



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA**

**“CORRELACIÓN ENTRE LOS SISTEMAS DE VETAS CHICHARRA Y  
SAN JORGE EN EL ÁREA MONTE ALBÁN, DISTRITO MINERO TAVICHE,  
ESTADO DE OAXACA”.**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO GEÓLOGO

**PRESENTA**

JIMÉNEZ FRANCO MA. ABIGAIL

DIRECTOR: ING. JESÚS CASTRO MORA



2010



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIRECCIÓN  
60-I-798

**SRITA. MARÍA ABIGAIL JIMÉNEZ FRANCO**  
**Presente**

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

**CORRELACIÓN ENTRE LOS SISTEMAS DE VETAS CHICHARRA Y SAN JORGE EN EL ÁREA MONTE ALBÁN,  
DISTRITO MINERO TAVICHE, ESTADO DE OAXACA.**

**INTRODUCCIÓN**

- I ANTECEDENTES DE EXPLORACIÓN EN EL DISTRITO MINERO TAVICHE**
- II SÍNTESIS GEOGRÁFICA**
- III SÍNTESIS GEOLÓGICA REGIONAL**
- IV MARCO GEOLÓGICO DEL ÁREA DE MONTE ALBÁN**
- V DESCRIPCIÓN Y EXTENSIÓN DE LOS SISTEMAS DE VETAS SAN JORGE Y CHICHARRA**
- VI TIPO DE MINERALIZACIÓN Y CONTENIDOS METÁLICOS EXISTENTES (LEYES)**
- VII ZONACIÓN DE LAS ALTERACIONES HIDROTÉRMICAS**
- VIII PETROLOGÍA Y MINERAGRAFÍA DE LAS VETAS SAN JORGE Y CHICHARRA**
- IX ANÁLISIS DE INCLUSIONES FLUIDAS**
- X MODELO GEOLÓGICO DE LA DEPOSICIÓN METÁLICA**
- XI CONCLUSIONES**
- BIBLIOGRAFÍA**

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

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

Atentamente

**“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”**

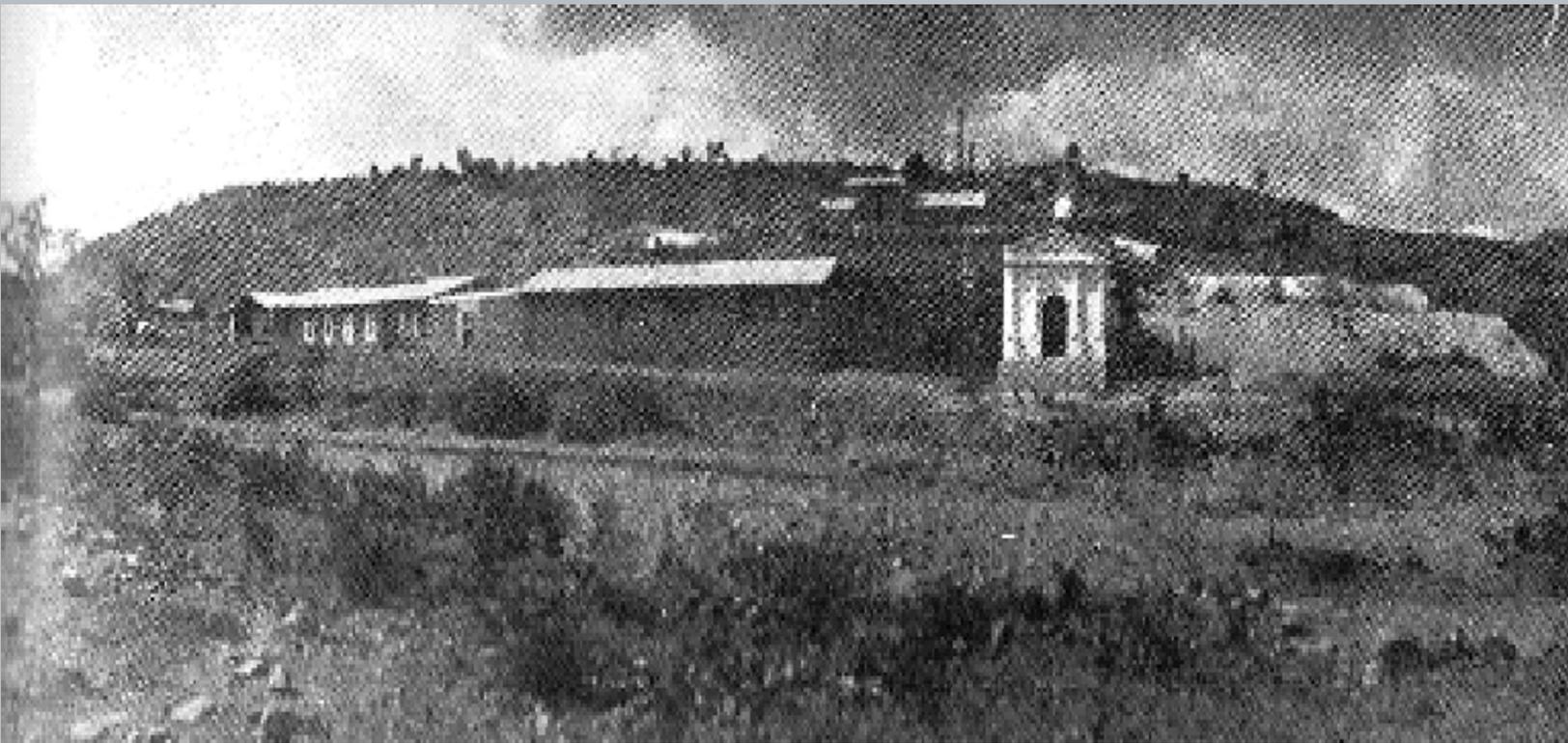
CD. Universitaria, D. F., a 1 de Diciembre de 2008  
EL DIRECTOR

**MTRO. JOSÉ GONZALO GUERRERO ZEPEDA**

**JGGZ\*RJPYS\*srs**

*“...San Jerónimo Taviche ¿por qué eres tan engreído?, será por tus minerales que tienes alrededor. Esa mina de San Juan, cubierta de barandales donde entró el ferrocarril a arrancarle sus metales.”  
(Extracto de canto popular)*

*Dedicado a mi abuela (†)  
éste logro también es tuyo.*



*Hacienda de Beneficio Chichara, Distrito Minero de Taviche, estado de Oaxaca.  
Tomado del libro Las minas de Mérida (edición ilustrada, 1905).  
Fotografía: John Reginald Southworth (autor)*



*Hacienda de Beneficio en la actualidad*

## **Agradecimientos**

A todas las personas que hicieron posible este proyecto pero en especial a mi director el Ing. Jesús Castro Mora por sus consejos, sus regaños, su confianza, su dedicación, su paciencia, por los buenos y malos momentos, por las horas de campo, por las horas de viaje, por sus reflexiones, por su entrega, por retarme y exigir siempre mas, pero sobre todo por creer en mí y enseñarme que antes que todo somos seres humanos.

A los sinodales: Dr. Juan Carlos Mora Chaparro, por las facilidades y financiamiento otorgados, al M en C. Vicente Torres Rodríguez, por su buena disposición y sus palabras de aliento, al Ing. Miguel I. Vera Ocampo y el Ing. Carlos Schulze, por sus atinadas observaciones que ayudaron a enriquecer este trabajo.

A mis padres por permitirme tomar mis decisiones y dejarme cometer errores que me han ayudado a madurar y crecer como persona. A Elias por enseñarme que hasta en las más grandes diferencias hay convergencias y a Belén por enseñarme a ver la grandeza en lo pequeño.

A los ingenieros Francisco Meneses e Isaac Marino de GYMSA Geoquímica y Perforación, por enseñarme lo que significa ser geólogo y por darme la oportunidad de aprender.

Al Ing. Enrique Espinosa por su apoyo y su gran disposición así como al Servicio Geológico Mexicano (SGM) y al Centro de Experimentación Oaxaca en especial al Ing. David Esponda por realizar parte de los análisis de laboratorio.

Al Laboratorio Universitario de Geoquímica Isotópica (LUGIS) del Instituto de Geofísica de la UNAM, particularmente al Ing. Teodoro Hernández Treviño, quien otorgó facilidades para el procesado de las muestras para realizar estudios de geocronología, sin embargo por falta de tiempo, quedo pendiente el análisis de dichos minerales, de igual forma al Dr. Carles Canet Miquel por facilitar el acceso al laboratorio del departamento de Recursos Naturales para los estudios faltantes.

A la Sra. Ernestina (doña Tachita), Don Luis y Carlos (Chalo), por enseñarme a vivir el campo.

A Manolo por que a pesar de todo siempre estas ahí, gracias por ser quien eres y no dejarme perder. A don Alfredo y la Sra. America por hacerme sentir parte de ustedes desde el primer momento. A Lily, Víctor Said y Yair, por mostrarme su cariño, apoyo y candidez en todo momento.

A mis compadres: Miguel, Javier, Iván, Alejandro, Carlos, Juan Pablo, Gina, Nadia, Montse, Jaqueline y Azul, porque para mí son como mi familia, así como a mis amigos del CCH, por seguir aquí pese a todo y los buenos amigos de la facultad.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Ingeniería, así como a cada uno de los maestros que me formaron, espero poder representarla dignamente.

Abigail

## ÍNDICE

	Pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b>	i
<b>I.- ANTECEDENTES DE EXPLORACIÓN EN EL DISTRITO MINERO TAVICHE</b>	1
I. a.- Estudios previos	2
I. b.- Aspectos Sociodemográficos	2
<b>II.- SÍNTESIS GEOGRÁFICA</b>	5
II. a.- Localización y vías de acceso	5
II. b.- Clima y vegetación	6
II. c.- Fisiografía	10
<b>III.- SÍNTESIS GEOLÓGICA REGIONAL</b>	12
III. a.- Estratigrafía	12
III. b.- Geología estructural	15
III. c.- Marco tectónico	17
<b>IV.- MARCO GEOLÓGICO DEL ÁREA MONTE ALBÁN</b>	21
IV. a.- Distribución espacio-temporal de unidades litológicas	21
IV. b.- Roca encajonante de las vetas (wall rock)	28
IV. c.- Marco estructural	32
IV.c.1. Sistemas de falla	32
IV.c.2. Sistemas de fractura	38
<b>V. DESCRIPCIÓN Y EXTENSIÓN DE LOS SISTEMAS DE VETAS SAN JORGE Y CHICHARRA</b>	42
V.a.- En superficie	43
V.b.- En interior mina	50
V.c.- Barrenación a diamante	51
<b>VI. TIPO DE MINERALIZACIÓN Y CONTENIDOS METÁLICOS EXISTENTES (LEYES)</b>	65
VI. a.- Muestreo superficial	66
VI. b.- Muestreo de interior mina	69
VI. c.- Muestreo de núcleos de barrenación (cores)	71
<b>VII. ZONACIÓN DE LAS ALTERACIONES HIDROTERMALES</b>	76
<b>VIII. PETROLOGÍA Y MINERAGRAFÍA DE LAS VETAS SAN JORGE Y CHICHARRA</b>	80
<b>IX. ANÁLISIS DE INCLUSIONES FLUÍDAS</b>	104



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

<b>X. MODELO GEOLÓGICO DE LA DEPOSICIÓN METÁLICA</b>	128
<b>XI. CONCLUSIONES</b>	131
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	134
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Imagen satelital de los valles centrales de Oaxaca.	ii
Figura 2: Localización del área de estudio.	5
Figura 3: Vegetación del estado de Oaxaca.	9
Figura 4: Fisiografía del estado de Oaxaca.	11
Figura 5. Mapa geológico regional del distrito minero Taviche, con base en la información del SGM a escala 1:50,000.	14
Figura 6. Lineamientos y estructuras regionales del área de estudio, reconocidas en la imagen satelital Land Sat 5 de Mr.-SID.	15
Figura 7: En la figura puede observarse claramente que la tendencia principal de las estructuras (fallas y vetas) de la zona de Chicharra y San Jorge son muy similares.	16
Figura 8: Terrenos tectonoestratigráficos del estado de Oaxaca.	18
Figura 9: Columna Estratigráfica del área de estudio.	23
Figura 10: Mapa geológico del área Monte Albán, distrito minero de Taviche, estado de Oaxaca.	
Figura 11: Diagramas de roseta de fracturas en el área Monte Albán, nótese que existen tres familias predominantes de fracturas.	40
Figura 12: Mapa Estructural del área Monte Albán, distrito minero de Taviche, estado de Oaxaca.	
Figura 13: Sistema de vetas San Jorge SJV.	43
Figura 14: Sistema de vetas Chicharra SCHV.	46
Figura 15. Sección que muestras la distribución de las obras mineras en el área de estudio.	
Figura 16: Sector del núcleo del barreno DSJ-03 que muestra el logeo de las estructuras mineralizadas y sus correspondientes contenidos de Au, Ag, Pb, Zn y Cu.	59
Figura 17: Sector del núcleo del barreno DSJ-08 que muestra el logeo de las estructuras mineralizadas y sus correspondientes contenidos de Au, Ag, Pb, Zn y Cu.	60

Figura 18: Sector del núcleo del barreno DSJ-14 que muestra el logeo de las estructuras mineralizadas y sus correspondientes contenidos de Au, Ag, Pb, Zn y Cu.	61
Figura 19: Sector del núcleo del barreno DCH-03 que muestra el logeo de las estructuras mineralizadas y sus correspondientes contenidos de Au, Ag, Pb, Zn y Cu.	62
Figura 20: Sector del núcleo del barreno DCH-05 que muestra el logeo de las estructuras mineralizadas y sus correspondientes contenidos de Au, Ag, Pb, Zn y Cu.	63
Figura 21: Sector del núcleo del barreno DCH-06 que muestra el logeo de las estructuras mineralizadas y sus correspondientes contenidos de Au, Ag, Pb, Zn y Cu.	64
Figura 22: Configuración de curvas de isovalores de Au en el área Monte Albán.	
Figura 23: Configuración de curvas de isovalores de Ag en el área Monte Albán.	
Figura 24: Distribución de barrenos programados por la empresa Aurea Mining en el SJV, con modificaciones menores.	71
Figura 25: Distribución de barrenos programados por la empresa Aurea Mining en el SCHV, con modificaciones menores.	72
Figura 26: Modelo de alteraciones hidrotermales.	78
Figura 27: Distribución teórica de las alteraciones hidrotermales, según: Lowel y Gilbert (1970).	78
Figura 28: Sección transversal que muestra la distribución de las alteraciones hidrotermales en el área de estudio.	
Figura 29: Mapa de distribución de las muestras colectadas para estudios de termometría.	
Figura 30. Nótese que para T4 y t4 la burbuja ha desaparecido, lo que corresponde con la [T] de homogenización.	110
Figura 31: Histograma de frecuencia de temperaturas de homogenización. Nótese que para cada grupo de valores, definido por un color diferente, representa un grupo de inclusiones correspondientes a cada muestra analizada.	126
Figura 32. Distribución de muestras en el crestón San Jorge. Nótese que se encuentran realizadas en letras rojas y con un punto de mayor tamaño las muestras que se consideran como zona de ebullición.	127

Figura 33. Modelo evolutivo del depósito mineralizado del área Monte Albán.

130

Figura 34. Distribución de los sistemas de vetas Chicharra (A) y San Jorge (B).

## **ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS**

	Pág.
Fotografía 1: Antigua estación del ferrocarril de San Jerónimo Taviche, durante la última etapa de la actividad minera, tomado de la Monografía Geológico Minera del Estado de Oaxaca (CRM, 1996)	1
Fotografía 2: Vestigios de la red ferroviaria antigua en San Jerónimo Taviche.	6
Fotografía 3: Vegetación típica de la zona durante el otoño. La elevación más alta (al fondo) corresponde al cerro Yabeló.	8
Fotografía 4: Unidad Tva, que aflora en la parte central del área de estudio.	24
Fotografía 5: Unidad Tvi, que aflora en la parte sureste del área de estudio, se aprecian las estructuras tipo "surge".	24
Fotografía 6: Unidad Tvci, que aflora en la parte suroeste del área de estudio, la cual es cortada por una veta de calcita de 1 a 2 m de espesor.	25
Fotografía 7: Unidad Tsv, con estructuras de "rompecabezas", que cubre discordantemente a la unidad Tsp en el área de San Jorge.	26
Fotografía 8: En el extremo inferior izquierdo pueden apreciarse coladas andesítico-basálticas que corresponden a la unidad Qba y cubren de manera discordante al resto de las unidades que afloran en el área Monte Albán.	26
Fotografía 9: Crestones alojados en la unidad porfídica (Tsp) cubiertos por depósitos piroclásticos en la zona Chicharra.	29
Fotografía 10: Pórfido riódacítico (Tsp) con desarrollo de stockwork en el lecho del arroyo Verónica.	29
Fotografía 11: Crestón alojado en la unidad porfídica (Tsp) de mayor continuidad en la zona San Jorge.	30
Fotografía 12: Diques de la unidad Tsp que cortan a la unidad granítica Ti: nótese la diferencia en longitud y espesor de A y B.	31
Fotografía 13: Diques regionales de la unidad Tsp que atraviesan el área de estudio en dirección oriente-poniente. Nótese al fondo la mina El Cubilete.	31
Fotografía 14: Sistema de falla normales que dislocan al SJV.	33
Fotografía 15: Veta subhorizontal, de cuarzo-covelita-esfalerita, alojada en un plano de fallas en el interior de la mina Mónica.	34

Fotografía 16: Fallas laterales (izquierda) en tobas (unidad Tvi), en la ladera sur del cerro Yabeló. Las líneas punteadas muestran planos de falla y fractura.	35
Fotografía 17: Estrías horizontales asociadas a fallas laterales en el área de estudio.	36
Fotografía 18: Veta-falla obra La Flor. Las líneas rojas punteadas marcan los planos de falla de ambas estructuras.	37
Fotografías 19 y 20: En ambas fotos (A y B) se distinguen 3 sistemas de fracturas que se observan en el área San Jorge. Primero un sistema conjugado de dirección NW-SE y NE-SW, respectivamente y el tercero que se encuentra cortando a estos 2 y por lo que se considera posterior a ellos.	39
Fotografía 21: Vista panorámica hacia el NNW donde se aprecia el crestón del SJV.	45
Fotografía 22: Estrías de falla del SJV, 70° de inclinación.	45
Fotografía 23: Crestón del SCHV.	48
Fotografía 24. Estrías de falla del SCHV, 70° de inclinación. Nótese la similitud entre las estrías entre los sistemas SJV y SCHV.	46
Fotografía 25: DSJ-03. Vetas de cuarzo amorfo con pirita y galena diseminada.	51
Fotografía 26: DSJ-03. Veta de cuarzo amorfo con mayor cantidad de sulfuros diseminados (galena, y pirita).	52
Fotografía 27: DSJ-08 La textura porfídica se incrementa cerca de las zonas de falla. Profundidad: 23 m.	52
Fotografía 28: DSJ-08. Veta de cuarzo con pirita y galena, la galena se presenta en bandas y en forma diseminada. Profundidad: 37.60 m.	53
Fotografía 29: DSJ-08. Banda de galena y esfalerita alojada en la veta de cuarzo pirita diseminada en ambas estructuras. Profundidad: 38.30 m.	53
Fotografía 30: DSJ-08. Pirita, galena, esfalerita, calcopirita alojadas en la veta de cuarzo. Profundidad: 38.59 m.	54
Fotografía 31: DSJ-08. Pirita, galena, esfalerita, calcopirita alojadas en la veta de cuarzo. Profundidad: 38.59 m.	54
Fotografía 32: DSJ-08. Pirita, galena, esfalerita, calcopirita alojadas en la veta de cuarzo. Profundidad: 38.82 m.	55

Fotografía 33: DSJ-08. Pirita, galena, esfalerita, calcopirita alojadas en la veta de cuarzo. Profundidad: 38.82 m.	55
Fotografía 34: DSJ-08. Pirita, galena, esfalerita, calcopirita alojadas en la veta de cuarzo. Profundidad: 47.30 m.	56
Fotografía 35: DSJ-08. Pirita, galena, esfalerita, calcopirita alojadas en la veta de cuarzo. Profundidad: 47.3 0m.	56
Fotografía 36: DSJ-14. Veta de cuarzo cortada con textura de drusas y óxidos.	57
Fotografía 37: DSJ-14. Veta de cuarzo muy fracturada con textura brechoide y óxidos.	57
Fotografía 38: DSJ-14. Vetas de cuarzo amorfo con pirita y galena diseminada.	58

## **ÍNDICE DE TABLAS**

	Pág.
Tabla I. Tabla que muestra las características de los principales sistemas de fallas y fracturas dentro del área Monte Albán	41
Tabla II: Tomado de Aurea Mining, 2007e. Con modificaciones menores.	44
Tabla III: Tomado de Aurea Mining, 2008b. Con modificaciones menores.	47
Tabla IV: Modificado de Aurea Mining, 2008. Nótese en amarillo y rojo los valores anómalos para Au, Ag, Cu, Pb, Zn.	67
Tabla V: Modificado de Aurea Mining, 2008. Nótese en amarillo y rojo los valores anómalos para Au, Ag, Cu, Pb, Zn.	68
Tabla VI: Modificado de Aurea Mining, 2008. Nótese en amarillo y rojo los valores anómalos para Au, Ag, Cu, Pb, Zn.	69
Tabla VII. Modificado de Aurea Mining, 2008. Nótese en amarillo y rojo los valores anómalos para Au, Ag, Cu, Pb, Zn.	74
Tabla VIII. Modificado de Aurea Mining, 2008. Nótese en amarillo y rojo los valores anómalos para Au, Ag, Cu, Pb, Zn.	75
Tabla IX. Correlación paragenética, en los sistemas de vetas de San Jorge y Chicharra.	89
Tabla X: Localización y descripción de las muestras colectadas para estudios de geotermometría.	75

## INTRODUCCIÓN

El presente estudio se realizó gracias a las facilidades proporcionadas por la empresa minera canadiense AUREA MINING INC (TSX:MXA), a través de su subsidiaria en México, Minera Aurea S.A. de C.V. quien auspició y proporcionó información relevante para su realización. Dicho estudio se llevó a cabo durante los trabajos exploratorios del proyecto denominado Monte Albán, y en él se muestran los resultados obtenidos que contribuirán a la definición del modelo del yacimiento y a la delimitación de zonas con potencial económico.

## OBJETIVO

Este trabajo fue realizado con el objeto de conocer las afinidades genéticas entre dos sistemas principales de vetas hidrotermales y, de esta manera, establecer o determinar, *a priori*, el potencial metálico de la región estudiada, asociado a dichos sistemas.

El área estudiada se localiza en la región de los Valles Centrales del estado de Oaxaca, dentro del distrito minero de Taviche, el cual a su vez forma parte de la región minera Tlacolula (SGM, 1996); comprende 2647 hectáreas y abarca parte de los municipios de Ocotlán de Morelos, San Dionisio Ocotlán, Santa Catarina Minas, San Jerónimo Taviche y San Miguel Tilquiapam.

Esta zona se ha considerado como un depósito mineralizado de alta ley, alojado en un sistema epitermal que muestra características de alta y baja sulfuración de vetas de cuarzo, brechas hidrotermales y stockworkcs hospedados en cuerpos intrusivos (Aurea Mining, 2007a).



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Uno de los sistemas de vetas se conoce como San Jorge (SJV), el cual se consideró, en un inicio, como un factor primordial para los trabajos de exploración. El SJV comprende una serie de vetas de cuarzo, paralelas y subparalelas de aproximadamente 3 km de longitud que forman parte del área mineralizada, tal sistema corresponde típicamente con un ambiente epitermal de baja sulfuración, con sobre-imposiciones de texturas y mineralizaciones más afines a la alta sulfuración.

Por otra parte, el sistema de vetas Chicharra (SCHV) constituye otro sistema que se encuentra ubicado al occidente de la zona de estudio; consiste también de un sistema de vetas de longitudes que suman aproximadamente 3 km, los espesores fluctúan desde menos de un metro a más de 10 metros observables en afloramiento. La extensión y dirección de estas vetas tienen la misma tendencia al noroeste que en el Sistema San Jorge (Aurea Mining, 2008b).

En las imágenes de satélite (Figura 1) son evidentes, además, una serie de importantes estructuras lineales y subcirculares; estos rasgos convergen en torno a la cuenca de Ocotlán, la cual tiene un diámetro aproximado de entre 10 a 15 km. Estas estructuras semicirculares podrían representar el colapso de una serie de calderas de un campo volcánico antiguo.

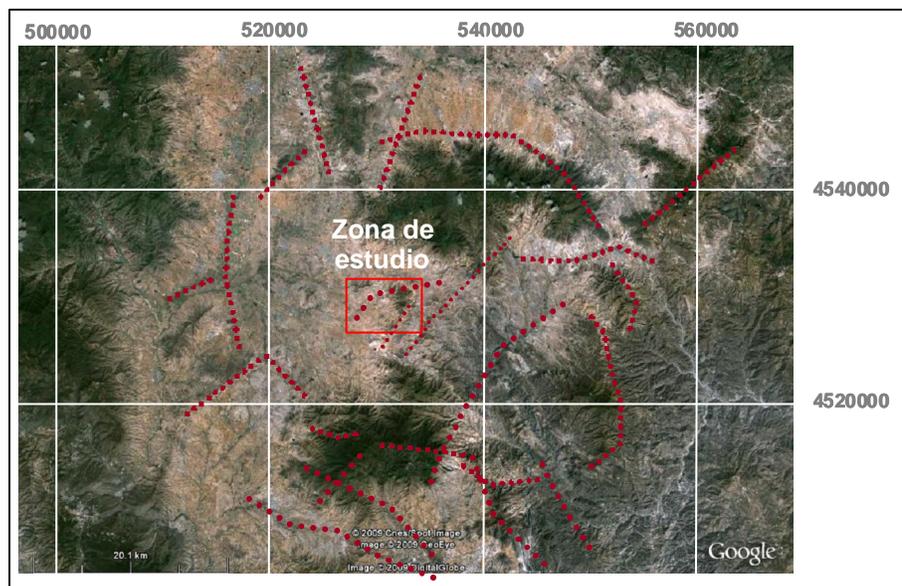


Figura 1: Imagen satelital de los valles centrales de Oaxaca. (Tomado de: Google Earth, 2009).

---

## **Metodología**

El desarrollo del presente trabajo fue efectuado en tres etapas, la primera etapa fue la de recopilación de información con la cual se documentó el área de estudio, ésta se realizó a la par de la etapa de campo, teniendo una duración aproximada de nueve meses, durante esta etapa se reconoció la columna estratigráfica correspondiente para el área Monte Albán, se realizó cartografía y topografía a detalle en las áreas de San Jorge, Chicharra y las minas Mónica y Paraíso, así como un muestreo sistemático en las obras mineras abandonadas con el fin de realizar posteriormente las caracterizaciones mineralógicas, petrográficas, geocronológicas y geotermométricas, de los sistemas de vetas dentro de dicha área, así como el mapeo a priori de las alteraciones hidrotermales y su relación con la metalogénesis.

Posteriormente se procesaron las muestras recolectadas durante la etapa de campo, los análisis de laboratorio tuvieron una duración aproximada de poco más de 10 meses. Las muestras elegidas para determinaciones isotópicas, se procesaron en cuanto a la separación de zircones en el Laboratorio Universitario de Geoquímica Isotópica (LUGIS) del Instituto de Geofísica de la UNAM, quedando pendiente la determinación de edad para estudios ulteriores.

Finalmente se procedió a la interpretación y presentación de los resultados de dicho análisis, cabe destacar que todos los mapas, así como las figuras, esquemas y secciones geológicas derivados del mismo se realizaron mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG) en Arc View 3.0, los mapas de distribución de curvas de isovalores se generaron a partir de los resultados de geoquímica se elaboraron con el programa Golden Surfer Software versión 8.00, así como los modelos 3D, para poder realizar la post edición de la información derivada en dichos softwares, se utilizó el programa Adobe Illustrator CS.

De igual forma en el desarrollo de esta investigación se asumió el uso de la terminología aceptada actualmente por consenso en todos los proyectos de exploración minera enfocados a la prospección tanto de metales preciosos como de metales base.

Un gran número de dichos términos han generado discusión e incluso controversia, razón por la cual se incluye un breve glosario que pretende ubicar al lector en el contexto bajo el cual se aplican dichos conceptos (ANEXO I).

## I.- ANTECEDENTES DE EXPLORACIÓN EN EL DISTRITO MINERO TAVICHE

La información respecto a cuándo se inició la actividad minera en el distrito es muy imprecisa; sin embargo, Bradomin (1991), reporta que a partir de 1580, inician las primeras obras con el descubrimiento de vetas en Santa Catarina Mártir y después en San Baltasar Chichicapan; éstas se consideran también las primeras exploraciones en el estado; fundándose así “El Real” o Hacienda minera de Chichicapan. De acuerdo con la Monografía Geológico-Minera del Estado de Oaxaca (CRM, 1996) el inicio de la actividad minera en el distrito minero Taviche se atribuye a la escasez de hierro de la época; se cree que esta etapa de explotación duró cerca 50 años.

En el año de 1907, el distrito de Taviche se encontraba en apogeo, dado que alrededor de 59 minas se encontraban en explotación. Posteriormente, una vez que cesó el movimiento revolucionario durante los años veinte, resurgen progresivamente los trabajos mineros en el estado considerando a los distritos mineros de Taviche y Natividad, en la sierra norte, como los de mayor relevancia en este período, los cuales de acuerdo con los relatos de los pobladores, cerraron actividades en la década de los años 60 (fotografía 1).



Fotografía 1: Antigua estación del ferrocarril de San Jerónimo Taviche, durante la última etapa de la actividad minera, tomado de la Monografía Geológico-Minera del Estado de Oaxaca (CRM, 1996)



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

### I.a.- Estudios previos

El Consejo de Recursos Minerales (hoy Servicio Geológico Mexicano -SGM-) reporta trabajos de reconocimiento en el área desde el año de 1949 hasta finales de los años noventa. La reactivación de los trabajos exploratorios se llevó a cabo en mayor proporción por la inversión extranjera.

Actualmente en el distrito minero Taviche se encuentran desarrollando actividades de exploración seis compañías canadienses, con sus correspondientes subsidiarias: Intrepid Mines (TSX: IXN), Fortuna Silver Mines (TSX: FVI), Aura Silver Resources (TSX: AUU), Continuum Resources (TSX: CNU), Panamerican Silver (TSX: PAA) y Aurea Mining Inc (TSX:MXA).

### I.b.- Aspectos sociodemográficos

Las características sociodemográficas de la región se obtuvieron de lo publicado por el INEGI en el II Censo de Población y Vivienda realizada durante el 2005 en el estado de Oaxaca.

Para el período comprendido entre los años 2000 al 2005 se observa una tasa de crecimiento de la población mínima en el estado, la más alta fue de 6.84%, en la región incluso se presentan tasas con valores negativos, esto debido a factores como la disminución de nacimientos, defunciones y sobre todo a la migración, la cual es predominantemente masculina, este factor ha sido determinante en la población del estado en las últimas décadas, que se considera está relacionado a la búsqueda de mejores oportunidades de empleo en la población en general.

Los municipios que comprenden el área de estudio no sobrepasan los 10,000 habitantes, a excepción de Ocotlán de Morelos, que en el año 2005 rebasó esta cifra; este municipio es el que presentó el mayor crecimiento poblacional en la zona (70.1%). En Oaxaca casi el 50% de sus habitantes radican en zonas rurales; sin embargo, la población urbana aumenta cada año en aproximadamente dos puntos porcentuales. La relación de hombres-mujeres indica que en el grupo de 0 a 14 años existen más hombres, pero debido al factor migratorio y de mortandad la relación se invierte a 80 hombres por cada 100 mujeres en las edades de entre 25 a 29 años para el 2005, esta tendencia se ha mantenido en los últimos años.

También se observan cambios en lo que respecta a la población infantil, ya que en general ésta se reduce en todos los municipios de la entidad, mientras que la proporción de jóvenes y adultos se incrementa, por lo que se refleja el proceso de maduración y envejecimiento de la población. El porcentaje de personas dependientes en la entidad general es bajo, ya que sólo el 29% de las personas en edad de trabajar son dependientes.

Por otra parte, en lo que respecta a la población que habla alguna lengua indígena, es importante mencionar que este sector muestra un comportamiento descendente tanto en porcentaje como en volumen ya que éste ha sido significativo particularmente en la última década.

Otro factor importante a considerar en el desarrollo de la entidad es el educativo pues éste es un elemento transformador importante de la sociedad. El mayor porcentaje de asistencia a la escuela es en las edades de 6 a 14 años, y disminuye significativamente después de esta edad, en parte por la conclusión de carreras técnicas pero, en mayor proporción, por el abandono escolar por la incorporación a las actividades domésticas y/o económicas.

En cuanto a lo a que afiliación a servicios de salud se refiere, para el año de 2005 únicamente el 22% de la población del estado contaba con este servicio por lo que la cobertura de la mayoría de la población recayó en la Secretaría de Salud y en el sector privado, en las 2 décadas pasadas esta relación se mantuvo sin cambios, aun cuando en el año 2005 se incorporó el programa de seguro popular.

## II.- SÍNTESIS GEOGRÁFICA

### II. a.- Localización y vías de acceso

El área Monte Albán forma parte del distrito minero Taviche, que constituye una referencia histórica importante en producción de metales preciosos en la región. Se localiza al sureste de la ciudad de Oaxaca, aproximadamente a 32 km en línea recta. Comprende parte de los distritos políticos de Ocotlán de Morelos, Ejutla de Crespo y Zaachila; el área que ocupa comprende parte de los municipios de Ocotlán de Morelos, San Jerónimo Taviche, Santa Catarina Minas, San Miguel Tilquiapam y San Dionisio Ocotlán.

El acceso a la zona de estudio se realiza por la carretera federal No. 175 Oaxaca - Puerto Angel, hasta la población de San Dionisio Ocotlán en el Km 30.5, de donde se toma el camino de terracería al poblado de San Jerónimo Taviche. (Figura 2)

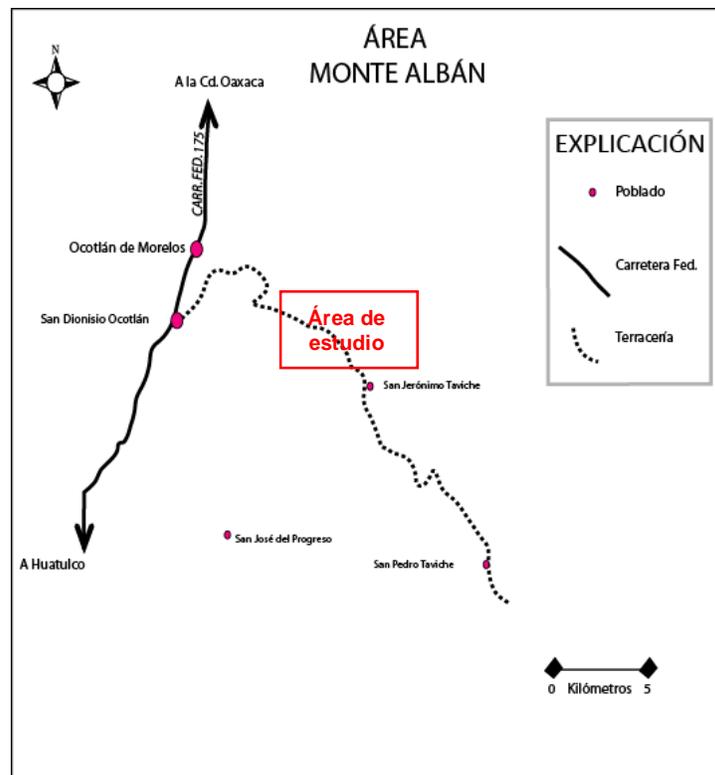


Figura 2: Localización del área de estudio. (Modificado de Aurea Mining, 2007c).



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

La red ferroviaria estatal dejó de funcionar a finales del siglo XX, funcionaba como un elemento importante para el desarrollo de la actividad minera, pues tenía una ramal dentro de la zona en la ruta San Antonio-Tlacolula, y comunicaba a los municipios de Zimatlán, Ocotlán y Taviche (Fotografía 2), los vestigios de esta red aún pueden apreciarse hoy en día.



Fotografía 2: Vestigios de la red ferroviaria antigua en San Jerónimo Taviche.

## II. b.- Clima y vegetación

Con base en los datos del estudio realizado en mayo del 2007 por Minera Aurea S.A. de C.V., se determinó que en el área de estudio la temperatura media anual rebasa los 18°C, con un régimen de lluvias de verano con muy escasa precipitación en invierno (menor al 5% de la precipitación anual), el mes mas frío corresponde a enero y el más cálido a mayo. El mes más lluvioso es junio con 142.1 mm en promedio, mientras que el mes más seco es diciembre con 1.3 mm.

Con base en los datos de la estación climática de San Jerónimo Taviche, la cual se localiza a una elevación de 1830 msnm, la cual registró que la temperatura promedio en los últimos 25 años es de 18.1 °C, mientras que la precipitación es de 665.5 mm, de acuerdo con estos datos el clima corresponde a templado subhúmedo, semicálido [(A) Cb (w<sub>0</sub>) (w) i g w] (García, E. 2004).

Por otra parte, la zona de estudio se encuentra dentro de la provincia florística de Serranías Meridionales la cual pertenece a la región mesoamericana de Montaña del Reino Holártico (Rzedowski, 1978). La mayor parte de la floresta se desarrolla entre los 1500 y 3000 msnm., los géneros de robles y pinos (*Quercus* y *Pinus*) son los que dominan en la vegetación arbórea. De acuerdo con la cartografía de vegetación del INEGI, en el área de estudio predominan las tierras de cultivo y la selva baja (figura 3). El bosque de encino se presenta en la parte más alta de los cerros, sobre los 1800 msnm. Debido a la tala del género de *Pinus* predomina el género *Quercus*, por esta misma causa la densidad de bosque es muy escasa; en este tipo de vegetación se desarrollan fácilmente los pastizales o *gramíneas*.

Dentro de los dos tipos de vegetación que predomina en el área, está el matorral subinermes, el cual cubre la mayor parte de superficie y se presenta en las partes más bajas de los cerros y las laderas. Los suelos están recubiertos por pastizales *gramíneas* y *micrófilas* en mayor proporción. Las especies arbóreas que se presentan en mayor proporción son *caducifolias* y *subcaducifolias* con algunas *Burseras*. Además en el paisaje se distinguen gran cantidad de cactus columnares (Fotografía 3).



Fotografía 3: Vegetación típica de la zona durante el otoño. La elevación más alta (al fondo) corresponde al cerro Yabeló.

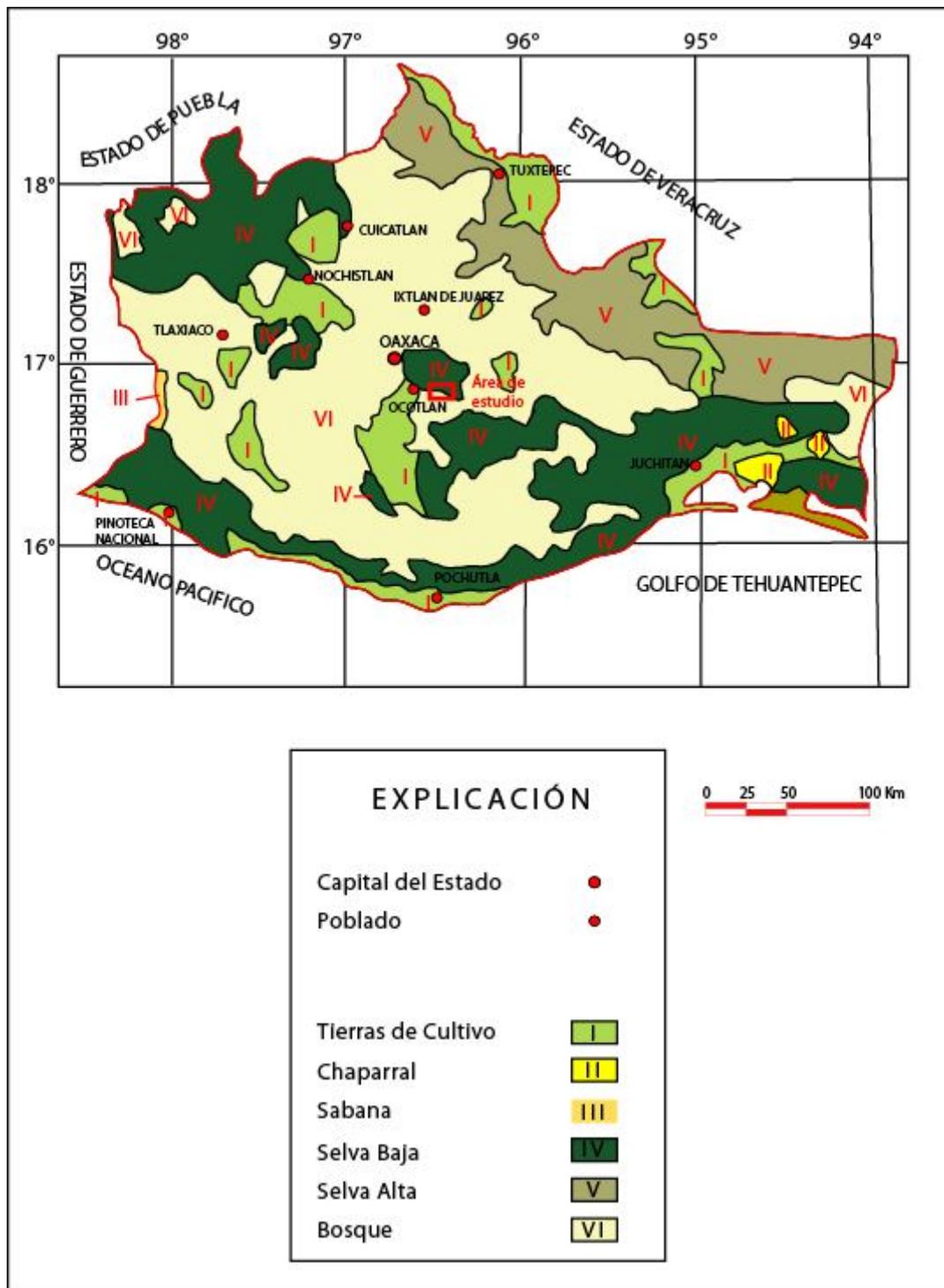


Figura 3: Vegetación del estado de Oaxaca.  
Modificado de la Monografía Geológico Minera del estado de Oaxaca (CRM, 1996)

## II. c.- Fisiografía

El área de estudio forma parte de la provincia fisiográfica Sierra Madre del Sur (Figura 4, Raisz, 1962) y de la región geoeconómica de los Valles Centrales (INEGI, 2008). Se caracteriza por una serie de cerros y lomeríos que rodean al valle que se ubica en la región noroccidental de la zona de estudio. En general, las crestas de los cerros que comprenden este sistema son uniformes con una altura promedio de 1800 msnm, excepto en la cumbre del cerro Yabeló que tiene una altura de 2040 msnm, el cual es el punto más alto de toda la zona. Este conjunto de altos topográficos son los que cubren la mayor extensión, lo que define así la morfología de la región. En la parte central, en las cumbres más altas, se extiende de norte a sur el parteaguas principal que se encuentra entre los 1840 y por arriba de los 2000 msnm.

Por otra parte, El área Monte Alban se circunscribe a la región hidrológica de Tehuantepec cuyos principales sistemas fluviales están controlados por sistemas de fallas y fracturas, el patrón de drenaje general es perenne, éste es predominantemente subparalelo y de tipo dendrítico cercano al río Yerba Santa, cuyo cauce atraviesa la parte central del área, que ha sido uno de los agentes disectores de la misma y el afluente principal.

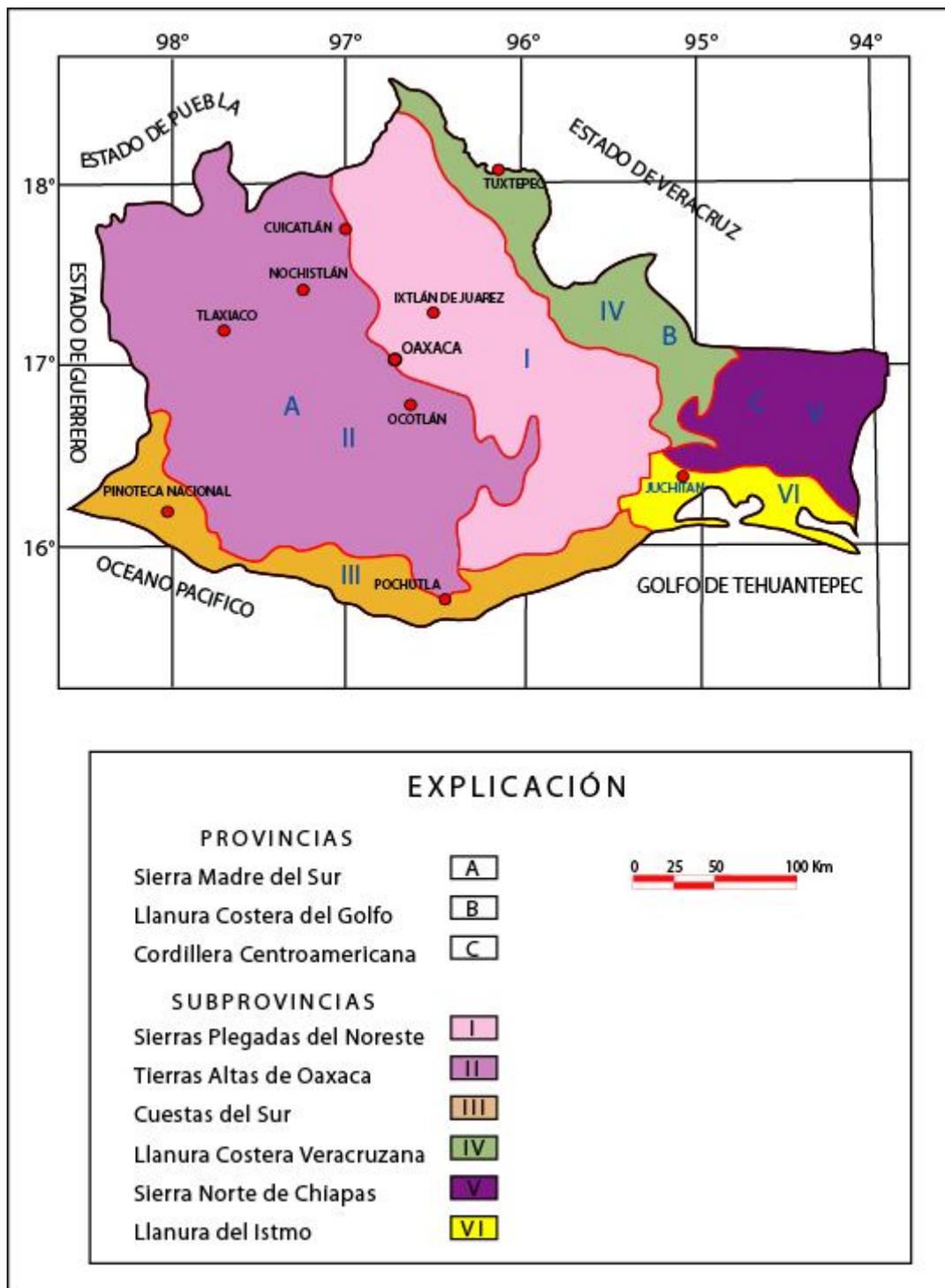


Figura 4: Fisiografía del estado de Oaxaca.  
Modificado de la Monografía Geológico Minera del estado de Oaxaca (CRM, 1996)

### III.- SÍNTESIS GEOLÓGICA REGIONAL

Geológicamente, el área de estudio se localiza dentro de la provincia Zapoteca (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1991), que está representada por un basamento metamórfico de alto grado, pertenecientes al Complejo Oaxaqueño, cubierto discordantemente por secuencias sedimentarias y vulcano-sedimentarias preterciarias (Castro-Mora, 2007), tales secuencias se encuentran dislocadas, plegadas y falladas, además de estar intrusionadas por cuerpos graníticos.

