



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE INGENIERÍA
INSTITUTO DE GEOLOGÍA
POSGRADO EN GEOLOGÍA APLICADA**



**“ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA SIERRA DEL FRAILE Y SISTEMAS DE
MINERALIZACIÓN DEL DISTRITO MINERO LA PAZ, S.L.P.”**

**TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS EN
GEOLOGÍA APLICADA**

PRESENTA:

ING. JOSÉ MANUEL GONZÁLEZ OCHOA

DIRECTOR DE TESIS:

DR. MARGARITO TRISTÁN GONZÁLEZ

SAN LUIS POTOSÍ, S.L. P, NOVIEMBRE 2013



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE SAN LUIS POTOSÍ

19 de septiembre de 2013

**AL ING. JOSÉ MANUEL GONZÁLEZ OCHOA
P R E S E N T E.**

En atención a su solicitud de Temario, presentada por el **Dr. Margarito Tristán González**, Asesor de la Tesis que desarrollará Usted, con el objeto de obtener el Grado de *Maestría en Ciencias en Geología Aplicada*. Me es grato comunicarle que en la Sesión de Consejo Técnico Consultivo celebrada el día 19 de septiembre del presente año, fue aprobado el Temario propuesto:

TEMARIO:

**“ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA SIERRA DEL FRAILE Y SISTEMAS
DE MINERALIZACIÓN DEL DISTRITO MINERO LA PAZ, S.L.P..”**

- I. Generalidades.
- II. Marco Geológico Regional.
- III. Geología de la Sierra del Fraile.
- IV. Análisis Estructural de la Sierra del Fraile.
- V. Yacimientos Minerales del Distrito Minero la Paz
- Conclusiones.
- Bibliografía



90
AÑOS DE
AUTONOMÍA
UASLP
Primera Universidad
Autónoma en México

“MODOS ET CUNCTARUM RERUM MENSURAS AUDEBO”

A T E N T A M E N T E

M. I. JORGE ALBERTO PÉREZ GONZÁLEZ
DIRECTOR



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCION



**FACULTAD
DE INGENIERÍA**

Av. Manuel Nava 8
Zona Universitaria • CP 78290
San Luis Potosí, S.L.P.
tel. (444) 826 2330 al39
fax (444) 826 2336
www.uaslp.mx

Copia. Archivo
*etn.

“90 Años de Autonomía, UASLP Primera Universidad Autónoma en México”

Dedicatoria

A mi esposa María Concepción, mis hijos Manolo y Moni, por su amor, pero sobre todo por su infinita paciencia al tener un estudiante más en casa, en todo caso lo que hoy se logre es todo mérito de ustedes, los quiero.

Manuel.

Agradezco :

A mi familia NEMISA:

Rocío Torres Calzada y José Cerrillo Chowell, por enseñarme que la palabra mágica es voluntad y hacerme sentir su apoyo irrestricto.

A cualquier fuerza o voluntad en el cosmos, se llame como se llame, porque al final cuando caiga la máscara de la naturaleza veremos su verdadero rostro:

Dios, Cristo, Ala, Yahvé, Buda.

A mis profesores del Instituto de Geología que más que materias me re enseñaron a pensar:

Margarito Tristán por ser mi asesor y mi amigo, Ramón Torres por llamarme siempre a la paciencia, Delfino Ruvalcaba por salir generosamente de su retiro y ayudarme, Alfredo Aguillón, Rafael Barboza, Rubén López, Ricardo Saucedo, Damiano Sarochi y Yan Zul Ocampo.

Del Área Ciencias de la Tierra:

Javier Muñoz y Javier Castro.

Con afecto a mis compañeros de escuela, fue una fortuna tenerlos a mi lado:

Meche Zavala, Wendy Puente, Alfredo De la Calleja y David Contreras.

En especial a mis amigos Jimie Tovar, Julián Barbosa, Cari Castillo, Irasema Castillo y al duende árabe Memo Turner Saad.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología como becario registro 439810

CONTENIDO	PÁGINA
Lista de figuras	I
Resumen	1
I.GENERALIDADES	
I.1. Localización del área de estudio	4
1.2. Introducción	7
I.3. Trabajos previos	8
1.4. Objetivo	14
1.5. Metodología	15
1.6. Provincias Geológicas y Fisiográficas	18
II.MARCO GEOLÓGICO REGIONAL	
II.1. Evolución geológica mesozoica	22
II.1.1. Cuenca Mesozoica del Centro de México	22
II.1.2. Plataforma Valles-San Luis Potosí	24
II.1.3. Terreno tectonoestratigráfico Sierra Madre Oriental	27
III. GEOLOGÍA DE LA SIERRA DEL FRAILE	
III.1. Geología general	30
III.2. Estratigrafía de la Sierra Del Fraile	35
IV. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA SIERRA DEL FRAILE	
IV.1.Orogenia Laramide	46
IV.1.1. Introducción	46
IV.1.2. Estilo de deformación	47
IV.1.3. Edad de la deformación	48

IV.1.4. La deformación Laramide en la región oriental de México	49
IV.2. Provincia extensional de Cuencas y Sierras	50
IV.2.1. Introducción	50
IV.2.2. Cuencas y Sierras en la porción meridional de México	50
IV.2.3. Relación de la extensión y magmatismo del Terciario en la Mesa Central	51
IV.3. Geología estructural	52
IV.3.1. Descripción de las estructuras de la Sierra del Fraile	52
IV.3.2. Análisis estructural	70
IV.3.2.1. Análisis estructural de la sección A-A'	70
IV.3.2.2. Análisis estructural de la zona nor oriental de la Sierra del Fraile	77
IV.3.2.3. Análisis estructural de la zona central de la Sierra del Fraile	80
IV.3.2.4. Análisis estructural de la Gran Falla	84
IV.3.2.5. Análisis estructural de las vetas (diques) y fallas normales en conjunto Gran Falla, Falla Membrillo y Falla Oriental	85
IV.3.2.6. Análisis estructural de fallas normales conjugadas	87
V.YACIMIENTOS MINERALES DEL DISTRITO MINERO LA PAZ	
V.1. Introducción	90
V.2. Zonas mineralizadas en <i>skarn</i> y vetas	90
V.3. Tipos de yacimientos del distrito minero La Paz	94
V.3.1. Zona de vetas	97
V.3.2. Zona de <i>skarn</i>	103
V.3.3. Relación de las formaciones sedimentarias con la mineralización	107

V.3.4. Alteraciones y enriquecimiento	108
CONCLUSIONES	112
BIBLIOGRAFÍA	116
LISTA DE HOJAS DE LEVANTAMIENTO	124
ANEXO PLANO ESTRUCTURAL SIERRA DEL FRAILE	

LISTA DE FIGURAS	PÁGINA
Figura 1. Plano de localización del Distrito Minero La Paz	4
Figura 2. Ubicación del Distrito Minero La Paz, S.L.P.	5
Figura 3. Plano de carreteras y acceso a zona de estudio.	6
Figura 4. Diagrama de recopilación de información	15
Figura 5. Provincias Fisiográficas de México	19
Figura 6. Provincias Geológicas	21
Figura 7. Diagrama esquemático de los ambientes de depósito entre la Plataforma Valles-San Luis Potosí y la Cuenca Mesozoica del Centro de México.	23
Figura 8. Plano de Localización Plataforma Valles – San Luis Potosí	26
Figura 9. Terrenos Tectonoestratigráficos de México.	29
Figura 10. Plano Geológico simplificado Distrito Minero La Paz.	32
Figura 11. Columna Estratigráfica Distrito Minero La Paz.	34
Figura 12. Formación Tamaulipas Superior, Sierra del Fraile, mostrando detalle de pedernal negro en <i>boudinage</i> (A), y estratificación (B).	37
Figura 13. Formación Cuesta del Cura, Sierra del Fraile, mostrando detalle de pedernal blanco (A), y estratificación (B).	39
Figura 14. Formación Agua Nueva, Sierra del Fraile, mostrando intercalación de material terrígeno y caliza (A), y estratificación (B).	41
Figura 15. Formación San Felipe, Sierra del Fraile, intercalación de lutita y capas de caliza (A), estratificación (B).	43
Figura 16. Formación Méndez, Sierra del Fraile, estratificación delgada y foliación (A), panorámica (B).	45

Figura 17. Contacto discordante entre Formación Méndez y San Felipe, Sierra del Fraile, mostrando falla inversa (A) y panorámica (B).	54
Figura 18. Pliegue en el flanco oriente Sierra del Fraile, mostrando un antiforme (A) y sinforme (B).	57
Figura 19. Sistema de pliegues y fallas, sur poniente Sierra del Fraile, mostrando una falla normal y un pliegue (A) y falla inversa y un pliegue (B).	58
Figura 20. Panorámica de la Gran Falla vista de norte a sur, flanco oriente Cerro del Fraile, mostrando <i>pitch</i> (A) y panorámica (B).	60
Figura 21. Falla Diagonal mostrando <i>pitch</i> (A) y afloramiento Gran Falla al norte Mina Cobriza (B).	61
Figura 22. Falla normal Cobriza NE (A) y Falla Inversa sistema fallas Aquerón (B).	64
Figura 23. Sistema Fallas Frailecillo rumbo SW-NE, mostrando desplazamiento (A) y plegamiento (B).	65
Figura 24. Zona de falla inversa en Formación Méndez, conducto para la Intrusión con alto ángulo (A) y bajo ángulo (B).	66
Figura 25. Afloramiento intrusivo en Sierra del Fraile, panorámica (A) y detalle (B).	68
Figura 26. Colgantes de caliza (<i>roof pendant</i>), Sierra del Fraile, zona Mina Dolores mostrando aun estratificación en el material metasedimentario (A) y bloques (B).	69
Figura 27. Sección A-A´.	73

Figura 28 A y B Estereogramas Sección A-A', zona SW planos S_0 (A) y estrías (B).	74
Figura 28 C Estereogramas Sección A-A', zona NE planos S_0	75
Figura 29 A y B Estereogramas Sección A-A', pliegues (A) y fallas (B)	76
Figura 30 A y B Estereogramas zona nororiental Sierra del Fraile Mina Cobriza, planos S_0 (A), pliegues (B)	79
Figura 30 C Estereogramas zona nororiental Sierra del Fraile Mina Cobriza, fallas normales	80
Figura 31 A y B Estereogramas zona central Sierra del Fraile, planos S_0 (A) y pliegues (B)	82
Figura 31 C Estereograma zona central Sierra del Fraile, fallas normales	83
Figura 32. Estereogramas Gran Falla, Sierra del Fraile, definiendo VP (A) y sigma 1 (B).	84
Figura 33 A y B Estereogramas vetas y diques (A), fallas normales (B)	86
Figura 33 C Estereograma relación vetas, diques y fallas normales	87
Figura 34. Estereogramas fallas conjugadas.	87
Figura 35. Líneas de levantamiento	89
Figura 36. Proyección de principales vetas y fallas	92
Figura 37. Sección idealizada poniente-orientado viendo al norte y sur-norte viendo al poniente.	93
Figura 38. Zoneamiento antiguo Distrito Minero La Paz.	95
Figura 39. Zoneamiento propuesto en el Distrito Minero La Paz.	96

Figura 40. Intrusivo Granodiorita, mostrando alteración argílica (A) y clorítica (B).	98
Figura 41. Modelo de vetas y zoneamiento de <i>skarn</i> .	99
Figura 42. Veta en contacto con zona de <i>skarn</i> , arreglo de <i>stock work</i> (A) y acercamiento (B), en la Mina Dolores.	100
Figura 43. Zoneamiento Litológico y paragénesis.	102
Figura 44. Zoneamiento Litológico, en contacto intrusivo- <i>skarn</i> (A) y <i>skarn</i> -caliza	105
Figura 45. Ejemplares de <i>skarn</i> mineralizados de la Mina Dolores (A) y Mina Cobriza (B)	106

Resumen

La zona de estudio se ubica en la provincia geológica “Cinturón Mexicano de Pliegues y Fallas” de la provincia fisiográfica Sierra Madre Oriental en el límite con la Mesa Central. Paleogeográficamente se localiza en el límite de la plataforma Valles-San Luis Potosí y la Cuenca Mesozoica del Centro de México. La sucesión sedimentaria marina que aflora en el área pertenece a un paquete que abarca desde el Cretácico Temprano al Cretácico Tardío, las cuales fueron intrusionadas en el Terciario por un cuerpo plutónico de granodiorita formando zonas amplias de *skarn*. La secuencia sedimentaria fue afectada por un evento tectónico conocido como orogenia Laramide a fines del Cretácico y principios del Terciario, que ocasionó un acortamiento de la secuencia con dirección de transporte tectónico al ENE, dando origen a un conjunto de pliegues, fallas inversas y cabalgaduras. Durante el Terciario medio la zona estuvo expuesta a una tectónica extensional, que dio origen a la formación de fosas tectónicas limitadas por serranías paralelas que forman parte del sistema de Cuencas y Sierras. Esta tectónica está registrada en el distrito por un sistema de fallas normales escalonadas con dirección de inclinación de sus planos al ENE, donde la falla más sobresaliente del distrito es la Gran Falla Dolores o Gran Falla. En este trabajo se estimó un salto de falla de 750 m. La Gran Falla tiene rumbo general norte-sur con una inclinación promedio de 75°E y un componente oblicuo lateral izquierdo. Una serie de fallas normales paralelas a la Gran Falla generan una serie de bloques escalonados hacia el Graben de Matehuala. En el flanco oriente de la Sierra del Fraile se encuentra una serie de fallas normales sintéticas de orientación NE-SW casi diagonales a la

Gran Falla conocidas como Sistema de Fallas Cobriza SW; que coinciden en su rumbo con la zona mineralizada de Cobriza (Sector SE, cuerpo 21-21). La Falla Cobriza NE, tiene a su vez una semejanza de rumbo con la zona mineralizada (Sector NE, cuerpo 78-01). Todas las fallas normales descritas son posteriores al proceso de mineralización, y probablemente correspondan al Oligoceno tardío y principios del Mioceno temprano. El rumbo de las fallas laramídicas, predominantemente NW-SE, en algunos casos es casi paralelo a los ejes de los anticlinales. Son fallas inversas resultado del acortamiento durante la orogenia, estas fallas inversas facilitaron el emplazamiento de diques y cuerpos de intrusivos. Aunque la mayoría de los ejes de los pliegues tienen una orientación NNW-SSE, hacia la porción central-sur de la Sierra del Fraile, los pliegues son recostados con vergencia al ENE, donde el núcleo de la estructura lo ocupa la Formación Tamaulipas Superior. La mayoría de los pliegues son antiformes y sinformes y recostados. La Sierra del Fraile no puede considerarse como una estructura anticlinal recumbente como se ha venido describiendo hasta la fecha, más bien es una serie de imbricaciones tectónicas, con transporte tectónico al ENE.

La granodiorita se encuentra intrusionando a toda la secuencia marina de la Sierra del Fraile, siendo más notoria en su parte central donde dejó cuerpos de sedimentos marinos como colgantes transformados a *skarn*. En el bloque oriente de la sierra afloran diques y apófisis del intrusivo, lo que sugiere que pudiesen encontrarse nuevas zonas mineralizadas, cercanos o contiguos a la zona de vetas en el valle; como el cuerpo Santa Teresa. De confirmarse estas probabilidades, se

modificaría de manera sustancial el modelo antiguo de zoneamiento previamente propuesto, más aun, se tendría más bases para confirmar el nuevo modelo que se plantea en este trabajo. El depósito de alta temperatura es definido de dos maneras: desde el punto de vista económico como un *skarn* de cobre, ya que este es el producto principal; la segunda definición como un *skarn* cálcico, ya que las formaciones sedimentarias que generaron a esta roca huésped de la mineralización están constituidas principalmente de caliza. La mineralización es predominantemente de sulfuros de cobre. En tanto que en la zona mesotermal las estructuras son vetas de un espesor no mayor al metro, constituidas con minerales de plata, plomo y zinc.

I.GENERALIDADES

I.1.Localización del área de estudio

La zona de estudio se ubica dentro del Distrito Minero La Paz, alberga una sola empresa, Negociación Minera Santa María de la Paz y Anexas (NEMISA), se puede considerar como la empresa decana dentro de la minería nacional pues está trabajando desde el año 1864 de manera ininterrumpida.

El Distrito Minero La Paz, se localiza a 187 km al norte de la ciudad de San Luís Potosí, en el estado del mismo nombre y en el municipio de La Paz, a 8 km al poniente de la ciudad de Matehuala. Sus coordenadas geográficas con respecto al meridiano de *Greenwich* tomando cuatro puntos como referencia son: al norte, el primero con coordenadas $100^{\circ} 48' 18''$ W, $23^{\circ} 43' 31''$ N; el segundo $100^{\circ} 40' 18''$ W, $23^{\circ} 43' 31''$ N; al sur, el tercero con coordenadas $100^{\circ} 48' 18''$ W, $23^{\circ} 37' 44''$ N; el cuarto $100^{\circ} 40' 18''$ W, $23^{\circ} 37' 44''$ N (Figura 1).

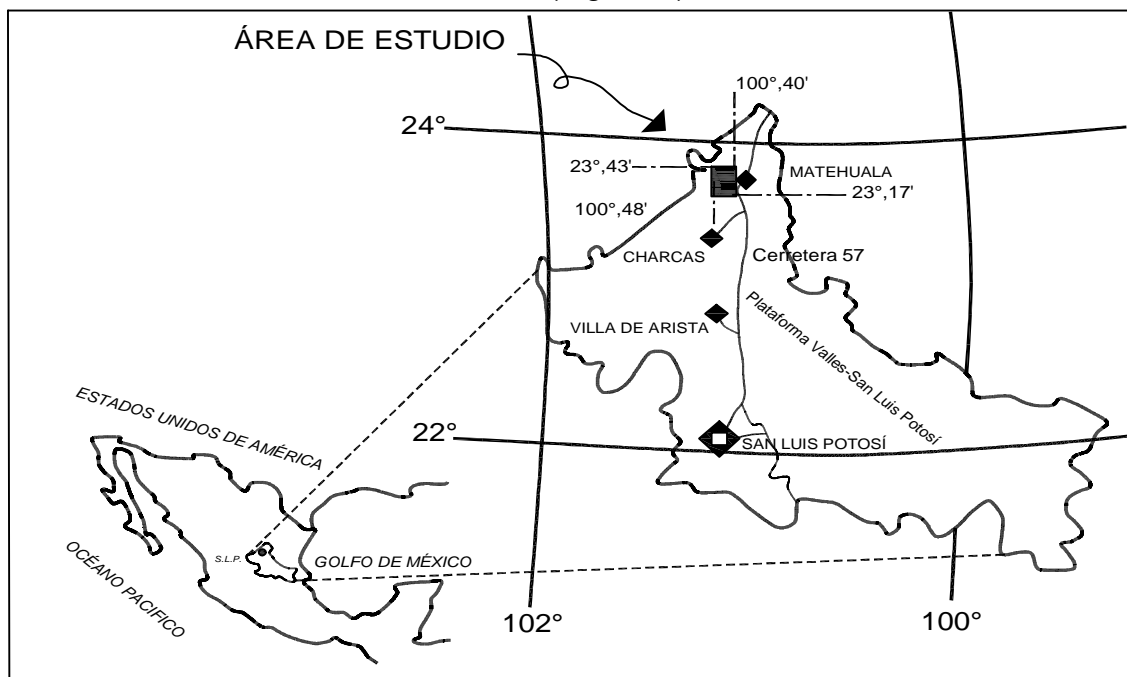


Figura 1. Plano de localización del Distrito Minero La Paz.

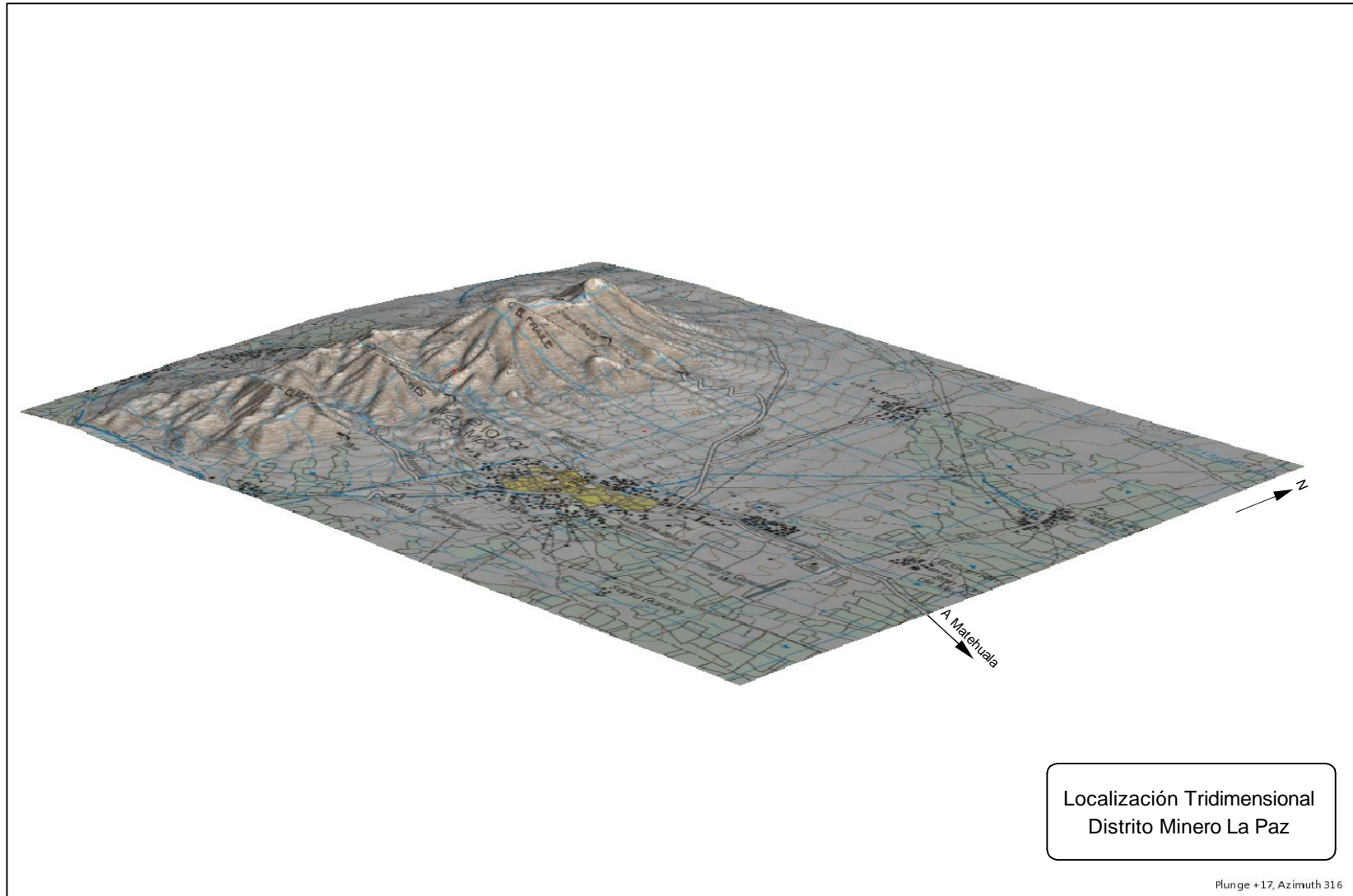


Figura 2. Ubicación del Distrito Minero La Paz, S.L.P. (Tomado de archivo digital NEMISA)

El acceso al área de estudio que se ubica en el municipio de La Paz, S.L.P. Desde la ciudad de San Luis Potosí es tomando la Autopista Federal no. 57 o mejor conocida como carretera Central hasta la ciudad de Matehuala, S.L.P. por 187 km, de ahí se toma una carretera local de 4 carriles hasta la población de La Paz por 8 km. El tránsito por el distrito es relativamente fácil ya que existe una gran cantidad de caminos de terracería en buen estado en todo el distrito.

Viniendo desde el norte específicamente de la ciudad de Monterrey la carretera es la misma no. 57 hasta Matehuala por 344 km y de ahí el camino ya mencionado por 8 km. (Figura 3)

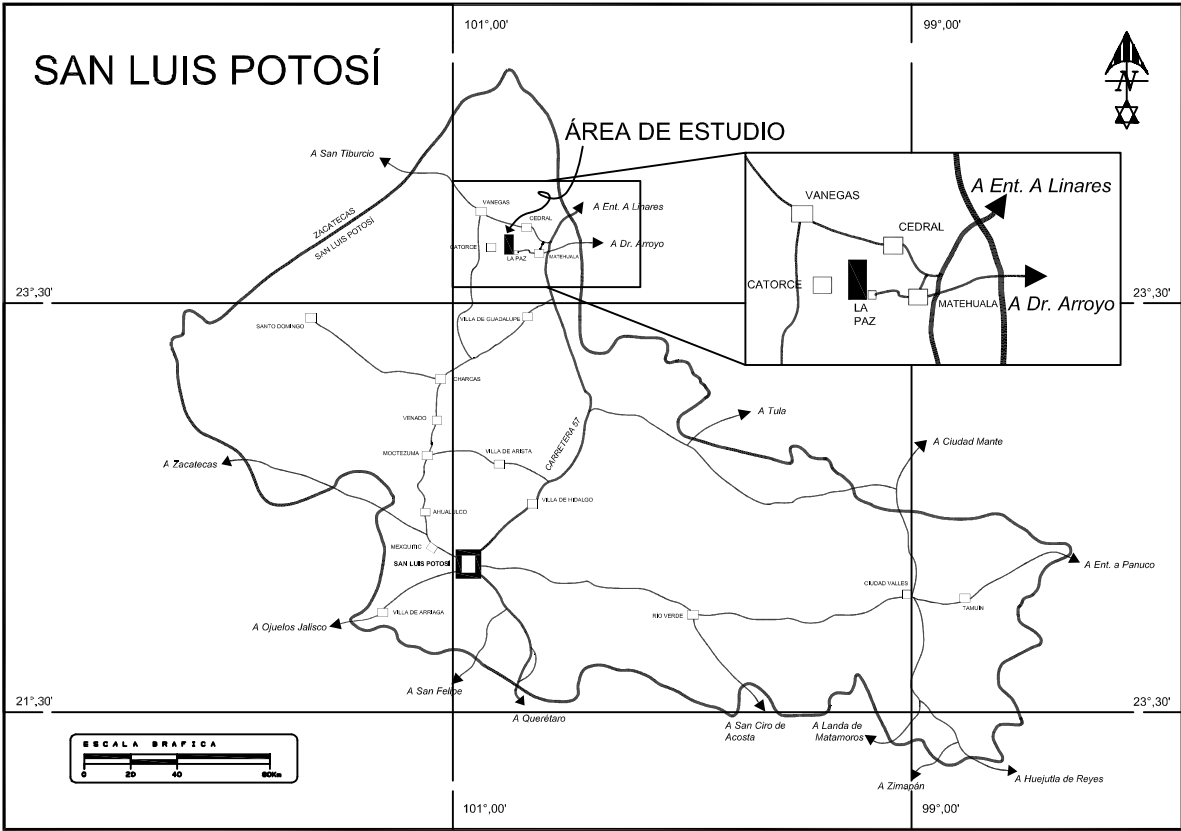


Figura 3. Plano de carreteras y acceso a zona de estudio.

I.2 .Introducción.

La zona de estudio corresponde a una serranía conocida como Sierra del Fraile, la cual se considera como parte del flanco oriental la de la Sierra de Catorce, que a su vez es un desprendimiento de la Sierra Madre Oriental (López-Ramos,1979). Que comprende a un distrito minero conocido como

El área ocupa una extensión de 13 x 13 km, donde afloran las formaciones sedimentarias del Cretácico formadas por secuencias de capas de caliza (formaciones Tamaulipas Superior, Cuesta del Cura y Agua Nueva), calizas y lutitas (Formación San Felipe) y al final por lutitas y margas (Formación Méndez). Este paquete está atravesado por un intrusivo de composición granodiorítica con una edad de 36.5 ± 1.0 Ma (Pinto-Linares *et al.*, 2005) determinado con el método U-Pb (en circones). Existen también dos afloramientos pequeños de basalto al norte y al sur de la Sierra del Fraile, así como unos diques pequeños de dacita (González-Ochoa, 2009).

El intrusivo mencionado, en contacto con las formaciones sedimentarias dio origen a un proceso metasomático y metamórfico dando como resultado la formación de cuerpos de *skarn*.

Estructuralmente la Sierra del Fraile se ha considerado por diversos autores, como parte de un anticlinal recumbente de rumbo norte-sur, recostado al oriente (Gunnesh,1992; Martinez-Herrera,1993; Pinto-Linares,2005); el cual se encuentra truncado por una falla normal con rumbo general norte-sur y buzando al oriente conocida como la Gran Falla o Falla Dolores (Spurr,1912). Esta falla dividió la parte de topografía positiva de la sierra con la negativa del valle, dejando en la

primera (bloque del piso) la mayor parte del yacimiento conocido de alta temperatura (Skarn con Cu, Au y Ag) y en el valle (bloque del techo) lo correspondiente al sistema de vetas (Ag, Pb y Zn) con mineralización meso y epitermal. Este zoneamiento fue descrito de la manera anterior por García-Gutiérrez (1967). El salto de la falla se ha manejado de manera especulativa con autores que le adjudican desde 1500 m (Spurr, 1912; García-Gutiérrez, 1967) hasta 600 m (Gunnesh, 1992).

I.3. Trabajos previos

El área cuenta con un gran número de trabajos geológicos con diferentes objetivos, como particulares (por la empresa NEMISA) que contemplan el aspecto económico, así como académicos, que versan sobre diferentes aspectos generales de la geología tales como geología de yacimientos (descripción), cartografía, mineragrafía, inclusiones fluidas, petrografía y mineralogía; cada una de ellos se ha focalizado específicamente en el objetivo particular que se perseguía, repitiendo la parte estructural y estratigráfica establecidas de tiempo atrás. Siendo estos dos últimos campos los únicos que no se han actualizado permaneciendo prácticamente intactos a la fecha desde su trabajo original.

Spurr (1912), realizó un trabajo que habla sobre la descripción geológico-estructurales, exclusivamente de la zona de *skarn* en la parte que hoy corresponde a las minas Dolores y Cobriza, establece la caída de la Gran Falla en 1500 m en la vertical; todo lo anterior dejó las bases para un entendimiento del yacimiento en la parte correspondiente a la zona de *Skarn* de Cu-Au-Ag.

García-Gutiérrez (1967), consideró que la Sierra del Fraile es un anticlinal de 6 a 7 km de largo, separado del valle por la Gran Falla, falla de tipo normal con buzamiento promedio de 75° al E y un salto vertical de cuándo menos 1500 m. Hace una descripción del yacimiento y establece un modelo de zoneamiento.

Carillo-Bravo (1971), hace una descripción de la Plataforma Valles-San Luis Potosí como un gran segmento de rocas precámbricas, paleozoicas y triásicas, plegadas y falladas, sobre el cual se depositaron una secuencia delgada de sedimentos marinos del Jurásico Superior y potentes secciones de rocas evaporíticas y calizas.

Silva-Mejía (1973), su trabajo es el primero que muestra una interpretación de la estratigrafía en las obras de los principales tiros en el distrito, en él se establecen las diferentes formaciones y sus espesores. El autor de este trabajo es a su vez el responsable de la columna estratigráfica que aún es vigente.

Carrillo-Bravo (1982), definió a la Cuenca Mesozoica del Centro de México, como una gran cuenca sedimentaria que contiene unos 700,000 km³ de sedimentos marinos con edades del Triásico al Cretácico. Su registro geológico empieza con la Formación Zacatecas del Triásico tardío en la porción centro-oriental de la Mesa Central.

Campa y Coney (1983), consideraron al terreno Sierra Madre como el antepaís cordillerano, lo definieron como un cinturón de pliegues, fallas Inversas y cuencas deposicionales asociadas.

Castro-Larragoitia (1990), en su tesis sobre petrografía y geoquímica, establece un modelo de zoneamiento para los diferentes tipos de mineralización, esto es

desde la zona de alta temperatura (*skarn*) hasta las vetas. Los tres tipos que define son: 1) yacimiento mesotermal con diferentes estructuras mineralizadas con mineralización económica Ag-Pb-Zn; 2) yacimiento epitermal con estructuras mineralizadas tipo vetas, mineralización económica Ag-Au; 3) yacimiento metasomático o de *skarn* mineralización económica Au-Ag-Cu.

Gunnesh (1992), hace una descripción del distrito minero de manera general en referencia a las intrusiones, aspecto estructural, metamorfismo y mineralización, establece que los depósitos minerales de la zona de estudio, al igual que otros de la Mesa Central, se deben a la actividad magmática terciaria en el nororiente de México. Existen dos sistemas de fallas bien definidos, uno con dirección norte-sur y otro orientado oriente-poniente. La falla principal es conocida como Falla Dolores o Gran Falla, con rumbo norte-sur y buzamiento de 60° al oriente, poniendo en contacto lateral a la formación Méndez y Agua Nueva, debido a esta posición se considera que el desplazamiento vertical es mayor a los 500 m.

Martínez-Herrera (1993), realizó un estudio petrográfico y mineralógico, donde menciona que las secuencias sedimentarias corresponden al Cretácico Tardío, conformado por las formaciones Cuesta del Cura, Agua Nueva, San Felipe y Méndez, las cuales fueron intrusionadas por granodiorita, tonalitas, cuarzo dioritas, cuarzomonzodioritas. Las rocas metamórficas de contacto son *skarn* y mármol.

Torres-Del Ángel (1993), hace un estudio micro termométrico de inclusiones fluidas, en sus conclusiones establece tres etapas en la formación de mineral de alta temperatura, mesotermal y epitermal, además señala que existe un zoneamiento a gran escala con valores de Cu cerca de los cuerpos exhalativos

(zona Dolores-Cobriza) y Pb-Zn (San Agustín-El Pilar) alejándose de ellos con asociación de sulfosales que reflejan temperaturas menores (San Acacio).

Carta Geológica Matehuala Esc. 1:250000 del SGM (1996). Cubre una fracción del noreste del estado de Zacatecas y porciones de los estados de Nuevo León y Tamaulipas. Se expone que estratigráficamente se encuentran expuestas rocas con edades que varían del Paleozoico al Holoceno, algunos intrusivos de composición granodiorítica-monzonítica. En el aspecto estructural establece que la región se caracteriza por la abundancia de plegamientos, cuyos ejes de simetría presentan una orientación general nororiente-suroriente y noreste-suroeste, algunos de ellos afectados por fallas inversas y cabalgamientos mismos que son el resultado de procesos compresivos desarrollados posiblemente a fines del Cretácico y principios del Terciario. Durante el Terciario, se llevó a cabo el emplazamiento de cuerpos ígneos (*stocks*) originados por una fase distensiva que ocasionó fallas y *grabens* con orientación NW-SE. En relación a los yacimientos minerales de la zona de estudio habla específicamente de las minas de Dolores y Cobriza, donde la mineralización se emplazó formando depósitos tipo *skarn* de Cu-Au-Ag.

Thompson (1997), su estudio que sirvió de base para la definición del intrusivo del distrito y de los diferentes tipos de *skarn*. Se hizo un estudio petrográfico con muestras de la Mina Dolores y de la Mina Cobriza. De manera general determinó que el intrusivo es una granodiorita. En el *skarn* determinó de manera general dos grupos diferentes, en el primer grupo constituido de granate, idocrasa, diópsido, ortoclasa, calcita, trazas de esfena, epidota, apatito, actinolita, goethita y otros

minerales opacos; en el segundo de wollastonita, diópsido, cuarzo, calcita, minerales opacos y antofilita.

Torres-Aguilera (1997), su trabajo sirvió de base para la definición de los diferentes tipos de rocas y minerales del distrito sobre todo los sulfuros. Se hizo estudio petrográfico y minerográfico, tomo muestras de *skarn* encontrando dos tipos de mineralización, una de calcopirita, pirita y pirrotita; el segundo tipo de bornita.

Barboza-Gudiño y Torres-Hernández (1999), cartografiaron la carta Real de Catorce. Se expone que en el área cartografiada afloran rocas metamórficas, ígneas extrusivas e intrusivas y sedimentarias, que abarcan un rango de edades desde posiblemente el Paleozoico Superior hasta el Cretácico. En forma de troncos y diques radiales afloran algunas apófisis y diques en la zona del Cerro del Fraile, en el distrito minero de La Paz. La Sierra de Catorce puede ser descrita estructuralmente como un levantamiento tipo pilar tectónico orientado N-S, con las fosas o depresiones de Wadley al oeste y Matehuala al este, siendo la margen occidental una marcada zona de falla regional de orientación N-S con un desplazamiento vertical posiblemente de más de 600 m, la margen oriental se caracteriza por algunas sierras menores como El Cerro del Fraile, que es la expresión morfológica de una zona de intrusiones ígneas y cuerpos de tactitas, con estructuras plegadas de rocas sedimentarias cretácicas, siendo más claro un fallamiento normal N-S solo en la margen oriental del Cerro del Fraile, con desplazamiento vertical de más de 500 m. La estructura interna de la Sierra de Catorce está constituida por plegamientos laramídicos de orientación N-S y NNE-

SSW con vergencia hacia el E. Se hace mención de los yacimientos minerales del Distrito Minero La Paz.

González-Ochoa (2001), basado en los resultados de la campaña de barrenación en el año 2001, describió el comportamiento de las zonas mineralizadas en el Cerro del Fraile. Con base en los resultados se definieron zonas de exploración directa, se determinó que la mineralización en la zona explorada corresponde a zonas de *skarn* con dos tipos de mineralización, una de cobre y otra de oro.

González-Ochoa (2004), con base en los archivos antiguos y mapas de principios del siglo XX, describió la continuidad de las estructuras (vetas de Ag-Pb-Zn) hacia el oriente y a profundidad (900 m en la vertical).

