematita-goetita

Recordar que la pirita se descompone fácilmente por agentes hidrotermales o meteóricos generando hematita secundaria, supergena, resultado de la oxidación de pirita.

De acuerdo a todos los resultados de los trabajos de campo y analíticos de geoquímica, geocronología, mineragrafía, petrografía, difracción de rayos X y estudios de inclusiones fluidas, se determinó que la mineralización en el área de estudio es del tipo epitermal de metales preciosos. Este tipo de ambiente y yacimiento es consistente con la ubicación del área de estudio, parte de la franja auroargentífera de México.

Si tomamos en cuenta las características de los depósitos epitermales y comparamos los datos obtenidos en este trabajo se presentan condiciones muy similares a las propuestas por Camprubí y Albinson (2006) para este tipo de depósitos.

En el mapa geológico del área tenemos un volcanismo subaéreo, rocas volcánicas acidas a intermedias (andesitas y riolitas) con roca caja sedimentaria, controles estructurales noroeste relacionados a sistemas de graben, alteración propilítica, argílica y sericitica y vetas con evidencia de ebullición.

Los depósitos epitermales mexicanos según Camprubí *et al.* (2003b) se formaron todos durante el Eoceno medio hasta el Mioceno inferior a excepción de un depósito del Paleoceno El Barqueño, en Jalisco, (Camprubí *et al.* 2006) ubicado al sureste de la faja del Eoceno (Fig. IV.7) y a 530 km aproximadamente al sur del área El Refugio.

Con las vetas reconocidas en el área El Refugio se puede hacer un comparativo con el modelo de Simmons *et al.* (2005; Fig. IV.11) para depósitos epitermales de baja sulfuración (BS), con mineralogía de alteración y mineralización consistente con el modelo. Con los datos obtenidos en el área El Refugio, podemos interpretar que el actual nivel de exhumación corresponde a la parte superior de un paleoambiente hidrotermal de baja sulfuración (Fig.IV.11), a temperaturas bajo de los 200° C, en la zona argílica y silicificación, con concentraciones de Au bajos.

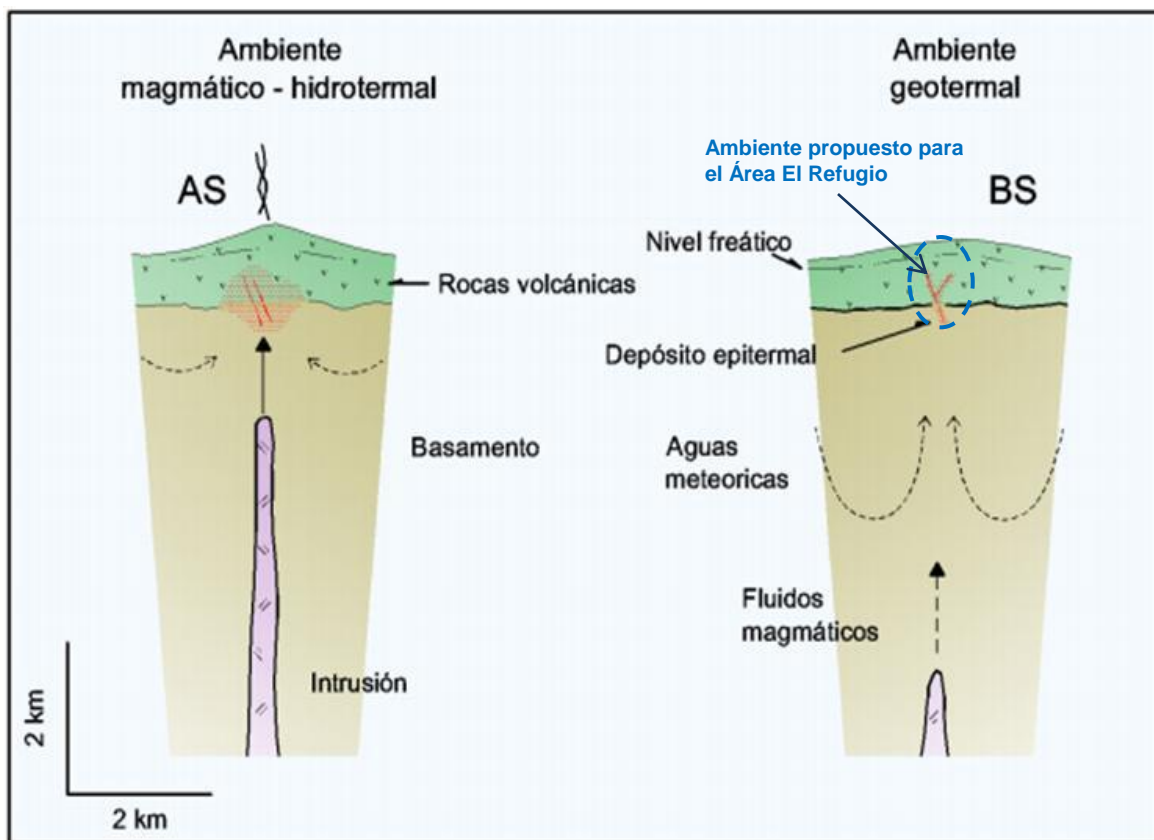


Figura IV.11- Modelo conceptual simplificado de ambientes hidrotermales y la relación entre depósitos epitermales, intrusiones magmáticas, circulación de fluidos, rocas volcánicas y basamento, AS alta sulfuración y BS baja sulfuración (modificado de Simmons *et al.*, 2005). Se destaca con una elipse azul el ambiente y profundidad relativa de propuesta para las vetas existentes en el área de estudio.

Hedenquist (2005) establece que la precipitación de oro normalmente toma lugar extendiéndose a temperaturas entre 150 a 250 °C y profundidades de 50 a 650 m debajo del nivel freático (Fig. IV.11). En la mayoría de los casos, estos depósitos están relacionados en forma espacial y temporal con volcanismo subaéreo, de carácter ácido a intermedio y subvolcanismo asociado, pudiendo el basamento ser de cualquier tipo.

La descripción de Hedenquist (2005) es aplicable al área de estudio El Refugio en el cual los resultados del estudio geoquímico presentan concentraciones de oro anómalos positivos, la mayoría en vetas interpretadas como epitermales de baja sulfuración.

V.- CONCLUSIONES

Con el mapeo geológico estructural realizado a escala 1:20.000 y 1:2.000 se definieron las estructuras y vetas relacionadas al sistema de fallas San Luis - Tepehuanes con dirección NW-SE y a la distensión que generaron las fosas y pilares donde se localiza el semi-graben de Rodeo.

Con las edades U-Pb en circones obtenidas durante el presente trabajo, de $47,8 \pm 0,2$ y $49,5 \pm 0,2$ Ma, se interpretan dos edades de cristalización de los cuerpos hipabisales, ubicando a estos en el Eoceno temprano a medio, relacionado regionalmente a las estructuras del sistema de falla San Luis - Tepehuanes y al semi-graben de Rodeo como contemporáneos a estos eventos.

Por medio de las dataciones U-Pb realizadas en este trabajo y los emplazamientos de estos cuerpos relacionados a las estructuras mencionadas, se postula que la mineralización del área El Refugio podría estar asociada al emplazamiento de los cuerpos datados Eoceno temprano a medio.

La mineralización encontrada en el área El Refugio permite postular un potencial exploratorio por Au-Ag, asociado a ambientes epitermales de metales preciosos. La aseveración anterior es confirmada por estudios de inclusiones fluidas que permiten clasificar los sistemas de vetas en el área de estudio en depósitos epitermales de baja a intermedia sulfuración.

Por medio de los estudios geoquímicos mediante ICP-óptico para 31 elementos más oro (Au), por ensaye al fuego, se determinó que el único elemento blanco de exploración es el Au, relacionado a los elementos As y Sb como trazadores. También a estos datos se realizó un análisis de factores y se determinaron los principales factores con más alta implicancia y los cuales agrupan ciertos elementos según su ocurrencia natural. Se determinaron cinco factores. Los factores 1 a 3 reflejan aspectos litológicos y los factores 4 y 5 son representativos de una mineralización de tipo Au-Sb-As. Si bien no existe buena correlación estadística entre Au y Sb-As, estos elementos presentan una relación especial y de ambiente similar, principalmente en vetas y cuerpos hipabisales.

El análisis de dispersión del elemento Au, con interés económico, se relaciona directamente al emplazamiento de las vetas del área de estudio con valores que representan anomalías del orden de 0,09 a 0,236 ppm. Además en base a un estudio realizado por Gómez (2011) en algunas vetas del área a 0,50 m de profundidad, existen antecedentes geoquímicos con leyes del orden de 0,1 a 10,0 g/t de Au y entre 18 y 77 g/t de Ag.

Esto permitirá proponer esta zona de estudio, como un potencial prospecto de exploración y programar trabajos de obra directa en los lugares donde las anomalías de contraste positivo presentadas son evidentes. Se recomiendan estudios geológicos de detalle con realización de muestreo en trincheras o zanjas en las vetas.

VI. REFERENCIAS

- Aguirre, D. G. J. and McDowell Fred W. (1991). The volcanic section at Nazas, Durango, México, and the possibility of widespread eocene volcanism within the Sierra Madre Occidental. *Journal of geophysical research*, vol. 96, no. B8, pages 13373-13388.
- Aguirre D. G. J. and Mc Dowell F. W. (1993). Nature and Timing of Faulting and Synextensional Magmatism in the Southern Basin and Range, Central- Eastern Durango, Mexico. *Bull. Geo. Soc. America*, v.105, p. 1435- 1444.
- Albinson, T., 1988, Geologic reconstruction of paleosurfaces in the Sombrerete, Colorado, and Fresnillo district, Zacatecas state, Mexico: *Economic Geology*, 83, 1647-1667.
- Albinson, T., Norman, D.I., Cole, D., Chomiak, B.A., 2001, Controls on formation of low-sulfidation epithermal deposits in Mexico: constraints from fluid inclusion and stable isotope data: *Society of Economic Geologists, Special Publication*, 8, 1-32.
- Alonso, D, V, M (2009). *Geología Económica de México, Yacimiento la Ciénega, Minera Mexicana La Ciénega S.A de C.V.* P. 536-544.
- Aranda-Gómez, J., Henry, C., Luhr, J., (2003), Cenozoic volcanic-tectonic development of northwestern Mexico—A transect across the Sierra Madre Occidental Volcanic Field and observations on extension-related magmatism in the southern Basin and Range and Gulf of California tectonic provinces. *Geo. Soc. America Guidebook for field trips of the 99th annual meeting of the Cordilleran Section of the Geological Society of America, México D.F., March 25-30, 2003: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Centro de Geociencias, Special publication 1*, p. 71-121.
- Aranda-G, J., Luhr, J. F., Housh, T. B., Valdez M. G., Chávez C. G., (2005). El volcanismo tipo intraplaca del Cenozoico tardío en el centro y norte de México: una revisión. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, volumen conmemorativo del centenario, temas selectos de la geología mexicana, tomo LVII, num. 3*, p. 187-225.
- Araujo y Aréna (1986). *Estudio Teutónico-Sedimentario, en el Mar Mexicano estados de Chihuahua y Durango.* Bernstein, M., (1964). *The Mexican mining industry, 1890-1950: Albany, New York, State University of New York Press*, 412 p.