La disposición y relación de las diferentes unidades litológicas definen una historia tectónica compleja, dentro de la cual se originaron importantes yacimientos metálicos (García-Reyes, 1999).

#### III. a.- Estratigrafía

La estratigrafía regional enmarcada de la zona de estudio queda definida por la secuencia de rocas que afloran en las inmediaciones del Área Monte Albán, las cuales pueden ser descritas como un basamento compuesto por una secuencia de paragneiss y ortogneiss ricos en biotita del Proterozoico Medio, pertenecientes al Complejo Oaxaqueño, (Fries, 1965). Sobre este basamento metamórfico está dispuesta una serie de rocas del Jurásico correspondientes con el Grupo Tecocoyunca (J) (Erben 1956), que consisten en una sucesión de arenisca con intercalaciones de marga, caliza arenosa y bancos de ostreas e intercalaciones de arenisca, sobre éstos se encuentran calizas con horizontes arcillosos de las Formaciones Teposcolula y Yushe, del Cretácico Inferior (Ki), así como una secuencia del Cretácico Superior (Ks) y del Paleoceno (Tpa) respectivamente de arenisca, lutita fosilífera, conglomerado y limolita; estas unidades tampoco afloran en la zona de estudio.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Sobre este paquete se encuentran rocas compuestas por caliza con horizontes arcillosos de del Cretácico Superior, así como un cuerpo de arenisca, conglomerado y limolita de esta misma secuencia Cretácica, misma que se encuentra afectada por cuerpos graníticos del Terciario, los cuales probablemente están relacionados con algunos eventos de mineralización. Las rocas más abundantes del área, que cubren de manera discordante a las unidades subyacentes, corresponden a rocas volcánicas y volcanoclásticas, compuestas por un paquete de rocas andesíticas, que se encuentra debajo de una serie de tobas riolíticas y tobas andesíticas, las cuales, a su vez, están cubiertas por un conglomerado de origen continental. Rocas basálticas pliocénico-cuaternarias (?) cubren la secuencia litológica descrita. Depósitos aluviales del Holoceno se encuentran en las partes topográficamente bajas (CRM, 1996). (Figura 5).

### Mapa geológico regional del distrito minero Taviche

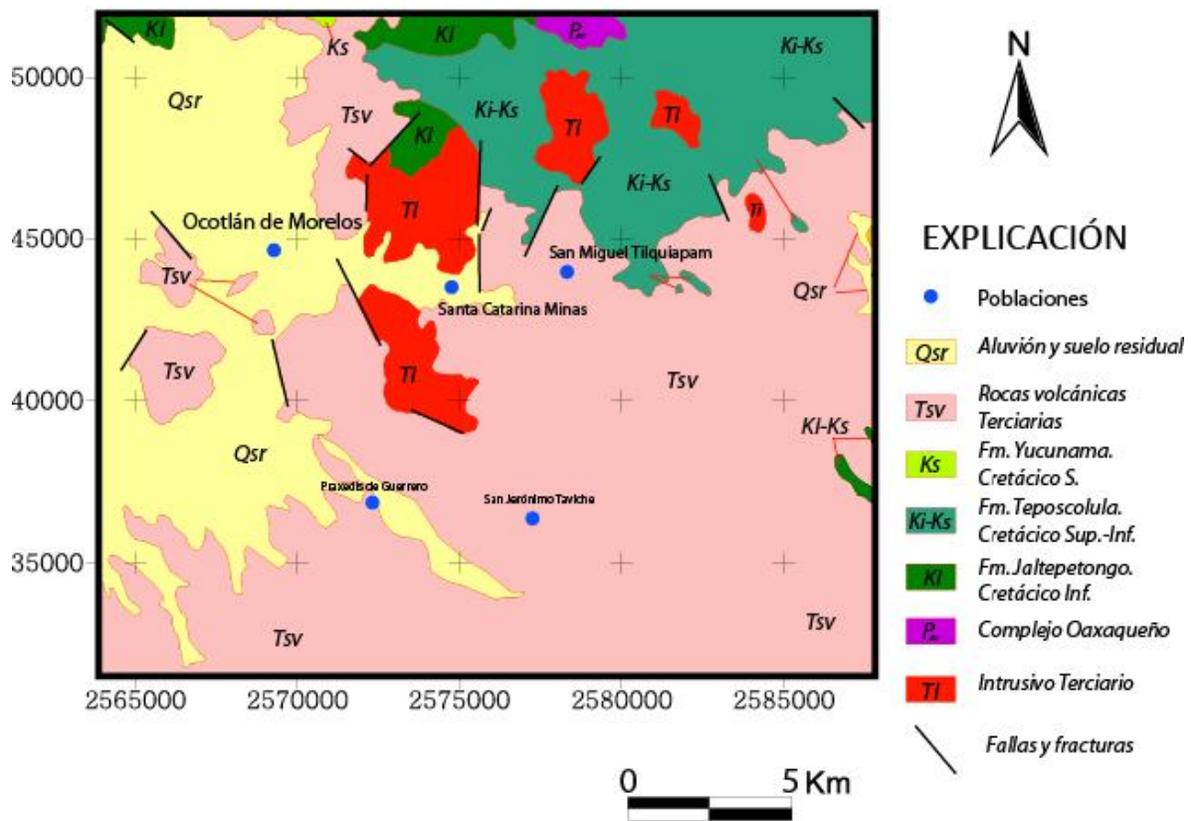


Figura 5. Mapa geológico regional del distrito minero Taviche, con base en la información del SGM a escala 1:50,000.

### III. b.- Geología estructural

Dentro de la región se logran observar e interpretar estructuras mayores tales como aparatos volcánicos, cuencas y sistemas de fallas y fracturas. Los sistemas de fallas y fracturas, además de ser los que controlan parte del emplazamiento de la mineralización, permiten hacer inferencias de los regímenes de esfuerzos que propiciaron la formación de dichos sistemas permitiendo, de esta manera, considerar episodios del colapso de las estructuras volcánicas; por otra parte, existe una estructura mayor definida como falla Yabeló (Figura 6) que se ubica en la zona central del área de estudio y corresponde a una falla de tipo normal con dirección NE-SW con componente lateral (Castro-Mora, 2007), que define el sistema principal de fallas en la zona y la cual se encuentra dispuesta entre el sistema de vetas San Jorge (al sureste) y el sistema de vetas Chicharra (poniente).

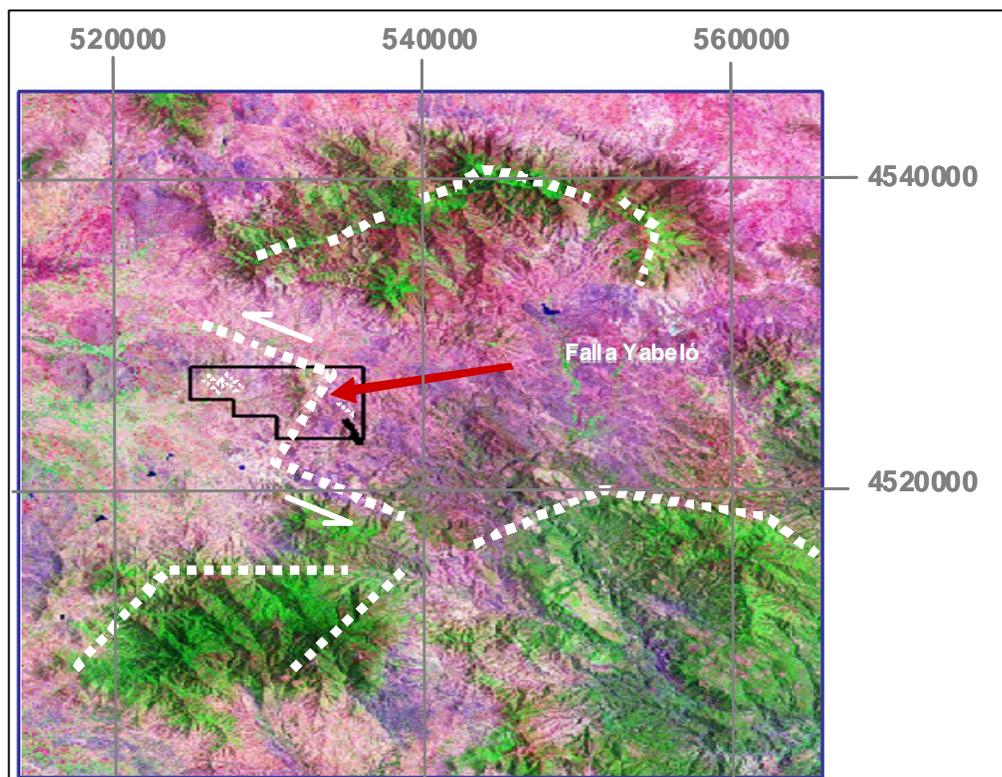
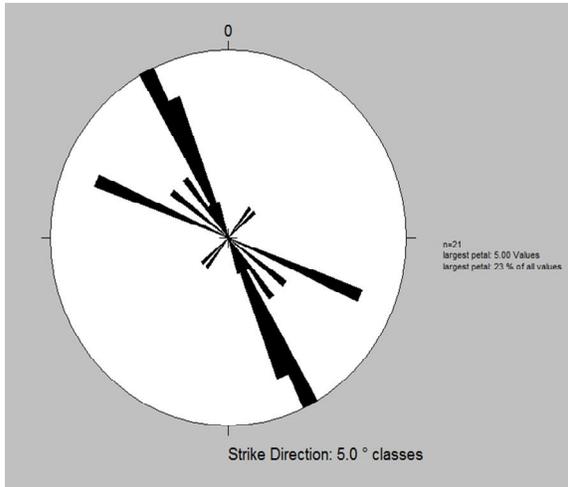
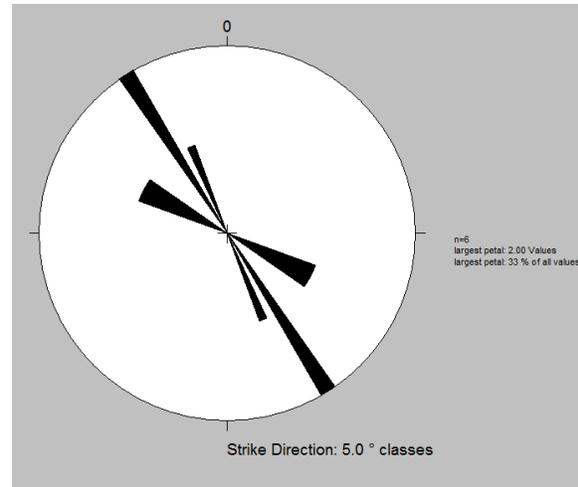


Figura 6. Lineamientos y estructuras regionales del área de estudio, reconocidas en la imagen satelital Land Sat 5 de Mr.-SID.

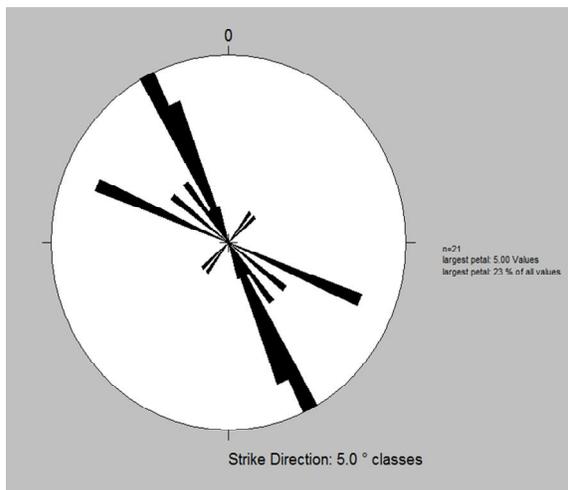
Otro sistema de fallas tiene una orientación NW-SE y con éste coinciden tanto el sistema San Jorge, como el de Chicharra. En el diagrama estereográfico se encuentran graficados los datos estructurales de ambos sistemas de vetas, donde se observan las tendencias principales (Figura 7).



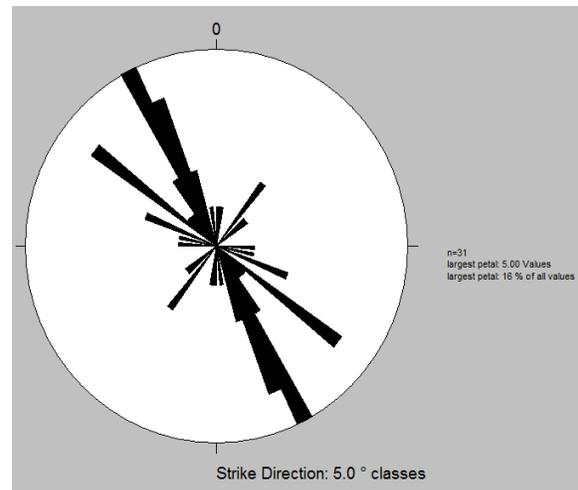
El diagrama muestra la tendencia de una muestra de 21 datos, de la dirección preferenciales (rumbo) en el sistema de vetas de la zona San Jorge



El diagrama muestra la tendencia de una muestra de 6 datos, de la dirección (rumbo) en el sistema de fallas de la zona Chicharra



El diagrama muestra la tendencia de una muestra de 21 datos, de la dirección preferenciales (rumbo) en el sistema de vetas de la zona San Jorge



El diagrama muestra la tendencia de una muestra de 31 datos, de la dirección (rumbo) en el sistema de fallas de la zona San Jorge

Figura 7: En la figura puede observarse claramente que la tendencia principal de las estructuras (fallas y vetas) de la zona de Chicharra v San Jorge son muy similares.

La distribución de estas estructuras pudo deberse a una serie de colapsos y resurgimientos producto de una dinámica intracaldera, que de ser así, podría explicar la distribución general tanto del sistema de vetas San Jorge (SJV) como el de Chicharra (SCHV) e incluso de otros sistemas de vetas existentes en el área, cuya disposición no corresponde con la dirección NW-SE.

### III. c.- Marco tectónico

La evolución tectónica del estado de Oaxaca sigue siendo controversial por lo complejo y evolucionado de su corteza, diversos autores coinciden en que las rocas más antiguas corresponden al complejo Oaxaqueño de edad precámbrica y que fueron resultado de la primera orogenia conocida en el área (Ortega-Gutierrez, 1981).

Damon y colaboradores (1981), proponen que la formación de los depósitos minerales asociados a esta zona del país fueron originados por arcos magmáticos que migraron debido a la evolución tectónica de la cordillera sur, asociando estos a la provincia metalogénica de pórfidos de Cu y Mo.

Sedlock y colaboradores (1993), replantean la división de terrenos tectonoestratigráficos de la Republica Mexicana propuesta por Campa y Coney (1983), enmarcando el área de estudio en lo que denominó Terreno Zapoteco (figura 8), el cual se encuentra delimitado por una serie de estructuras (fallas) de nivel regional que permite englobar en un mismo contexto regional a la asociación de unidades litológicas que se encuentran en este terreno.

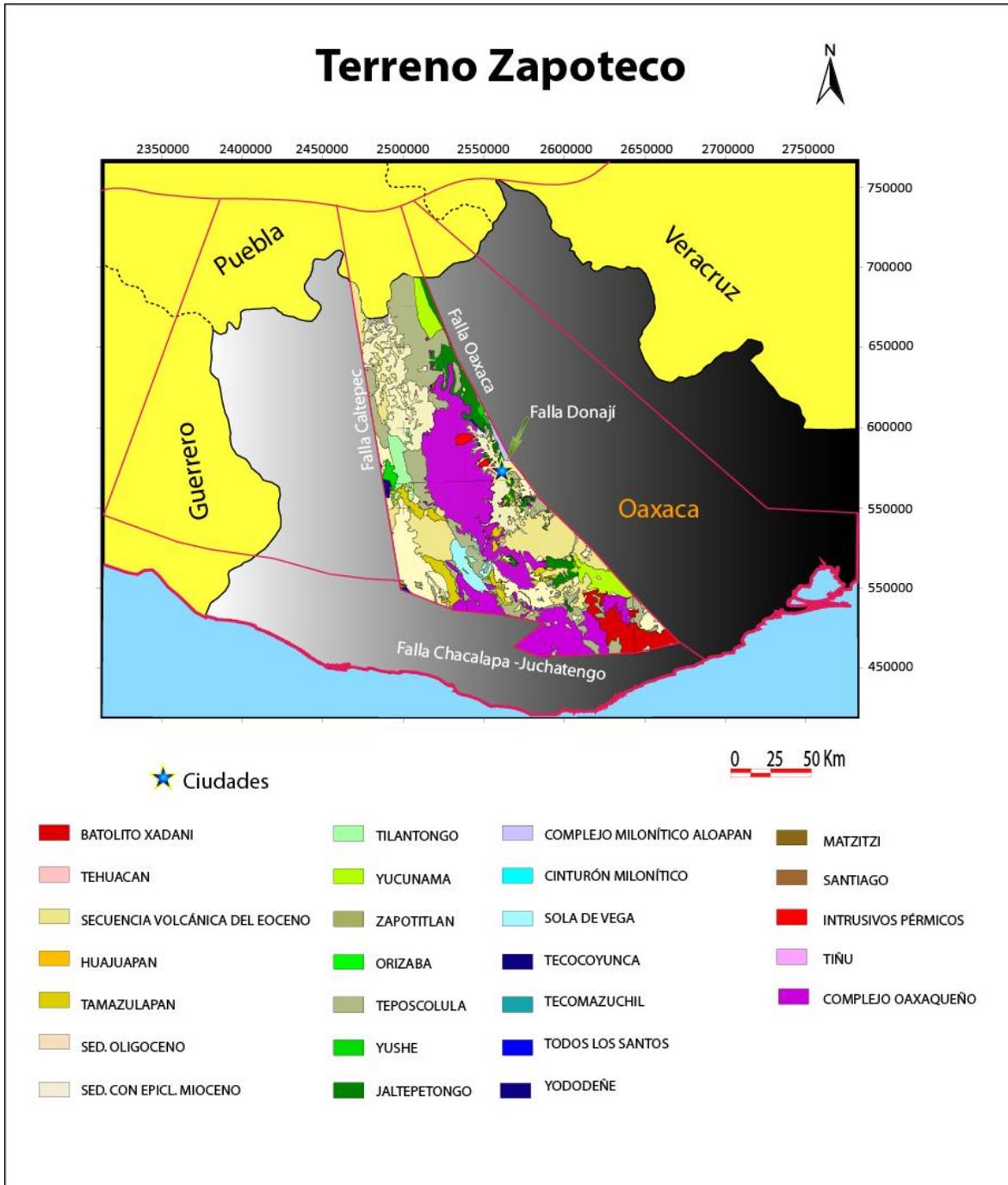


Figura 8: Terrenos tectonoestratigráficos del estado de Oaxaca. (Modificado de Sedlock, *et al*, 1993 y SGM. 2007.

Estas fallas han tenido diferentes etapas de reactivación a lo largo del tiempo, el estudio de su dinámica, sus características y complejidad son motivo de estudios particulares, sin embargo, a continuación se hace una descripción sintetizada de ellas, con el fin de resaltar sus características más generales:

#### *Falla de Chacalapa-Juchatengo*

Esta estructura es considerada como el límite entre los terrenos Zapoteco y Chatino (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1986). La falla es una estructura curvada localizada al sur del estado de Oaxaca la cual se extiende aproximadamente por 160 km. Esta estructura dio lugar a una franja milonitizada en las rocas correspondientes al Complejo Xolapa, y afectó también parte de las rocas del Complejo Oaxaqueño, localizado hacia el norte de la falla. La edad de esta gran estructura sigue siendo incierta; sin embargo, por afectar rocas de la cobertura cretácica del Complejo Oaxaqueño y estar cubierta por secuencias volcanoclásticas probablemente del Paleógeno, su edad más probable es del Cretácico Tardío-Paleógeno (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1992).

#### *Falla de Oaxaca*

En los primeros estadios evolutivos, esta estructura conforma una cabalgadura del terreno Zapoteco sobre los depósitos mesozoicos del terreno Cuicateco; sin embargo, debido a su reactivación en el Cenozoico, su cinemática es de tipo normal. Esta falla tiene una dirección NW-SE y una longitud de 150 km aproximadamente. Se extiende desde la ciudad de Oaxaca hasta la de Tehuacán. Se encuentra desarrollada en el complejo milonítico Sierra Juárez, que es el más extenso conocido en México, el cual se desarrolló a partir de las secuencias de rocas gneisicas del Complejo Oaxaqueño.

Es difícil precisar una edad para esta falla, pues en realidad, ha tenido diferentes etapas de actividad, tuvo actividad como falla transcurrente durante el Jurásico Medio (Alaniz-Álvarez y otros, 1994) y la última actividad se considera ocurrió durante el Cenozoico (Centeno-García *et al.*, 1990). Se infiere que la fase principal de milonitización es de edad precretácica, ya que las milonitas y las rocas asociadas a ellas se encuentran cubiertas por sedimentos marinos del Cretácico (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1992).

Actualmente esta estructura se mantiene activa, con comportamiento normal, lo que provoca constantes derrumbes y deslizamientos en el área de influencia de la misma.

#### *Falla Donaji*

La Falla Donaji se localiza en el sur del complejo milonítico Sierra Juárez, con una dirección casi E-W, intersecta a la Falla de Oaxaca por lo que se consideran sincrónicas por un ajuste lateral entre ambas estructuras. Es de tipo normal ya que pone en contacto a sedimentos marinos cretácicos y rocas volcánicas terciarias con las rocas miloníticas, por lo cual se considera de edad cenozoica (Nieto-Samaniego *et al.*, 1995)

#### *Falla de Vista Hermosa*

La Falla de Vista Hermosa (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1990) es una cabalgadura que delimita a las rocas pertenecientes al terreno Cuicateco, situado al SW de la falla, y a la Formación Todos Santos, ubicados al NE de la falla. Se le atribuye una edad laramídica (Ortega-Gutiérrez, *et al.*, 1992). Su extensión no es muy clara debido a que hacia la zona del istmo no es posible determinar su continuidad pero se considera una longitud de cuando menos 300 km.

## IV.- MARCO GEOLÓGICO DEL ÁREA MONTE ALBÁN

### IV. a.- Distribución espacio-temporal de unidades litológicas

A pesar de que en el área de estudio sólo afloran las unidades referidas al cenozoico, se ha podido caracterizar la relación estratigráfica de estas unidades con las rocas infra y suprayacentes, con base en observaciones fuera del área de estudio, así como a lo reportado en la información recabada principalmente por el Servicio Geológico Mexicano (antes Consejo de Recursos Minerales) y los trabajos de exploración realizados por la empresa Aurea Mining.

La columna estratigráfica reconocida para el área estudiada (figura 9), está representada por un basamento metamórfico correspondiente al Complejo Oaxaqueño (P $\in$ ), sobre él se encuentran una serie de depósitos sedimentarios mesozoicos jurásicos del Grupo Tecocoyunca (J) y del Cretácico las Formaciones Jaltepetongo (González Alvarado J., 1970), Teposcolula (Ki) (Salas, 1949), y Zapotitlán (Ks) asociados, probablemente a la evolución de los arcos insulares mesozoicos (SGM, 2007), La secuencia descrita anteriormente se encuentra afectada por 2 cuerpos intrusivos, una unidad granítica holocristalina que gradúa a granodiorita (Ti), del cual no se ha establecido con precisión la edad, debido a que llega a observarse un tanto deformado, se infiere que su edad puede corresponder con un evento sinorogénico con la deformación laramídica del Terciario, y cortan a esta unidad un segundo cuerpo intrusivo porfídico (Tsp), el cual, constituye una intrusión relacionada a un ambiente subvolcánico (Jiménez-Franco *et al.*, 2008), su composición es ácida y llega a presentar apófisis en forma de diques félsicos (Tsp), los cuales están relacionados con la mineralización.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Las rocas más abundantes del área, que cubren de manera discordante a las unidades subyacentes son: primero dos unidades volcánicas que parecen guardar la misma posición estratigráfica; la unidad Tva que corresponde a una toba compacta de composición ácida que llega a presentar estructuras columnares (fotografía 4), probablemente asociadas al proceso de emplazamiento y enfriamiento de éstos y la unidad Tvi que corresponde a una toba compacta propilitizada que con frecuencia presenta estructuras de tipo “oleada” (*surge deposit structures*) (fotografía 5) derivadas de la interacción de agua meteórica o acuíferos someros con el magma al momento de la actividad eruptiva.

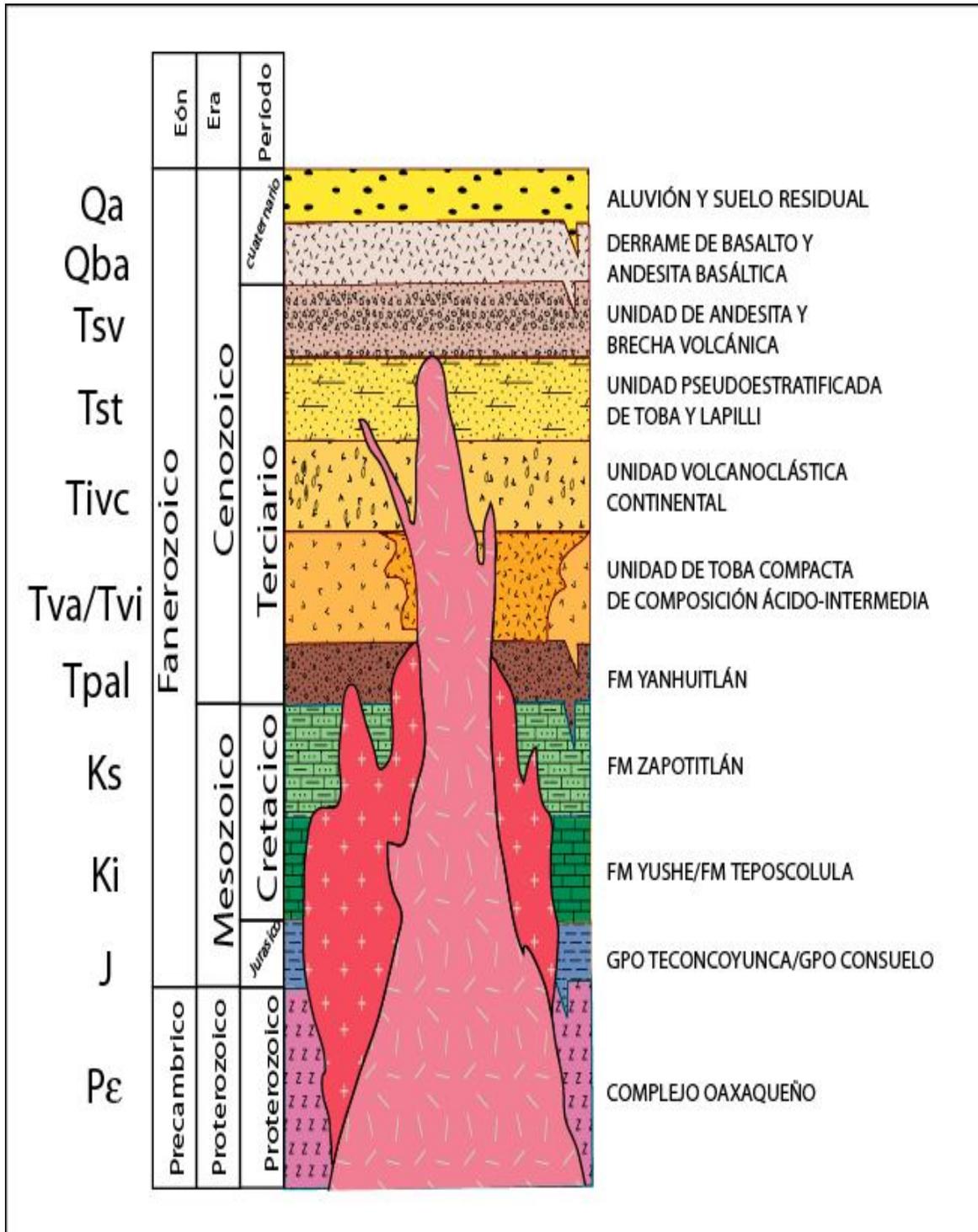


Figura 9: Columna Estratigráfica del área de estudio.

Nota: Las unidades mesozoicas y premesozoicas no están expuestas en el área del presente estudio.



Fotografía 4: Unidad Tva, que aflora en la parte central del área de estudio.



Fotografía 5: Unidad Tvi, que aflora en la parte sureste del área de estudio, se aprecian las estructuras tipo "surge".

Estos depósitos se encuentran bajo una secuencia de rocas de afinidad vulcanoclástica continental, que no fue posible diferenciar de los depósitos de tipo lahar asociados a esta misma unidad (Tivc); en ocasiones cubre de manera discordante a la intrusión hipabisal de tipo pórfido o incluso afectada por ésta; presenta intercalaciones de horizontes estratificados, en general se observa conglomerática, la cual se aprecia fallada y fracturada llega a presentar vetas de calcita que se asocian con la última fase hidrotermal de la zona (fotografía 6).



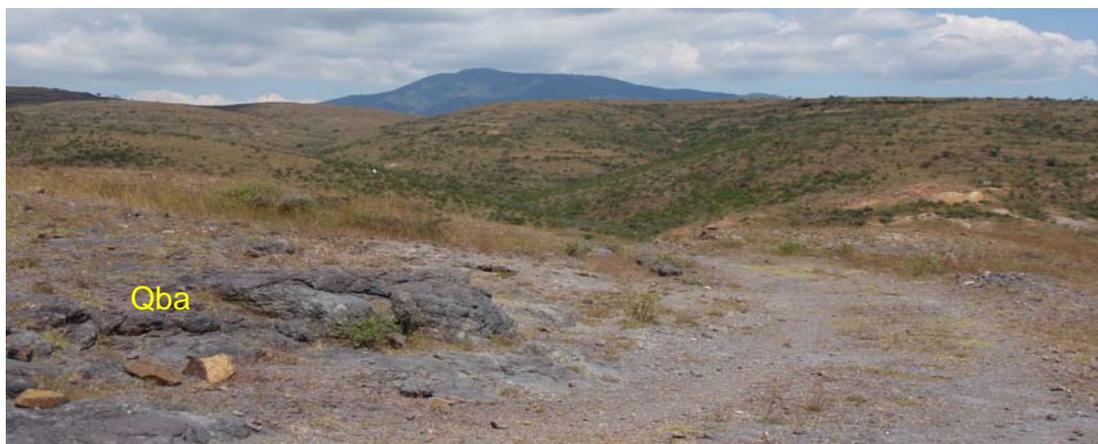
Fotografía 6: Unidad Tivc, que aflora en la parte suroeste del área de estudio, la cual es cortada por una veta de calcita de 1 a 2 m de espesor.  
Fotografía: Ing. Jesús Castro Mora.

Esta unidad a su vez, se encuentra cubierta por la unidad Tst que está compuesta por una secuencia de toba compacta pseudoestratificada con horizontes de pumicita e intercalaciones de ceniza y lapilli finalmente cubiertas por una serie de andesita y brecha volcánica (Tsv), con fragmentos líticos que van de angulosos a subangulosos mal clasificados, en donde, además, son reconocibles estructuras de tipo “rompecabeza”, característicos de los depósitos de avalancha de escombros (fotografía 7), en la que se observan una serie de fallas escalonadas de menor escala.



Fotografía 7: Unidad Tsv, con estructuras de “rompecabezas”, que cubre discordantemente a la unidad Tsp en el área de San Jorge.

Sobre este paquete de rocas se encuentra de manera discordante la unidad Qba que se caracteriza por una serie de rocas de textura afanítica, la cual está conformada principalmente por anfíboles y plagioclasas (mineralogía esencial), también se observan como minerales accesorios piroxenos y en menor proporción olivinos, por lo que a esta unidad se le clasificó en campo como derrames de composición andesítico-basáltica (fotografía 8).



Fotografía 8: En el extremo inferior izquierdo pueden apreciarse coladas andesítico-basálticas que corresponden a la unidad Qba y cubren de manera discordante al resto de las unidades que afloran en el área Monte Albán.

Los depósitos más recientes de la zona (Qal, Qsr) están constituidos por depósitos aluviales, suelos residuales y tierras de cultivo expuestas en las partes topográficamente más bajas.

La ubicación y distribución de cada una de las unidades antes mencionadas pueden observarse en el mapa geológico de la zona de estudio (figura 10).

### MAPA GEOLÓGICO DEL ÁREA MONTE ÁLBAN, OAXACA

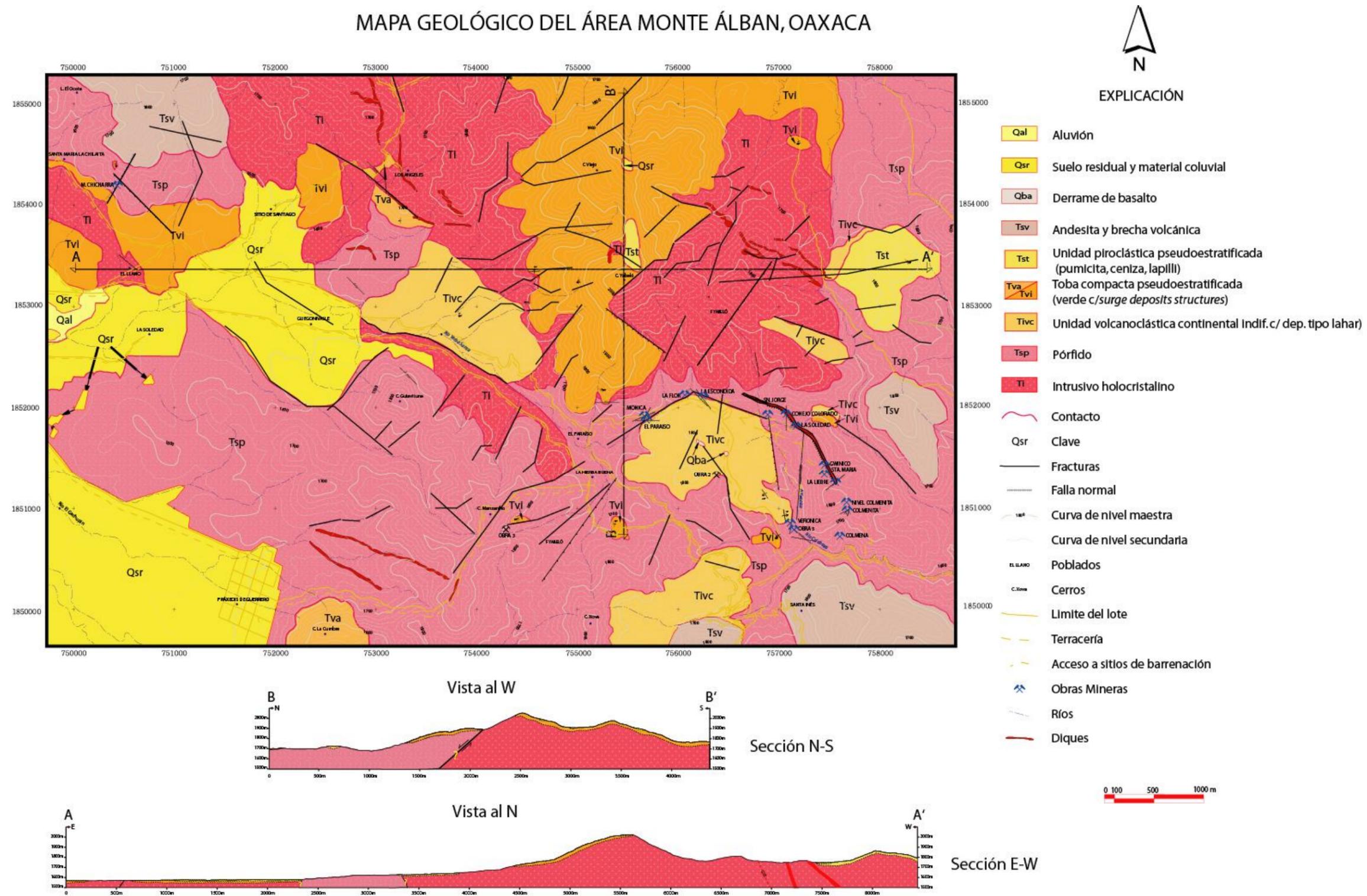


Figura 10: Mapa Geológico del Area Monte albán, Distrito Minero de Taviche, estado de Oxaca. Modificado de Jiménez-Franco, et al., 2008.

#### IV. b.- Roca encajonante de las vetas (wall rock)

La roca encajonante de las vetas puede clasificarse en diferentes formas, dependiendo del tipo de estudio que se esté llevando a cabo. Desde el punto de vista de la geología económica la roca encajonante de las vetas corresponde con la unidad de pórfido riolítico (Tsp). Desde el punto de vista petrográfico se trata de una roca félsica con textura microgranítica, de composición esencialmente cuarzo-feldespática, esta misma unidad se muestreo al sur de la zona de estudio, en el área donde se ubican las obras mineras Paraíso y Mónica, con el fin de caracterizarla petrográficamente y se observó que presenta variaciones texturales y composicionales, a pórfido andesítico, de igual forma, esta unidad, también se presenta como apófisis (aplitas) en forma de diques.

En la zona de Chicharra las vetas generalmente se encuentran cubiertas por las unidades de toba, y se aprecian en forma de algunos crestones que sobresalen en las laderas de los cerros (fotografía 9). En esta zona las estructuras se encuentran frecuentemente en tonos rojos a rosas, amarillos y/o verdosos dependiendo del tipo de alteración predominante, por otro lado, en la zona del valle, en el centro del área, el pórfido también varía texturalmente, no es fácil distinguir la mineralogía en muestra de mano, ya que los efectos de las alteraciones hidrotermales a las que ha estado sujeta la zona ha provocado cambios en sus características originales, incluso da la apariencia de encontrarse brechado. Esta unidad además probablemente intrusión la unidad granítica holocristalina, lo cual aparentemente propició que las vetas se encontraran alojadas en dicho granito; sin embargo, al observar detalladamente la roca encajonante en las muestras colectadas se observa una textura predominantemente porfídica, se identificaron como minerales de enriquecimiento supergénico a hematita y algo de covelita que se formaron probablemente por efecto de la infiltración meteórica.



Fotografía 9: Crestones alojados en la unidad porfídica (Tsp) cubiertos por depósitos piroclásticos en la zona Chicharra.

En la zona circundante al arroyo Verónica, que se encuentra aproximadamente a 1.5 kilómetros al noreste del poblado de San Jerónimo Taviche, el encajonante corresponde a un pórfido riódacítico de color rosa, con algunos tonos blancos y ocre producto de alteración, la textura es afanítica y es muy evidente el fracturamiento de tipo stockwork, además se encuentra fuertemente silicificado (fotografía 10).



Fotografía 10: Pórfido riódacítico (Tsp) con desarrollo de stockwork en el lecho del arroyo Verónica.

Por su parte, en la zona de San Jorge, que es donde mejor se observan emplazadas las vetas, es posible apreciarlas encajonadas en el pórfido, la mineralización es muy similar a la que se observa en la zona de Chicharra, también en este sector es donde se distingue bien expuesta esta unidad, también en forma de crestones y con una continuidad mayor (ca: 2 km) que en el área Chicharra (fotografía 11).



Fotografía 11: Crestón alojado en la unidad porfídica (Tsp) de mayor continuidad en la zona San Jorge.

Esta unidad generalmente se observa alterada en la mayoría de las zonas donde aflora, debido a la fuerte acción hidrotermal, que en general se presenta en toda el área de estudio. Normalmente es difícil distinguir entre la unidad granítica (Ti) y la porfídica (Tsp); sin embargo, existen otras zonas donde esta unidad se observa en relación cortante con el granito, en forma de diques aplíticos, los cuales pueden variar en extensión y espesor; estas rocas oscilan desde unos cuantos centímetros a algunos kilómetros que incluso sobrepasan por mucho los límites del Área Monte Albán (fotografías 12 y 13).



Fotografía 12: Diques de la unidad Tsp que cortan a la unidad granítica Ti: nótese la diferencia en longitud y espesor de A y B.



Fotografía 13: Diques regionales de la unidad Tsp que atraviesan el área de estudio en dirección oriente-poniente. Nótese al fondo la mina El Cubilete.

#### IV. c.- Marco estructural

##### IV.c.1. Sistemas de falla

Dentro del área existen distintos y muy variados sistemas de falla, así como diferentes etapas de formación de las mismas; sin embargo, para su estudio se pueden agrupar en siete sistemas generales, los cuales se describen a continuación:

1. Por una parte, un sistema de tipo normal, que se encuentra asociado al sistema de vetas San Jorge, que afloran en la zona sureste. Estas fallas tienen un rumbo muy definido que oscila entre los 30° y los 40° NW-SE y con buzamiento hacia el SW que varía entre los 65° y 85°; sin embargo, estas vetas cambian de dirección (aproximadamente E-W), lo que se puede interpretar como una flexión de la estructura y su inclinación se vuelve de menor ángulo hacia la zona del río La Soledad, este cambio de actitud de las estructuras es provocado por una falla lateral que lo deforma y lo disloca (fotografía 14).
2. El sistema de vetas Chicharra, se encuentra ubicado en el sector noroeste del área de estudio, dichas vetas se encuentran emplazadas en fallas normales en esta área, que tienen un rumbo predominante de 30° NW-SE, y un buzamiento de entre 70° y 85° al SW, es en estas donde generalmente se encuentran emplazadas la mayor parte de las estructuras mineralizadas (vetas de cuarzo).

3. Por otra parte, se tiene el sistema de fallas normales asociados a la estructura denominada Yabeló (Castro-Mora, 2007) que tiene una disposición NE-SW y que es casi perpendicular a los sistemas anteriormente descritos, esta estructura tiene un carácter muy regional, por lo que se considera que alcanzó niveles corticales profundos, y por tanto, pudo haber dislocado a estos sistemas, pues se localiza entre ambos. Asimismo esta estructura es la que probablemente controla el emplazamiento de los cuerpos intrusivos en esta región.



Fotografía 14: Sistema de falla normales que dislocan al SJV.

4. Además de los sistemas ya mencionados, existe un sistema de fallas normales diferente, el cual se encuentra expuesto en la parte sur del área de estudio, donde están localizadas las minas, Mónica y Paraíso. Se trata de una serie de vetas de cuarzo y covelita alojadas en dichas estructuras con rumbo preferencial de  $44^\circ$  NE-SW, la inclinación de estas estructuras es de muy bajo ángulo, las cuales incluso llegan a provocar que las vetas den la apariencia de mantos mineralizados (fotografía 15), en estas estructuras se observa una paragénesis diferente a las encontradas en los sistemas San Jorge y Chicharra. Esta disposición sub-horizontal probablemente se deba a que al norte, muy cerca de esta zona, se encuentra el cerro Yabeló, que es expresión morfológica de los cuerpos intrusivos, lo que pudo haber influido en el cambio de buzamiento de las estructuras.



Fotografía 15: Veta subhorizontal, de cuarzo-covelita-esfalerita, alojada en un plano de fallas en el interior de la mina Mónica.

5. Existen fallas laterales, que cortan a los sistemas de vetas Chicharra y San Jorge, en el río La Soledad y en la mina San Jorge, que también dislocan a las fallas normales asociadas a la falla Yabeló y estas imprimen una mayor complejidad a la interpretación y reconstrucción geológica de la zona. El carácter izquierdo o derecho de estas estructuras es en algunos casos difícil de definir puesto que algunas fallas se encuentran emplazadas en rocas ígneas, como en el cerro Yabeló (fotografía 16) donde no siempre fue posible observar indicadores cinemáticos que ayudaran a definir la naturaleza de las rocas, o bien, porque estas fallas pueden encontrarse nuevamente dislocadas.



Fotografía 16: Fallas laterales (izquierda) en tobas (unidad Tvi), en la ladera sur del cerro Yabeló. Las líneas punteadas muestran planos de falla y fractura.

6. Además existen otras fallas laterales, que dislocan a las anteriores y que conforman un sistema escalonado, como es el caso del río Calabaza, en las inmediaciones de la mina Verónica, el cual labró su cauce sobre una falla lateral derecha (fotografía 17), que a su vez es cortada por otra falla de las mismas características, en cambio, cerca del poblado Los Ángeles (porción norte de área de estudio), existen fallas laterales izquierdas que cortan la secuencia de depósitos piroclásticos.



Fotografía 17: Estrias horizontales asociadas a fallas laterales reconocidas en las inmediaciones de la mina Colmena.