Pinto-Linares *et al.* (2005), en su trabajo define la edad de algunos de los intrusivos del distrito. Hace una descripción de varios aspectos del distrito, en referencia al aspecto estructural, señala que la Gran Falla es la expresión más occidental de un sistema de *grabens*, que se extiende por todo el Valle de Matehuala hasta la Sierra De Gavia al oriente. Considera que el magma fue de naturaleza adakítico (calco-alcálico). Efectuó una datación del intrusivo por el método U-Pb en circones, en el departamento de Geociencias de la Universidad de Arizona, obteniendo una edad de 36.5 ± 4.1 Ma para los intrusivos de la zona de *skarn* y de 35.0 ± 0.5 Ma para el correspondiente a la zona de las vetas. A su vez asume que estas edades son consideradas como las edades de cristalización del magma y son representativas de la edad del emplazamiento de los *stocks* y el dique.

González-Ochoa (2009), hace un recuento de los principales datos y aspectos geológicos mineros sobre el distrito, incluyendo el beneficio metalúrgico. El propósito fue presentar una síntesis de los aspectos más importantes del distrito tales como su ubicación geográfica, una breve reseña histórica que señala una actividad continua desde el año 1864, su posición en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental y paleogeográficamente en la Plataforma Valles-San Luis Potosí, la descripción de la columna estratigráfica y los tipos de roca intrusivas y metamórficas, estructuras principales en el distrito mencionando a la Gran Falla (Falla Dolores) y el sistema de vetas de rumbo poniente-oriente, los dos tipos principales de depósito mineral, el de alta temperatura *skarn* (Cu-Au-Ag) y el meso termal de vetas (Ag-Pb-Zn), finalmente en la parte económica menciona las reservas.

I.4.Objetivo

El objetivo general es realizar un estudio geológico estructural de la Sierra del Fraile, que analice el sistema de estructuras tales como fallas, plegamientos y su relación con algunos modelos de mineralización. Específicamente con el emplazamiento de los intrusivos y la definición como estructura de La Sierra del Fraile. Con base en los datos estructurales los objetivos específicos son definir orientación de los anticlinales, dirección de transporte tectónico, comportamiento de los planos S_0 , tipo de fallas, mecanismo de emplazamiento de los diques e intrusivos.

I.5. Metodología

Trabajo de Gabinete

La primera parte del trabajo de gabinete consistió en recopilar toda la información disponible en trabajos internos de la compañía NEMISA, tesis, artículos y se complementó con la información plasmada en mapas de la mina, de la zona mineralizada y regional. Esta metodología se plasma en la Figura 4.

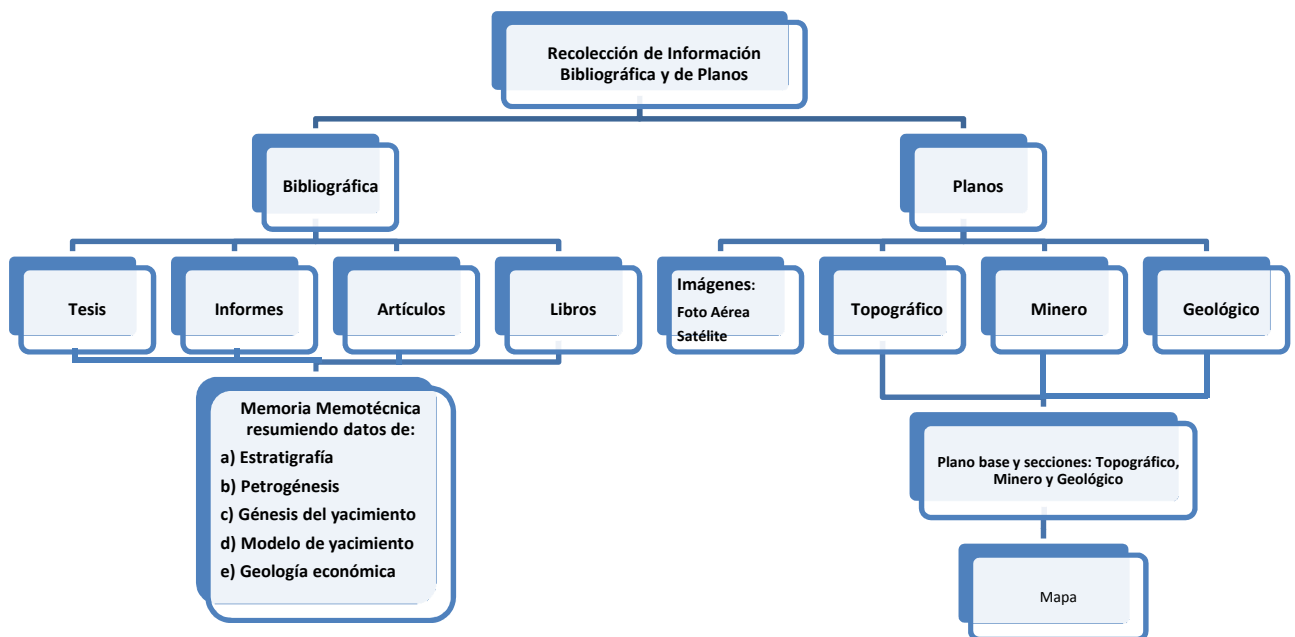


Figura 4. Diagrama de recopilación de información

Se estableció una base topográfica a partir de la carta topográfica Real de Catorce F14A24 del INEGI escala 1:50,000, con curvas de nivel cada 50 metros en una escala 1:10,000.

Con la base anterior se elaboraron los mapas y secciones, se utilizó el programa *Autocad Civil 3D 2012*; los mapas que se generaron son:

-mapa geológico del distrito o área de trabajo escala 1:10,000

-mapa estructural del distrito o área de trabajo escala 1:5,000

-tres secciones del distrito o área de trabajo escala 1:5,000

La etapa final de gabinete correspondió a la elaboración del escrito final.

Trabajo de Campo

El trabajo de campo consistió en levantamiento de geología estructural, levantar secciones con el fin de obtener los contactos de las unidades de diferentes formaciones, datos estructurales (planos S_0, S_1 , fracturas, ejes de pliegues, fallas normales e inversas), para la toma de datos se utilizó una brújula *Clar* utilizando el método dirección de inclinación (*dip direction*). El área de trabajo se dividió en dos zonas, la primera es el flanco poniente de la Sierra del Fraile y la segunda es el oriente. El levantamiento de los datos, se realizó caminando en las vías de acceso de dicha serranía, la dirección de estos caminos favoreció el levantamiento, algunos de ellos corren de manera casi paralela, en la dirección de los flancos y otros de manera prácticamente transversal. Para la confirmación de datos y abarcar mayor área, se siguieron una serie de líneas (19) previamente trazadas sobre un croquis geológico los datos en campo se levantaron con un GPS *Garmin eTrex legend H* usando el sistema DATUM WGS84. Se tomaron fotografías de campo para contar con evidencias gráficas de los rasgos que se quieren mostrar.

Para el análisis estructural se planearon una sección y dos levantamientos principales para interpretación de datos estructurales, tomando en cuenta que

fueran representativas. A lo largo de la sección y líneas de levantamiento se tomaron datos estructurales lo más cercano posible, para tener una suficiente población que permita un mejor análisis de la deformación. La toma de datos se realizó con una brújula tipo *Clar*. Los datos planares fueron planos S_0 y S_1 , fracturas, fallas normales e inversas, y lineares como estrías en los planos de estratificación y ejes de pliegue. Los datos obtenidos en campo fueron analizados de manera conjunta con los programas *Stereo32 versión 1.0.2* y *Stereo Net 8.0* utilizando los diagramas básicos de círculos mayores y polos, densidad de polos, rosetas o bien combinación de ellos. Se tomaron fotografías de afloramientos de estructuras tales como tipos de pliegues, fallas y sus estrías

Levantamiento subterráneo mina Dolores.

Se utilizó como base un mapa topográfico escala 1:500 de la labor Q-95, exclusivamente de la zona donde se localizó la Gran Falla o Falla Dolores.

-con base en los puntos marcados topográficamente en la labor, se localizaron los puntos en las tablas izquierda y derecha de la proyección de la falla.

-con una brújula *Brunton* de cuadrantes se obtuvo la lectura de la inclinación, no fue necesario el rumbo pues gráficamente quedó establecido en el mapa.

Levantamiento subterráneo mina Cobriza

Se utilizó como base un mapa topográfico escala 1:500 del nivel San José, exclusivamente de la zona donde se localizó la Gran Falla o Falla Dolores.

-con base en los puntos marcados topográficamente en la labor, se localizaron los puntos en las tablas izquierda y derecha de la proyección de la falla.

-con una brújula *Brunton* de cuadrantes se obtuvo la lectura del echado, no fue necesario el rumbo pues gráficamente quedo establecido en el mapa.

I.6. Provincias Geológicas y Fisiográficas

Tomando la definición de Provincia Geológica de Ortega- Gutiérrez *et al.*, (1992), una provincia geológica es toda parte susceptible de cartografiar de la superficie sólida del planeta, de centenares a millones de kilómetros cuadrados de extensión, caracterizada por sus rocas, por su estructura y por una secuencia de eventos tal que integre una historia evolutiva singular diferente a la de las áreas adyacentes, de las cuales está separada por límites estratigráficos, tectónicos o por ambos.

La zona de estudio se ubica en la provincia geológica denominada Provincia del Cinturón Mexicano de Pliegues y Fallas (en el límite fisiográfico de la SMO_r, con la Mesa Central MC, (Figura 5). El Cinturón Mexicano de Pliegues y Fallas es una franja laramídica de estructuras anticlinales orientada norte-nororiente a sur-oriente bien definida, formada por rocas sedimentarias del Precámbrico, Paleozoico, Triásico, Jurásico y Cretácico. Esta provincia forma la cadena de pliegues y cabalgaduras más extensa de México.

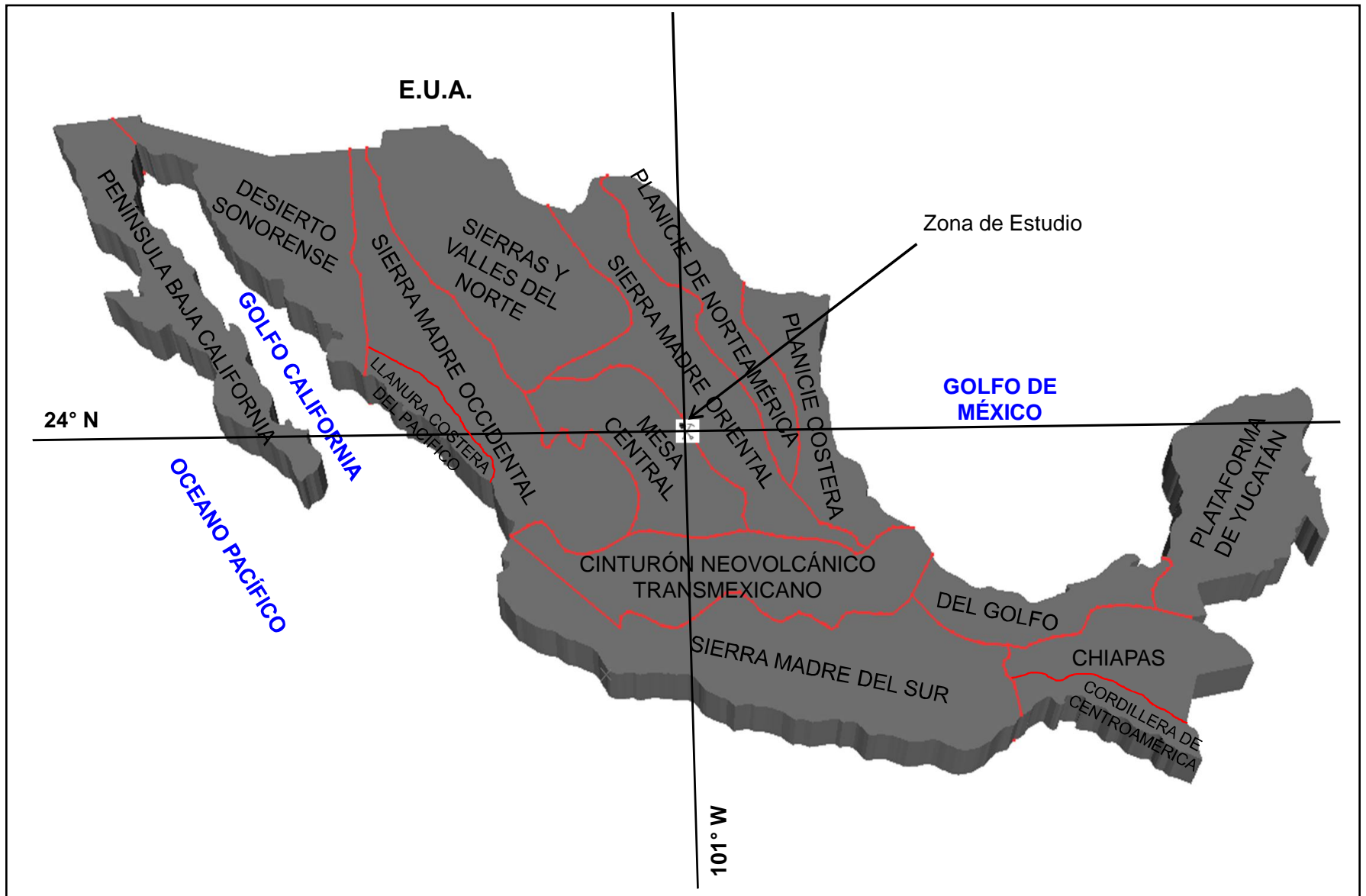


Figura 5. Provincias Fisiográficas de México. (Modificado de INEGI, 2003)

Por otro lado una provincia fisiográfica es una unidad morfológica de características distintivas de origen y morfologías propias. La provincia de la SMOr es un rasgo orográfico montañoso al nororiente de la República Mexicana, con más de 800 km de longitud y 80 a 100 km de ancho, limitado al oriente por el Miogeoclinal del Golfo de Méxco, al sur por la Faja Volcánica Transmexicana, al poniente por la Provincia Zacatecana, la Plataforma Valles-San Luis Potosí y la Faja Ignimbrítica Mexicana, (Figura 6). La SMOr es una cadena montañoso de origen tectónico, plegada y fallada durante la orogenia Laramide, del Cretácico Superior al Eoceno Temprano, constituida de rocas calcáreas y terrígenas del Mesozoico y Cenozoico; en la zona de estudio las formaciones sedimentarias corresponden únicamente al Mesozoico (Cretácico).

La Mesa Central (MC) es una provincia fisiográfica caracterizada por ser una región elevada que internamente puede subdividirse en dos regiones. La región sur tiene cotas que se encuentran por encima de los 2 000 msnm, con excepción del valle de Aguascalientes, es una zona montañoso cubierta en su mayor parte por rocas volcánicas cenozoicas, la región norte, que es de mayor extensión, muestra un estado de erosión más avanzado que la región sur, tiene grandes cuencas continentales rellenas de sedimentos aluviales y lacustres, y presenta cotas por debajo de los 2 000 msnm (Nieto-Samaniego *et al.*, 2005).

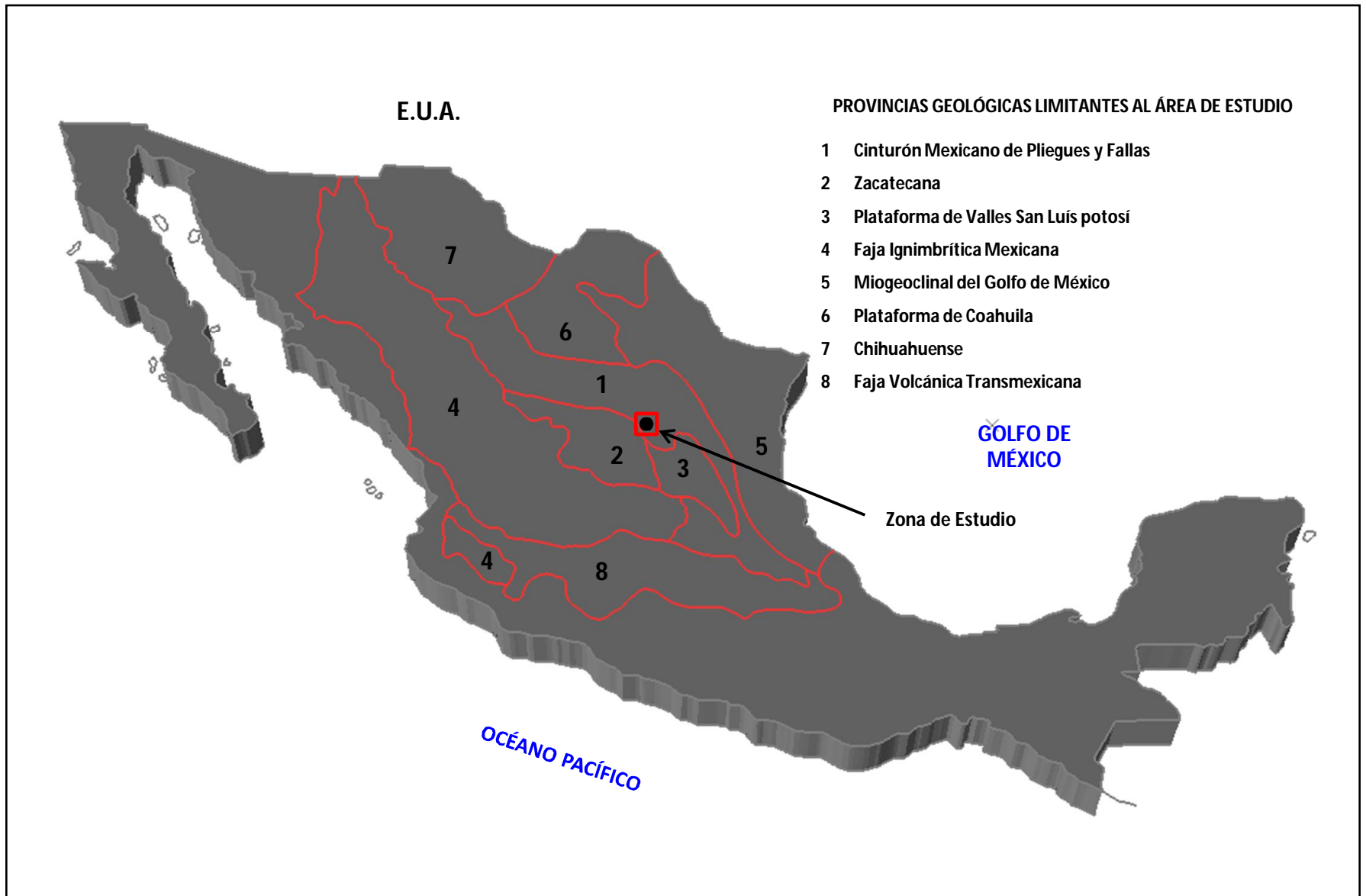


Figura 6. Provincias Geológicas por Ortega *et al.* (1992)

II.MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

II.1.Evolución geológica mesozoica.

La zona del Distrito Minero La Paz se encuentra ubicada geológicamente en el límite de dos provincias paleogeográficas del Mesozoico, la que se localiza en la porción occidental corresponde a la CMCM y al oriente la PVSLP. La primera evolucionó desde depósitos de poca profundidad, luego profundizó como secuencias calcáreas con pedernal y se saturó con terrígenos. La PVSLP (Formación El Abra) evolucionó sobre un paquete de anhidritas del Cretácico Temprano (Formación Guaxcamá) y sobre un bloque relativamente estable de basamento cristalino, ambas se desarrollaron hasta fines del Cretácico Tardío (Carrillo-Bravo, 1971, 1982). Sobre el talud de la PVSLP se desarrollaron secuencias turbidíticas de lodos calcáreos mezclados con gran variedad de brechas. A esta secuencia se le ha nombrado Formación Tamabra (López-Doncel, 2003).

II.1.1.Cuenca Mesozoica del Centro de México

La CMCM se encuentra en la porción Central de Altiplano Mexicano, abarca la totalidad de los estados de Zacatecas, Aguascalientes, Guanajuato y porciones de Querétaro, San Luis Potosí y Coahuila (Carrillo-Bravo, 1971). La configuración de la corteza en la MC muestra un espesor de casi 32 km y está flanqueada por la SMOr con espesor de casi 37 km y la SMOcc de casi 40 km (Nieto-Samaniego et al., 2005). Para el caso del área de estudio esta quedaría más hacia el macizo de la SMOr.

López-Ramos (1979) reconoció la parte oriental de la MC como provincia geológica y le dio el nombre de Cuenca Sedimentaria Central, la cual corresponde a lo que Carrillo-Bravo (1982) nombró como Cuenca Mesozoica del Centro de México. Campa y Coney (1983) la definieron como parte del Terreno Sierra Madre. Carrillo-Bravo (1982) definió a la CMCM, como una gran cuenca sedimentaria que contiene sedimentos marinos con edad del Triásico al Cretácico. Su registro geológico empieza con la Formación Zacatecas del Triásico tardío en la porción centro-oriental de la Mesa Central; los sedimentos de un abanico del Triásico Tardío constituidos por secuencias marinas turbidíticas provenientes del oriente (Barboza-Gudiño *et al.*, 2010) estableciendo diferentes ambientes de depositación entre la CMCM y la PVSLP (Figura 7).

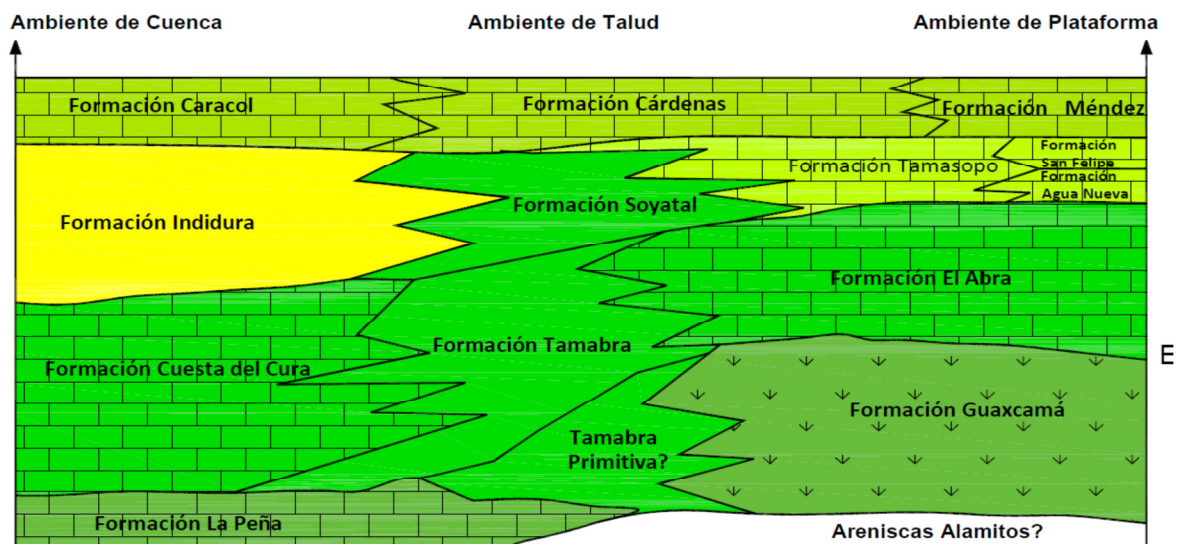


Figura 7. Diagrama esquemático de los ambientes de depositación entre la Plataforma Valle-San Luis Potosí y la Cuenca Mesozoica del Centro de México. (Modificado de Barboza-Gudiño, 2001)

Las rocas más antiguas que afloran en la CMCM son facies marinas de edad triásica y delimitan burdamente la zona del margen continental para ese tiempo.

El establecimiento de la columna estratigráfica de la zona muestra la incompatibilidad de poner las formaciones Agua Nueva, San Felipe y Méndez en ella, ya que estas formaciones no son propias de la parte occidental de la CMCM, sin embargo se ha respetado esta definición pues el único trabajo a este respecto en el distrito es el de Silva-Mejía (1973). Asimismo todas las tesis consultadas y de las cuales se hacen referencias, así como los trabajos de investigación en el Distrito Minero La Paz, utilizan la misma columna estratigráfica.

II.1.2. Plataforma Valles-San Luis Potosí

Con el nombre de PVSLP, se ha designado a una gran unidad paleo geográfica de edad Mesozoica. La PVSLP es un gran segmento de rocas precámbricas, paleozoicas y triásicas, plegadas y falladas, sobre el cual se depositaron una secuencia delgada de sedimentos marinos del Jurásico superior y potentes secciones de rocas evaporíticas y calizas de tipo arrecifal y post-arrecifal del Cretácico tardío; siendo estas últimas rocas las que se encuentran en la zona de estudio. El plegamiento que durante el Terciario Inferior afectó a la unidad paleo-geográfica mencionada, fue intenso y estuvo influenciado por las evaporitas que se hallan entre las rocas rígidas antiguas y las calizas del Cretácico Medio y Superior.

La PVSLP está ubicada en la porción centro-oriental del Altiplano Mexicano y además abarca una parte de la SMO (Carrillo-Bravo, 1971).

Existen dos litofacies de aguas profundas en las márgenes de la PVSLP, al oriente y nororiente la Cuenca de Tamaulipas o Paleogolfo de México, al poniente la

CMCM, donde se deposita la Formación Cuesta del Cura, las litofacies que se depositaron entre la plataforma y las cuencas, conformaron un cinturón sedimentario de transición conformado de material sedimentario autóctono mezclado con alóctono re TRABAJADO, que venían de las partes altas y someras de la plataforma, que posteriormente fueron transportadas hacia las partes profundas por procesos gravitacionales y de suspensión, dando como resultado la Formación Tamabra (López-Doncel, 2003); en la zona de estudio (Figura 8) por su posición en el límite entre la PVSL y la CMCM, quedan representadas las dos facies anteriores descritas.

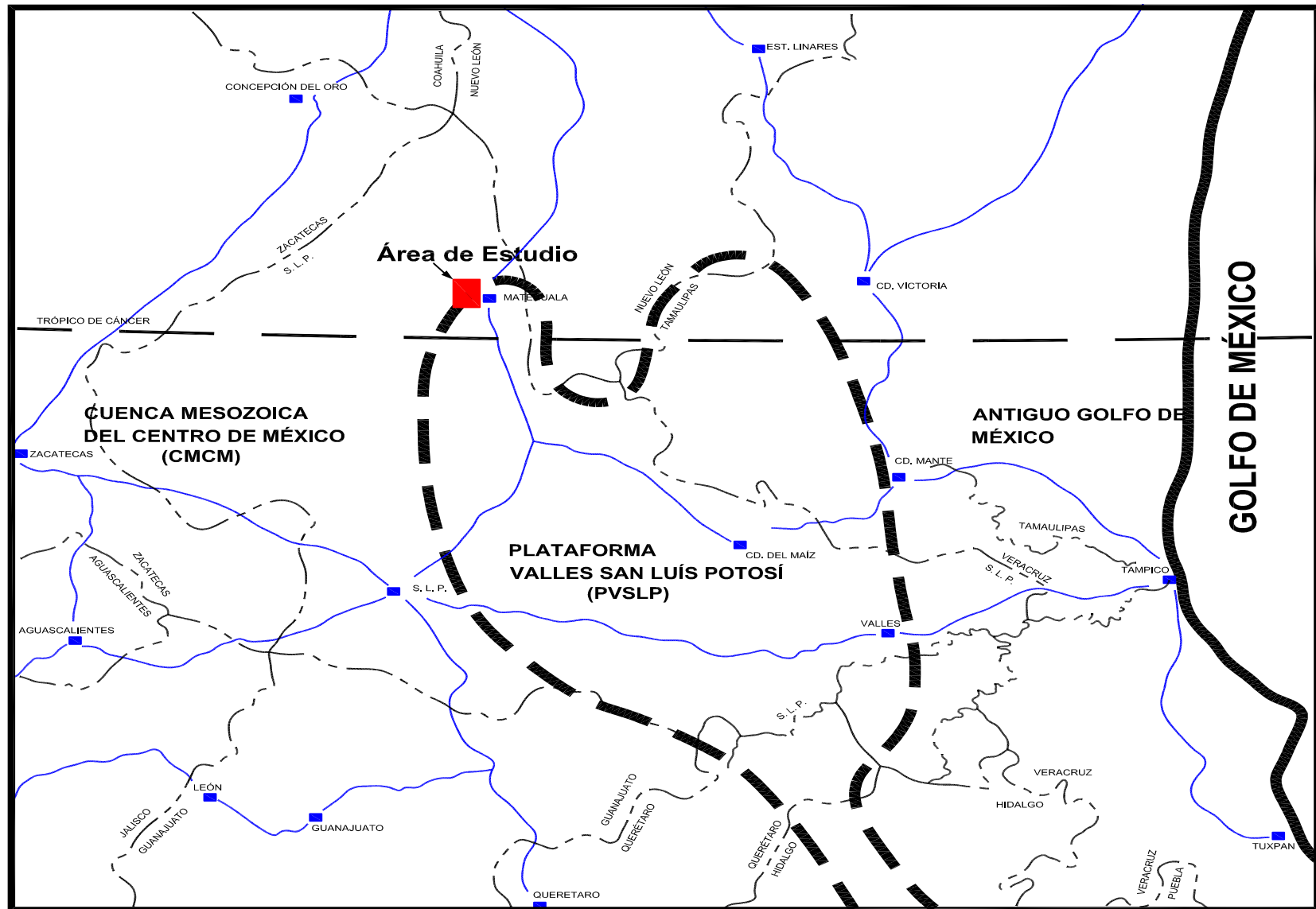


Figura 8. Plano de localización Plataforma Valles – San Luis Potosí (Modificado de Carrillo - Bravo 1971)

II.1.3.Terreno Tectonoestratigráfico Sierra Madre

Los terrenos denominados tectonoestratigráficos se caracterizan por su homogeneidad estratigráfica interna y su homogeneidad en el estilo de deformación estructural interna (Campa *et al*, 1984), que produce una continuidad lógica en su historia geológica. Por el contrario, las interrelaciones de unos terrenos con otros se presentan a través de límites complejos que son discontinuidades fundamentales en la estratigrafía, estructura e historia de un terreno con respecto a los demás. Los límites interterrenos son siempre discontinuidades profundas poco conocidas que pueden solamente ser interpretadas como fallas mayores. En otros casos esas fallas limítrofes son cabalgaduras o típicas fallas a rumbo. Campa y Coney (2003), consideraron al terreno Sierra Madre (Figura 9) como el ante país cordillerano, lo definieron como un cinturón de pliegues, fallas inversas y cuencas deposicionales asociadas. La zona en estudio queda encuadrada en una provincia en la margen occidental norte de la PVSLP en el límite con la MC o del sistema CS (*Basin and Ranges*) que corre hacia el norte.

La Revolución Laramide parece ser la dominante, la evidencia que demuestra lo anterior es que un gran porcentaje de fallas inversas actualmente formadas, tuvieron su mayor movimiento durante la época Laramide.

Campa y Coney (1984) en su trabajo de terrenos sospechosos de aloctonía acrecionados al Cratón Norteamericano, situaron la mayor parte de la MC dentro de dos terrenos tectonoestratigráficos. El terreno localizado en la porción oriental corresponde al Terreno Sierra Madre el cual descansa sobre un basamento

Precámbrico cubierto por una secuencia de rocas sedimentarias del Cámbrico (?) al Pérmico, capas rojas del Mesozoico Temprano y rocas marinas del Mesozoico Tardío que muestran estructuras de cabalgaduras al norte y oriente, y el terreno de la porción occidental denominado Terreno Guerrero el cual esta ensamblado tectónicamente sobre los depósitos de la CMCM.

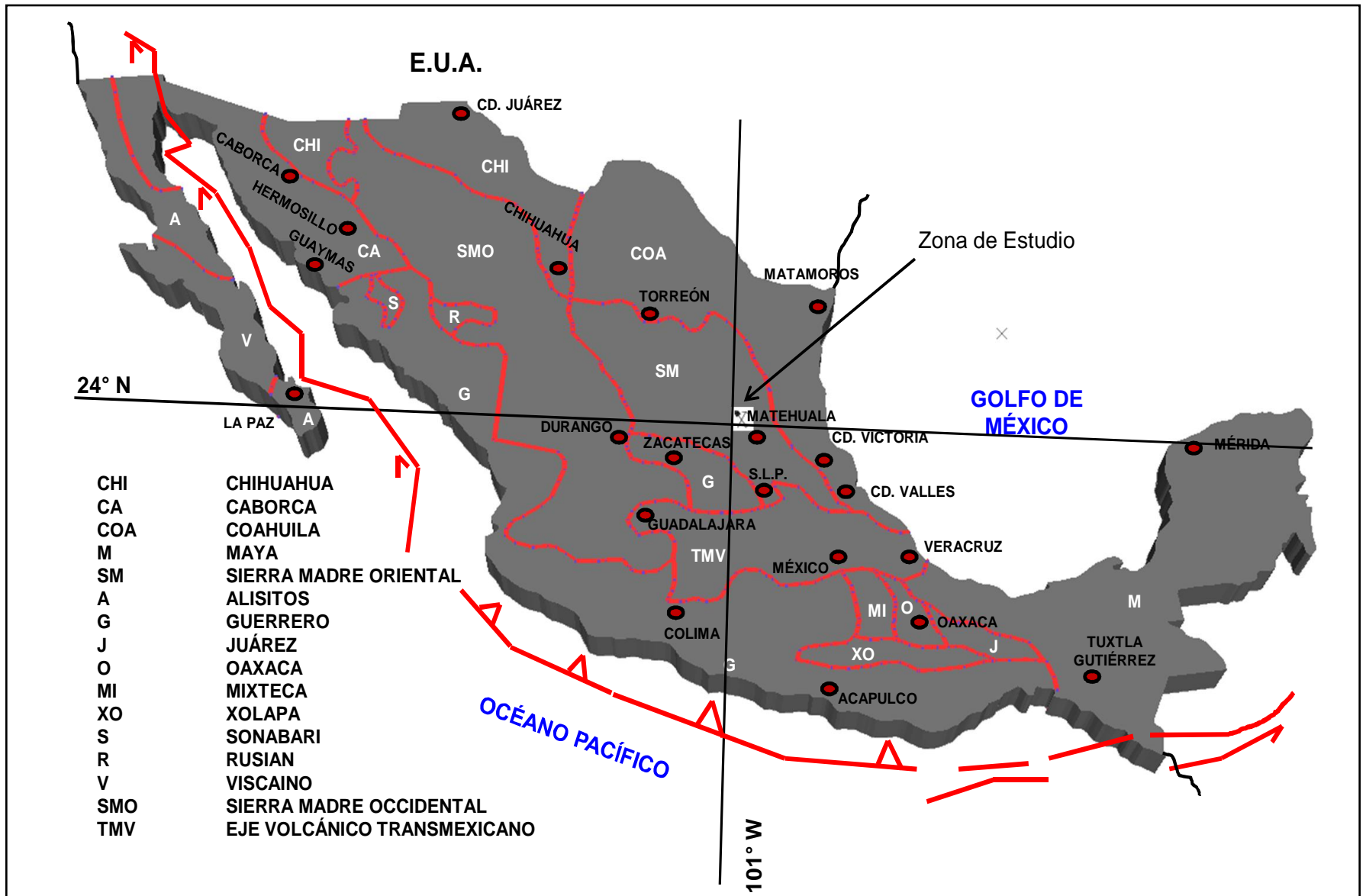


Figura 9. Terrenos tectonoestratigráficos de México. (Modificado de Campa y Coney 1983).

III. GEOLÓGIA DE LA SIERRA DEL FRAILE

III.1. Geología general

En el distrito las formaciones sedimentarias corresponden únicamente al Cretácico (Figura 10). Las rocas que las conforman son descritas de manera genérica en la parte de la columna estratigráfica (Figura 11). La columna estratigráfica no fue establecida por un trabajo oficial o tesis de estratigrafía en el distrito, dentro de los trabajos propiedad de la compañía Negociación Minera Sta. María de la Paz y Anexas, el trabajo más antiguo (sección transversal de la zona de minas de Ag-Pb-Zn) que consigna la columna y espesor de las formaciones que se describen a continuación es de Silva-Mejía, (1973). Aunque existe una contradicción pues las formaciones descritas corresponden más bien a la margen oriental de la PVSLP, en tanto que el distrito está ubicado en la margen norte occidental. Por lo anterior se proponen una serie de modificaciones al respecto en el presente estudio.

La zona de estudio tiene un intrusivo de composición granodiorítica, con algunas variaciones a tonalita y monzonita (en forma de diques). Existen tres zonas de afloramiento en el distrito, cerro el Membrillo, Dolores y Cobriza (Figura 10). Los afloramientos son menores en los flancos de la sierra y no son tan conspicuos como los de las zonas ya señaladas. Con los mapeos de superficie e interior de mina se ha podido establecer que es un mismo intrusivo en todo el distrito, de forma alargada y orientado en dirección surponiente-nororiente y variación de rumbo en su extremo sur (zona de Dolores) el cual se vuelve casi poniente-oriente, el buzamiento en las zonas trabajadas y conocidas es de un promedio de

70° al oriente por lo cual es cortado por la Gran Falla, esto puede observarse en la zona de Dolores (Plano anexo 1 y Figura 10). En el terreno en la parte de Dolores en lo que corresponde al Cerro del Frailecillo, es donde se puede observar con mayor claridad el zoneamiento, alteraciones y emplazamiento producto de la intrusión. La edad del intrusivo es 36.5 Ma (Pinto-Linares *et al.*, 2005). Existen afloramientos de basalto en los extremos norte y sur de la Sierra del Fraile, además de otros que no afloran y que están definidos con barrenación en el valle de la parte oriente. La geología local simplificada se muestra en la Figura 10.