- Bernstein, M., 1964, The Mexican mining industry, 1890-1950: Albany, New York, State University of New York Press, 412 p.
- Berrocal-L., G., and Querol-S., F., 1991, Geological description of the Cuale district ore deposits, Jalisco, Mexico, *in* G. P. Salas, (ed.), Economic Geology, Mexico: Geological Society of America, The Geology of North America, v. P-3, p.355-364.
- Campa, U.M.F and Coney P. J. (1983). Tectonostratigraphic terranes and Mineral Resources Distribution in Mexico. *Can J. Earth Sci.* 20, p.1040-1051.
- Camprubí, A., Gonzalez-Partida, Levresse, G., Trilla, J., y Carrillo-Chavez A., (2003). Depósitos epitermales de alta y baja sulfuración: una tabla comparativa Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Tomo LVI, Num.1 p 10-18
- Camprubí, A., González-Partida, E., Iriondo, A., Levresse, G., (2006), Mineralogy, fluid characteristics and depositional environment of the Paleocene low-sulfidation epithermal Au-Ag deposits of the El Barqueño district, Jalisco, México: *Economic Geology*, 101, 235-247.
- Camprubí A., Albinson T., (2006), Depósitos epitermales en México: actualización de su conocimiento y reclasificación empírica Boletín de la Sociedad geológica Mexicana, Volumen Conmemorativo del Centenario, revisión de Algunas Tipologías de Depósitos Minerales en México, Tomo LVIII, Num. 4, P 27-87
- Camprubí (2010). Criterios para la exploración minera mediante microtermometría de inclusiones fluidas, *Bol. Soc. Geol. Mexicana*, Volumen 62, Num. 1 p 25-42.
- Castillo L. P., I., (2008). Geoquímica y Evaluación Ambiental de los Sedimentos Fluviales del Sistema Hidrográfico Alhué, Cordillera de la Costa, Chile Central. Memoria de Título, Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Concepción, 129 p.
- Clark K. F., Carrasco C., M., Damon, P.E., y Sandoval-S., H., (1977). Posición estratigráfica y distribución en el tiempo y espacio de mineralización en la provincia de la Sierra Madre Occidental en Durango México: Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México. XII Convención Nacional, Memoria Técnica XII, p 197-244
- Clark K. F y Fitch D. C (2009). Evolución de los depósitos metálicos en el tiempo y el espacio en Mexico: *in* Clark K. F, Salas-Piza, G. and Cubillas-Estrada R. (eds), *Geología económica de México*, II Edición Servicio Geológico Mexicano.

- Coney, P. J., Campa, U. M. F., 1987, Lithotectonic Terrane Map of Mexico (west of the 91st meridian): Miscelaneous Field Studies, Map MF 1874-D.
- Coney, P. J. (1987), The regional tectonic setting and possible causes of Cenozoic extension in the North American Cordillera, *in* Coward, M. P., Dewey, J. F., and Hancock, P. L., eds., Continental extensional tectonics: Geological Society of London Special Publication No. 28, p. 177–186.
- Córdoba, M. A. D. (1988). Estratigrafía de las rocas volcánicas de la región entre Sierra de Gamón y Laguna de Santiaguillo. Estado de Durango. revista Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Vol. 7, p, 136-147.
- Córdoba, M. A. D. Silva M. L., (1989). Marco Geologico del Área de Revolución-Puerta de Cabrera, Estado de Durango. Revista Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología,, Vol. 8, Núm. 2, p. 111-122
- De Cserna Z. y Kent B. (1961), Mapa geológico de reconocimiento y secciones estructurales de la región de San Blas y El Fuerte, estados de Sinaloa y Sonora.
- De Cserna, Z. (1956), Tectónica de la Sierra Madre Oriental de México, entre Torreón y Monte Rey. Congreso Geológico Internacional, XXa, México, 87p.
- Damon, P. E., Shafiqullah, M., Clark, K. F., (1981). Evolución de los arcos magmáticos en México y su relación con la metalogénesis. Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Revista, Vol. 5 núm. 2 p 223-238.
- Davila M., Whiting, B., Betancourt J. y Flores J. (2010). Exploraciones del proyecto Coneto: Coneto de Comonfort, Durango, México
- Devlin, B., Castro, L., Walton, G. (2009). Distrito minero de Guanaceví Durango in K.F. Clark y G.A. Salas-P., (sds.). A Special insive Devoted to the Geology and Mineral Deposits of Mexico: Economic Geology, Endeavour Silver Corp. Vancouver Canada, p, 575-581
- Dickinson W. R., (2002). The Basin and Range Province as a Composite Extensional Domain. International Geology Review Vol. 44, p. 1-38
- Edwards, J. D., (1955) Studies of some early Tertiary red conglomerates in central México: U. S. Geol. Survey, Prof. paper 264 H,P. 153-185.
- Enciso de la Vega, Salvador (1963), Hoja Nazas 13R-k (6), con Resumen de la Geología de la Hoja Nazas, Estado de Durango: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Carta Geológica de México, Serie 1:100,000, mapa y texto en el dorso.

- Ferrari L., López-Martínez, M., Aguirre-Díaz, G., Carrasco-Núñez, G., 1999, Space-time patterns of Cenozoic arc volcanism in central Mexico: from the Sierra Madre Occidental to the Mexican Volcanic Belt: *Geology*, 27, 303-307.
- Ferrari L., López-Martínez, M., Rosas-Elguera J., 2002, Ignimbrite flare up and deformation in the southern Sierra Madre Occidental, western Mexico: Implications for the late subduction history of the Farallon plate: *Tectonics*, 21, 17-1/24.
- Ferrari, L., Valencia-Moreno, M., Bryan, S., (2005), Magmatismo y tectónica en la Sierra Madre Occidental y su relación con la evolución de la margen occidental de Norteamérica. *Bol. Soc. Geol. Mexicana*, Volumen Conmemorativo del Centenario, Tomo LVII, num 3, p. 343-378.
- Fournier, R.O., 1991, The transition from hydrostatic to greater than hydrostatic fluid pressure in presently active continental hydrothermal systems in crystalline rock: *Geophysical Research Letters*, 18, 955-958.
- Fredrickson G. (1974).—Geology of the Mazatlán area, Sinaloa, Western Mexico. Ph. D., University of Texas at Austin, Tesis Doctoral inédita, 209 p.
- Fypsa, (1979). Estudio Geológico del prospecto Lago Toronto, Estado de Chihuahua. Informe NE-M 1601 Petróleos Mexicanos, (Inédito).
- Fypsa, (1980). Estudio Geológico del prospecto Allende, Estado de Chihuahua: México D.F., Petróleos Mexicanos, Informe (Inédito).
- Gammons, C.H., Williams-Jones, A.E., 1997, Chemical mobility of gold in the porphyry–epithermal environment. *Economic Geology*, 92, 45-59.
- Garduño M. V; Zaldívar R., J. (1983); Estudio tectónico estructural de Durango-Zacatecas. Proyecto C-1163.
- Gómez R. A, (2011); Proyecto Asignación Minera El Refugio, Estado de Durango. Servicio Geológico Mexicano (informe en proceso).
- Harder, V.M, (1987), Fission tracks in fluorite and apatite with geologic applications: Unpublishd ph. D. dissertation, El Paso, of Texas, 82 p.
- Hedenquist, J.W., White, N.C., (2005), Course on: Epithermal gold-silver ore deposits: Characteristics, interpretation and exploration, Prospectors y Developers Association of Canada y Society of Economic Geologists, Toronto, Canada, 88 p.
- Hedenquist, J.W., Lowenstern, J.B., 1994, The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits: *Nature*, 370, 519-527.

- Itzaguirre P. A (2009), El basamento paleoproterozoico (~1.71–1.68 Ga) Yavapai en el área Mina La Herradura en el NW de Sonora: Sus implicaciones para el desarrollo del arco magmático continental Mesozoico-Cenozoico del NW de México. Tesis de posgrado en Ciencias de la Tierra, Centro de Geociencias Campus Juriquilla, 201 p.
- Kellum, L. B., (1932). Reconnaissance studies in the Sierra de Jimulco, Mexico, Geol. Soc. America, Bull., v. 43, p. 541-564.
- Lemus B. O, Guzman L. A, Enríquez O. J (2009), Texto explicativo Carta Geológica-minera y geoquímica Abasolo Clave G13-D32 escala 1:50,000 Estado de Durango.
- Levinson, A., (1980), Introducción a la Exploración Geoquímica, Departamento de Geología y Geofísica, Universidad de Calgary, Canadá, Segunda Edición, 612 p.
- Loza-Aguirre I, Nieto-Samaniego A, F. Alaniz-Álvarez S, A. y Iriondo A. (2008), Relación estratigráfico-estructural en la intersección del sistema de fallas San Luis-Teprehuanes y el graben de Aguascalientes, México central Revista mexicana de Ciencias geológicas, V.25 num. 3 p 533-548
- Ludwig, K.R., 2003, ISOPLOT; A geochronological toolkit for Microsoft Excel, Version f3.00: Berkeley Geochronology Center Special Publication, 4, 70 p.
- Luhr J. F, Henry Ch. D, Housh T. B, Aranda-Gómez J. J y McIntosh W. C.(2001) Early extensión and associated mafic alkalic volcanism from the southern Basin and Range Province: Geology and petrology of the Rodeo and Nazas volcanic fields, Durango, México. GSA Bulletin, v 113, no. 6 p. 760-773
- Mc Dowell F. W, Keiser P. R. (1977). Timing Of Mid-Tertiary Volcanism In The Sierra Madre Occidental Between Durango City And Mazatlan, México. Bull. Geo.Soc. America, v.88, p,1479-1487
- Mc Dowell, F. W., and Clabaugh, S. E., (1979). Ignimbrites of the Sierra Madre Occidental and their Relation to the Tectonic History of Western Mexico. In Ash-flow tufos. Edited by Charles E. Chapin and Wolfaugh E, Elstón. Geological Society of America, Special Paper 180, pp. 113-124
- Mujica-Mondragón, M. R., Jacobo-Albarrán, J., 1983, Estudio petrogenético de las rocas ígneas y metamórficas del Altiplano Mexicano: México, Instituto Mexicano el Petróleo, Proyecto C-1156, 78 p.
- Nielson, D.L., Moore, J.N., Heizler, M.T., 1999, Lower limits of hydrothermal circulation in the Tiwi geothermal fluid, Luzon, *in* 24th Workshop on

- Geothermal Reservoir Engineering, Proceedings: Stanford, California, Stanford University, 7 p.
- Nieto S. A. F., Alaniz A. S. A Camprubí A. (2005) La Mesa Central de México: Estratigrafía, estructura y evolución tectónica cenozoica, Bol. Soc. Geol. Mexicana, Volumen Conmemorativo del Centenario, Tomo LVII, num 3, p. 285-318.
- Pantoja-Alor, J., (1963), Resumen de la Geología de La Hoja, San Pedro del Gallo. Estado de Durango. UNAM, I.G., Carta Geológica de México, serie 1:100,000.
- Pearson, M.F., Clark, K.F., and Porter, E.W., (1988), Mineralogy, fluid characteristics, and silver distribution at Real de Ángeles, Zacatecas, México: Economic Geology, v. 83, p. 1737–1759.
- Rankama, K. y Sahama, Th., (1949). Geoquímica, Editorial Aguilar, 862 p., Madrid.
- Roesler A. T., Fernández A. L. and Enciso de la V. S., (1994). Geology and Stratigraphy of the Tepechitlan area, Zacatecas, Mexico., Bol. Depto. geol. Uni-Son., vol. 11, núm. 1, p. 31-62.
- Rogers, C.L., De Cserna, Z., van Vloten, R., Tavera-Amezcuca, E., Ojeda-Rivera, J., (1961). Reconocimiento geológico y depósitos de fosfato del norte de Zacatecas y áreas adyacentes en Coahuila, Nuevo León y San Luis Potosí: México. Consejo de Recursos Naturales no Renovables, Bol. 56, 332 p.
- Roldán-Quintana, J., (1968). Estudio Geológico de reconocimiento de la región de Peñón Blanco, Estado de Durango. Bol. Soc. Geol. Mexicana, v. 31, p. 79-105.
- Saunders, J.A., (1996), Retardation of boiling and the genesis of shallow bonanza epithermal gold deposits: evidence from the Sleeper deposit, Nevada: Geological Society of America, Abstracts with Programs, Denver Col., A-94.
- Seguel, J., (1995), Aplicación de la geoquímica regional de sedimentos de drenaje a la interpretación metalogénica en Chile Central, Memoria de Magíster, Departamento de Geología, Universidad de Chile, 135p
- Silberman, M. L., Stewart, J. H., McKeen, E. H., (1976), Igneous activity, tectonics and hydrothermal precious-metal mineralization in the Great Basin during Cenozoic time: AIME Transactions, 260, p. 253-263.
- Silva-Romo, G., 1996, Estudio de la estratigrafía y estructuras tectónicas de la Sierra de Salinas, Edos. de S. L. P. y Zac.: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, División de Estudios de Posgrado, Tesis de Maestría, 139 p.