7. Por último, está además el caso particular de la mina La Flor (porción central del área de estudio), la cual se encuentra labrada a lo largo de una veta que está emplazada en la zona de la falla normal (*shear zone*) pero que además fue nuevamente dislocada por otra falla con normal componente lateral, y la mineralización puede atribuirse a esta conjunción de aspectos estructurales (fotografía 16).



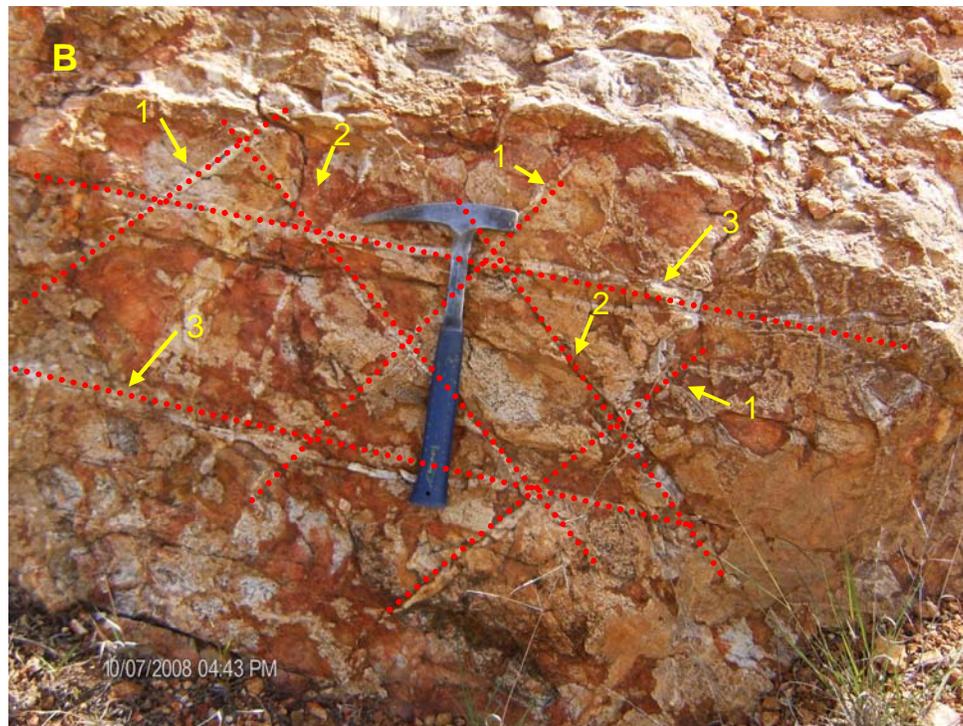
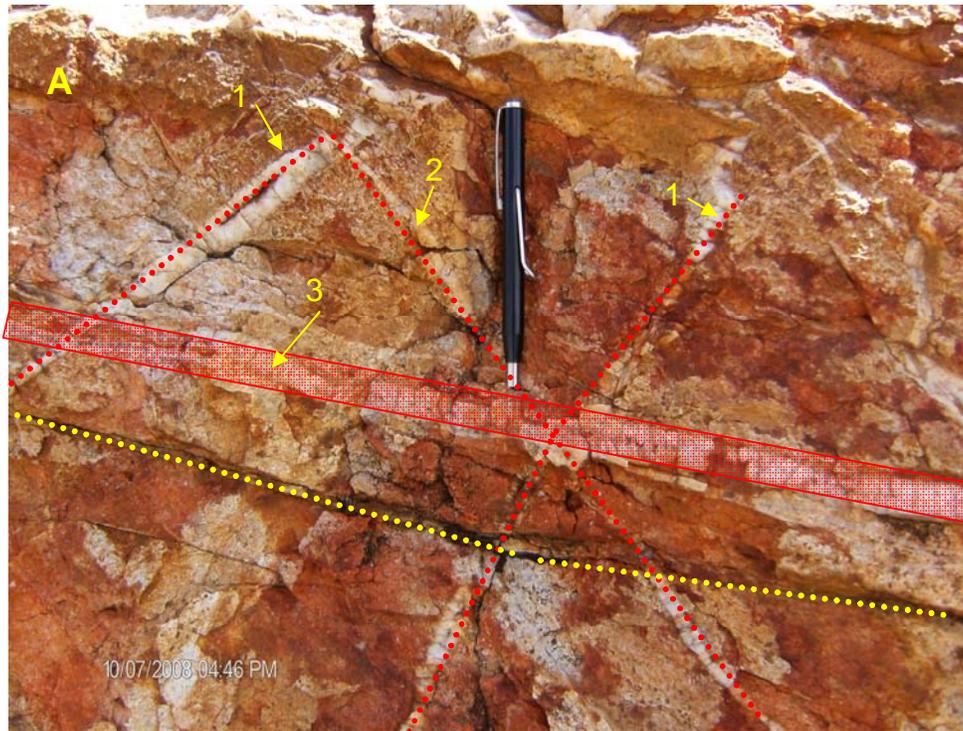
Fotografía 18: Veta-falla obra La Flor. Las líneas rojas punteadas marcan los planos de falla de ambas estructuras.

Estas estructuras han resultado ser metalotectones estructurales puesto que donde estas fallas se intersectan la ley de la mineralización generalmente es mayor.

#### IV.c.2. Sistemas de Fractura

Los sistemas de fracturas en el área de estudio, al igual que las fallas, son diversos y complejos, algunos se encuentran asociados a las de fallas y vetas antes descritos; sin embargo, existen otros que se encuentran en diferentes disposiciones, algunos posiblemente relacionados al proceso de emplazamiento en las rocas volcánicas, o bien a etapas de relajación de los procesos tectónicos a los que ha sido sujeta esta zona.

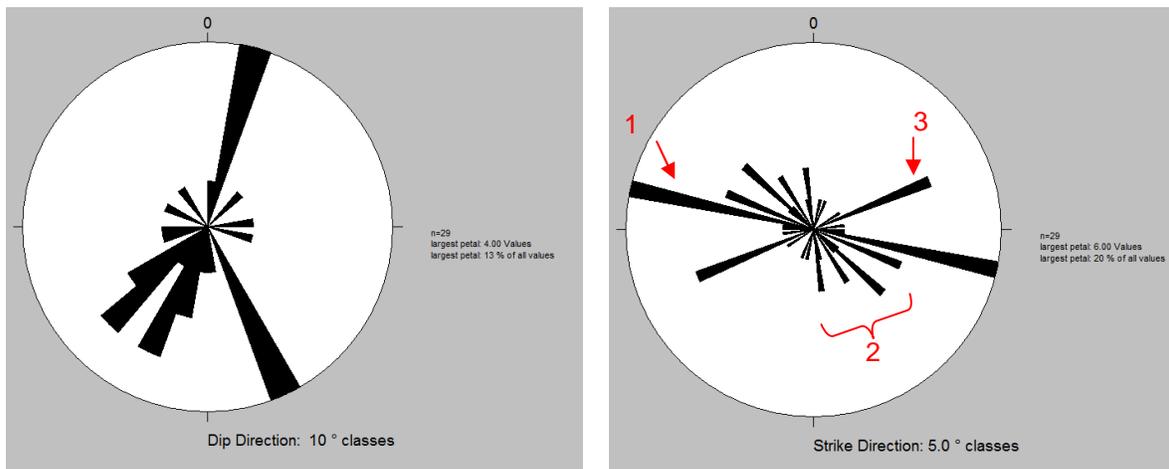
Para el tratamiento de las fracturas se debe de poner especial atención, se sugiere analizar por separado las fracturas superficiales y las fracturas a profundidad, ya que generalmente las fracturas superficiales no tienen relación con las profundas (Marrett, 2005), por lo que debe de considerarse si se encuentran mineralizadas o no y si es posible diferenciar generaciones distintas en función de sus relaciones estructurales (fotografías 19 y 20).



Fotografías 19 y 20: En ambas fotos (A y B) se distinguen 3 sistemas de fracturas que se observan en el área San Jorge. Primero un sistema conjugado de dirección NW-SE(1) y NE-SW (3), respectivamente y el tercero que se encuentra cortando a estos dos y por lo que se considera posterior a ellos (2). Las líneas punteadas indican los planos de fracturas, en A también puede observarse que existen fracturas no rellenas (línea punteada en amarillo) y algunas rellenas de cuarzo (veta sombreada en rojo).

A pesar de que la zona de estudio ha estado sujeta a diferentes eventos geológicos, los sistemas de fracturas anteriormente mencionados pueden ser clasificados por su predominancia en ocurrencia y proporción, con respecto a otros sistemas secundarios asociados por ejemplo al enfriamiento que sufren las rocas durante el proceso de emplazamiento.

Por otra parte, los sistemas de fractura que se consideran asociados a los procesos metalogénicos son tres principalmente debido a que se observan mineralizados con cuarzo o calcita y éstos predominan en toda la región (figura 11).



El diagrama muestra las tendencias de una muestra de 29 datos, del buzamiento (inclinación) en el sistema de fracturas de la zona de estudio

El diagrama muestra la tendencia de una muestra de 29 datos, de 3 direcciones preferenciales (rumbo) en el sistema de fracturas de la zona de estudio

Figura 11: Diagramas de roseta de fracturas en el área Monte Albán, nótese que existen tres familias predominantes de fracturas, señalados en rojo

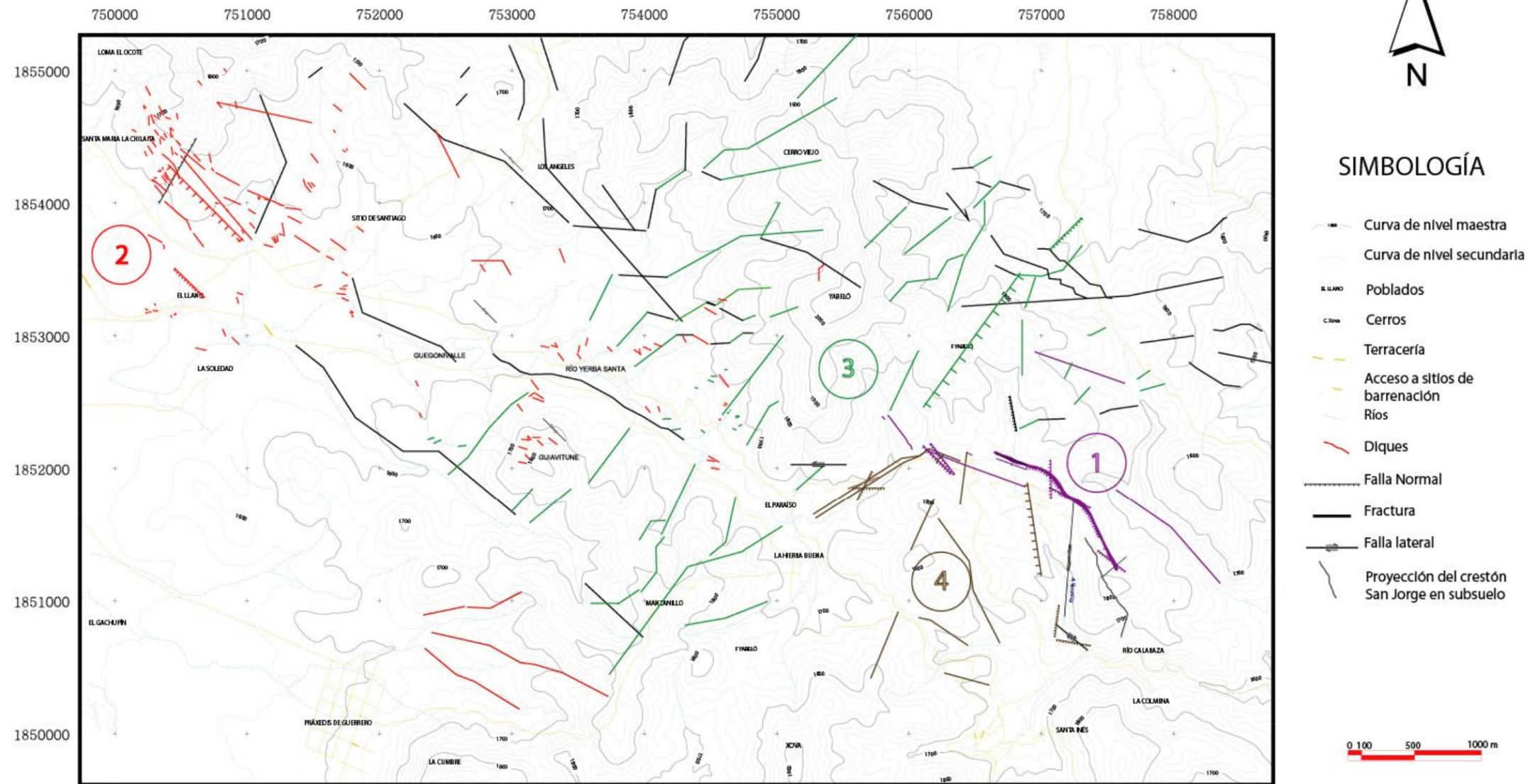
Tanto los sistemas de fallas, como los de fracturas en su conjunto pueden resumirse de la siguiente manera (Tabla 1).

Sistema		San Jorge	Chicharra	Yabeló	Mónica y Paraíso	Sistema lateral 1	Sistema lateral 2	Veta-Falla
Fallas	Rumbo	30°-40° NW-SE	30° NW-SE	20°-40° NE-SW	44° NE-SW	08°-25° SE-NW	60°- 65° NW-SE	40°-52° NW-SE
	Buzamiento	65°-85° SW	70°-80° SW	-----	10°-20° SE	42° NW 30°-0° pitch	60°-80° SW 30-40° pitch	32°-52° SW
Fracturas	Rumbo	N-S	85° SW°	80° NW°	E-W	-----	-----	-----
	Buzamiento	90°	75° °NW	50° SE	38° S	-----	-----	-----

Tabla I. Tabla que muestra las características de los principales sistemas de fallas y fracturas dentro del área Monte Albán

Tanto los de falla como las fractura, en el área de estudio, son resultado de los esfuerzos de tipo distensivo en régimen de deformación frágil a los que ha sido sujeta el área de estudio, asociados a la actividad volcánica y plutónica que se presentó en la región en la etapa más reciente de su evolución y a las etapas de relajación de estos mismos procesos. La distribución de estos sistemas puede apreciarse en el mapa estructural del área de estudio (figura 12).

## MAPA ESTRUCTURAL DEL ÁREA MONTE ALBÁN, OAX



### SIMBOLOGÍA

- Curva de nivel maestra
- Curva de nivel secundaria
- Poblados
- Cerros
- Terracería
- Acceso a sitios de barrenación
- Ríos
- Diques
- Falla Normal
- Fractura
- Falla lateral
- Proyección del crestón San Jorge en subsuelo

### EXPLICACIÓN

- 1) SISTEMA DE VETAS Y FALLAS SAN JORGE
- 2) SISTEMA DE VETAS Y FALLAS CHICHARRA
- 3) SISTEMA DE FALLAS NORMALES Y LATERALES ASOCIADAS A LA FALLA YABELO
- 4) SISTEMA DE VETAS Y FALLAS ÁREA MÓNICA-PARAÍSO
- 5 y 6) OTROS SISTEMAS DE FALLAS Y FRACTURAS SECUNDARIOS Y DE TIPO LATERAL

Figura 12: Mapa estructural del área Monte Albán, distrito minero de Taviche, estado de Oaxaca.

## V. DESCRIPCIÓN Y EXTENSIÓN DE LOS SISTEMAS DE VETAS SAN JORGE Y CHICHARRA

Para poder caracterizar a las vetas San Jorge y Chicharra, y en general a los depósitos minerales del área de estudio, es necesario definir el contexto metalogénico en el que estos se formaron, el cual corresponde a un ambiente epitermal, y se caracterizan en función de la mineralogía y de sus características textuales. Este tipo de yacimientos se encuentra a poca profundidad con respecto a la superficie terrestre y es la parte somera de sistemas hidrotermales naturales (Lindgren, 1922). Se considera que las condiciones de formación de este tipo de yacimientos fluctúan entre 150 °C y 400 °C, y con profundidades de hasta 2 km y altas presiones (Sillitoe, 1988). Por su parte, Hedenquist en 1987, definió dos ambientes en el cual se desarrollan este tipo de yacimientos llamados de **alta sulfuración** (high-sulfidation) ó ácido sulfato y **baja sulfuración** (low-sulfidation) ó adularia-sericita.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

### V.a.- En Superficie

El SJV (Figura 13) comprende una serie de vetas lineales de aproximadamente 3 km de longitud, de espesor variado que en ocasiones se presenta como vetillas de menos de un metro de espesor, hasta estructuras de mayor potencia con espesores mayores a 1 m, de rumbo de entre los 30° y los 50° dirección NW-SE, y que buzan hacia el SW con 70° de inclinación en promedio, en la zona del crestón, estas vetas en su conjunto conforman la parte somera del ambiente epitermal con mayor afinidad la zona de baja sulfuración del depósito. En dicho sistema existen diferentes obras mineras abandonadas que fueron explotadas por su riqueza en metales preciosos de Au y Ag, además de que en estas obras también presenta valores importantes de metales base (Cu, Pb, Zn).

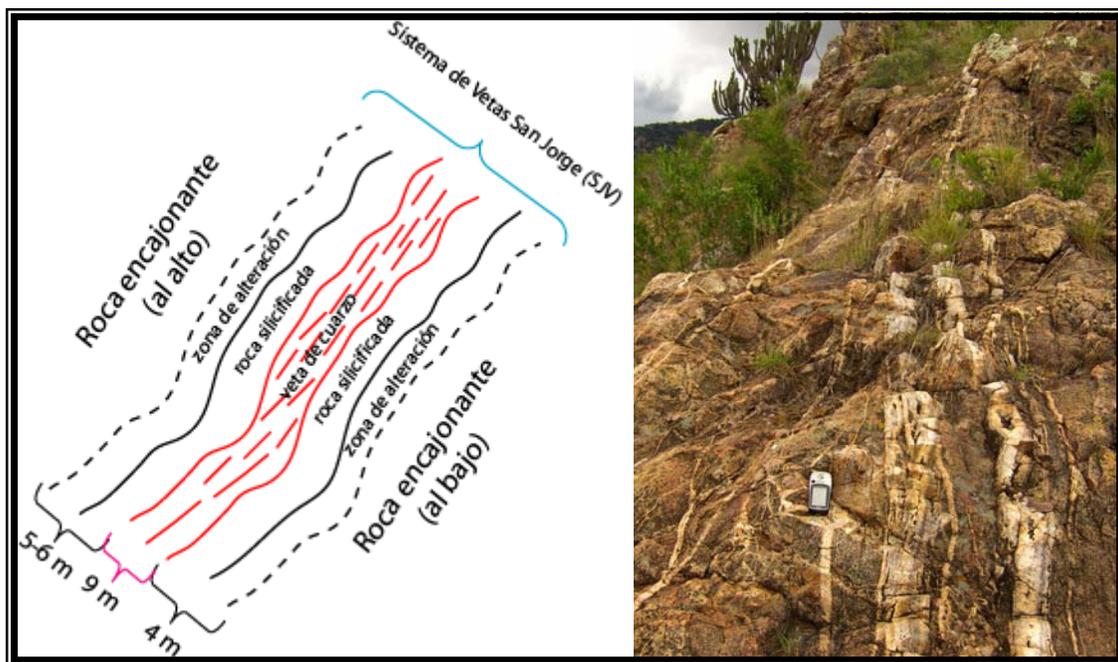


Figura 13: Sistema de vetas San Jorge SJV.  
Fuente: Castro-Mora, J. 2007a. Con modificaciones menores.

En cuanto a la mineralización asociada a estas estructuras, se observa que estas vetas son ricas predominantemente en metales preciosos (Au, Ag) como puede observarse en la tabla siguiente:

<b>Obra Minera</b>	<b>Ley Media</b>	<b>Espesor metros</b>	<b>Au ppm</b>	<b>Ag ppm</b>	<b>Cu %</b>	<b>Pb %</b>	<b>Zn %</b>	
Gwinico	Media	2.03	1.72	21.58	0.04	0.77	1.00	
		máxima 2.20	5.90	64.40	0.05	2.76	3.68	
Colmenita	Media	1.23	0.13	16.27	0.01	0.25	0.68	
		máxima 3.30	0.33	47.60	0.04	0.73	1.73	
Conejo Colorado	Media	1.78	4.63	94.36	0.06	0.18	0.01	
		máxima	1.30	6.92	94.40	0.03	0.08	0.00
			1.40	5.97	110.00	0.06	0.02	0.01
La Liebre	Media	1.61	1.41	84.66	0.03	0.42	0.25	
		máxima	1.60	3.24	258.00	0.03	1.28	0.69
Soledad	Media	2.11	0.07	5.16	0.04	0.44	0.60	
		máxima	1.20	0.60	13.80	0.09	1.41	0.96
			1.80	0.08	11.00	0.09	1.05	1.88
San jorge	Media	2.11	1.45	40.71	0.43	3.01	0.52	
		máxima	2.60	0.42	41.80	0.36	8.66	11.90
			3.00	4.28	70.40	0.43	4.04	0.06
Santa Maria	Media	1.70	4.66	82.13	0.03	0.32	0.33	
		máxima	1.60	24.50	515.00	0.03	0.48	0.63
			1.80	16.10	206.00	0.04	1.01	0.63
		1.60	7.82	70.50	0.03	0.59	0.19	

Tabla II: Tomado de Aurea Mining, 2007e. Con modificaciones menores.

Las vetas que forman parte del SJV se pueden observar en forma de crestosnes de gran extensión (2 km aproximadamente), que sobresalen principalmente en las partes topográficamente altas en la porción sureste del área de estudio (fotografía 21).



Fotografía 21: Vista panorámica hacia el NNW donde se aprecia el crestón del SJV.

Las vetas de este sistema se emplazaron predominantemente por zonas de debilidad (fallas y fracturas) por lo que éstas han condicionado el emplazamiento de la mineralización, tales fallas son de tipo normal, en el área se observan evidencias de las mismas como son las estrías producto de la cizalla, las cuales se aprecian con una inclinación de aproximadamente 70° (fotografía 22).



Fotografía 22. Estrías de falla del SJV, 70° de inclinación.

Por otra parte el SCHV (figura 14), que se encuentra ubicado al occidente de la zona; consta de un sistema de vetas que van desde menos de un metro a más de 15 metros de afloramiento (que no siempre corresponde con el espesor verdadero). La extensión y dirección de estas vetas tienen la misma tendencia al noroeste que en el sistema San Jorge. En estas estructuras la mineralización es predominantemente de oro, plata y cobre que presentan valores altos principalmente en las obras mineras históricas (Tabla II) (Aurea Mining, 2008).

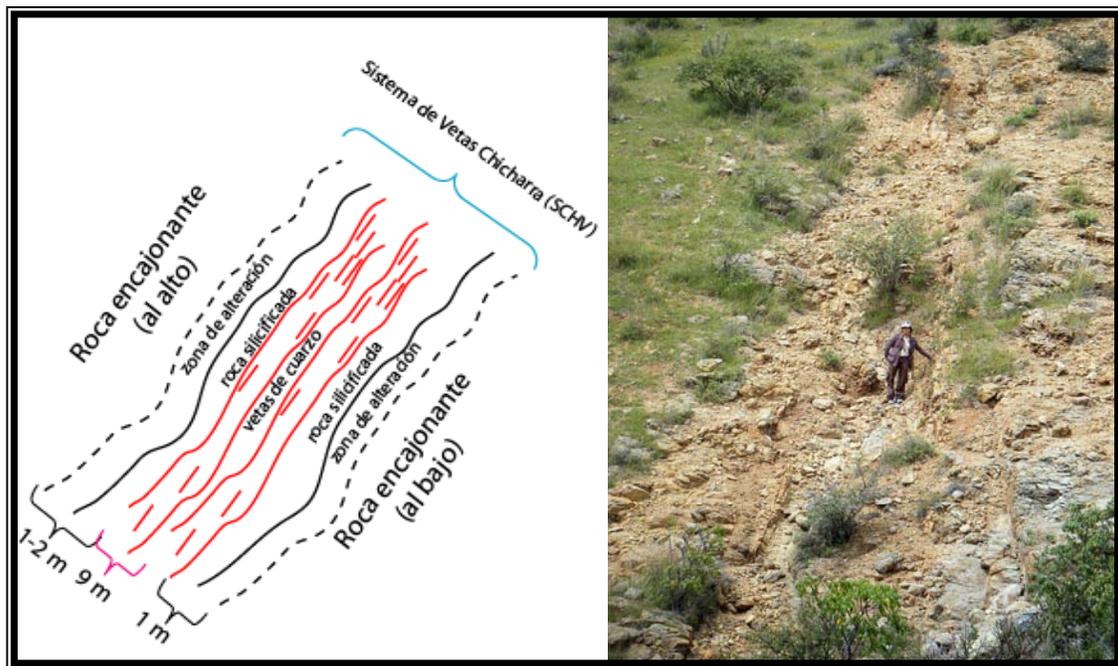


Figura 14: Sistema de vetas Chicharra SCHV.

El muestreo realizado tanto en las vetas correspondientes al SCHV, así como a otras estructuras mineralizadas asociadas a las mismas presentan valores importantes en cuanto a metales preciosos se refiere (Au y Ag), estos valores se pueden apreciar en la siguiente tabla:

<b>Muestra</b>	<b>Espesor</b>	<b>Au gpt</b>	<b>Ag gpt</b>	<b>Cu %</b>	<b>Pb %</b>	<b>Zn %</b>
Veta	1.00	3.51	40.6	0.08	0.16	0.08
Brecha	superficial	0.04	68.8	1.42	0.36	1.05
Stock	superficial	3.07	315.0	0.03	0.16	0.10
Veta	7.50	0.10	125.0	0.09	0.15	0.02
Veta	7.50	0.22	256.0	0.18	0.2	0.02
Veta	1.80	2.41	19.3	1.39	1.03	0.07
Brecha	superficial	0.12	94.3	1.63	1.66	1.33
Stock	superficial	0.07	438	3.09	0.14	0.02
Stockwork	3.00	0.01	2.0	0.91	0.06	0.23

Tabla III: Tomado de Aurea Mining, 2008b. Con modificaciones menores.

Las vetas que forman parte del SCHV se pueden observar en forma de crestones menos prominentes que en SJV, probablemente por encontrarse cubiertas por depósitos volcánicos, aunque si pueden observarse crestones que destacan sobre todo en las partes topográficamente altas en el sector suroeste del área de estudio (fotografía 23), en cambio, la cantidad de vetas que se observan en superficie, son muy superiores en proporción a el del SJV, quizá porque, estas últimas, se encuentren cubiertas por la unidad vulcanoclástica, por lo que no se observan expuestas.



Fotografía 23: Crestón del SCHV.

Las vetas del SCHV se encuentran emplazadas en zonas de debilidad (fallas y fracturas) que al igual que en la zona de San Jorge han condicionado el emplazamiento de la mineralización, estas fallas son también de carácter normal, las estrías producto de la cizalla de estas fallas se observan con una inclinación de aproximadamente  $70^\circ$  (fotografía 24).



Fotografía 24. Estrías de falla del SCHV, 70° de inclinación. Nótese la similitud entre las estrías entre los sistemas SJV y SCHV.

### V.b.- En interior mina

En interior mina únicamente puede describirse al sistema San Jorge, ya que en la zona donde se encuentra expuesto el sistema de Vetas Chicharra no existen obras mineras importantes que sean accesibles donde pudieran observarse sus características.

El SJV se puede observar dentro de ocho obras mineras en la zona de estudio, cada una de ellas se encuentra desarrollada a lo largo de un plano de falla normal y sincrónica (?) con el emplazamiento de la veta (shear) que posiblemente esta característica fue usada como criterio de prospección en el pasado, la obra mayor corresponde a la mina “La Colmena” la cual sigue casi en su totalidad al SJV. Con la campaña de barrenación realizada por AureaMining fue posible extender el SJV por casi un km, ya que se cortó la estructura en los barrenos DSJ-08 y DSJ-14, en los extremos NW y SE respectivamente, a una profundidad de 200 m por debajo de la superficie del terreno (Castro-Mora, comunicación personal). La distribución de estas obras puede observarse en la siguiente sección (figura 15).

## Sección NW-SE viendo hacia el NE

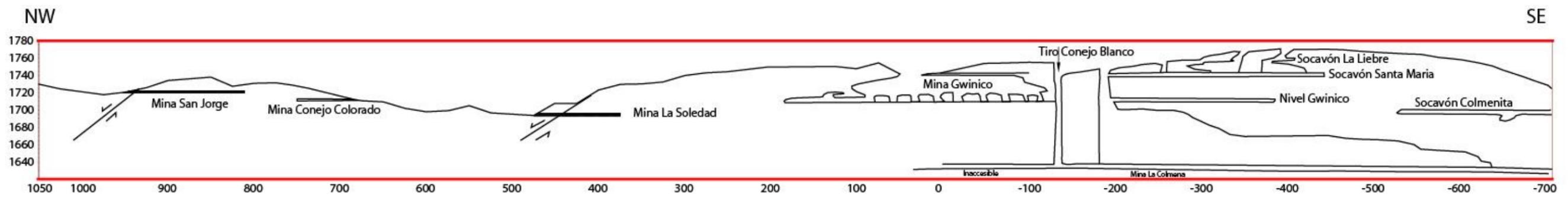


Figura 15. Sección que muestra la distribución de las obras mineras en el área de estudio.

## V.c.- Barrenación a diamante

Durante los trabajos de exploración realizados por la empresa Aurea Mining S.C., se llevó a cabo una exitosa campaña de barrenación de 5000 m perforados, algunos de estos barrenos se hicieron con la intención de cortar las vetas, con contenidos de oro, de los sistemas San Jorge y Chicharra, a continuación se hace una descripción de algunas de las estructuras cortadas en dichos barrenos (Castro-Mora, comunicación directa).

### Barreno DSJ-03



Fotografía 25: **DSJ-03**. Vetas de cuarzo amorfo con pirita y galena diseminada.



Fotografía 26: **DSJ-03**. Veta de cuarzo amorfo con mayor cantidad de sulfuros diseminados (galena, y pirita).

### Barreno DSJ-08



Fotografía 27: **DSJ-08** La textura porfídica se incrementa cerca de las zonas de falla. Profundidad: 23 m.



Fotografía 28: **DSJ-08**. Veta de cuarzo con pirita y galena, la galena se presenta en bandas y en forma diseminada. Profundidad: 37.60 m.



Fotografía 29: **DSJ-08**. Banda de galena y esfalerita alojada en la veta de cuarzo pirita diseminada en ambas estructuras. Profundidad: 38.30 m.



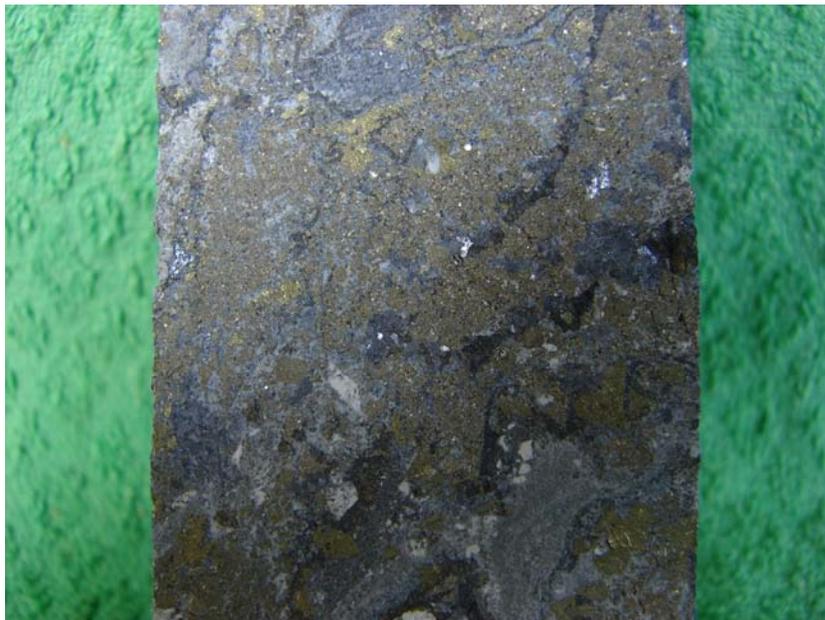
Fotografía 30: **DSJ-08**. Pirita, galena, esfalerita, calcopirita alojadas en la veta de cuarzo. Profundidad: 38.59 m.



Fotografía 31: **DSJ-08**. Pirita, galena, esfalerita, calcopirita alojadas en la veta de cuarzo. Profundidad: 38.59 m.



Fotografía 32: **DSJ-08**. Pirita, galena, esfalerita, calcopirita alojadas en la veta de cuarzo. Profundidad: 38.82 m.



Fotografía 33: **DSJ-08**. Pirita, galena, esfalerita, calcopirita alojadas en la veta de cuarzo. Profundidad: 38.82 m.



Fotografía 34: **DSJ-08**. Pirita, galena, esfalerita, calcopirita y bornita alojadas en la veta de cuarzo. Profundidad: 47.30 m.



Fotografía 35: **DSJ-08**. Pirita, galena, esfalerita, calcopirita alojadas en la veta de cuarzo. Profundidad: 47.30 m.

### Barreno DSJ-14



Fotografía 36: **DSJ-14**. Veta de cuarzo cortada con textura de drusas y óxidos.



Fotografía 37: **DSJ-14**. Veta de cuarzo muy fracturada con textura brechoide y óxidos.



Fotografía 38: **DSJ-14**. Vetas de cuarzo amorfo con pirita y galena diseminada.

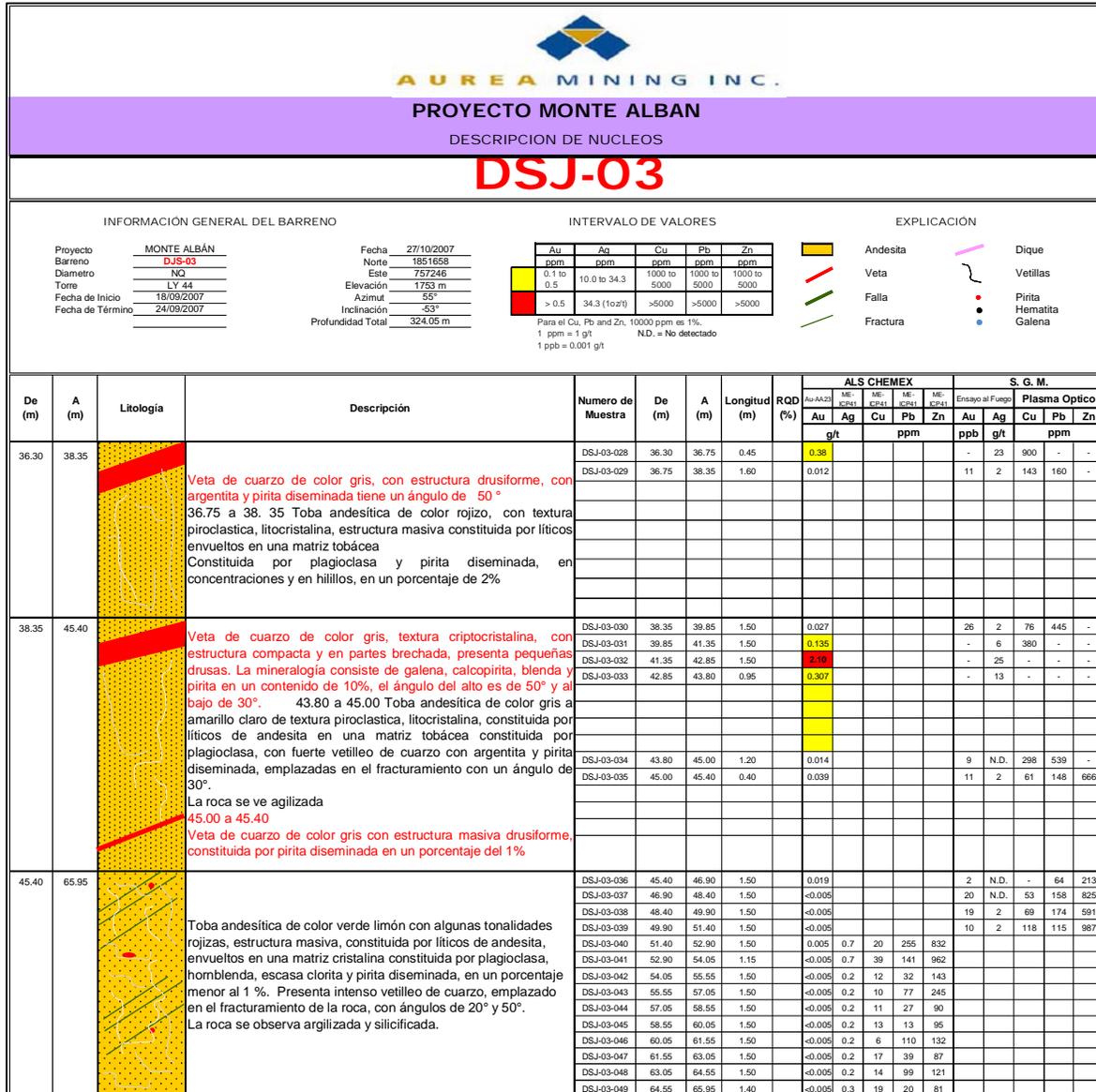


Figura 16: Sector del núcleo del barreno DSJ-03 que muestra el logeo de las estructuras mineralizadas y sus correspondientes contenidos de Au, Ag, Pb, Zn y Cu.



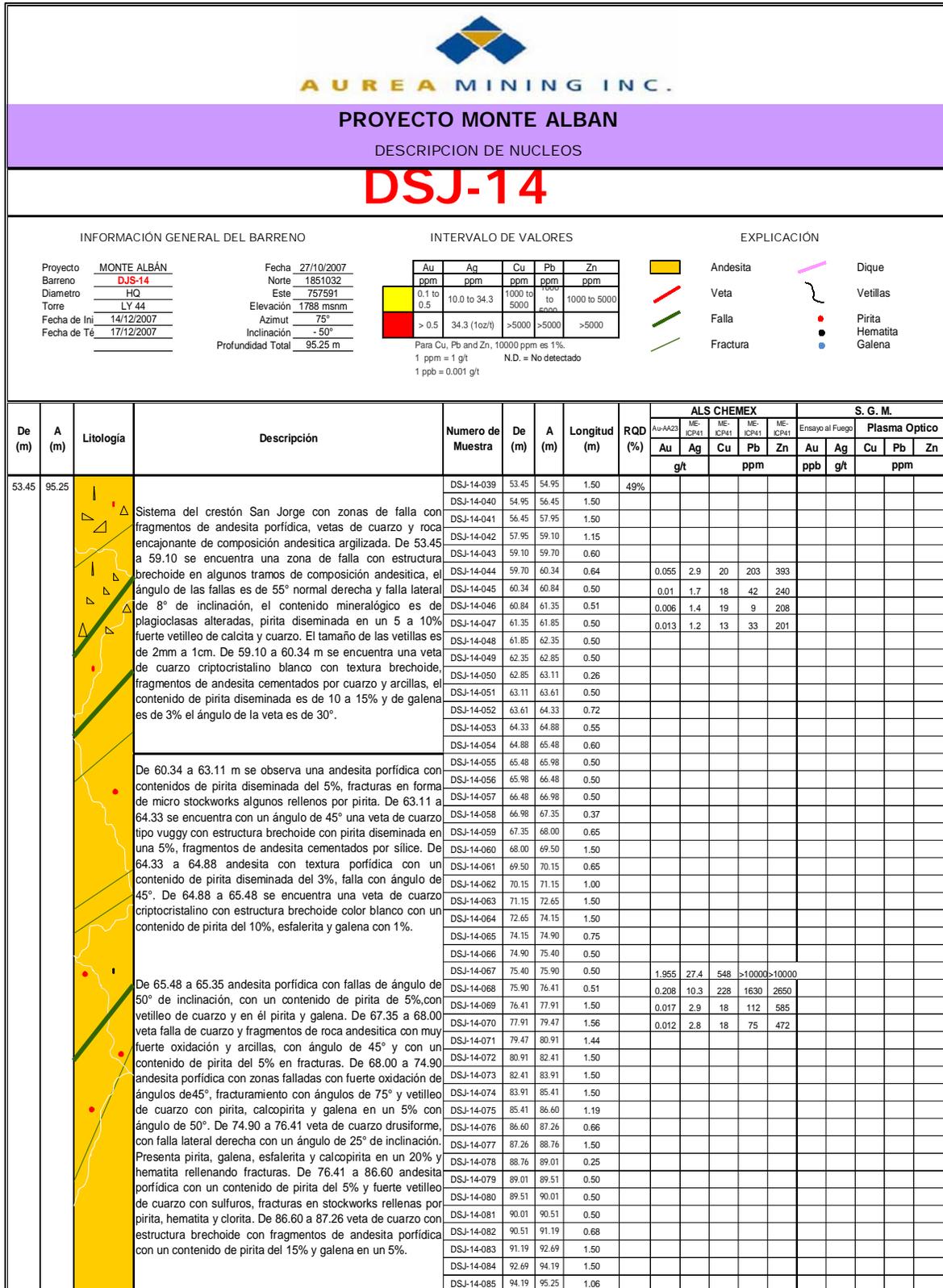


Figura 18: Sector del núcleo del barreno DSJ-14 que muestra el logeo de las estructuras mineralizadas y sus correspondientes contenidos de Au, Ag, Pb, Zn y Cu.

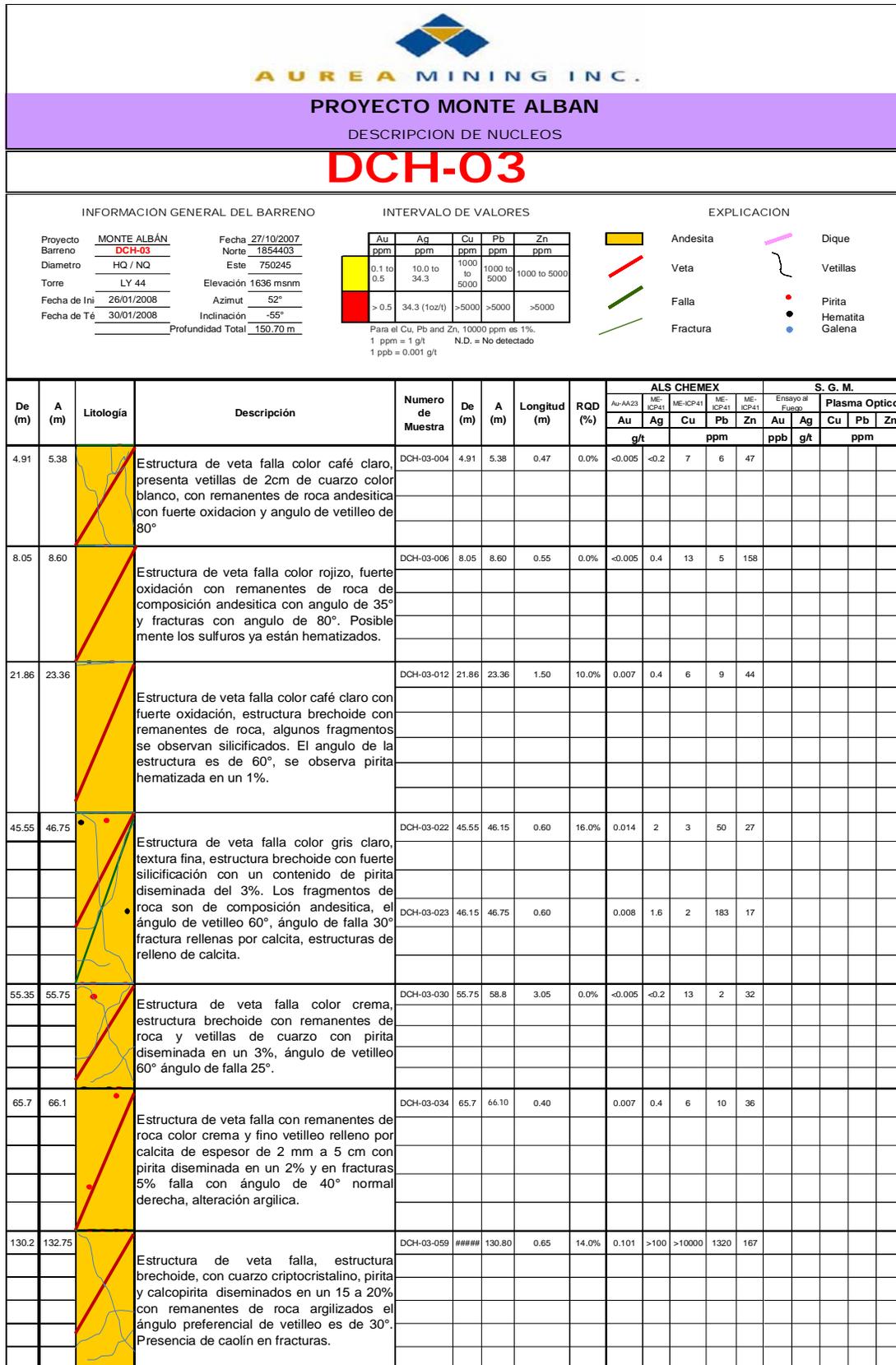


Figura 19: Sector del núcleo del barreno DCH-03 que muestra el logeo de las estructuras mineralizadas y sus correspondientes contenidos de Au, Ag, Pb, Zn y Cu.