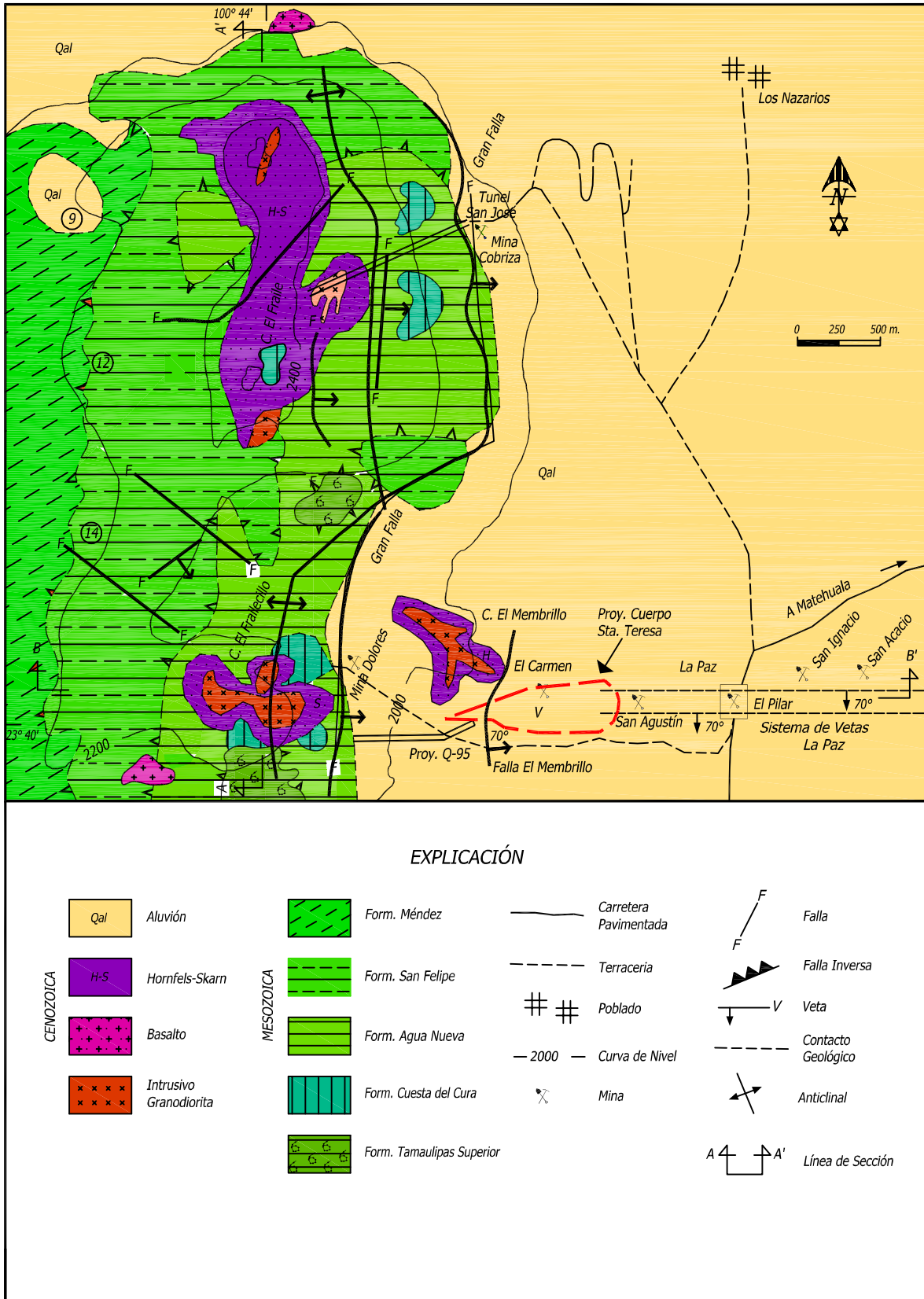


Figura 10. Plano geológico simplificado del Distrito Minero La Paz.

Producto del metasomatismo en rocas carbonatadas se generó *skarn* de diferentes tipos, siendo los más notables los de diópsido-hedenbergita, grosularia-vesuvianita, wollastonita y andradita; siendo éste último el más importante desde el punto de vista económico, ya que es el constituyente principal de los cuerpos mineralizados de cobre, aunque es bastante importante la textura la cuál debe de ser de grano medio, cuando esta es demasiado fina o muy gruesa, la intensidad de la presencia de sulfuros de cobre prácticamente no existe. En las zonas donde presenta textura fina se ha denominado a la roca cómo *skarnoide*, este término ha sido de utilidad práctica, pues al definir zonas con este tipo de roca se van delimitando con mayor precisión las proyecciones de la continuidad de los cuerpos mineralizados; la influencia determinante de la andradita así como de su textura se define como un control litológico del yacimiento. La presencia de mineralización económica de cobre se limita al *skarn* ya referido, y en menor medida al de hedenbergita, pero en lo que se refiere al oro este se encuentra en cualquier tipo de *skarn* a excepción del de wollastonita. El proceso de intrusión y sus cambios generados son también del tipo eminentemente metamórficos, generando *hornfelss* cuando el intrusivo altera a las rocas sedimentarias de naturaleza arcillosa con las cuales entra en contacto y formando mármol en el contacto con las calizas.

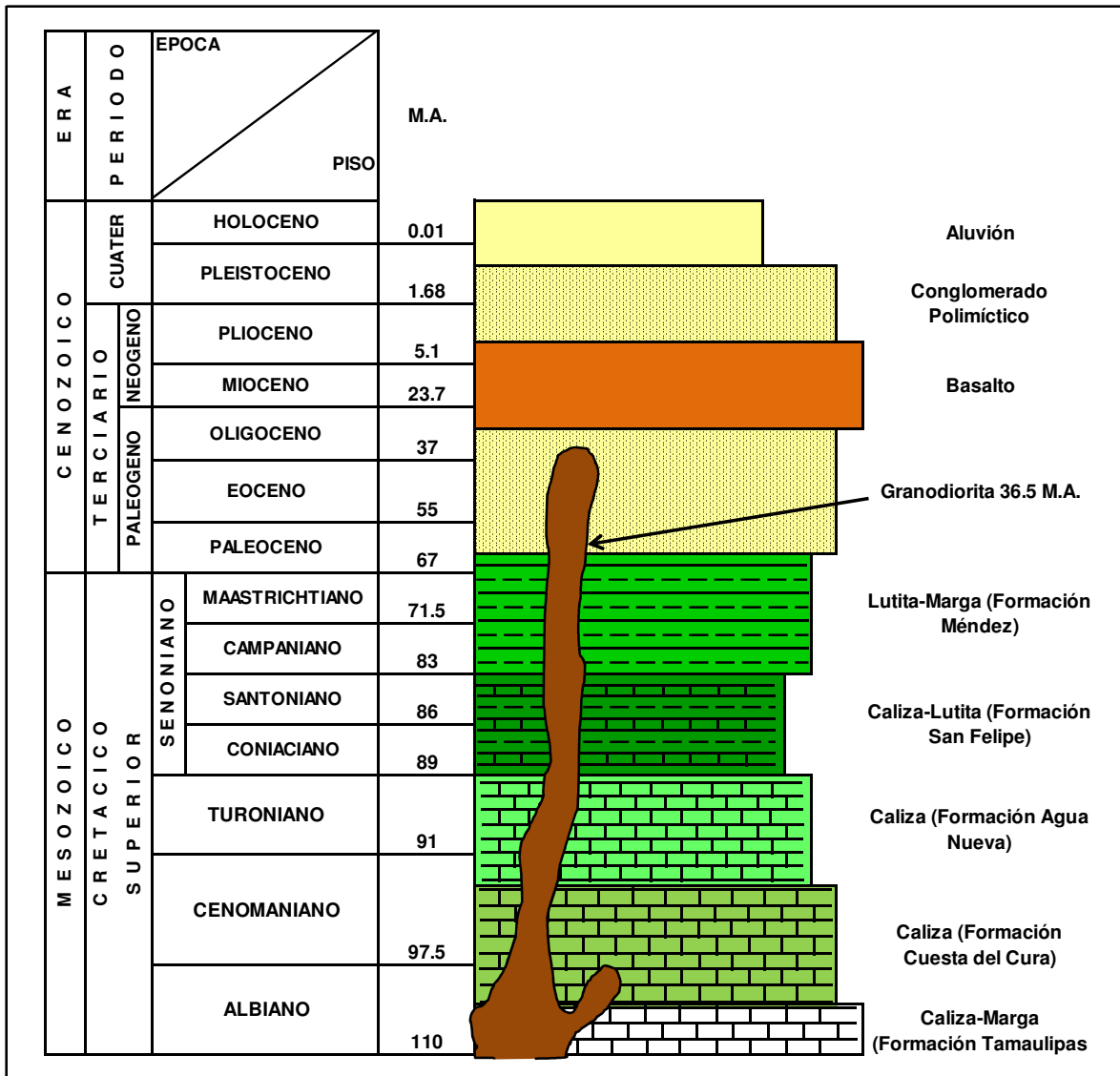


Figura 11. Columna estratigráfica Distrito Minero La Paz.

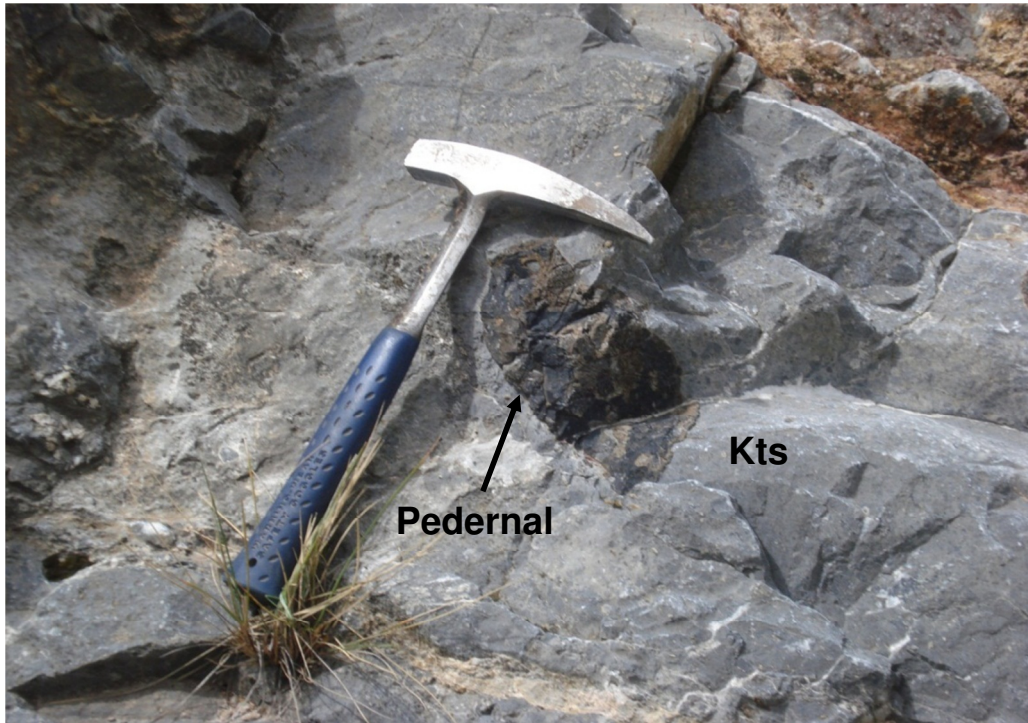
III.2. Estratigrafía de la Sierra Del Fraile

Formación Tamaulipas Superior (Kts)

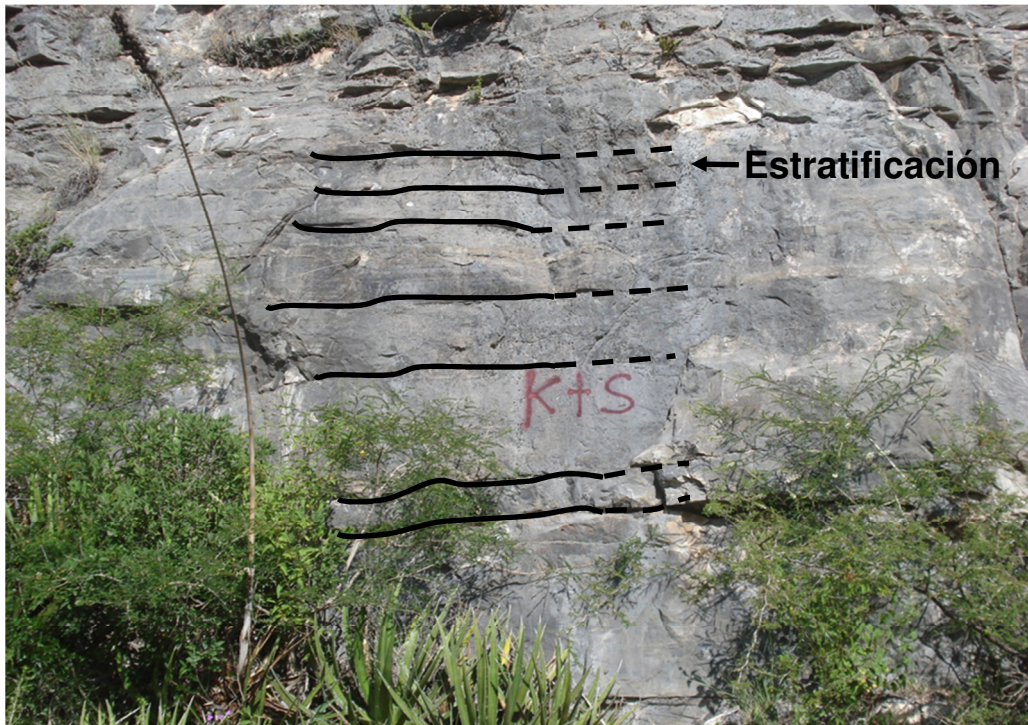
(Albiano Temprano -Aptiano Tardío)

La Formación Tamaulipas Superior fue definida por Muir (1936) como una serie de estratos de caliza compacta, cuyos colores varían de blanco y crema a café claro y café, presentando ocasionalmente intercalaciones de caliza arcillosa, compacta, de color negro; son frecuentes los nódulos y capas de pedernal de colores negro, blanco y gris. También designa al Cañón de La Borrega en Tamaulipas al sur de Ciudad Victoria como sección tipo de la Caliza Tamaulipas. En el área de estudio se localiza en la parte sur, aflorando en el Cerro Del Muerto, Arroyo Dolores y Arroyo El Mármol (Figura 12), está constituida de capas de caliza de grano grueso, calcarenita, de estratos de medios a gruesos, mostrando estilolitas, con nódulos de pedernal de color negro y que cambian a blanco en las cercanías de las zonas de *skarn*. Se le considera un espesor entre 50 a 60 m en la Sierra de Catorce (Barboza-Gudiño., et al 2004). Se le asigna una edad del Aptiano Tardío y Albiano Temprano para las capas correspondientes a esta unidad con base en la identificación de los biohorizontes de *Favusella washitensis*, *Colomiella recta*, *Pithonella innominata* y la culminación de *Microcalamoides diversus* (Barboza-Gudiño, et al., 2004). Esta unidad es correlacionable en edad con la Formación Aurora que es un equivalente de plataforma y en parte arrecifal. En el área de estudio se encuentra de manera discordante sobreyacida por la Formación Agua Nueva y no se observó ningún contacto con la Formación Cuesta

Del Cura, posiblemente a que esta formación está imbricada tectónicamente, ocasionando que la Formación Cuesta del Cura no se aprecie.



A)



B)

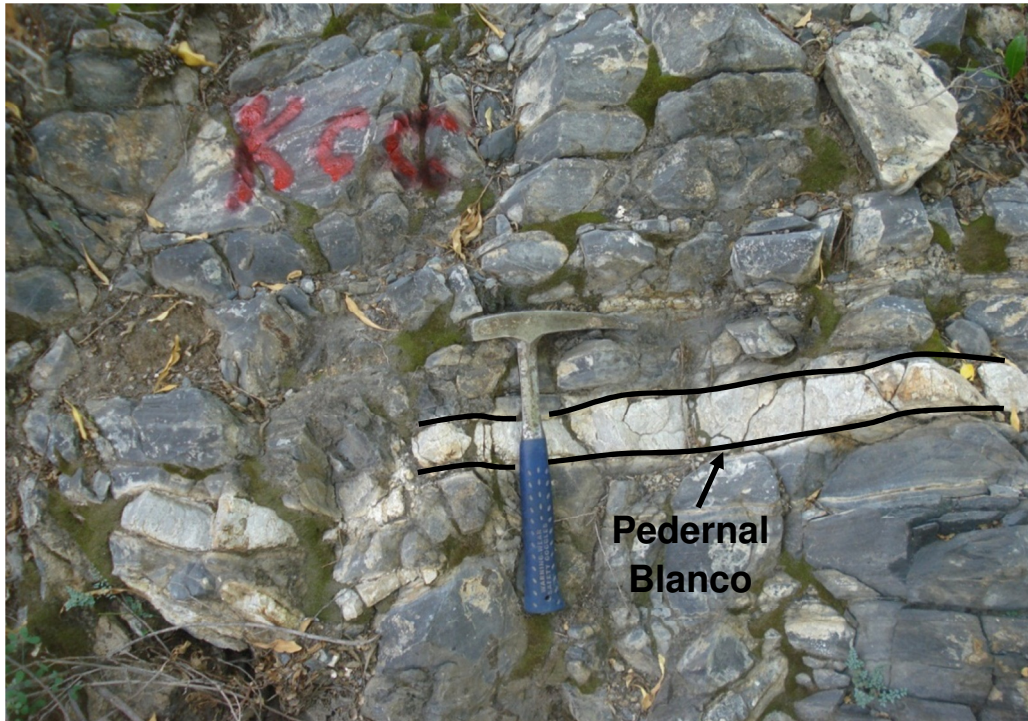
Figura 12. Caliza Formación Tamaulipas Superior, Sierra del Fraile, mostrando pedernal negro boudinage (A) y estratificación (B).

Formación Cuesta del Cura (Kcc)

(Albiano – Cenomaniano)

Imlay (1936) ubicó su sección tipo en la Cuesta del Cura a 6 km al poniente de la Sierra de Parras, Coahuila, donde está bien expuesta, menciona que esta unidad se compone principalmente de capas delgadas de caliza ondulante y compacta, de color gris oscuro a negro; incluye capas de lutita gris y numerosos lentes de pedernal, algunas capas de caliza son finamente laminadas con bandas grises y negras intercaladas. En el área de estudio aflora en la zona del Cerro Del Membrillo, en el centro de la Sierra del Fraile y en la parte sur de la mina Cobriza (Figura 13). La Formación Cuesta Del Cura en la zona de estudio está constituida de capas de caliza de color gris intermedio a oscuro en capas delgadas con bandas y lentes delgados de pedernal negro, el cual toma un color claro cuando está en contacto con las zonas de *skarn*, y se observan algunas intercalaciones de materiales terrígenos. El espesor considerado en la Sierra de Catorce es de 100 a 150 m (Barboza-Gudiño *et al.*, 2004), en tanto que en el Distrito Minero La Paz, le asigna un espesor de 300 m (Silva-Mejía, 1973). La edad de la Formación Cuesta del Cura en la Sierra de Catorce está bien documentada por la fauna, principalmente de amonites, reportada por Barboza-Gudiño *et al.*, (2004).

En la zona de estudio el contacto inferior es discordante o no aparece con la Formación Tamaulipas y concordante en la parte superior con la Formación Agua Nueva.



A)



B)

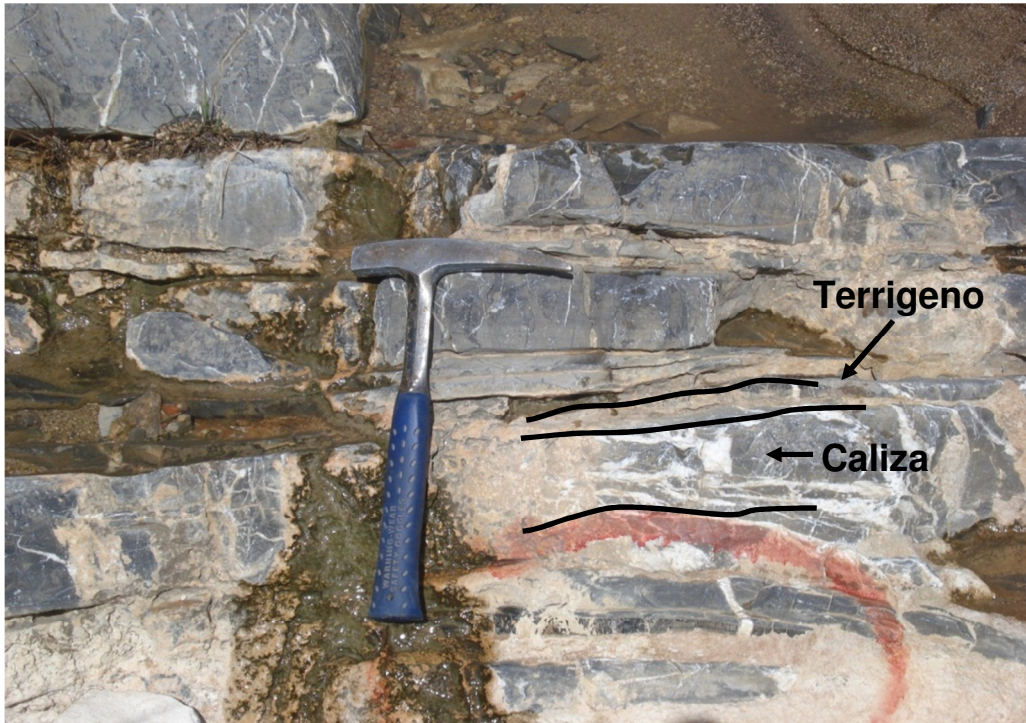
Figura 13. Formación Cuesta Del Cura, Sierra del Fraile, capas de caliza con intercalación de pedernal blanco (A) y estratificación (B).

Formación Agua Nueva (Kan)

(Cenomaniano-Turoniano)

Stephenson (1922 en Muir, 1936) describe que la Formación Agua Nueva (Figura 14) en su localidad tipo, consiste de 60 a 90 m de caliza con delgados horizontes de pedernal, intercalados con lutita carbonosa negra que contienen abundantes *Inoceramus labiatus*. Siendo su localidad tipo el Cañón de La Borrega, cerca del Rancho Agua Nueva, en la Sierra de Tamaulipas. En el área de estudio sus afloramientos se localizan en la zona sur de la mina Dolores, la parte central de la Sierra Del Fraile y al norte de la Mina Cobriza (Figura 14), en el flanco oriente de dicha serranía. Muestra una litología de estratos de caliza arcillosa finamente bandeada, caliza de grano fino a medio de color gris a negro, en capas de espesor delgado a medio que alternan con estratos medianos a gruesos de lutita laminar de color gris a gris oscuro a negro, de intemperismo amarillento, ligeramente rojizo; una de sus características principales es la presencia de lentes o láminas de pedernal negro. En la zona de estudio se le ha asignado un espesor de 200 m (Silva-Néstor, 1973).

López-Ramos (1982) reporta que esta unidad yace en forma gradual con las rocas de la Formación Tamaulipas Superior, y que su contacto superior con la Formación San Felipe también es gradual. De manera general la edad que se le ha asignado a esta unidad es Turoniano (Carrillo-Bravo, 1971; Ontiveros-Tarango, 1973; López-Ramos, 1979). La zona subyace de manera concordante a la Formación Cuesta del Cura y subyace concordantemente a la Formación San Felipe.



A)



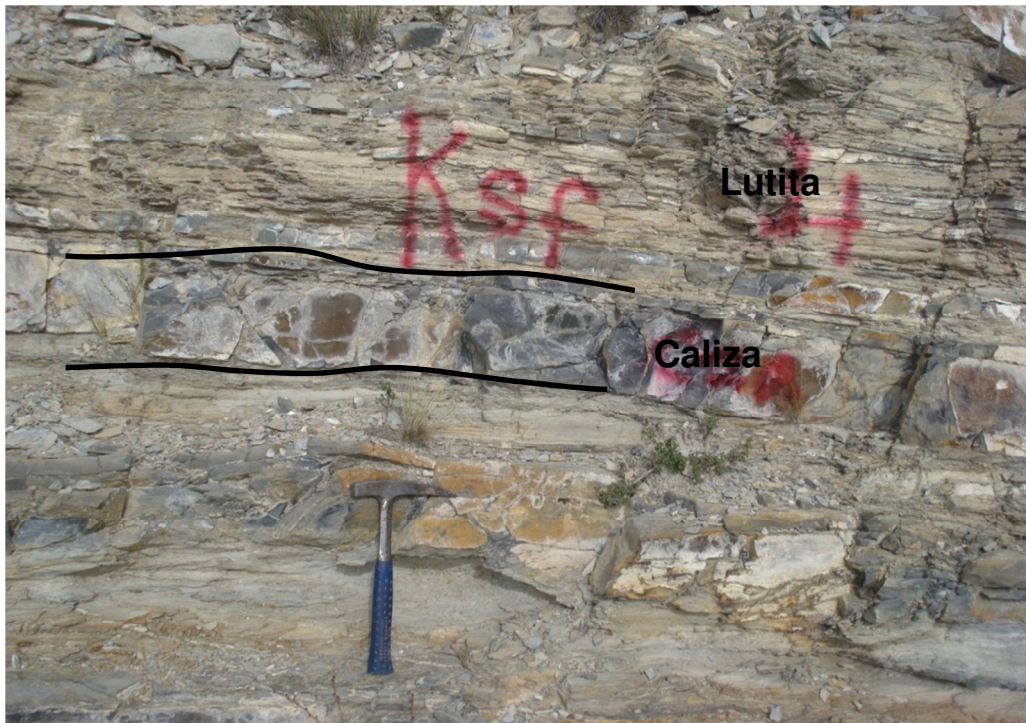
B)

Figura 14. Formación Agua Nueva, Sierra del Fraile, mostrando intercalación de material terrígeno y caliza (A) y estratificación (B).

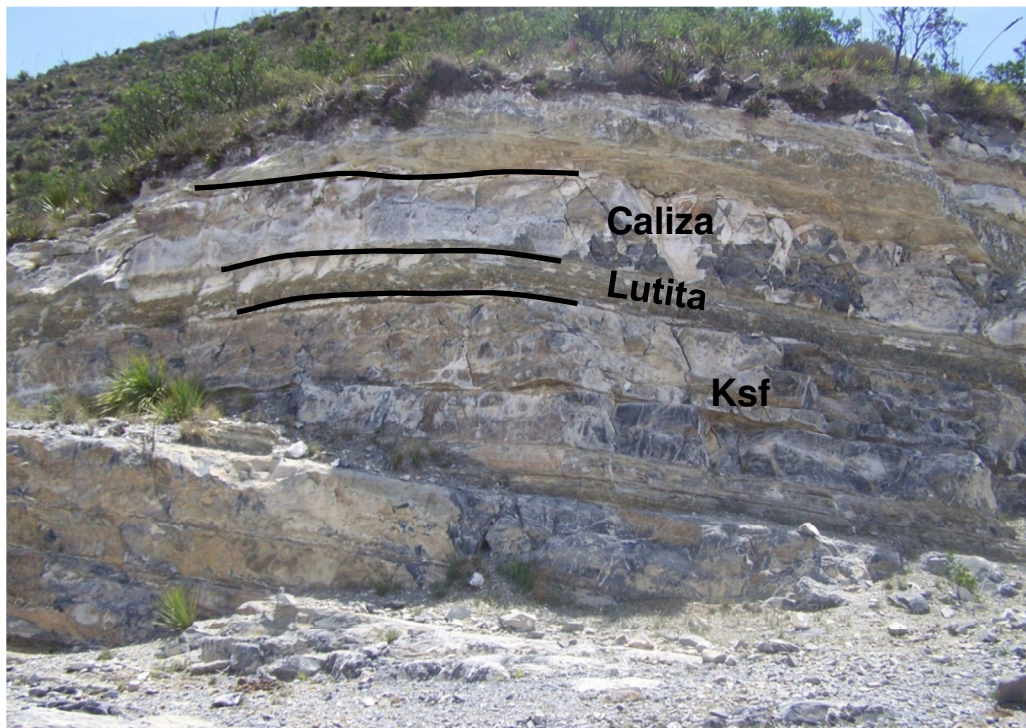
Formación San Felipe (Ksf)

(Coniaciano–Santoniano)

Muir (1936) describió a la formación San Felipe (Figura 15) como una caliza arcillosa en estratos delgados a muy delgados, de color gris claro a verde, con frecuentes intercalaciones de lutita calcárea y lutita bentonítica de colores verde y amarillo grisáceo. Tomando como localidad tipo San Felipe al oriente de Ciudad Valles, S.L.P. Sus afloramientos se localizan al sur de la Mina Dolores, la parte central de la Sierra Del Fraile y al norte la de la Mina Cobriza (Figura 15), todo en el flanco oriente de dicha serranía. La litología consiste de capas de caliza, calcarenita de color gris, en capas delgadas, intercaladas con estratos de lutita, marga y lutita calcárea. Descrita de manera informal en el distrito por primera vez por Silva-Mejía, (1973). La descripción quedó asentada en la columna de dicho trabajo y el espesor de 300 m con base a las secciones que realizó. En un estudio bioestratigráfico realizado en el Anticlinorio de Huizachal-Peregrina, se le asignó a esta formación una edad que va desde el Santoniano Superior hasta el Campaniano Temprano (Santamaría et al., 1990). Infrayace discordantemente a la Formación Méndez y sobreyace de forma discordante a la Formación Agua Nueva.



A)



B)

Figura 15. Formación San Felipe, Sierra del Fraile, intercalación capas de lutita y caliza (A) y estratificación (B).

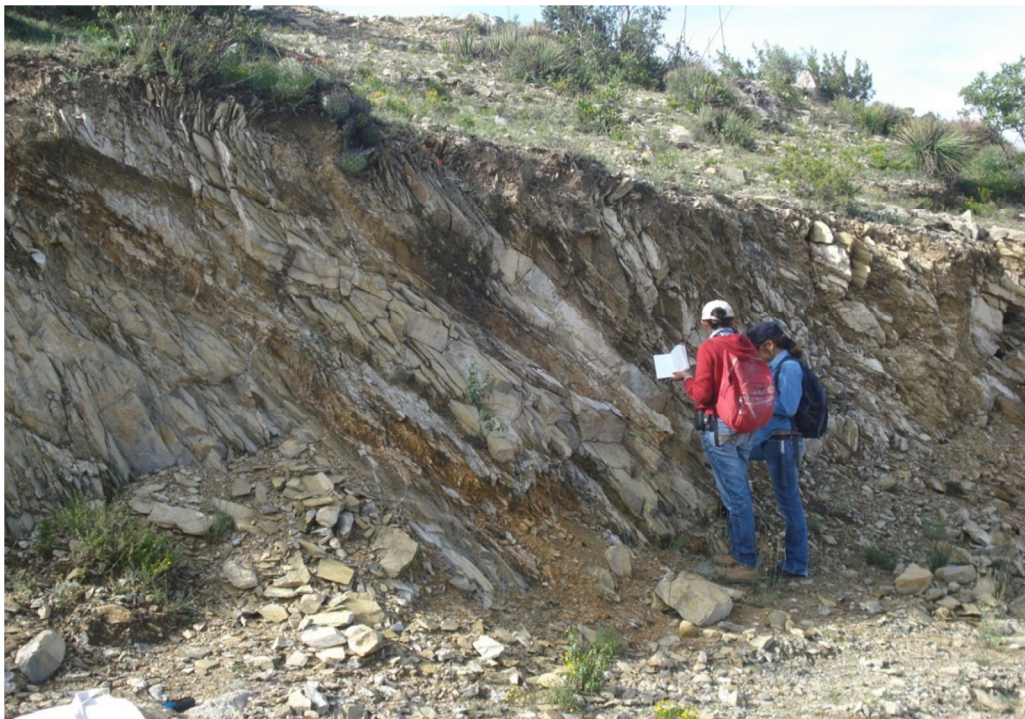
Formación Méndez (Km)

(Santoniano Tardío-Campaniano Maastrichtiano)

En la primera descripción hecha por Jeffrey (1910 en Palmer, 1927), menciona que esta unidad consiste de un depósito uniforme de lutita gris-azul de varios metros de espesor, con borde interno arcilloso a semi-margoso; toda la secuencia consiste de margas y algunas capas irregulares de arenisca y caliza. La localidad tipo se encuentra ubicada a 300 m al oriente de la estación Méndez, en el estado de Veracruz, sobre la vía ferrocarril Tampico-San Luis Potosí (Carrillo-Bravo, 1971). En la zona de estudio sus afloramientos se localizan casi exclusivamente en el flanco poniente de la Sierra Del Fraile, con algunos afloramientos en la parte oriente, Cerro del Membrillo (Figura 16), así como el sur de la zona. Su litología consiste de capas de lutita y margas de color gris que intemperizan a color amarillo crema, son laminares con intercalación ocasional de caliza arcillosa de color gris. Descrita de manera informal por primera vez en el distrito por Silva-Mejía, (1973). La descripción quedó asentada en la columna de dicho trabajo y el espesor con base a las secciones que realizó. El espesor en el distrito 300 m, aunque en el trabajo de referencia el autor hace una sección y le atribuye casi 400 m hacia el oriente, en la parte que corresponde al tiro San Acacio. Carrillo-Bravo (1971) propone la edad de Campaniano-Maastrichtiano en base a su contenido faunístico y posición estratigráfica, en tanto que Muir (1936) reporta una edad del Santoniano Tardío-Campaniano. Sobre yace de manera discordante por efecto de una cabalgadura a la Formación San Felipe.



A)



B)

Figura16. Formación Méndez, Sierra del Fraile, estratificación delgada y foliación (A), panorámica de la formación (B).

IV. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA SIERRA DEL FRAILE

IV.1. Orogenia Laramide

IV.1.1. Introducción

La Orogenia *Laramide* fue un proceso orogénico que generó sistemas montañosos en el poniente de Norteamérica y que comenzó en el Cretácico tardío hace unos 70 a 80 millones de años atrás, y terminó hace 55 millones de años. Se presenta posterior a un proceso de acoplamiento mecánico y tracción, entre la placa Farallón subduciendo con bajo ángulo a la corteza de la placa de Norteamérica durante un periodo de convergencia rápida durante el Mesozoico Temprano, generando un modelo de arco volcánico continental. Este proceso cesa hace aproximadamente 80 Ma y al terminar la fase de subducción se inicia una de deformación producto de esfuerzos compresionales (orogenia *Laramide* y *Sevier*), ocurrida entre el Cretácico tardío al Cenozoico temprano (80-40 Ma), propuesta por Dana (1896), quién identificó un evento de formación de montañas contemporáneo a la acumulación de sedimentos de la Formación Laramide en la localidad del mismo nombre en Wyoming, E.U.A.

Todas las rocas de la zona de estudio muestran deformación por plegamiento y fallamiento inverso, los cuales fueron producidos durante la orogenia Laramide. Estos esfuerzos orientados preferentemente de poniente a oriente, actuaron sobre rocas y sedimentos del área, marcando la orientación de este esfuerzo en estructuras identificables en las formaciones sedimentarias, específicamente entre los límites de la estratificación. Existe un gran sistema de fallas denominado San

Luis-Teprehuanes que muestra evidencias de actividad durante el Eoceno y Oligoceno (Nieto-Samaniego *et al.*, 2000). Los yacimientos minerales, en especial epitermal, que se conocen en la MC están localizados, en su gran mayoría, sobre las trazas de esos grandes sistemas de falla. La información disponible permite establecer que esas estructuras ejercieron un control para el emplazamiento de rocas volcánicas, hipabisales y depósitos minerales a lo largo de sus trazas, sin que se pueda precisar los mecanismos por los que se dio ese control.

IV.1.2. Estilo de la deformación laramídica

El estilo de la deformación se manifestó como plegamiento y cabalgamiento en la corteza superior con dirección de transporte tectónico predominante hacia al oriente-nororientado, así como desplazamientos transcurrentes asociados (Cerca – Martínez *et al.*, 2004), estructuralmente producto de los efectos compresivos. Los rasgos principales son los frentes de cabalgadura interna en los bordes de la porción occidental de la SMOOr desde el norte a sur. Se concluye que el sentido de vergencia aunque es predominante en general de poniente a oriente (sur-poniente a nor-orientado y nor-poniente a sur-orientado) también presenta un sentido de vergencia opuesto e inherente al anterior de este a oeste en general (nor-orientado a sur-poniente y sur-orientado a nor-poniente). Dichas vergencias opuestas más que constituirse como una excepción a la regla representan la regla en sí. Se propone que tales vergencias opuestas y encontradas son contemporáneas en su origen causadas por un evento único de deformación compresional (orogenia Laramide); siendo posible que el modelo geométrico que mejor resuelve la presencia de

pliegues y cabalgaduras de vergencia opuesta o conjugada son pliegues en caja, lo cual implica, que los pliegues y cabalgaduras presentes en cada sector y posiblemente en el total del Cinturón de Pliegues y Cabalgaduras Mexicano fueron originados cinemática mente por cizalla pura, coaxial a escala global.

IV.1.3.Edad de la deformación

La edad mínima para el inicio de la deformación contractiva para la zona centro-occidente, es sugerida, por algunos autores, como el final de la colisión de arcos volcánicos en la margen pacífica ocurrida entre 115 y 108 Ma (Johnson *et al.*, 1999; Wetmore *et al.*, 2002). Para la MC se ha propuesto que el *hiatus* en el depósito de unidades litoestratigráficas, que abarca un lapso que va entre el Cretácico Tardío y el Paleoceno en la parte occidental (Nieto-Samaniego *et al.*, 2005a).

Para ubicar la edad de terminación de la orogenia Laramide en la región oriental y sur-oriental de la Mesa Central, se cuenta con elementos que ayudan a situar su edad lo más cercana posible. En la porción oriental de la MC hay cuerpos intrusivos graníticos no deformados que intrusionaron a la secuencia Mesozoica deformada, entre los que sobresalen los diques de granodiorita de la Sierra de Catorce, fueron fechados con K-Ar por Mujica-Mondragón y Jacobo-Albarrán (1983) con 53 ± 4 Ma. Además de los cuerpos intrusivos mencionados, también hay presencia de rocas volcánicas (lavas e ignimbritas) que se localizan en las sierras de Charcas y Zacatecas, con edades K-Ar del Eoceno medio Tristán-González (2008).