- Sillitoe, R.H., 1977, Metallic mineralization affiliated to subaerial volcanism: a review. *in* Volcanic Processes in Ore Genesis: Geological Society of London Special Publication 7, p. 99-116.
- Sillitoe, R.H., (1995), The influence of magmatic–hydrothermal models on exploration strategies for volcano-plutonic arcs, *in* Thompson, J.F.H. (ed.), Magmas, Fluids and Ore Deposits: Ontario, Mineralogical Association of Canada, Short Course Series, 23, 511-525.
- Sillitoe, R.H., Hedenquist, J.W., (2003), Linkages between Volcanotectonic Settings, Ore-Fluid Compositions, and Epithermal Precious Metal Deposits: Society of Economic Geologists, Special Publication Series, 10, 314-343.
- Simmons, Stuart F., White, Noel C. and John, David A. (2005). Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits. In Jeffrey W. Hedenquist, John F. H. Thompson, Richard J. Goldfarb and Jeremy P. Richards (Ed.), *Economic Geology One Hundredth Anniversary Volume: 1905-2005* (pp. 485-522) Littleton, CO, U.S.A.: Society of Economic Geologists.
- Sláma, J., Kosler, J., Condon D.J., Crowley, J.L., Gerdes A., Hanchar, J.M., Horstwood M.S., Morris G.A., Nasdala, L., Norberg, N., Schaltegger U., Schoene B., Tubrett M.N., Whitehouse M.J., (2008), Plesovice zircon—A new natural reference material for U–Pb and Hf isotopic microanalysis: *Chemical Geology*, 249, 1–35.
- Solari, L.A., Gómez-Tuena, A., Bernal, J.P., Pérez-Arvizu, O., Tanner, M., (2009), U-Pb zircon geochronology with an integrated LA-ICPMS microanalytical workstation: achievements in precision and accuracy: *Geostandards and Geoanalytical Research*. *Geostandards and Geoanalytical Research* Vol. 34 - N1 p 5-18
- Tuta, Z.H., Sutter, J.F., Kesler, S.E., y Ruyz, J., (1988). Geochronology of Mercury, Tin, and Fluorine Mineralization in Northern México, in K.F. Clark y G.A. Salas-P., (eds.). *A Special Issue Devoted to the Geology and Mineral Deposits of Mexico: Economic Geology*, V 83, No,8, p. 1932-1942
- White, N. C., Leake, M. J., McCaughey, S. N., Parris, B. W., (1995). Epithermal gold deposits of the southwest Pacific: *Journal of Geochemical Exploration*, v. 54, p 87-136.
- Wilkinson (2009), Fluid inclusion in hydrothermal ore deposits: *Lithos* 55 p 229-272.

ANEXOS

Anexo A

A1.- Planos Geológico estructural a escala 1:20.000

A2.- Plano Geológico estructural de detalle a escala 1:2.000

Anexo B.

Procedimientos de dataciones geocronológicas para circones en U-Pb

Anexo C

Procedimiento para Realizar el Estudio Minerográfico

Procedimiento para Realizar Estudios Petrográficos

Anexo D

Procedimiento para Determinar Especies Minerales Cristalinas por Difracción de Rayos X (Método de Polvos)

Anexo E

Procedimiento para Determinar la Temperatura mínima de Formación de los Yacimientos Hidrotermales.

Anexo F

Procedimiento para cuantificar soluciones de esquirlas en espectrómetro de (ICP óptico - Duo) Mca.Thermo-Scientific, mod. iCAP 6500.

Procedimiento para Preparación de Muestras de Esquirlas incluyendo el oro libre

Conceptos básicos de estadística

Anexo G

(Archivos en PDF)

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura B1.- Detalle de los zircones devastados en una pasta de resina	92
Figura B2.- Fotografías de catodoluminiscencia de la muestra ERDA-01 de los circones perforados seleccionados para datar.	96
Figura B3.- Fotografías de catodoluminiscencia de la muestra ERDA-02 de los circones perforados seleccionados para datar.	97
Figura E1.-Muestra: ER-203, al centro se observan inclusiones fluidas medianas básicas, observándose alrededor de ellas pequeñas inclusiones agrupadas de una sola fase.	104
Figura E2.-Muestra: ER-231, Fotomicrografía que muestra las formas de inclusiones fluidas.	104
Figura E3.- MuestraER-238 con escasas burbujas de inclusiones fluidas bifásicas.	104
Figura E4.-ER-323 Aspecto y características del cuarzo con escasas inclusiones fluidas.	105
Figura E5.- Muestra 379 inclusiones fluidas en mineral de calcita	105
Figura E6.- Muestra 138 inclusiones fluidas en mineral de cuarzo, donde puede observarse la relación gas-liquido, con temperaturas de 399.7 °C	105
Figura F1. Técnica química para obtener los datos de la IPC y ensaye al fuego para el Au	107
Figura F2 – Ejemplo del valores umbrales regional y local. El fondo regional está limitado por un valor umbral de 5 ppm molibdeno (Mo), el umbral del fondo local es 10 ppm Mo. La anomalía local alcanza un tope de 22 ppm Mo.	115

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla (B1) Resultados de los análisis de U/Pb en circones por el método LA-IPC-MC, Muestra ER-01, Pórfido Riolítico	94
Tabla (B1) Resultados de los análisis de U/Pb en circones por el método LA-IPC-MC, Muestra ER-01, Pórfido Riolítico	95
Tabla (C1), Resumen de los resultados de minerografía. Mineneral %, es el porcentaje respecto al total de minerales metálicos	98
Tabla (C2), Resumen de los resultados de petrografía	99
Tabla (D1) Resumen de los resultados de Difracción de Rayos X	101
Tabla (E1) Resumen de los resultados de Inclusiones Fluídas	103
Tabla (F1) Especificaciones de las muestras	110
Tabla (F2) Elementos con afinidad geoquímica y elementos guías asociados usando en exploración de depósitos (tomados de Rose et al., 1979; Beus and Gregorian, 1977)	113

Anexo B

Procedimientos de dataciones geocronológicas para circones en U-Pb

Se realizaron los estudios geocronológicos de U-Pb en circones de las muestras ERDA01 y ERDA02 por medio de la técnica LA-ICPMS (Laser Ablation-Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry) en el Centro de Geociencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) campus Juriquilla Querétaro. El laboratorio analítico dispone de una ICPMS “Thermo X-Series” cuadrupolo conectado a un láser ultravioleta (“*Excimer*”) de 193 nm (ArF) de la marca “Resonetics” (Solari et al., 2009).

Técnicas analíticas

Separación de circones

La separación de circones de las muestras de roca datadas en este estudio se realizó utilizando técnicas convencionales empleadas en el Laboratorio de Separación de Minerales del Centro de Geociencias, Campus Juriquilla Querétaro, que forma parte de la UNAM. Estas técnicas de separación de circones consisten en: (1) la fragmentación de ~2 kg de muestra con una quebradora de quijadas; (2) el tamizado en un tamaño de malla de 80 (<180 μm) de la muestra quebrada; (3) el lavado con agua de la fracción tamizada que se obtuvo al pasarla por el tamaño de malla 80 (<180 μm); (4) el separado de minerales magnéticos, paramagnéticos y no magnéticos con separador magnético tipo “Frantz”; (5) por último, la decantación de circones por medio de un embudo de separación mineral usando el líquido pesado ioduro de metileno (MEI) con una densidad de ~3.33 gr/ cm^3 (Itzaguirre, 2009).

A continuación se describe brevemente la técnica de datación de rocas con la sistemática U-Pb en circones.

Los circones separados de las diferentes unidades geológicas fueron montados, junto con un estándar de edad conocida (zircón estándar PLE 337,13 \pm 0,25 Ma; Sláma *et al.* (2008)), en una cinta adhesiva de doble cara colocada en un objeto plano para que posteriormente por medio de un molde cilíndrico (~2,5 cm de diámetro) fueran atrapados en resina epóxica para hacer una probeta.

La probeta de resina se desbastó con papel de lija (malla 1500–3000) hasta exponer una superficie lo más cercana posible a la mitad ecuatorial de los zircones (Fig. B1).



Figura B1.- Detalle de los zircones devastados en una pasta de resina

Posteriormente, se pulió la probeta con abrasivos de diamante en emulsión de 6 y 1 μ para obtener un pulido óptimo de los zircones. Además, se tomaron imágenes con un microscopio electrónico de barrido con detector de cátodo-luminiscencia (imágenes SEM-CL) para observar las características de los zircones para evitar posibles problemáticas como recrecimientos o herencias que cambiarían el sentido de la interpretación de los datos analíticos.

La ablación láser se realiza en cristales de zircón montados en una probeta de resina idéntica a la usada para la técnica SHRIMP-RG, pero con la única excepción de que no es necesario el recubrimiento con una película de oro para realizar los análisis. La ablación se desarrolla en una celda con una celda de gas helio (He) donde se incide el láser con una repetición a 5 Hz y una energía de ~ 160 mJ provocando la nebulización de un área del zircón (*spot* o punto de análisis) de 34 μm de diámetro y de aproximadamente 25 μm de profundidad. Este material nebulizado en He es transportado hacia el ICP-MS mediante un flujo de Ar y N_2 . Una vez en el ICP-MS se

obtienen las mediciones de las razones isotópicas para cada análisis puntual realizado. Para cada experimento, o grupo de circones desconocidos, se analizó primero dos veces el vidrio sintético NIST para usarlo en la calibración del detector y en el cálculo de las concentraciones elementales.

Los resultados obtenidos del laboratorio se exponen en las (Tabs. A1 y A2), para cada una de las muestras analizadas.

Tabla (B1), Resultados de los análisis de U/Pb en circones por el método LA-IPC-MS, Muestra ERDA-01, Pórfido Riolítico