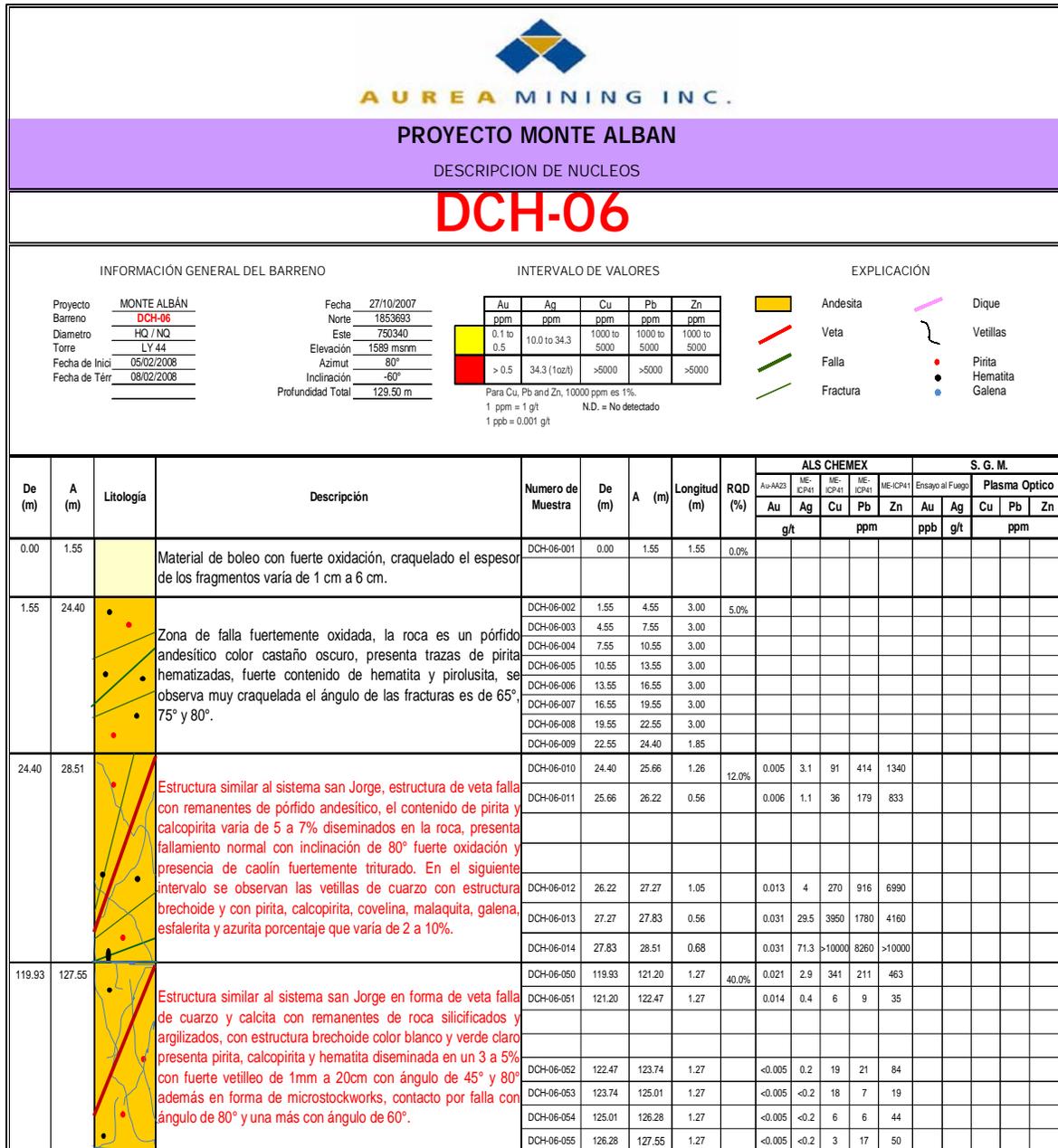


Figura 21: Sector del núcleo del barreno DCH-06 que muestra el logeo de las estructuras mineralizadas y sus correspondientes contenidos de Au, Ag, Pb, Zn y Cu.

## **VI. TIPO DE MINERALIZACIÓN Y CONTENIDOS METÁLICOS EXISTENTES (LEYES)**

En la zona existen numerosas estructuras mineralizadas de importancia, emplazadas en forma de vetas, estructuras silicificadas (crestones) y stockworks asociados al sistema hidrotermal, como relleno de fisuras y que se alojan predominantemente en las rocas volcánicas y esporádicamente en rocas vulcanoclásticas de origen continental.

La mineralización principal es de oro y plata, con frecuencia acompañada por plomo, zinc y cobre. La distribución de la mineralización no siempre es uniforme, se presenta también en forma diseminada e irregular además de las estructuras formales (vetas con zonas de bonanza).

En general la mineralización consiste en vetas de cuarzo con valores de oro y plata acompañados por minerales de plomo (galena) y zinc (esfalerita), encajonadas en pórfidos, en el caso de las correspondientes al SJV, y preferentemente en el granito para las asociadas al SCHV. La mineralización se presenta en forma de óxidos y sulfuros (CRM; 1996), además existen vetas de calcita de origen hidrotermal que al parecer corresponden con un episodio de mineralización tardío pues estas estructuras atraviesan las secuencia vulcanoclástica.

El control de la mineralización en las vetas y el stockworks es de carácter estructural pues están controladas por los sistema de fallas y los sistemas de fracturas de la región descritos en capítulos anteriores, sin embargo, además del control estructural existe un control litológico pues estas estructuras, independientemente del carácter de las mismas, se encuentran siempre emplazadas en los cuerpos intrusivos, predominantemente en la unidad porfídica y en la unidad granítica-granodiorítica en la parte central de la zona de estudio, representados por las unidades (Tsp) y (Ti) respectivamente.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

El muestreo llevado a cabo por la empresa Aurea Mining se realizó bajo diferentes controles y estándares de calidad como es la Norma Oficial Canadiense (N43-101) reconocida por la bolsa de valores de Toronto (TSX) y procesos que garantizarán la mayor fidelidad en los resultados obtenidos del mismo, éste se realizó con el fin de de obtener diferentes parámetros de comparación de las vetas y los sistemas a los que posiblemente se encuentran asociados dentro del área de estudio, para lo cual se dividió dicho muestreo: en muestreo superficial, de interior mina y de núcleos de perforación, los cuales se obtuvieron de la campaña de barrenación desarrollada durante el año 2007 y principios del 2008.

#### VI. a.- Muestreo superficial

El muestreo superficial trató de ser sistemático; la toma de muestras se realizó cada 25 m en las estructuras formales (vetas) tanto en el sistema San Jorge (SJV) como en el Sistema de Vetas Chicharra (SCHV), se colectaron las muestras de manera perpendicular al rumbo de la veta y se consideraron las evidencias de mineralización observadas en las bocaminas. Para cada muestra individual se tomó su posición UTM. El muestreo se realizó tanto al alto como al bajo de las estructuras y se tomó en cuenta esta característica para el análisis posterior de la información.

Los resultados reportados, de mayor relevancia. para el SJV derivados de este muestreo se presentan en la tabla siguiente:

Mina	Este (X)	Norte (Y)	Altitud (Z)	Tipo	Espesor (m)	Au (g/t)	Ag (g/t)
Superficie SJV	-----	-----	-----	Veta	-----	2.17	41.66
Conejo Blanco	757424	1851505	1778	Veta	1.1	16	169
Crestón San Jorge	757379	1851588	1782	Veta	3.5	4	58
San Jorge	756777	1852036	1711	Veta	1.4	2	90
Colmena	757624	1850740	-----	Veta	2.16	16.01	119
Colmena	757624	1850740	-----	Veta	2.6	2	166
Colmena	757624	1850740	-----	Veta	2.8	12	72
Colmena	757624	1850740	-----	Veta	0.95	1.2	1578
La Liebre	757550	1851253	1768	Veta	1.3	2.2	174
Santa María	757529	1851294	1762	Veta	1	3.5	66
Gwinico	757444	1851433	-----	Veta	1.35	12.8	86
Conejo Colorado	757073	1851890	-----	Veta	1.3	3	160
La Soledad	757173	1851806	1700	Roca	15.8	1	42
Gwinico	757444	1851433	-----	Stockwork	12.1	12.8	86
Gwinico	757444	1851433	-----	Stockwork	17.3	4.7	50
Gwinico	757444	1851433	-----	Stockwork	10.15	1.27	78
Gwinico	757444	1851433	-----	Stockwork	21.89	5.6	32
La Liebre	757550	1851253	1768	Veta	1.5	8	702
La Liebre	757550	1851253	1768	Veta	1	2	238
La Liebre	757550	1851253	1768	Veta	1.2	6	206

Tabla IV: Modificado de Aurea Mining, 2008. Nótese en amarillo y rojo los valores anómalos para Au, Ag, Cu, Pb, Zn.

Los resultados reportados, de mayor relevancia para el SCHV derivados de este muestreo se presentan en la tabla siguiente:

Mina	Este (X)	Norte (Y)	Tipo	Espesor (m)	Au ppm	Ag ppm
CHI001	750488	1854189	Veta	1.7	0.047	55.7
CHI002	750477	1854233	Al alto de la veta	1.9	0.062	>100
CHI004	750450	1854295	Al alto de la veta	1.3	0.046	64.8
CHI009	750303	1854448	Veta	2.4	0.042	7.9
CHI018	750150	1854552	Veta	3.6	0.049	1.9
CHI023	750347	1854469	Al alto de la veta	2	0.082	4.4
CHI026	750367	1854494	Veta	1.2	0.065	4.4
CHI037	750744	1854259	Veta	2.2	0.134	15.4
CHI063	753971	1854457	Veta	5.5	0.106	34.6
CHI067	754447	1854856	Veta	3.9	0.066	0.4
CHI069	752314	1854729	Veta	0.9	0.185	14.1
CHI102	750355	1853595	Veta	0.15	0.678	0.3
CHI160	751232	1853383	Veta	4.7	1.34	24.3
CHI161	751626	1853368	Veta	0.34	0.588	38.5
CHI181	750246	1853155	Veta	0.31	0.156	1.8
CHI195	750933	1853431	Veta	5	0.509	45.5
CHI197	750952	1853792	Veta	0.6	0.278	30.3
CHI201	750591	1853186	-	-	0.997	42.3
CHI202	751753	1853186	-	-	0.67	32.9
CHI203	751792	1853431	-	-	0.168	>100

Tabla V: Modificado de Aurea Mining, 2008. Nótese en amarillo y rojo los valores anómalos para Au, Ag, Cu, Pb, Zn.

## VI. b.- Muestreo de interior mina

Este tipo de muestreo se realizó tanto en las bocaminas como en el interior de las obras, el muestreo sistemático y principal se llevó a cabo dentro de la mina “La Colmena” que es la obra de mayor desarrollo dentro del área Monte Albán, la distancia entre las muestras fue de 25 metros; se tomaron muestras de esquirlas en todas las estructuras (vetas) mineralizadas. La roca encajonante también fue muestreada. En el resto de las minas el muestreo fue similar, tanto en las vetas como en la roca encajonante. Los valores reportados de dicho muestreo se muestran a continuación:

Muestra	Tipo	Profundidad (m)	Au (g/t)	Ag (g/t)	Zn %	Pb %	Cu
29 muestras interior mina SJV	veta	Prom	2.99	29.28	2.5	1.58	-----
	veta	2	-----		0.01	-----	-----
	veta	3	-----	81.5	12.65	-----	-----
	veta	4	-----	-----	-----	3.3	-----
	veta	5	0.1	0.9	-----	0.01	-----
	veta	14	18.9	-----	-----	-----	-----
interior mina Colmena	veta	promedio	2.99	29.28	1.58	2.5	0.09
COI-475	veta	-----	10.9	53	4.52	2.55	1018
COI-500	veta	-----	3.8	59	12.63	7.78	474
COI-525	veta	-----	1.3	14	2.25	0.48	915
COI-550	veta	-----	0.7	19	4.08	1.76	893
COI-575	veta	-----	2.6	55	3.35	4.75	1490
COI-600	veta	-----	3.9	38	10.02	4.33	1403
COI-625	veta	-----	0.9	18	0.99	0.57	650
COI-650	veta	-----	1.5	22	2.42	1.76	666
COI-675	veta	-----	1.9	11	1.06	0.68	534
COI-700	veta	-----	0.9	8	0.41	0.21	90
COIP-625	veta	-----	----	2	0.24	0.04	68
COIP-675	veta	-----	----	7	0.22	0.03	235
COI-600-DPL	veta	-----	3.8	39	10.03	4.33	1400
COIT-500	veta	-----	----	6	0.15	0.13	97
COIT-525	veta	-----	----	6	0.36	0.16	92
COIT-550	veta	-----	----	----	0.05	0.01	21
COIT-650	veta	-----	0.6	11	0.3	0.14	126
COIT-675	veta	-----	----	5	0.09	0.03	73

Tabla VI: Modificado de Aurea Mining, 2008. Nótese en amarillo y rojo los valores anómalos para Au, Ag, Cu, Pb, Zn.

Para este tipo de muestreo no existen datos en el SCHV ya que no hay obras mineras en esta zona del área de estudio. A partir de los datos de geoquímica reportados se generó el mapa con la configuración de curvas de distribución de oro y plata para el área de estudio (figuras 22 y 23).

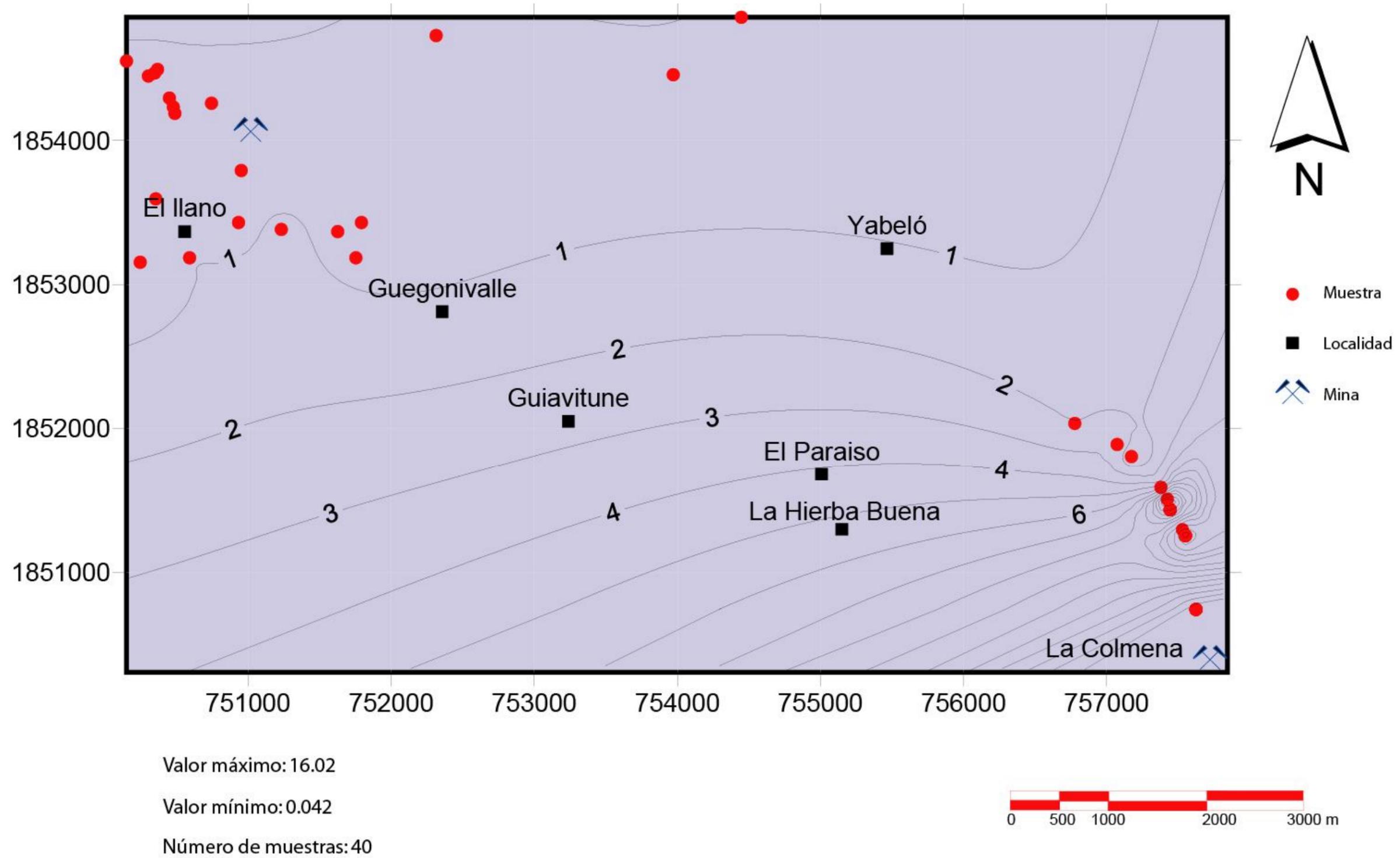


Figura 22: Configuración de curvas de isovalores de Au en el área Monte Albán.

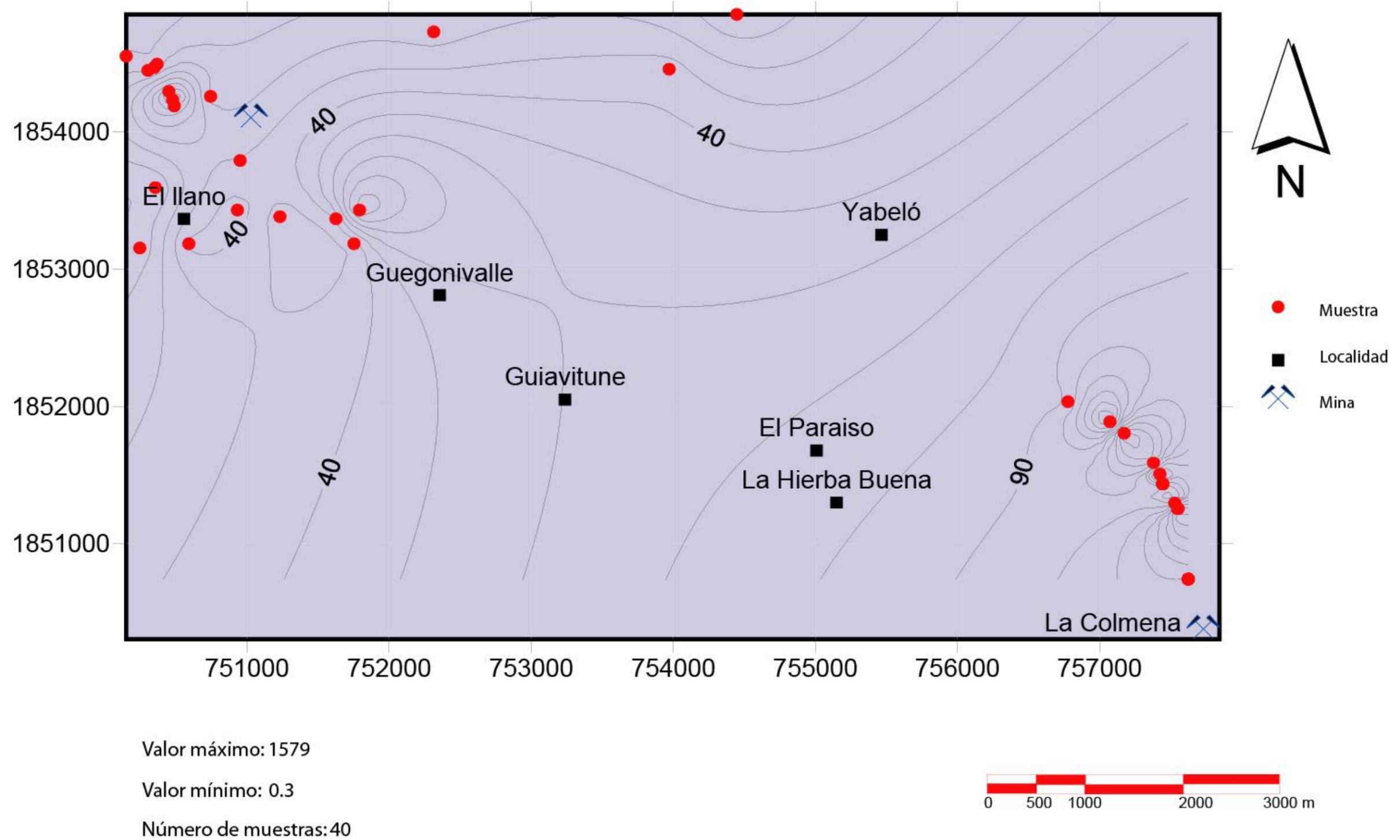
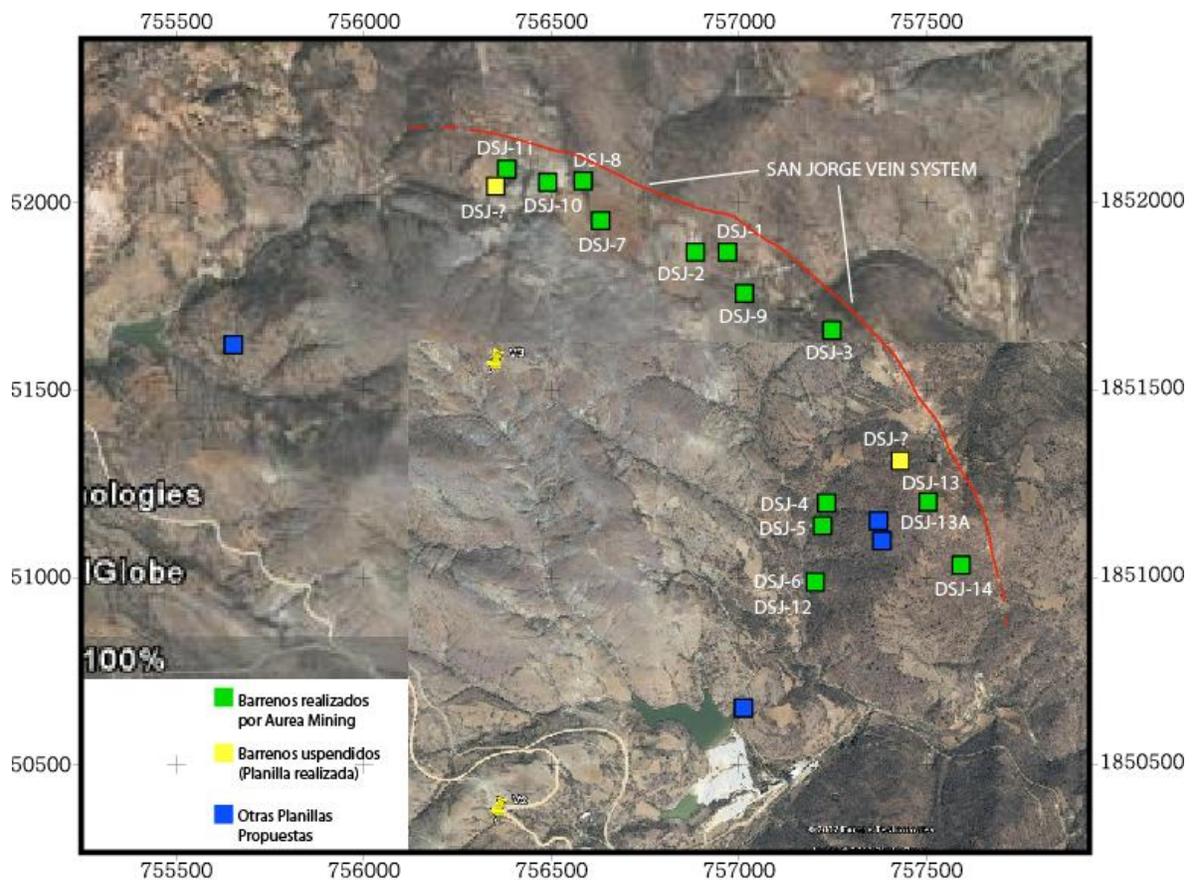


Figura 23: Configuración de curvas de isovalores de Ag en el área Monte Albán.

## VI. c.- Muestreo de núcleos de barrenación (cores)

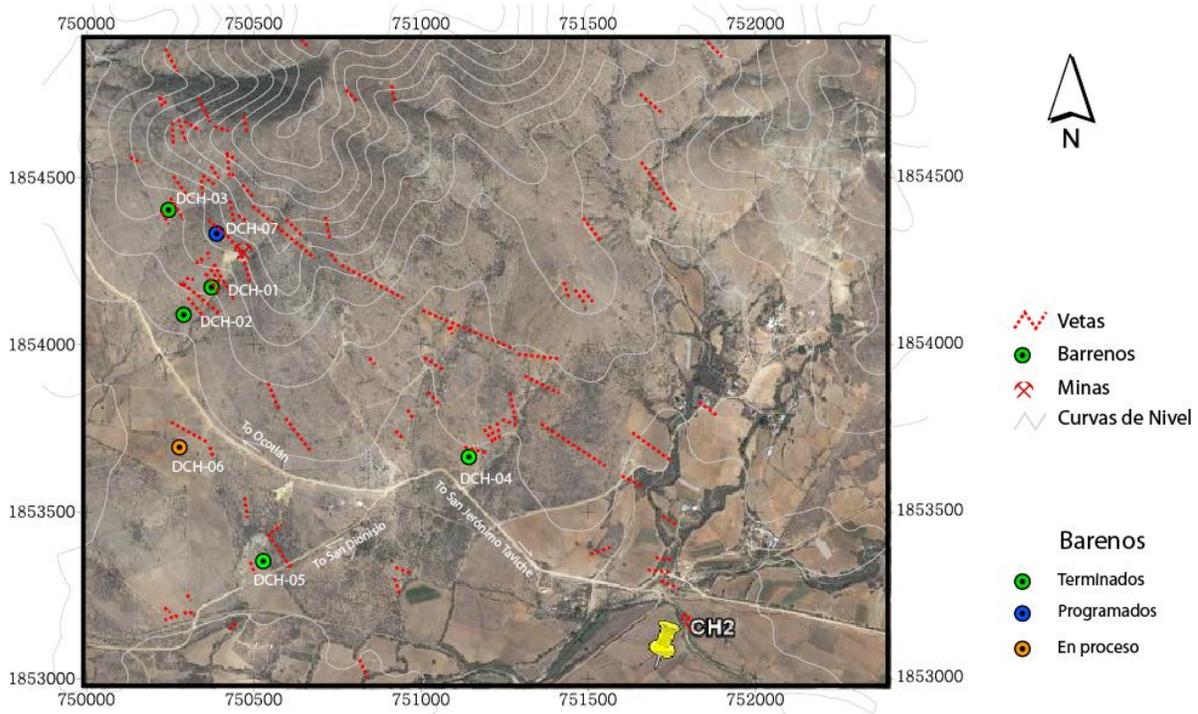
La campaña de barrenación se dividió en dos etapas: por una parte en el SJV (figura 24) y la otra en el SCHV.



Fuente: Castro-Mora, 2007

Figura 24: Distribución de barrenos programados por la empresa Aurea Mining en el SJV, con modificaciones menores. (Imagen tomada de Google Earth, 2008)

Además en el área de Chicharra (Figura 25), de estos barrenos se tomaron muestras de los núcleos y se enviaron para su análisis al laboratorio ALS Chemex, en Vancouver, Canada.



Fuente: Castro-Mora, J. 2008

Figura 25: Distribución de barrenos programados por la empresa Aurea Mining en el SCHV, con modificaciones menores (Imagen tomada de Google Earth, 2008)

Si se hace una comparación de ambas figuras, se aprecia que la distribución de los barrenos es muy lineal en ambas, esto debido a que las estructuras que se tenía la intención de cortar a profundidad, tienen una tendencia muy similar, en la imagen que corresponde al SJV no es posible apreciar la misma cantidad de vetas en superficie debido a que en esta zona afloran las unidades más recientes y que probablemente cubren dichas estructuras.

Los núcleos obtenidos de cada barreno (de los 22 que se realizaron en ambas zonas) fueron muestreados cada 1.5 metros, para el caso de la roca encajonante (pórfido). Para el caso de las vetas reconocidas correspondientes con el SJV se tomaron muestras cada 0.50 metros. Las muestras fueron tomadas con ese nivel de detalle con la intención de obtener los valores más representativos en las leyes minerales en las estructuras, en forma de vetas y vetillas, y en el encajonante, se muestreó además siguiendo las guías de alteración en los núcleos, además de los que presentaran mineralización de sulfuros.

Las muestras fueron cortadas con disco de diamante; se colectó un promedio de entre 4 a 5 kg, para posteriormente ser colocadas en bolsas plásticas y selladas con ataduras de plástico. Una vez que las muestras fueron empaquetadas y selladas se enviaron para preparación al laboratorio Als Chemex en Guadalajara, para su posterior envío a Vancouver.

Para asegurar el control de calidad en todas las muestras, se incluyeron muestra “en blanco”, es decir; tomadas de otro lugar sin ningún valor económico (22 en total). Este tipo de muestras se añaden a fin de verificar los resultados obtenidos de los ensayos de los laboratorios. Algunas otras muestras fueron duplicadas para ser enviadas a los laboratorios ACME Labs y al Centro Experimental Oaxaca del SGM, con el objeto de corroborar los resultados del laboratorio de Als Chemex.

Los resultados realizados, correspondientes a los barrenos realizados en la zona del SJV, reportados por ALS Chemex, publicados en Marzo del 2008 ([www.aureamining.com](http://www.aureamining.com)), se muestran a continuación:

BARRENOS								
RESULTADOS DE ALS CHEMEX								
Barreno No.	De m	a m	Profundidad m	Oro g/t	Plata g/t	Cobre %	Plomo %	Zinc %
DSJ-01	3	4.5	1.5	0.57	0.9	0	0.01	0.01
and	9	10.5	1.5	2.67	0	0	0	0.01
and	58.8	59.9	1.1	0.04	5.5	0.04	0.16	0.53
DSJ-02	91.42	93.92	2.5	0.09	7	0.11	0.17	0.25
DSJ-03	36.3	43.8	7.5	0.52	12.09	0.11	1.27	1.41
DSJ-03	39.85	43.8	3.95	0.92	19.36	0.18	2.3	2.42
DSJ-03	41.35	42.85	1.5	2.1	32.8	0.32	3.71	3.95
DSJ-08	33.44	34.16	0.72	0.07	17.5	0.25	0.87	1.26
DSJ-08	37.23	39.33	2.1	0.11	143.21	1.54	7.65	9.41
DSJ-08	45.49	49.53	4.04	0.07	66.96	0.39	0.51	1.02
DSJ-09	105.7	106.97	1.27	0.22	6.2	0.08	0.43	0.46
DSJ-10	108.6	110.56	1.93	0.01	7.31	0.02	0.26	0.31
DSJ-10	113.9	114.3	0.4	0.01	11.4	0.02	0.11	0.44
DSJ-10	255.5	258.5	3	0.01	21.6	0.15	0.05	0.01
DSJ-10	277.5	279.08	1.5	0.01	7.9	0.06	0.22	0.19
DSJ-13	22.4	53.52	31.12	-	16.42	-----	-----	-----
DSJ-13A	75.4	82.1	6.7	2.12	64.29	0.05	0.53	0.73
DSJ-13A	75.4	76.15	0.75	13.6	430	0.12	1.58	0.93
DSJ-13A	76.15	76.9	0.75	1.22	55.8	0.06	0.19	0.41
DSJ-13A	81.58	82.1	0.52	3.21	31	0.04	1.57	2.83
DSJ-14	74.9	76.41	1.51	1.21	18.48	0.04	0.76	0.93
DSJ-14	74.9	75.9	1	1.72	22.65	0.05	1.06	1.27
DSJ-14	89.51	91.19	1.68	0.44	29.75	0.04	1.24	2.11
DSJ-14	89.51	90.01	0.5	0.83	44.8	0.05	2.61	2.55
DSJ-14	90.51	91.19	0.68	0.39	34.6	0.06	1.08	3.19

Tabla VII. Modificado de Aurea Mining, 2008. Nótese en amarillo y rojo los valores anómalos para Au, Ag, Cu, Pb, Zn.

Los resultados realizados, correspondientes a los barrenos realizados en la zona del SCHV, reportados por ALS Chemex se muestran a continuación:

<b>BARRENOS</b>					
<b>ALS CHEMEX RESULTS</b>					
Barreno No.	(Au) ppm	(Ag) ppm	(Cu) ppm	(Pb) ppm	(Zn) ppm
DCH-03-004	-----	-----	22	30	82
DCH-03-006	-----	-----	11	34	192
DCH-03-012	-----	3	38	31	84
DCH-03-022	0.9	5	24	62	64
DCH-03-023	0.3	6	16	414	57
DCH-03-029	0.9	6	28	49	60
DCH-03-034	-----	2	123	36	74
DCH-03-059	9.5	144	-----	1789	299
DCH-03-060	5	62	-----	225	122
DCH-03-061	5.6	97	-----	682	676
DCH-03-062	1.8	9	0.17	83	67
DCH-03-061-DPL	5.2	95	3.17	738	675
DCH-04-008	-----	-----	31	31	62
DCH-04-009	-----	2	38	30	59
DCH-04-010	0.5	-----	40	67	125
DCH-04-011	0.3	-----	32	30	83
DCH-04-012	0.7	3	51	39	56
DCH-04-013	0.6	5	38	60	303
DCH-04-014	0.9	-----	43	23	40
DCH-04-015	1.1	84	37	21	121
DCH-04-016	0.9	-----	30	69	46
DCH-04-017	1.7	5	59	48	48
DCH-04-018	1.9	5	61	138	194
DCH-04-019	1.1	2	36	42	45
DCH-04-028-DPL	0.4	2	51	26	95
DCH-04-020	0.4	3	34	29	35
DCH-04-021	0.3	3	33	27	41
DCH-04-022	0.5	2	23	21	41
DCH-04-023	0.9	-----	97	30	80
DCH-04-024	0.4	3	40	26	74
DCH-04-025	0.9	-----	87	55	125
DCH-04-026	-----	3	45	54	133
DCH-04-027	0.8	4	47	37	101
DCH-04-028	0.4	2	53	26	97
DCH-04-054	-----	-----	90	50	127
DCH-05-020	530	6	201	531	866
DCH-05-015	3	7	731	216	993
DCH-05-025	13.5	16	2756	2170	1553
DCH-05-026	6.2	41	7084	2664	3282
DCH-05-027	2.2	4	529	423	740
DCH-06-050	0.5	4	286	224	437
DCH-06-051	0.5	2	40	35	82
DCH-06-052	-----	-----	39	38	28
DCH-06-053	-----	2	45	19	38
DCH-06-054	-----	3	24	22	72
DCH-06-055	-----	2	19	36	80
DCH-06-055-DPL	-----	3	20	34	81

Tabla VII. Modificado de Aurea Mining, 2008. Nótese en amarillo y rojo los valores anómalos para Au, Ag, Cu, Pb, Zn.

## **VII. ZONACIÓN DE LAS ALTERACIONES HIDROTERMALES**

Las alteraciones hidrotermales, en términos generales, son la respuesta mineralógica, textural y química a un cambio en el ambiente de formación de los yacimientos minerales, dichos cambios pueden ser de carácter térmico o químicos, por la presencia de fluidos de mayor temperatura en forma de líquido, vapor o gas.

Las alteraciones ocurren debido a la transformación de fases minerales, por el crecimiento de nuevos minerales, por disolución de minerales y/o precipitación. La litología es determinante para la mineralogía resultado de la acción hidrotermal, ya que puede tener efecto menor por la permeabilidad de la misma, la temperatura de formación de la roca encajonante y la interacción con la composición del fluido, por lo que la temperatura y el pH del fluido son los factores más relevantes en la asociación mineralógica resultante de los procesos de alteración hidrotermal.

En diversos estudios se ha comprobado que existe un orden relativo de susceptibilidad a alteración de los minerales, este orden relativo, es el principio con el que se puede caracterizar a las alteraciones hidrotermales, pues con base en las relaciones mineralógicas y texturales es como se han propuesto diversas clasificaciones, dichas clasificaciones han sido basadas en lo expuesto; por una parte de Meyer y Hemley en 1967 y más recientemente por Lowell, y Guilbert en 1970 (Figura 26), de las cuales se hace una breve descripción a continuación:



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

- Propilítica: Presencia de epidota y más comúnmente clorita, se presentan también albita, calcita y pirita. Es la zona de alteración más externa y puede extenderse hasta por cientos de metros, siempre se encuentra presente.
- Argílica: Presencia de caolinita, montmorillonita, smectita o arcillas amorfas que reemplazan a plagioclasas. Puede haber sericita que acompaña a las arcillas; se observan tanto feldespatos frescos como alterados, el grado de hidrólisis relativo es más alto que en la alteración propilítica.
- Filítica (Lowell, Guilbert) o Sericítica-cuarzo-sericítica: Ambos feldespatos (plagioclasas y feldespato potásico) transformados principalmente a sericita con cuarzo, y cantidades menores de caolinita, hay además presencia de biotita primaria y rutilo. Se encuentra comúnmente la paragenesis de cuarzo-sericita-pirita, la pirita se observa diseminada y en vetillas con escasa clorita, illita y pirofilita. Los carbonatos y anhidrita son pocos en esta zona. El límite entre la zona potásica y la zona filítica no es bien definida. Se trata de una zona de transición y no siempre está presente.
- Potásica: Alteración de plagioclasas y minerales máficos a feldespato potásico y/o biotita algunas veces con sericita, anhidrita y cuarzo en stockwork, hay intercambio catiónico por la adición de K, no hay hidrólisis, ocurre en condiciones de pH neutro o alcalino a altas temperaturas. Es la zona más proxima de a alteración. El núcleo de esta zona puede ser pobre en mineral de mena, que puede o no estar presente.

### MODELO DE LOWELL & GUILBERT (1970) ALTERACIONES HIDROTERMALES

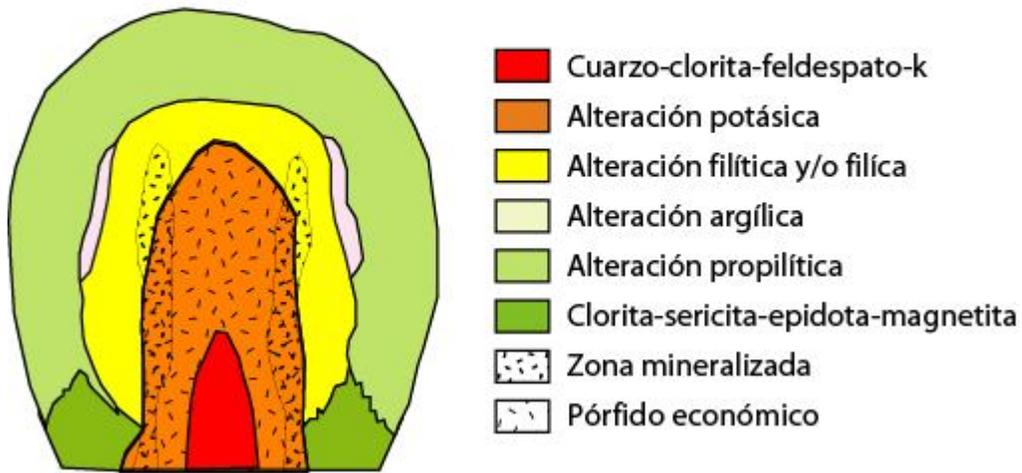


Figura 26: Modelo de alteraciones hidrotermales. Modificado de Lowell y Guilbert, 1970.

De acuerdo a lo propuesto por Lowell y Gilbert en este modelo conceptual, la distribución teórica de las alteraciones en lo que se refiere al área de estudio debería de ser de la siguiente manera (figura 27):

### MODELO TEÓRICO PARA LAS ALTERACIONES HIDROTERMALES EN EL ÁREA MONTE ALBÁN

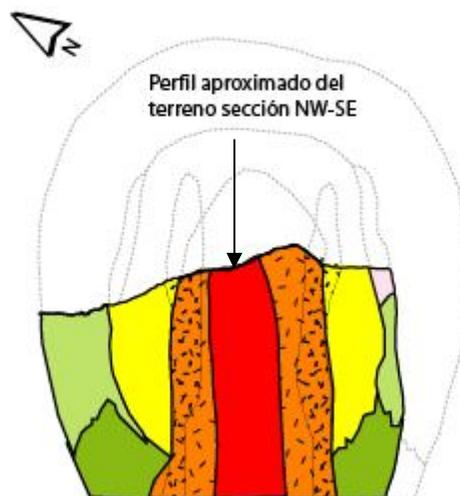


Figura 27: Distribución teórica de las alteraciones hidrotermales. según: Lowel v Gilbert (1970).

En cuanto a lo observado directamente tanto en las unidades expuestas, como en la información obtenida de los barrenos, el patrón de las alteraciones hidrotermales, en general se apega bastante bien al esquema teórico propuesto, representado en la figura anterior, pues la disposición general de las mismas establece que: en general la zona de alteración propilítica se encuentra en el sector occidental, la alteración argílica es la que predomina en toda el área y abarca prácticamente todo el sector central a excepción de la zona que corresponde con el área Mónica, pues en esta la alteración sílica y potásica son las que predominan, aunque la alteración sílica es evidente en casi todos los sectores, pues imprime una dureza mayor a las unidades en donde se encuentra presente dicha alteración, la alteración argílica avanzada está expuesta al sureste y a menor escala esta alteración se concentra sobre todo en los respaldos de las vetas (Castro-Mora, 2007).

A continuación se puede observar esta zonación, en una sección esquemática NW-SE, para el patrón de las alteraciones hidrotermales, dentro del área de estudio, en el que, si se hace una comparación del modelo anterior, con dicha sección, se puede apreciar la similitud y la simetría en la distribución de las alteraciones (figura 28).

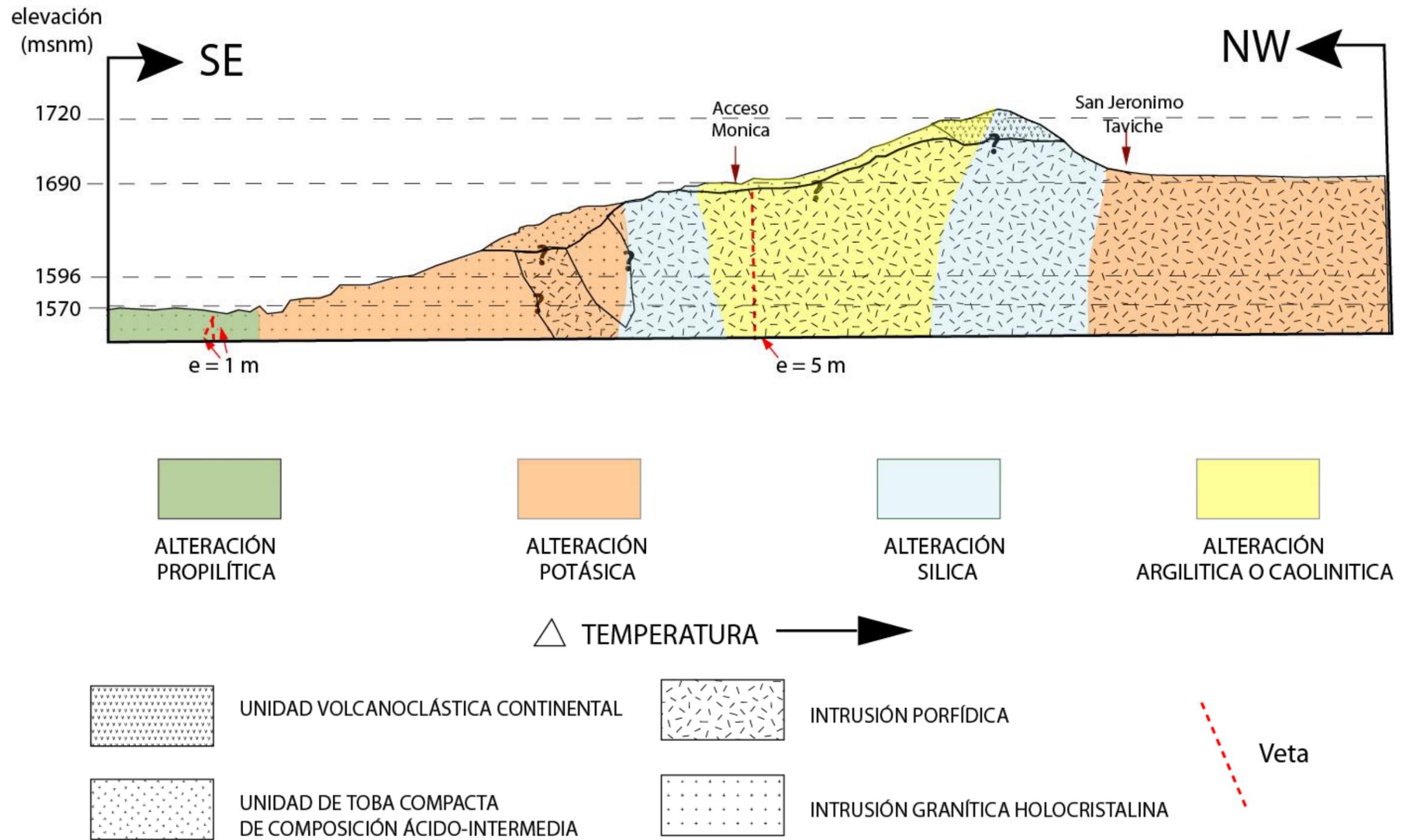


Figura 28: Sección transversal que muestra la distribución de las alteraciones hidrotermales en el área de estudio.  
Fuente: Modificado de Castro-Mora, J. 2007.

## VIII. PETROLOGÍA Y MINERAGRAFÍA DE LAS VETAS SAN JORGE Y CHICHARRA

### Mineragrafía:

Los estudios mineragráficos fueron realizados gracias a las facilidades otorgadas en las instalaciones del Centro de Experimentación Oaxaca del SGM.

Para este estudio se seleccionaron muestras representativas de los dos sistemas de vetas, por una parte en el interior de la mina Colmena, que es la obra de mayor desarrollo en el área de estudio, se colectaron las muestras **COI475M**, **COI570A**, **COI570B**, **COI570C**, las cuales corresponden al SJV, en cuanto al SCHV se colectó la muestra **ACHI03** en donde existe el desarrollo de un tiro vertical, debido a que en esta área no hay desarrollo de obras mineras correspondiente a este sistema de vetas. Con relación al muestreo de núcleos de perforación se seleccionaron las siguientes muestras: **MDSJ-08-01**, **MDSJ-08-05** y **MDSJ-08-14**.