IV.1.4.La deformación Laramide en la región oriental de México

En el centro y norte de México se ha considerado como producto de la orogenia Larámide a los conjuntos litológicos (entre ellos la SMOr) deformados por acortamiento hacia el final del Cretácico e inicios del Cenozoico. Se hace referencia a esta orogénesis al referirse a las secuencias sedimentarias del centro y oriente de México, considerando siempre que la “*deformación Laramide*” constituye el evento de acortamiento más joven, ya que sobrepuesto a esa deformación solo se reconocen estructuras asociadas a tectónica lateral y extensional. Los datos disponibles, la gran mayoría consistentes en relaciones estratigráficas, sedimentológicas y en edades isotópicas K/Ar, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ y U/Pb de unidades pre-, sin- y post-deformación, al igual que secciones metamórficas aisladas (Aranda-Gómez *et al.*, 2000), han permitido sugerir diversos límites temporales para este proceso contractivo.

El mecanismo que hace iniciar la orogenia, genero un modelo de arco volcánico continental, a su vez este este modelo de manera posterior da origen a un grupo de intrusivos en el nororiente de México cuyo emplazamiento es la razón genética de varios yacimientos, como ejemplo Charcas, S.L.P., Concepción del Oro, Zacatecas y el distrito o zona que nos ocupa La Paz, S.L.P. (Pinto-Linares *et al.*, 2005).

IV.2. Provincia extensional de Cuencas y Sierras

IV.2.1. Introducción

Posterior al evento laramídico, que se cree finaliza alrededor de 40 o 50 Ma, en la parte suroriental de la SMOcc y en la MC, en el tiempo del Terciario Medio se presenta una deformación extensional que dio origen a la provincia de CS (*Basin and Range*), al ser un proceso extensional se generan varios sistemas de fallas que limitan la provincia, estos fueron llamados Sistema Taxco-San Miguel de Allende y San Luis-Tepehuanes por Nieto-Samaniego *et al.* (2005)

El fallamiento extensional se extendió hasta gran parte del suroriente teniendo un periodo de máxima extensión entre los 28-26 Ma (Labarthe-Hernández *et al.*, 1982; Tristán-González, 1986)

IV.2.2. Cuencas y Sierras en la porción meridional de México.

En la porción meridional de México, la provincia de CS, está conformada por la PVSLP y el Complejo Orogénico Zacatecano según se observa en el mapa de provincias geológicas Ortega *et al* (1992) y el de provincias fisiográficas del territorio mexicanos (INEGI 2003), limitando al sur con la Faja Volcánica Transmexicana. (Figura 5)

La extensión en la MC y por ende en la parte meridional de México, que a su vez son las CS en la parte sur, se considera consecuencia del papel que jugaron las estructuras pre existentes en la reactivación simultanea de sistemas ortogonales (nor oriente y nor poniente) de sistemas de fallas normales cenozoicas en la Mesa Central, que fue analizado por Nieto *et al.* (1997), concluyéndose que durante el

Cenozoico medio y tardío la deformación fue triaxial, con alargamiento principal máximo (casi de un 20%) aproximadamente en dirección oriente-poniente. Los sistemas de fallas reactivados posiblemente fueron generados en varios pulsos de extensión durante el Paleógeno (Aranda-Gómez y McDowell, 1998).

En el extremo meridional de la provincia de CS se ha documentado una migración de actividad magmática asociada a subducción que fue acompañada, o seguida después de un lapso breve, por pulsos de extensión importantes en las mismas regiones donde sucedió el vulcanismo.

IV.2.3. Relación de la extensión y magmatismo Terciario en la Mesa Central

En la parte oriente y central de México, en la provincia fisiográfica de la MC, hay varias llanuras formadas después de la compresión producto de la orogenia Laramide, pero antes del episodio extensional de CS, en el Oligoceno Medio y Tardío. Dos eventos tectono-volcánicos importantes ocurrieron en este intervalo de tiempo, uno fue un levantamiento de la corteza exhumando bloques del Triásico-Jurásico caracterizados por secuencias metamórficas, con la consecuente formación de cuencas que fueron rellenadas con lechos de color rojo y secuencias volcánicas, el segundo consistió en un fallamiento normal con caída hacia el nor oriente de estos bloques mencionados, relleno de conglomerado, material proveniente de las estructuras de *graben* y medio *graben*. Este primer evento es de Paleoceno Tardío al Eoceno Temprano, esto tuvo relación con un sistema de fallas oblicuas dextrales, con orientación nor-nororiente y nor-norponiente, este se combina con otro norponiente-suroriente en *echelon* por medio del cual ocurrió

vulcanismo y plutonismo (Tristán-González *et al.*, 2009). El segundo evento sucedió en el Oligoceno temprano al Mioceno Tardío, en el cual coincide el sistema Cuencas y Sierras con episodio volcánico y de intensa extensión (Tristán-González *et al.*, 2009)

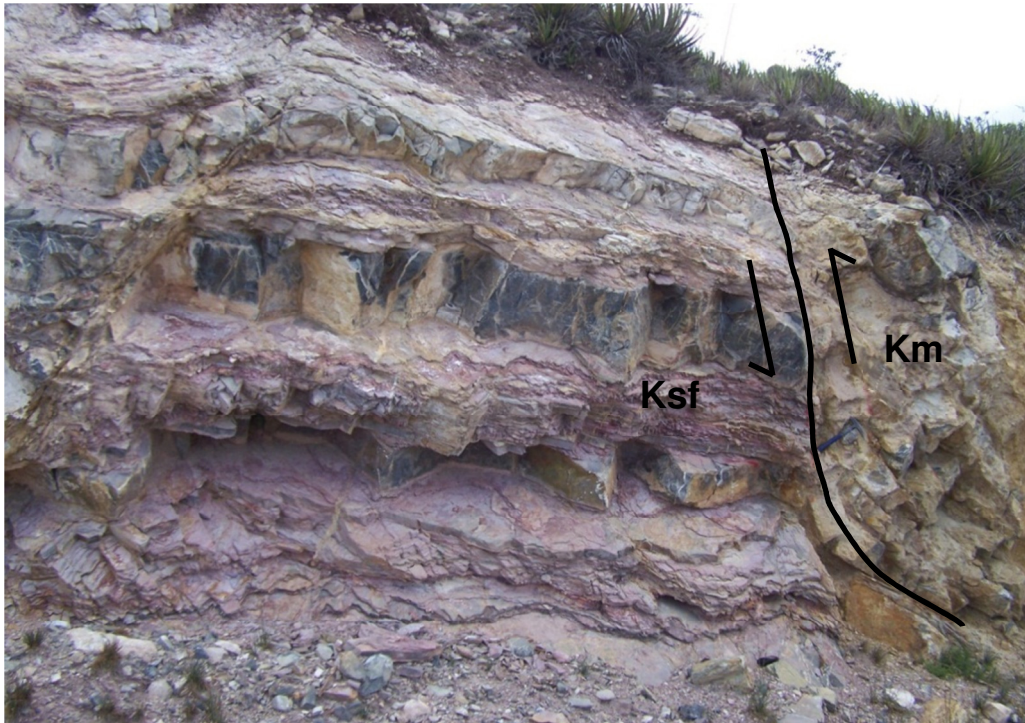
IV.3.Geología estructural.

IV.3.1.Descripción de las estructuras de la Sierra del Fraile

A. Estructuras laramidícas, fallas inversas y cabalgadura

Las estructuras laramidicas son más fácil de observar en el flanco sur poniente de la serranía, en la parte que corresponde al Cerro Del Frailecillo y el Arroyo Dolores, esto último en la línea de levantamiento geológico de la sección A-A', en la cual se puede observar con claridad todo lo relacionado con el sistema de fallas generadas en la cabalgadura en contacto entre las diferentes formaciones en este caso entre Formación Méndez y San Felipe, San Felipe con Agua Nueva, Agua Nueva y Tamaulipas Superior, por último y de manera más sobresaliente el contacto entre Formación Méndez y San Felipe, y el de Tamaulipas Superior y Agua Nueva; en todas las formaciones se encontraron fallas inversas intraformacionales. También se ubicaron una serie de fallas inversas en el flanco mencionado, de las cuales para representar el sistema se identifican tres de ellas como FI1,FI2 y FI3 (Plano anexo 1), en el Arroyo Dolores quedo de manifiesto la generación de un sistema de fallas *detachment*, la condición de estas fallas deriva de la cabalgadura que se refleja desde el contacto entre la Formación Méndez y

San Felipe (Figura 17), es la evidencia resultante de un proceso compresivo que da como consecuencia un contacto discordante entre las formaciones mencionadas, esto es claro en la parte mencionada, pero al avanzar hacia el norte ya no lo es, se observa el contacto en el flanco poniente de la Sierra del Fraile, pero junto con la erosión y la posición del contacto va bajando topográficamente hasta perderse en el valle, y al ser cubiertos por el aluvión se oculta la cabalgadura.



A)



B)

Figura 17. Contacto discordante Formación San Felipe y Méndez, Sierra del Fraile, cabalgadura y falla inversa detalle (A) y panorámica (B).

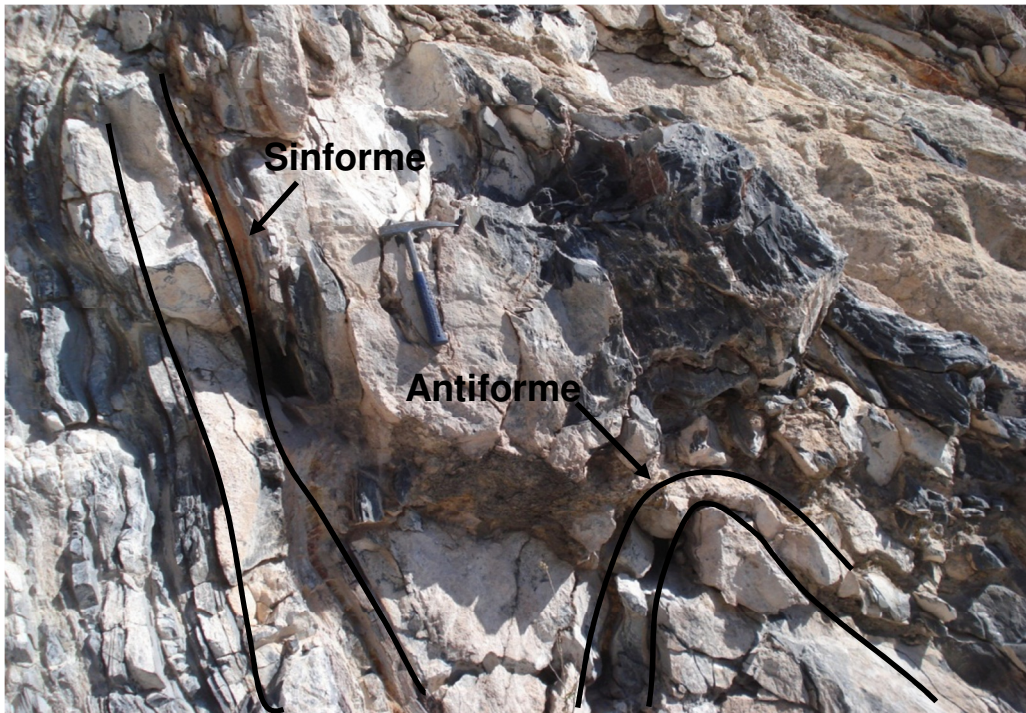
B. Plegamientos antiformes y sinformes

La Sierra del Fraile en los diferentes trabajos realizados con anterioridad se ha manejado como un anticlinal recumbente (García-Gutiérrez, 1967; Pinto-Linares *et al*, 2005; Barboza-Gudiño y Torres-Hernández, 1999). De acuerdo con la definición para un pliegue recumbente, el ángulo de plano axial debe estar en el rango de 0° - 10° , y los planos axiales de los pliegues analizados en el área son de ángulos mayores, por lo que más bien se clasifican como pliegues inclinados (volcados o recostados). En el levantamiento geológico-estructural que se realizó se pudieron identificar una serie de ejes de pliegues antiformes los cuales para su ubicación recibieron los nombres de Anticlinal 1,2 y así sucesivamente hasta el 12 (Plano anexo 1). Los ejes y planos axiales de los anticlinales, así como todos los elementos estructurales de los cuáles se levantaron datos, fueron analizados por medio de estereogramas y solo se dibujaron como parte de la sección tipo al 7,8,9,10,11 y 12, ya que están dentro de la sección A-A' cuyo análisis podemos ver en la Figura 27. Los elementos estructurales en el flanco nororiente cercano a la zona de la Mina Cobriza se muestran en la Figura 30, los elementos medidos en la parte central de la Sierra Del Fraile (Figura 31). Los anticlinales 7 (en la Formación Agua Nueva), 8 y 9 (en la Formación Tamaulipas Superior) son de tipo asimétrico y recostados con vergencia al oriente, y se ubican en la parte sur de la zona de la Mina Dolores, específicamente en el Arroyo Dolores (Plano anexo 1). Caminando en esta sección hacía el oriente se ubicaron los anticlinales 10,11 y 12 (en la Formación Agua Nueva) son de tipo simétricos, se muestran en la sección

A-A' (Figura 27). En el flanco poniente de la zona del Cerro del Frailecillo. En el camino que conduce desde el Cerro del Muerto hasta el Cerro del Frailecillo se observa una serie de fallas inversas de ángulo alto, así como algunos pliegues antiformes asimétricos con vergencia al oriente (Figura 27). De manera general podemos considerar que a medida que nos acercamos de poniente a oriente a la Gran Falla, de una condición de anticlinales asimétricos y con vergencia al oriente, pasando a anticlinales de tipo simétricos.

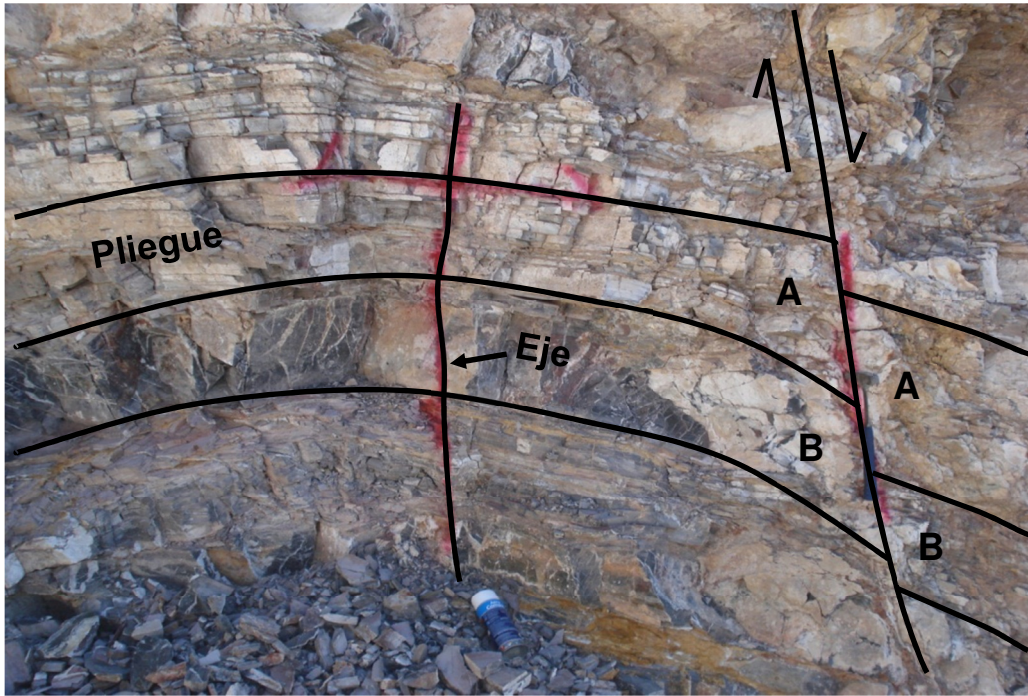


A)



B)

Figura 18. Pliegues flanco oriente Sierra del Fraile, antifforme (A), Sinforme y antifforme (B).



A)



B)

Figura 19. Sistema de pliegues y fallas, representativo del flanco sur poniente Sierra del Fraile, antiformal y falla normal (A) y falla inversa (B).

C. Estructuras extensionales o post laramílicas fallas normales

La falla más sobresaliente es la conocida como Gran Falla Dolores o Gran Falla, es una falla normal la cuál destaca de las demás porque divide al distrito en dos zonas (Plano anexo 1). Se considera de manera hipotética por varios autores que existe un desplazamiento de 800 m entre bloques (García-Gutiérrez, 1967; Gunnes, 1992). La Falla tiene una orientación general norte-sur con un echado promedio de 75° al oriente, presenta un *pitch* al nororiente con un ángulo promedio de 78° (Figura 20 A). Su traza corre a lo largo del flanco oriente (Figura 20 B) de la Sierra del Fraile, actuando como frontera entre la parte topográfica positiva de la montaña al poniente y el valle al oriente, actuando a su vez como límite entre la zona de vetas (Ag, Pb, y Zn) en el valle y la mayoría de cuerpos de *skarn* (Cu, Ag y Au) en la serranía. Esta falla corta al intrusivo en la zona de Dolores el cual tiene un rumbo general $N45^\circ W$ y por ende a la aureola de *skarn* al sur. En el valle el cuerpo contiguo a la Gran Falla es Santa Teresa el cual tiene un rumbo general casi oriente-poniente, lo cual nos muestra un movimiento siniestral que coloca al cuerpo en cuestión, desplazado al norte de su posición anterior al fallamiento. La estructura identificada como Gran Falla es cortada en la parte central por otra falla, en posición diagonal con desplazamiento probablemente lateral de tipo dextral conocida como Falla Diagonal (Figura 21 A), esta estructura está aflorando en superficie y fue corroborada su posición en el subsuelo con la obra minera subterránea (Rampa La Unión y el barreno SPR7; Plano anexo 1). Después de este probable desplazamiento la Gran Falla sigue conservando el rumbo original. La parte con cataclasis asociada a la Gran Falla, no presenta el mismo espesor a

lo largo de su afloramiento, cercana a la Mina Dolores llega a tener hasta 20 m, en la parte norte cercana a la Mina Cobriza muestra solo 2 m (Figura 21 B).



A)



B)

Figura 20. Panorámica de la Gran Falla vista de norte a sur flanco oriente Sierra del Fraile, mostrando pitch (A) y panorámica (B).



A)



B)

Figura 21. Falla diagonal mostrando pitch (A) y afloramiento Gran Falla al norte Mina Cobriza (B) Sierra del Fraile.

En el flanco oriente al norte de la sierra se presentan una serie de fallas normales sintéticas casi diagonales a la Gran Falla conocidas como Sistema Fallas Cobriza SW, de un rumbo general N 45° W con buzamiento de 75° al NE. En estas se advierte una coincidencia en su rumbo con la zona mineralizada de Cobriza Sector SE (cuerpo 21-21). Lo que hace suponer la relación entre fallamiento y las zonas de debilidad en el contacto *skarn*-caliza (Plano anexo 1). Esta condición de debilidad deriva de la diferencia de densidades y dureza entre la caliza y el *skarn*, teniendo entre sus propiedades mayor dureza y densidad este último. En este mismo caso se encuentra la Falla Cobriza NE (Figura 25 A), que tiene una semejanza de rumbo con la zona mineralizada Sector NE (cuerpo 78-01; plano anexo 1) de la misma mina. La Falla Aquerón (Figura 25 B) se ubica casi al centro de la Sierra Del Fraile y tiene una serie de variantes en su rumbo pero mantiene una coincidencia con la condición señalada del contacto, siendo una de las zonas más inestables en la Rampa La Unión, sobre todo en el intrusivo. Existe una serie de fallas normales sintéticas de rumbo NE-SW en la zona del Cerro del Frailecillo conocido como Sistema de Fallas Frailecillo (Figura 26); estas estructuras son perpendiculares al intrusivo y zona mineralizada de Dolores. Más al oriente de la Gran Falla, en esta zona, de manera paralela se encuentra la Falla El Membrillo (Plano anexo 1); esta estructura corta el extremo sur de la zona mineralizada de Santa Teresa y tiene un rumbo semejante al de la Gran Falla N-S, inclinación de 70°-75° y con un probable movimiento siniestral que se percibe con la ubicación de la zona mineralizada contigua que es la de San Agustín, la cual esta desplazada ligeramente al norte. Esta falla se cartografió en superficie y se cortó

en la obra subterránea Q-95 3 en Santa Teresa (Plano anexo 1). Con las mismas características anteriores (rumbo, inclinación y probable movimiento siniestral), se cartografió una falla denominada Falla Oriental (Plano anexo 1), la cual ya está dentro de la zona de vetas en la cercanía del Tiro Pilar; esta estructura está consignada en planos geológicos y secciones de las minas El Pilar y San Acacio en archivos de la empresa NEMISA, el desplazamiento estimado de las vetas es coincidente con el que aquí se documenta. Existen algunos rasgos estructurales (como facetas triangulares) que sugieren la presencia de algunas fallas en posición perpendicular a las descritas. Todas las fallas descritas son posteriores al proceso de mineralización, y probablemente correspondan a finales del Oligoceno y principios del Mioceno en el Terciario. Se puede inferir que las que corren a lo largo de la sierra y en algunos casos casi paralelas a los ejes de los anticlinales, son parte de una etapa muy posterior de relajamiento de la fase compresiva, sin embargo las que si pueden ser consideradas como más inmediatas y posteriores a esta fase, son las estructuras que están con rumbo general oriente-poniente, y que son las que prepararon el terreno a la mineralización de vetas. La importancia en el conocimiento de las estructuras fuera del rumbo oriente-poniente radica en que existe, en algunas de ellas, una relación de coincidencia entre su rumbo y el emplazamiento de las zonas mineralizadas, esta relación se da porque queda establecida una zona de debilidad entre el contacto de caliza con *skarn*, que se manifiesta precisamente en estas fallas, los ejemplos más claros son Falla Cobriza NE y Sistema Fallas Cobriza SE.



A)

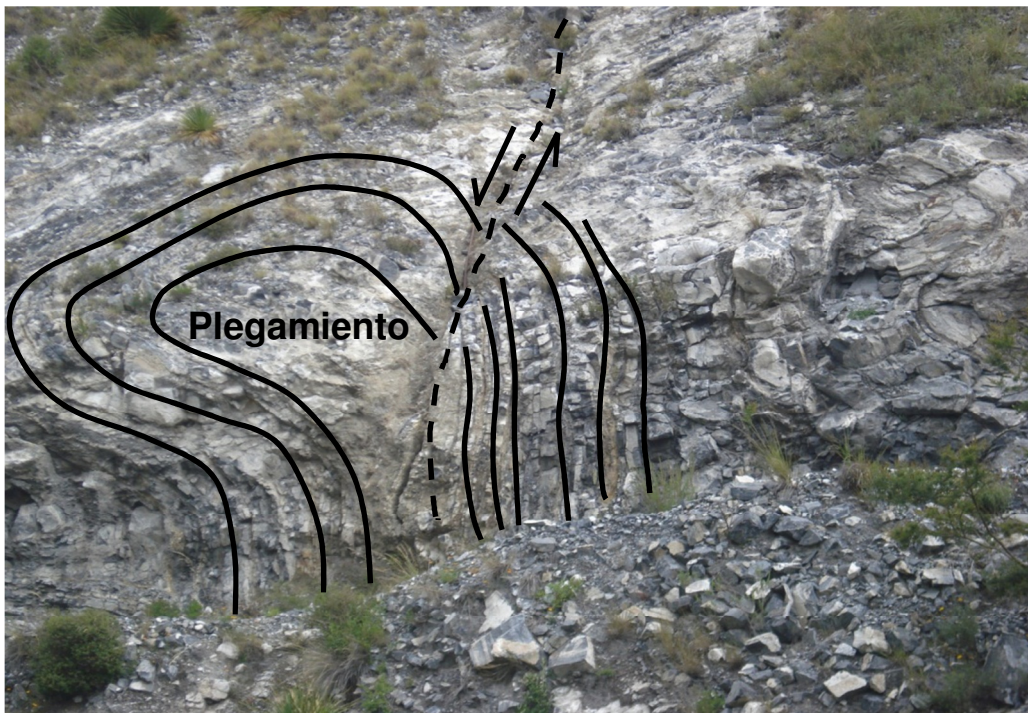


B)

Figura 22. Fallas flanco oriente Sierra del Fraile, falla normal Cobriza NE (A) y detalle falla inversa Aquerón (B).



A)



B)

Figura 23. Falla del sistema de fallas El Frailecillo de rumbo SW-NE, mostrando desplazamiento (A) y plegamiento (B).

D. Estructuras Intrusivas

Es importante recalcar que el modelo de intrusión es claro, se observa que las fallas inversas fueron las zonas que facilitaron el camino (Figura 24).

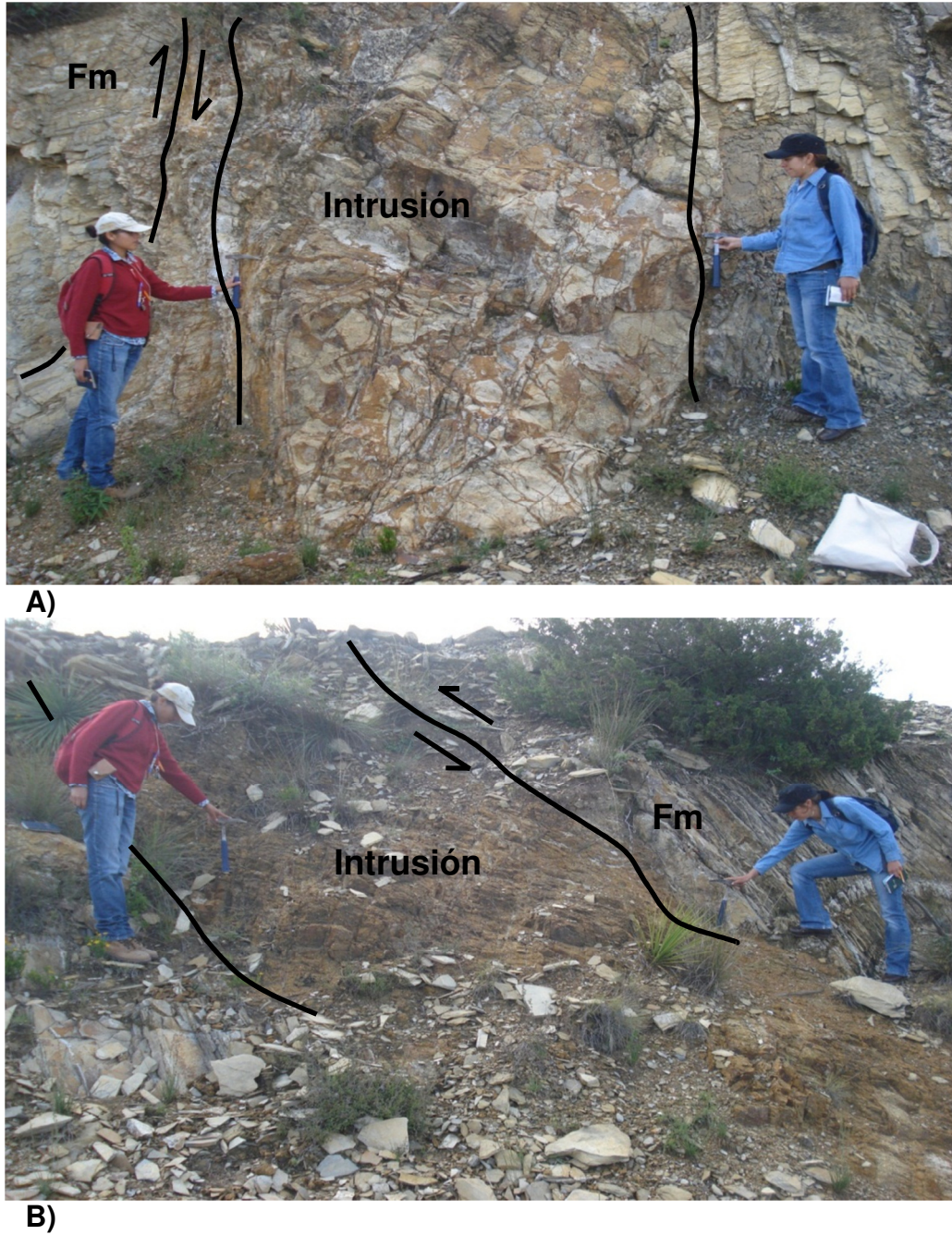
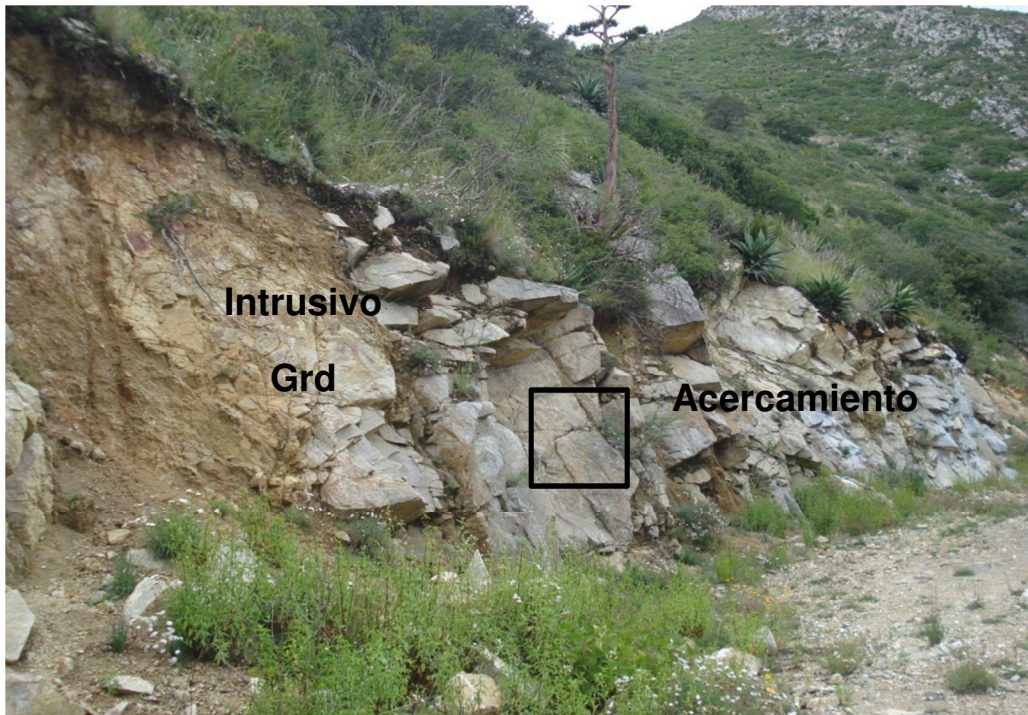


Figura 24. Zona de falla inversa en Formación Méndez, conducto para la intrusión, mostrando un ángulo alto (A) y ángulo bajo (B), Sierra del Fraile flanco sur poniente.

Se definieron 2 afloramientos masivos, el primero corresponde al intrusivo de la zona Mina Dolores al sur y el segundo al norte en la zona de la Mina Cobriza (Figura 25). Estos cuerpos son los principales quiénes posteriormente a su proceso de intrusión generaron la aureola de *skarn* en el contacto con las calizas, pero también asimilaron los bloques de caliza que fueron empujados en el proceso de fallamiento, esto explica la presencia de cuerpos de *skarn* dentro del intrusivo que son conocidos como colgantes del techo (*roof pendant*) o de colgantes aislados en intrusivo con ligero o nulo proceso metasómico. Debido a que el afloramiento del intrusivo en la zona de la Mina Dolores es más grande y muestra la zona de mineralización más extensa es más fácil de observar este modelo (Figuras 26 A y 26 B). Se definieron una serie de diques en la parte conocida como El Puerto; son 4, y a pesar de las flexiones que muestran, tienen un rumbo general NW-SE con buzamiento al SW. En la intersección del Camino Poniente Cerro del Fraile y Camino Central Cerro del Fraile, se ubicó otro dique con rumbo general NW-SE y echado 75° al SW. En el Arroyo Dolores (sección A-A') se definieron 2, uno en el contacto entre la Formación San Felipe y Agua Nueva y el otro entre Tamaulipas Superior y Agua Nueva (Plano anexo1); independientemente de su ubicación, todas estas estructuras muestran un rumbo semejante y un modelo de emplazamiento común.

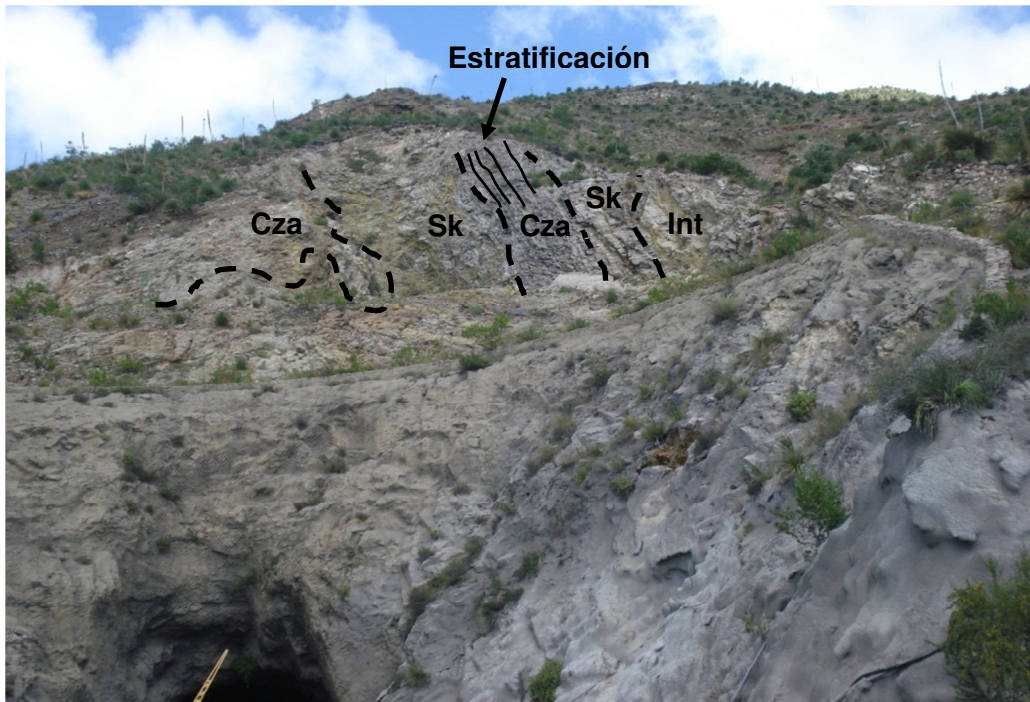


A)

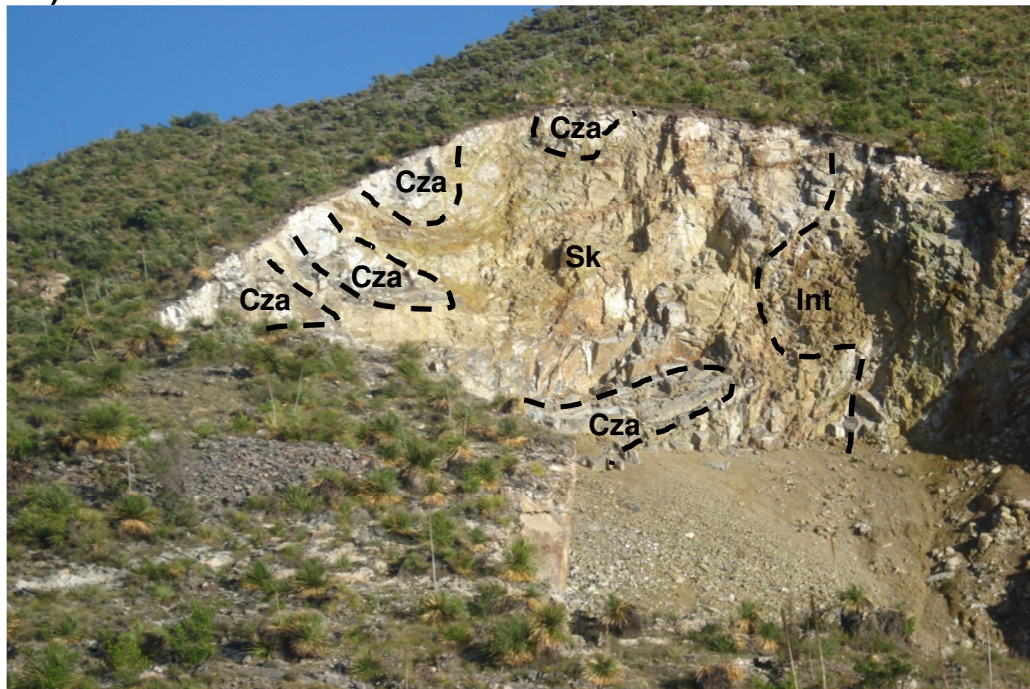


B)

Figura 25. Afloramiento intrusivo granodiorita, panorámica flanco oriente, Sierra del Fraile (A) y acercamiento (B).



A)



B)

Figura 26. Mostrando colgantes (roof pendant) provenientes de material metasedimentario (cza) que aún conservan estratificación (A) en contacto con Skarn (Sk) e intrusivo (Int), se observa la disposición de bloques que quedaron en la parte superior del intrusivo (B), Sierra del Fraile, Zona de mina Dolores.

IV.3.2. Análisis estructural

El análisis estructural se realizó a partir de una sección tipo llamada A-A' (Figuras 27, 28 y 29) y dos caminamientos: el primero en la parte nororiental de la Sierra del Fraile en las inmediaciones de la Mina Cobriza (Figura 30) con un rumbo general E-W; el segundo en la parte central de la Sierra del Fraile (Figura 31) con un rumbo general N65°E.

El análisis estructural se enfocó en el comportamiento de la deformación de acortamiento y sobre todo el sistema de fallas y su relación con las zonas mineralizadas y a comprobar que la Sierra del Fraile no es una sola estructura de anticlinal recumbente, sino más bien porciones de antiformas y sinformas, donde sus planos axiales no llegan a ser horizontales. Aparentemente el flanco poniente fue el más afectado por la compresión y los anticlinales en esa aparte muestran vergencia hacía el oriente (Figura 27). Aunque en realidad todo fue igualmente afectado solo que en uno de los flancos la secuencia se encuentra imbricada y por lo tanto los flancos están rotos y en el otro flanco la imbricación fue menor y por lo tanto los pliegues se encuentran completos.