Circones perforados	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U	RELACIONES CORREGIDAS										EIDADES CORREGIDAS (Ma)										Edad (Ma)	±1s
				²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±1s	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±1s	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±1s	Rho	%disc	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	±1s	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±1s	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±1s	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±1s	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	±1s				
Zircon_6	352	287	0.74	0.05596	0.00238	0.05685	0.00271	0.00737	0.00007	0.250	16	0.00229	0.00002	47.3	0.4	56.0	3.0	451	90	46.3	0.4	47.3	0.4		
Zircon_35	345	246	0.65	0.05220	0.00233	0.05321	0.00260	0.00739	0.00006	0.260	10	0.00232	0.00002	47.5	0.4	53.0	3.0	294	97	46.9	0.4	47.5	0.4		
Zircon_19	376	391	0.95	0.05410	0.00293	0.05540	0.00335	0.00743	0.00008	0.250	13	0.00232	0.00002	47.7	0.5	55.0	3.0	375	116	46.9	0.4	47.7	0.5		
Zircon_21	373	297	0.73	0.05976	0.00203	0.06092	0.00212	0.00742	0.00006	0.220	21	0.00236	0.00004	47.7	0.4	60.0	2.0	595	70	47.6	0.8	47.7	0.4		
Zircon_38	316	183	0.53	0.05665	0.00390	0.05806	0.00437	0.00743	0.00009	0.350	16	0.00231	0.00003	47.7	0.6	57.0	4.0	478	146	46.7	0.6	47.7	0.6		
Zircon_33	501	460	0.84	0.04996	0.00150	0.05119	0.00158	0.00744	0.00005	0.230	6	0.00232	0.00003	47.8	0.3	51.0	2.0	193	66	46.8	0.6	47.8	0.3		
Zircon_27	478	397	0.76	0.05236	0.00186	0.05389	0.00215	0.00746	0.00006	0.250	10	0.00234	0.00002	47.9	0.4	53.0	2.0	301	77	47.3	0.3	47.9	0.4		
Zircon_16	691	726	0.96	0.05005	0.00085	0.05172	0.00093	0.00749	0.00004	0.330	6	0.00226	0.00003	48.1	0.3	51.2	0.9	197	37	45.6	0.6	48.1	0.3		
Zircon_9	739	628	0.77	0.05377	0.00479	0.05604	0.00530	0.00756	0.00008	0.130	12	0.00236	0.00004	48.5	0.5	55.0	5.0	361	190	47.7	0.7	48.5	0.5		
Zircon_30	590	538	0.83	0.05471	0.00272	0.05704	0.00310	0.00756	0.00006	0.250	13	0.00236	0.00002	48.6	0.4	56.0	3.0	401	106	47.7	0.4	48.6	0.4		
Zircon_23	582	535	0.84	0.05419	0.00119	0.05662	0.00131	0.00759	0.00005	0.320	13	0.00242	0.00003	48.7	0.3	56.0	1.0	379	47	48.9	0.6	48.7	0.3		
Zircon_15	484	444	0.83	0.05220	0.00130	0.05488	0.00143	0.00765	0.00006	0.290	9	0.00243	0.00003	49.1	0.4	54.0	1.0	294	53	49.1	0.6	49.1	0.4		
Zircon_12	491	493	0.91	0.05574	0.00145	0.05848	0.00159	0.00766	0.00006	0.290	15	0.00244	0.00003	49.2	0.4	58.0	2.0	442	54	49.3	0.6	49.2	0.4		
Zircon_24	402	292	0.66	0.05583	0.00187	0.05903	0.00223	0.00767	0.00006	0.270	15	0.00239	0.00002	49.2	0.4	58.0	2.0	446	71	48.2	0.3	49.2	0.4		
Zircon_32	384	207	0.49	0.05337	0.00353	0.05642	0.00399	0.00767	0.00007	0.230	12	0.00240	0.00003	49.2	0.5	56.0	4.0	345	143	48.5	0.5	49.2	0.5		
Zircon_18	429	371	0.79	0.05805	0.00341	0.06166	0.00393	0.00770	0.00007	0.230	19	0.00239	0.00002	49.5	0.4	61.0	4.0	532	121	48.2	0.4	49.5	0.4		
Zircon_28	775	1247	1.46	0.05214	0.00104	0.05536	0.00115	0.00771	0.00005	0.280	10	0.00237	0.00003	49.5	0.3	55.0	1.0	292	43	47.8	0.6	49.5	0.3		
Zircon_39	467	418	0.81	0.05390	0.00246	0.05733	0.00284	0.00771	0.00006	0.200	13	0.00241	0.00002	49.5	0.4	57.0	3.0	367	98	48.7	0.4	49.5	0.4		
Zircon_11	512	414	0.74	0.05245	0.00094	0.05579	0.00106	0.00773	0.00005	0.330	10	0.00244	0.00003	49.6	0.3	55.0	1.0	305	38	49.3	0.6	49.6	0.3		
Zircon_25	846	398	0.43	0.04812	0.00103	0.05128	0.00131	0.00773	0.00006	0.370	3	0.00245	0.00002	49.6	0.4	51.0	1.0	105	48	49.5	0.3	49.6	0.4		
Zircon_31	435	301	0.63	0.05013	0.00156	0.05338	0.00191	0.00772	0.00006	0.340	6	0.00244	0.00002	49.6	0.4	53.0	2.0	201	69	49.2	0.3	49.6	0.4		
Zircon_36	514	396	0.70	0.05113	0.00144	0.05445	0.00173	0.00772	0.00005	0.270	8	0.00243	0.00001	49.6	0.3	54.0	2.0	247	62	49.1	0.3	49.6	0.3		
Zircon_37	349	233	0.61	0.05250	0.00147	0.05585	0.00161	0.00773	0.00006	0.240	10	0.00251	0.00004	49.6	0.4	55.0	2.0	307	61	50.7	0.8	49.6	0.4		
Zircon_26	468	391	0.76	0.05046	0.00126	0.05408	0.00141	0.00779	0.00006	0.290	6	0.00238	0.00003	50.0	0.4	53.0	1.0	216	55	48.0	0.6	50.0	0.4		
Zircon_34	265	232	0.80	0.05026	0.00181	0.05387	0.00199	0.00779	0.00007	0.220	6	0.00240	0.00004	50.0	0.4	53.0	2.0	207	80	48.5	0.8	50.0	0.4		
Zircon_40	331	250	0.69	0.04840	0.00140	0.05183	0.00155	0.00778	0.00006	0.250	2	0.00248	0.00004	50.0	0.4	51.0	1.0	119	64	50.1	0.8	50.0	0.4		
Zircon_17	375	339	0.82	0.05371	0.00145	0.05783	0.00163	0.00783	0.00006	0.290	12	0.00251	0.00008	50.3	0.4	57.0	2.0	359	57	51.0	2.0	50.3	0.4		
Zircon_13	209	149	0.65	0.05594	0.00168	0.06027	0.00189	0.00785	0.00007	0.290	15	0.00251	0.00005	50.4	0.4	59.0	2.0	450	62	51.0	1.0	50.4	0.4		
Zircon_1	433	343	0.72	0.05043	0.00141	0.05464	0.00158	0.00790	0.00006	0.260	6	0.00239	0.00003	50.7	0.4	54.0	2.0	215	60	48.2	0.6	50.7	0.4		
Zircon_2	496	406	0.74	0.05011	0.00100	0.05442	0.00116	0.00792	0.00006	0.350	6	0.00248	0.00003	50.9	0.4	54.0	1.0	200	44	50.1	0.6	50.9	0.4		
Zircon_10	372	372	0.91	0.05517	0.00216	0.06056	0.00276	0.00796	0.00008	0.360	15	0.00248	0.00002	51.1	0.5	60.0	3.0	419	82	50.1	0.4	51.1	0.5		
Zircon_29	1654	606	0.33	0.05253	0.00068	0.05893	0.00085	0.00816	0.00005	0.440	10	0.00294	0.00004	52.4	0.3	58.1	0.8	309	28	59.3	0.8	52.4	0.3		
Zircon_3	596	511	0.78	0.04988	0.00105	0.05607	0.00125	0.00818	0.00006	0.330	5	0.00235	0.00003	52.5	0.4	55.0	1.0	189	47	47.4	0.6	52.5	0.4		
Zircon_22	424	428	0.92	0.06004	0.00186	0.06926	0.00221	0.00837	0.00007	0.240	21	0.00261	0.00004	53.7	0.4	68.0	2.0	605	64	52.7	0.8	53.7	0.4		
Zircon_5	198	123	0.57	0.05559	0.00183	0.06374	0.00219	0.00838	0.00008	0.290	15	0.00270	0.00005	53.8	0.5	63.0	2.0	436	70	54.0	1.0	53.8	0.5		
Zircon_7	202	129	0.58	0.05098	0.00122	0.05876	0.00153	0.00838	0.00008	0.400	7	0.00247	0.00004	53.8	0.5	58.0	1.0	240	52	49.9	0.8	53.8	0.5		
Zircon_20	1256	472	0.34	0.04868	0.00092	0.05780	0.00130	0.00861	0.00006	0.430	3	0.00273	0.00002	55.3	0.4	57.0	1.0	132	42	55.1	0.3	55.3	0.4		
n = 37														Edad ²⁰⁶Pb/²³⁸U media ponderada =										49.5	0.2
			Probeta ICGeo-18 (Diciembre 2010)										MSWD = 1.7, n = 20												

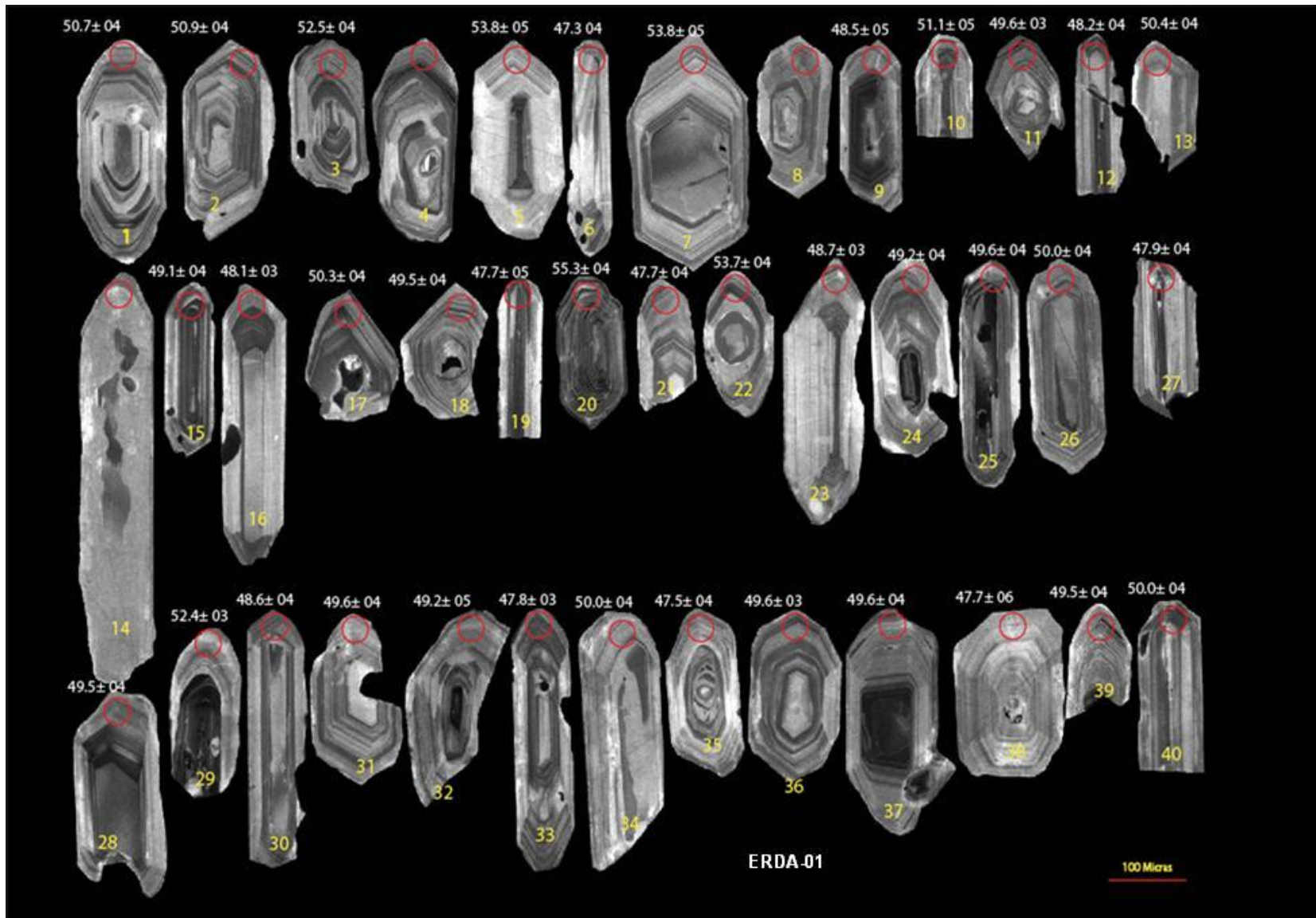


Figura B2.- Fotografías de catodoluminiscencia de la muestra ERDA-01 de los circones perforados seleccionados para datar.

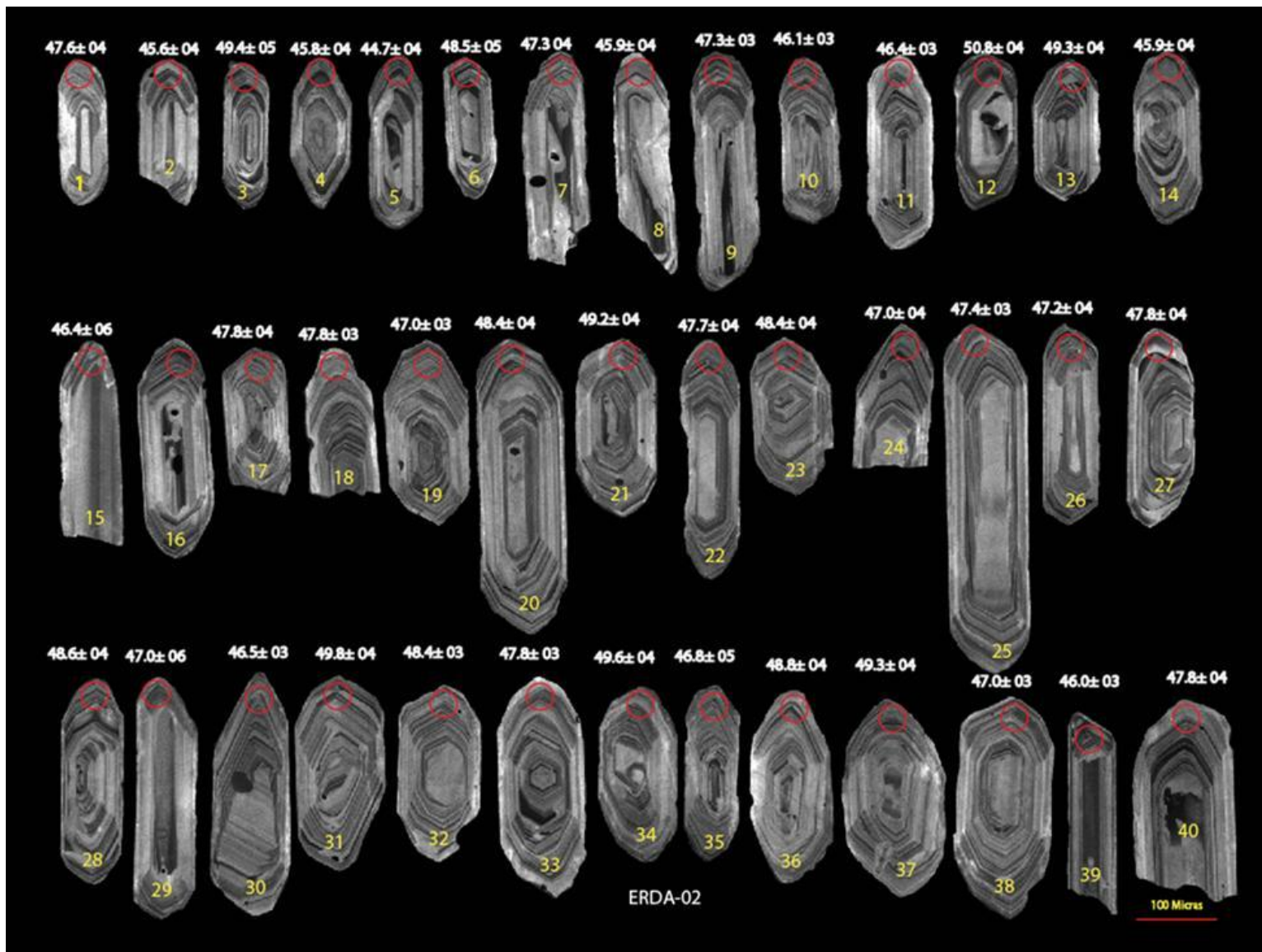


Figura B3.- Fotografías de catodoluminiscencia de la muestra ERDA-02 de los circones perforados seleccionados para datar.