A continuación se hace una descripción de cada una de las muestras referidas:



Universidad Nacional  
Autónoma de México

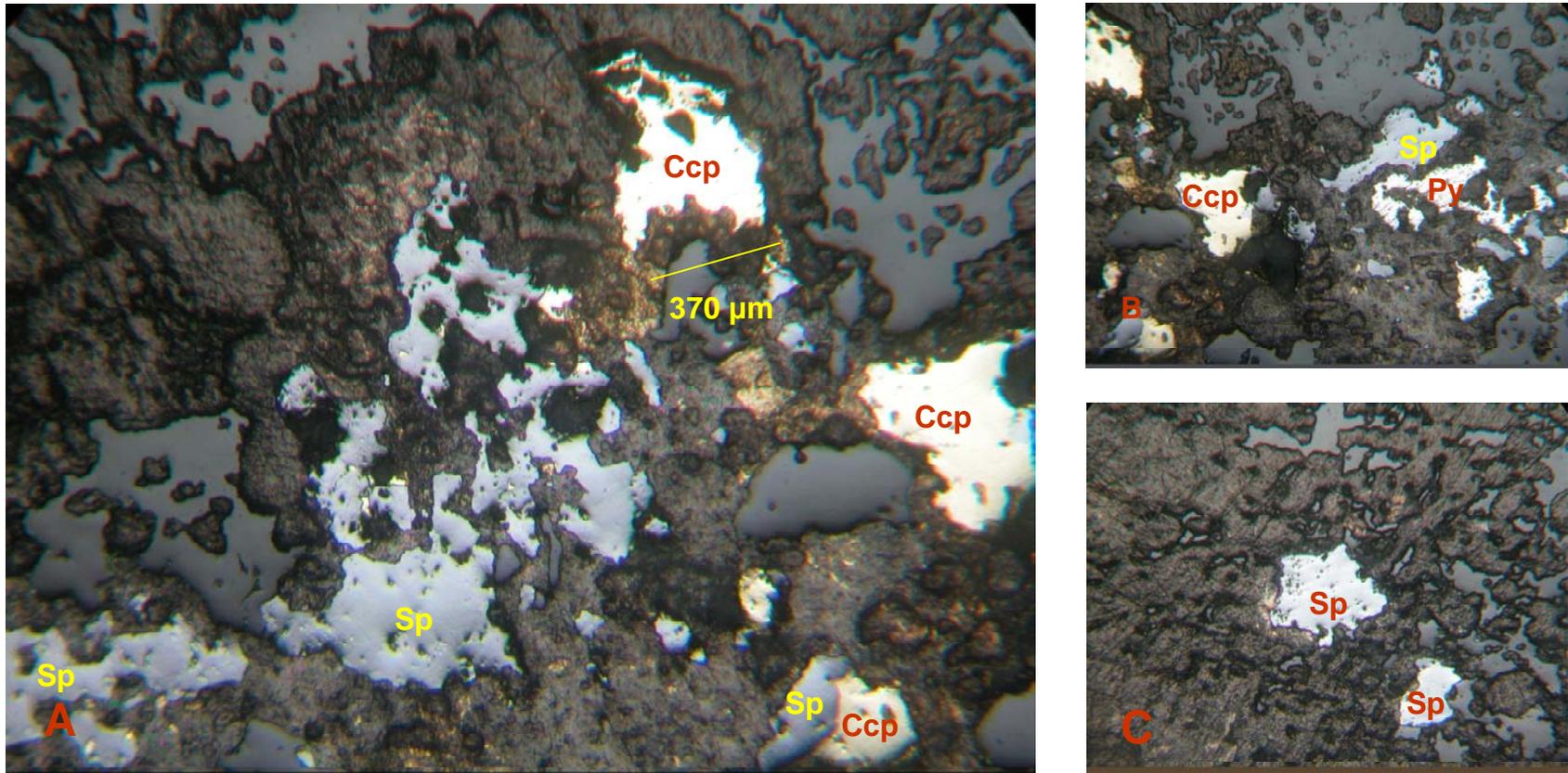


**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

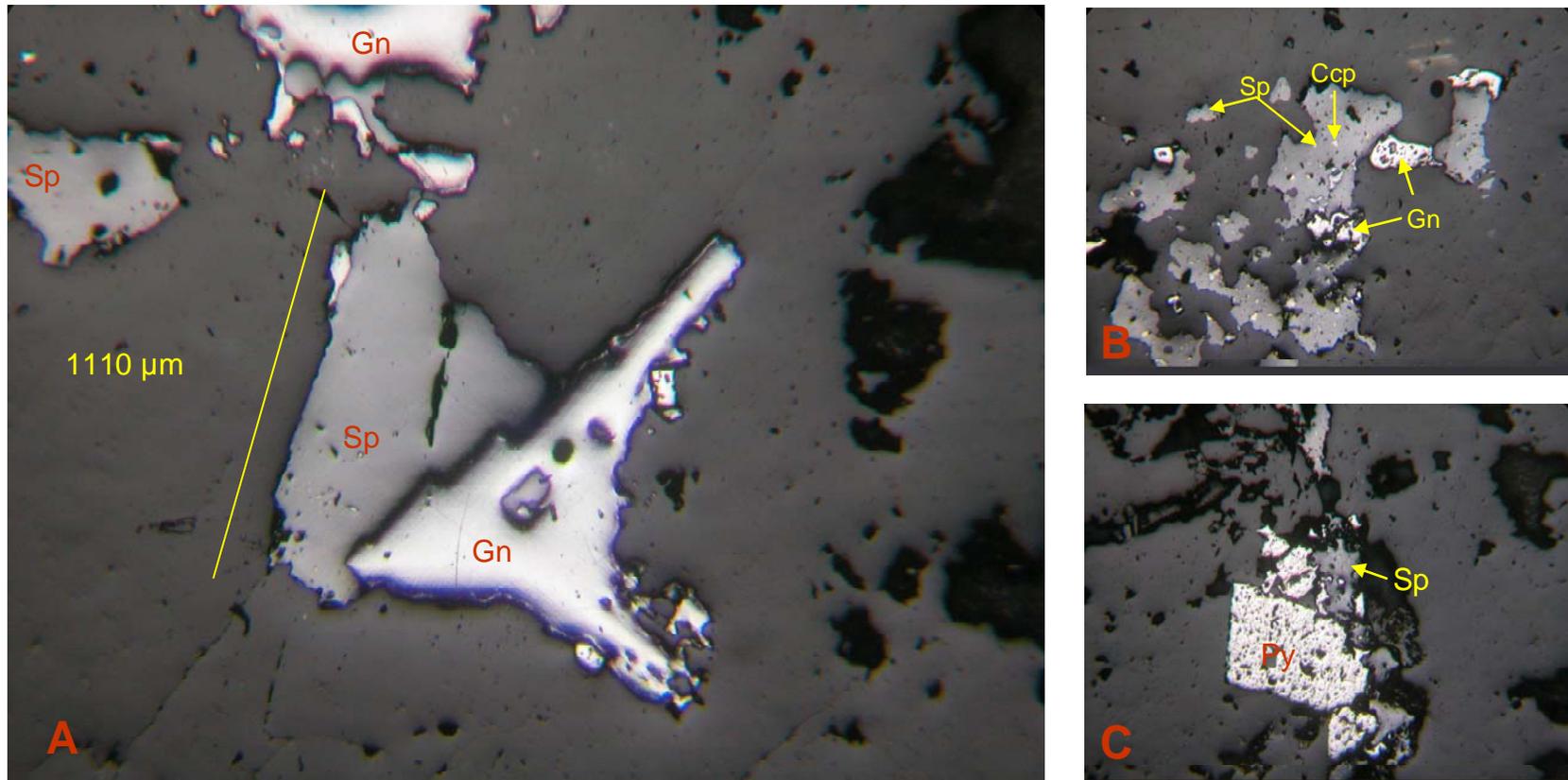
El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**MUESTRA COI 475M.** En la fotomicrografía se observa una asociación de calcopirita, esfalerita, pirita, y lo que probablemente corresponde con otro tipo de minerales de cobre, que debido a su tamaño no fue posible reconocer (B).

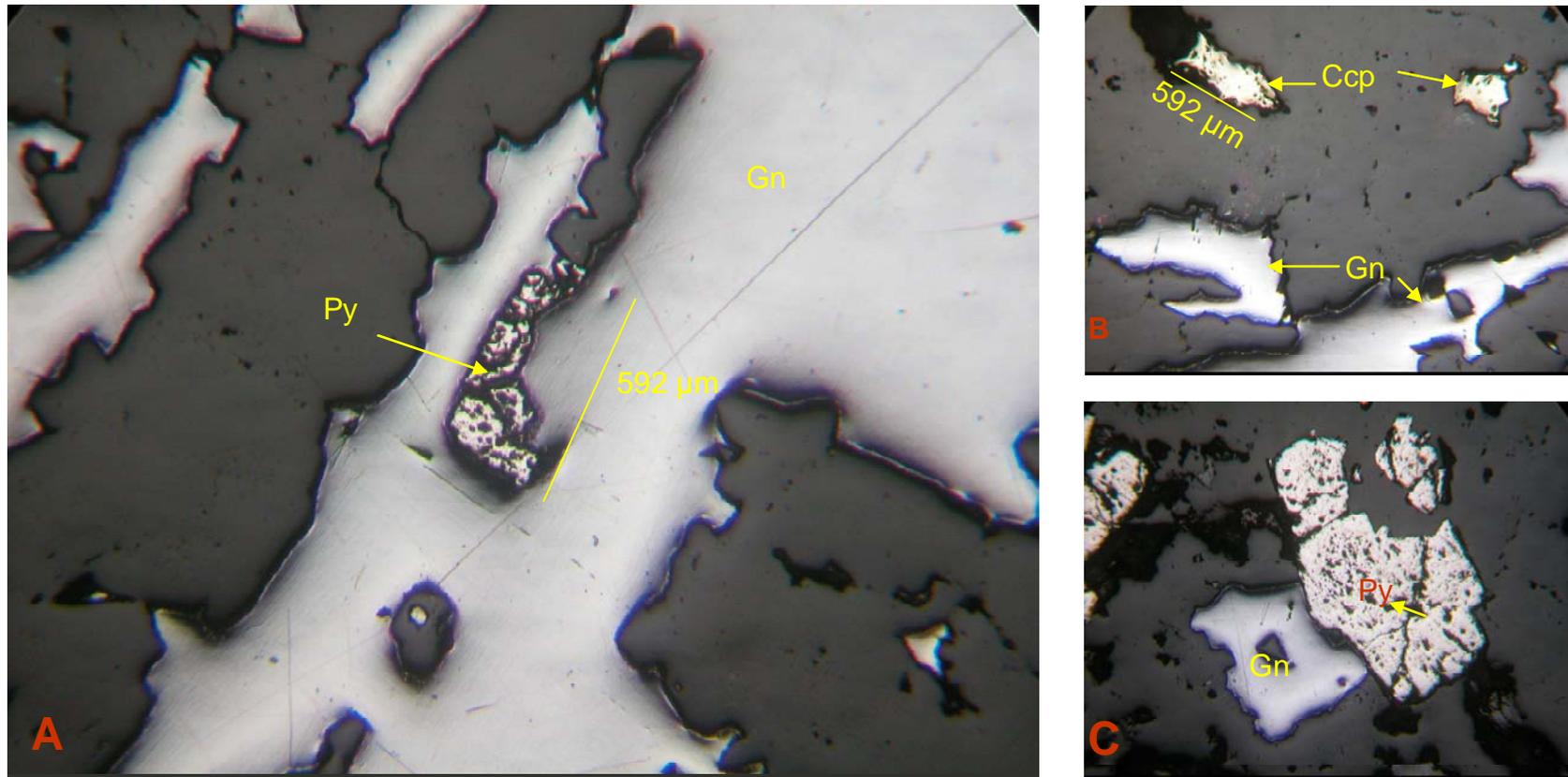
Es muy homogénea la relación de la pirita oxidada que rodea a la esfalerita (C), la relación de la esfalerita con la calcopirita es de intercrecimiento, lo que permite inferir que estos dos minerales se encuentran en paragénesis (A).

*Paragénesis observada en la muestra: Sp=CCp*



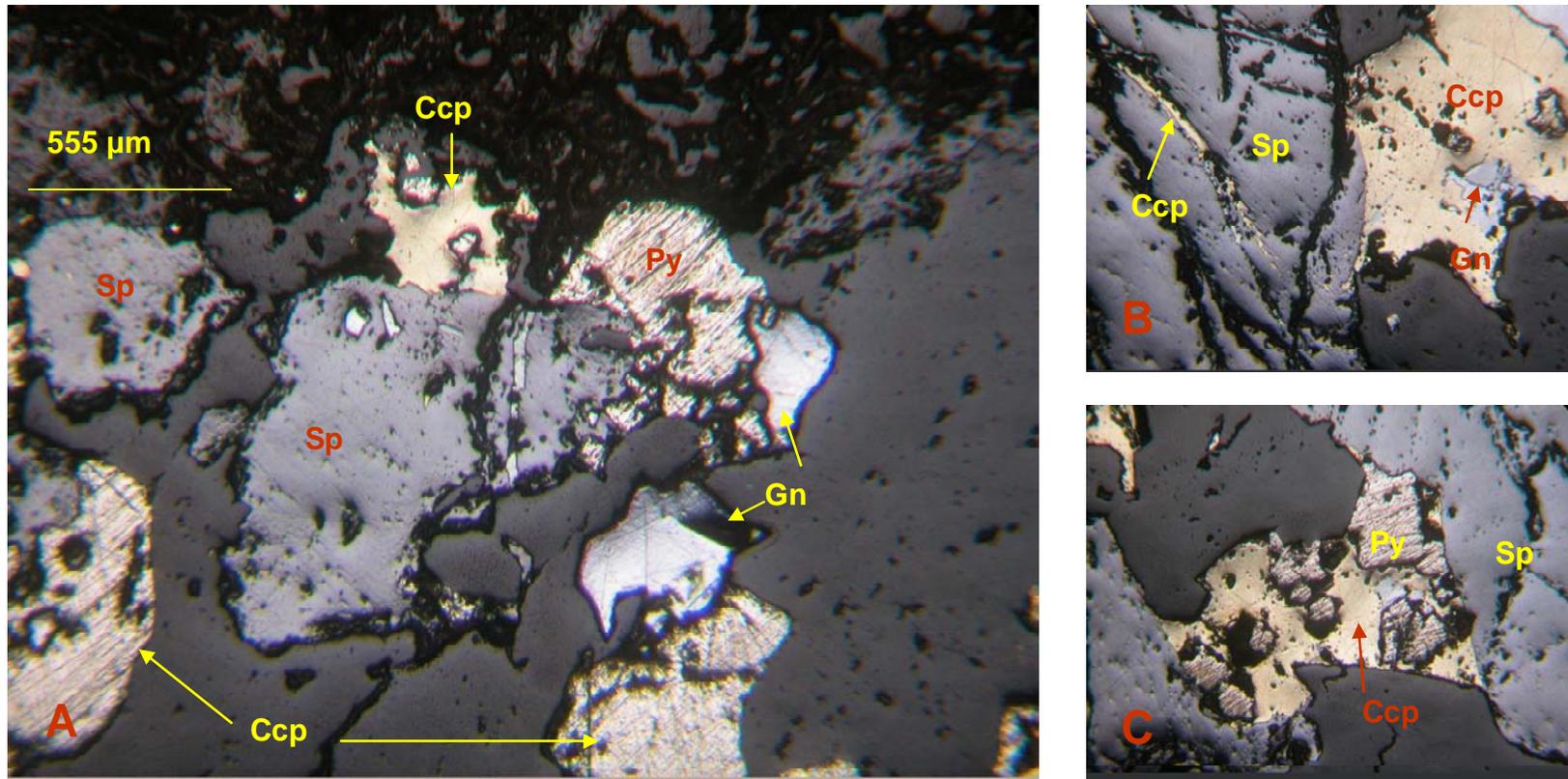
**MUESTRA COI 570A.** En esta muestra son más abundantes, que en la muestra anterior, los cristales de galena y esfalerita (A), aunque también se observaron cristales de calcopirita y pirita, la asociación textural es similar a la que en general prevalece en la muestra anterior ya que la esfalerita rodea frecuentemente a la calcopirita (B), tanto la relación de la esfalerita con galena, así como la de esfalerita pirita es de intercrecimiento, por lo que al igual que en la muestra **COI 475 M**, estos dos minerales se encuentran en paragénesis (C).

*La sucesión observada en la muestra es: Ccp → Gn= Sp.*



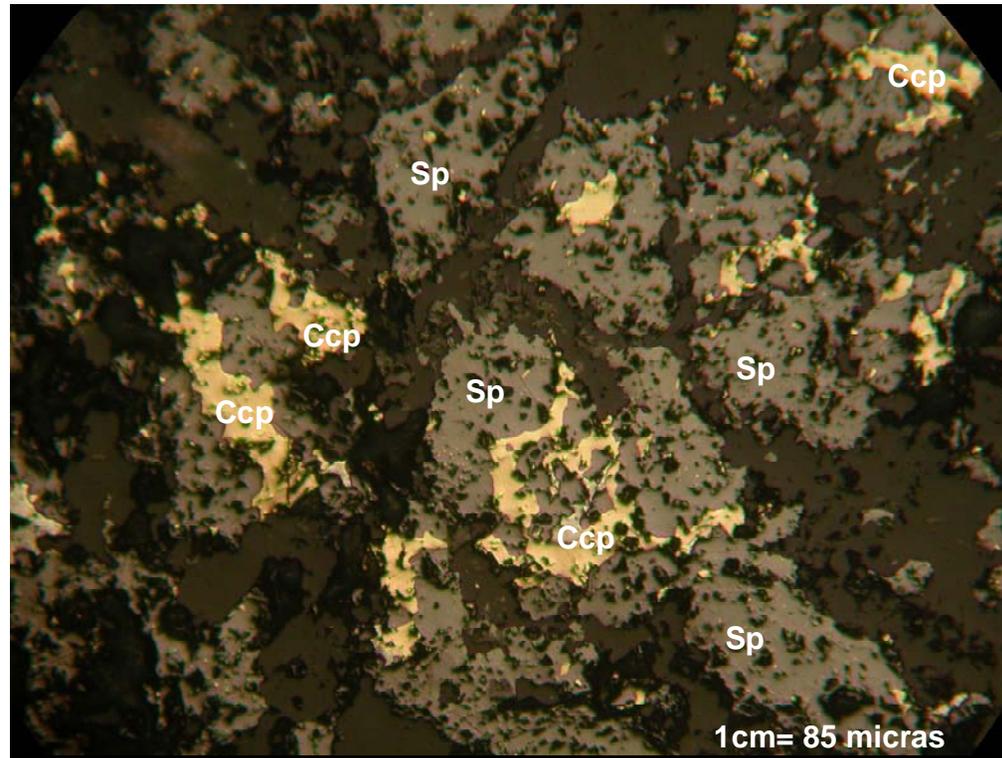
**MUESTRA COI 570B.** Al igual que en la muestra COI570A son más abundantes los cristales de galena y en cambio hay menos cristales de esfalerita y son de menor tamaño (A), pues es mucho mayor el desarrollo de galena por sobre los demás minerales, aunque también se observaron cristales de calcopirita y pirita, la sucesión y paragénesis es de igual manera muy similar que en las anteriores ya que la galena rodea frecuentemente a la pirita (B), la relación textural de la galena con el resto de los minerales es la que se conoce como de islas y continentes, lo que permite suponer que la galena se encuentra reemplazando a la pirita (C).

*La sucesión observada en la muestra es: Py → Gn*



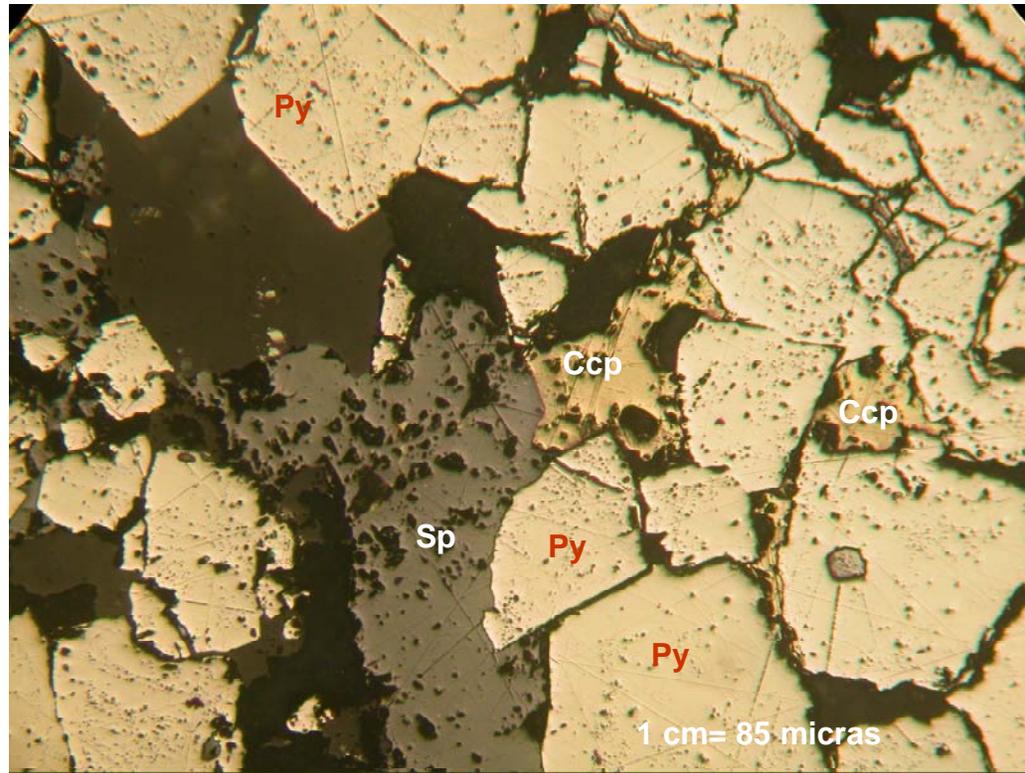
**MUESTRA COI 570C.** En esta muestra, a diferencia de las anteriores, la relación de abundancia en cuanto a los minerales de Fe (pirita y calcopirita) es mayor y casi en la misma proporción, e incluso mayor en algunos sectores de la muestra (C), se observan más bordes de intercrecimiento entre los minerales, aunque en la esfalerita se observan texturas de islas y continentes con relación a la calcopirita, la pirita se encuentra reemplazando a la calcopirita pues se observa relleno de intersticios (A). Esta muestra en particular se encuentra fuertemente oxidada (B).

La sucesión observada en la muestra es:  $Py \rightarrow Ccp \rightarrow Sp \rightarrow Gn$



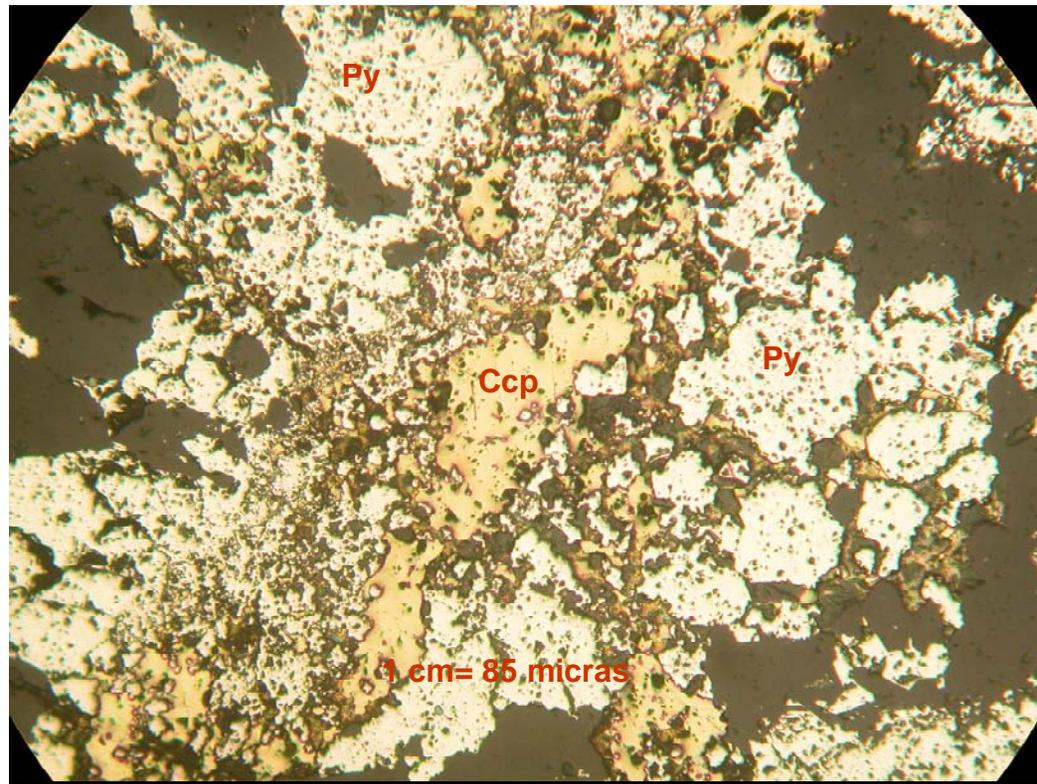
**MDSJ-08-01.** La esfalerita se observa asociada a la calcopirita, al igual que la pirita, presenta huellas de lixiviación, la galena se presenta en arreglos triangulares, alojados en cavidades, presenta inclusiones de pirita y calcopirita así también se asocia a esfalerita. La pirita se presenta en agregados, cementados por cuarzo, se observan alineados en forma paralela a una estructura vetiforme mayor, presenta un aspecto cacarizo debido probablemente a procesos de lixiviación, en general su forma es subedral, sin embargo en la muestra macroscópica se observaron algunos cristales de pirita que presentan habito cúbico. La calcopirita se observa en asociación con esfalerita en texturas de exsolución, así como incluida en galena. La calcopirita se encuentra alojada en un mosaico de esfalerita en texturas de exsolución (ANEXO I).

La sucesión observada en la muestra es: Sp → Ccp



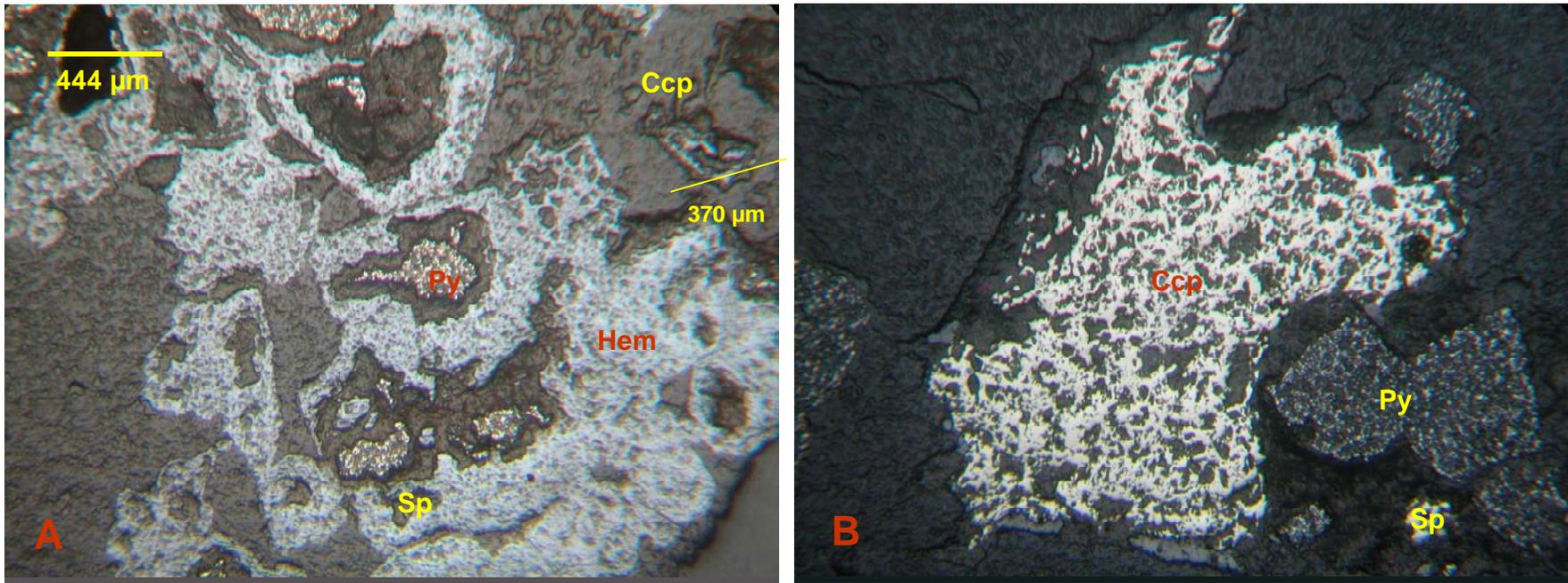
**MDSJ-08-05.** En muestra de mano se observaron cristales de galena, pirita, calcopirita y esfalerita. Al microscopio se observó a la pirita en cristales subedrales, algunos con habito cúbico, forman agregados que se alojan en fracturas rellenas de cuarzo, la calcopirita se observa principalmente alojada entre los cristales de pirita, así como en asociaciones con esfalerita, la esfalerita está principalmente en asociación con calcopirita presenta en algunos casos texturas de exsolución, de igual forma, la galena se observa alojada entre los cristales de pirita así como en asociación con esfalerita y calcopirita. Cristales rotos de pirita que forman agregados, entre los cuales se aloja esfalerita y calcopirita. Py= pirita; Sph= esfalerita; Cpy= Calcopirita. (ANEXO II)

*La sucesión observada en la muestra: es Py → Sp = Ccp*



**MDSJ-08-14.** La pirita se observa como un agregado cristalino que rellena fisuras en algunos casos presenta cierto brechamiento con cuarzo como cementante, presenta un aspecto cacarizo debido a procesos de lixiviación, se observan algunos cristales con habito cúbico, la esfalerita se presenta en inclusiones en el mosaico de pirita, rellena fracturas y oquedades, al igual que la pirita presenta huellas de lixiviación. La calcopirita también rellena oquedades y fracturas en la pirita, la galena, por su parte, se observa también agregados alojados en el mosaico de pirita y la covelita se observa en los bordes de la calcopirita como producto de su alteración. Se observa calcopirita diseminada entre fracturas de un agregado de pirita. (ANEXO II)

*La sucesión observada en la muestra es: Py → Ccp*



**ACHI03.** Correspondiente al SCHV, también se observó fuertemente oxidada, esto puede deberse a que se encontraba con mayor susceptibilidad a la alteración meteórica debido a que la muestra se colectó de una zona de terrero. Tiene mayor afinidad con la muestra COI570C, que corresponde con el SJV, ya que presenta la misma asociación mineralógica (pirita, calcopirita, esfalerita y galena) (A), la relación de abundancia de pirita y calcopirita (B) y la misma proporción es similar a la que se observó en la muestra COI570 C, en esta muestra además se identificaron cristales de hematita que remplazan a la pirita.

*La sucesión observada en la muestra es: Py → Ccp → Sp  
Py → Hem*

Al determinar la paragenesis se obtiene una aproximación de la evolución que pudieron sufrir los fluidos durante la formación del depósito mineral. Para el caso del área Monte Albán se considera que los sulfuros de cobre (pirita y calcopirita) se depositaron primero seguidas por cantidades subordinadas de esfalerita y galena, ocasionalmente acompañadas de hematita. La secuencia paragenética se caracteriza por el sucesivo reemplazo de sulfuros ricos en Fe (pirita, calcopirita) por sulfuros de Pb y Zn y formación de hematita supergénica que acompaña a los sulfuros de Fe en el área Chicharra. La sucesión paragenética inferida de acuerdo con las texturas observadas sería la que se describe a continuación:



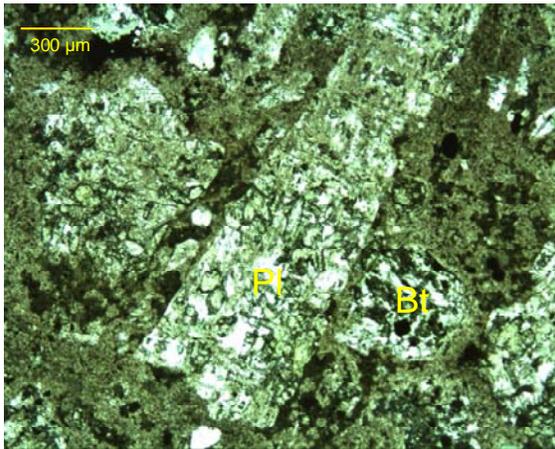
En la figura se muestra la paragénesis del yacimiento de Monte Albán (Tabla IX):

Muestra Mineral	COI 475 M		COI 570 A		COI 570 B		COI 570 C		MDSJ-08-01		MDSJ-08-05		MDSJ-08-14		ACHI03	
	(+) T	(-) T	(+) T	(-) T	(+) T	(-) T	(+) T	(-) T	(+) T	(-) T						
Pirita (Py)	—				—		—				—		—		—	
Calcopirita (Ccp)		—	—					—	—		—	—		—		—
Esfalerita (Sp)		—		—				—		—		—		—		—
Galena (Gn)				—				—				—				—
Hematita (Hem)		—		—		—		—								—

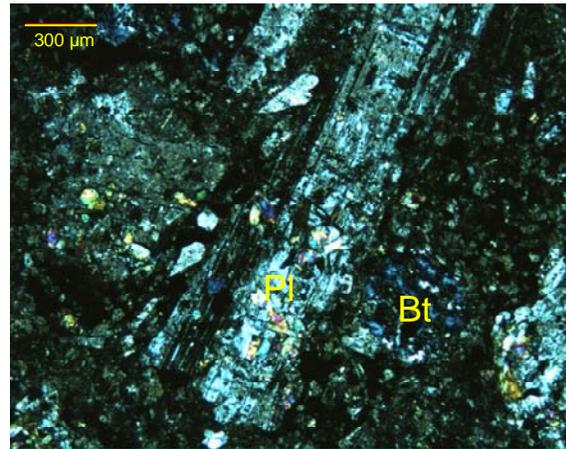
Tabla IX. Correlación paragenética, en los sistemas de vetas de San Jorge y Chicharra.

## **Petrografía:**

Los análisis petrográficos se llevaron a cabo en el laboratorio de petrografía del Instituto de Geofísica de la UNAM. Al igual que para el estudio minerográfico, se seleccionaron muestras representativas de los sistemas de vetas que afloran en el área Monte Albán, así como de los cuerpos intrusivos por lo cual se colectaron las muestras: **IGIP-01, IGIP-5, IGIP-6, AP-01**, con el fin de caracterizar estos cuerpos plutónicos y obtener así un mayor número de parámetros de correlación entre los mismos, con las vetas y los cuerpos mineralizados. En la zona de San Jorge se colectaron las muestras: **MLLU02, MCC02, MSJ04, MLF01, COI475I, SNJ09**, mientras que para el área Chicharra se colectaron las muestras: **ACHI05 y ACHI02**, y por último se colectó la muestra AM03 en la bocamina Mónica, para observar diferencias y/o similitudes con respecto al resto de las vetas.



a)



b)

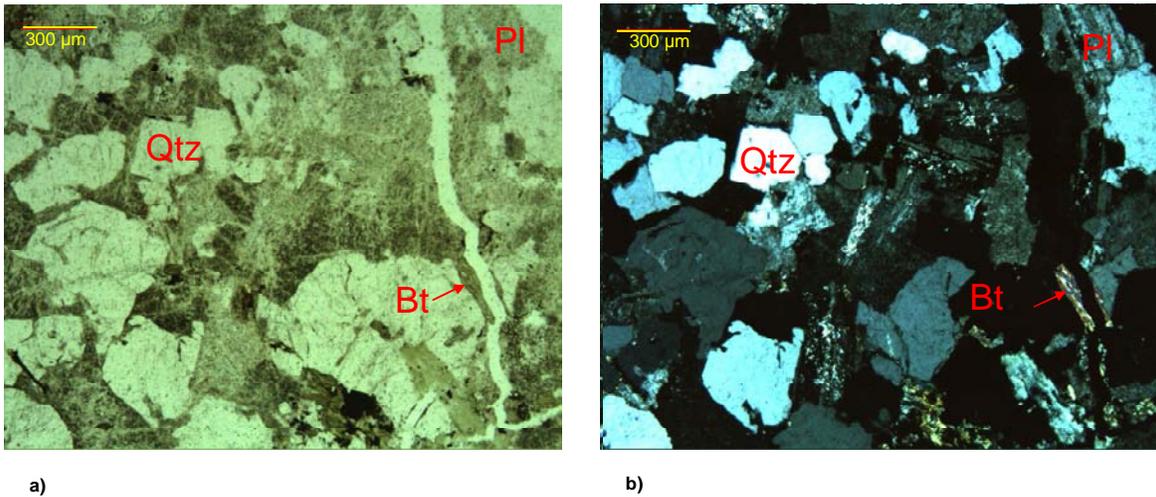
**IGIP-01.** En a) se pueden apreciar fenocristales de plagioclasa y biotita en una matriz criptocristalina (N//). En b) puede apreciarse que los colores de interferencia son cuando mucho de segundo orden, pueden apreciarse maclas en la plagioclasa (N'x). Aumento de 2.5x, Pl= plagioclasa, Bt= biotita

En muestra de mano es color verde grisáceo, con tonos morados, la estructura es masiva, compacta, de textura porfídica, se observan minerales como cuarzo, feldespato-k, plagioclasas y ferromagnesianos.

Al microscopio se observa una textura porfídica, con cristales subedrales, fenocristales de plagioclasa embebidos en una matriz criptocristalina, se observan como minerales esenciales: cuarzo, feldespatos (ortoclasa), que se encuentra en algunos casos altera a adularia, y plagioclasas (oligoclasa); además contiene como minerales accesorios biotita y minerales opacos y como minerales secundarios clorita y epidota, la cual rellena oquedades. Se observan algunas microfracturas, la alteración de la muestra es del tipo sericítico.

Feldespatos= 30%  
Plagioclasas= 40%  
Cuarzo= 30%

Ya que la roca es de origen intrusivo-hipabisal y por lo observado al microscopio la roca se clasifica como un: **Pórfido riolítico.**



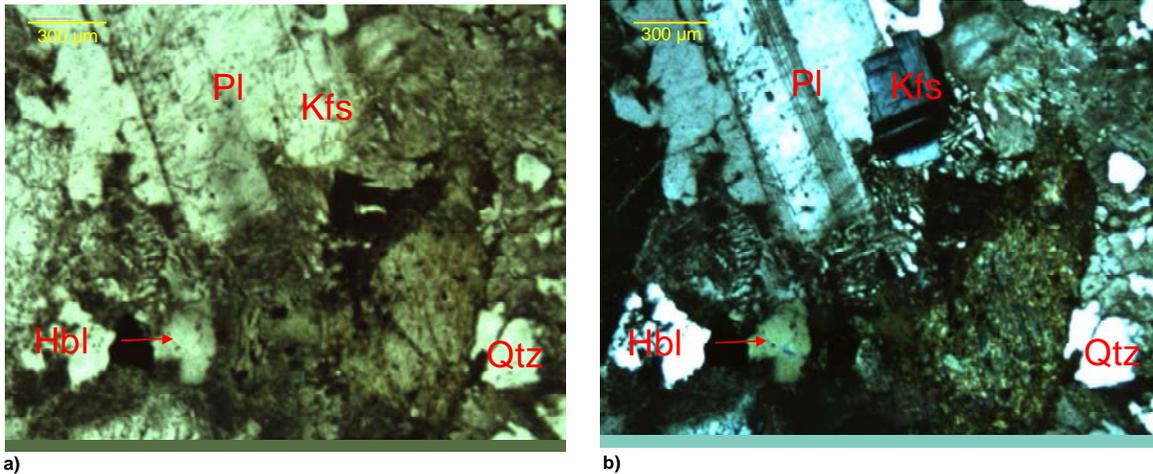
**IGID-5.** En a) se aprecian cristales de cuarzo, biotita y plagioclasa de tamaños muy similar, los cristales son subangulosos (N'//). En b) se observan colores de interferencia de hasta segundo orden, así como maclas en los cristales de plagioclasa (N'x). Aumento de 2.5x, Pl= plagioclasa, Bt= biotita, Qtz= cuarzo

En muestra de mano es color rosa grisáceo, con tonos verdes y pardos, la estructura es masiva, compacta, de textura porfídica, se observan pocos minerales: sólo cuarzo y feldespato-k.

Al microscopio al igual que la muestra IGIP-01, se observa una textura porfídica, inequigranular, con cristales subedrales, felsosférica, se observan como minerales esenciales: cuarzo, feldespatos (ortoclasa), que se encuentra en algunos casos alteran a adularia, y plagioclasas (oligoclasa); además contiene como minerales accesorios biotita, hornblenda y minerales opacos y como minerales secundarios clorita y epidota muy abundantes. La muestra se observa en general muy alterada.

Feldespatos= 30%  
Plagioclasas= 40%  
Cuarzo= 30%

Ya que la roca es de origen intrusivo-hipabisal y por lo observado al microscopio la roca se clasifica como un: **Pórfido riolítico.**



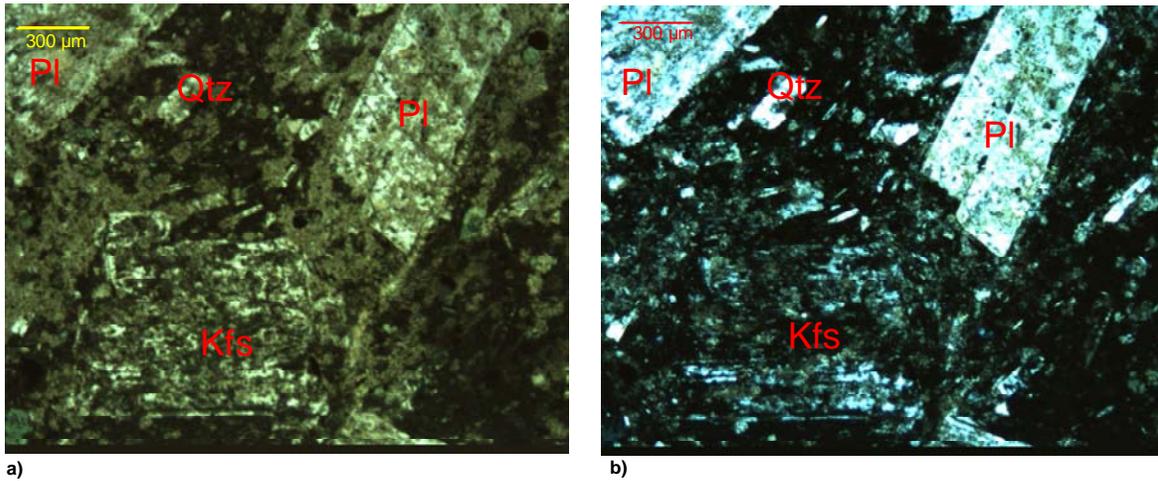
**IGIP-6.** En a) se observa una textura holocristalina de fenocristales de hornblenda, cuarzo, plagioclasa y feldespato k (N//). En b) pueden observarse colores de interferencia de segundo orden, así como maclas en los cristales de plagioclasa y zonación en los cristales de feldespato (N'x). Aumento de 2.5x, Pl= plagioclasa, Qtz= cuarzo, Kfs= feldespato, Hbl= hornblenda

En muestra de mano es color blanco con tonos rosas al fresco, que varía a ocre, por efecto de alteración meteórica, la estructura es masiva, compacta, de textura afanítica de grano medio, se observan abundantes minerales de biotita y anfíboles y feldespatos-k.

Al microscopio se observa una textura holocristalina, granítica, inequigranular, con textura pertítica, se observan como minerales esenciales: cuarzo, feldespatos (microclina) y plagioclasas (oligoclasa); además contiene como mineral accesorio hornblenda y como minerales secundario abundante biotita. La cantidad inusual de biotita en la muestra denota la alteración potásica.

Feldespatos= 30%  
Plagioclasas= 30%  
Cuarzo= 40%

Ya que la roca es de origen intrusivo y por lo observado al microscopio la roca se clasifica como un: **Granito de hornblenda y biotita**



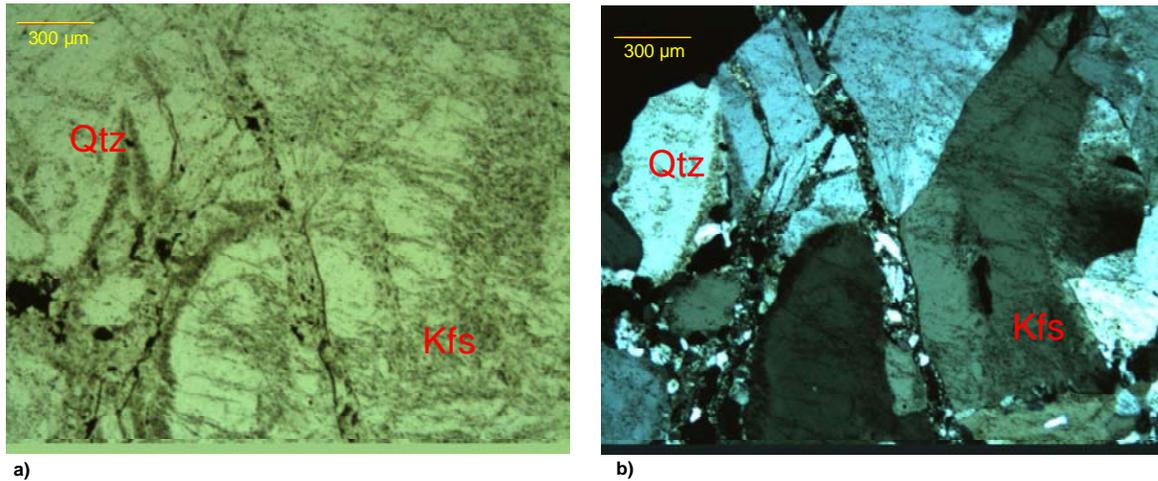
**AP-01.** En a) se pueden observar fenocristales de plagioclasa, feldespato y cuarzo, en una matriz criptocristalina (N'//). En b) se observan colores de interferencia de segundo orden y maclas en los cristales de feldespato k y plagioclasa (N'x). Aumento de 2.5x, Pl= plagioclasa, Kfs= feldespato, Qtz= cuarzo

En muestra de mano es color verde-azulado de alteración, al fresco predominan tonos rosas y morados, probablemente por alteración propilitica la estructura es masiva, compacta, de textura porfídica, con matriz afanítica, con fenocristales de feldespato-k, plagioclasas, cuarzo y ferromagnesianos, aparentemente zonado, con fracturamiento ortogonal, muy silicificado con algunas vetillas de cuarzo secundario.

Al microscopio se observa una textura porfídica, inequigranular, con cristales subdrales, con fenocristales en una matriz muy alterada (arcillosa) como minerales esenciales plagioclasas (oligoclasa), feldespatos-k (ortoclasa) y cuarzo, con horblenda y biotita como minerales accesorios y como minerales secundarios clorita y epidota.