IV.3.2.1. Análisis estructural de la sección A-A'

La Figura 22 corresponde a la sección tipo A-A', su análisis estructural en la parte que corresponde a los planos S_0 tuvo que ser dividida en dos sectores al SW y al NE, pues la sección al ser prácticamente transversal a la Sierra del Fraile, corta los flancos poniente (SW) y oriente (NE), el comportamiento de dichos planos difiere; en la primera parte corresponde a pliegues cuyo plano axial tiene

vergenza al oriente, y los del lado oriente tienden a ser simétricos (Figuras 28 A y B, corresponden a la zona SW). El estereograma de círculos mayores representan a los pliegues recostados, no se determinaron los esfuerzos principales, el polo $\beta = 352^\circ/03^\circ$, se pudo determinar que los flancos que buzcan al SW son de bajo (muy pocos), mediano y alto ángulo, en tanto que los que lo hacen al NE son de mediano ángulo, con este comportamiento más lo observable en campo y la sección se puede establecer la vergencia al NE. En el diagrama de densidades se pudo establecer un VP con un azimut = 352° y una DTT = 82° al NE.

En la Figura 28 B, se representan los ejes axiales y estrías; se determinó un azimut para los ejes de 352° y con las estrías se determinó un promedio de DTT = 073° al NE, resalta la condición de perpendicularidad entre estrías y ejes axiales.

La figura 28 C corresponde a los planos S_0 del sector NE. Con el estereograma de círculos mayores y polos se pudo establecer los valores de los esfuerzos, siendo estos para $\sigma_1 = 083^\circ/03^\circ$, $\sigma_2 = \beta = 353^\circ/12^\circ$ y $\sigma_3 = 187^\circ/78^\circ$, en el diagrama de densidades se determinó un VP con azimut = 353° y la DTT = 83° al NE.

La Figura 29 A, representa los diagramas correspondientes a estructuras plegadas. Con el estereograma de círculos mayores y polos se pudo establecer los valores de los esfuerzos, siendo $\sigma_1 = 085^\circ/14^\circ$, $\sigma_2 = 178^\circ/09^\circ$ y $\sigma_3 = \beta = 300^\circ/73^\circ$. En el diagrama de densidades se determinó un VP con azimut = 358° y la DTT = 88° al NE, se observa que los ejes cabecean tanto al norte como al sur, lo cual demuestra un modelo de deformación cilíndrico.

La Figura 29 B, muestra el análisis con los diagramas correspondientes a fallas inversas. Con el estereograma de círculos mayores y polos se pudo establecer

una DTT= 79° al NE. En el diagrama de densidades se determinó un VP con
azimut =348°.

.

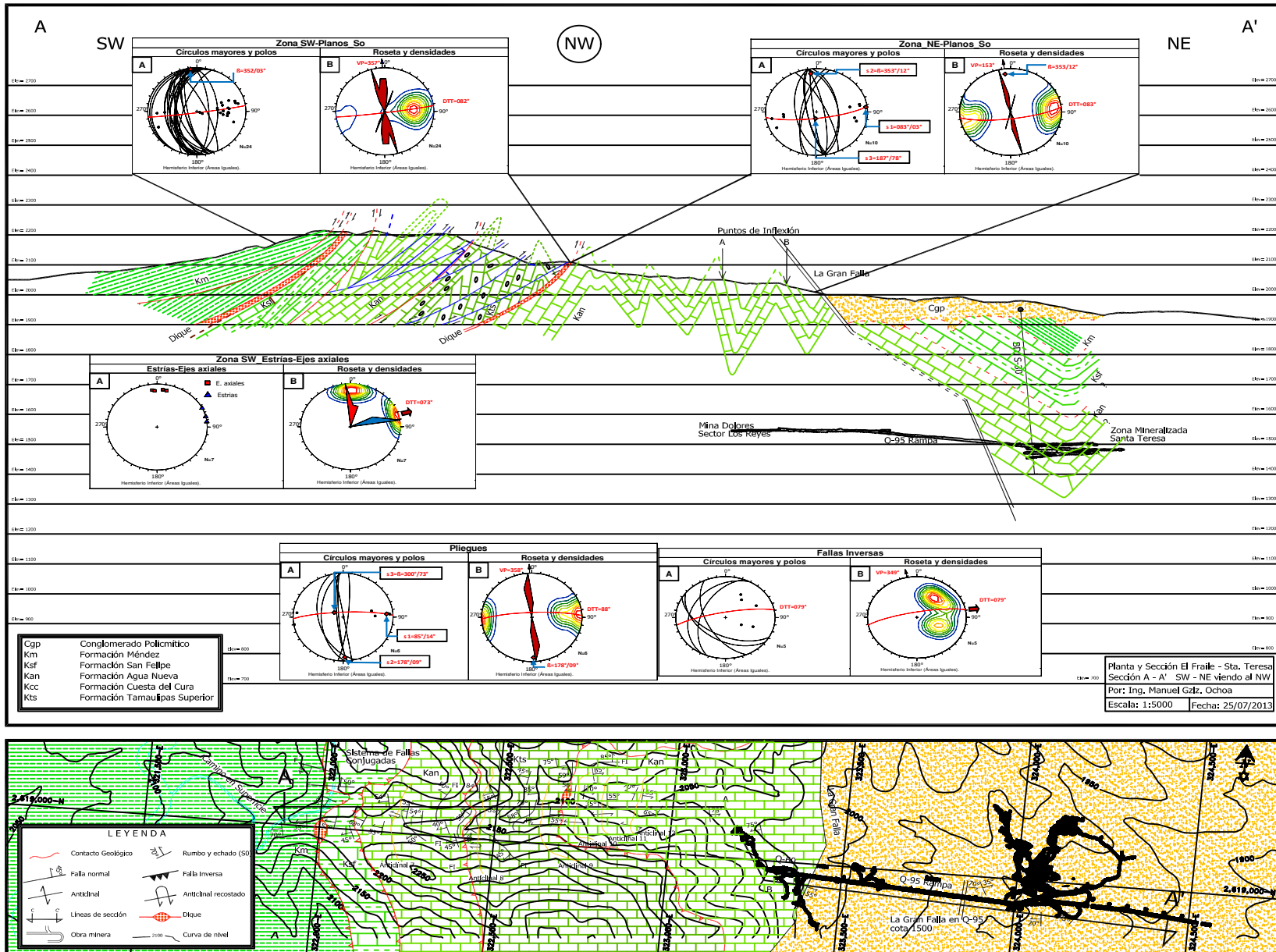
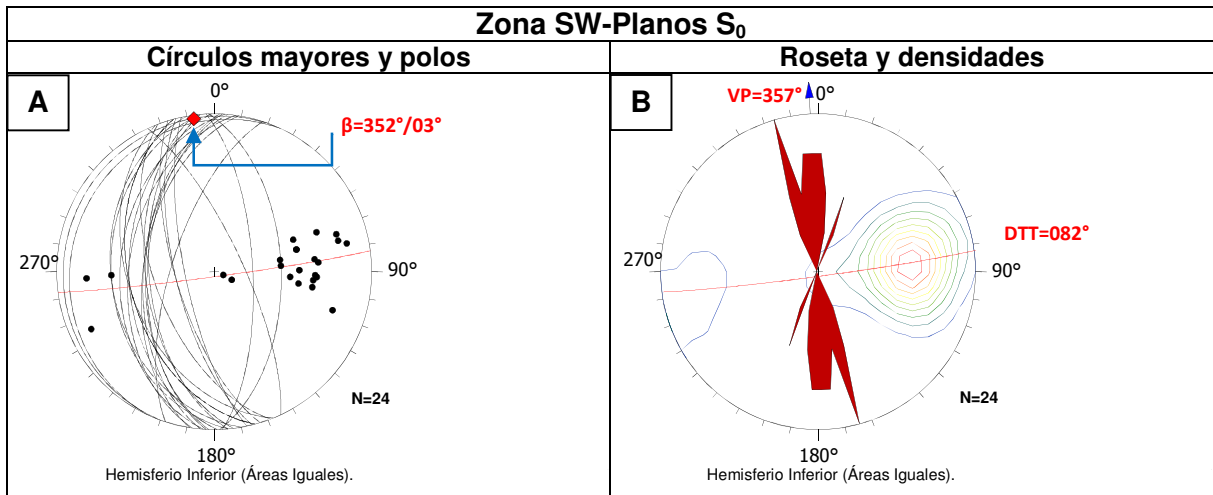
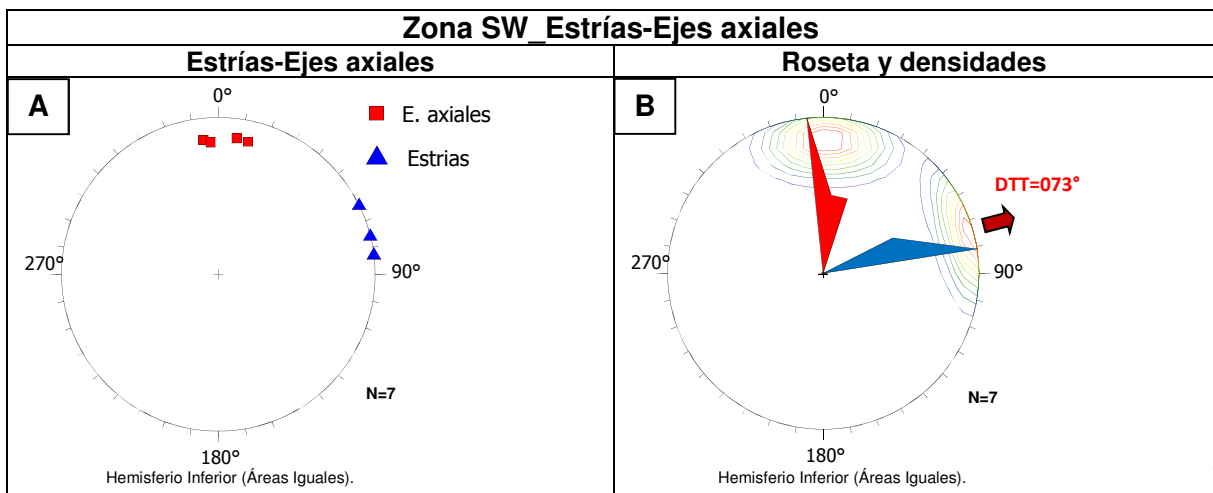


Figura 27. Estereogramas Planta y Sección A – A'

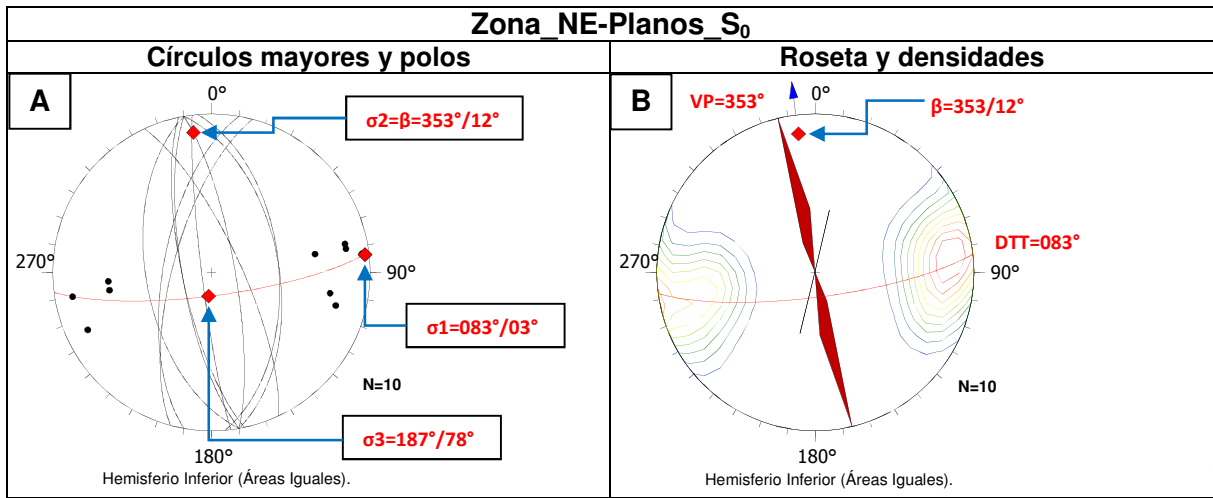


A) Planos S_0 , determinación del cabeceo de los planos y eje axial, por medio de círculo $\beta=352^\circ/03'$ mayoritariamente al norte y con poca población al sur, determinación de vector promedio 357° y dirección de transporte tectónico al NE de 82° .



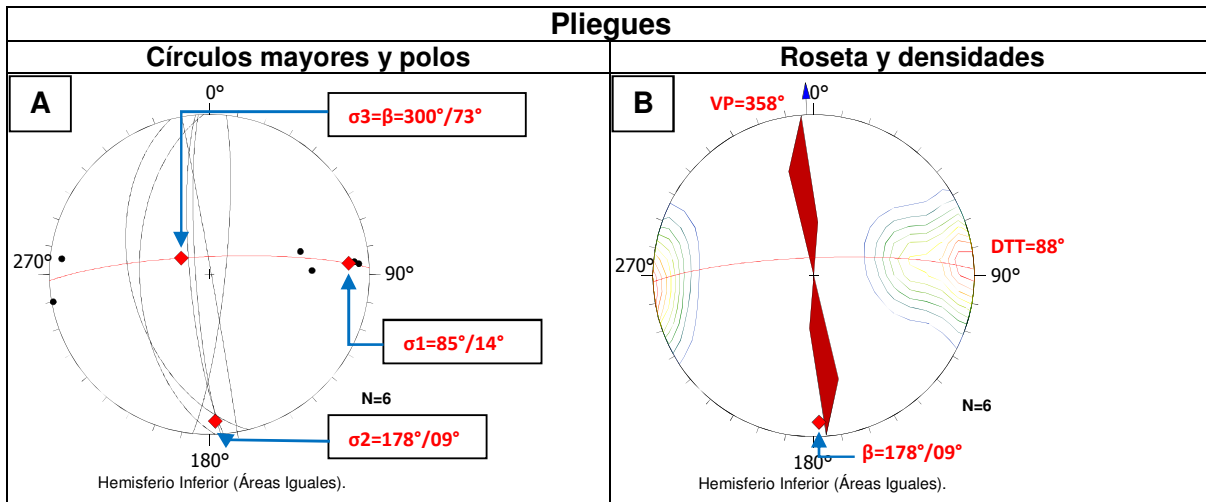
B) Representación de los ejes axiales y estrías corroborando la dirección del vector promedio y la dirección de transporte tectónico.

Figura 28 A y B. Detalles de los estereogramas de la sección A-A' Sierra del Fraile. Planos S_0 de la zona SW en (A). Proyección de estrías y ejes axiales de la zona SW (B)

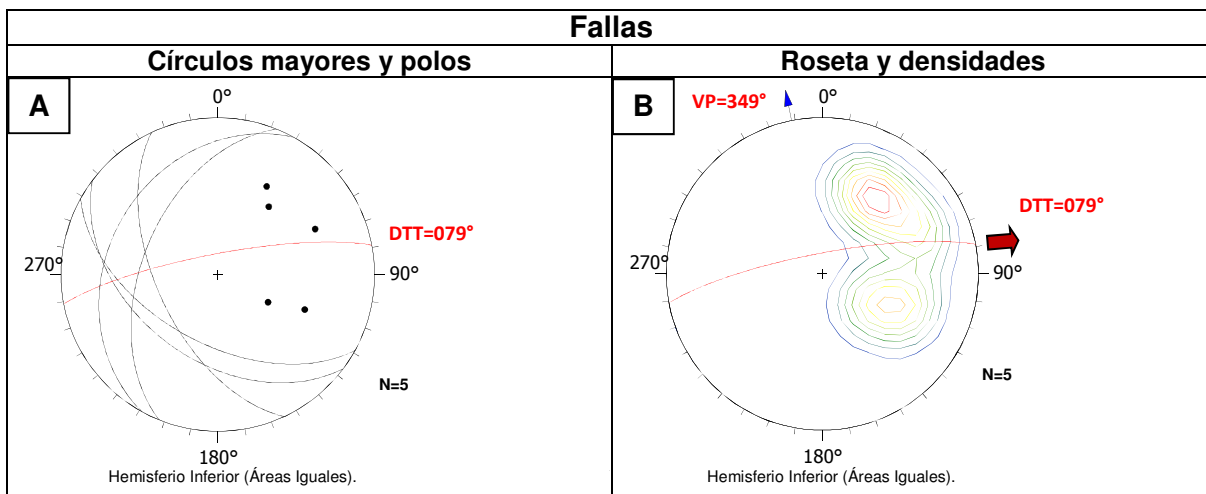


C)

Figura 28 C. Detalles de los estereogramas de la sección A-A' Sierra del Fraile. Planos S₀ de la zona NE mostrando los planos de esfuerzo obtenidos en σ_2 con $\beta = 353^\circ / 12^\circ$ el cual corresponde al valor del vector promedio 353° en un rumbo NW, $\sigma_1 = 083^\circ / 03^\circ$ el cual corresponde a la dirección de esfuerzo tectónico 83° en un rumbo NE, $\sigma_3 = 187^\circ / 78^\circ$.



A) Comportamiento de pliegues los cuales se determinaron con σ_1 , σ_2 y σ_3 , que a su vez determinaron una dirección de transporte tectónico al NE 88° y un vector promedio 358° que indica el cabeceo.



B) Determinación del comportamiento de las fallas inversas, coincidiendo con la dirección del transporte tectónico al NE 79° y el vector promedio con 349°.

Figura 29 A y B. Estereogramas Sección A – A', proyección de pliegues mostrando σ_1 , σ_2 y σ_3 y obteniendo VP que indica cabeceo al norte y al sur de los ejes (A), comportamiento de las fallas y determinación DTT (B).

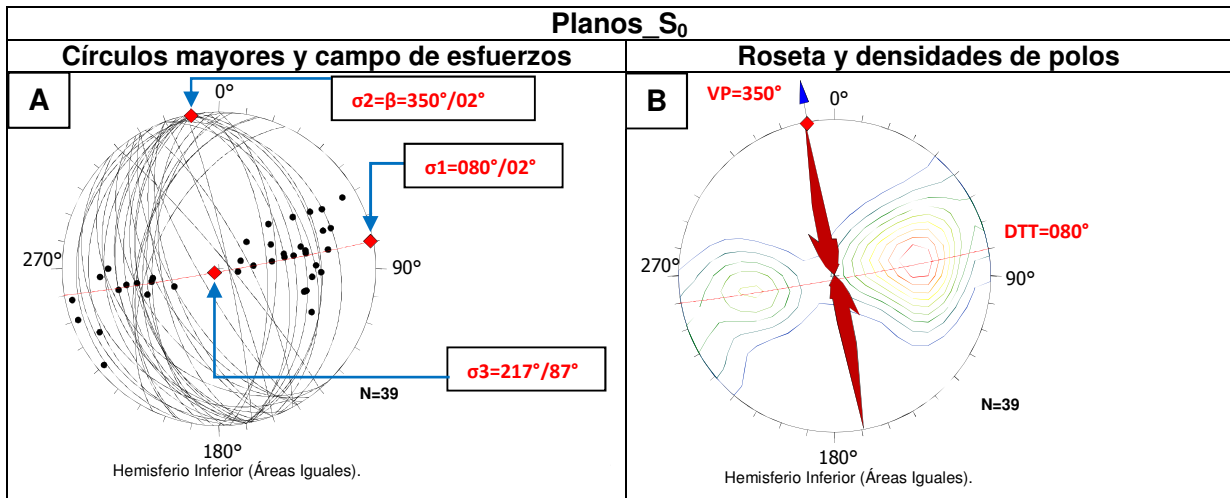
IV.3.2.2. Análisis estructural de la zona nororiental de la Sierra del Fraile

Los aspectos estructurales de esta zona en las cercanías de la Mina Cobriza, se plasman en la Figura 30.

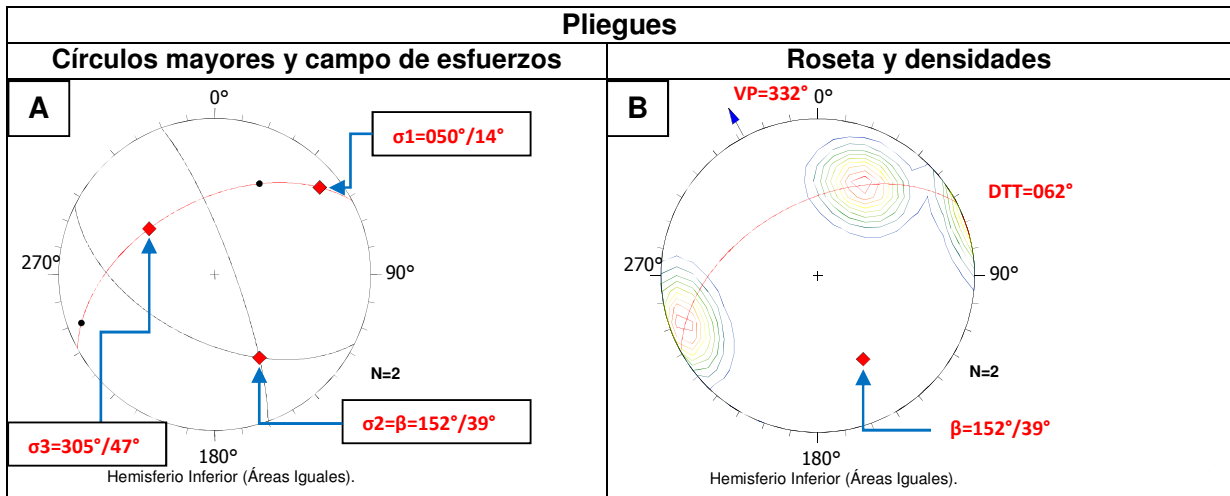
En la Figura 30 A, se aprecia una población de círculos mayores que representan planos de estratificación (S_0), donde la mayoría se inclinan hacia el SW con ángulos que varían desde bajos hasta medianamente altos y otra concentración menor de planos con inclinación al NE con ángulo medio a alto. La primera concentración al SW representa los pliegues volcados con vergencia al NE y la parte restante junto con los planos al NE corresponde a pliegues asimétricos, esto por la apreciación vista en campo. La intersección de ambas poblaciones SW-NE está dada tanto al NNW como al SSE, lo cual significa un doble buzamiento de la estructura general, pero predominando el NNW donde el polo β en el diagrama de densidades da un azimut de 350° con un cabeceo de 02° . El círculo π tiene una actitud de $187^\circ/87^\circ$ lo que ayuda a definir la dirección de acortamiento o DTT hacia el NE 080° . En el análisis de los campos de esfuerzo se obtuvieron los valores de $\sigma_1=080^\circ/02^\circ$, $\sigma_2=350^\circ/02^\circ$ y $\sigma_3=217^\circ/87^\circ$. En el diagrama de roseta de la Figura 30 A superpuesto sobre el diagrama de densidades se muestra el rumbo general de las estructuras que se obtuvo a partir del análisis de los planos S_0 , el cual da un promedio de 350° . En el recorrido de este caminamiento también se observaron pliegues asimétricos y recostados. En el diagrama de la Figura 30 B se graficó uno de los pliegues, donde uno de los flancos es de alto ángulo, prácticamente vertical, que corresponde al flanco invertido, mientras que el flanco normal es de bajo ángulo inclinado al SW, graficando su círculo π y el polo β se obtuvo un valor de

emersión 152° con cabeceo de 39° y para el círculo π de $332/47^\circ$. En el diagrama de densidades correspondiente se obtuvieron los valores del campo de esfuerzos de $\sigma_1=050/14^\circ$, $\sigma_2=152/39^\circ$ y $\sigma_3=305/47^\circ$; en el diagrama de roseta se representa el rumbo del eje del pliegue NNW con un azimut de 320° .

En la Figura 30 C, se representan tres planos de fallas normales detectadas en la sección, los cuales son de ángulo alto con vergencia al NE, cuya dirección de acortamiento es similar a la obtenida con los planos S_0 de la Figura A, y con el análisis del pliegue de la Figura 30 B. La dirección de los esfuerzos principales también es coincidente con los obtenidos en las figuras mencionadas. El diagrama de rosas también es coincidente con el rumbo general de las estructuras en los diagramas anteriores. Esta sección es la más representativa del estilo de deformación de la Sierra del Fraile debido a que la secuencia estratigráfica no está tan modificada por el intrusivo, como ocurre con la sección A-A' al sur de la sierra.



A) Los planos que se inclinan hacia el SW son de ángulos de bajos a medianamente altos y otro grupo con inclinación al NE con ángulo medio a alto, los del SW representan pliegues volcados con vergencia al NE y los segundos corresponde a pliegues asimétricos. La intersección de ambos grupos da al NNW y SSE lo cual indica doble buzamiento de la estructura pero predomina la del polo $\beta = 350^\circ / 02^\circ$, definiendo un VP=350° y con el círculo $\pi = 187^\circ / 87^\circ$ lo que ayuda a encontrar la DTT=80°.



B) Al analizarse un pliegue se determinó un ángulo de emersión $152^\circ / 39^\circ$ (cabecero) y con el círculo $\pi = 332^\circ / 47^\circ$, obteniendo una DTT=62°

Figura 30 Ay B, estereogramas zona nororiental Sierra del Fraile Mina Cobriza, análisis de planos S_0 (A) y pliegues (B).

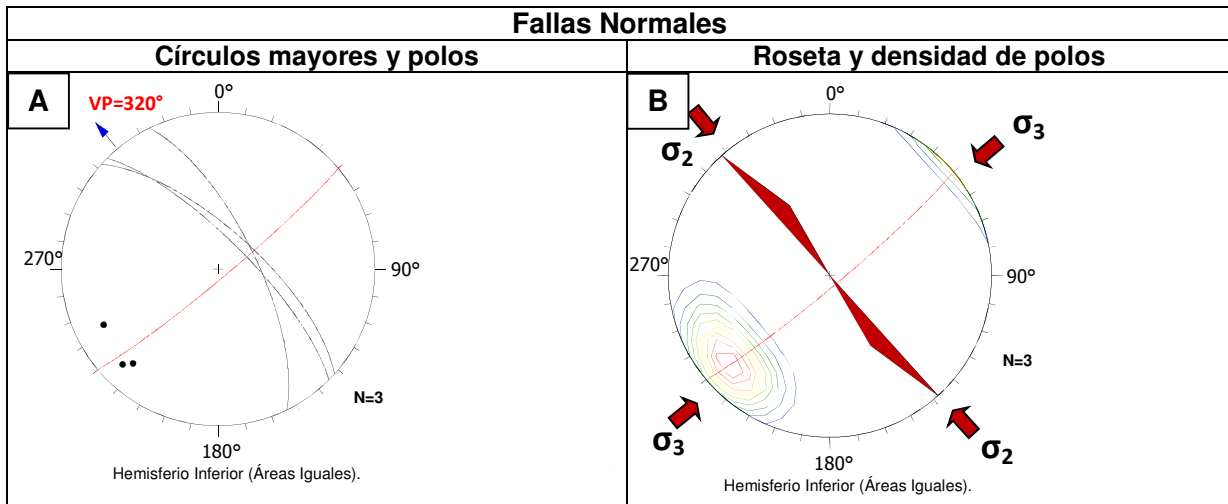


Figura 30 C Estereogramas zona nororiental cercana a la mina Cobriza, fallas normales mostrando VP= 320° y un buzamiento al NE, determinación de los campos de esfuerzo σ_1 , σ_2 y σ_3 .

IV.3.2.3. Análisis estructural de la zona central de la Sierra del Fraile

Los aspectos estructurales de esta zona, se plasman en la Figura 31.

En la Figura 31 correspondiente a zona central de la Sierra del Fraile se obtuvieron mediciones de planos de estratificación S_0 para ver el comportamiento de la deformación compresiva. En la Figura 31 A se aprecia que la mayor población de planos S_0 buzanan al SW con ángulos de inclinación medios a bajos y otra población menor con planos inclinados al NE. La presencia de una densidad mayor al SW denota la presencia de pliegues recostados al NE y una presencia menor de pliegues asimétricos. La intersección de planos es marcada al NNW y que de acuerdo a los diagramas β , el círculo π tiene una actitud de 334°/86° y el polo β de 153°/03°. En el diagrama de densidades están representados los valores de los esfuerzos principales, donde $\sigma_1=234^\circ/04^\circ$, $\sigma_2=153^\circ/03^\circ$ y $\sigma_3=015^\circ/86^\circ$,

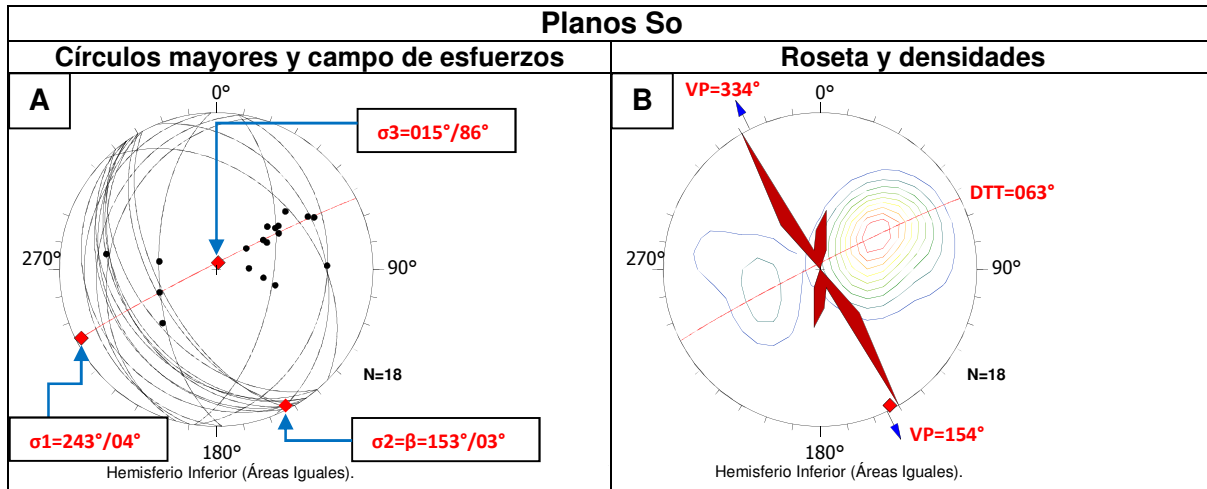
calculando también la DTT de 063° al NE. El diagrama de rosas superpuesto sobre el de densidades se aprecia que el rumbo general de las estructuras es con un azimut de 334° , o sea, al NNW. En la Figura 31 B, se analizó un pliegue antiformal cuyos valores son muy semejantes a los de la Figura 30 B, obteniendo valores con los diagramas β del círculo $\pi = 312^\circ/67^\circ$ y el eje β de $133^\circ/22^\circ$. Los valores para los esfuerzos principales graficados sobre el diagrama de densidades dan valores para $\sigma_1 = 040^\circ/08^\circ$, $\sigma_2 = 133^\circ/22^\circ$ y $\sigma_3 = 291^\circ/67^\circ$, y en el diagrama de rosas se aprecia el rumbo general del eje del pliegue.

En el diagrama de la Figura 31 C, se graficaron cuatro fallas normales cuyos planos son en general de ángulo alto, mostrando una vergencia al NE, coincidente con los valores obtenidos de los planos So. En el diagrama de densidades se graficaron la dirección general de los esfuerzos principales y en el diagrama de rosas y densidades se muestra el rombo promedio del conjunto de fallas inversas.

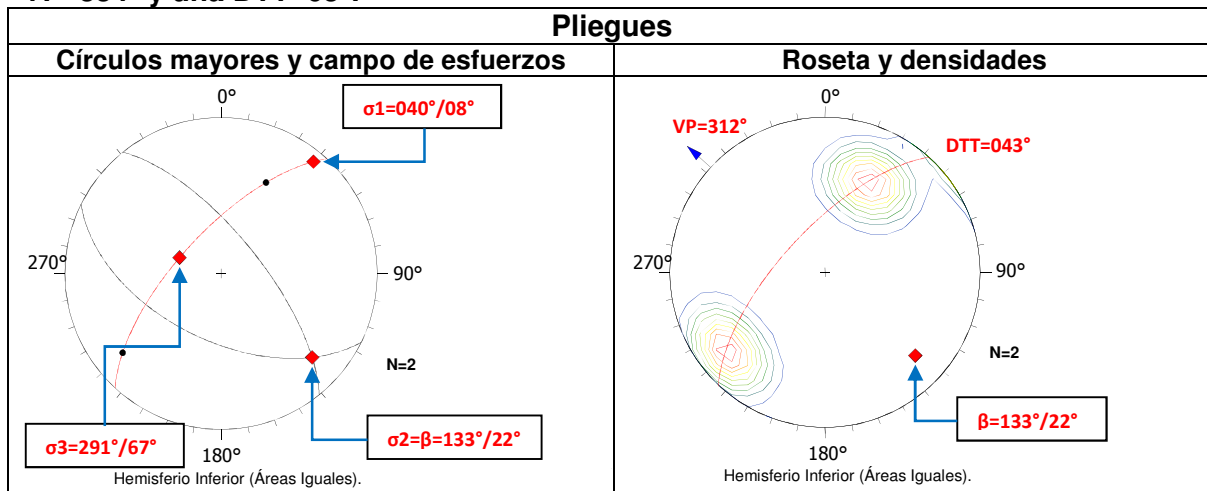
En el análisis de ambas zonas se aprecia una concordancia en los valores obtenidos tanto para el buzamiento o cabeceo de la estructura donde se puede observar que la estructura general de la Sierra del Fraile es un conjunto de pliegues con vergencia general al NE y con cabeceo de sus ejes hacia el NW. El acortamiento de la secuencia en ambas secciones es concordante hacia el $N 80^\circ$. E dado por su dirección de transporte tectónico obtenido con los planos So y fallas inversas.

En el campo se observó que en el flanco poniente la mayoría de los pliegues son recostados al NE, pero en muchos casos están rotos e imbricados, cuyas fallas

inversas son por lo general de ángulo medio, mientras que el flanco oriental los pliegues tienden a ser simétricos.

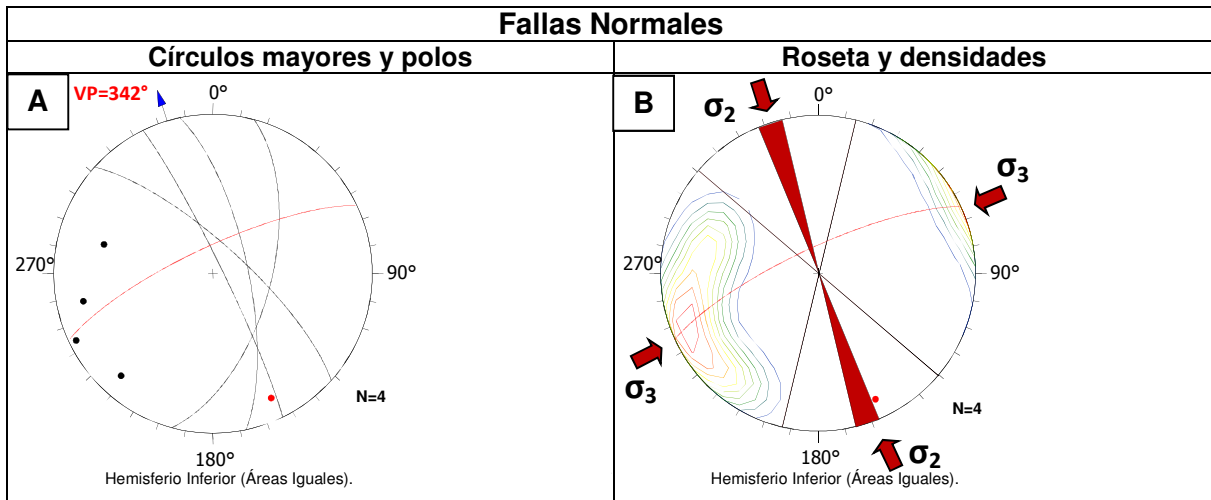


A) La mayor población de planos buzan al SW y los ángulos de inclinación son de medios a bajos, existe otra población menor con buzamiento al NE, los primeros corresponden a pliegues recostados al NE y los segundos a un grupo de tipo asimétrico, la intersección es al NNW con el círculo $\pi=334^\circ/86^\circ$ se obtiene un $VP=334^\circ$ y una $DTT=63^\circ$.



B) Pliegue antiforme en el cual se determinó un $VP=312^\circ$ y una $DTT=43^\circ$

Figura 31 A y B, estereogramas Zona Central Sierra del Fraile, planos S0 (A) y pliegues (B).