Anexo C

Procedimiento para Realizar el Estudio Mineragráfico

Este estudio lo realizó centro experimental Oaxaca del Servicio Geológico Mexicano. Utilizando microscopio de polarización con luz incidente y objetivos de diferentes aumentos.

El propósito es establecer el método para la identificación de minerales metálicos (opacos) presentes en menas mineralizadas y rocas. Identificando su relación textural y asociaciones mineralógicas, con el fin de llegar al conocimiento de su génesis (metalogénesis). En productos metalúrgicos permite conocer la liberación de valores en función de su tamaño. Sus campos de aplicación son en las áreas geológicas, mineras, metalúrgicas y materiales.

El alcance de este procedimiento aplica a muestras geológicas en roca y polvo y a productos metalúrgicos, desde el acondicionamiento de la muestra hasta la emisión del informe de resultados.

El principio de este método se basa en la identificación de las propiedades ópticas, relaciones texturales y asociaciones mineralógicas que presentan los minerales metálicos (opacos) en secciones pulidas, al ser analizados con el microscopio de polarización con luz incidente.

Tabla (C1), Resumen de los resultados de mineragrafia. Mineneral %, es el porcentaje respecto al total de minerales metálicos						
Muestra	Coordenadas UTM WGS 84		Mineral en %	Paragenesis	Sucesión	Clacificación
	X	Y				
ER231	536330	2809980	Hematita 80% Pirita 20%	Pirita-Hematita	Cuarzo-Pirita- Hematita	Mineral de Veta
ER278	535909	2809654	Hematita 95% Pirita 5%	Pirita-Hematita	Cuarzo- Hematita-Pirita	Brecha de veta mineralizada
ER305	536140	2809701	Goethita 70% Hematita 30%	Hematita- Goethita	Cuarzo- Hematita- Goethita	Brecha de veta oxidada
ER382	535835	2809350	Hematita 99% Pirita 1%	Hematita-Pirita	Calcita- Hematita-Pirita	Veta mineralizada

Procedimiento para Realizar Estudios Petrográficos

Este estudio lo realizó centro experimental Oaxaca del Servicio Geológico Mexicano. Utilizando microscopio de polarización con luz incidente y objetivos de diferentes aumentos.

Este procedimiento aplica al estudio macroscópico y microscópico de los minerales transparentes o no metálicos de rocas ígneas, sedimentarias, metamórficas y a productos

metalúrgicos preparados en una lámina delgada con el fin de determinar los porcentajes estimados de las asociaciones mineralógicas presentes desde la obtención de la lámina delgada hasta la evaluación petrográfica de la muestra.

El propósito es establecer la metodología necesaria para llevar a cabo los estudios petrográficos para la clasificación de las rocas en base al contenido de minerales estimados a las propiedades ópticas de ellos y a las relaciones microtexturales del tipo de roca basadas en el conocimiento de las características petrológicas.

Tabla (C2), Resumen de los resultados de petrografía						
Muestra	Coordenadas UTM WGS 84		Minerales esenciales	Minerales secundarios	Minerales Accesorios	Nombre de la Roca
	X	Y				
AB009	536949	2818316	Andesina 83%, Hornblenda 9%	Calcita 3% Hematita 2%	Magnetita 2%	Andesita de hornblenda
ABL055	538050	2818598	Vidrio 48% Ortoclasa 27% Cuarzo 12% Albita 8% Biotita 3 %	Apatito 1%	Hematita 1%	Riolita de biotita
AB019	541835	2815735	Cuarzo 69% Fragmentos de Roca 15% Albita 7% Ortoclasa 6%	Calcita 3%		Arenisca de la variedad litarenita
AB350	536935	2815134	Vidrio 56% Ortoclasa 23% Cuarzo 16 % Biotita 4%			Toba cristolovitreosa de composición riolítica
AB334	539710	2814708	Oligoclasa 86% Hornblenda 9%	Hematita 2% Calcita 1%	Apatito 1% Magnetita 1%	Andesita de hornblenda
AB331	541932	2810125	Ortoclasa 82% Biotita 7% Muscovita 1%	Calcita 3% Penninita 3% Illita 2% Hematita 1%	Apatito 1%	Pórfido andesítico
ER272	536430	2809800	Arcilla 30% fragmento de Roca 20% Cuarzo 15% Feldespato 10%	Calcita 8% Cuarzo 8% Hematita 4%	Plagioclasa 5%	Conglomerado polimíctico
ER274	535905	2809700	Vidrio 30% Cuarzo 20% Biotita 15% Feldespato 15%	Cuarzo 10% Óxidos 5%	Plagioclasa 5%	Toba riolítica
ERDA01	536400	2810263	Cuarzo 30% Vidrio 30% Biotita 15% Feldespato 10%	Hematitas y psilomelano 10%	Plagioclasa 5%	Pórfido riolítico

Anexo D

Procedimiento para Determinar Especies Minerales Cristalinas por Difracción de Rayos X (Método de Polvos), laboratorio del Servicio Geológico Mexicano de la ciudad de Oaxaca Oaxaca.

Para la identificación de especies minerales y/o compuestos químicos con estructura interna cristalina se aplica por medio del método de polvos, empleando la difracción de rayos X en materiales geológicos y productos metalúrgicos pulverulentos. El método utilizado es el de Hanawalt.

Este método se basa en el hecho de que cada sustancia en estado cristalino tiene un diagrama característico (patrón). Estos diagramas están coleccionados en fichas, libros y base de datos del Joint Committee On Powder Diffraction Standards y son para compuestos orgánicos, inorgánicos y minerales; se trata por lo tanto, de encontrar el mejor ajuste del diagrama problema con los datos coleccionados.

De esta manera se clasifican los datos para cada patrón en base a las tres líneas o picos más intensos de difracción.

El archivo contiene para cada patrón las distancias interplanares de cada uno de los picos y sus respectivas intensidades relativas a la línea más intensa normalizada a 100.

Tabla (D1) Resumen de los resultados de Difracción de Rayos X					
MUESTRA	COORDENADAS		PROPORCIÓN	ESPECIE MINERAL	COMPOSICIÓN QUÍMICA
	X	Y			
ER 018A			Mayor (> de 25%)	Cuarzo	α -SiO ₂
	536478	2810442	Mediana (10 a 25%)	Calcita	CaCO ₃
			Menor (1 a 10%)	Feldespató Potásico	KAlSi ₃ O ₈
			Escasa (0.1 a 1%)	Hematita	Fe ₂ O ₃
ER 033A			Mayor (> 25%)	Cuarzo	α -SiO ₂
	536518	2810417	Mediana (10 a 25%)	Feldespató Potásico	KAlSi ₃ O ₈
			Menor (1 a 10%)	Plagioclasa	(Na,Ca)(Si,Al) ₄ O ₈
			Escasa (0.1 a 1%)	Hematita	Fe ₂ O ₃
ER 052A			Mayor (> 25%)	Cuarzo	α -SiO ₂
	536400	2810320	Mediana (10 a 25%)	Feldespató Potásico	KAlSi ₃ O ₈
			Menor (1 a 10%)	Plagioclasa	(Na,Ca)(Si,Al) ₄ O ₈
				Caolinita	Al ₂ (OH) ₄ Si ₂ O ₅
ER 097A			Escasa (0.1 a 1%)	Hematita	Fe ₂ O ₃
			Mayor (>25%)	Cuarzo	α -SiO ₂
	536400	2810135	Mediana (10 a 25%)	Montmorillonita	Ca _{0.2} (Al,Mg) ₂ Si ₄ OH ₂ x.H ₂ O
			Menor (1 a 10%)	Feldespató Potásico	KAlSi ₃ O ₈
ER 134A			Escasa (0.1 a 1%)	Hematita	Fe ₂ O ₃
			Mayor (>25%)	Calcita	CaCO ₃
	536780	2810022	Mediana (10 a 25%)	Illita	K(Al,Mg) ₃ Si ₃ AlO ₁₀ (OH) ₂
			Menor (1 a 10%)	Cuarzo	α -SiO ₂
ER 148A			Escasa (0.1 a 1%)	Hematita	Fe ₂ O ₃
			Mayor (más de 25%)	Cuarzo	α -SiO ₂
	536737	2810169	Mediana (de 10 a 25%)	Plagioclasa	(Na,Ca)(Si,Al) ₄ O ₈
			Menor (de 1 a 10%)	Hidrozoicita	Zn ₅ (CO ₃) ₂ (OH) ₆
ER 166A				Augita	Ca(Fe,Mg)Si ₂ O ₆
			Escasa (de 0.1 a 1%)	Hematita	Fe ₂ O ₃
			Mayor (más de 25%)	Plagioclasa	(Na,Ca)(Si,Al) ₄ O ₈
	536770	2810270	Mediana (de 10 a 25%)	Hidrozoicita	Zn ₅ (CO ₃) ₂ (OH) ₆
ER 213				Hedengergita	Ca ₂ V ₉ O ₂₄ H ₂ O
			Menor (de 1 a 10%)	Feldespató Potásico	KAlSi ₃ O ₈
				Biotita	K(Fe,Mg) ₃ AlSi ₃ O ₁₀ (OH,F) ₂
			Escasa (de 0.1 a 1%)	Hematita	Fe ₂ O ₃
ER 213			Mayor (más de 25%)	Cuarzo	α -SiO ₂
	536160	2809980	Mediana (de 10 a 25%)	Calcita	CaCO ₃
			Menor (de 1 a 10%)	Feldespató Potásico	KAlSi ₃ O ₈
			Escasa (de 0.1 a 1%)	Hematita	Fe ₂ O ₃
ER 230			Mayor (más de 25%)	Cuarzo	α -SiO ₂
	536325	2809981	Mediana (de 10 a 25%)	Feldespató Potásico	KAlSi ₃ O ₈
			Menor (de 1 a 10%)	Illita-Montmorillonita	K _{0.7} Al ₂ (SiAl) ₄ O ₁₀ (OH) ₂
				Calcita	CaCO ₃
ER 239				Hematita	Fe ₂ O ₃
			Mayor (más de 25%)	Calcita	CaCO ₃
	536025	2809800	Mediana (de 1 a 10%)	Feldespató Potásico	KAlSi ₃ O ₈
				Cuarzo	α -SiO ₂
ER 242				Hematita	Fe ₂ O ₃
			Mayor (más de 25%)	Calcita	CaCO ₃
	536051	2809800	Mediana (de 10 a 25%)	Cuarzo	α -SiO ₂
			Menor (de 1 a 10%)	Feldespató Potásico	KAlSi ₃ O ₈
ER 267			Escasa (de 0.1 a 1%)	Hematita	Fe ₂ O ₃
			Mayor (más de 25%)	Cuarzo	α -SiO ₂
	536380	2809800	Mediana (de 10 a 25%)	Feldespató Potásico	KAlSi ₃ O ₈
			Menor (de 1 a 10%)	Caolinita	Al ₂ (OH) ₄ Si ₂ O ₅
ER 303				Bassanita	Ca ₂ (SO ₄) ₂ H ₂ O
				Calcita	CaCO ₃
			Escasa (de 0.1 a 1%)	Hematita	Fe ₂ O ₃
			Mayor (más de 25%)	Calcita	CaCO ₃
ER 305			Mayor (más de 25%)	Muscovita	KAl ₂ Si ₃ O ₁₀ (OH) ₂
	536120	2809701	Mediana (de 10 a 25%)	Bassanita	Ca ₂ (SO ₄) ₂ H ₂ O
			Menor (de 1 a 10%)	Goetita	α -FeO(OH)
			Escasa (de 0.1 a 1%)	Hematita	Fe ₂ O ₃
ER 305			Mayor (más de 25%)	Cuarzo	α -SiO ₂
	536140	2809701	Mediana (de 10 a 25%)	Feldespató Potásico	KAlSi ₃ O ₈
				Calcita	CaCO ₃
		Menor (de 1 a 10%)	Hematita	Fe ₂ O ₃	

Anexo E

Procedimiento para Determinar la Temperatura mínima de Formación de los Yacimientos Hidrotermales.