Feldespatos= 20%  
Plagioclasas= 60%  
Cuarzo= >5%

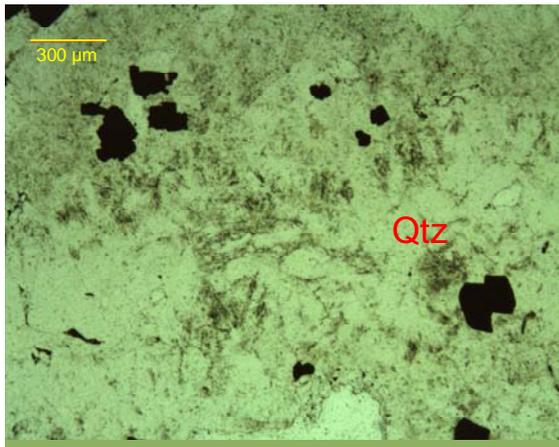
Ya que la roca es de origen intrusivo de poca profundidad y por lo observado al microscopio la roca se clasifica como una: **Pórfido andesítico.**



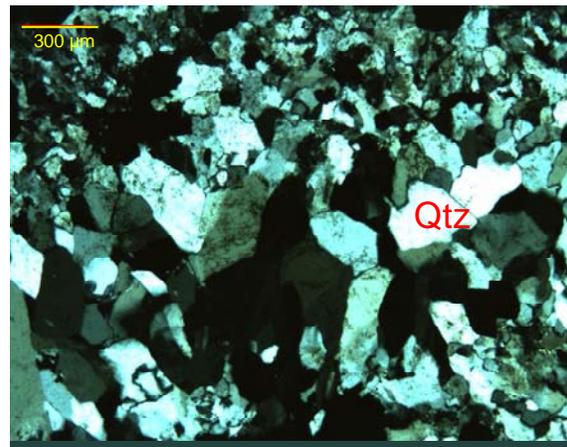
**MLLU02.** En a) se observa una textura holocristalina de grano muy grueso, de composición esencialmente cuarzo feldespática (N'//). En b) se observan colores de interferencia de segundo orden y cuarzo que rellena micro fracturas (N'x). Aumento de 2.5x, Kfs= feldespato, Qtz= cuarzo

En la muestra se observa cuarzo y algunos feldespatos (ortoclasa) subedrales, en las fracturas se observan cristales de mucho menor tamaño de cuarzo anedral en microvetas y sobrecrecimiento y diferentes etapas de emplazamiento, se observan algunos minerales opacos e inclusiones alineadas, no se observan fragmentos del encajonante, se observan tres tipos diferentes de cuarzo:

- ✓ Fenocristales (asociado al encajonante)
- ✓ Cristales de tamaño intermedio (vetas de mayor escala)
- ✓ Cristales de tamaño fino en las microvetillas.



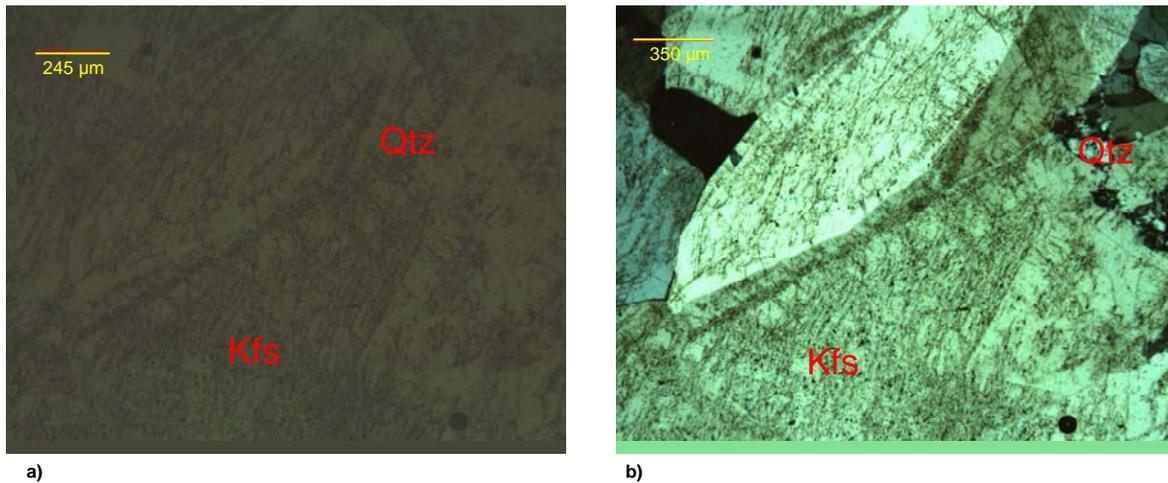
a)



b)

**MCC02.** En a) se pueden observar cristales de cuarzo de 2 tamaños predominantes y algunos minerales opacos (N'//). En b) son evidentes los colores de interferencia de segundo orden, la diferencia en el arreglo y tamaño de los cristales puede ser a causa de diferentes etapas de formación de los mismos (N'x). Aumento de 2.5x, Qtz= cuarzo y minerales opacos

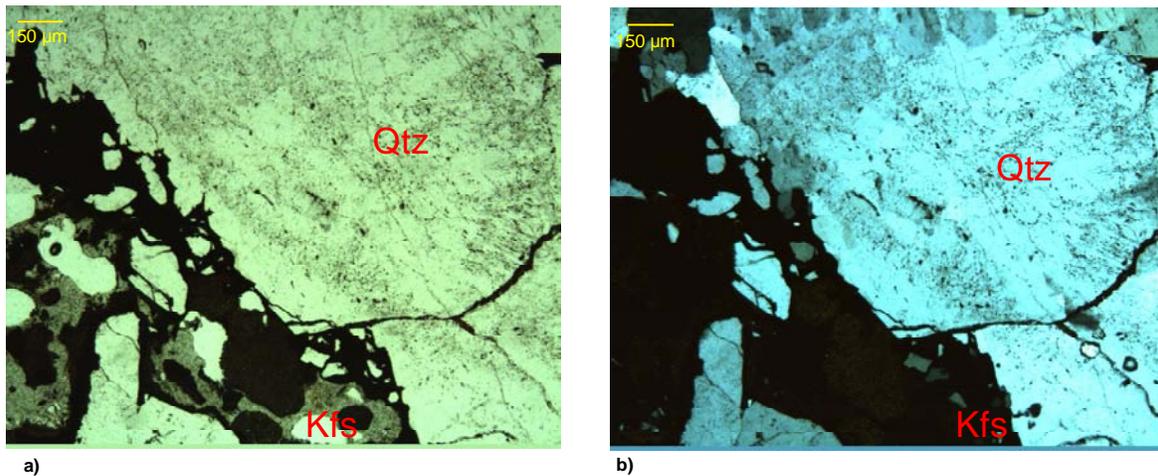
En la muestra se observa cuarzo de diferentes fuentes y algunos minerales opacos, hay sobrecrecimiento de los cristales, así como diferentes alineaciones de los mismos, además en algunas zonas mayor porcentaje de cuarzo masivo, recristalización y diferentes familias de vetas, microvetas, así como algunas fracturas y crecimiento radial.



**MSJ04.** En a) puede observarse nuevamente fenocristales de cuarzo y feldespato k, textura muy gruesa (N'//). En b) se observa una textura de intercrecimiento de ambos minerales y colores de interferencia de primer orden (N'x). Aumento de 2.5x, Kfs= feldespato, Qtz= cuarzo y minerales opacos

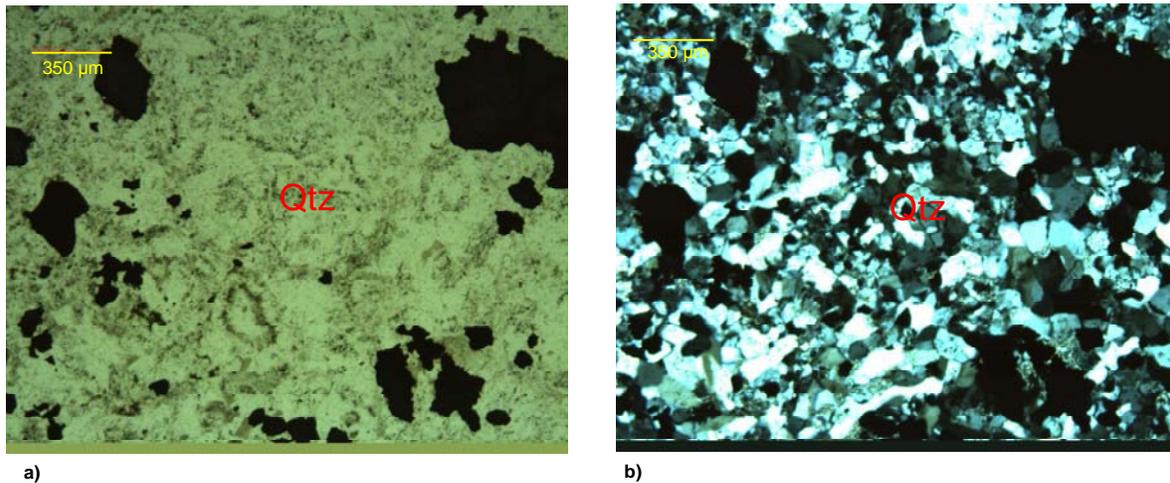
Se observa textura equigranular, y feldespatos (microclina), con textura peritítica, con sobrecrecimiento en los feldespatos, el tamaño de los cristales del encajonante con respecto al cuarzo de las vetas es mucho mayor.

Los cristales son subedrales y anedrales en las vetas y subedrales y euedrales en el encajonante, la textura del encajonante es holocristalina (granítica); la zonación en los feldespatos muestra discontinuidad entre el núcleo y el borde (probablemente este sobrecrecimiento está asociado al emplazamiento de las vetas), los bordes en el cuarzo muestran evidencia de recristalización.



**MLF01.** En a) pueden apreciarse fenocristales de una veta de cuarzo y algunos remanentes de feldespato k pertenecientes a la roca encajonante (N//). En b) se observan colores de interferencia de primer orden, los cristales de feldespato se encuentran totalmente extintos (Nx). Aumento de 2.5x, Kfs= feldespato, Qtz= cuarzo y minerales opacos

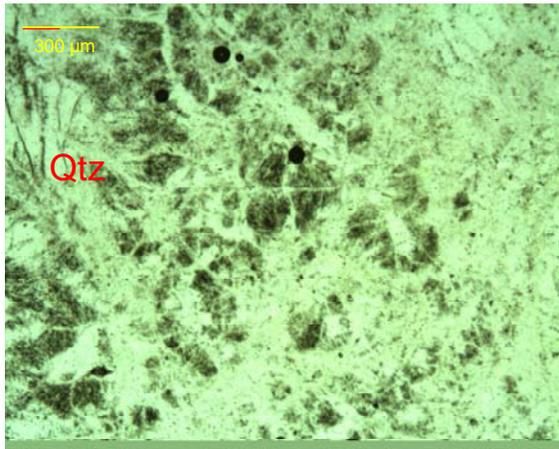
Se observa epidota y hierro libre muy oxidado y lixiviado, incluso se observan rasgos de oxidación en el cuarzo. Se observan también dos tipos de cuarzo, por una parte fenocristales de cuarzo con algunos pocos cristales de feldespato, menos del 3%, y por otro lado cristales mucho mas finos de cuarzo subanguloso y feldespatos alterados.



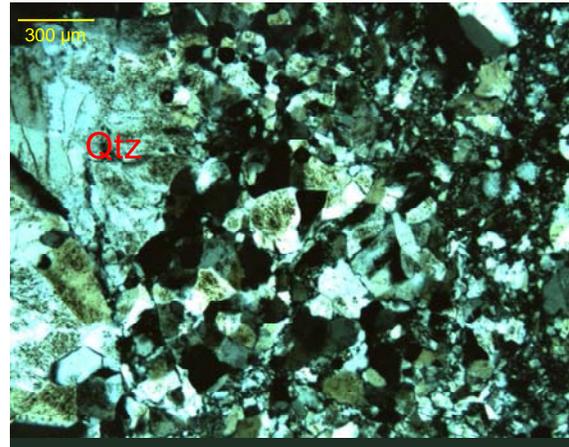
**COI475I.** En a) se observan fenocristales de cuarzo de textura fina, con minerales opacos de mayor tamaño (N'//). En b) se observan colores de interferencia de primer y segundo orden en el cuarzo (N'x) Aumento de 2.5x, Qtz= cuarzo.

Se observan cristales sobre impuestos (textura de sobrecrecimiento) o diferentes etapas de mineralización, un porcentaje considerable de minerales opacos, los feldespatos se observan alterados a sericita y adularia. Existen dos tipos de cuarzo de diferente origen, uno asociado la roca encajonante y el que es de la estructura (veta), el cual se observa de textura equigranular, gruesa, los bordes se observan angulosos.

El encajonante es de textura holocristalina, de origen intrusivo, el porcentaje de feldespatos es de 40% y 60% de cuarzo lo que corresponde con una roca de la familia de los granitos.



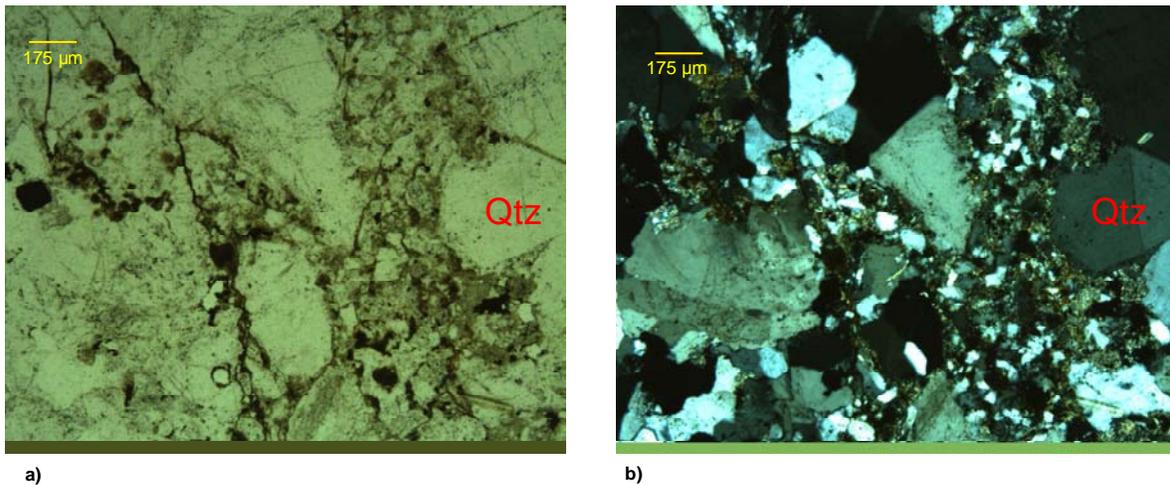
a)



b)

**SNJ09.** En a) se observan fenocristales de cuarzo, nótese que existen 2 tipos diferentes del mismo (N'//), En b) puede observarse planos de fractura provocados por esfuerzos que actuaron sobre los cristales de mayor tamaño (N'x). Aumento de 2.5x, Qtz= cuarzo

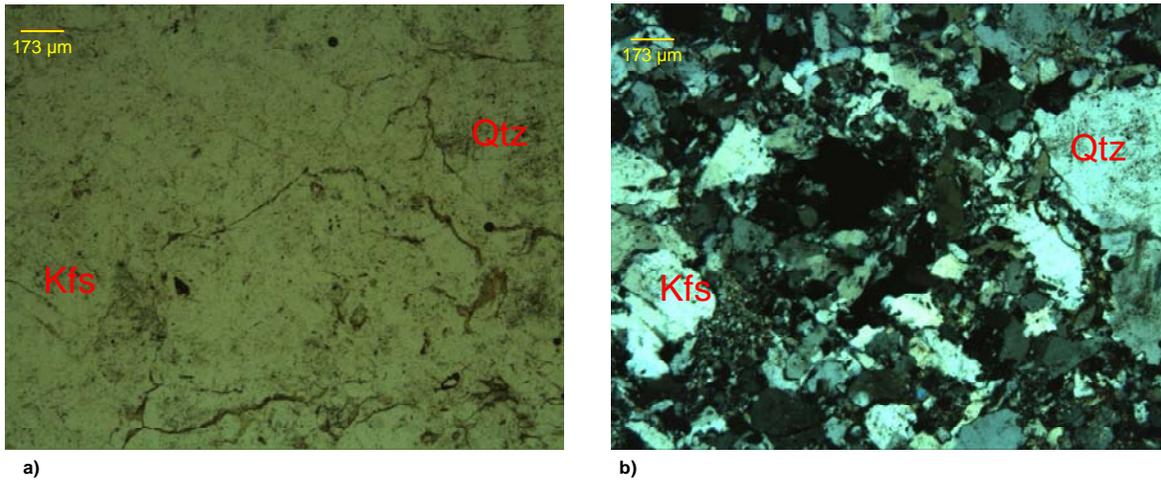
Al igual que en el resto de las muestras se pueden identificar dos tipos diferentes de cuarzo, uno en vetillas; sin embargo, las estructuras son incipientes, se observan fenocristales en una matriz de textura más fina, se observan además lineaciones asociadas a períodos diferentes de deformación durante y posteriores al emplazamiento de las vetas, pueden por tanto considerarse que estos periodos de deformación se encuentran asociados a los diferentes tipos de esfuerzos a los que se ha encontrada expuesta toda la zona de estudio. Existe alteración incipiente en los feldespatos.



**ACHI05.** Al igual que en la muestra SNJ09 en a) se observan fenocristales de cuarzo y también existen 2 tipos diferentes de cuarzo (N'//), En b) puede observarse planos de fractura provocados por esfuerzos que actuaron sobre los cristales de mayor tamaño (N'x). Aumento de 2.5x, Qtz= cuarzo

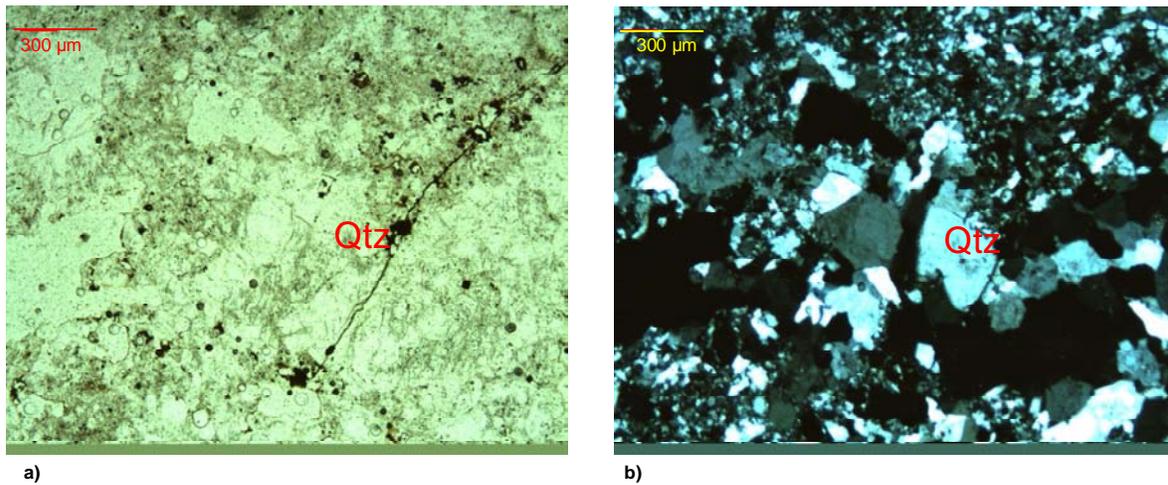
Se observa textura holocristalina subedral, en las fracturas se observan cristales de mucho menor tamaño de cuarzo anedral (sobrecrecimiento) y diferentes etapas de mineralización, se observan algunos minerales opacos, pocos feldespatos alterados y minerales fuertemente oxidados. Los cristales de menor tamaño están relacionados con las vetas, mientras que los fenocristales lo están con la roca encajonante, la veta muestra una textura equigranular fina.

El encajonante corresponde con una roca granítica de feldespatos.



**ACHI02.** En a) se observa una textura muy homogénea de fenocristales de cuarzo (N'//), sin embargo en b) se puede apreciar sobre crecimiento en los cristales y una textura corrosiva, los colores de interferencia son de segundo orden (N'x). Ambas fotos fueron tomadas con un aumento de 2.5x, Kfs= feldespato, Qtz= cuarzo.

Muy similar a la muestra ACHI05, excepto que existe un desarrollo menor en los fenocristales, se observan microfracturas muy alineadas, así como microestructuras de deformación como alargamiento en los cristales de cuarzo y una mayor proporción de minerales opacos. Prácticamente toda la muestra se compone de cristales de cuarzo y algunos minerales opacos.



**AM03.** Al igual que en muestras anteriores en a) pueden observarse cristales de cuarzo (N'//), en b) se observan diferente tamaño y arreglo de los cristales de cuarzo, lo que probablemente se deba a diferentes etapas de formación y crecimiento de los cristales (N'x). Aumento de 2.5x, qz= cuarzo

Se observa predominantemente cuarzo en la muestra de textura inequigranular fina subedral, con algunos cuantos fenocristales también de cuarzo, se observan gran cantidad de inclusiones fluidas.

Los fenocristales se encuentran aglutinados rodeados de los cristales más finos. Se observan pocos minerales alterados, probablemente epidota muy oxidada y minerales opacos.

## IX. ANÁLISIS DE INCLUSIONES FLUÍDAS

Las aplicaciones de los estudios de inclusiones fluidas en geología económica son diversas pues con ellas se realiza la investigación de algunos de los procesos de mineralización. Este análisis permite determinar las temperaturas de ebullición de los fluidos hidrotermales (geotermómetros), así como indirectamente, ayudan a determinar las presiones de los mismos (geobarómetros) y la composición general del fluido, lo que a su vez permitirá determinar las condiciones que prevalecieron durante la formación del yacimiento o depósito mineral.

Al obtener las temperaturas de homogenización y fusión, se reafirma también el ambiente asociado a la mineralización, es decir, permite saber si el depósito se llevó a cabo bajo condiciones de baja sulfuración (Adularia-Sericita) o bien de alta sulfuración (ácido-sulfato).

Por otra parte con tales datos, apoyados en los resultados petrográficos y minerográficos, es posible determinar la relación genética entre los sistemas de vetas estudiados, asimismo, al encontrar en contacto las evidencias de alta y baja sulfuración se está en posibilidades de proponer un proceso de telescopio durante la formación del depósito mineralizado.

Para que la información obtenida de este análisis fuera confiable se realizó un muestreo sistemático en cada sistema de vetas de cuarzo, de los cuales se seleccionaron as muestras: **ACHI-02, ACHI-05, MLE-02, MLF-01, MCC-02, COI-475I, MLLU-02, MSJ-04, SNJ-05, SNJ-09, MLSU-02, MSM-01, MP-04, MV-02, MCM103, AM-04**, cuya localización se puede observar en el mapa anexo (figura 29) (Fotografías **a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m, n, o y p.**). La descripción de cada una de las muestras colectadas se encuentra en el **ANEXO I**.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

### MAPA DE LOCALIZACIÓN DE MUESTRAS PARA ESTUDIOS DE INCLUSIONES FLUIDAS, ÁREA MONTE ALBÁN, OAX.

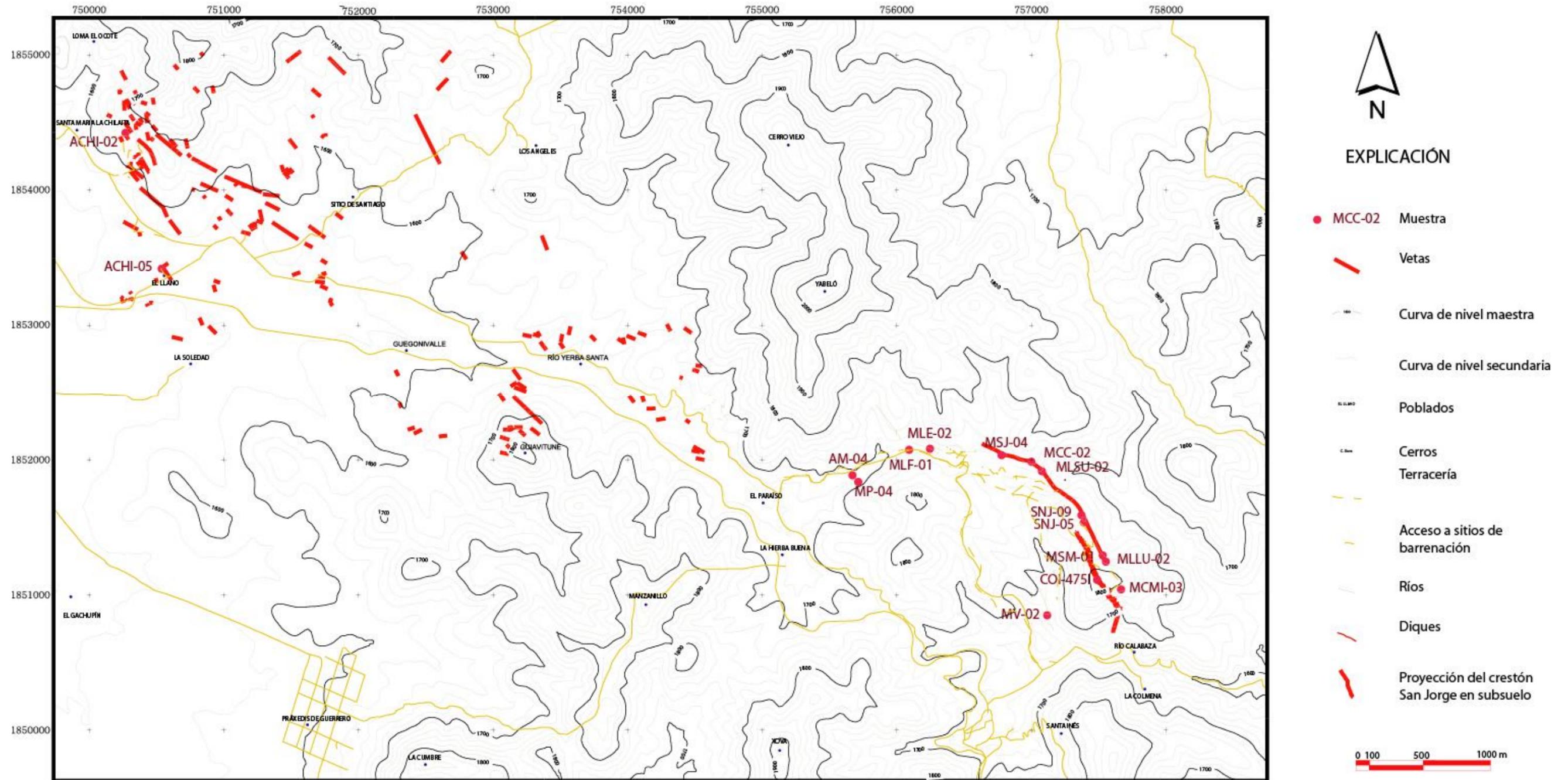


Figura 29: Mapa de distribución de las muestras colectadas para estudios de termometría.



a)



b)



c)



d)

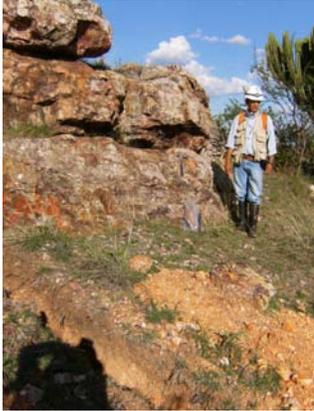


e)



f)

a) **Muestra ACHI-02**, tomada en superficie, la cual se orientó con respecto a la veta; b) **Muestra ACHI-05**, tomada en superficie, se orientó con respecto a la veta; c) **Muestra MLF-01**, en el interior de la mina La Flor, la muestra no se pudo orientar; d) **Muestra MCC-02**, tomada en el interior de la mina Conejo Colorado, esta muestra fue tomada en el techo de la obra por lo que no fue posible orientarla; e) **Muestra COI-4751**, tomada en el interior de la mina la Colmena, en la zona de bonanza, tampoco fue posible orientarla; f) **Muestra MSJ-04**, tomada en la boca mina San Jorge, la muestra se encuentra orientada respecto a la veta de la cual fue tomada.



g)



h)



i)



j)

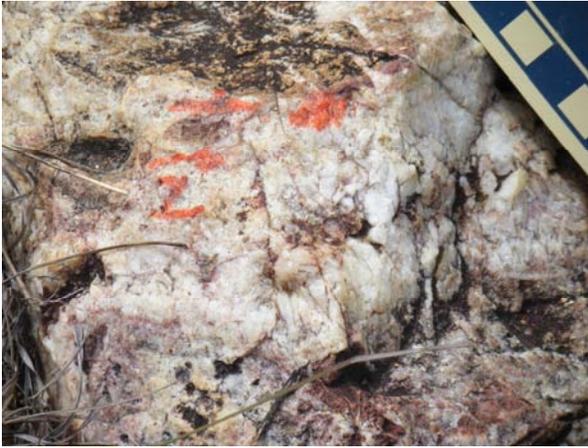


k)



l)

g) **Muestra SNJ09**, tomada en superficie, sobre el crestón San Jorge; h) **Muestra MLE-02**, tomada en superficie en la boca mina La Escondida; i) **Muestra MLSU-02**, en el interior de la mina La Soledad, no fue posible orientar la muestra; j) **Muestra MLLU-02**, en la boca mina La Liebre, que forma parte del crestón San Jorge; k) **Muestra MP-04**, en la boca mina Paraíso, la disposición de la veta es diferente del SJV y SCHV; l) **Muestra SNJ-05**, tomada en superficie, sobre el crestón San Jorge.



m)



n)



o)



p)

m) **Muestra MV-02**, tomada en superficie, sobre la mina Verónica; n) **Muestra AM-04**, tomada en la boca mina Mónica, la disposición de la veta es diferente del SJV y CHV; o) **Muestra MSM-01**, tomada en la boca mina Santa María, forma parte del crestón San Jorge; p) **Muestra MCM-03**, en el interior de la mina Colmenita, que es un subnivel de la mina La Colmena, no fue posible orientar la muestra.

Para cada una de las muestras, anteriormente mencionadas, se siguió el mismo procedimiento, se consideró la disposición de las mismas (se orientó cada una de ellas), fotografiándola y se describió la relación de campo en cada muestra, posteriormente se seleccionaron las que mostraran un mejor crecimiento de los cristales, así como aquellas en las que la relación de cuarzo vuggy y drusas fuera evidente (tabla VIII), ya que esta relación textural, es considerada como una característica de sobreposición en diferentes etapas de mineralización pues estas texturas son típicas de diferentes ambientes de formación, por una parte el cuarzo crustiforme (drusas) se encuentra asociado al ambiente de baja sulfuración, mientras que el cuarzo con textura vuggy tienen mayor afinidad al ambiente de alta sulfuración (Thompson y colaboradores, 1996) , por lo que, el encontrarlos en el mismo nivel estructural, es un indicio de telescopio, durante la formación de dicho yacimiento o depósito mineral, esta posibilidad se ha reforzado, con el informe de las temperaturas producto del análisis de las inclusiones fluidas, llevado a cabo por el Laboratorio de Centro Experimental Oaxaca del SGM.

Correlación entre los sistemas de vetas Chicharra y San Jorge en el área de Monte Albán, distrito minero de Taviche, estado de Oaxaca

Consecutivo	Muestra	Este	Norte	Elevación	Tipo de estructura	Rumbo (Azimuth)	Buzamiento	Espesor (m)	Descripción	Localidad	Tipo de Análisis
1	MSJ04	756777	1852036	1711	Veta de cuarzo	NW70°	90°	0.15	Muestra boca mina San Jorge	Mina San Jorge	Inclusiones fluidas
2	MLSU02	-	-	-	Veta de cuarzo	-	-	-	Interior de la mina La Soledad, parte masiva de la veta hacia el alto de SJVS, no se orienta por que se observan diferentes cruceros.	Mina La Soledad	Inclusiones fluidas
3	MCC02	-	-	-	Veta de cuarzo	-	-	-	En donde termina la zona de rebaje, veta bandeada.	Interior mina Conejo Colorado	Inclusiones fluidas
4	MSM01	757529	1851294	1762	Veta de cuarzo	SE54°	68SW	0.50	En la boca mina Santa María a 300 m del Gwinico.	Mina Santa Maria	Inclusiones fluidas
5	COI475I	-	-	-	Veta de cuarzo	-	-	-	Interior de la mina Colmena, en la zona de bonanza.	Mina Colmena	Inclusiones fluidas
6	MLLU02	-	-	-	Veta de cuarzo	NW58°	64°SW	-	En el interior de la mina La Liebre, a 5 m del tope. La muestra se tomó en la parte media de la estructura (SJV), enriquecida en sulfuros.	Mina La Liebre	Inclusiones fluidas
7	MLE02	756246	1852083	1724	Veta de cuarzo	SW37°	80°NW	0.50	Sobre la Mina La Escondida.	Minal La Escondida	Inclusiones fluidas
8	MP04	755695	1851861	1675	Veta de cuarzo	E-W	38°S	5	En la boca mina El Paraiso, en el vetilleo asociado a la estructura principal.	Mina El Paraiso	Inclusiones fluidas
9	MV-02	757116	1850851	1646	Veta de cuarzo	NE07°	40°NW	1	La veta se aloja en el plano de falla, la muestra se tomó al alto de la veta, en superficie arriba de la mina Verónica.	Mina Veronica	Inclusiones fluidas
10	MLF-01	-	-	-	Veta de cuarzo	NW40°	52°SW	1	La veta se aloja en un plano de falla que corresponde en rumbo pero con menor grado de buzamiento, la muestra se tomó en el interior de la mina La Flor.	Mina La Flor	Inclusiones fluidas
11	MCMi03	757666	1851043	1781	Veta de cuarzo	-	-	-	Cerca del DSJ14, la veta se observa brechada y no está bien definida su disposición.	Mina Colmenita	Inclusiones fluidas
12	AM04	755671	1851887	1658	Veta de cuarzo	NE28°	25°SE	2	Veta expuesta en superficie en la zona de Mónica.	Área Monica	Inclusiones fluidas
13	SNJ09	757390	1851538	1779	Veta de cuarzo	SE19°	65°SW	0.50	En el alto de la veta junto al SJT04, stockwork de pocos centímetros con aspecto brechado.	Sistema San Jorge	Inclusiones fluidas
14	SNJ05	757398	1851556	1781	Veta de cuarzo	SE25°	72°SW	0.50	Se localiza a 5m al NW de SJS15, del medio al bajo de la veta.	Sistema San Jorge	Inclusiones fluidas
15	ACHI-02	750268	1854426	1601	Veta de cuarzo	NW26°	64°SW	3	Cerca del tiro Chicharra.	Área Chicharra	Inclusiones fluidas
16	ACHI-05	750537	1853420	1574	Veta de cuarzo	NW50°	90°	4	En el barreno DCH05, gran porcentaje de hematita, encajonada en granito.	Área Chicharra	Inclusiones fluidas

Tabla X: Localización y descripción de las muestras colectadas para estudios de geotermometría.

Para la realización de dicho estudio se utilizó una platina térmica marca Linkam (modelo THMS 600), la cual se adaptó a un equipo especial, de la misma marca, que registra los datos arrojados por la platina. Con el fin de conocer las características termométricas sobre las distintas etapas evolutivas de las mineralizaciones de la zona de estudio, se analizaron los fluidos atrapados en el cuarzo ya que éste es un mineral muy favorable para este estudio por sus características de transparencia, que permiten una observación clara de las inclusiones fluidas englobadas, así como por sus buenas condiciones de encapsulamiento del fluido (Concha, et al., 1991). Se midieron alrededor de 150 inclusiones fluidas, en las muestras colectadas en ambas zonas.

La metodología llevada a cabo para la realización de este estudio, es compleja, por lo que se requiere tiempo y observación minuciosa de las características de los fluidos a analizar, así como un desarrollo sistemático de la técnica que permita obtener resultados más confiables, el análisis de las muestras para este estudio se llevó a cabo durante un periodo de más de 9 meses donde se analizó cada muestra con sumo cuidado. Dicha técnica se describe a continuación:

## **Metodología para el estudio de inclusiones fluidas**

### ***Temperatura de homogenización***

Primero en el equipo se definen tres intervalos probables de resultados de temperatura de homogenización y se registran en el mismo. El objetivo que se utiliza para este procedimiento es especial de profundización. La muestra se monta en una platina térmica diseñada especialmente para este procedimiento y una vez que se encuentra conectada al dispositivo se procede a la medición.

Posteriormente, con base en la morfología (formas geométricas mas o menos regulares) de las inclusiones (burbujas) y al lugar en donde se pueda apreciar mejor la relación vapor/líquido, se eligen grupos de inclusiones a analizar.

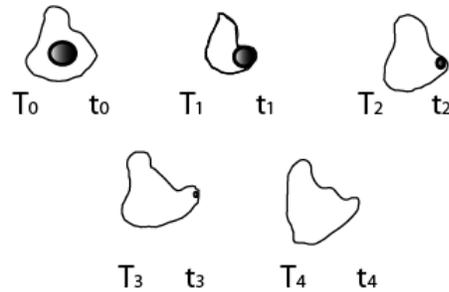
Es conveniente elegir inclusiones donde se observe mayor contenido de vapor y que sea representativa de la muestra, es decir, que la distribución, tamaño y contenido de vapor en las inclusiones elegidas sea similar que en el resto de la muestra.

Se observa con mucho cuidado cada una de las burbujas a analizar y para mejor apreciación se realiza un croquis de la disposición, distribución y forma de las mismas, se observa constantemente la movilidad de las burbujas de vapor hasta que éstas desaparecen.

Una vez que la burbuja ha desaparecido se toma directamente la lectura de la temperatura que el equipo registra considerándose ésta como la temperatura de homogenización.

Se repite este procedimiento en diferentes campos para comparar las temperaturas resultantes en cada uno y así obtener un resultado más confiable.

### Esquema para el estudio de inclusiones fluidas



$T_0$  = Temperatura Inicial       $T_4$  = Temperatura Homogenización  
 $t_0$  = Tiempo Inicial             $t_4$  = Tiempo final

Figura 30. Nótese que para  $T_4$  y  $t_4$  la burbuja ha desaparecido, lo que corresponde con la [T] de homogenización.

Si al realizar la medición en diferentes campos los resultados son muy variados esto se puede deber a diferentes razones:

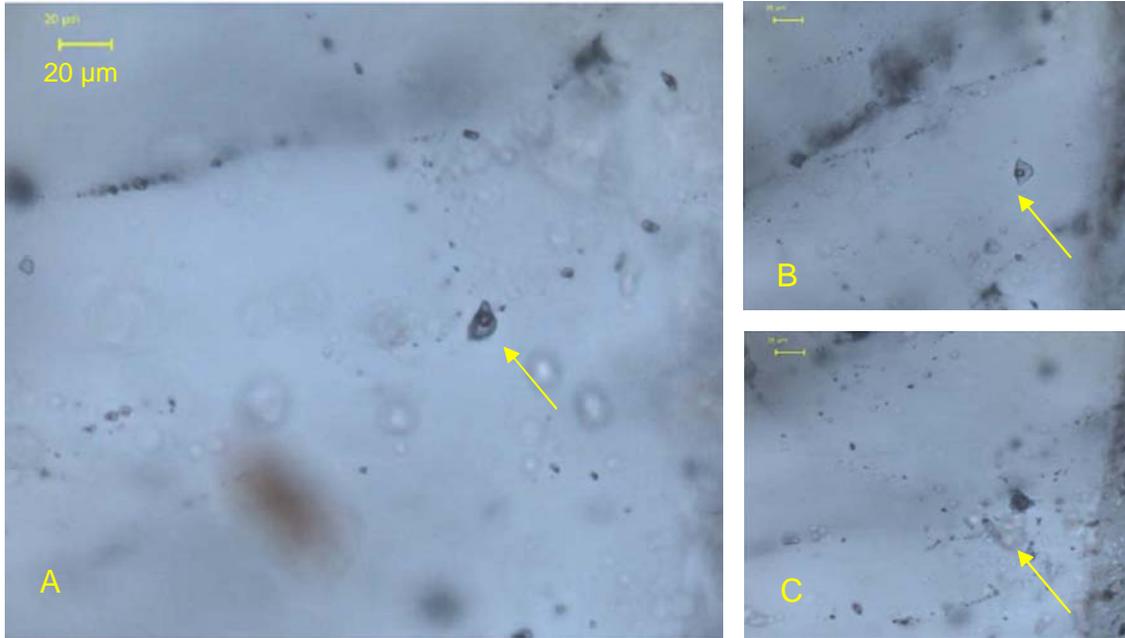
- a. Que la muestra se encuentre muy cercana o bien en la zona de ebullición.
- b. Que existan inclusiones primarias y secundarias y que se estén midiendo inclusiones de origen diferente.
- c. Que exista sobreposición de eventos de mineralización.
- d. Que la muestra se haya tomado en una zona de brecha hidrotermal.
- e. Error al realizar la medición.

### **Temperatura de fusión**

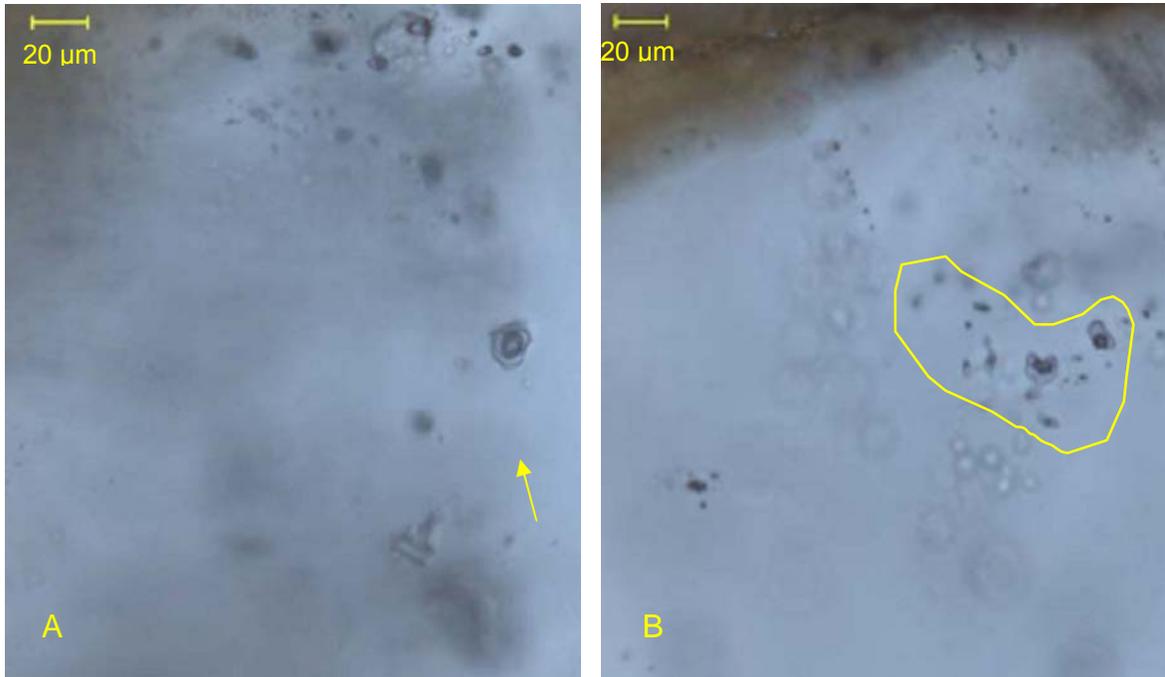
Para obtener la temperatura de fusión se sigue un procedimiento similar, la diferencia radica en observar en que momento se forman cristales de hielo en las burbujas.

Al igual que en el procedimiento para medir la temperatura de homogenización, una vez que se observan los cristales, se consigna la temperatura que el equipo registra.

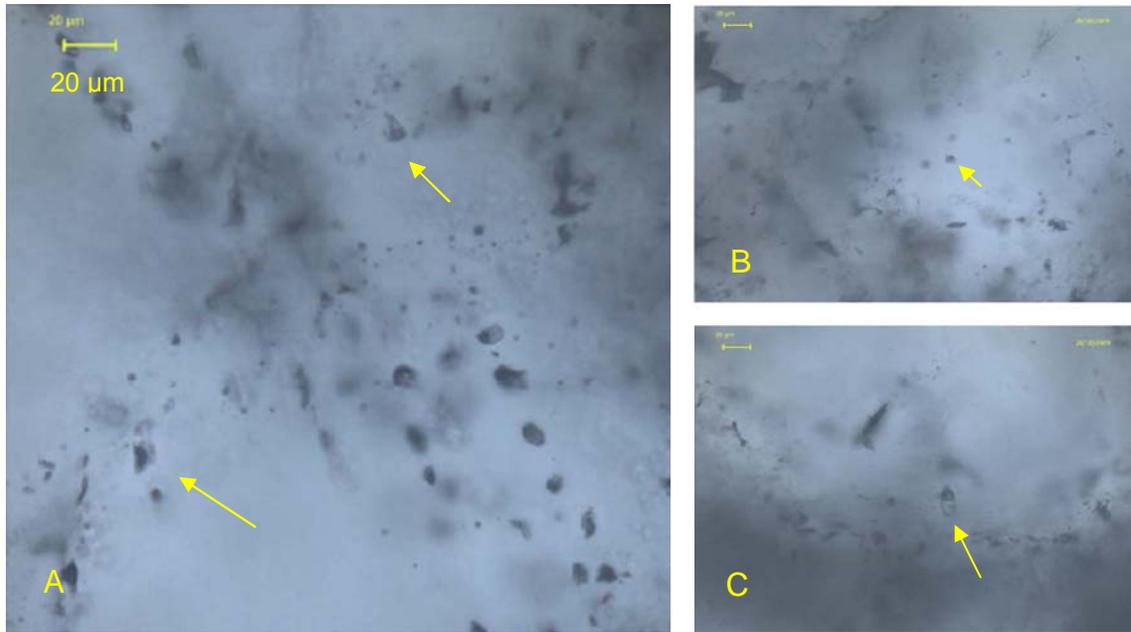
De las muestras colectadas en campo fue posible analizar 14: **ACHI-02, ACHI-05, MLE-02, MLF-01, MCC-02, COI-475I, MLLU-02, MSJ-04, SNJ-09, MLSU-02, MP-04, MV-02, MCMIO3, AM-04**, que se muestran a continuación, los resultados y certificados de estos análisis se realizaron en el Centro Experimental Oaxaca del SGM y se encuentran en el **ANEXO II**.