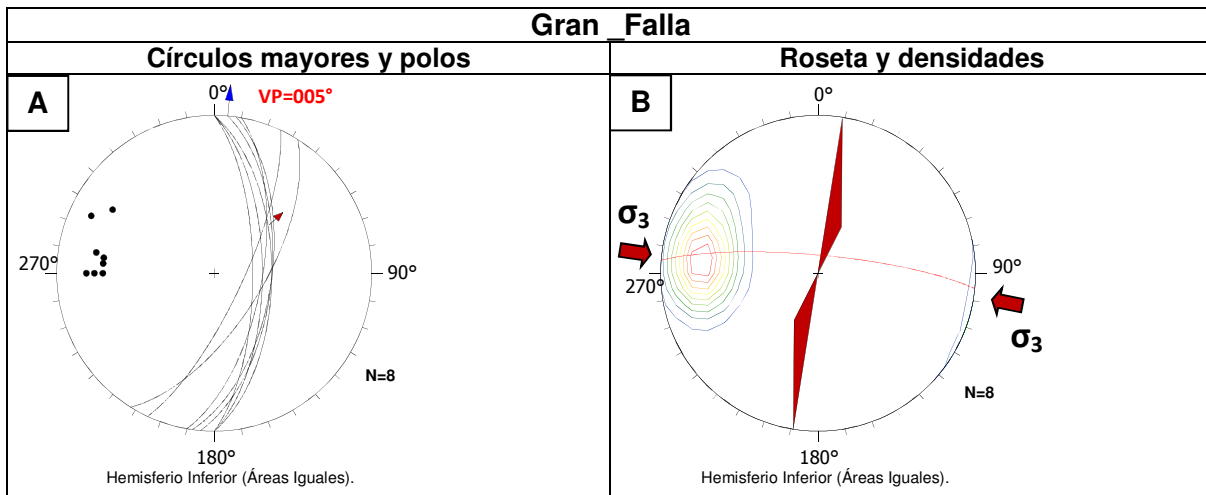


C)

Figura 31 C. Estereogramas zona central de la Sierra del Fraile, definición de fallas normales con σ_1 , σ_2 y σ_3 , mostrando ángulo alto y una vergencia al NE, coincidente con los valores encontrados en el análisis de los planos S0, en el análisis de ambas zonas (Central y nororiental la estructura general de la Sierra del Fraile se puede determinar como un conjunto de pliegues con vergencia general al NE y con cabeceo de sus ejes hacia el NW, el acortamiento y DTT es concordante N80°E. En EL Flanco poniente la mayoría de los pliegues son recostados al NE y en muchos casos rotos e imbricados, en tanto que en el flanco oriente suelen ser simétricos.

IV.3.2.4. Análisis estructural de la Gran Falla

La Gran Falla es la estructura más sobresaliente de la zona de estudio (Plano anexo 1). Presenta varias inflexiones en su rumbo en la parte norte en la zona de la Mina Cobriza tiene un rumbo NNW con una inclinación de 85° al oriente, en la parte central en la zona de la Rampa La Unión y la norte de la Mina Dolores NNE con echado de 75° al oriente, en la parte sur en la zona del Cerro del Muerto SSW con echado de 75° al oriente. Con el análisis por medio de los estereogramas se pudo establecer un rumbo promedio $N 05^\circ E$ con un echado promedio al oriente de 71° , un *pitch* de 65° con dirección NE y un componente lateral izquierdo (Figura 32).



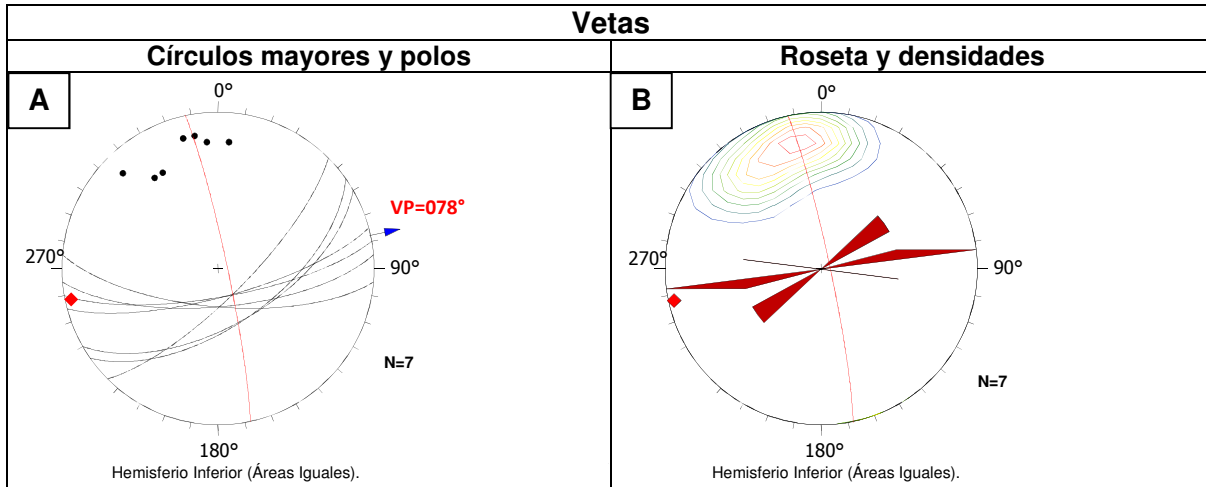
Nótese que el fallamiento normal presentó una componente lateral izquierda.

Figura 32. Estereogramas de La Gran Falla, Sierra del Fraile, mostrando VP= 005° en diagrama de círculos mayores y polos (A), definición de σ_3 en el de roseta y densidades (B).

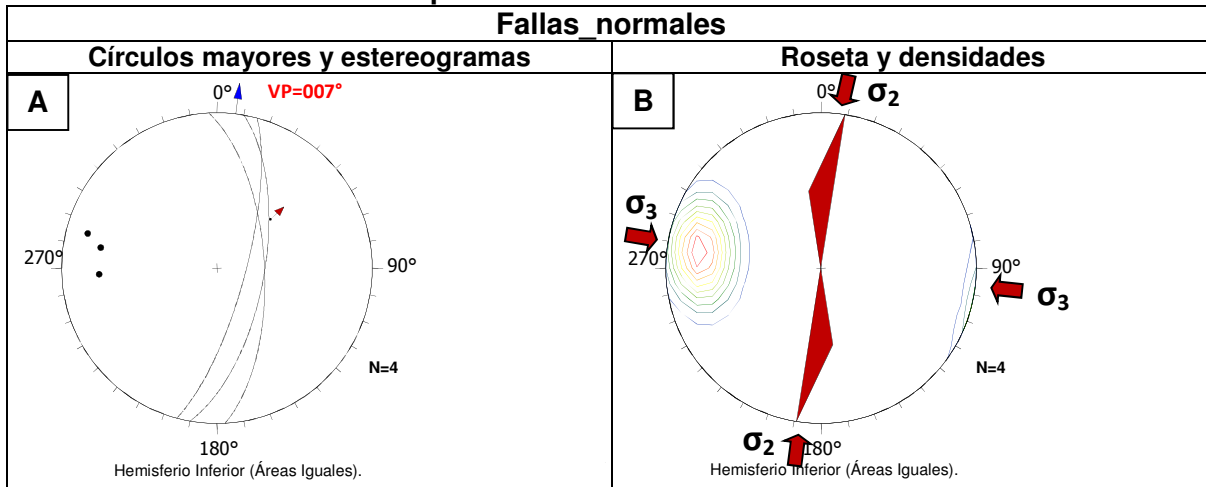
IV.3.2.5. Análisis estructural de las vetas (diques) y fallas normales en conjunto la Gran Falla, Falla Membrillo y Falla Oriental.

El sistema de vetas se ubica en el bloque oriente y en la parte sur del distrito (Plano anexo 1 y Figura 36). Está constituido de una serie de vetas de rumbo E-W, buzando al sur (70° promedio), con un ancho medio de un metro; un conjunto con longitud de 3.5 km y un ancho de 800 metros, la profundidad conocida con obra es 900 m. Las vetas están asociadas los diques, por lo tanto el análisis de las vetas es el mismo que el de los diques (Figura 33 A). En el diagrama de círculos mayores se determinó que existe un VP = 078° al NE, con un buzamiento de 70° promedio al $S12^\circ W$. La Figura 33 B corresponde al análisis estructural de las fallas normales sintéticas y paralelas a la Gran Falla (incluyéndola), estas son Falla Membrillo y Falla Oriental (Plano anexo 1). La siguiente falla normal paralela a la Gran Falla es la Falla Membrillo (Plano anexo 1) que muestra un rumbo general igual al de la Gran Falla con una inclinación al oriente de 75° formando el primer bloque y un probable movimiento siniestral, después de esta sigue la Falla Oriental ya en la zona de vetas con un rumbo también casi paralelo a estas dos anteriores con un echado de 85° al oriente y un movimiento siniestral formando el segundo bloque. El análisis estructural de las fallas normales Gran Falla, Membrillo y Oriental se encuentra en la figura 33 B, en él se pudo determinar un VP = 007° al NE el cual corresponde a la dirección de σ_2 ; por lo tanto; la dirección de σ_3 ; por su condición de perpendicularidad es $N 83^\circ W$. El sistema definido de bloques concuerda con la definición acerca del Valle de Matehuala como un graben. La Figura 33 C deja establecida una condición de perpendicularidad entre el sistema

de fallas normales $007^{\circ}/69^{\circ}$ y el de vetas (en consecuencia con los diques) de lectura $160^{\circ}/64^{\circ}$.



A) Determinación de $VP = 78^{\circ}$ que indica el rumbo general de las vetas, asimismo todas buzcan al $S12^{\circ}E$ con un promedio de 70° .



B) La determinación del VP para las fallas normales Gran Falla, El Membrillo, y Oriental, muestran un rumbo promedio $N07^{\circ}E$ y un buzamiento de ángulo alto mayor a 70° hacia el SE.

Figura 33 A y B, estereogramas de la zona de vetas (A) y de fallas normales (B).

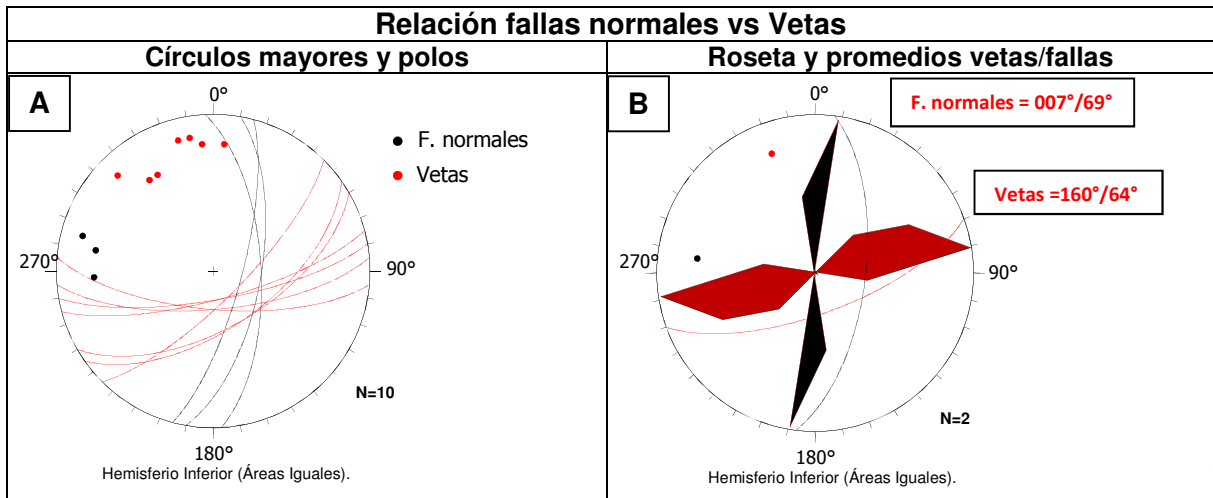


Figura 33 C. Estereogramas de relación entre fallas normales y vetas, queda establecida una relación de perpendicularidad entre ambos sistemas.

IV.3.2.6. Análisis estructural de fallas normales conjugadas

Se levantaron datos estructurales de un conjunto de fallas conjugadas, el análisis de estas estructuras se observa en la figura 28. En él se determinó el campo de esfuerzos dando los valores $\sigma_1=116^\circ/82^\circ$, $\sigma_2=276^\circ/07^\circ$ siendo este el punto de intersección de los planos de las dos fallas y $\sigma_3=006^\circ/02^\circ$.

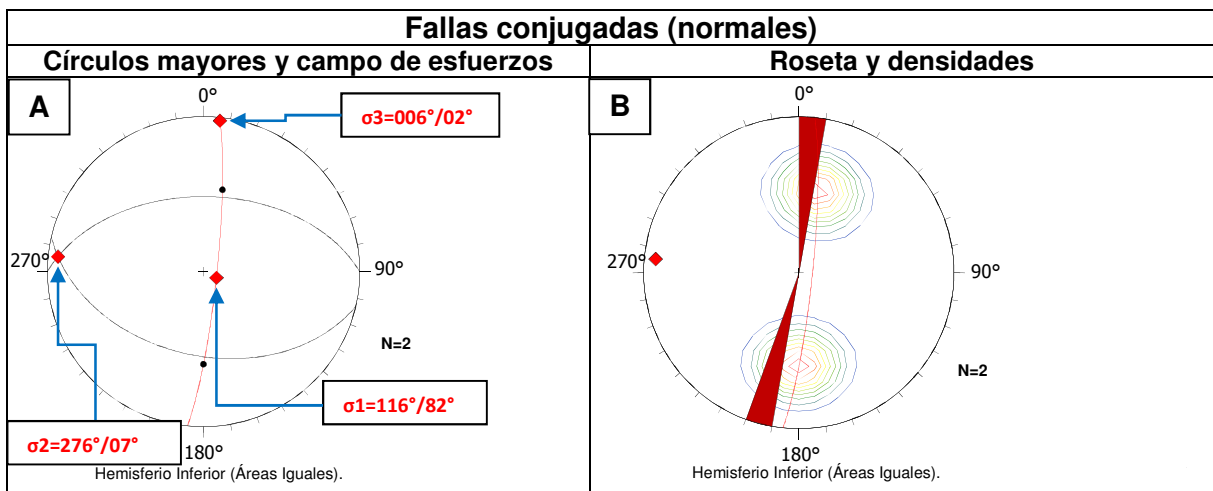


Figura 34. Estereogramas fallas normales conjugadas, definición de esfuerzos σ .

Lista de las líneas de levantamiento del área de estudio (Figura 35)

Línea	Longitud (km)	Rumbo (General)	Observación
1	5.00	SW – NE 1er tramo SE – NW 2do tramo	Siguiendo la Gran Falla Dolores
2	4.75	SW – NE	Siguiendo Falla indicada en plano
3	4.75	SE – NW	Siguiendo Falla indicada en plano
4	5.50	SW – NW	Siguiendo Falla indicada en plano
5	4.00	SE – NW	Siguiendo Falla indicada en plano
6	3.75	SE – NW	Siguiendo Falla indicada en plano
7	3.50	E – W	Cubrir al N de C. del Fraile
8	3.50	E – W	Cubrir al N de C. del Fraile
9	3.50	E – W	Cubrir al N de C. del Fraile
10	3.50	E – W	Cubrir al N de C. del Fraile
11	3.50	E – W	Cubrir al N de C. del Fraile
12	3.50	E – W	Cubrir parte central C. del Fraile
13	3.50	E – W	Cubrir parte central C. del Fraile
14	3.50	E – W	Cubrir parte central C. del Fraile
15	3.50	E – W	Cubrir parte sur C. del Fraile
16	3.50	E – W	Cubrir parte sur C. del Fraile
17	1.50	N – S	Cubrir Cerro El Frailecillo
18	1.50	N – S	Cubrir Cerro El Frailecillo
19	1.50	N – S	Cubrir Cerro El Frailecillo
20	1.50	N – S	Cubrir Cerro El Membrillo
21	1.50	N – S	Cubrir Cerro El Membrillo
Total	70.25		

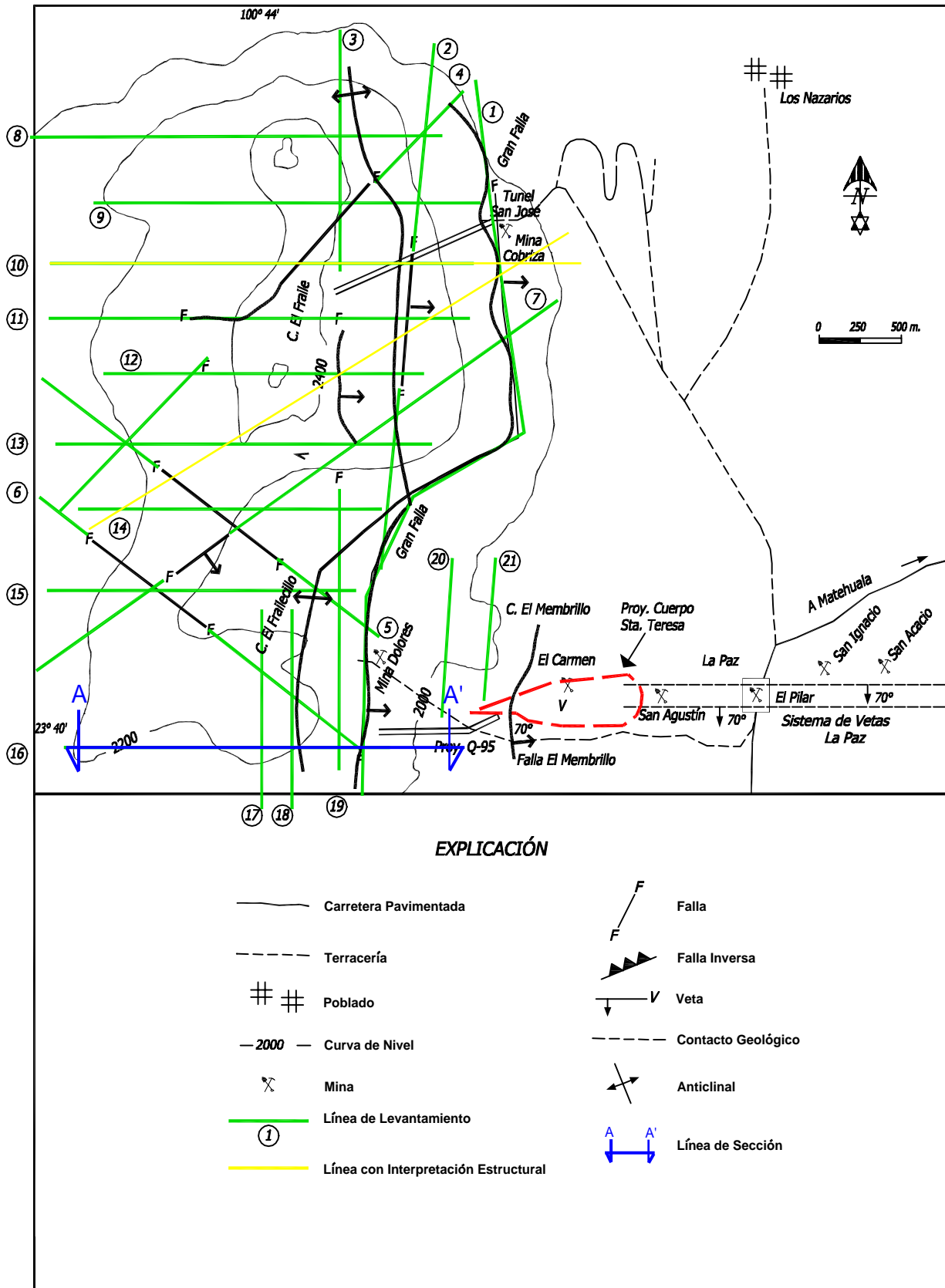


Figura 35. Plano de localización de líneas de levantamiento.

V. YACIMIENTOS MINERALES DEL DISTRITO LA PAZ

V.1. Introducción

Reseña histórica: El primer denuncia fue hecho el 24 de Enero de 1770 por Don Sebastián de Ichaurrandieta, capitán de caballería tercera de la legión de San Carlos del Valle de San Francisco de Matehuala, con el nombre de Nuestra Señora de la Paz, el segundo el 15 de enero de 1817 y el tercero ya como Negociación Minera Santa María de la Paz y Anexas el 16 de noviembre de 1864. A través del tiempo, Negociación Minera Santa María de la Paz fue absorbiendo los fundos del área que no eran originalmente de ella, hasta convertirse en la única empresa en el distrito; que actualmente produce y procesa 9000 toneladas por día, producto de la operación de las minas Dolores y Cobriza.

V.2. Zonas mineralizadas en *skarn* y vetas

El distrito tiene dos modelos principales de yacimiento, el de vetas (Mesotermal) y el Metasomático de contacto (*skarn*), los cuerpos principales se ubican de la siguiente manera:

- Cuerpo Santa Teresa al sur del distrito, en colindancia con la zona Dolores. (Plano anexo 1, figuras 36 y 37)
- Zona Dolores al sur del distrito, en colindancia con Cuerpo Santa Teresa, abarca los cuerpos Las Viejas, San Cayetano, Panadera, I-70, Los Reyes y Frailecillo. (Plano anexo 1, Figuras 36 y 37)

- Zona Cobriza al norte del distrito y al poniente de la Gran Falla Dolores, abarca los cuerpos 78-01, 22-85, 74-35 y 74-50. (Plano anexo 1, Figuras 36 y 37)
- Zona de vetas al sur del distrito y al poniente de la Gran Falla Dolores, en colindancia con Cuerpo Santa Teresa, abarca las vetas El Pilar, Contraria, San Francisco, Veta Paz y Refugio. (Plano anexo 1, Figuras 36 y 37)

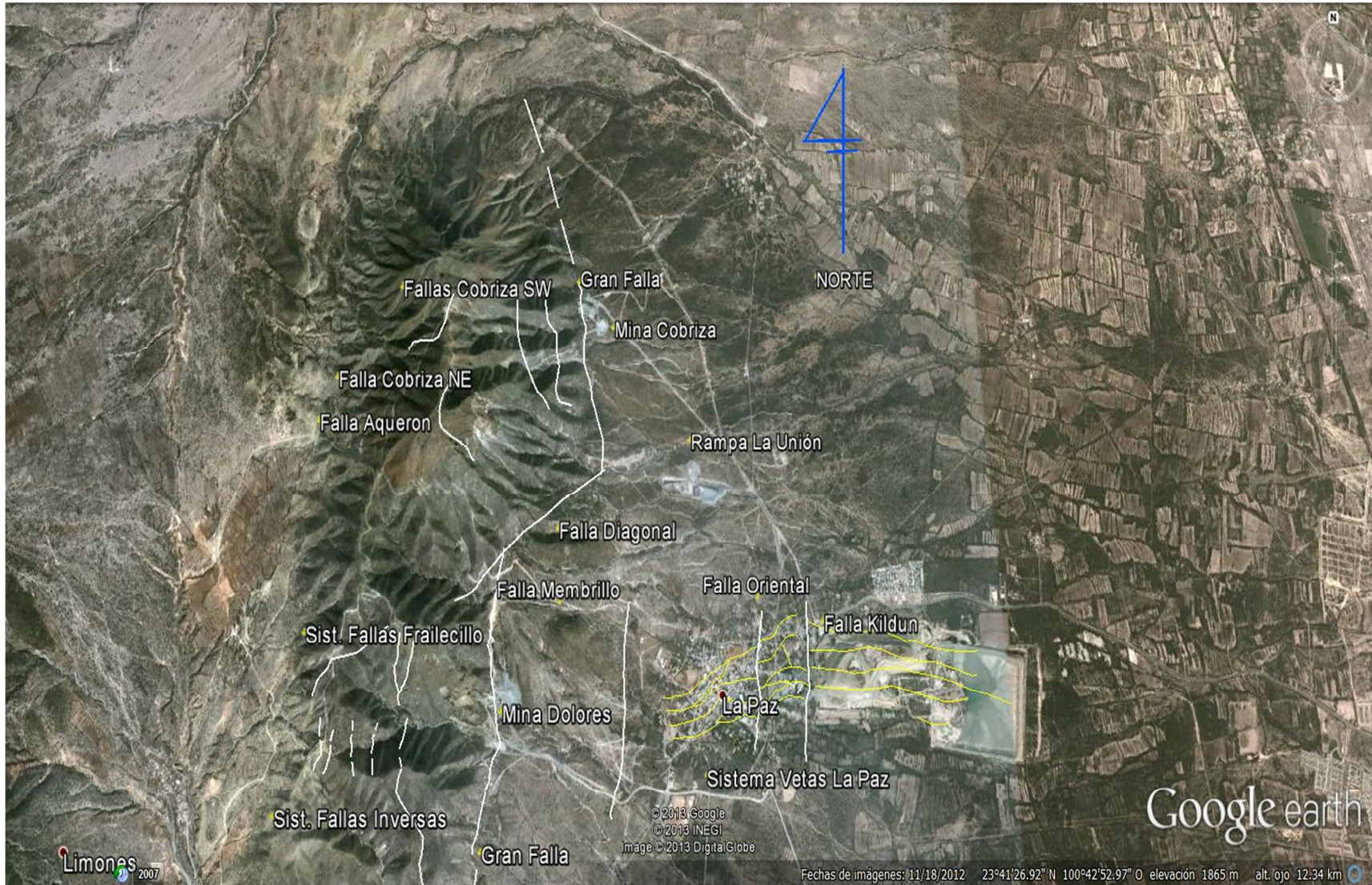


Figura 36. Proyección de las principales vetas y fallas en el Distrito Minero La Paz. (Tomado de Google earth 2012)

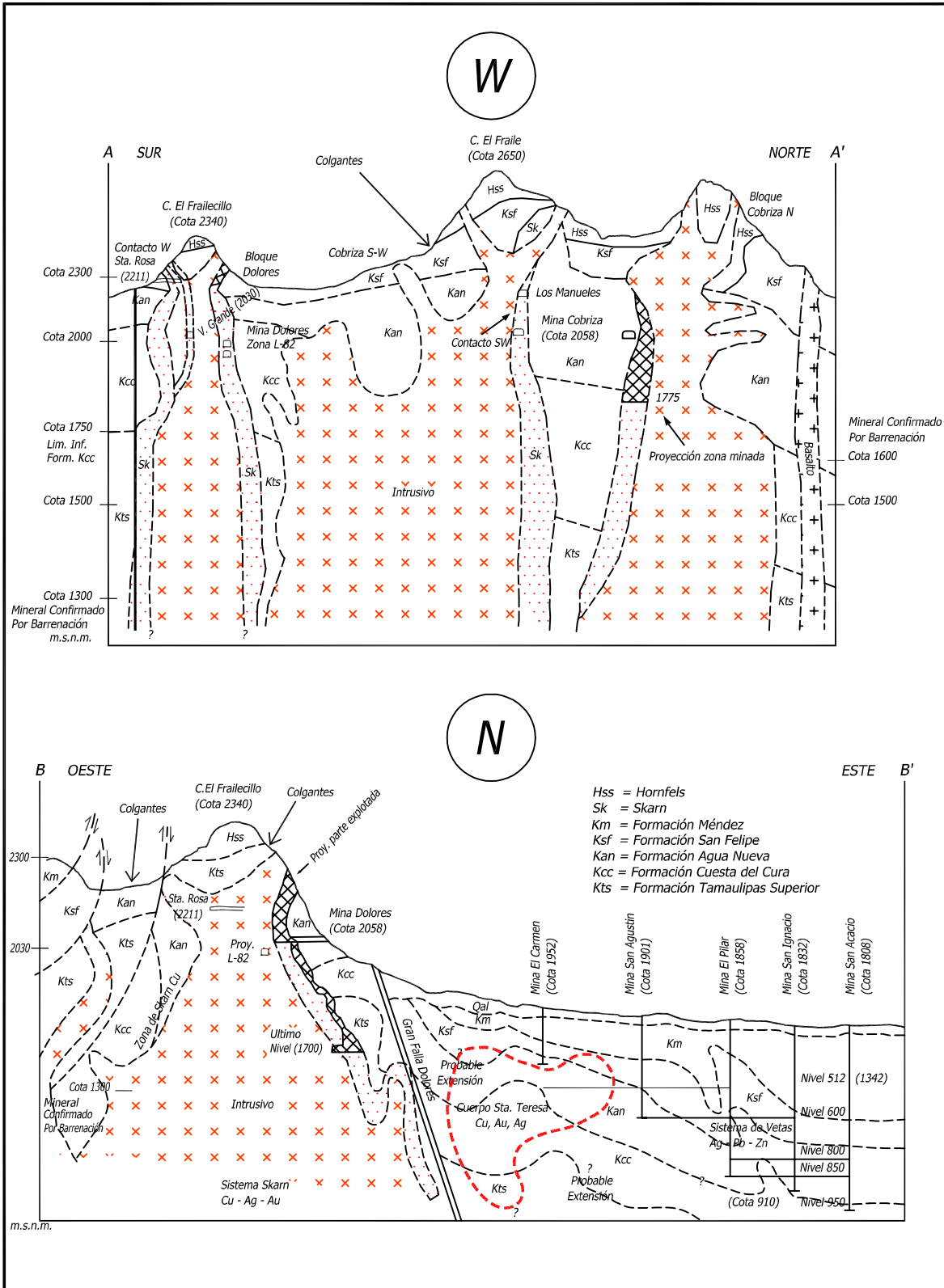


Figura 37. Sección idealizada poniente-oriental viendo al norte y sur-norte viendo al poniente, Sierra del Fraile. Tomado de González Ochoa (2006)

V.3. Tipos de yacimientos del distrito La Paz

Existía en este distrito, un solo modelo de zoneamiento (Figura 38) propuesto por García-Gutiérrez (1967) y retomado en otro trabajo por Gunnesch (1992), en él se define al bloque poniente en el distrito, como la zona de alta temperatura con la mineralización de Cu-Au-Ag en el *skarn*, al del oriente como Mesotermal-Epitermal con la de Ag-Pb-Zn en vetas (Figura 36), en él se asume que la continuidad en el bloque oriente de la mineralización de alta temperatura solo puede estar a profundidad y en la cercanías de la Gran Falla al poniente de la zona de vetas (Figura 38), con la condición de una transición en la cual los dos sistemas quedan definidos de manera separada en la vertical, quedando la zona de vetas como una especie de cachucha de la zona de *skarn*, sin embargo con base al estudio de las fallas, su posición y sobre todo el establecimiento de que fueron movimientos verticales pero también laterales, se dedujo que existían más cuerpos de intrusivos emplazados en el bloque oriente, aparte de los que ya existían, y que en consecuencia se podían encontrar nuevas zonas mineralizadas de alta temperatura (Cu-Au-Ag en *skarn*), en contacto o contiguas a las de vetas, incluso a una profundidad mucho menor de la supuesta en ese modelo, por lo tanto se propone un modelo nuevo (Figura 39), el cual está siendo corroborado por nuevos desarrollos en el subsuelo y barrenación de superficie, de tal forma que todos los planteamientos de este modelo nuevo están resultando ciertos.

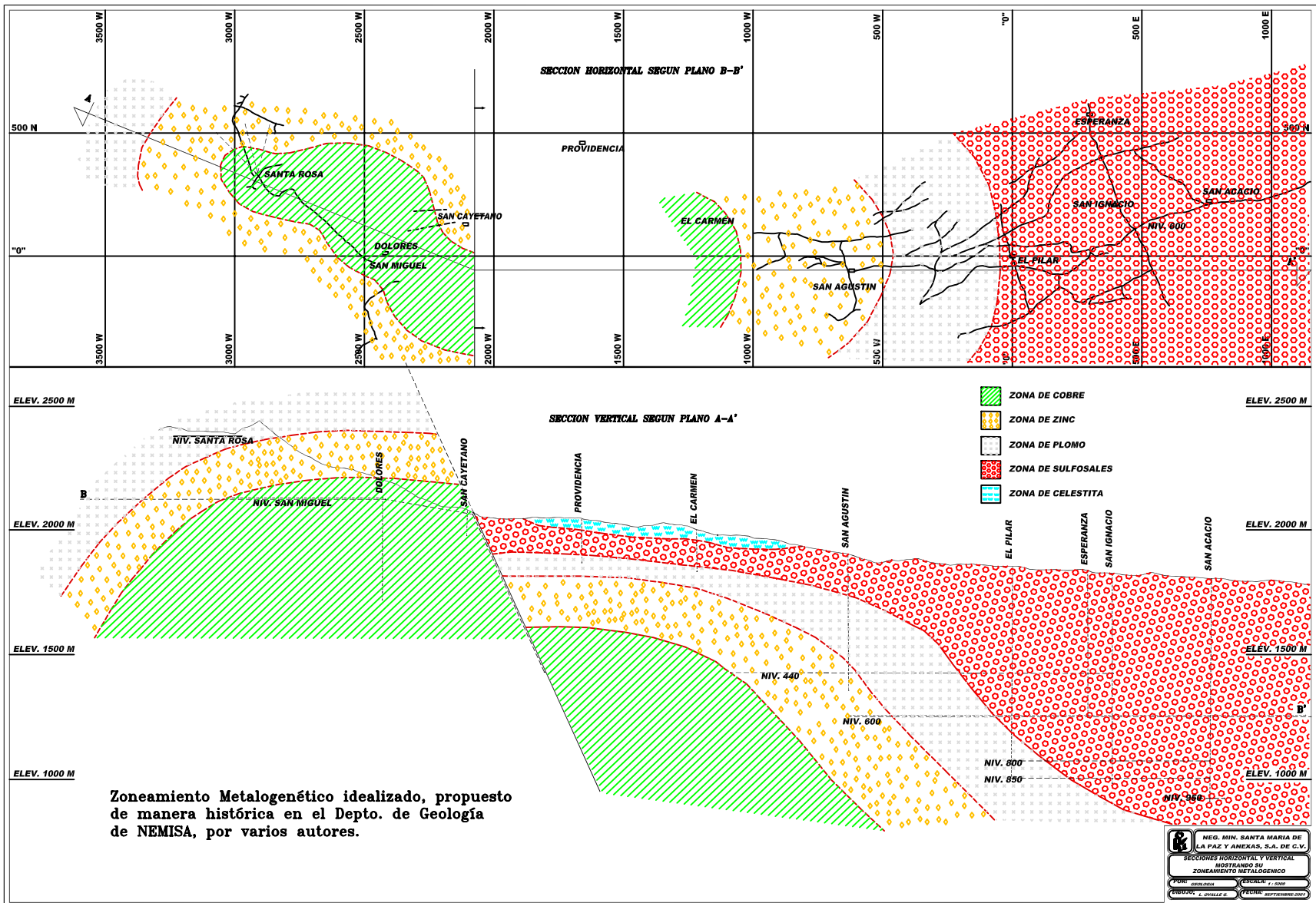


Figura 38. Zoneamiento antiguo. Archivo digital NEMISA.

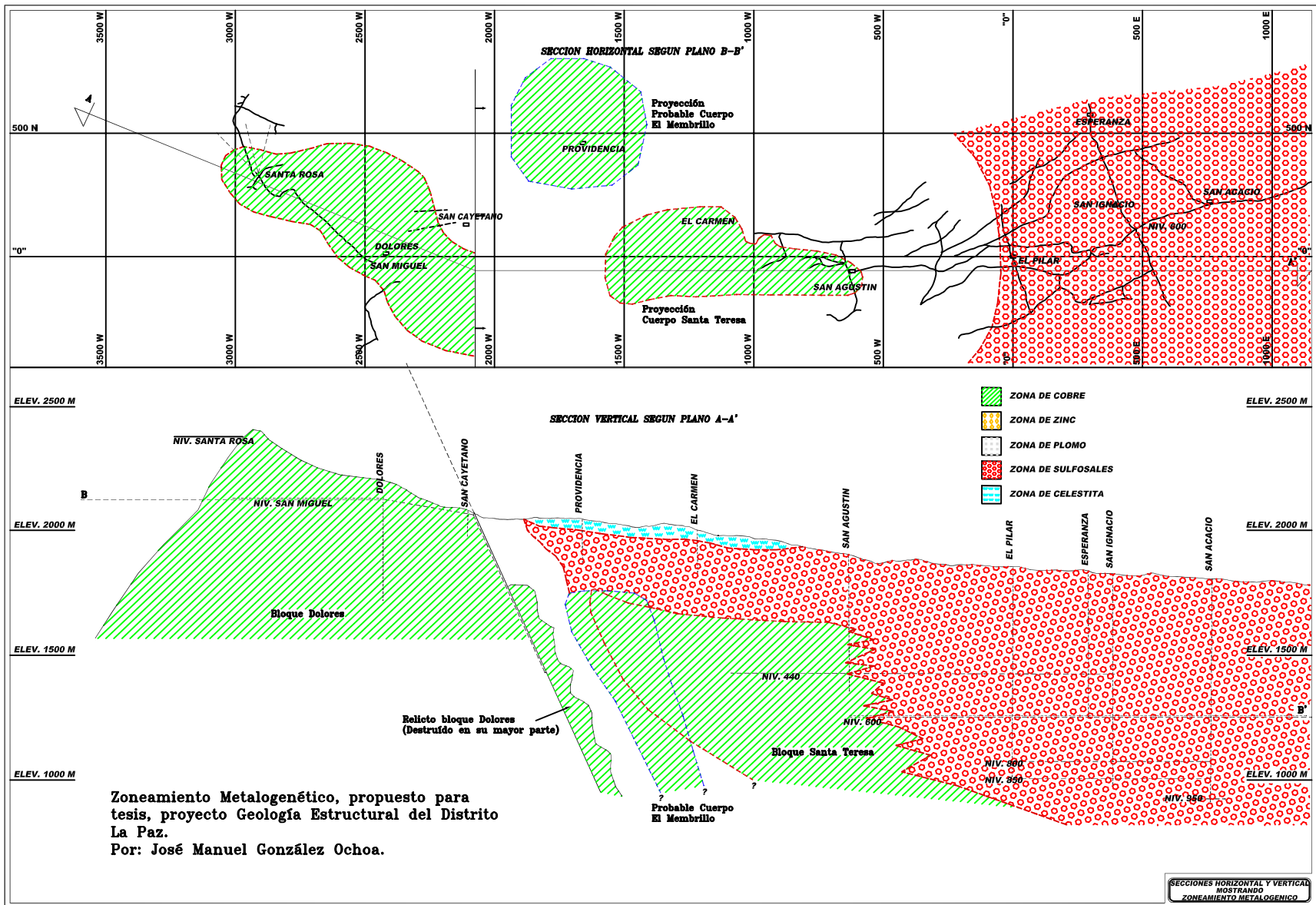


Figura 39. Nuevo modelo de zoneamiento propuesto en el Distrito Minero La Paz

V.3.1 Zona de vetas

Este sistema Mesotermal se ubica en el bloque oriente y en la parte sur del distrito, está constituido de una serie de vetas de rumbo E-W, buzando al sur (70° promedio), las vetas tienen un ancho promedio de un metro, longitud conocida del sistema son 3.5 km de largo y un ancho de 800 metros en conjunto, la profundidad conocida con obra es 900 m. La cota mencionada es una límite establecido por la presión fuerte que alcanza el agua subterránea ya que esta presenta un nivel freático desde el nivel 512 (cota 1368 msnm) y con altas temperaturas (59°C). Lo anterior dificultó la profundización en la explotación.