Este procedimiento tiene el propósito de determinar de la temperatura mínima, salinidad y densidad de formación de los yacimientos minerales tipo hidrotermal.

El método se basa en el principio de reproducir las condiciones termodinámicas que dieron origen a la formación de inclusiones fluidas en minerales transparentes, precipitados a partir de una solución acuosa caliente.

El procedimiento es el siguiente:

1. Verifique la temperatura de fusión y homogenice con una muestra de fluorita de la mina Camperio.
2. Monte el espécimen dentro de la cámara de la platina térmica. Explore la muestra para buscar inclusiones fluidas primarias.
4. Determine las temperaturas de fusión y homogeneización, congelando y calentando las inclusiones fluidas presentes en las muestras.
5. Con la temperatura de fusión determine la salinidad del fluido dada en % en peso de NaCl equivalente, mediante una tabla de correlación de temperatura de fusión – salinidad.
6. Con el valor de la salinidad y la temperatura de homogeneización determine, mediante tablas, la densidad del fluido.
7. De acuerdo a los valores de la temperatura de homogeneización (temperatura mínima de formación del yacimiento mineral), determine la clasificación del yacimiento mineral en epitermal, mesotermal e hipotermal.

Tabla (E1) Resumen de los resultados de Inclusiones Flúidas					
No. MUESTRA	COORDENADAS UTM DATUM WGS 84		T. HOMOGE- NEIZACIÓN	T. FUSIÓN	SALINIDAD % EN PESO DE NaCl EQUIVALENTE
	X	Y			
			140.7		
			170.4		
ER-203	536060	2809980	173.2	- 2 . 3	3 . 85
			173.7		
			161.2		
			162.3		
			164.9		
ER – 231	536330	2809980	180.4		
			185.4	- 2 . 0	3 . 37
			187.6	- 2 . 2	3 . 69
			170.2		
			173.0		
			173.4		
ER – 238	536019	2809799	173.6		
			175.2	- 0 . 3	0 . 53
			177.4		
			185.2	- 0 . 5	0 . 87
			165.0		
			171.1		
			173.3	- 2 . 4	4 . 01
			183.0	- 2 . 9	4 . 79
ER - 323	535905	2809541	189.0	- 3 . 0	4 . 94
			190.0		
			192.7		
			198.9		
			152.0		
			164.7		
			170.4	- 2 . 0	3 . 37
ER - 379	535856	2809385	171.8	- 2 . 3	3 . 85
			175.8	- 4 . 0	6 . 43
			180.3		
			194.3		
			237.4		
			389.6		
			395.4		
ER - 138	536824	2810071	398.8	- 10 . 3	14 . 31
			399.7	- 11 . 5	15 . 55

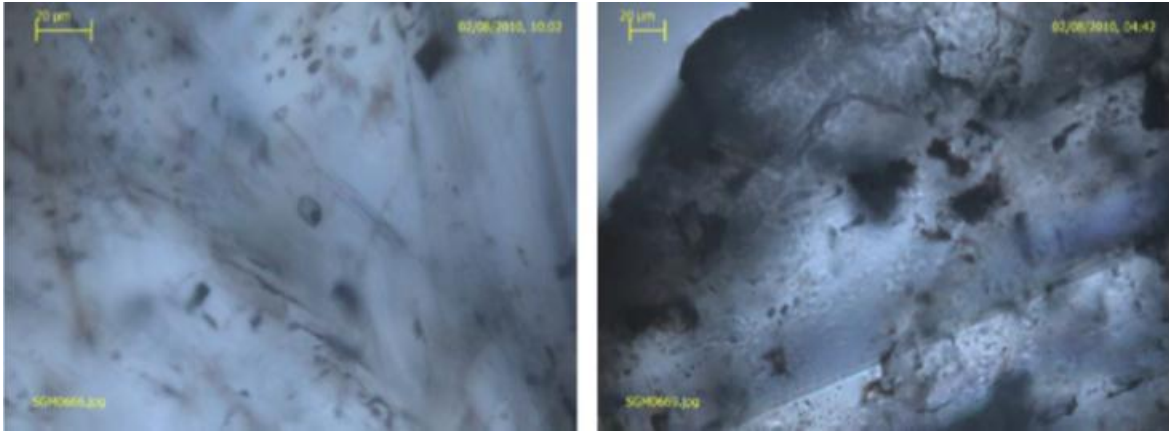


Figura E1.-Muestra: ER-203, al centro se observan inclusiones fluidas medianas básicas, observándose alrededor de ellas pequeñas inclusiones agrupadas de una sola fase.

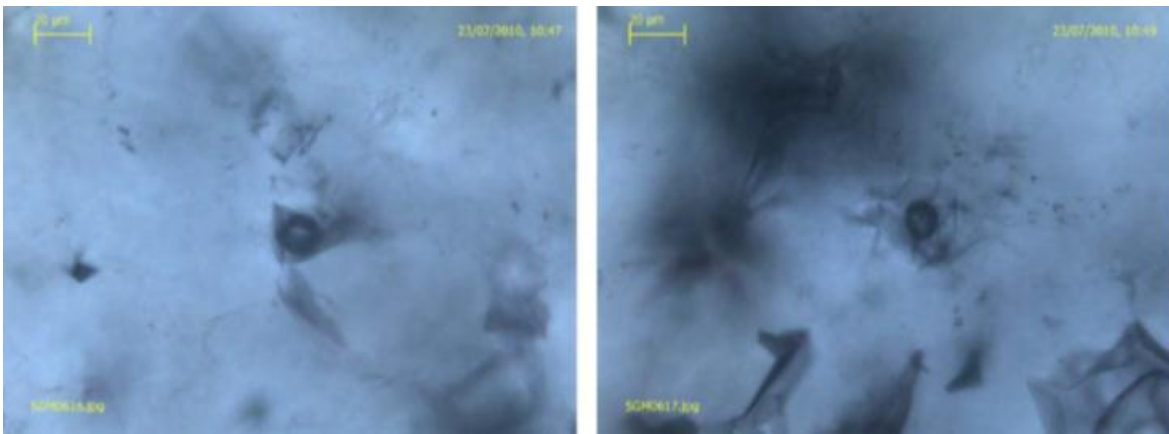


Figura E2.-Muestra: ER-231, Fotomicrografía que muestra las formas de inclusiones fluidas.

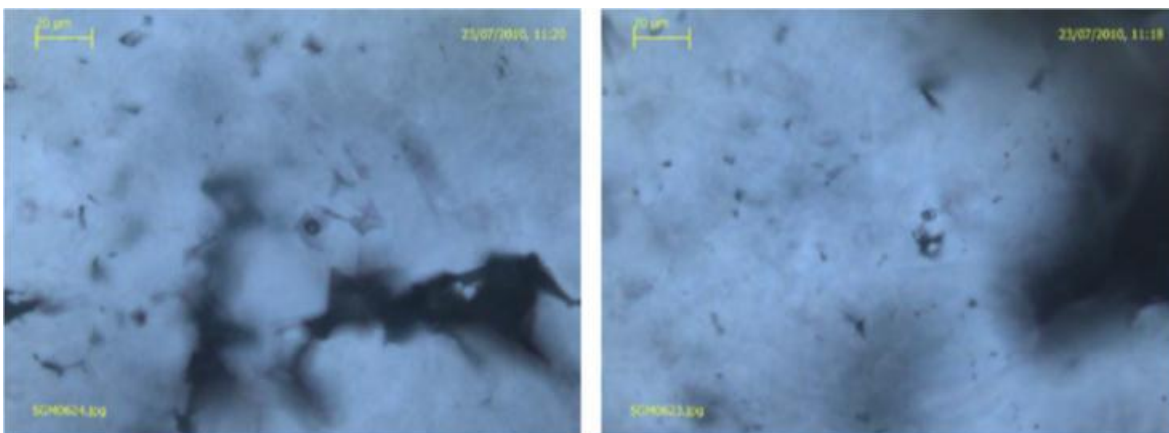


Figura E3.- MuestraER-238 con escasas burbujas de inclusiones fluidas bifásicas.

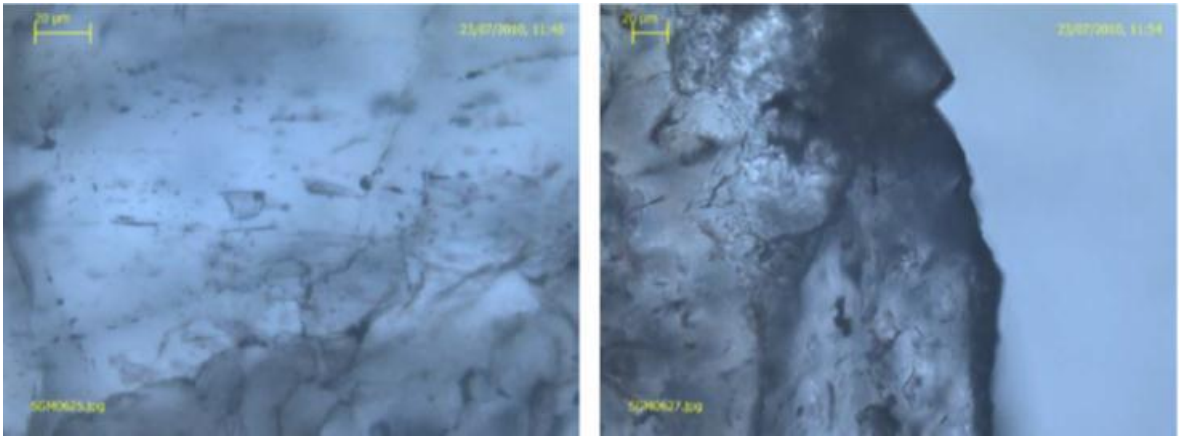


Figura E4.-ER-323 Aspecto y características del cuarzo con escasas inclusiones fluidas