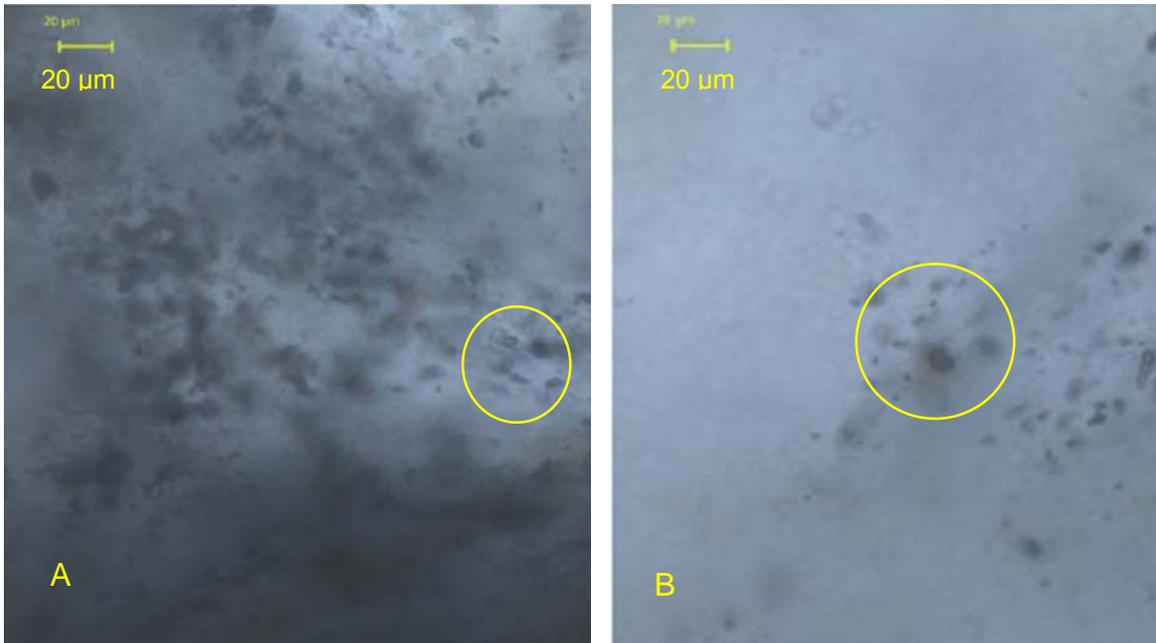
**Muestra ACHI-02.** Para esta muestra se reportaron temperaturas de homogenización entre los 323 °C y los 387 °C, en cuanto a las temperaturas de fusión se registró un intervalo de -8.6 a -8.9 °C y salinidades de 12.42 a 12.78%, así como una densidad de 0.772 g/cm<sup>3</sup>. Nótese en A, B y C que las flechas señalan el tipo de inclusiones analizadas en esta muestra.



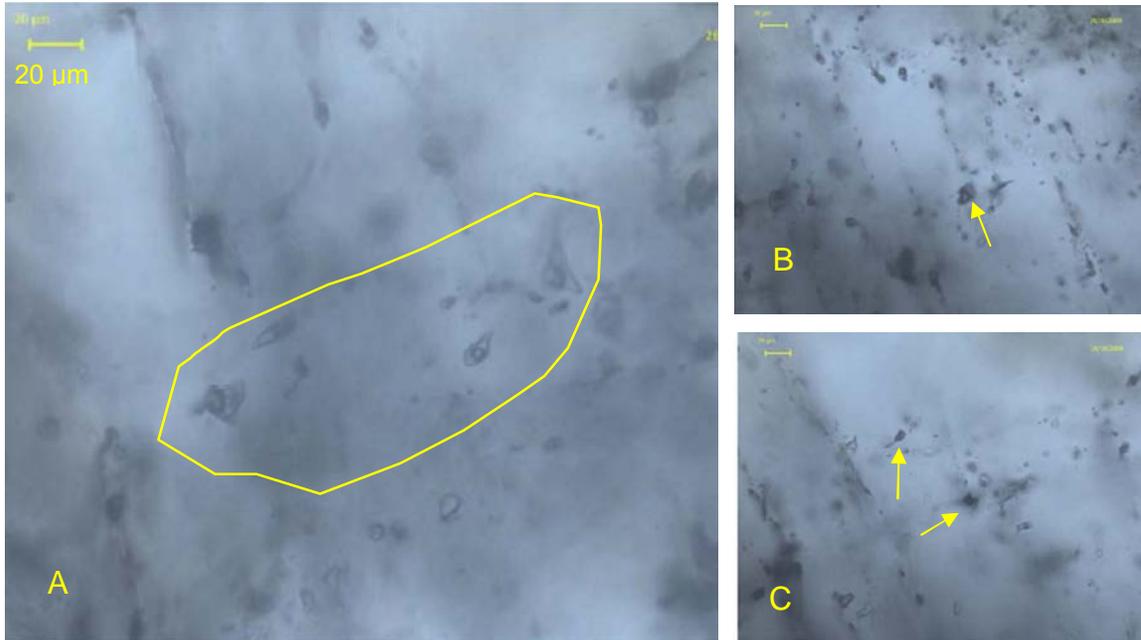
**Muestra ACHI-05.** Para esta muestra se reportaron temperaturas de homogenización entre los 295.5 °C a los 328 °C, en cuanto a las temperaturas de fusión se registró un intervalo de -8.7 a -12 °C y salinidades de 12.53 a 16.04%. En A la flecha señala una de las inclusiones aisladas que fueron analizadas, mientras que en B, se encuentra encerrada en amarillo una familia de inclusiones en el cristal, nótese que todas las inclusiones en ambas microfotografías comparten las características de tamaño, proporción en la relación de líquido-vapor y morfología.



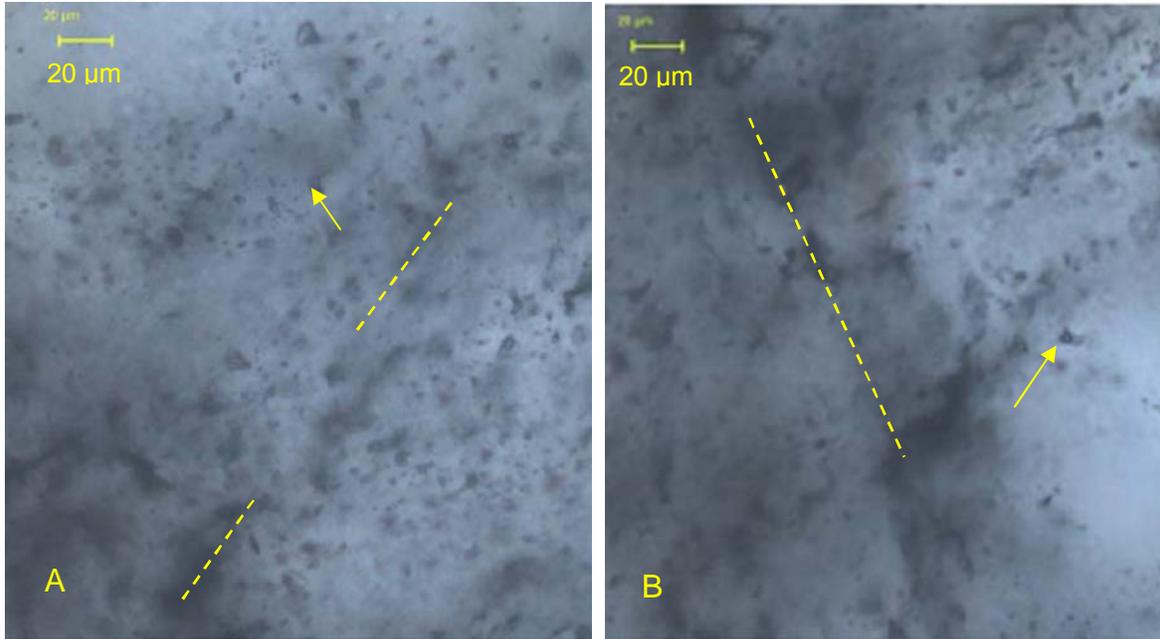
**Muestra MLF-01.** Para esta muestra se reportaron temperaturas de homogenización entre los 242 °C y los 399 °C, en cuanto a las temperaturas de fusión se registró un intervalo de -9.3 a -10.1 °C y salinidades de entre 13.22 a 14.09%. Nótese en A, B y C, que las inclusiones analizadas (señaladas en amarillo) se observan aisladas, las inclusiones que se observan alineadas no se estudiaron, debido a que se encuentran en planos de microfallas o fracturas y no se encuentran asociadas a la mineralización.



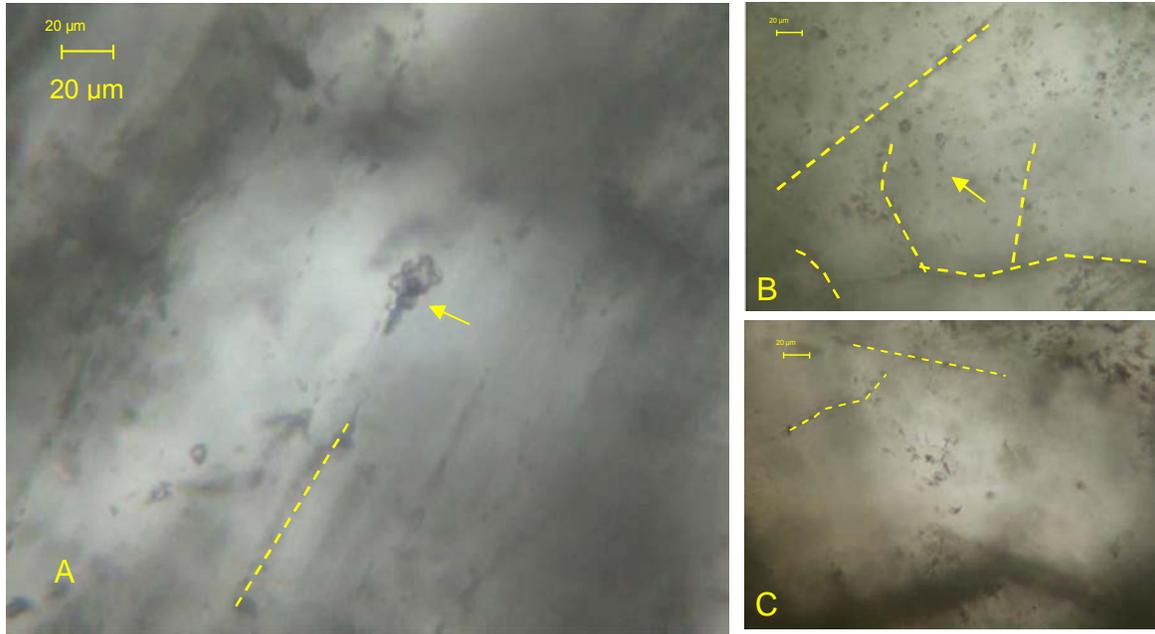
**Muestra MCC 02.** Para esta muestra se reportaron temperaturas de homogenización entre los 282 °C y los 351 °C, en cuanto a las temperaturas de fusión se registró un intervalo de -9.2 a -10.9 °C y salinidades de entre 13.10 a 14.94%. Tanto en A como en B pueden observarse la similitud entre el tipo de inclusiones analizadas.



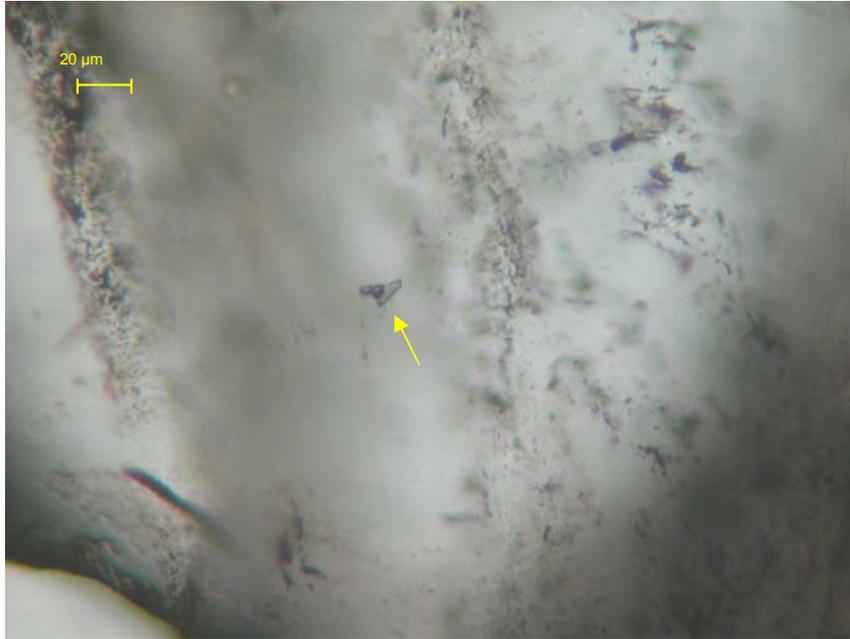
**Muestra COI475I.** Para esta muestra se reportaron temperaturas de homogenización entre los 321.6 °C y los 390.5 °C, en cuanto a las temperaturas de fusión se registró un intervalo de -7.9 a -11.1 °C y salinidades de entre 11.35 a 15.35%. Nótese que en A las inclusiones analizadas son de mayor tamaño y muy homogéneas, en B y en C, las burbujas son de menor tamaño, se eligieron burbujas aisladas que no siguieran los planos de fractura que se observan en el resto de los planos de la muestra.



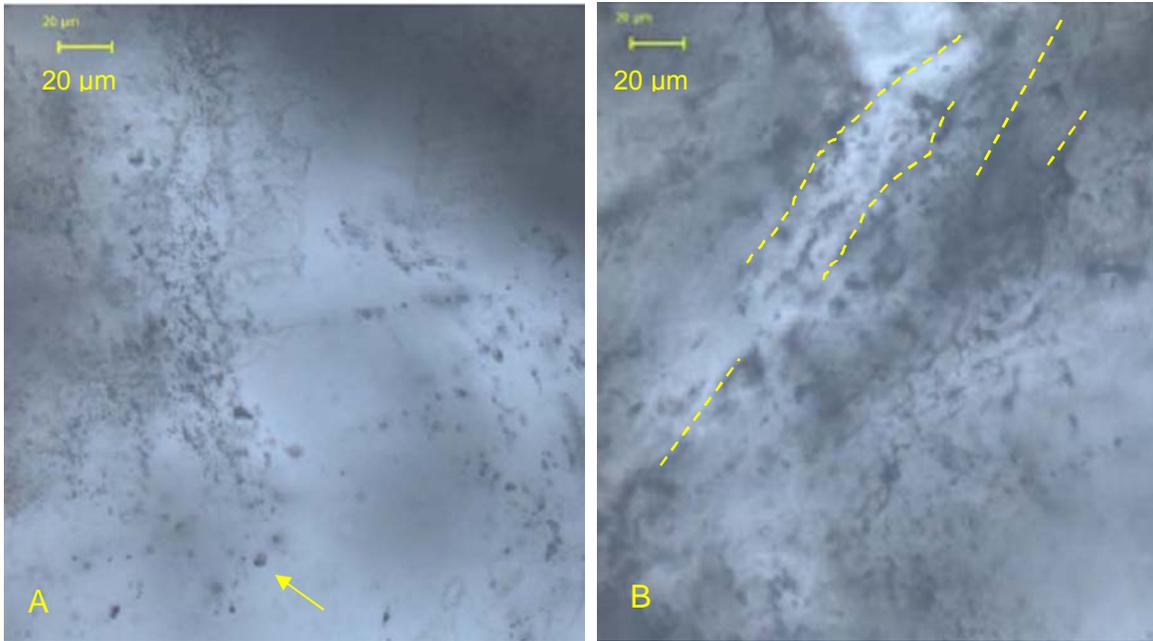
**Muestra MLE-02.** Para esta muestra se reportaron temperaturas de homogenización entre los 318 °C a los 385.6 °C, en cuanto a las temperaturas de fusión se registró un intervalo de -7.7 a -12.6 °C y salinidades de entre 11.35 a 16.62%. Tanto en A como en B se encuentran señaladas el tipo de inclusiones analizadas, las líneas punteadas indican los planos de fractura.



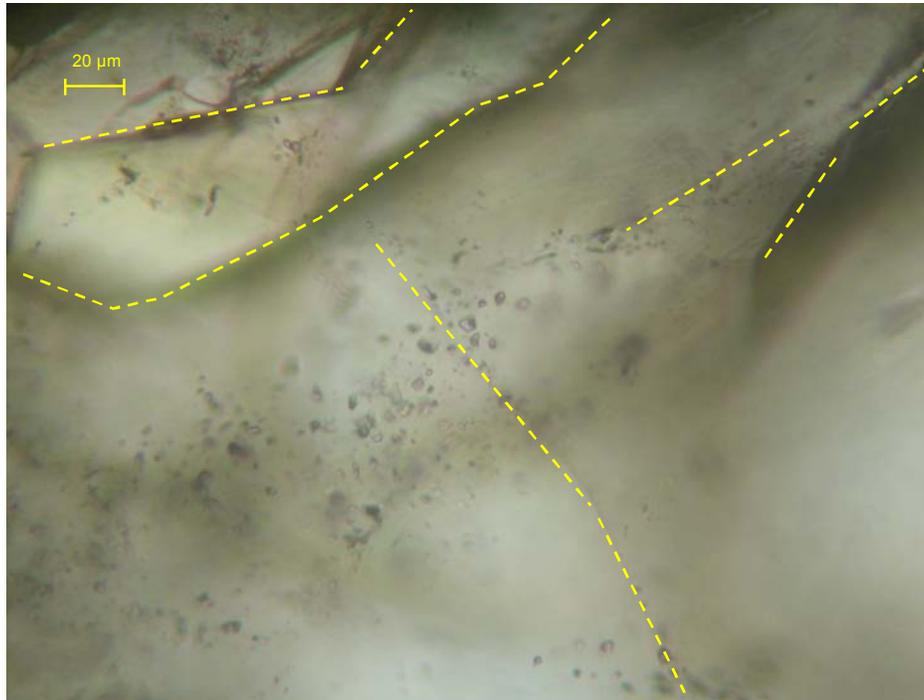
**Muestra MLLU-02.** Para esta muestra se reportaron temperaturas de homogenización de entre los 258.5 °C a los 335.5 °C. Las flechas amarillas indican el tipo de inclusiones analizadas, las inclusiones que se encuentran sobre las líneas punteadas (planos de fractura), no fueron analizadas.



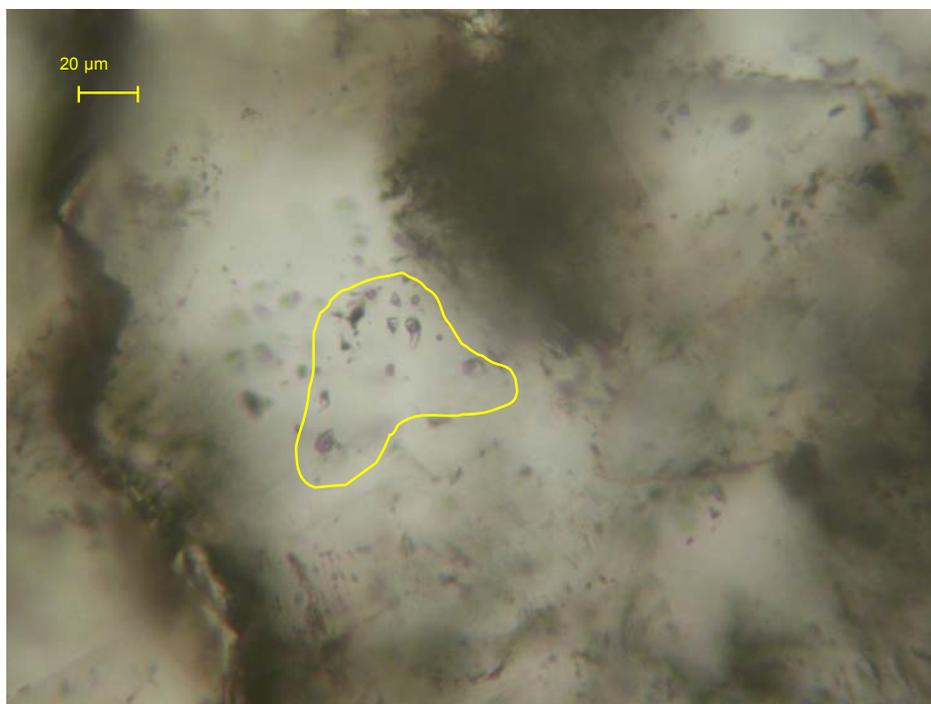
**Muestra SJ-09.** Para esta muestra se reportaron temperaturas de homogenización entre los 275 °C y los 380 °C. La flecha muestra una de las inclusiones analizadas en esta muestra, debido a que no se observaron muchas inclusiones en esta muestra no fue posible obtener sus demás características.



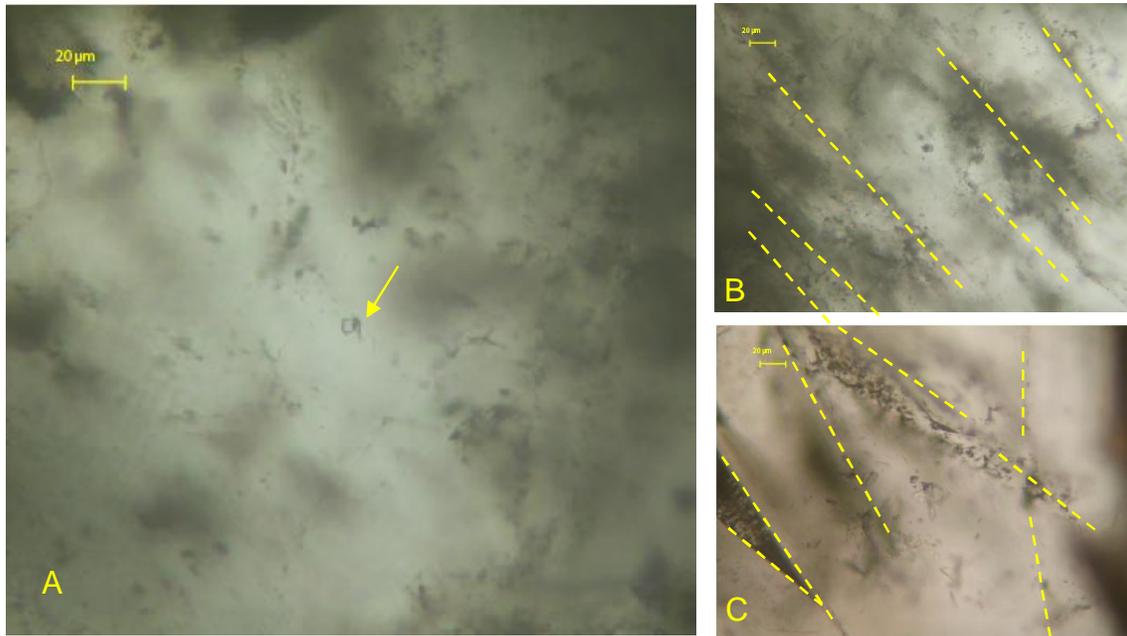
**Muestra MP-04.** Para esta muestra se reportaron temperaturas de homogenización de entre los 298.5 °C a los 364.9 °C, en cuanto a las temperaturas de fusión se registró un intervalo de -7.8 a -10.3 °C. Nótese en A que para esta muestra las inclusiones son de menor tamaño, en B pueden observarse diferentes planos de fractura (marcados en amarillo), que dificultaron el análisis de las mismas.



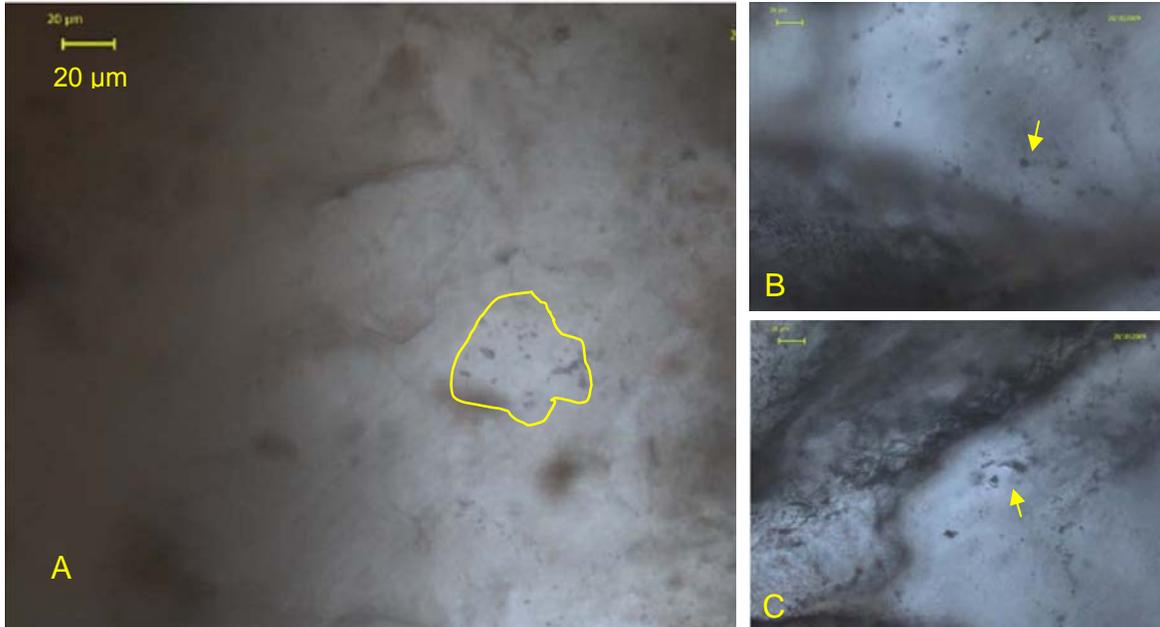
**Muestra MV-02.** Para esta muestra se reportaron temperaturas de homogenización entre los 322.5 °C y los 395.3 °C. Al igual que en la muestra MP-04, los diferentes planos de fractura, dificultaron el análisis de las inclusiones por lo que no fue posible obtener todas sus características.



**Muestra MLSU-02.** Para esta muestra se reportaron temperaturas de homogenización entre los 388.5 °C y los 405.6 °C. En amarillo se señalan la familia de inclusiones analizadas en esta muestra.



**Muestra MCFI-03.** Para esta muestra se reportaron temperaturas de homogenización entre los 339 °C y los 349 °C. Nótese en A, señalada por la flecha, una de las inclusiones analizadas aisladas, mientras que en B y C las líneas punteadas destacan diferentes planos de microfractura de la muestra.



**Muestra AM-04.** Para esta muestra se reportaron temperaturas de homogenización de entre los 283.5 °C a los 402 °C, en cuanto a las temperaturas de fusión se registró un intervalo de -8.6 a -9.4 °C y salinidades de entre 12.42 a 13.33%. En A se encuentra resaltada en amarillo la familia de inclusiones analizada en esta muestra, mientras que en B y C las flechas señalan también las inclusiones analizadas.

### Resultados del Análisis

Debido a las características propias de cada muestra no fue posible obtener temperaturas de homogenización, fusión y salinidad en todas, no obstante, fue posible obtener estos datos en la mayoría de las muestras analizadas con lo cual se han construido el diagrama para las temperaturas homogenización (figura 31) de acuerdo con Goldstein y Reynolds (1994).

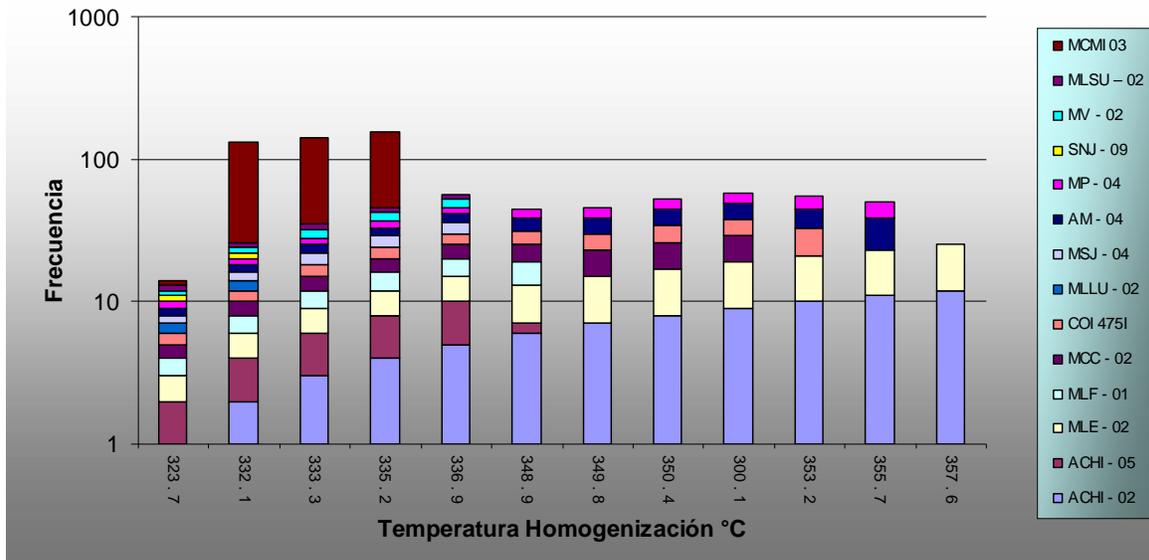


Figura 31: Histograma de frecuencia de temperaturas de homogenización. Nótese que para cada grupo de valores, definido por un color diferente, representa un grupo de inclusiones correspondientes a cada muestra analizada.

De acuerdo a las temperaturas de homogenización que presentan las inclusiones analizadas en algunas de ellas, existe un intervalo muy amplio de variación, en la misma muestra, de mas de 100 °C, tal es el caso de las muestras **MLF-01, AM-04, SNJ-09 y MLSU-02**, esta variación tan amplia en una muestra, da soporte a la posibilidad de un proceso de telescopeo durante la formación y depósito de la mineralización metálica, pues tal intervalo en una misma muestra no suele ser observado, sin embargo, este fenómeno puede explicarse mediante la sobreposición de eventos que permitieron la asociación de diferentes familias de inclusiones provenientes de ambientes diferentes, es decir, tanto de alta como de baja sulfuración, que en la actualidad se encuentran a un mismo nivel estructural y por tanto coexistencia de dichas inclusiones de afinidad diferente y así mismo las texturas típicas de dichos ambientes.

Por otra parte, a diferencia de las temperaturas, las salinidades reportadas en cada una de las muestras tienen poco intervalo de variabilidad, correspondiendo la mayoría con salmueras que aunque podrían interpretarse como una salinidad media, bien puede ser la representación de la mezcla de salinidades de los diferentes eventos sobre puestos.

Asimismo, las muestras **MLF-01**, **MCC-02** y **COI-4751**, presentan evidencia de ebullición, no sólo por las temperaturas de éstas que oscilan entre **240 °C** y **400 °C**, pues además presentan inclusiones fluidas ricas en vapor e inclusiones fluidas ricas en líquido, lo que marca contundentemente a los eventos de ebullición por la precipitación o depósito tanto de metales base como de metales preciosos en esos niveles de las estructuras estudiadas.

La distribución de las muestras dentro del área de estudio muestra también que el yacimiento además se encuentra muy dislocado, pues la posición de la zona de ebullición no es continua, sino que como puede apreciarse, esta zona se encuentra distribuida en diferentes sectores del SJV (figura 32).

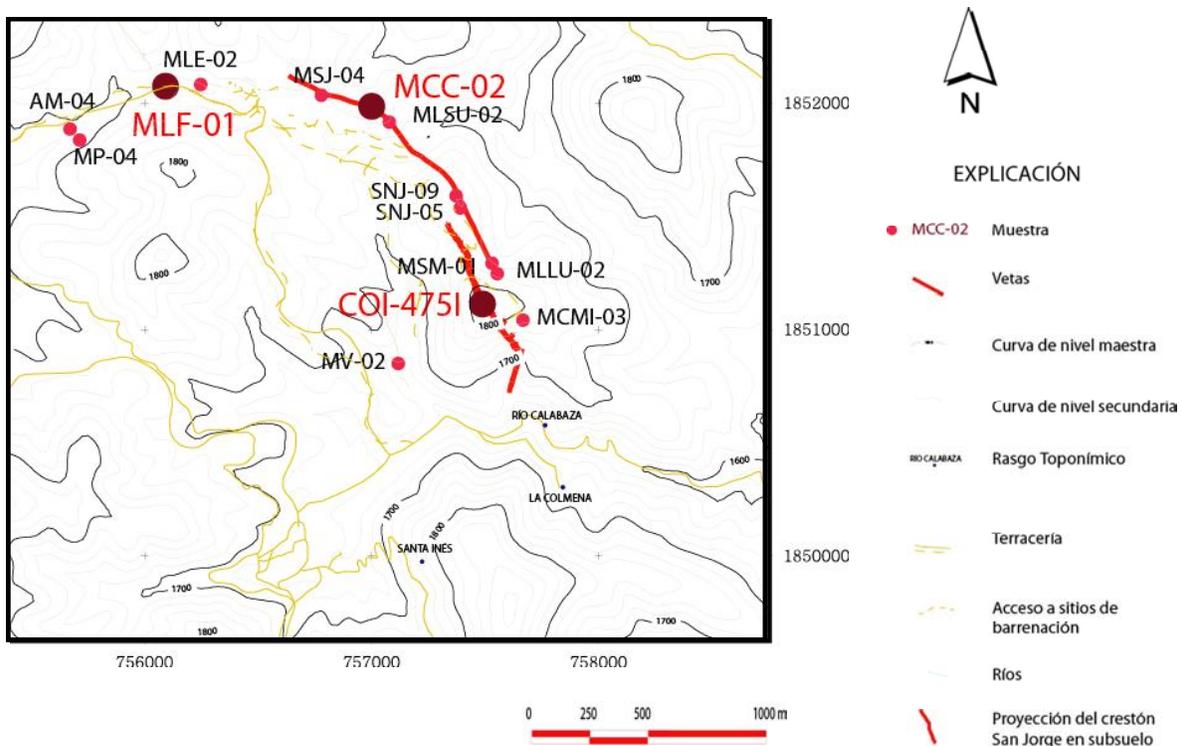


Figura 32. Distribución de muestras en el cretón San Jorge. Nótese que se encuentran realizadas en letras rojas y con un punto de mayor tamaño las muestras que se consideran como zona de ebullición.

## X. MODELO GEOLÓGICO DE LA DEPOSICIÓN METÁLICA

Las características reconocidas en campo, así como los resultados obtenidos en laboratorio durante el desarrollo del presente estudio, permiten sentar las bases acerca de los procesos geológicos involucrados durante la formación del depósito mineralizado del área Monte Albán. No obstante que el objetivo del presente estudio se centró en la correlación de dos sistemas de vetas epitermales, fue necesario incluir, en el modelo que se explica a continuación, las características de la roca que hospeda a las estructuras mineralizadas, sobre todo porque ésta, también se encuentra mineralizada.

Los sistemas de vetas estudiados corresponden a depósitos característicos de un sistema epitermal de baja sulfuración, cuya mineralización principal está representada por valores de oro y plata, con contenidos (que llegan a ser importantes) de metales base, como fue mostrado a través de los resultados de la geoquímica practicada a las muestras procedentes tanto de estructuras expuestas, como aquellas que se obtuvieron en interior mina y barrenación. Estas estructuras mineralizadas tienen la particularidad de presentar como roca encajonante a un intrusivo de tipo hipabisal asociado a un ambiente subvolcánico el cual muestra mineralización diseminada de sulfuros de Fe y Cu; por tanto, la roca encajonante se consideró como una roca porfídica de composición ácida mineralizada que constituye un *depósito tipo pórfido* en un sentido enfocado a depósitos minerales; tal depósito muestra características de un ambiente de Alta Sulfuración, como fue descrito con anterioridad (Sillitoe, 1993).



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

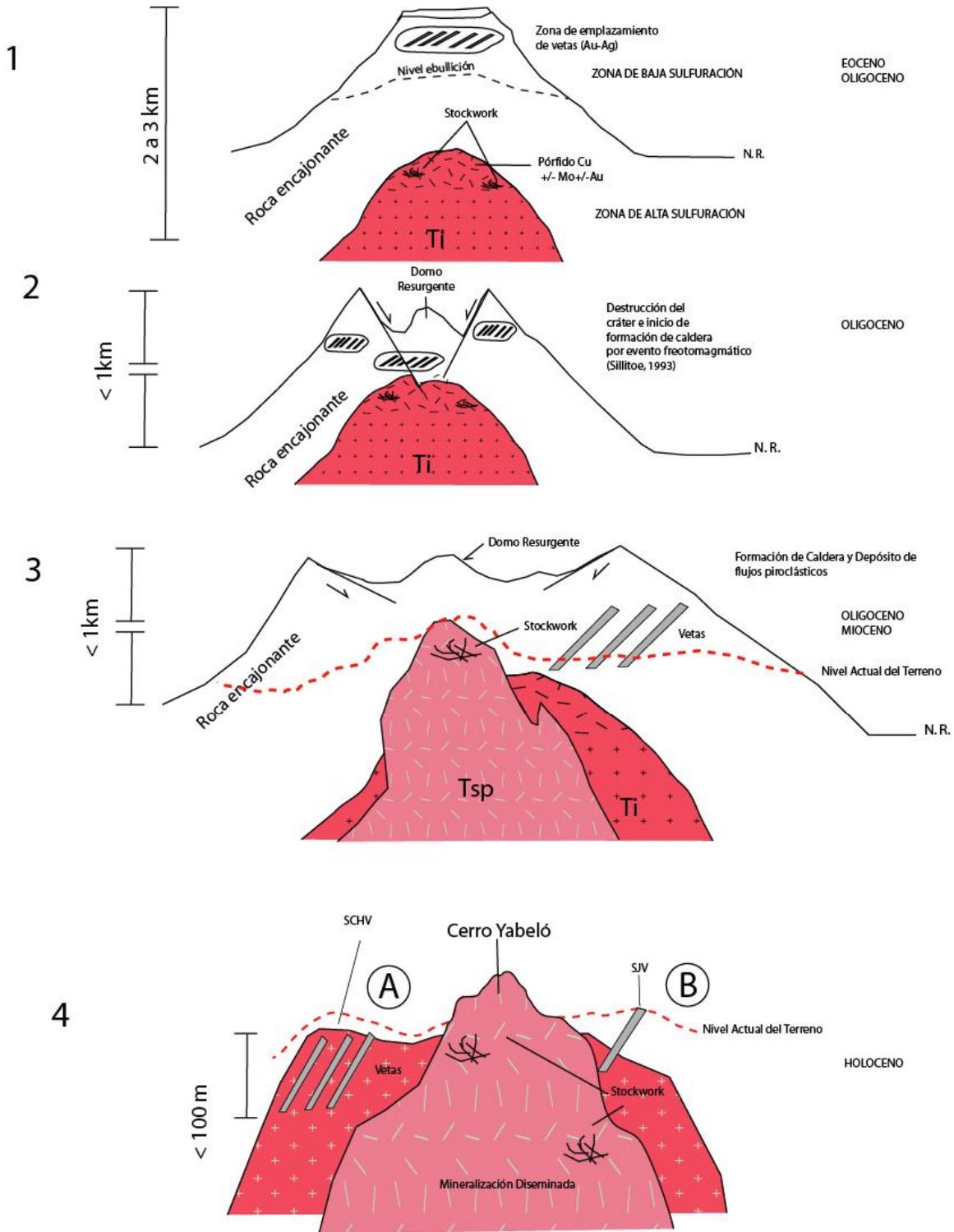
**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

La yuxtaposición de aspectos texturales y de alteración, aunado a la *suite* de rocas piroclásticas que afloran en el entorno del depósito estudiado, permiten suponer la existencia de un ambiente subvolcánico asociado a la evolución de una caldera, derivada de procesos freatomagmáticos ocurridos durante el depósito de las distintas fases de mineralización (Sillitoe y Hedenquist, 2003). Tal situación sugiere que existió un proceso de telescopio que permitió la coexistencia de la mineralización de baja sulfuración, con aquella formada en un ambiente de alta sulfuración, como se observa actualmente en la zona estudiada (Castro-Mora, 2007). Esta serie de procesos propicio una dinámica complicada en la zona, así como dislocación en el depósito mineral, que afectó también a los sistemas de vetas San Jorge y Chicharra.

Las figuras 33 y 34 muestran las fases evolutivas propuestas para la mineralización del área Monte Albán.



LA ALTA Y BAJA SULFURACIÓN SE ENCUENTRAN AL MISMO NIVEL ESTRUCTURAL

Figura 33: Modelo evolutivo del depósito mineralizado del área Monte Albán. Modificado de Castro-Mora, 2009 (con autorización del autor)

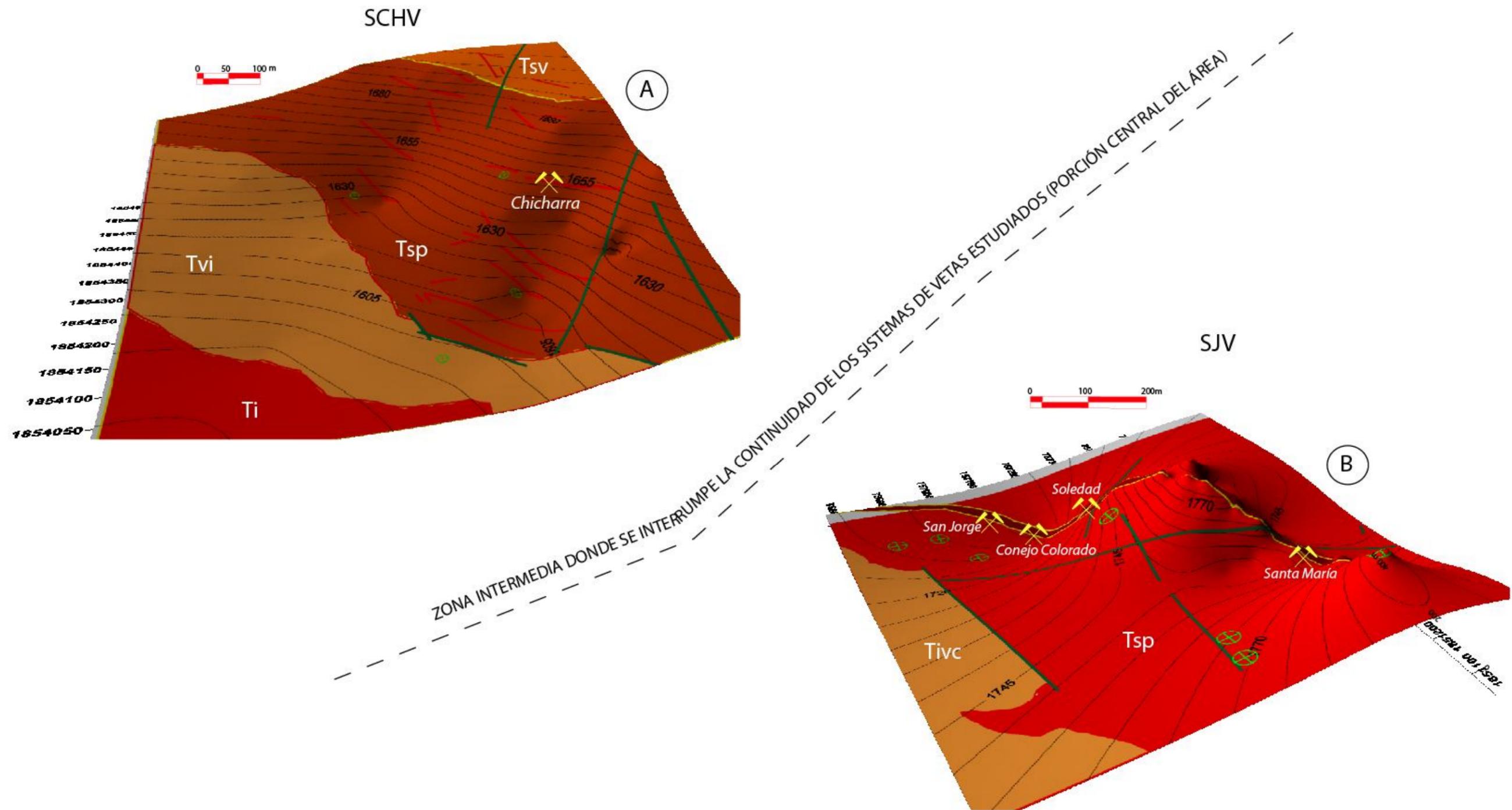


Figura 34. Distribución de los sistemas de vetas Chicharra (A) y San Jorge (B). Nótese que en (A) aflora un mayor número de estructuras, tal situación probablemente obedece a que el mayor índice de erosión se presenta en esta zona y, sobre todo, a que en la zona San Jorge (B) existen rocas piroclásticas de cobertura que no permiten apreciar la continuidad de las vetas. En la figura, la línea discontinua representa la zona donde se localiza la Falla Yabeló, que es la que disloca ambos sistemas de vetas.