El yacimiento fue explotado a través de un conjunto de minas conectadas por varios niveles y con el acceso por diferentes tiros, siendo los principales San Agustín, El Pilar, San Acacio y con un tiro general de extracción San Ignacio (Figura 37). Este conjunto es de Ag-Pb-Zn, fue generado por el relleno de espacios abiertos en las calizas por la preparación de terreno ya mencionado, estas separaciones fueron ocupadas por diques de naturaleza granodiorítica con una edad relativamente más joven (35 Ma), que la masa principal del intrusivo (36 Ma) (Pinto-Linares *et al.*, 2005) (Figura 40). Estos diques trajeron las soluciones mineralizantes que se depositaron en los espacios que le permitieron el emplazamiento de los diques (Figura 41). La roca encajonante es la caliza de las diferentes formaciones ya descritas en el sub capítulo III.2.



A)



B)

Figura 40. Intrusivo Granodiorita, con alteración argílica (A) y clorítica (B).

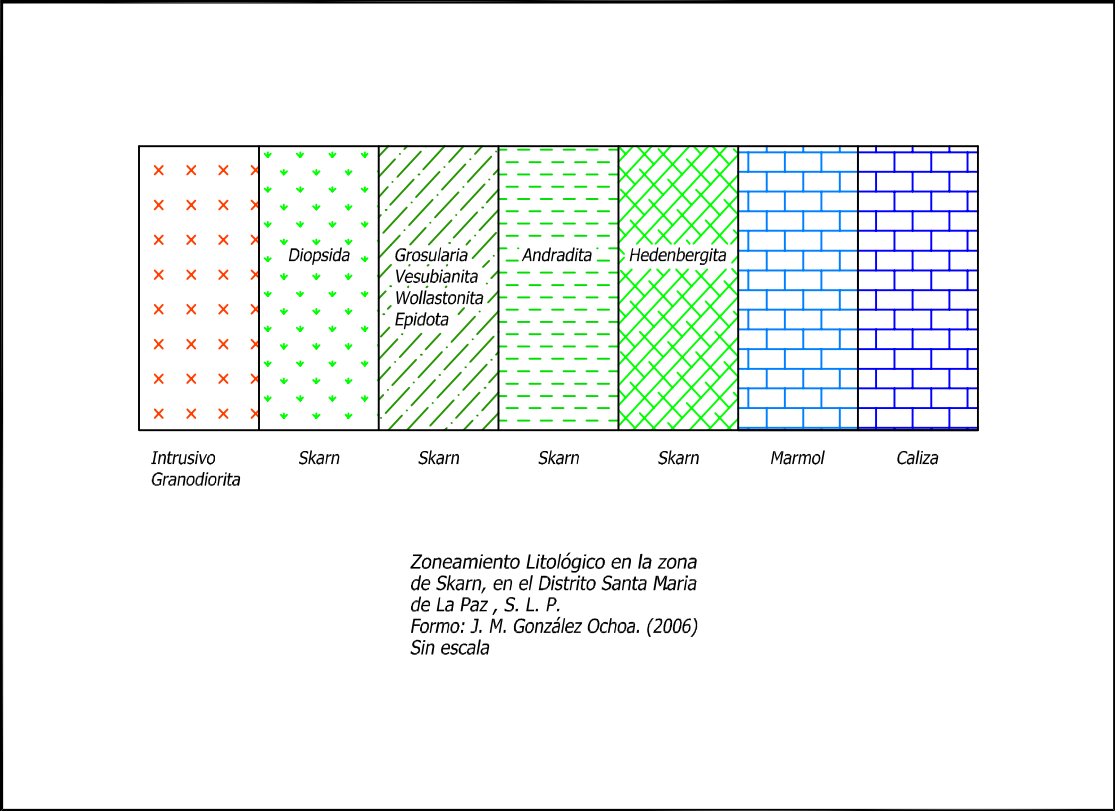
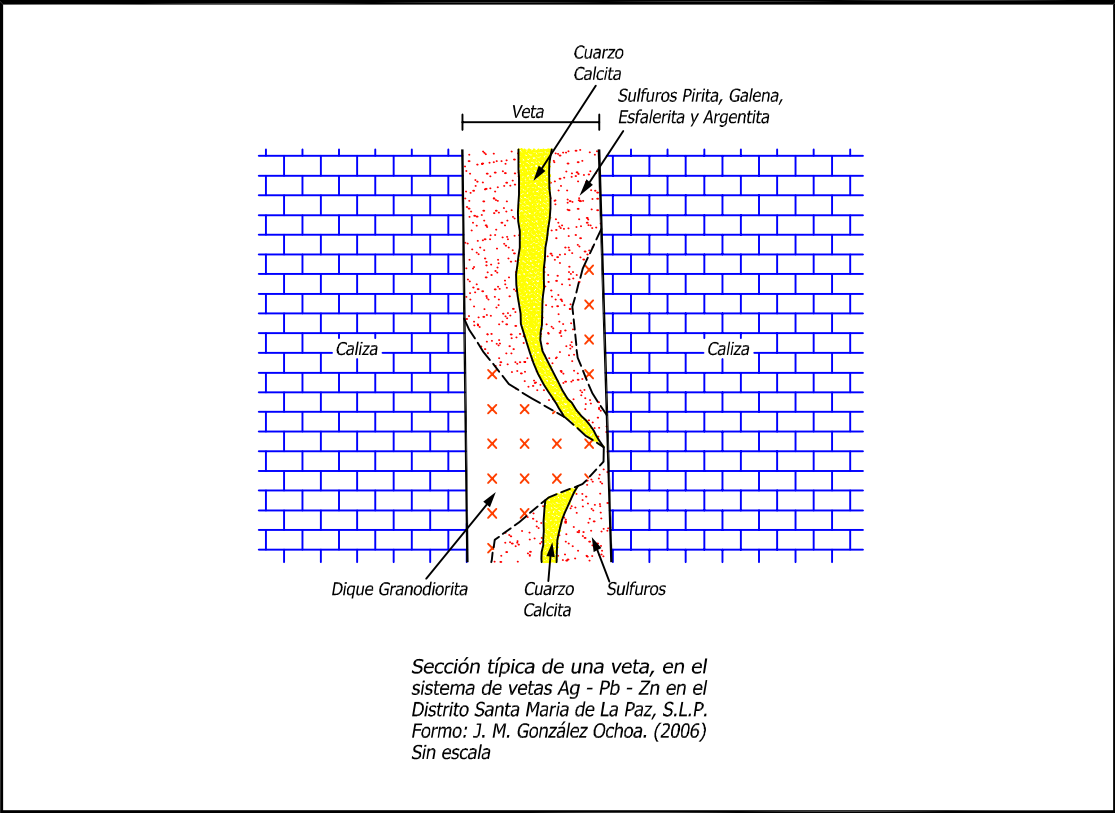
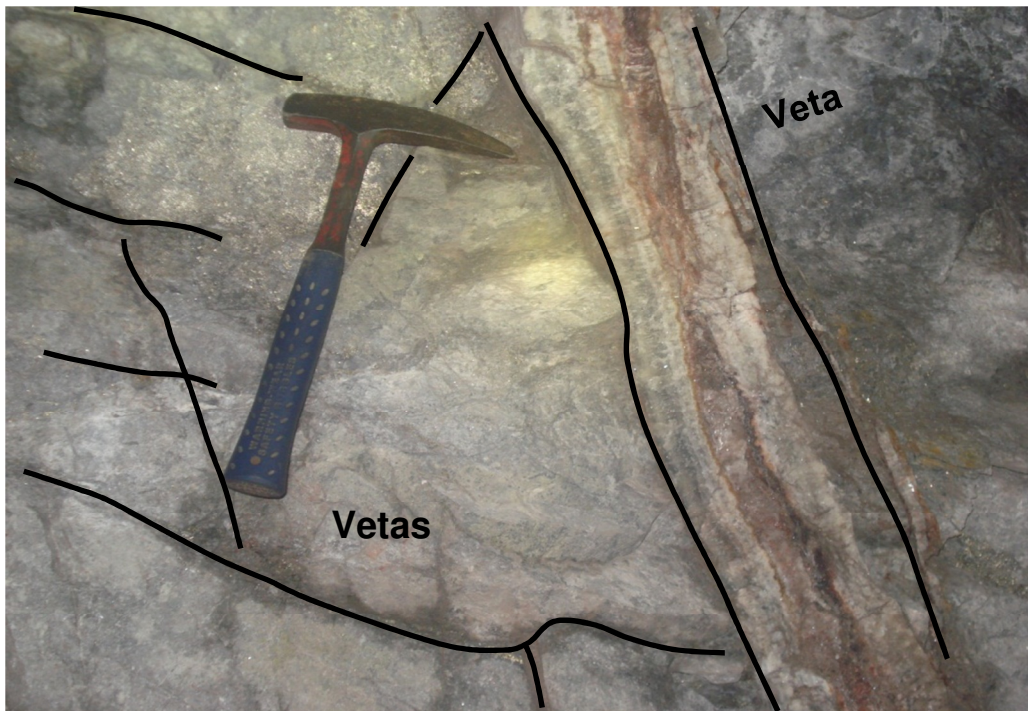


Figura 41. Modelo de vetas y zonamiento . (Tomado de González-Ochoa, 2006)



A)



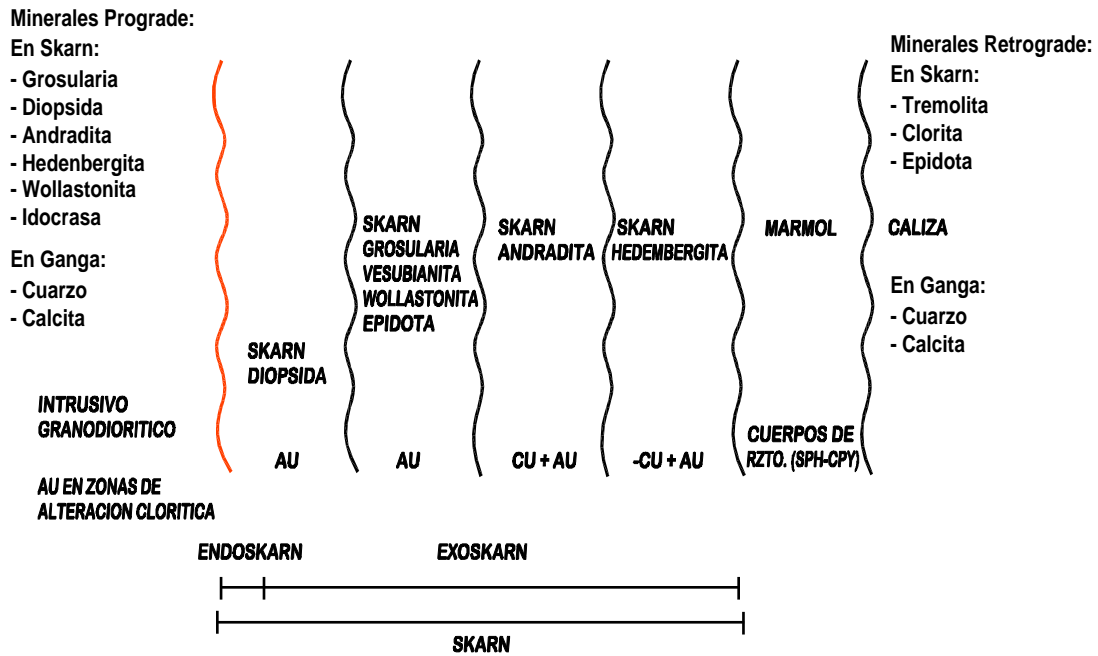
B)

Figura 42. Veta en contacto zona de Skarn, arreglo en Stock-work (A) y acercamiento (B), mina Dolores.

Los minerales de mena son esfalerita, marmatita, galena, argentita y en menor medida proustita y pirargirita; los de ganga son pirita, marcasita y calcita principalmente.

Para este sistema se calcula una temperatura de estabilidad entre 220 y 380°C, una salinidad de 3 a 12% equivalente de NaCl (Castro-Larragoitia, 1990, Figura 43). Como se refiere en párrafos anteriores las vetas tenían un comportamiento semejante en cuanto a rumbo y echado a excepción por ejemplo de veta contraria o veta manto y también es necesario destacar que el sistema de mineralización no se encuentra cerrado en dirección poniente como se observa en la mina de San Agustín (veta Paz al Poniente) y al oriente en la mina de Kildum e incluso hacia el sur en el sector de esta última, existe una veta llamada Elba que no fue trabajada en las restantes minas, desconociéndose el motivo, y que parece ser la parte final del sistema de vetas en esta dirección (González-Ochoa, 2004)

ZONEAMIENTO LITOLÓGICO



PARAGENESIS, SALINIDAD Y TEMPERATURA DE ESTABILIZACIÓN

1ª ALTA TEMPERATURA 500 - 300° C TEMPRANA	2ª MESOTERMAL 220 - 380° C	3ª BAJA TEMPERATURA 260 - 320° C	4ª SUPERGÉNICA
<p style="text-align: center;">CU + AU 420° C</p> <p>MENA: PIRITA CALCOPIRITA BORNITA PIRROTITA</p> <p>GANGA: CUARZO FLUORITA CALCITA</p> <p>SALINIDAD: 30 - 42 % CUERPOS DE RZTO Y DISM. EN SKARN</p> <p>MINERALIZACIÓN CUPRIFERA</p>	<p style="text-align: center;">250° C</p> <p>MENA: PIRROTITA PIRITA CALCOPIRITA COVELITA ESFALERITA GALENA</p> <p>GANGA: CUARZO FLUORITA CALCITA</p> <p>SALINIDAD: 4 - 12 %</p> <p>MINERALIZACIÓN VETAS</p>	<p>MENA: PIRITA ESFALERITA GALENA ARGENTITA TETRAEDRITA (AG) TENANTITA PIRARGIRITA BOULANGERITA</p> <p>GANGA: CUARZO CALCITA</p> <p>SALINIDAD: 10 - 22 %</p> <p>MINERALIZACIÓN ARGENTIFERA CON SULFOSALES</p>	<p>MENA: MALAQUITA AZURITA CALCOSITA CERUSITA ANGLESITA CUPRITA</p>

Figura 43. Zonamiento y paragénesis. (Tomado de González Ochoa, 2006)

V.3.2. Zona de *skarn*

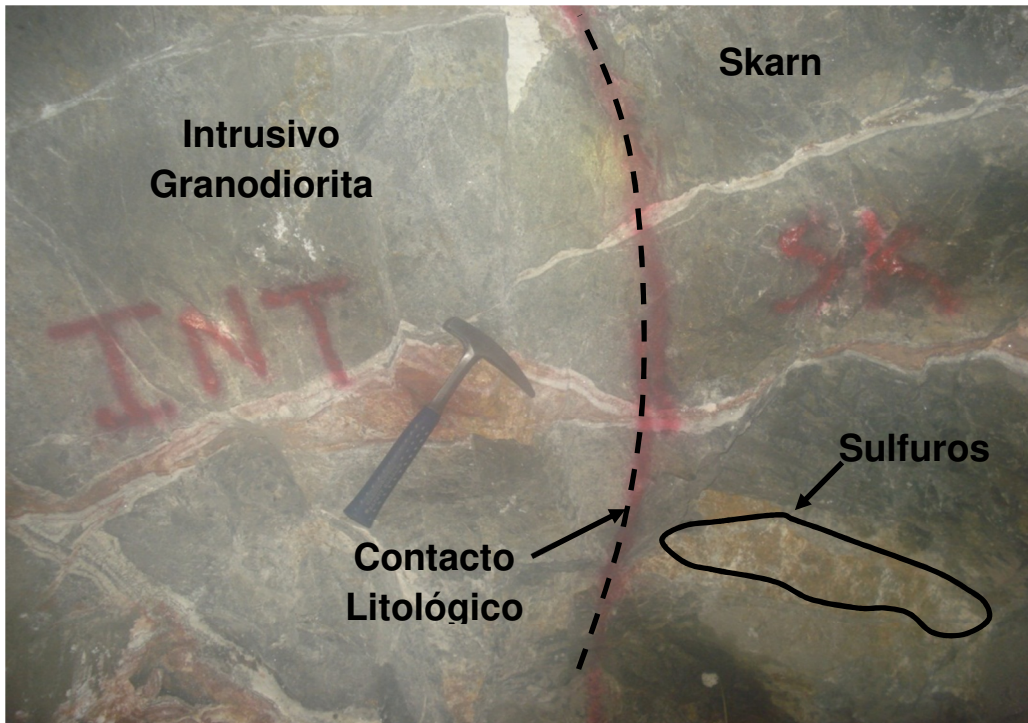
Este sistema se ubica en la parte correspondiente al bloque poniente del distrito y la zona de topografía positiva en lo que se refiere a la zona de Dolores-Cobriza (Figura 10), en tanto el Cuerpo Santa Teresa esta al poniente de la Gran Falla Dolores en el valle; abarcando desde el sur (Cerro del Frailecillo) hasta el pico norte del Sierra del Fraile (González-Ochoa, 2001).

El yacimiento de *skarn* del Distrito Minero La Paz se clasifica como *skarn* cálcico y desde el punto de vista económico un *skarn* de cobre, ya que este es el principal producto generado.

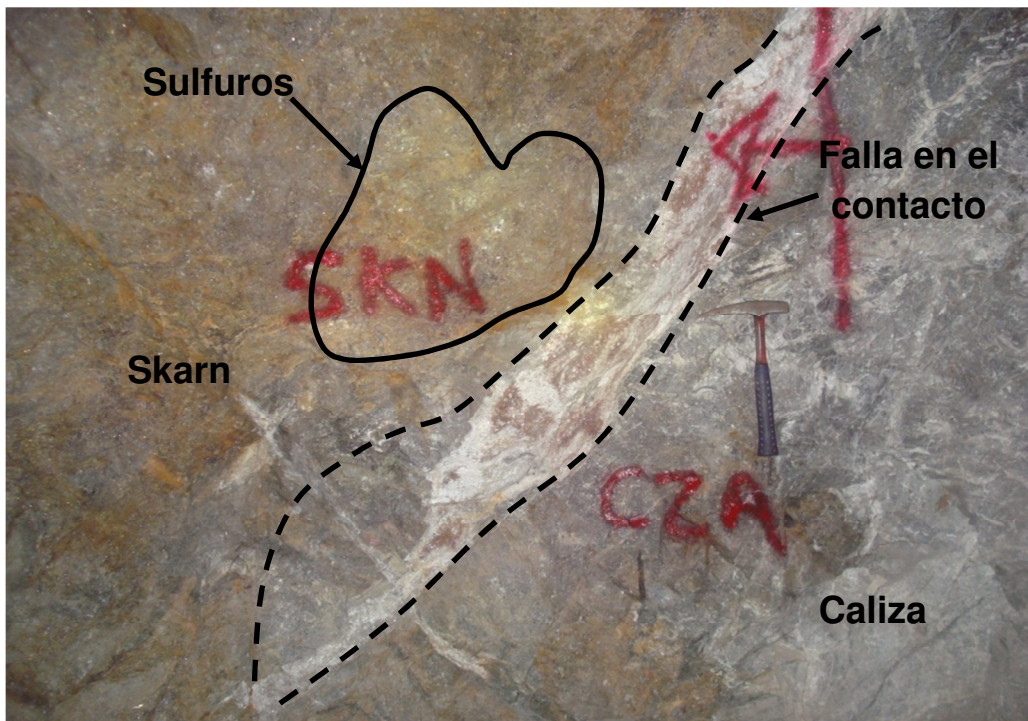
En general los cuerpos con calidad económica para ser explotados están en el *exoskarn*, a lo largo del contacto con el intrusivo, fijados por trampas estructurales (cambios de rumbo y echado) en el plano horizontal y vertical, casi limitados al *skarn* de andradita de grano medio.

Son cuerpos irregulares en su forma y comportamiento en cuanto a mineralización, algunos llegan a aflorar sobre todo en la zona de Dolores, el *skarn* existe prácticamente a lo largo del contacto entre el intrusivo y las calizas, pero los cuerpos o clavos mineralizados no son muy grandes llegando a tener un promedio máximo de 120 x 25 m. Los cuerpos han sido explotados a partir de la cota inicial promedio 2058 msnm, por 300 m verticales y reconocidos por barrenación 200 m más llegando hasta la cota 1558 msnm, esta última cota alcanzada a profundidad no es el límite y se puede deducir que el sistema meta somático que genero el *skarn* continua junto con la mineralización de cobre. Los minerales de mena son calcopirita, bornita, covellita, calcosina (Figura 45) y los de ganga arsenopirita,

pirita, fluorita, cuarzo y calcita. El rango de la temperatura de estabilidad en el proceso de deposición de mineral en este sistema es de 500 a 300°C y la salinidad de 35% equivalente de ClNa (Castro-Larragoitia, 1990). Es este yacimiento el que se encuentra actualmente en explotación con dos minas, Dolores con una producción diaria de 4900 toneladas (1.50 g/t Au, 50 g/t de Ag y 0.90 % de Cu) y la mina de Cobriza con 4250 toneladas por día (0.80 g/t Au, 60 g/t de Ag y 1.20 % de Cu). El yacimiento presenta una generalidad en todo el distrito en cuanto a litología y mineralogía, mas sin embargo el *skarn* de Dolores no solo presenta mineralización de diseminación y micro venillas en el *skarn*, sino también una serie de vetas con sulfuros que atraviesan la masa del mismo en diferentes direcciones, dándole una densidad mayor de sulfuros de mena y un aspecto de “*stockwork*”. Esta característica no se tienen en Cobriza, las masas de *skarn* contienen mineral en diseminación y micro venillas, con algunas vetas delgadas (10 cm) ocasionales y que van desde el contacto con el intrusivo hasta la caliza atravesando la masa de *skarn*, estas vetas en la cercanía del intrusivo están rellenas de actinolita, arsenopirita y cuarzo, cuando pasa al *skarn* son de calcopirita, bornita y en la caliza son de calcopirita y se cierran con calcita. El zoneamiento general a partir del intrusivo hacía afuera es intrusivo (granodiorita), *endoskarn*, *exoskarn* (andradita-hedenbergita-wollastonita), caliza marmorizada y finalmente caliza (Figura 43).



A)

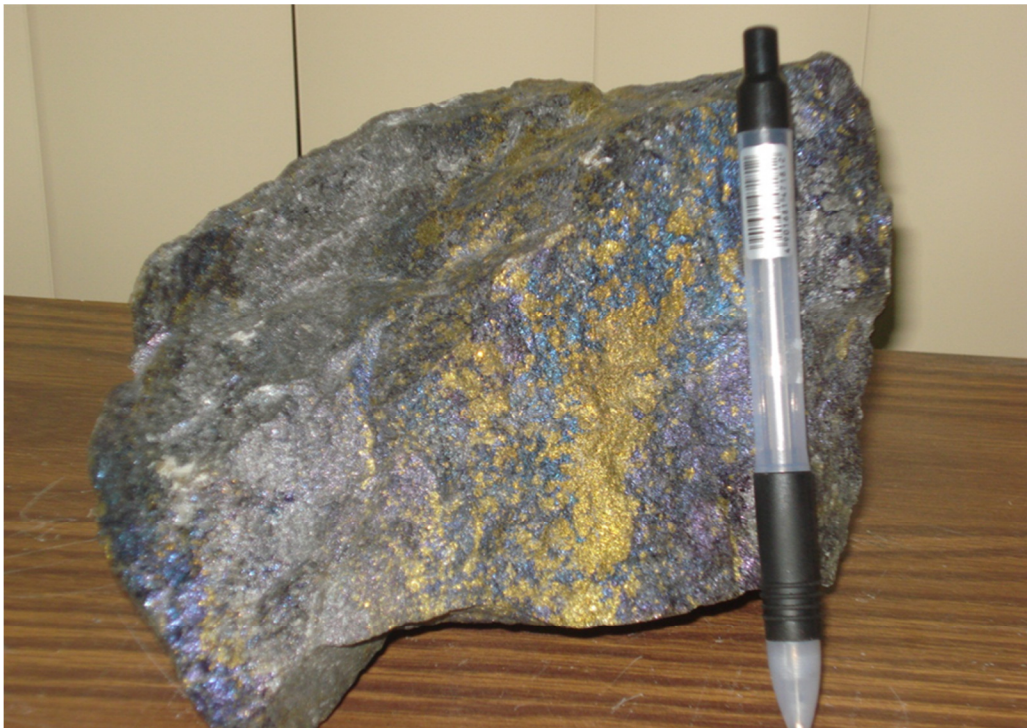


B)

Figura 44. Zoneamiento en el contacto intrusivo - skarn (A) y skarn – caliza (B).



A)



B)

Figura 45. Ejemplares de *Skarn* mineralizado, de la Mina Dolores (A) y Mina Cobriza (B).

V.3.3. Relación de las formaciones sedimentarias con la mineralización

Formaciones Tamaulipas Superior y Cuesta del Cura

Son las formaciones más importantes desde el punto de vista económico ya que en estas calizas se genera el *skarn* más favorable para la mineralización de cobre. Esta condición se observa claramente en los trabajos efectuados de geología superficial e interior de mina. La caliza Cuesta del Cura y Tamaulipas Superior (existe dificultad para diferenciarlas) reaccionan favorablemente al proceso de naturaleza meta somático ayudadas por la presencia de bandas y nódulos de pedernal, ya que estas rápidamente se transforman en *skarn* actuando como planos o puntos de inyección para la propagación del proceso ya señalado hacia la masa de las calizas así como por su propia naturaleza química (González-Ochoa, 2001). A esta formación y su comportamiento se le considera un control estratigráfico para el yacimiento. El espesor en esta formación es de 300 m aunque hay que precisar que es probablemente en conjunto.

Formación Agua Nueva:

Esta formación también genera un *skarn* de condiciones favorables para la mineralización de cobre aunque estos cuerpos son más pequeños e irregulares. La condición que determina lo anterior es la menor presencia de bandas de pedernal y su propia naturaleza así como su contacto con la formación sobreyacente, San Felipe ya que en este contacto empieza una transición con material de origen arcilloso y que no generan un *skarn* solo *hornfelss*, el cual no es propicio para la deposición de mineral.

Formación San Felipe:

Esta formación generó una aureola de *hornfelss* en las zonas donde dicha secuencia fue atravesada por el intrusivo, en superficie se altera dando una tonalidad de color rojo producto de la oxidación. El *hornfelss* forma una corona en la parte superior del Cerro del Fraile y debido a su extraordinaria dureza, propicio su forma topográfica resistente a la erosión. No existe mineralización económica importante relacionada con el proceso meta somático, más si embargo en la parte de las vetas, estas están encajonadas a partir de esta formación.

Formación Méndez:

No guarda ningún tipo de mineralización económica o indicios, ni siquiera en el contacto con los diques monzoníticos que la atraviesan, probablemente esta condición se deba a que su litología constituida de lutita y margas (arcillosa) no es favorable para reaccionar al metasomatismo y generar *skarn*.

V.3.4. Alteraciones y enriquecimiento

Alteraciones zona de vetas

Existe un cambio en la dureza de la caliza cuando esta se altera, se vuelve más dura, esta es la roca que actúa como respaldo de las vetas, esto se deriva de la alteración por silicificación, se observa a lo largo de toda la estructura (veta) pero en forma lateral no va más allá de un metro en promedio. El dique que generó la deposición de mineral y que en ocasiones queda en contacto con las calizas del respaldo, fácilmente se argiliza y provoca condiciones de inestabilidad, tal es esta condición que el cuerpo de la veta puede caer completamente sin ser minada,

únicamente por resbalarse al no tener agarre en el respaldo; situación común en la mina de San Acacio. Hacia el poniente del sistema de vetas, en la parte que corresponde a la mina de San Agustín, las alteraciones ya mencionadas también se presentan, pero con mayor intensidad la argilización del intrusivo, esta condición es una guía para la localización de intrusivos mineralizados con diseminación de sulfuros. Esta condición es exclusiva de la Mina San Agustín y al no presentarse en otras zonas al oriente hace pensar que este tipo de alteración aumenta hacia el poniente y en consecuencia con el potencial que trae consigo en las zonas aún no desarrolladas en esa dirección. Los diques de naturaleza predominantemente granodiríticos y de textura porfírica, se emplazaron en una zona de debilidad que se encontraba fallada en la caliza. Este sistema de fallas tenía una dirección preferencial poniente-oriental con un buzamiento al sur, los diques son quienes traían las soluciones de minerales de plata, plomo y zinc, generaron vetas con una mineralogía de pirita, esfalerita, galena, tetraedrita, pirargirita y en cantidad menor boulangerita, calcopirita, estannita, bismutinita y marcasita; con una matriz predominante de cuarzo, calcita y en menor medida fluorita. Al ser los diques quienes ocuparon los espacios del arreglo de fallas descrito y generar las vetas, las vetas quedaron con este mismo rumbo y echado.

Alteraciones zona de *skarn*

En sí el hecho de que esta zona es producto de un proceso de cambio donde intervienen condiciones de alta temperatura y presión, provocando permuta no

solo de apariencia de las rocas preexistentes (metamorfismo), sino también de composición (metasomatismo), ya le proporciona un carácter de alteración.

En el contacto de algunas zonas entre el intrusivo y el *skarn* existe alteración clorítica bien definida (Ojeda-Escamilla, 2003), en una aureola de 2.0 m de promedio medida hacía el intrusivo; en los lugares donde se advierte esta alteración existe una disseminación de sulfuros tales como bornita, calcopirita y pirita. Proporcionando esta zona valores de 1.13 g/t Au, 48 g/t Ag y 0.82 % Cu (muestreo labor 23-35 Cobriza nivel 2058). Los procesos de alteración se producen a diferentes temperaturas y condiciones, tal situación se advierte por ejemplo en la de tipo retrograda manifestada con epidota y actinolita, casi siempre esta última en vetillas (5 cm de promedio) y con presencia de oro. En ocasiones la parte que corresponde a la caliza en contacto con el *skarn* se encuentra alterada a mármol de textura granoblástica, de color blanco, gris claro y generalmente muy suave aunque la mayoría de las veces solo hay caliza marmorizada.

Enriquecimiento supergenico zona de vetas

Esta zona se encuentra cubierta por aluvión el cuál puede tener diferente espesor de 120 m hasta 230 (Silva-Mejía, 1973), por lo que el nivel de oxidación es diferente de poniente a oriente, en la dirección señalada es de 400 a 600 m, en la transición entre óxidos y sulfuros existe un enriquecimiento con fuerte presencia de sulfosales de plata, tetraedrita, tenantita, pirargirita, boulangerita y proustita.

Este enriquecimiento es más notorio en la mina de San Acacio

Enriquecimiento supergenico zona de *skarn*

El enriquecimiento ocurre no solo en las partes superficiales con oxidación, esto se advierte en niveles inferiores cuando existen fallas y fracturamiento intenso en el contacto *skarn* y caliza, los valores económicos de cobre aumentan por la presencia de minerales como la calcosina, cuprita, cobre nativo y no solo los carbonatos de cobre en este caso malaquita y azurita. Estas franjas de enriquecimiento no son muy grandes, llegando a presentarse a lo sumo 25 m en la vertical y generalmente limitados en el contacto con la caliza.

CONCLUSIONES

- Producto de la deformación causada por la orogenia Laramide, en la fase de compresión se observa una serie de fallas inversas y cabalgaduras, que dieron como consecuencia un sistema imbricado, esta condición es fácil de observar en el contacto discordante entre la Formación Méndez y la Formación San Felipe. Otro sistema de fallas de origen extensional se formó en el terciario; son dos sistemas, uno previo a la mineralización de rumbo W-E y uno post mineral N-S.
- Se establece que las fallas inversas intraformacionales y en contactos discordantes, generaron los planos de debilidad que sirvieron para el emplazamiento de las masas de intrusivo y los diques, generando posteriormente las vetas y las zonas del yacimiento de *skarn*. El análisis muestra una DTT= 79° al NE y se determinó un VP con azimut =348°.
- La falla más sobresaliente es la conocida como Gran Falla Dolores o Gran Falla; es una falla normal que destaca de las demás porque divide al distrito en dos zonas tiene un rumbo promedio N 05° E con un echado promedio al oriente de 71°, un pitch de 65° con dirección NE, lo que evidencia una componente lateral izquierda. El autor ha estimado un salto vertical mínimo de 750 m entre bloques, observable en la sección A-A'; medidos en la base de la Formación Agua Nueva en superficie en el bloque al bajo y la información del barreno de superficie S-30, más la de la labor Q-95 en el subsuelo de la zona de Santa Teresa lo anterior en el bloque del alto.

- Existe una serie de fallas normales paralelas a la Gran Falla que generan una serie de bloques que van escalonados hacia el oriente en dirección al Graben de Matehuala; estas fallas son: El Membrillo y la Falla Oriental. El análisis estructural de este sistema pudo determinar un VP= 007° al NE el cual corresponde a la dirección de σ_2 , por lo tanto la dirección de σ_3 por su condición de perpendicularidad es N 83° W. Existe una condición de perpendicularidad entre el sistema de fallas normales 007°/69° y el de vetas (en consecuencia con los diques) de lectura 160°/64°.
- La serie de fallas normales en posición oblicua con respecto a la Gran Falla conocidas como Sistema Fallas Cobriza SW, coinciden en su rumbo y al parecer se asocian con la zona mineralizada de Cobriza Sector SE cuerpo 21-21. En este mismo caso se encuentra la Falla Cobriza NE, que tiene una semejanza de rumbo con la zona mineralizada Sector NE cuerpo 78-01. Aquí se interpreta que esta relación se da porque queda establecida una zona de debilidad entre el contacto de caliza con *skarn*.
- El emplazamiento y modelo de las vetas corresponde a los de los diques, por lo tanto el análisis de las vetas es el mismo de los diques, se determinó que existe un VP=078° al NE, con un buzamiento de las estructuras de 70° promedio al S12°W.
- En el levantamiento geológico-estructural de planos S_0 que se realizó se pudieron identificar el comportamiento de las estructuras. En el flanco poniente estos son pliegues recostados por lo tanto no fue posible

determinar los esfuerzos principales. Se pudo definir que los flancos que buzan al SW son de bajo (muy pocos), mediano y alto ángulo, en tanto que los que lo hacen al NE son de mediano ángulo. Con este comportamiento más lo observable en campo y la sección se puede establecer la vergencia al NE, un VP con un azimut= 352° y una DTT= 82° al NE.

- Correspondiente a los planos S_0 del sector NE de tipo simétricos, ahí sí se pudo establecer los valores de los esfuerzos, siendo estos para $\sigma_1=083^\circ/03^\circ$, $\sigma_2=\beta=353^\circ/12^\circ$ y $\sigma_3=187^\circ/78^\circ$. En el diagrama de densidades se determinó un VP con azimut =353° y la DTT= 83° al NE.
- Con el análisis de las estructuras plegadas, de manera general se pudo establecer los valores de los esfuerzos, siendo estos para $\sigma_1=085^\circ/14^\circ$, $\sigma_2=178^\circ/09^\circ$ y $\sigma_3=\beta=300^\circ/73^\circ$, y se determinó un VP con azimut=358° y la DTT= 88° al NE. Se observa que los ejes cabecean tanto al norte como al sur, lo cual demuestra un modelo de deformación cilíndrico.
- Con base en el estudio de los planos S_0 y planos axiales, se determinó que La Sierra del Fraile no puede considerarse como una estructura anticlinal recumbente como se ha venido describiendo hasta la fecha, más bien es una serie de imbricaciones tectónicas que involucró a los pliegues ya formados durante el desarrollo del acortamiento que produjeron fallas de contracción y cabalgaduras, con transporte tectónico al ENE. Tomando estos pliegues una vergencia al oriente pero no una condición de recumbencia.

- Con base en el estudio de las fallas, su posición y sobre todo el establecimiento de que no fueron solo movimientos verticales si no probablemente también laterales, se dedujo que existían más cuerpos de intrusivos emplazados en el bloque oriente, aparte de los que ya existían, y que en consecuencia se podían encontrar nuevas zonas mineralizadas de alta temperatura (Cu-Au-Ag en *skarn*), en contacto o contiguas a las de vetas, incluso a una profundidad mucho menor de la supuestas en ese modelo antiguo de zoneamiento, por lo tanto se propone en este trabajo un modelo nuevo.
- En el distrito de La Paz las formaciones sedimentarias corresponden únicamente al Mesozoico (Cretácico), específicamente del Albiano temprano al Senoniano tardío.

Bibliografía

- Aranda-Gómez, J.J., Henry, C.D., Luhr, J.F., 2000, Evolución Tectonomagmática post-paleocénica de la Sierra Madre Occidental y de la porción meridional de la provincia tectónica de Cuencas y Sierra, México. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana.v.LIII.
- Barboza-Gudiño, J.R., Hope, M., Gómez-Anguiano, M., Martínez-Macías, P.R., 2004, Aportaciones para la interpretación estratigráfica y estructural de la porción noroccidental de la Sierra de Catorce, San Luis Potosí, México, Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 21, núm. 3, 2004, p. 299-319.
- Barboza-Gudiño, J.R. y Barajas-Nigoche, L.D., 2001, Cartografía y Estudio Geológico Estructural de una Porción de la Sierra de Llanos del Carmen en la parte Norte del Municipio de Villa Hidalgo, S.L.P.- GEOS, Unión Geofísica Mexicana, A.C. Boletín Informativo vol. 21 No. 3 Noviembre de 2001.
- Barboza-Gudiño, J.R., Torres-Hernández, J.R., 1999, Carta Geológico-Minera Real de Catorce F-14 A24, San Luis Potosí, para el Servicio Geológico Mexicano, en escala 1:50,000.
- Barboza-Gudiño, J.R., Zavala-Monsiváis, A., Venegas-Rodríguez, G., Barajas-Nigoche, L.D., 2010, Late Triassic stratigraphy and facies from northeastern Mexico: tectonic setting and provenance, Geosphere, The Geological Society of America, October 2010, v.6.n.5.p 621-640.