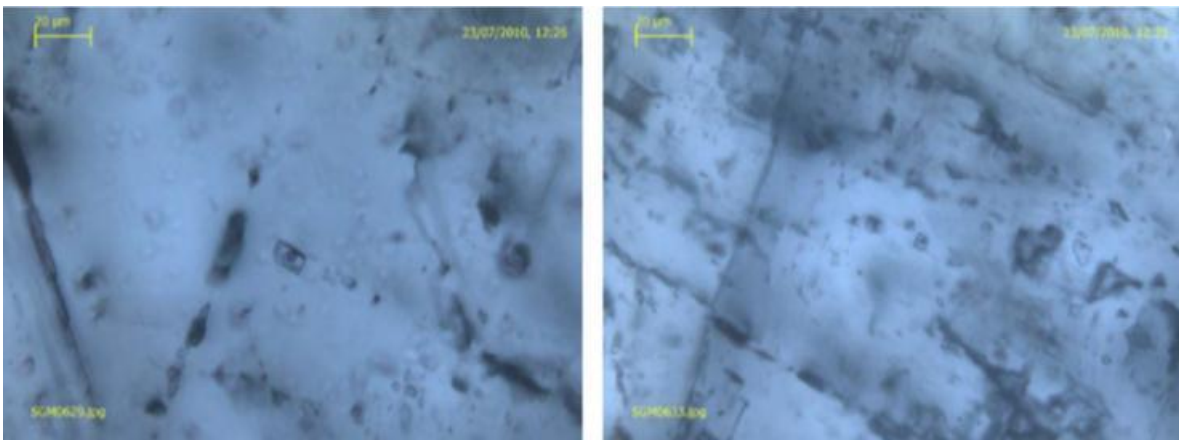


Figura E5.- Muestra 379 inclusiones fluidas en mineral de calcita

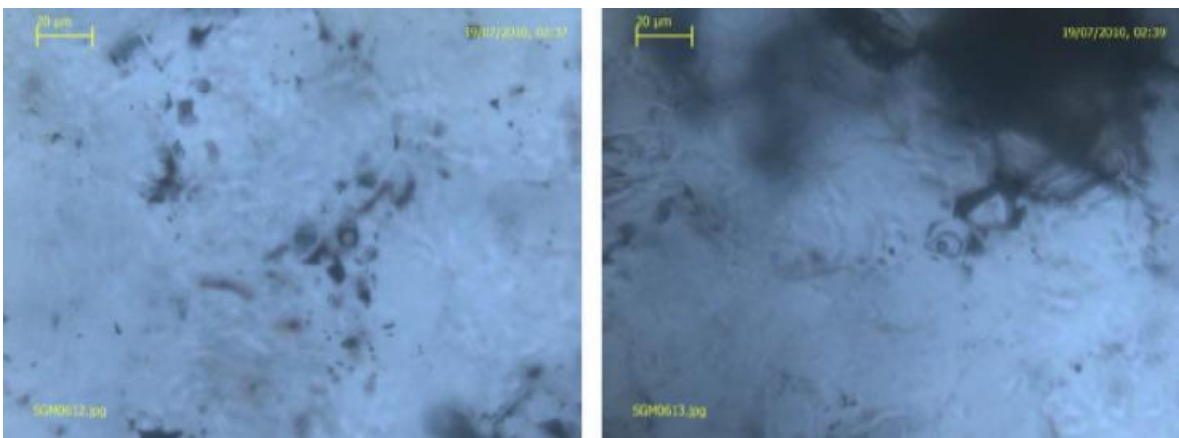


Figura E6.- Muestra 138 inclusiones fluidas en mineral de cuarzo, donde puede observarse la relación gas-líquido, con temperaturas de 399.7 °C

Anexo F

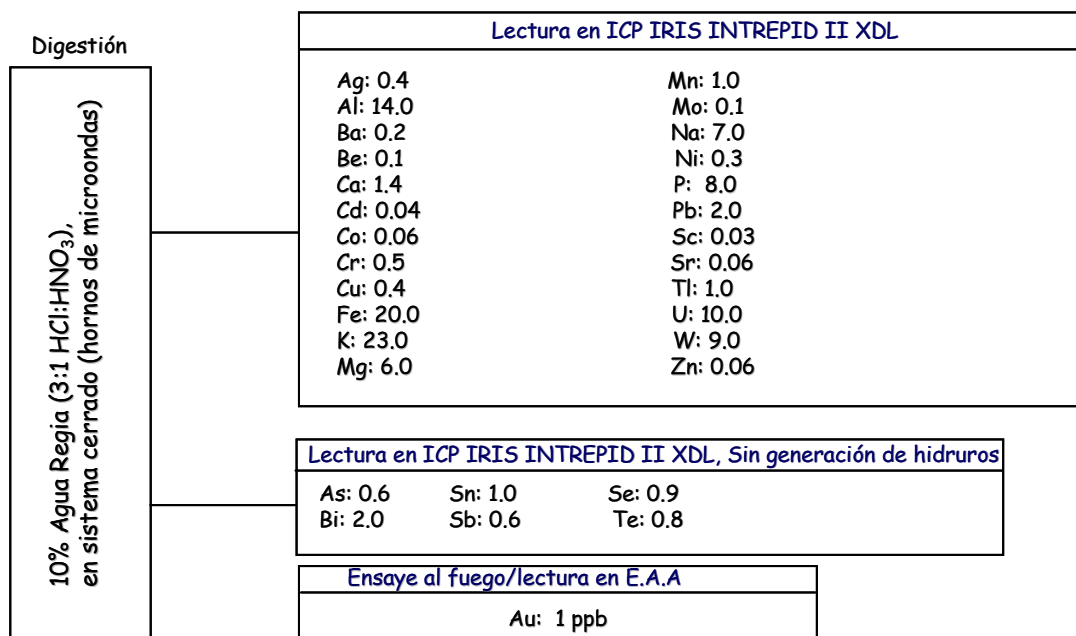
Procedimiento para cuantificar soluciones de esquiras en espectrómetro de (ICP óptico -Duo) Marca Thermo-Scientific, modelo iCAP 6500.

Este procedimiento se ha aplicado en soluciones de sedimentos de arroyo y soluciones de esquiras obtenidas por un ataque químico de agua regia al 10% y un máximo de 1% de sólidos disueltos, esto es la cantidad máxima de sólidos que puede tener la muestra, es decir, la solución no debe contener sólidos disueltos (coloides de tamaño muy pequeño en general) más allá de 1 g en 100 ml. Las muestras se analizaron en el Centro Experimental Oaxaca del Servicio Geológico Mexicano, mediante el método conocido internamente como Paquete de Geoquímica, el cual consiste en digerir la muestra sólida en una solución de agua regia en un horno de microondas, filtrado de la misma y dilución posterior. Los elementos cuantificables por este método son: Aluminio (Al), Antimonio (Sb), Arsénico (As), Bario (Ba), Berilio (Be), Bismuto (Bi), Cadmio (Cd), Calcio (Ca), Cobalto (Co), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Escandio (Sc), Estaño (Sn), Estroncio (Sr), Hierro (Fe), Fósforo (P), Magnesio (Mg), Manganeso (Mn), Molibdeno (Mo), Níquel (Ni), Plata (Ag), Plomo (Pb), Potasio (K), Selenio (Se), Sodio (Na), Talio (Tl), Teluro (Te), Tungsteno (W), Uranio (U), Vanadio (V) y Zinc (Zn) (sin el uso de la generación de hidruros) (Fig. F1).

El Au se analiza mediante el método combinado fusión-copelación-dilución-lectura por absorción atómica marca Perkin Elmer, modelo Analyst 400, el cual permite bajar los límites de detección hasta 1 ppb.

En la siguiente tabla se muestra la técnica utilizada por el laboratorio y los límites de detección por elemento.

Técnica Química



Limite de detección en ppm, para 1 g de muestra (sedimento de arroyo), aforado en 100 ml de Agua Desionizada

Figura F1. Técnica química para obtener los datos de la IPC y ensaye al fuego para el Au

Estandarización: Es el correlacionar las intensidades de muestras desconocidas con la de una conocida (estándar o referencia).

Blanco de calibración - El agua desionizada se acidifica con la misma matriz ácida que los estándares de la calibración. El blanco de la calibración es un estándar cero y se utiliza para calibrar el instrumento ICP.

Estándar de calibración (CAL) – Una solución preparada a partir de la dilución de un estándar líquido. Las soluciones de calibración se utilizan para calibrar la respuesta del instrumento con respecto a la concentración del analito.

Límite de detección del equipo (IDL) - la concentración equivalente a la señal del elemento que es igual a tres veces la desviación estándar de una serie de 10 repeticiones de las mediciones de la señal del blanco de calibración en la misma longitud de onda.

Duplicados del laboratorio (LD1 y LD2) - dos alícuotas de la misma muestra tomada en el laboratorio y analizada por separado con procedimientos idénticos. Los elementos de LD1 y de LD2 indican la precisión asociada a procedimientos del laboratorio.

Blanco de reactivo del laboratorio (LRB) - una alícuota de agua desionizada u otros blancos de matrices que se tratan exactamente como muestra incluyendo la exposición a

todo el material de vidrio, equipo, solventes, reactivos, y estándares internos que se utilicen con otras muestras. El LRB se utiliza para determinar si los elementos del método u otras interferencias están presentes en el ambiente, los reactivos, o el equipo de laboratorio.

Procedimiento para Preparación de Muestras de Esquirlas incluyendo el oro libre

Preparación de muestras de esquirlas

La secuencia se aplica a lotes de materiales con peso entre 0,1 g a 3,0 kg y tamaños no mayores de 12,7 cm (5"), para obtener un producto a tamaño menor de 150 μm (-100 mallas).

La muestra sin humedad se somete a una trituración para reducir el tamaño de partículas, se introduce un tamaño de alimentación de 4 a 5", se toma toda la muestra de manera uniforme a la trituradora de quijada, donde se obtiene un subproducto de descarga < 1/8", este se transfiere a la charola o bandeja metálica.

En el caso de que utilice la Trituradora de quijada Fabrexim, se obtendrá un subproducto primario <1/2", por lo que tendrá que pasar por una trituración secundaria (Quebradora de rodillos Fimsa), donde se obtiene un subproducto de descarga < 1/8", este se transfiere a la charola metálica que la contenía inicialmente.

Se homogeniza la muestra pasándola por un cuarteador Jones con shutters con abertura de 1" por lo menos dos veces para cumplir el objetivo usando las 4 charolas, volviéndose a juntar y que quede solo una porción casi igual a la inicial. (Usando las buenas prácticas de laboratorio: vaciado uniforme, golpeteo al cuarteador, usando brocha para limpieza del cuarteador).

Se colocan estos 100 a 130 gramos de la muestra en un pulverizador de anillos, donde se le da un tiempo estimado de 1,45 a 2,15 minutos de pulverización con el fin de llevarlo a un tamaño de partícula de 150 micras (malla -100).

Se realiza una prueba de granulometría en tamiz con malla 100, donde los 100 a 130 gramos tiene que pasar al 100 % la malla 100; si no cumple con esta especificación se somete a otra pulverización en anillos o en mortero de cerámica.

Se cuartea con el fin de obtener 2 productos 1 y 2, donde el 1 se vacía en un sobre amarillo o papel estraza y se guarda para testigo por tres meses, mientras que la porción 2 se vuelve a pasar por el cuarteador obteniéndose 2 sub-productos 3 y 4, donde el producto 3 se vuelve a vaciar en el sobre amarillo o bolsa de papel estraza para análisis de ensayo al fuego con una cantidad entre 80 a 100 g., la porción 4 se vacía en otro sobre amarillo o bolsa de papel estraza para análisis químicos de acuerdo a lo especificado en la orden de trabajo con una cantidad de 20 a 30 g. Se registra la salida de las muestras.

Preparación de muestras para Oro libre

La muestra obtenida en la etapa anterior, se muele uniformemente con un mazo o mano de metate en un metate hasta obtener un producto cercano a 106 micras que equivale a -140 mallas. El material pulverizado debe ser de 150 ± 20 g. Después, esta cantidad de muestra obtenida se pasa por la malla 140 donde se obtienen 2 productos, uno de +140 mallas (gruesos o laminas de Oro libre) y otro de - 140 mallas (finos u Oro libre diseminado en la muestra).

Los productos obtenidos se pesan y se ensobran con las identificaciones correspondientes a cada muestra, para después entregarlas para la etapa de ensaye al fuego para la realización de la determinación de Oro libre.

Las especificaciones que deben cumplir las muestras de muestras en la (Tabla F1)

Tabla (F1) Especificaciones de las muestras					
MUESTRA	ELEMENTO Y/O COMPUESTO	TAMAÑO DE MUESTRA	CANTIDAD DE MUESTRA	CONDICIONES ESPECIFICAS (PRESENTACIÓN)	ESPECIFICACIONES DE HUMEDAD
Minerales metálicos	Au, Ag, Cu, Pb, Zn, Fe, Mn, W, Sn, Se, otros	Fragmentos no mayores a 5"	Máximo 3,0 kg Mínimo 0,1 kg	Empaque de plástico bien sellado e identificación clara.	Secar a Temperatura de $70 \pm 10^{\circ}\text{C}$ Casos especiales como: As, Se, S, secar a Temperatura menores de 40°C
Minerales no metálicos	SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , CaO, MgO, BaSO ₄ , Na ₂ O, K ₂ O, carbonatos, otros.	Fragmentos no mayores a 5"	Máximo 3,0 kg Mínimo 0,1 kg	Empaque de plástico bien sellado e identificación clara.	Secar a Temperatura de $70 \pm 10^{\circ}\text{C}$ Casos especiales como: Yeso, Bentonita, otros. Secar a Temperaturas menores de 40°C o Temperatura Ambiente
Productos elaborados (concentrados, residuos, cerámico)	Varios	Características de la muestra y el análisis solicitado.	Máximo 3,0 kg Mínimo 0,1 kg	Empaque de plástico bien sellado e identificación clara.	Manejo adecuado Según naturaleza de muestra y tipo de análisis.