## **XI. CONCLUSIONES**

Con las evidencias observadas en campo, y apoyadas con los análisis de laboratorio realizados a las muestras colectadas se puede concluir que:

El intrusivo en el área Mónica, localizado en el lecho del río y en el cerro Yabeló, así como la falla del mismo nombre, separa a la zona San Jorge y la zona Chicharra. Tal situación permite hacer las siguientes consideraciones:

- ✓ Que los sistemas SJV y el SCHV originalmente eran un solo sistema continuo de vetas, mismo que fue afectado por un proceso de dislocamiento durante el emplazamiento del intrusivo, así como por el desarrollo de la Falla Yabeló.
- ✓ La disposición de las vetas y las fallas, así como las estrías derivadas de las mismas, en el área de San Jorge y Chicharra es muy consistente por lo que estructuralmente se puede considerar a ambos sistemas generados por el mismo proceso de deformación, los rasgos morfológicos de las dos zonas antes mencionadas es también muy similar, así como la alteración que presenta y la mineralización de las vetas, también tiene fuertes similitudes, que se consideran evidencias de correlación de estos sistemas.
- ✓ Por otra parte, los estudios petrográficos y minerográficos, así como los resultados de geoquímica realizados por parte de la empresa Aurea Mining, demuestran que existen también similitudes en las paragénesis observadas y en las relaciones de las vetas y el cuarzo de las mismas con las de la roca encajonante, fenómeno que no se observa en las minas Mónica y El Paraíso (porción central del área) ya que exhiben características texturales y paragenéticas diferentes.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

- ✓ En lo que respecta a la roca encajonante, existen diferencias entre los sistema SJV Y SCHV ya que, las vetas que conforman el sistema San Jorge, se encuentran emplazadas preferentemente en la unidad porfídica, mientras que las vetas del sistema Chicharra, están alojadas en la unidad holocristalina, esta diferencia en el encajonante puede explicarse a que el emplazamiento se realizó en niveles estructurales diferentes lo que permitió que las vetas se encuentren actualmente a diferentes niveles topográficos , sin embargo, las muestras tomadas en la mina San Jorge, muestra gran similitud petrográfica (con las obtenidas en el área Chicharra), tanto del cuarzo como en el encajonante.
  
- ✓ Mediante los trabajos de campo se pudo determinar que las vetas existentes en el SCHV muestran un mayor desarrollo en superficie, como lo demuestran los abundantes crestones que sobresalen en las laderas de los altos topográficos del área Chicharra, no así en las del sistema SJV, fenómeno que se atribuye a las características litológicas de las unidades que sobreyacen a ambos sistemas, lo que provoca que no se observe la disposición de estas estructuras, sin embargo los trabajos realizados en el interior de las minas, han permitido observar vetas que no afloran en superficie y que muestran la misma disposición que el crestón principal, las cuales fueron cortadas en los barrenos realizados durante el año 2008, por lo que la correlación de ambos sistemas sugieren que son uno solo.
  
- ✓ Existen otros sistemas de vetas y fallas en el área y fuera de ella, que cortan nuevamente a las estructuras y que incrementan la probabilidad del dislocamiento original del que se derivaron el SJV y el SCHV.

- ✓ Con la campaña de barrenación llevada a cabo, fue posible extender en subsuelo casi 1.5 km la longitud del SJV, así como corroborar que las fallas normales y laterales en el río La Soledad fueron las que provocaron la flexión de esta estructura y el truncamiento de la misma, lo que sustenta la misma posibilidad para el SCHV.
- ✓ Los resultados de inclusiones fluidas reportados por parte del SGM (Servicio Geológico Mexicano) demuestran que la zona de ebullición del yacimiento se encuentra en la mina Colmena, ya que se reportaron temperaturas mayores a los 400 °C, así como inclusiones ricas en vapor y valores de salinidad correspondientes a este ambiente, de igual forma estas mismas condiciones se reportan en la mina La Flor y la mina Conejo Colorado, que puede considerarse como una evidencia más del proceso de dislocación que afectó al yacimiento.
- ✓ El histograma resultante de las temperaturas de homogenización evidencian la afinidad que existe en las inclusiones de los sistemas de vetas San Jorge y Chicharra, con lo que se reafirma que ambos sistemas son correlacionables lo que sugiere que fueron continuos y así mismo dislocados por las razones expuestas con anterioridad.
- ✓ De todo lo anterior, se sugiere que existió un proceso de telescopio derivado de la actividad volcánica y subvolcánica, así como del colapso y resurgimiento dentro de un ambiente intra-caldera que propició la coexistencia de características afines tanto a la baja como a la alta sulfuración.
- ✓ Se sugiere un estudio de prospección geofísica, en las zonas donde la cobertura no permite la exposición de las vetas en superficie, para corroborar su existencia en subsuelo.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Alaniz-Alvarez, S. A., Nieto-Samaniego, A. F., Ortega-Gutiérrez, F., 1994. Structural evolution of the Sierra de Juárez mylonitic complex, State of Oaxaca, México: Universidad Nacional Autónoma de México, Inst. Geología, Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 11, núm 2, pp146-155.
- Aurea Mining Inc., 2007a. Press Release, Au-Ag Property, Taviche Mining District, Oaxaca, Mexico.
- Aurea Mining Inc., 2008b. Press Release, Gold, silver and copper assays from Monte Alban Property.
- Aurea Mining Inc., 2007c. Monte Alban Project.
- Aurea Mining Inc., 2007d. Proyecto de Exploración a diamante Monte Albán Distrito de San Jerónimo Taviche. Inédito. 22 pp.
- Aurea Mining Inc., 2007e. Press Release, Final Underground Assay Results Received for the Monte Alban property, Taviche Mining District.
- Bradomin, J. M., 1991. Monografía del estado de Oaxaca, 4a ed. José Ma Bradomin, 355 pp.
- Campa, M. F., Coney, P. J., 1983. Tectono stratigraphic terranes and mineral resources distribution in Mexico. Canadian Journal of Earth Sciences, v 20, pp 1040-1051.
- Castro-Mora, J., Castillo-Nieto, F., Rodríguez-Luna, E., 1996. Monografía Geológico-Minera del estado de Oaxaca, 1ª ed. Consejo de Recursos Minerales, 298 pp.
- Castro-Mora, J., 2007. Geología del Depósito Epitermal Monte Albán (Au-Ag-Cu), Distrito Minero Taviche, estado de Oaxaca. Memoria de la XXVII Convención Internacional de Minería, Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México, Veracruz, México, 8 pp.
- Castro-Mora, J., 2007a. Definition SJV. Inédito.
- Castro-Mora, J., 2009, Metalogénesis del Depósito San Jorge-Chicharra (Au, Ag, Pb, Zn, Cu, Mo), Distrito Minero Taviche, estado de Oaxaca: Magmatismo Asociado y Modelo de Emplazamiento, Proyecto de Investigación doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geofísica, Inédito.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

- Centeno-García, E., Ortega-Gutiérrez, F., Corona-Esquivel, R. J., 1990. Oaxaca Fault-Cenozoic reactivation of the suture between the Zapoteco and Cuicateco terranes, southern Mexico: Geological Society of America Abstracts with Programs, v. 22, 13 pp.
- Concha, A., Lunar, R., Sierra, J., Lillo, J., Oyarzun, R., 1991. Estudio de inclusiones fluidas de las mineralizaciones epitermales de Ag, baritina y metales de base de Hiendelaencina y de baritina de Atienza (Sistema Central Español). Revista Estudios geológicos, Vol. 47, número 3-4, pp 137-147.
- CRM, (Consejo de Recursos Minerales), 1981. Carta Geológico-Minera Zaachila E14-12, Oaxaca, Esc. 1:250,000.
- CRM, (Consejo de Recursos Minerales), 1981. Carta Geológico-Minera Oaxaca E14-9, Oaxaca, Puebla, Esc. 1:250,000.
- CRM (Consejo de Recursos Minerales), 1997. Carta Geológica-Minera Santa Maria Zoquitlan E14-D68, Oax., Esc. 1:50,000. Datos vectoriales
- CRM (Consejo de Recursos Minerales), 1998. Carta Geológica-Minera Tlacolula de Matamoros E14-D58, Oax., Esc. 1:50,000. Datos vectoriales.
- Damon, P.E., Shafiqullah, M., Clark, K. F, 1981. Evolución de los arcos magmáticos en México y su relación con la metalogénesis. Universidad Nacional Autónoma de México, Revista del Instituto de Geología; vol 5 num. 2, pp 223-238.
- Erben, H. K., 1956. El Jurásico Medio y el Calloviano de México. Congreso Geológico Internacional, 20, México, D F, 140 pp.
- Fries, C., Rincón-Orta, C., 1965. Nuevas aportaciones geocronológicas y técnicas empleadas en el Laboratorio de Geocronometría. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 73, pp 57-134.
- García, E., 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, 5ª edición, Serie Libros Núm. 6. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. 90 pp.
- García-Reyes, E., 1999. Estudio Geológico - Evaluativo del Prospecto Sociedad Cooperativa Minera Taviche, Mpio. de San Jerónimo Tavichie, edo. de Oaxaca. Consejo de Recursos Minerales, Subdirección de Proyectos y Servicios. Inédito. 62 pp.
- Goldstein, R., Reynolds, T. J., 1994. Systematics of fluid inclusions in diagenetic minerals. SEPM., Tulsa, Oklahoma, 199 pp.

- González Alvarado J., 1970 en CRM (Consejo de Recursos Minerales), 1998. Carta Geológica-Minera Tlacolula de Matamoros E14-D58, Oax., Esc. 1:50,000.
- Hedenquist, J.W., 1987, Mineralization associated with volcanic-related hydrothermal systems in the Circum-Pacific Basin, en Transactions 4th Circum Pacific Energy and Mineral Resources Conference, Singapore, 1-26.
- INEGI, 2008. II Censo de Población y Vivienda 2005, Perfil sociodemográfico de Oaxaca, 130 pp.
- INEGI 2008, Anuario estadístico del estado de Oaxaca.
- Kretz, R., 1983. Symbols for rock-forming minerals. American Mineralogist, volume 68, pp 277-279.
- Jiménez-Franco, M. A., Arrieta-García, G., Castro-Mora, J., 2008. Contribución al conocimiento geológico del Distrito Minero Taviche, Área Monte Albán, estado de Oaxaca. 1er. Foro y Convención Geológica. (Resumen).
- Lindgren, W., 1922, A suggestion for the terminology of certain mineral deposits: Economic Geology, 17, pp 202-294.
- Maksaev, V., 2010. Apuntes del curso de metalogénesis. Departamento de geología. Universidad de Chile. Inédito.
- Marrett R., 2005. Fracture Scaling Exercises: Analysis of Extension Fracture Size and Spatial Distribution Scaling Based on Data Collected at Pedernales Falls State Park. Department of Geological Sciences University of Texas at Austin Austin. Training Courses to División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Facultad de Ingeniería UNAM. Inédito.
- Meyer, C., Hemley, J.J., 1967. Wall Rock Alteration. Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits, Primera Edición, Hubert L. Barnes (ed.), Holt, Rinehart and Winston Inc. Publication, pp 166-235.
- National Instrument 43-101, Standards for Disclosure of Mining Operations and Mining Properties, Investment Industry Regulatory Organization of Canada.
- Nieto-Samaniego, A. F., Alaniz Álvarez S. A., Ortega-Gutiérrez F., 1995. Estructura interna de la falla de Oaxaca (México) e influencia de las anisotropías litológicas durante su actividad cenozoica. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 12, núm. 1, pp. 1-8.

- Ortega-Gutiérrez, F., 1981. La evolución tectónica Premisisipica del sur de México. UNAM, Instituto de Geología Revista, 5, 2, pp 140-157.
- Ortega-Gutiérrez, F., Corona-Esquivel, R. J., 1986. La Falla de Chacalapa, sutura críptica entre los terrenos Zapoteco y Chatino: Unión Geofísica Mexicana, Morelia, Mich., Memoria, (resumen).
- Ortega-Gutiérrez, F., Mitre-Salazar, L. M., Roldán-Quintana, J., Sánchez-Rubio, G., De-la-Fuente, M., 1990. North American Continent-Ocean Transect Program, Transect H-3--Acapulco Trench to the Gulf of Mexico across southern Mexico: Geological Society of America, Decade of North American Geology Program, 9 pp., mapa y secciones.
- Ortega-Gutiérrez, F., Mitre-Salazar, L. M., Alaniz-Álvarez, S., Roldán-Quintana, J., Aranda-Gómez, J. J., Nieto-Samaniego, Á. F., Morán-Zenteno, D. J., 1991. Geologic provinces of Mexico a new proposal and bases for their definition: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología; Universidad Autónoma de Hidalgo. Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra; Sociedad Mexicana de Mineralogía; y Secretaría de Educación Pública. Subsecretaría de Educación Superior e Investigación Científica, Convención sobre la evolución geológica de México y Primer Congreso Mexicano de Mineralogía, Pachuca, Hidalgo, Memoria.
- Ortega-Gutiérrez, F., *et al.*, 1992. Carta geológica de la República Mexicana, 5ta ed. Consejo de Recursos Minerales y Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, mapa de escala 1 2'000,000, con texto explicativo de 74 pp.
- Raisz, E., 1962. Landforms of Mexico, 1ª ed Cambridge, Mass , Physiographic Geography Branch of the Office of Naval Research, escala 1 3 000,000.
- Rzedowski, J., 1978. Vegetación de México, ed. Limusa. México, D. F. 432 pp.
- Salas, G. P. 1949. Bosquejo Geológico de la Cuenca Sedimentaria de Oaxaca". Bol., Asoc. Mex. Geolog. Petr., V.1, No. 2, pp 79-156.
- Sillitoe, R.H., 1988, Environments, styles and origins of gold deposits in western Pacific island arcs, en Bicentennial Gold 88: Geological Society of Australia, Abstracts, 22, pp .127-138.
- Sillitoe, R.H., 1993, Epithermal models: Genetic types, genetic controls and shallow features. In: Kirkman, R.V., Sinclair, W.D., Thorpe, R.I., and Duke, J.M., (eds), Mineral Exploration Modeling. Geological Association of Canada, Special Paper, v.40, p.403-417

- Sillitoe, R.H., y Hedenquist, J.W., 2003, Linkages between volcanotectonic settings, ore fluid compositions and epithermal precious metal deposits. In: Simmons, S.F., y Graham I., (eds). Volcanic, geothermal and ore-forming fluids; rulers and witnesses of processes within the earth: Society of Economic Geologist, Special Publication, No. 10, p. 315-343.
- Sedlock, R. L., Ortega-Gutiérrez, F., Speed, R. C., 1993: Tectonostratigraphic terranes and tectonic evolution of México. Geological Society of America Special Paper, pp 278-153.
- SGM (Servicio Geológico Mexicano), 2007. Carta Geológica de México. Escala 1:2'000 000, 6ª Edición, 31 pp.
- Thompson, A. J. B., Thompson, J. F. H. 1996. Atlas of Alteration: a Field and Petrographic Guide to Hydrothermal Alteration Minerals. GAC Mineral Deposits Division, 119 pp.

# ANEXO I

Glosario



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## GLOSARIO

**Alta sulfuración:** Aquel ambiente hidrotermal en el que prevalecen los pH's ácidos y corrosivos; las temperaturas son mayores a los 300 °C y se relaciona a ambientes de tipo pórfido; se caracteriza porque las alteraciones hidrotermales son del tipo ácido-sulfato con desarrollo de alteración argílica avanzada, misma que se relaciona con yacimientos de tipo pórfido cuprífero.

**Apófisis:** Dícese de aquellos desprendimientos de masas ígneas derivados de cuerpos plutónicos de mayor dimensión; con frecuencia los apófisis forman diques o sills.

**Baja sulfuración:** Aquel ambiente hidrotermal en el cual prevalecen los pH's neutros y temperaturas que no sobrepasan los 200 °C; se relaciona a ambientes geotermales y se caracteriza por alteraciones hidrotermales del tipo Adularia-Sericita; en tales ambientes se presenta frecuentemente mineralización Auro-Argentífera (oro-plata).

**Crustiforme:** Término textural que se utiliza para referirse al crecimientos de cristales, generalmente cuarzo o calcita, hacia el centro de estructuras tabulares (vetas).

**Cuarzo vuggy:** Tipo de textura que presenta la sílice que se desarrolla en ambientes de alta sulfuración; se caracteriza por el desarrollo de espacios vacíos o porosos.

**Deposición:** Término del Inglés Deposition.- muy utilizado en la geología económica. El término genera controversia por las diferentes acepciones o significados que tiene en la lengua española; en el contexto del presente trabajo

---

*Glosario*

**Basado en:**

-Léxico Geológico Mexicano. Primera edición, Sociedad Geológica Mexicana, 2004.

-Dictionary of Geological Terms, third edition, The American Geological Institute, 1983

se refiere a todos aquellos procesos involucrados en el depósito de los elementos metálicos que conforman un yacimiento mineral.

**Depósito epitermal:** Depósitos hidrotermales de profundidad promedio menor a 3 km; corresponden a depósitos hidrotermales de baja temperatura.

**Drusa:** Término utilizado como sinónimo de crustiforme. Cuarzo que rellena fracturas con intercrecimiento de cristales en forma de dientes.

**Pórfido:** En petrografía terminó que se utiliza para referirse a una roca ígnea con fenocristales inmersos en una matriz afanítica, de origen hipabisal. En geología económica término que se utiliza para referirse a depósitos minerales de baja ley y gran tonelaje, asociados frecuentemente a rocas ígneas hipabisales.

**Shear:** Literalmente cizalla; sin embargo en geología económica su significado tiene relación directa con estructuras tipo veta que son emplazadas a lo largo de planos de falla.

**Stockwork:** Se define como un conjunto de vetas multidireccionales que frecuentemente forman un patrón de rejilla (entrelazadas); muchas veces se encuentran mineralizadas.

**Telescopio:** Se refiere a todos aquellos procesos geológicos involucrados en la formación de yacimientos que presentan características yuxtapuestas de ambientes muy diferentes desde el punto de vista termodinámico.

**Vuggs:** cavidad u oquedad que queda en la sílice residual en un ambiente de alta sulfuración.

---

*Glosario*

**Basado en:**

-Léxico Geológico Mexicano. Primera edición, Sociedad Geológica Mexicana, 2004.

-Dictionary of Geological Terms, third edition, The American Geological Institute, 1983

# ANEXO II

Certificados de estudios de  
mineragrafía



## Centro Experimental Oaxaca

### CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES MINERAGRAFÍA

Orden de Servicio: **4082**  
Muestra: MDSJ-08-1  
Fecha de Recepción: 20-11-07  
Fecha de Salida: 29/11/0007 00:00  
Longitud UTM: 0

Latitud UTM: 0

Cliente: MINERA AUREA, S.A. DE C.V.  
Dirección: BOSQUE DE DURAZNOS No.69A,  
Colonia: BOSQUES DE LAS LOMAS  
Municipio: MIGUEL HIDALGO  
Estado: Distrito Federal

Código Postal 11700

Descripción de Campo:

Clasificación:

Objetivo:

#### Descripción Megascópica

Color: Gris claro  
Estructura: No aplica  
Textura: porfídica

Minerales observados: PIRITA

#### Mineralogía ( Descripción Microscópica)

Mineral	Forma	Porcentaje	Rango/ Variación (±)	Tamaño en Micras		Característica
				Máximo	Mínimo	
ESFALERITA	SUBHEDRAL	30	3	250	100	se observa en general en cristales liberados, sin embargo en algunos casos se presenta asociado a galena y calcopirita, al igual que la pirita, presenta huellas de lixiviación
GALENA	SUBHEDRAL	30	3	350	120	se presenta formando arreglos triangulares, alojados en cavidades, presenta inclusiones de pirita y calcopirita así también se asocia a esfalerita.
PIRITA	SUBHEDRAL	20	3	200	100	se presenta formando agregados, cementados por cuarzo, se observan alineados en forma paralela a una estructura vetiforme mayor, presenta un aspecto cacarizo debido a procesos de lixiviación, en general su forma es subedral, sin embargo algunos cristales presentan habito cúbico.
CALCOPIRITA	SUBHEDRAL	20	2	350	120	en general se observa en cristales libres, aunque en algunos casos se observa con esfalerita en texturas de exsolución, así como incluida en galena.

Paragenesis: Pirita-Galena- Esfalerita-Galena

Mena: Polimetálica

Ganga: Cuarzo

Sucesion: Pirita-Galena-Esfalerita-Galena

Microtextura: Relleno de cavidades



## Centro Experimental Oaxaca

### CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES

### MINERAGRAFÍA

Orden de Servicio: **4082**  
Muestra: MDSJ-08-1  
Fecha de Recepción: 20-11-07  
Fecha de Salida: 29/11/0007 00:00  
Longitud UTM: 0

Latitud UTM: 0

Cliente: MINERA AUREA, S.A. DE C.V.  
Dirección: BOSQUE DE DURAZNOS No.69A,  
Colonia: BOSQUES DE LAS LOMAS  
Municipio: MIGUEL HIDALGO  
Estado: Distrito Federal

Código Postal 11700

Origen: Hidrotermal

Clasificación: Veta polimetálica

Observaciones: los porcentajes reportados, son considerando a los minerales metálicos como el 100%, los cuales se observan en la muestra en una proporción estimada del 40%



## Centro Experimental Oaxaca

### CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES MINERAGRAFÍA

Orden de Servicio: **4082**  
Muestra: MDSJ-03-5  
Fecha de Recepción: 20-11-07  
Fecha de Salida: 29/11/0007 00:00  
Longitud UTM: 0

Latitud UTM: 0

Cliente: MINERA AUREA, S.A. DE C.V.  
Dirección: BOSQUE DE DURAZNOS No.69A,  
Colonia: BOSQUES DE LAS LOMAS  
Municipio: MIGUEL HIDALGO  
Estado: Distrito Federal  
Código Postal 11700

#### Descripción de Campo:

Clasificación:

Objetivo:

#### Descripción Megascópica

Color: Gris claro  
Estructura: No aplica  
Textura: Brechoidal

Minerales observados: PIRITA

#### Mineralogía ( Descripción Microscópica)

Mineral	Forma	Porcentaje	Rango/ Variación (±)	Tamaño en Micras		Característica
				Máximo	Mínimo	
PIRITA	SUBHEDRAL	45	4	550	60	se observa en cristales subhedrales, algunos con habito cúbico, formando agregados que se alojan en fracturas rellenas de cuarzo
CALCOPIRITA	SUBHEDRAL	30	3	450	62	se observa principalmente alojada entre los cristales de pirita, así como en asociaciones con esfalerita y en menor proporción con galena
ESFALERITA	SUBHEDRAL	15	2	500	60	principalmente en asociación con calcopirita presentando en algunos casos texturas de exsolución,
GALENA	ANHEDRAL	10	1	520	50	se observa alojada entre los cristales de pirita así como en asociación con esfalerita y calcopirita.

Paragenesis: Pirita-calcopirita-esfalerita-galena

Mena: Polimetálica

Ganga: Cuarzo

Sucesión: Pirita-calcopirita-galena-esfalerita

Microtextura: Relleno de fisuras

Origen: Hidrotermal



## Centro Experimental Oaxaca

### CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES MINERAGRAFÍA

Orden de Servicio: **4082**  
Muestra: MDSJ-03-5  
Fecha de Recepción: 20-11-07  
Fecha de Salida: 29/11/2007 00:00  
Longitud UTM: 0

Latitud UTM: 0

Cliente: MINERA AUREA, S.A. DE C.V.  
Dirección: BOSQUE DE DURAZNOS No.69A,  
Colonia: BOSQUES DE LAS LOMAS  
Municipio: MIGUEL HIDALGO  
Estado: Distrito Federal  
Código Postal 11700

Origen: Hidrotermal

Clasificación: Brecha mineralizada

Observaciones: Los porcentajes reportados, son considerando a los minerales metálicos como el 100%, los cuales se observan en la muestra en una proporción estimada del 45%.



## Centro Experimental Oaxaca

### CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES MINERAGRAFÍA

Orden de Servicio: 4082  
Muestra: MDSJ-08-14  
Fecha de Recepción: 20-11-07  
Fecha de Salida: 29/11/0007 00:00  
Longitud UTM: 0

Latitud UTM: 0

Cliente: MINERA AUREA, S.A. DE C.V.  
Dirección: BOSQUE DE DURAZNOS No.69A,  
Colonia: BOSQUES DE LAS LOMAS  
Municipio: MIGUEL HIDALGO  
Estado: Distrito Federal  
Código Postal 11700

Descripción de Campo:

Clasificación:

Objetivo:

#### Descripción Megascópica

Color: Gris amarillento  
Estructura: No aplica  
Textura: Brechada

Minerales observados: PIRITA

#### Mineralogía ( Descripción Microscópica)

Tamaño en Micras

Mineral	Forma	Porcentaje	Rango/ Variación (±)	Tamaño en Micras		Característica
				Máximo	Mínimo	
PIRITA	SUBHEDRAL	80	5	580	70	se observa formando un agregado cristalino que rellena fisuras en algunos casos presenta cierto brechamiento con cuarzo como cementante, presenta un aspecto cacarizo debido a procesos de lixiviación, se observan algunos cristales con habito cúbico
ESFALERITA	SUBHEDRAL	8	1	550	120	se presenta en inclusiones en el mosaico de pirita, relleno de fracturas y oquedades, al igual que la pirita presenta huellas de lixiviación.
CALCOPIRITA	ANHEDRAL	6	1	480	70	se observa relleno de oquedades y fracturas en la pirita
GALENA	SUBHEDRAL	4	1	500	85	se observa en agregados alojados en el mosaico de pirita
COVELITA	ANHEDRAL	2	1	0	0	se observa en los bordes de la calcopirita como producto de su alteración.

Paragenesis: 1a Pirita-esfalerita-galena-calcopirita 2a covelita

Mena: Polimetálica

Ganga: Cuarzo

Sucesion: Pirita-esfalerita-galena-calcopirita-covelita

Microtextura: Relleno de fisuras



## Centro Experimental Oaxaca

### CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES MINERAGRAFÍA

Orden de Servicio: **4082**  
Muestra: MDSJ-08-14  
Fecha de Recepción: 20-11-07  
Fecha de Salida: 29/11/2007 00:00  
Longitud UTM: 0

Latitud UTM: 0

Cliente: MINERA AUREA, S.A. DE C.V.  
Dirección: BOSQUE DE DURAZNOS No.69A,  
Colonia: BOSQUES DE LAS LOMAS  
Municipio: MIGUEL HIDALGO  
Estado: Distrito Federal

Código Postal 11700

Origen: Hidrotermal

Clasificación: Brecha mineralizada

Observaciones: Los porcentajes reportados, son considerando a los minerales metálicos como el 100%, los cuales se observan en la muestra en una proporción estimada del 40%.

# ANEXO III

Descripción de muestras para el  
análisis de inclusiones fluidas

**Muestra:** COI475I

**Roca encajonante:** Pórfido riolítico

**Color:** Gris pardo con tonos blancos

**Textura:** Cuarzo bandeado, hacia el centro se observa evidencia de drusas sin embargo ha sido enmascarada por cuarzo recrsitalizado, donde la sílice ha rellenado las oquedades entre los cristales, algunas bandas se observan en tonos rojos aparentemente como cuarzo amatista.

**Orientación:** No fue posible orientar la muestra debido a que fue tomada en interior mina, donde es difícil precisar su disposición.

**Características:** Se observa algo de alteración caolinítica con pirita y calcopirita diseminada, así como pequeños cristales de esfalerita y galena, 30 cm de longitud

**FOTO**



**Muestra:** ACHI-05

**Roca encajonante:** Granito

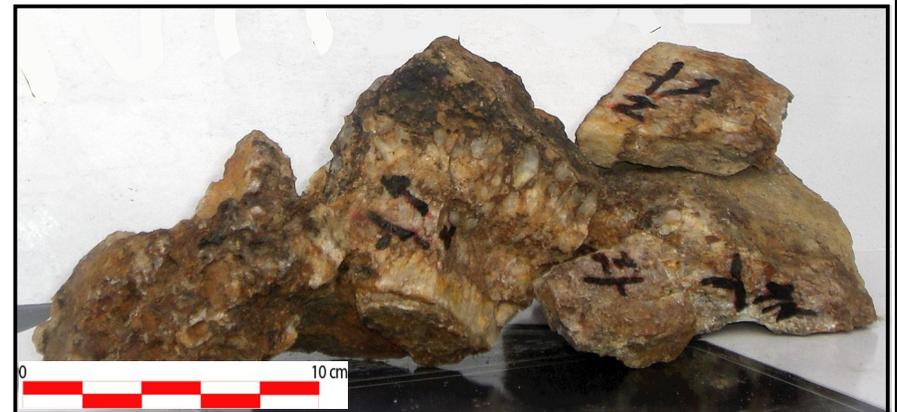
**Color:** Ocre

**Textura:** Con un desarrollo muy evidente de los cristales en las drusas, de hasta 5 cm de longitud, la textura vuggy en contraste no es muy contundente y se aprecian oquedades de algunos milímetros de diámetro, además de pequeños cristales de cuarzo eudral en oquedades.

**Orientación:** Rumbo: NW50° Buzamiento, vertical

**Características:** Mayor presencia de hematita no oxidada, así como carbonatos y sulfosales, los fragmentos miden entre 10 y 20 cm

**FOTO**



**Muestra ACHI-02**

**Roca encajonante:** Pórfido riolítico

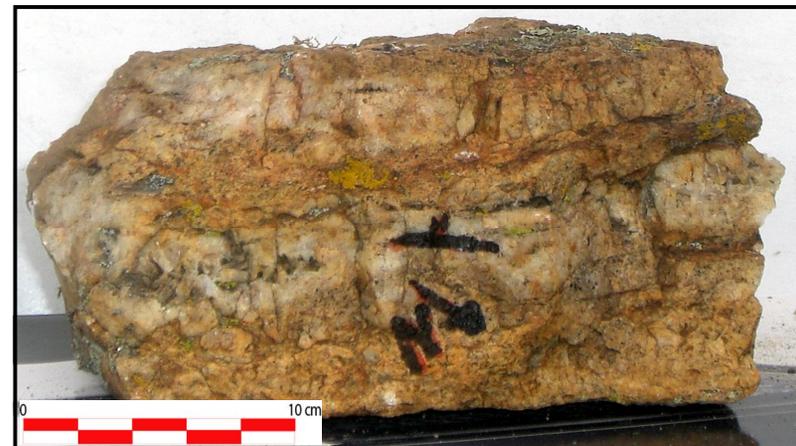
**Color:** Rosa claro

**Textura:** Prácticamente bandas de cuarzo con drusas, la textura vuggy es difícil de apreciar, pues solo se distinguen algunas oquedades de máximo 2 mm de diámetro.

**Orientación:** Rumbo: NW26° Buzamiento: 64°SW

**Características:** De 25 cm de longitud, se encuentra muy fracturada en la misma dirección de emplazamiento de las bandas de cuarzo, se observa alteración caolinítica. Aún cuando la roca encajonante es el pórfido. La localidad donde se recolectó la muestra se encuentra emplazada en tobas.

**FOTO**



**Muestra:** MLF01

**Roca encajonante:** Pórfido riolítico

**Color:** Marrón con tonos oscuros

**Textura:** Cuarzo con mayor evidencia de vuggys, lo que prácticamente no permite apreciar la textura de drusas, sin embargo persisten algunos cristales subedrales y euedrales que se formaron con las drusas

**Orientación:** Rumbo: NW40° Buzamiento: 52°SW

**Características:** De 25 cm de longitud, se observa hematita y sobre todo alto porcentaje de covelita, la cual se depositó en oquedades. Con alteración caolinítica

**FOTO**



**Muestra:** SNJ09

**Roca encajonante:** Pórfido riolítico

**Color:** Blanco con tonos rojizos

**Textura:** Bandas de cuarzo con drusas y vuggs de hasta 5 cm de espesor.

**Orientación:** Rumbo: SE19° Buzamiento: 65°SW

**Características:** De 50 cm de longitud, sumamente brechada con fragmentos de cuarzo de angulosos a subangulosos, con relleno de sílice en fracturas, fracturamiento multidireccional.

**FOTO**



**Muestra:** MLLU02

**Roca encajonante:** Pórfido riolítico

**Color:** Gris con tonos verdosos

**Textura:** Intercalación de bandas de cuarzo de color blanco y gris, en las bandas drusas sumamente cerradas y recristalización

**Orientación:** No fue posible obtener los datos exactos de rumbo y buzamiento de la muestra debido a que fue tomada en interior mina, donde es difícil precisar su disposición.

**Características:** La muestra tiene alto contenido de arcillas derivadas de la roca encajonante, así como azufre y pequeños cristales de hematita diseminados.

**FOTO**



**Muestra MCC02**

**Roca encajonante:** Pórfido riolítico

**Color:** Ocre

**Textura:** Cuarzo bandeado en la misma dirección que el rumbo de la estructura, drusas y pequeños cristales euhedrales de cuarzo, en los planos entre bandas se observa cuarzo vuggy, algunas bandas están conformadas por sílice calcedónica.

**Orientación:** No fue posible orientar la muestra debido a que fue tomada en interior mina, donde es difícil precisar su disposición.

**Características:** De 20 cm de longitud, entre las bandas hay planos con galena y otros sulfuros oxidados.

**FOTO**



**Muestra:** MSJ04

**Roca encajonante:** Pórfido riolítico

**Color:** Ocre

**Textura:** La textura es predominantemente de cuarzo vuggy, en estas oquedades se deposita hematita y goethita-limonita con textura botroidal, en las oquedades del cuarzo vuggy hay cristales de cuarzo euedrales bien desarrollados.

**Orientación:** Rumbo: NW70° Buzamiento, vertical

**Características:** De 20 cm de longitud, con alteración caolinitica.

**FOTO**



**Muestra:** MLE02

**Roca encajonante:** Pórfido riolítico

**Color:** Ocre

**Textura:** Bandas en diferentes direcciones con drusas, en algunas oquedades se aprecian cristales euedrales de hasta 1 cm de longitud, en los fragmentos más pequeños se observa cuarzo vuggy

**Orientación:** Rumbo: SW37° Buzamiento: 80°NW

**Características:** Fragmentos de 5 a 15 cm de longitud.

FOTO



**Muestra:** SNJ05

**Roca encajonante:** Pórfido riolítico

**Color:** Ocre

**Textura:** Bandas de cuarzo drusado, sobre estas mismas bandas se observa textura vuggy sobrepuesta. Aparentemente se observa una intercalación entre las bandas de drusas y bandas con textura vuggy

**Orientación:** Rumbo: SE25° Buzamiento: 72°SW

**Características:** De 10 cm de longitud aproximadamente, con esfalerita y hematita, fracturamiento perpendicular al rumbo de la estructura.

**FOTO**



**Muestra:** MLSU02

**Roca encajonante:** Pórfido riolítico

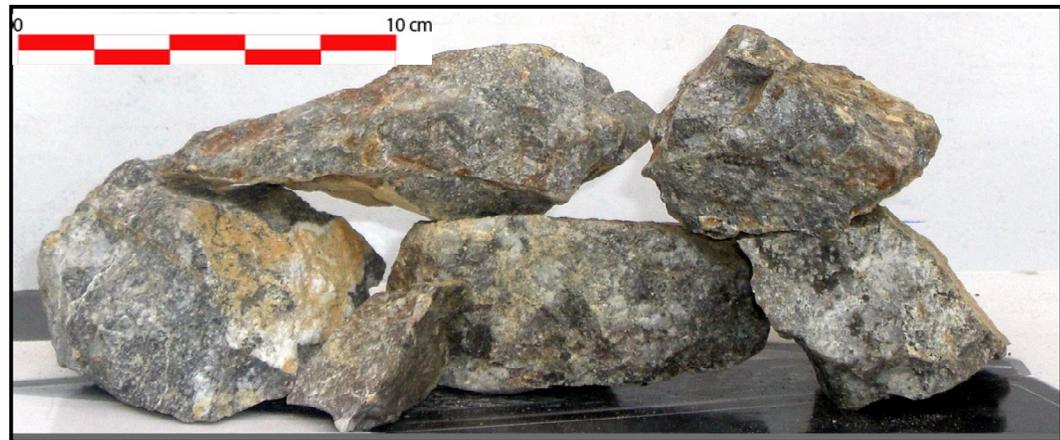
**Color:** Pardo

**Textura:** En general se observa cuarzo masivo, con algunas bandas de máximo 5 cm de espesor de cuarzo drusado.

**Orientación:** No fue posible orientar la muestra debido a que fue tomada en interior mina, donde es difícil precisar su disposición.

**Características:** De 8 cm de longitud, sedosa al tacto por arcillas de la roca encajonante, algunos sulfuros oxidados como pirita además se observa hematita en vetillas muy delgadas rellenando microfracturas.

**FOTO**



**Muestra:** MSM01

**Roca encajonante:** Pórfido riolítico

**Color:** Rojizo

**Textura:** Cuarzo bandeado con drusas y textura vuggy en las mismas, en las bandas se observan curvadas y con oquedades.

**Orientación:** Rumbo: SE54 Buzamiento: 68°SW

**Características:** De 15 cm de longitud, con alteración caolinítica

**FOTO**



**Muestra:** MP04

**Roca encajonante:** Pórfido riolítico

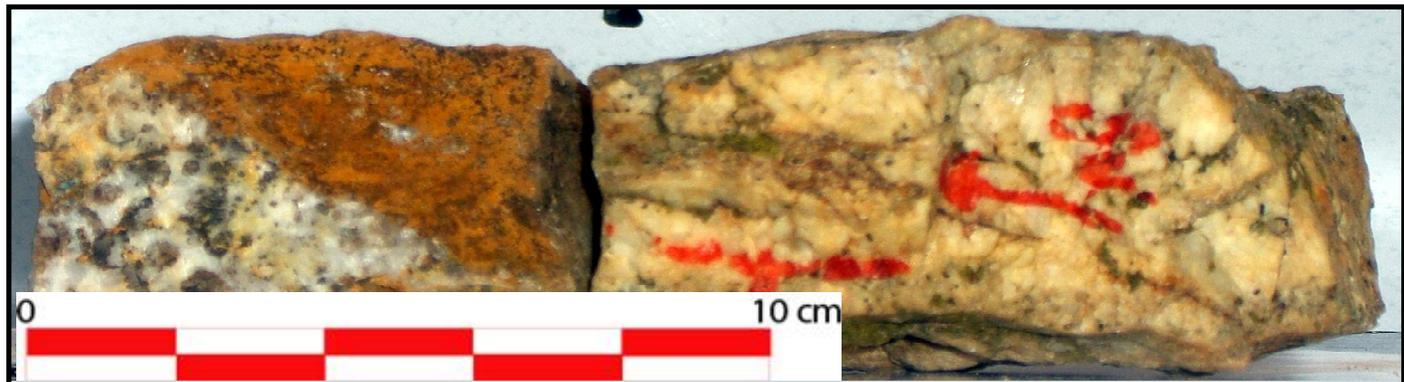
**Color:** Ocre

**Textura:** Bandas de cuarzo con drusas de hasta 3 cm de espesor

**Orientación:** Rumbo: E-W Buzamiento: 38°S

**Características:** De pocos centímetros de longitud, no corresponde con la disposición del sistema San Jorge ni el de Chicharra

**FOTO**



**Muestra:** MV-02

**Roca encajonante:** Pórfido riolítico

**Color:** Marrón

**Textura:** Bandeada, con cuarzo drusado y textura vuggy sobre impuesta, se aprecia recristalización, algunos cristales de cuarzo eudral se desarrollaron en oquedades y otros se encuentran precisamente como parte de las drusas

**Orientación:** Rumbo: NE07° Buzamiento: 40°NW

**Características:** Los fragmentos miden de 10 a 15 cm, se observa alteración caolinítica, con hematita oxidada de color rojo.

**FOTO**



**Muestra:** MCM103

**Roca encajonante:** Pórfido riolítico

**Color:** Rosa, con tonos de ocre

**Textura:** En general se observa cuarzo masivo, aunque también se llegan a observar algunas bandas del mismo cuarzo y zonas donde se concentra hematita

**Orientación:** No fue posible orientar la muestra debido a que fue tomada en interior mina, donde es difícil precisar su disposición.

**Características:** De 30 cm de longitud, se observa alteración argílica y caolinítica, además de sílice recristalizada en fracturas.

**FOTO**



**Muestra:** AM04

**Roca encajonante:** Pórfido riolítico

**Color:** Ocre

**Textura:** Se aprecia claramente cuarzo vuggy en contacto con drusas.

**Orientación:** Rumbo: NE07° Buzamiento: 40°NW

**Características:** A diferencia de otras muestras, la alteración se observa como una costra de caolín y arcilla, con aspecto brechado, los clastos de cuarzo miden hasta 5 cm, además de observarse hematita

**FOTO**





SE

SECRETARÍA  
DE ECONOMÍA



# ANEXO IV

## Certificados de inclusiones fluidas





**SE**

SECRETARÍA  
DE ECONOMÍA



*Subgerencia de Experimentación Oaxaca.  
Caracterización de Materiales.*

**ESTUDIO DE INCLUSIONES FLUIDAS REALIZADO A DIECISEIS  
MUESTRAS ENVIADAS POR ABIGAIL JIMENEZ FRANCO**

**Oaxaca, Oax., Abril de 2009**





**SE**

SECRETARÍA  
DE ECONOMÍA



**REALIZADO POR: Ing. David Esponda Ortiz**

**SOLICITADO POR: Abigail Jiménez Franco  
Tesisista UNAM**



Carretera a San Lorenzo Cacaotepec km 0.5, San Pablo Etla Oaxaca, C. P. 68258, Oaxaca, Oax, México  
Tel. y Fax. (01-951) 51 8 75 90 y (01-951) 51 8 76 55.; [ceoaxaca@coremisgm.gob.mx](mailto:ceoaxaca@coremisgm.gob.mx) , [www.coremisgm.gob.mx](http://www.coremisgm.gob.mx)





SE

SECRETARÍA DE ECONOMÍA



ESTUDIO DE INCLUSIONES FLUIDAS A DIECISEIS MUESTRAS ENVIADAS POR ABIGAIL JIMENEZ FRANCO (TESISTA UNAM)

No. MUESTRA	T. HOMOGENEIZACIÓN	T. FUSIÓN	SALINIDAD % EN PESO DE NaCl EQUIVALENTE	DENSIDAD g/cm <sup>3</sup>
ACHI - 02	323 . 7			
	332 . 1			
	333 . 3			
	335 . 2			
	336 . 9			
	348 . 9			
	349 . 8			
	350 . 4			
	300 . 1			
	353 . 2	- 8 . 6	12 . 42	0 . 774
	355 . 7	- 8 . 2	11 . 95	0 . 768
	357 . 6			
	359 . 0	- 8 . 5	12 . 30	0 . 772
	359 . 2			
	363 . 7	- 8 . 9	12 . 78	
	372 . 6			
373 . 8				
374 . 5				
377 . 7				
383 . 5				
387 . 4				
ACHI - 05	295 . 5	- 12 . 0	16 . 04	
	299 . 6	- 9 . 0	12 . 88	
	310 . 2	- 8 . 7	12 . 53	
	319 . 2	- 11 . 7	15 . 75	
	328 . 0	- 11 . 7	15 . 75	
MLE - 02	318 . 0			
	348 . 7	- 12 . 2	16 . 24	
	352 . 4	- 12 . 6	16 . 62	
	353 . 9	- 7 . 7	11 . 35	





SE

SECRETARÍA  
DE ECONOMÍA



	354 . 1	- 12 . 0	16 . 04	
	354 . 6	- 8 . 4	12 . 19	
	362 . 0	- 8 . 2	11 . 95	
	363 . 3	- 8 . 2	11 . 95	
	366 . 3			
	378 . 1			
	383 . 5			
	385 . 6			
	242 . 7			
	250 . 0			
MLF - 01	258 . 5	- 9 . 5	13 . 44	
	385 . 1	- 9 . 3	13 . 22	
	392 . 1	- 10 . 1	14 . 09	
	398 . 6	- 10 . 0	13 . 99	
	282 . 2			
	321 . 7	- 10 . 9	14 . 94	
	322 . 1	- 9 . 2	13 . 10	
MCC - 02	322 . 2	- 9 . 5	13 . 44	
	328 . 9	- 10 . 0	13 . 99	
	332 . 5			
	338 . 8			
	342 . 4			
	350 . 7			
	321 . 6			
	321 . 7			
	370 . 9	- 11 . 1	15 . 14	
	379 . 5	- 11 . 3	15 . 35	
COI 475I	387 . 8			
	388 . 3	- 7 . 7	11 . 35	
	388 . 3	- 7 . 9	11 . 59	
	388 . 8			
	389 . 6			
	390 . 5			





SE

SECRETARÍA  
DE ECONOMÍA



MLLU - 02	258 . 5			
	335 . 5			
MSJ - 04	326 . 1			
	417 . 7			
	427 . 8			
	443 . 2			
	449 . 7			
AM - 04	283 . 5			
	288 . 4			
	299 . 3			
	326 . 7			
	380 . 3	- 8 . 6	12 . 42	
	381 . 7	- 9 . 4	13 . 33	
	385 . 7	- 9 . 4	13 . 33	
	392 . 6			
	397 . 1			
	398 . 9			
401 . 8				
MP - 04	298 . 5	- 8 . 5		
	304 . 6	- 8 . 5		
	307 . 6	- 7 . 9		
	321 . 3	- 7 . 8		
	324 . 6	- 10 . 3		
	327 . 7			
	337 . 2			
	338 . 7			
	339 . 3			
	359 . 8			
364 . 9				





SE

SECRETARÍA  
DE ECONOMÍA



SNJ - 09	274 . 7			
	379 . 8			
MV - 02	322 . 5			
	340 . 3			
	387 . 7			
	388 . 1			
	395 . 3			
MLSU – 02	388 . 5			
	399 . 3			
	401 . 2			
	401 . 7			
	405 . 6			
MCM I 03	339 . 8			
	342 . 7			
	342 . 9			
	348 . 2			





SE

SECRETARÍA  
DE ECONOMÍA



--	--	--	--	--

**COMENTARIOS:** De manera general podemos decir, que el sistema hidrotermal estudiada presenta temperaturas mínimas de formación que caen dentro de la clasificación de yacimientos epítomales a mesotermiales, existiendo entre algunas de las muestras un rango de variación hasta de 100 °C. Por otra parte, las salinidades reportadas en cada una de las muestras tienen poco rango de variabilidad, correspondiendo sus salinidades a salmueras con salinidades intermedias. Por otra parte, considerando que las muestras marcadas como MLF-01, MCC-02 y COI-4751, presentan evidencia de ebullición, caracterizado este por la presencia de inclusiones fluidas ricas en vapor e inclusiones fluidas ricas en líquido marcando estos eventos de ebullición la precipitación o depositación tanto de minerales base como de minerales preciosos en esos niveles de las estructuras estudiadas. Es importante considerar también cual es el comportamiento de las temperaturas mínimas de formación en cada una de las estructuras estudiadas para tener en cuenta directrices que hagan más exitosa la exploración.

Realizó

Revisó

Aprobó

Ing. David Esponda Ortiz.

Ing. David Esponda Ortiz  
Jefe de Caracterización de  
Materiales.