- Campa, M.F., Coney, P.J., 2003, Mapa de terrenos estratigráficos de México. Boletín del Servicio Geológico Mexicano, año IX, no.52, 2003 p.13.
- Campa, M.F., Coney, P.J., 1983, Terrenos sospechosos de aloctonía y acreción del occidente y sur del continente norte americano .Depto. de Geología Universidad de Sonora, volumen 1, no.1 pp 1-24 septiembre 1984.
- Carrillo-Bravo,J., 1971, Plataforma Valles-San-Luis: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, Volumen XXXIV, 23, 110 pp.
- Carrillo-Bravo,J., 1982, Exploración Petrolera de la Cuenca Mesozoica del Centro de México: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, Volumen XX, Número 7-6, p.21-23
- Castro-Larragoitia, J, 1990. Investigaciones petrográficas y geoquímicas en el yacimiento de Ag-Pb.Zn-Cu de Santa María de la Paz, Matehuala, México: Instituto de petrografía y geoquímica de la Universidad de Karlsruhe, República Federal de Alemania, tesis maestría, 140 pp.
- Cerca-Martínez, M., Ferrari-Luca, Chávez-Cabello, Calmus-.Thierry, 2004, La Deformación Laramide en México: Una Evolución Geológica no resuelta; Instituto de Geología, UNAM; Centro de Geociencias, UNAM; ERNO Instituto de Geología, UNAM; GEOS, vol. 24, no. 2, noviembre 2004.
- Dana, J. D., 1896, Manual of geology, 4th Ed. New York, American Book Company, 1987 p.
- García-Gutiérrez, C., 1967, Geología y Paragénesis del distrito minero Matehuala, Sociedad Geológica Mexicana, Vol.30, p.29.

- González-Ochoa, J. M., 2001, Recomendaciones superficie Cerro del Fraile, informe archivo NEMISA. Sin publicar.
- González-Ochoa, J. M., 2004, Recomendación tiro Kildun 2, informe archivo NEMISA. Sin publicar.
- González-Ochoa, J.M., 2009, Síntesis Geológica minera del distrito La Paz, S.L.P., Geología Económica de México, Segunda Edición, Editado por Clark, D y Salas-Pisa, G, Cubillas-Estrada, R., SGM y AIMMGM, P.775-783.
- Gunnesch, K., 1992, Depósitos Económicos del Noreste de México. Proyecto NR 88-01-0132-097-02 SESIC-SEP
- Imlay, R.W., 1936, Evolution of the Coahuila Peninsula, Mexico, part IV, geology of the western part of the Sierra de Parras: Geological Society of America Bulletin, 47, 1091–1152.
- Johnson, S., Tate, M.C., Fanning, C.M., 1999, New geologic mapping and SHRIMP U–Pb zircon data in the Peninsular Ranges batholith, Baja California: evidence for a suture?: Geology, 27(8), 743-746. America: Journal of Geophysical Research, v. 96, p. 13,485–13,507.
- Labarthe-Hernández, G., Tristán-González, M., Aranda-Gómez, J.J., 1982, Revisión estratigráfica del Cenozoico de la parte central del Estado de San Luis Potosí: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de Geología y Metalurgia, Folleto Técnico num.85.
- Longoria, J. F. 1993, La Terrenoestratigrafía: Un ensayo de metodología para el análisis de terrenos con un ejemplo en México: Department of Geology, Florida International University, University Park, University Park, Miami,

- Florida 33157, Paper Published In: Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros Boletín, VXLII, p. 31-47, 1993.
- López-Doncel. R, 2003, La formación Tamabra del Cretácico medio en la porción central del margen occidental de la plataforma Valles-San Luis Potosí, centro noreste de México: Revista mexicana de ciencias geológicas, volumen.20, no.1, p.3.
- López-Ramos, E., 1979, Geología de México, Tomo II, 2da. Edición, México, D.F., 454 p.
- López-Ramos, E., 1982, Geología de México, tomo II, tercera edición, editado por Librerías CONACYT, p.454.
- Martinez-Herrera, N., 1993, Estudio Petrográfico y Mineralógico de los Yacimientos Polimetálicos (Ag-Pb-Zn-Cu) del distrito La Paz, S.L.P. tesis profesional, Facultad de Ciencias de la Tierra, UANL.
- Muir, J. M., 1936. Geology of the Tampico Region. Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull., Tulsa, Oklahoma, U.S.A., 280 p.
- Mújica-Mondragón, R., Jacobo-Albarrán, J., 1983. Estudio petrogenético de las rocas ígneas y metamórficas del Altiplano Mexicano, México: Instituto Mexicano del Petróleo, Proyecto C-1156, 78 p.
- Nieto-Samaniego, A.F., Alaniz-Alvarez, S.A., Camprubi-Cano, A., 2005, La Mesa Central de México: Estratigrafía, estructural y evolución tectónica cenozoica. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana Tomo LVII, Num. 3, p.285-318.

- Nieto-Samaniego, A. F., Alaniz-Álvarez, S.A., Labarthe-Hernández, G., 1997, La deformación cenozoica poslaramídica en la parte meridional de la Mesa Central, México: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v.14, p.13-25.
- Ojeda-Escamilla, C., 2003, Caracterización mineralógica de muestra denominada "clorita", procedente de la mina Cobriza, BENEPAZ, S.A. de C.V. archivo NEMISA. Sin publicar.
- Ontiveros-Tarango, G., 1973, Estudio estratigráfico de la porción noroccidental de la Cuenca Morelos-Guerrero:Boletín de la Asociación mexicana de Geólogos Petroleros, 15(4-6), p 190-234.
- Ortega-Gutiérrez, F., Mitre S.L., Roldán Q. J., Aranda G.J.J., Morán Z.D., Alaniz A.S. y Nieto S.A., 1992, Carta Geológica de la República Mexicana Escala 1:2, 000,000, Washington, Williams & Heintz (Mapa), Univ.Nal.Autón. México, Inst. Geología, Texto explicativo, 1-78 p.
- Palmer, R.H, 1927, Geology of eastern Hidalgo and adjacent parts of Vera Cruz, Mexico: American Association of Petroleum Geologists, Bulletin, 11(12), 1173-1220.
- Pessagno, E.A., 1969, Upper Cretaceous stratigraphy of the western gulf coast area of Mexico, Texas and Arkansas: The Geological Society of America, Memoir III, 139 p.
- Pinto-Linares, P. J., Levrosse G., González-Partida, E., Solario-Murgia, J., Ochoa, M., Estrada, D., 2005, Caracterización petrogénica y fechamiento de los intrusivos del distrito mineral de la Paz, S.L.P. XXVI Convención

- Internacional, Asociación de Ingenieros de Minas Metalurgistas y geólogos de México, Acta de Sesiones, p.91-94.
- Quilantan–Pedraza, A., López-Doncel, R., Silva-Mendoza, S., 2008, Plataforma Valles-San Luis y la Cuenca Mesozoica del Centro de México en el Cretácico medio y Superior. Boletín de Geociencias, de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, Volumen 2, Número 4, p.8-14
- Santamaría-Orozco, D., Arenas-Partida, R., Escamilla-Herrera, A., 1990, Normalización de la Nomenclatura Estratigráfica en las Cuencas Mesozoicas de México (Etapa I: Zona Norte. Cretácico), Instituto Mexicano del Petróleo, Proyecto CAO-3052. 140 p. Inédito.
- SGM Carta Geológico-Minera Matehuala, F14-1 San Luis Potosí, Nuevo León, Zacatecas, Tamaulipas, Esc. 1:250,000.
- SGM COREMI 02.sgm.gob.mx/léxico Es_ND. Léxico Estratigráfico de México.
- Silva-Mejía, N., 1973, Geología Estructural de las Obras de NEMISA, archivo de la empresa NEMISA. Sin publicar.
- Stinnesbeck, W., 1983, Sobre una fauna de amonites de la Formación Cuesta del Cura (Albiano Superior-Cenomaniano Inferior) de la Sierra de Catorce, San Luis Potosí, México: Actas de la Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Nuevo León, 8, 129–132.
- Stephenson, L. W., 1922, “Some Upper Cretaceous Shells of the Rudistid Group from Tamaulipas, Mexico:” Proc. U. S. Nat. Hist. Mus., 61, Art. 1, No. 2422.

- Spurr, J.E., 1912, Report American Smelters Securities Co. Matehuala Unit, Matehuala,S.L.P. México. Report by Spurr&Company, January 1912. Archivo empresa NEMISA. Sin publicar.
- Tardy,M.,Longoria, J.F.,Martínez-Reyes.J.,Mitre–S,L.M.,Patiño-Padilla.R.,Ramírez, R, 2005, Observaciones generales sobre la estructura de la Sierra Madre Oriental: La aloctonía del conjunto cadena Altiplano Central entre Torreón, Coahuila y San Luis Potosí, México: Revista Instituto de Geología de la UNAM., 75(1) P.1-11.
- Thompson.T., 1997, Petrographic descriptions of samples from Dolores & Cobriza mines, La Paz, S.L.P. México. Archivo empresa NEMISA. Sin publicar.
- Torres-Aguilera. J., 1997, Descripción Minerográfica y Petrográfica de muestras procedentes de las minas Dores y Cobriza del distrito La Paz, S.L.P. Archivo empresa NEMISA. Sin publicar.
- Torres-Del Ángel., 1993, Estudio de Inclusiones Fluidas en el Distrito La Paz, S.L.P. Tesis profesional, Facultad de Ciencias de la Tierra, UANL.
- Tristán-González, M., 1986, Estratigrafía y tectónica del Graben de Villa de Reyes, en los estados de San Luis Potosí y Guanajuato, México: Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de Geología, Folleto Técnico 107, p.91.
- Tristán-González *et al.*, 2009, Evolución Tectono-Volcánica Durante el Paleógeno en la Porción Sur-Oriental de la Mesa Central: UNAM, Centro de Geociencias Posgrado en Ciencias de la Tierra. Tesis doctorado .p.30-36.

Tristán-González *et al.*, 2009, Post-Laramide and pre-Basin and Range deformation and implications for Paleogene (55–25 Ma) volcanism in central Mexico: A geological basis for a volcano-tectonic stress model: *Tectonophysics* 471 (2009), pp.136–152.

Wetmore, P., Schmidt, K.L., Paterson, S.R., 2002, Tectonic implications for the along strike variation of the Peninsular Ranges batholiths, southern and Baja California: *Geology*, 30, 247–250.

HOJAS DE LEVANTAMIENTO EN CAMPO

LISTA DE TABLAS	PÁGINA
1.- Datos levantamiento de campo hoja 1	143
2.- Datos levantamiento de campo hoja 2	144
3.- Datos levantamiento de campo hoja 3	145
4.- Datos levantamiento de campo hoja 4	146
5.- Datos levantamiento de campo hoja 5	147
6.- Datos levantamiento de campo hoja 6	148
7.- Datos levantamiento de campo hoja 7	149
8.- Datos levantamiento de campo hoja 8	150
9.- Datos levantamiento de campo hoja 9	151
10.- Datos levantamiento de campo hoja 10	152
11.- Datos levantamiento de campo hoja 11	153
12.- Datos levantamiento de campo hoja 12	154
13.- Datos levantamiento de campo hoja 13	155
14.- Datos levantamiento de campo hoja 14	156
15.- Datos levantamiento de campo hoja 15	157
16.- Datos levantamiento de campo hoja 16	158
17.- Datos levantamiento de campo hoja 17	159

PROYECTO: levantamiento estructural Sierra del Fraile, La Paz, S.L.P.

Por: José Manuel González Ochoa.

Maestría en Ciencias en Geología Aplicada

Instituto de Geología

Facultad de Ingeniería, UASLP.

Reviso: Dr. Margarito Tristan

Fecha: junio/15/12

Sistemas:

Coordenada: WGS84

Datos estructurales: DIP DIRECTION

HOJA 1

No. Station o punto	Structure	Strike or Trend	Dip or Plunge	Notes
1 DATO A	FALLA	90°	60°	FALLA DOLORES COORDENADAS 323391 2619848 TOMA DE DATOS MOVIENDOSE EN TRAMOS DE +/- 5 METROS AL NORTE
DATO B	FALLA	95°	60°	PITCH 38° AL NE
DATO C	FALLA	98°	60°	PITCH 75° AL NE
DATO D	FALLA	90°	65°	PITCH 75° AL N
DATO E	FALLA	90°	60°	PITCH 65° AL S
2 DATO A	FRACTURA	215°	50°	FRACTURA DE EXTENSIÓN COORDENADAS 323430 2620018
DATO B	FALLA	90°	70°	PITCH 80° AL N
3 DATO A	FALLA	100°	65°	PITCH 80° AL NE EN EL ARROYO COORDENADAS 323432 2620050
4 DATO A	FRACTURA	72°	85°	FRACTURA DE EXTENSIÓN ARROYO EL MÁRMOL AGUAS ARRIBA COORDENADAS 323390 2620018
DATO B	ESTRATO	90°	15°	
10 DATOS				

PROYECTO: levantamiento estructural Sierra del Fraile, La Paz, S.L.P.

Por: José Manuel González Ochoa.

Maestría en Ciencias en Geología Aplicada

Instituto de Geología

Facultad de Ingeniería,UASLP.

Reviso:Dr. Margarito Tristan

Fecha: junio/15/12

Sistemas:

Coordenada:WGS84

Datos estructurales:DIP DIRECTION

HOJA 2

No. Station o punto	Structure	Strike or Trend	Dip or Plunge	Notes
5 DATO A	FALLA	115°	75°	PITCH 65° AL NE FALA DOLORES COORDENADAS 323439 2620184
6 DATO A	FALLA	78°	70°	TOLVA EXTERIOR COBRIZA COORDENADAS 324163 2622094
DATO B	ESTRATO	227°	15°	CALIZA AGUA NUEVA 10-20 cm
7 DATO A	FALLA	120°	52°	PITCH 65° AL NE POLVORIN LA PERLA COORDENADAS 323361 2618749
8 DATO A	FALLA	122°	58°	COORDENADAS 323320 2618680
9 DATO A	FALLA	122°	65°	PITCH 45° AL NE COORDENADAS 323300 2618604
10 DATO A	FALLA	S/D	S/D	SIN DEFINICIÓN DATO ESTRUCTURAL SOLO AFLORAMIENTO COORDENADAS 323323 2618476 7 DATOS

PROYECTO: levantamiento estructural Sierra del Fraile, La Paz, S.L.P.

Por: José Manuel González Ochoa.

Maestría en Ciencias en Geología Aplicada

Instituto de Geología

Facultad de Ingeniería, UASLP.

Reviso: Dr. Margarito Tristan

Fecha: junio/15/12

Sistemas:

Coordenada: WGS84

Datos estructurales: DIP DIRECTION

HOJA 3

No. Station o punto	Structure	Strike or Trend	Dip or Plunge	Notes
11 DATO A	FALLA DIQUE	S/D	S/D	SIN DEFINICIÓN DATO ESTRUCTURAL SOLO AFLORAMIENTO COORDENADAS 323252 2618378
				1 DATO

PROYECTO: levantamiento estructural Sierra del Fraile, La Paz, S.L.P.

Por: José Manuel González Ochoa.

Maestría en Ciencias en Geología Aplicada

Instituto de Geología

Facultad de Ingeniería, UASLP.

Reviso: Dr. Margarito Tristan

Fecha: junio/16/12

Sistemas:

Coordenada: WGS84

Datos estructurales: DIP DIRECTION

HOJA 4

No. Station o punto	Structure	Strike or Trend	Dip or Plunge	Notes
12 DATO A	ESTRATO	42°	82°	PITCH 65° AL NE FALA DOLORES COORDENADAS 321221 2617572
DATO B		44°		CUÑA DE COMPRESIÓN ROMBO LUTITAS FORMACIÓN MENDÉZ 10-50 cm
13 DATO A	CHARNELA DIQUE	140°		SE SE COMPORTA COMO UNA BOLSADA DIAMETRO DE +/- 4 m. COORDENADAS 321818 2618942
DATO B		50°		NE DIRECCIÓN DE TRANSPORTE TECTÓNICO
14 DATO A	ESTRATO	258°	58°	LUTITAS FORMACIÓN MENDEZ 10-15 cm
DATO B		345°	65°	DATOS TOMADOS +/- CADA 10 m
DATO C		162°	55°	
DATO D	ESTRATO	260°	28°	DATOS TOMADOS +/- CADA 10 m LUTITAS/CALIZAS FORMACIÓN SAN FELIPE 20-120 cm
DATO E	FALLA	220°	70°	FALLA INVERSA CONTACTO MENDÉZ-SAN FELIPE COORDENADAS 322024 2619139
DATO F	ESTRATO	210°	28°	FORMACIÓN SAN FELIPE

10 DATOS

PROYECTO: levantamiento estructural Sierra del Fraile, La Paz, S.L.P.

Por: José Manuel González Ochoa.

Maestría en Ciencias en Geología Aplicada

Instituto de Geología

Facultad de Ingeniería, UASLP.

Reviso: Dr. Margarito Tristan

Fecha: junio/16/12

Sistemas:

Coordenada: WGS84

Datos estructurales: DIP DIRECTION

HOJA 5

No. Station o punto	Structure	Strike or Trend	Dip or Plunge	Notes
15 DATO A				MUESTRA DE BASALTO COORDENADAS 322056 2619444
16 DATO A	ESTRATO	280°	25°	FORMACIÓN SAN FELIPE 20-120cm COORDENADAS 322347 2620234
DATO B		123°		47° AL SE DIRECCIÓN DE ESFUERZO TECTÓNICO
17 DATO A	DIQUE	210°	75°	CONTACTO ENTRE DIQUE Y FORMACIÓN SAN FELIPE
18 DATO A	FALLA	32°	76°	COORDENADAS 322776 2621441
19 DATO A	FALLA	110°	84°	COORDENADAS 323035 2621838

PROYECTO: levantamiento estructural Sierra del Fraile, La Paz, S.L.P.

Por: José Manuel González Ochoa.

Maestría en Ciencias en Geología Aplicada

Instituto de Geología

Facultad de Ingeniería, UASLP.

Reviso: Dr. Margarito Tristan

Fecha: julio/20/12

Sistemas:

Coordenada: WGS84

Datos estructurales: DIP DIRECTION

HOJA 6

No. Station o punto	Structure	Strike or Trend	Dip or Plunge	Notes
20 DATO A	FALLA	68°	70°	FALLA AL N COBRIZA COORDENADAS 324146 2622167
21 DATO A	FALLA	35°	85°	COORDENADAS 324121 2622220 PROBABLE DESPRENDIMIENTO DE GRAN FALLA
22 DATO A	ESTRATO	78°	55°	COORDENADAS 324169 2622179 CALIZA AGUA NUEVA 10-30 cm
23 DATO A	ESTRATO	50°	85°	COORDENADAS 324009 2622428 CALIZA CUESTA DEL CURA 10-30 cm
24 DATO A	FALLA	58°	75°	COORDENADAS 324060 2622424

PROYECTO: levantamiento estructural Sierra del Fraile, La Paz, S.L.P.

Por: José Manuel González Ochoa.

Maestría en Ciencias en Geología Aplicada

Instituto de Geología

Facultad de Ingeniería, UASLP.

Reviso: Dr. Margarito Tristan

Fecha: julio/31/12

Sistemas:

Coordenada: WGS84

Datos estructurales: DIP DIRECTION

HOJA 7

No. Station o punto	Structure	Strike or Trend	Dip or Plunge	Notes
25				
DATO A	FALLA	76°	85°	CAMINO COBRIZA-EL CARMEN COORDENADAS 324218 2621674
DATO B	ESTRATO	70°	12°	DATO TOMADO EN EL PUNTO CALIZA AGUA NUEVA 30 cm
DATO C	ESTRATO	60°	82°	DATO TOMADO EN EL PUNTO CALIZA AGUA NUEVA 30 cm
26				
DATO A	EJE PLIEGUE	326°		CAMINO COBRIZA-EL CARMEN PLIEGUE VOLCADO COORDENADAS 324179 2621647
DATO B	ESTRATO FLANCO	230°	82°	CALIZA AGUA NUEVA 30 cm
DATO C	ESTRATO FLANCO	278°	10°	CALIZA AGUA NUEVA 30 cm
DATO D	FRACTURA DE TENSION	20°	85°	
27				
DATO A	EJE PLIEGUE	360°		SINCLINAL COORDENADAS 324150 2621640
DATO B	ESTRATO	216°	45°	CALIZA AGUA NUEVA 15-30 cm
28				
DATO A	EJE PLIEGUE	310°		CAMINO COBRIZA-EL CARMEN ANTICLINAL COORDENADAS 324120 2621630
DATO B	ESTRATO FLANCO W	158°	15°	CALIZA AGUA NUEVA 30 cm
DATO C	ESTRATO E	80°	50°	
DATO D	ESTRATO	86°	65°	CALIZA AGUA NUEVA

PROYECTO: levantamiento estructural Sierra del Fraile, La Paz, S.L.P.

Por: José Manuel González Ochoa.

Maestría en Ciencias en Geología Aplicada

Instituto de Geología

Facultad de Ingeniería,UASLP.

Reviso:Dr. Margarito Tristan

Fecha: julio/31/12

Sistemas:

Coordenada:WGS84

Datos estructurales:DIP DIRECTION

HOJA 8

No. Station o punto	Structure	Strike or Trend	Dip or Plunge	Notes
29 DATO A	PLIEGUE	160°		CAMINO COBRIZA-EL CARMEN COORDENADAS 324071 2621620
DATO B	ESTRATO	90°	60°	DATO TOMADO EN EL PUNTO CALIZA AGUA NUEVA 30 cm
DATO C	ESTRATO	235°	48°	DATO TOMADO EN EL PUNTO CALIZA AGUA NUEVA 30 cm
30 DATO A	FRACTURA	164°	70°	CAMINO COBRIZA-EL CARMEN COORDENADAS 324143 2621673
DATO B	ESTRATO	240°	80°	DATO TOMADO EN EL PUNTO CALIZA AGUA NUEVA 10-80 cm
31 DATO A	FRACTURA	310°	70°	PATIO MINA EL CARMEN COORDENADAS 323420 2621826
DATO B	FRACTURA	95°	85°	
32 DATO A	FALLA	304°	85°	COORDENADAS 323549 2621720
33 DATO A	ESTRATO	25°	50°	CALIZA /LUTITAS FORMACIÓN SAN FELIPE COORDENADAS 323591 2621698
34 DATO A	FALLA	100°	85°	COORDENADAS 323649 2621695

PROYECTO: levantamiento estructural Sierra del Fraile, La Paz, S.L.P.

Por: José Manuel González Ochoa.

Maestría en Ciencias en Geología Aplicada

Instituto de Geología

Facultad de Ingeniería, UASLP.

Reviso: Dr. Margarito Tristan

Fecha: julio/31/12

Sistemas:

Coordenada: WGS84

Datos estructurales: DIP DIRECTION

HOJA 9

No. Station o punto	Structure	Strike or Trend	Dip or Plunge	Notes
35 DATO A	FRACTURA	170°	50°	SISTEMA DE FRACTURAS SOLO SE TOMO LA PRINCIPAL MATERIAL BLOQUEADO COORDENADAS 323661 2621662
36 DATO A	FRACTURA	136°	76°	SISTEMA DE FRACTURAS SOLO SE TOMO LAS 2 PRINCIPALES MATERIAL BLOQUEADO EN INTRUSIVO
DATO B	FRACTURA	10°	20°	COORDENADAS 323554 2621605
37 DATO A	ESTRATO	8°	40°	CALIZA /LUTITAS FORMACIÓN SAN FELIPE 40-120 cm COORDENADAS 323568 2621538
38 DATO A	FALLA	82°	80°	COORDENADAS 323648 2621625
DATO B	ESTRATO	260°	35°	CALIZA /LUTITAS FORMACIÓN SAN FELIPE 40-120 cm
39 DATO A	DIQUE			VERTICAL MAS MENOS 10 METROS DIAMETRO COORDENADAS 323827 2621682
DATO B	ESTRATO	228°	30°	CALIZA /LUTITAS FORMACIÓN SAN FELIPE COORDENADAS 323591 2621698
40 DATO A	FRACTURA	175°	85°	COORDENADAS 323775 2621598
DATO B	ESTRATO	238°	58°	FORMACIÓN SAN FELIPE

PROYECTO: levantamiento estructural Sierra del Fraile, La Paz, S.L.P.

Por: José Manuel González Ochoa.

Maestría en Ciencias en Geología Aplicada

Instituto de Geología

Facultad de Ingeniería, UASLP.

Reviso: Dr. Margarito Tristan

Fecha: julio/31/12

Sistemas:

Coordenada: WGS84

Datos estructurales: DIP DIRECTION

HOJA 10

No. Station o punto	Structure	Strike or Trend	Dip or Plunge	Notes
41 DATO A	ESTRATO	260°	60°	CALIZA /LUTITAS FORMACIÓN SAN FELIPE CONTACTO AGUA NUEVA COORDENADAS 323745 2621579
42 DATO A	EJE PLIEGUE	312°		COORDENADAS 323843 2621594
DATO B	ESTRATO FLANCO E	70°	40°	
DATO C	ESTRATO W	250°	65°	
DATO D	EJE PLIEGUE	154°		5 METROS AGUAS ARRIBA
DATO E	ESTRATO FLANCO E	70°	85°	
DATO F	ESTRATO W	240°	65°	
43 DATO A	FALLA	102°	75°	COORDENADAS 323660 2621620
DATO B	FRACTURA	172°	60°	
DATO C	ESTRATO	226°	20°	
DATO D	FRACTURA	172°	60°	
DATO E	FRACTURA	60°	70°	
DATO F		148°		32°° AL SE DIRECCIÓN DE ESFUERZO TECTÓNICO
DATO G	FRACTURA	114°	78°	
DATO H	EJE PLIEGUE	335°		20 METROS AGUAS ARRIBA
DATO I	FLANCO	72°	78°	
DATO J	FLANCO	262°	28°	
DATO K	EJE PLIEGUE	155°		25 METROS AGUAS ARRIBA
DATO L	FLANCO	250°	55°	
DATO M	FLANCO	70°	78°	

PROYECTO: levantamiento estructural Sierra del Fraile, La Paz, S.L.P.

Por: José Manuel González Ochoa.

Maestría en Ciencias en Geología Aplicada

Instituto de Geología

Facultad de Ingeniería, UASLP.

Reviso: Dr. Margarito Tristan

Fecha: julio/31/12

Sistemas:

Coordenada: WGS84

Datos estructurales: DIP DIRECTION

HOJA 11

No. Station o punto	Structure	Strike or Trend	Dip or Plunge	Notes
				LOS SIGUIENTES PUNTOS NO FUERON DIBUJADOS EN EL PLANO POR LO CERCANO DE ELLOS Y LO REDUCIDO DE LA ESCALA
44 DATO A	FRACTURA	172°	70°	COORDENADAS 323104 2621702
DATO B	ESTRATO	78°	85°	CALIZA AGUA NUEVA 5-25 cm
45 DATO A	ESTRATO	62°	75°	CALIZA AGUA NUEVA 5-45 cm COORDENADAS 32412 2621758
46 DATO A	EJE PLIEGUE	332°		
DATO B	FLANCO	60°	75°	
DATO C	FLANCO	175°	12°	

PROYECTO: levantamiento estructural Sierra del Fraile, La Paz, S.L.P. Por: José Manuel González Ochoa. Maestría en Ciencias en Geología Aplicada Instituto de Geología Facultad de Ingeniería,UASLP. Reviso:Dr. Margarito Tristan Fecha: Agosto/11/12 Sistemas: Coordinada: WGS84 Datos estructurales: DIP DIRECTION HOJA 12				
No. Station o punto	Structure	Strike or Trend	Dip or Plunge	Notes
47 DATO A	ESTRATO	218°	30°	CALIZA SAN FELIPE 10-25 cm COORDENADAS 323147 2620355
48 DATO A	FALLA 80 cm	166°	80°	COORDENADAS 323211 2620305
DATO B	ESTRATO	300°	60°	CALIZA SAN FELIPE 10-30 cm
DATO C	PITCH			N6°E / 8° COORDENADAS 323211 2620305
49 DATO A	FRACTURA	218°	75°	COORDENADAS 323214 2620232
50 DATO A	EJE PLIEGUE	110°		AL SE
DATO B	FLANCO	15°	20°	COORDENADAS
DATO C	FLANCO	352°	10°	323210 2620140
51 DATO A	EJE PLIEGUE	320°		AL NW
DATO B	FLANCO	260°	35°	COORDENADAS
DATO C	FLANCO	50°	15°	323286 2620104
52 DATO A	FRACTURA	90°	85°	AL NW
DATO B	FLANCO	266°	40°	COORDENADAS
DATO C	FLANCO	95°	25°	323336 2620211
53 DATO A	ESTRATO	134°	48°	CALIZA SAN FELIPE 10-30 cm 324055 2620273

PROYECTO: levantamiento estructural Sierra del Fraile, La Paz, S.L.P. Por: José Manuel González Ochoa. Maestría en Ciencias en Geología Aplicada Instituto de Geología Facultad de Ingeniería, UASLP. Reviso: Dr. Margarito Tristan Fecha: Agosto/11/12 Sistemas: Coordinada: WGS84 Datos estructurales: DIP DIRECTION HOJA 13				
No. Station o punto	Structure	Strike or Trend	Dip or Plunge	Notes
54 DATO A	ESTRATO	290°	80°	CALIZA/LUTITA SAN FELIPE 5-20 cm COORDENADAS 323625 2620271
55 DATO A	ESTRATO	22°	28°	COORDENADAS 324234 2619818 LUTITAS FORMACIÓN MENDEZ
56 DATO A	ESTRATO	240°	50°	COORDENADAS 324108 2619856 LUTITAS FORMACIÓN MENDEZ ARROYO MEMBRILLO
57 DATO A	FALLA	38°	45°	COORDENADAS 324187 2619860 DIRECCIÓN ESFUERZO TECTONICO N38°W
DATO B	FRACTURA	140°	80°	
DATO C	FRACTURA	262°	65°	
DATO D	FRACTURA	290°	28°	
DATO E				
58 DATO A	ESTRATO	65°	75°	COORDENADAS 322937 2619151 CONTACTO A. NUEVA/C. DEL CURA
59 DATO A	ESTRATO	80°	30°	COORDENADAS 322551 2617586 CONTACTO SAN FELIPE/MENDEZ
60 DATO A	ESTRATO	308°	60°	CALIZA/LUTITA SAN FELIPE 10-30 cm 322305 2617591

PROYECTO: levantamiento estructural Sierra del Fraile, La Paz, S.L.P. Por: José Manuel González Ochoa. Maestría en Ciencias en Geología Aplicada Instituto de Geología Facultad de Ingeniería, UASLP. Reviso: Dr. Margarito Tristan Fecha: Agosto/11/12 Sistemas: Coordinada: WGS84 Datos estructurales: DIP DIRECTION HOJA 14				
No. Station o punto	Structure	Strike or Trend	Dip or Plunge	Notes
61 DATO A	ESTRATO	160°	22°	COORDENADAS 321963 2617442 CONTACTO SAN FELIPE/MENDEZ
62 DATO A	ESTRATO	244°	38°	COORDENADAS
DATO B	FRACTURA	0°	70°	323366
DATO C	FRACTURA	155°	55°	2621706
DATO D	FRACTURA	22°	36°	
63 DATO A	FALLA 120 cm	140°	82°	COORDENADAS 323089 2621675
64 DATO A	FALLA 120 cm	122°	80°	COORDENADAS 323104 2621576
65 DATO A	FALLA 3.00 m	145°	85°	COORDENADAS 323102 2621457
DATO B	ESTRATO	306°	30°	CALIZA/LUTITA SAN FELIPE 5-20 cm
66 DATO A	FALLA 60 cm	150°	85°	COORDENADAS 323087 2621379
67 DATO A	FALLA 70 cm	120°	85°	COORDENADAS 323088 2621358
68 DATO A	FALLA 80 cm	298°	82°	COORDENADAS 323102 2621313
DATO B	FALLA 50 cm	61°	60°	

PROYECTO: levantamiento estructural Sierra del Fraile, La Paz, S.L.P. Por: José Manuel González Ochoa. Maestría en Ciencias en Geología Aplicada Instituto de Geología Facultad de Ingeniería, UASLP. Reviso: Dr. Margarito Tristan Fecha: Agosto/11/12 Sistemas: Coordinada: WGS84 Datos estructurales: DIP DIRECTION HOJA 15				
No. Station o punto	Structure	Strike or Trend	Dip or Plunge	Notes
69				
DATO A	FRACTURA	325°	85°	COORDENADAS 323183 2621305
DATO B	FRACTURA	285°	22°	
70				
DATO A	FALLA 1.60 m	108°	75°	COORDENADAS 323028 2621850 ESTA FALLA MARCA EL LÍMITE ENTRE CALIZA/SKARN DE LOS CUERPOS 78-01 Y 22-85 DE LA MINA COBRIZA
71				
DATO A	FALLA 20 cm	358°	75°	COORDENADAS 322576 2621262
DATO B	ESTRATO	274°	40°	FORM. SAN FELIPE 5-20 cm
DATO C	FRACTURA	78°	50°	
72				
DATO A	ESTRATO	280°	22°	CALIZA/LUTITA SAN FELIPE 5-20 cm COORDENADAS 322589 2621150
73				
DATO A	FRACTURA	0°	80°	COORDENADAS 322523 2621060
	ESTRATO	280°	30°	CALIZA/LUTITA SAN FELIPE 5-20 cm
74				
DATO A	FRACTURA	195°	08°	COORDENADAS 323442 2620837
DATO B	FRACTURA	350°	80°	
DATO C	ESTRATO	265°	85°	CALIZA/LUTITA SAN FELIPE
DATO D				DIRECCIÓN ESFUERZO TECTONICO S18°E
DATO E	S1			S102°E
DATO F	S2			N355°W

PROYECTO: levantamiento estructural Sierra del Fraile, La Paz, S.L.P. Por: José Manuel González Ochoa. Maestría en Ciencias en Geología Aplicada Instituto de Geología Facultad de Ingeniería, UASLP. Reviso: Dr. Margarito Tristan Fecha: Agosto/11/12 Sistemas: Coordinada: WGS84 Datos estructurales: DIP DIRECTION HOJA 16				
No. Station o punto	Structure	Strike or Trend	Dip or Plunge	Notes
75				
DATO A	FRACTURA	98°	82°	COORDENADAS
DATO B	FRACTURA	0°	65°	322334
DATO C	FRACTURA	100°	80°	2620496
DATO D	ESTRATO	275°	85°	CALIZA/LUTITA SAN FELIPE
DATO E	S1			N/S
76				
DATO A	FRACTURA	320°	85°	COORDENADAS
DATO B	FRACTURA	148°	70°	322337
				2620475
77				
DATO A	ESTRATO	110°	22°	FORM.SAN FELIPE
				20-60 cm
				COORDENADAS
				322336
				2620424
78				
DATO A	FRACTURA	05°	75°	COORDENADAS
				322293
				2620373
				SISTEMA DE FRACTURAS C/U 2 METROS
79				
DATO A	FALLA	320°	75°	COORDENADAS
	40 cm			322343
				2620073
DATO B	ESTRATO	278°	20°	FORM.SAN FELIPE
80				
DATO A	ESTRATO	265°	25°	COORDENADAS
DATO B	ESTRATO	250°	70°	322421
DATO C	ESTRATO	275°	20°	2619984
DATO D	FRACTURA	132°	55°	PLIEGUE
81				
DATO A	ESTRATO	245°	25°	COORDENADAS
DATO B	ESTRATO	90°	80°	322329
DATO C	ESTRATO	250°	25°	2620006
				PLIEGUE
82				
DATO A	ESTRATO	290°	75°	COORDENADAS
DATO B	ESTRATO	290°	35°	322300
DATO C	ESTRATO	250°	60°	2620005
				PLIEGUE

PROYECTO: levantamiento estructural Sierra del Fraile, La Paz, S.L.P.

Por: José Manuel González Ochoa.

Maestría en Ciencias en Geología Aplicada

Instituto de Geología

Facultad de Ingeniería, UASLP.

Reviso: Dr. Margarito Tristan

Fecha: Agosto/11/12

Sistemas:

Coordenada: WGS84

Datos estructurales: DIP DIRECTION

HOJA 17

No. Station o punto	Structure	Strike or Trend	Dip or Plunge	Notes
83				
DATO A	FALLA	165°	80°	COORDENADAS
DATO B	ESTRATO	245°	25°	322278
DATO C	ESTRATO	242°	85°	2619933
DATO D	ESTRATO	278°	25°	ZONA DE PLIEGUE
DATO E	FRACTURA	305°	80°	
DATO F	FRACTURA	170°	80°	
84				
DATO A	FALLA	210°	65°	COORDENADAS
DATO B	FRACTURA	172°	75°	322278
DATO C	ESTRATO	270°	35°	2619933
				FORM.SAN FELIPE
85				
DATO A	FRACTURA	105°	80°	COORDENADAS
DATO B	ESTRATO	0°	38°	322132
				2619749
				FORM.SAN FELIPE
				20-30 cm
86				
DATO A	FRACTURA	212°	70°	COORDENADAS
DATO B	FRACTURA	250°	80°	322070
DATO C	ESTRATO	294°	60°	2619639
DATO D	ESTRATO	235°	75°	ZONA DE PLIEGUE
DATO E	FRACTURA	285°	52°	
87				
DATO A	ESTRATO	200°	55°	COORDENADAS
DATO B	ESTRATO	240°	30°	322043
DATO C	FRACTURA	218°	70°	2619451
88				
DATO A	FRACTURA	160°	72°	COORDENADAS
DATO B	FRACTURA	90°	78°	321957
DATO C	ESTRATO	278°	32°	2619379
89				
DATO A	FRACTURA	318°	65°	COORDENADAS
DATO B	FRACTURA	220°	60°	322016
DATO C	ESTRATO	310°	58°	2619286
90				
DATO A	FALLA	0°	45°	COORDENADAS
DATO B	FALLA	215°	75°	322016
DATO C	FALLA	130°	85°	2619286
				ENTRE 5 Y 30 M AGUAS
				ARRIBA