Conceptos básicos de estadística

Método geoquímico

El método geoquímico es un método indirecto de prospección y se ocupa de la determinación de la distribución y de la abundancia de ciertos elementos como los elementos indicadores y los elementos exploradores relacionados con un depósito mineral. Una anomalía geoquímica se refiere a una variación en la abundancia de un elemento en comparación a su abundancia normal en un área definida. Una anomalía geoquímica puede ser relacionada o no con un depósito mineral.

Definición

El método geoquímico de exploración o prospección respectivamente es un método indirecto. La exploración geoquímica a minerales incluye cualquier método basándose en la medición sistemática de una o varias propiedades químicas de material naturalmente formado. El contenido de trazas de un elemento o de un grupo de elementos

es la propiedad común, que se mide. El material naturalmente formado incluye rocas, suelos, capas de hidróxidos de Fe formadas por meteorización llamadas 'gossan', sedimentos glaciares, vegetación, sedimentos de ríos y lagos, agua y vapor. La exploración geoquímica está enfocada en el descubrimiento de distribuciones anómalas de elementos.

Media aritmética

Es la medida de posición central más utilizada, la más conocida y la más sencilla de calcular, debido principalmente a que sus ecuaciones se prestan para el manejo algebraico, lo cual la hace de gran utilidad. Su principal desventaja radica en su sensibilidad al cambio de uno de sus valores o a los valores extremos demasiado grandes o pequeños. La media se define como la suma de todos los valores observados, dividido por el número total de observaciones

Donde (μ) representa la media, (N) representa el tamaño de la población y (X_i) representa cada uno de los valores de la población.

$$\bar{\mu} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{N} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{N}$$

Varianza

Esta medida nos permite identificar la diferencia promedio que hay entre cada uno de los valores respecto a su punto central (*Media \bar{X}*). Este promedio es calculado, elevando cada una de las diferencias al cuadrado (con el fin de eliminar los signos negativos), y calculando su promedio o media; es decir, sumado todos los cuadrados de las diferencias de cada valor respecto a la media y dividiendo este resultado por el número de observaciones que se tengan. Si la varianza es calculada a una población (total de componentes de un conjunto), la ecuación sería:

$$\sigma^2 = \frac{(X_1 - \bar{\mu})^2 + (X_2 - \bar{\mu})^2 + (X_3 - \bar{\mu})^2 + \dots + (X_n - \bar{\mu})^2}{N} = \frac{\sum (X_i - \bar{\mu})^2}{N}$$

Donde (σ^2) representa la varianza, (X_i) representa cada uno de los valores, ($\bar{\mu}$) representa la media poblacional y (N) es el número de observaciones ó tamaño de la población.

Desviación estándar

Esta medida nos permite determinar el promedio aritmético de fluctuación de los datos respecto a su punto central o media. La desviación estándar nos da como resultado un valor numérico que representa el promedio de diferencia que hay entre los datos y la media. Para calcular la desviación estándar basta con hallar la raíz cuadrada de la varianza, por lo tanto su ecuación sería:

$$\sqrt{\sigma^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2}{N}}$$

Elemento indicador o elemento explorador (traza)

Un elemento indicador, elemento blanco (elemento económico a explorar) se refiere a uno de los elementos principales del depósito mineral, que se espera encontrar.

El elemento explorador o elemento traza se refiere a un elemento asociado con el depósito mineral, pero que puede ser detectado más fácilmente en comparación al elemento blanco, que puede ser dispersado en un área más extendida y que no está acompañado por tanto ruido de fondo en comparación al elemento blanco (Tab. F2). La selección de un elemento explorador requiere un modelo del depósito mineral, que se espera descubrir.

Tabla (F2) Elementos con afinidad geoquímica y elementos guías asociados usando en exploración de depósitos (tomados de Rose et al., 1979; Beus and Gregorian, 1977). En http://www.unalmed.edu.co/~rrodriguez/Geoquimica/Intro%20exploracion%20geoquimica.htm		
CATEGORIA de DEPÓSITO	COMPONENTES MAYORES (Blancos)	ELEMENTOS ASOCIADOS (Traza)
Depósitos Magmáticos:		
Depósitos de Cromita (Bushveld)	Cr	Ni, Fe, Mg
Magnetita en Estratos (Bushveld)	Fe	V, Ti, P
Sulfuros de Cu-Ni inmiscibles	Cu, Ni, S	PGE, Co, As, Au
Oxidos de Fe-Ti inmiscibles (Lago Allard)	Fe, Ti	P
PGE-Ni-Cu en intrusiones estratificadas	PGE, Ni, Cu	Sr, Co, S
Carbonatitas con Nb-Ta (Oka)	Nb, Ta	Na, Zr, P
Pegmatitas con REE	Be, Li, Cs, Rb	B, U, Th, REE
Depósitos Hidrotermales:		
Pórfidos Cupríferos (Bingham)	Cu, S	Mo, Au, Ag, Cu, Zn
Pórfidos Molibdeníferos (Clímax)	Mo, S	W, Sn, F, Cu
Skarn con Magnetita (Iron Springs)	Fe	Cu, Co, S
Skarn con Cu (Yerington)	Cu, Fe, S	Au, Ag
Skarn con Pb-Zn (Hanover)	Pb, Zn, S	Cu, Co
Skarn con W, Sn y Mo (Bishop)	W, Mo, Sn	F, S, Cu, Be, Bi
Venas con metales base	Pb, Zn, Cu, S	Ag, Au, As, Sb, Mn
Greisens con Sn – W	Sn, W	Cu, Mo, Bi, Li, F, B
Venas con Sulfuros de Sn	Sn, S	Cu, Pb, Zn, Ag, Sb
Venas con Co, Ni y Ag (Cobalt)	Co, Ni, Ag, S	As, Sb, Bi, U
Metales Preciosos Epitermales	Au, Ag	Sb, As, Hg, S, Cu
Metales Preciosos en rocas sedimentarias (Carlin)	Ag, Ag	As, Sb, Hg, W
Venas con Au (Archaen)	Au	As, Sb, W
Mercurio	Hg, S	Sb, As
Venas Con U en Granitos	U	Mo, Pb, F
Uranio asociado a Disconformidades	U	Ni, Se, Au, Pd, As
Cobre en Basaltos (Tipo Lago Superior)	Cu	Ag, As, S
Sulfuros Masivos con Cu asociados a Vulcanitas	Cu, S	Zn, Au
Sufuros Masivos con Zn-Cu-Pb asociado a Vulcanitas	Zn, Pb, Cu, S	Ag, Ba, Au, As
Formaciones de Fe con Au – As	Au, As, S	Sb
Valle del Misisipi con Pb-Zn	Zn, Pb, S	Ba, F, Cd, Cu, Ni
Uranio en Areniscas	F	Ba, Pb, Zn
Cobre en Capas Rojas	U	Se, Mo, V, Cu, Pb
Valle del Misisipi con Fluorita	Cu, S	Ag, Pb
Depósitos Tipos Sedimentarios:		
Cobre en Arcillas (Kuperschiefer)	Cu, S	Ag, Zn, Pb, Cd, Ni
Cobre en Areniscas	Cu, S	Ag, Co, Ni
Uranio en Calcáreos	U	V

Anomalía geoquímica

Una anomalía geoquímica es una variación de la distribución geoquímica normal correspondiente a un área o a un ambiente geoquímico conocido/caracterizado. Se expresa por medio de números, que se puede separar de un grupo más amplio de números constituyendo el fondo geoquímico. Para ser detectada una anomalía se tiene que desviar claramente de este valor de fondo.

En sentido estricto, un depósito mineral es un fenómeno escaso y anómalo por sí mismo y consecuentemente es una anomalía geoquímica. La distribución geoquímica relacionada con la génesis o la erosión del depósito mineral también es una anomalía.

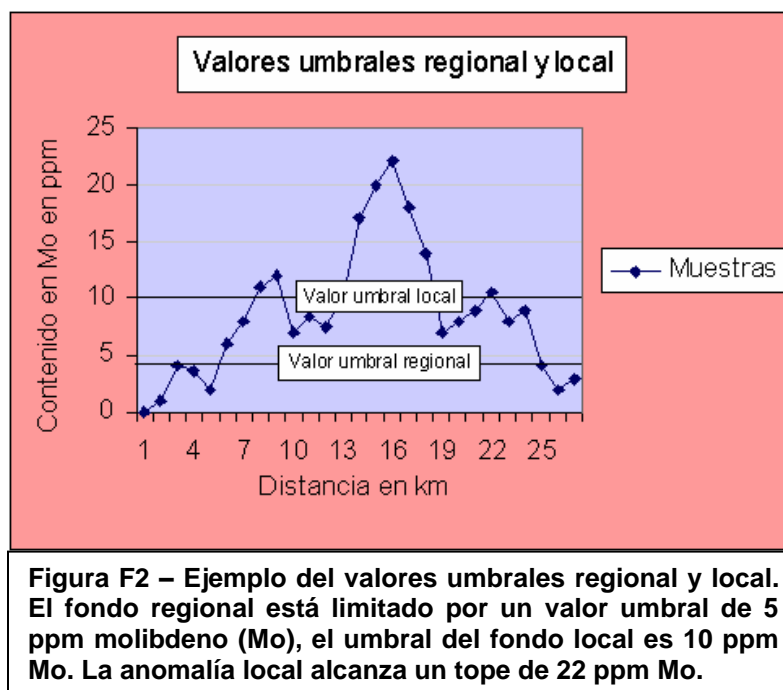
La desviación estadísticamente significativa a partir del valor de fondo, o valor normal, de un elemento, en un medio concreto o entorno geológico. De acuerdo con el muestreo superficial que se efectúe, se pueden obtener anomalías geoquímicas de sedimentos de arroyos, de suelos, rocas, plantas y de aguas. Siempre y cuando se conoce el valor de fondo.

Fondo, valores normales del fondo, valor umbral

El término 'fondo' se refiere a la abundancia normal de un elemento en los materiales terrestres no mineralizados. Considerando dos diferentes tipos de materiales terrestres la abundancia normal de un elemento en un tipo de material terrestre muy probablemente difiere de su abundancia en otro tipo de material terrestre. Por ejemplo el contenido medio en K₂O de granitos es 5,46 % en peso, de basaltos es 0,82% en peso (según Nockolds, 1954). La distribución de un elemento en un material terrestre apenas es uniforme. Por esto se recomienda considerar el fondo como un intervalo de valores en vez de tratarlo como un valor absoluto, incluso cuando se observa un ambiente relativamente uniforme. La naturaleza del ambiente por sí mismo puede influir la distribución, puesto que bajo distintas condiciones unos elementos pueden ser enriquecidos y otros pueden ser empobrecidos. Por consiguiente en el estudio de muestras de un área no conocida se debería determinar o por lo menos tener en cuenta el rango de los valores del fondo.

El valor umbral designa la concentración de un elemento indicador sobre que una muestra se puede considerar anómala. En el caso más sencillo el valor umbral coincide con el límite superior de los valores del fondo, los valores mayores positivos o negativos son anomalías, los valores menores positivos o negativos pertenecen al fondo. En casos más complejos se puede definir dos o tres valores umbrales. A veces las anomalías

relacionadas con un depósito mineral superponen un fondo caracterizado por un valor umbral elevado (en comparación a los valores umbrales comunes). Este fondo forma un relieve geoquímico definido por un valor inferior correspondiente al fondo regional y por un valor umbral regional (Figura B2), que lo separa de un nivel superior de valores elevados generado por una mineralización o dispersión extendida.



De este nivel superior parten las anomalías más estrechamente relacionadas con el depósito mineral, las cuales están definidas por un valor umbral local. El reconocimiento de los valores umbrales regional y local puede ser de importancia extremadamente grande en la prospección geoquímica. A partir de este reconocimiento se puede dirigir la búsqueda detallada de los altos de la anomalía local al nivel determinado por el valor umbral superior, que fue delineado por medio de una red de muestreo del espaciamento. Por el relieve geoquímico se puede expresar la intensidad de la anomalía geoquímica con respecto al fondo geoquímico local proporcionando las intensidades de la anomalía y del fondo geoquímica local.

Anexo G en CD

Anexo G1, Mapa geológico estructural regional escala 1:20.000.

Anexo G2, Plano geológico estructural a detalle escala 1:2.000.

Anexo G 3, Resultado de Muestreo Geoquímico

Anexo G 4, Controles de calidad de las muestras de Geoquímica

Anexo G5, Coordenadas de las Factores 1, 2, 3, 4 y 5 Ploteados