

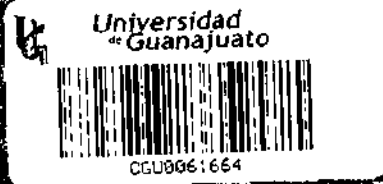


UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO

División de Ingenierías

Campus Guanajuato

MODELO GEOLOGICO ESTRUCTURAL DEL YACIMIENTO
ARGENTIFERO DEL DISTRITO MINERO LA COLORADA
CHILCHITUITES, ZACATECAS.



Tesis para obtener el título de:

INGENIERO GEOLOGO

Presenta:

IVAN URIEL VALLADARES AGUILERA

Ayuda:

Dr. Raúl Miranda Arrión

Comité revisor:

Dr. Juventino Martínez Reyes

Dr. Lidio Loza Aguilar

M.C. Aldo Casquero Pompa



Universidad de Guanajuato
División de Ingenierías
Campus Guanajuato

**MODELO GEOLOGICO ESTRUCTURAL DEL YACIMIENTO
ARGENTIFERO DEL DISTRITO MINERO LA COLORADA,
CHALCHIHUITES, ZACATECAS.**

Tesis para obtener el título de:
Ingeniero Geólogo

Presentada por:
Iván Uriel Valladares Aguilera

Asesor:
Dr. Raúl Miranda Avilés

Guanajuato, Gto. Septiembre 2016

DONADO
2016

CGU0061664/2016

T
2014
VAL

6408
USTA 50

Guanajuato, Gto., julio de 2016

Asunto: **Aprobación de Trabajo
de Titulación.**

**DR. LUIS ENRIQUE MENDOZA PUGA
DIRECTOR DE DIVISION DE INGENIERIAS
CAMPUS GUANAJUATO
P R E S E N T E.**

Los que suscriben, revisores del trabajo, que como requisito para obtención de Título Profesional, fue presentado a revisión por:

C. Iván Uriel Valladares Aguilera

Pasantes del Programa Educativo de Ingeniero Geólogo de la División de Ingenierías del Departamento de Ingeniería en Minas, Metalurgia y Geología de la Universidad de Guanajuato, en la modalidad de **Trabajo de Tesis**, con el Título:

**"Modelo Geológico Estructural del Yacimiento Argentífero
Del Distrito Minero La Colorada, Chalchihuites, Zacatecas."**

Una vez leído, analizado y revisado el trabajo, ha sido aprobado para que continúen con los trámites requeridos para solicitar fecha y sustenten examen.

Sin más por el momento reciba un cordial saludo.

**Atentamente
"La Verdad Os Hará Libres"**

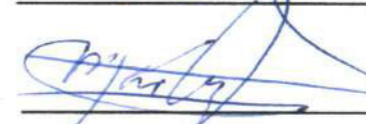
Dr. Raúl Miranda Aviles
Director del Trabajo



M.C. Aldo Izaguirre Pompa
Sinodal del Trabajo



Dr. Juventino Martínez Reyes
Sinodal del Trabajo



Dr. Isidro Loza Aguirre
Sinodal del Trabajo



DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CAMPUS GUANAJUATO
Ex-Hacienda San Matías s/n, 36000, Guanajuato, Gto., Tels. (473) 732 22 91, Fax (473) 732 38 64

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a La compañía Pan American Silver, por su apoyo para realizar este trabajo en sus instalaciones, a todo el personal de geología por su inagotable asistencia, las aportaciones profesionales de cada uno de los geólogos, en especial al Ing. Enrique Segovia y al Ing. Arturo López, por el interés que le prestaron a mi formación, la colaboración de los dibujantes y todos aquellos que me brindaron su apoyo dentro de la mina La Colorada.

Agradezco a la Universidad de Guanajuato por impulsarme a cumplir mis sueños, en especial a la Escuela de Minas, y a cada uno de los profesores que me formaron en este trayecto.

Agradezco al Dr. Raúl Miranda Avilés por aceptar dirigir mi estudio, y su incansable afinación de conceptos que dieron forma a este trabajo.

Agradezco al Dr. Juventino Martínez Reyes, Dr. Isidro Loza Aguirre y al Mtro. Aldo Izaguirre Pompa por compartirme de su vasta experiencia que fue imprescindible para mejorar mi trabajo

Agradezco a mi papá, el líder que me ha creado como un profesional, por su total apoyo en todos mis planes y las completas atenciones que pone en mí, agradezco a mi mamá, por su eterna dedicación en hacer de mí alguien mejor y su intenso afecto que siempre ha sido un apoyo indispensable, y a mi hermana por impulsar mi superación, esto es para ustedes.

A Lili, por no dejar de motivarme en este periodo que dedique solo a este trabajo, fuiste mi inspiración durante todo este tiempo.

Agradezco a mis amigos que siempre han sido una parte importante y compañeros que hicieron de la carrera algo inolvidable.

RESUMEN

El distrito Minero de La Colorada es un yacimiento epitermal de sulfuración intermedia, con mineralización argentífera. En este estudio se elaboró un modelo geológico estructural del yacimiento esperando dar herramientas para la exploración en zonas potencialmente mineralizadas.

El distrito consta de 3 minas: Mina Recompensa, Mina Estrella y Mina Candelaria cada una con su respectiva veta principal: Veta Recompensa, Veta Amolillo y Veta No Conocida (HW y NC2).

Las rocas presentes en La Colorada fueron sometidas al menos a dos eventos tectónicos importantes; Plegamiento Laramide, y fallamiento post-Laramide.

Para las estructuras principales tenemos un echado al SE para Veta Amolillo, HW y NC2. Y un echado de NNW para Recompensa, el sentido del movimiento de todas las fallas es normal.

Según el cálculo de dirección de esfuerzos, tenemos un movimiento inicial en dirección NE-SW, en respuesta a la distensión regional. Es posible distinguir otro movimiento posterior NW-SE, evidenciado por los indicadores cinemáticos de veta Amolillo. Para todos los casos el movimiento es transtensivo de acuerdo al ángulo del espectro tectónico.

Para las Vetas Amolillo y NC2 se tiene una componente de fallamiento oblicuo derecho, en respuesta a un sistema distensivo regional NE (σ_3), y una componente normal oblicua izquierda en Veta Recompensa en respuesta al segundo evento distensivo NW.

Al interpretar la vista de planta del modelo, se observa que las vetas se escalonan, el sistema parece tener un comportamiento transtensional (oblicuo - normal). La geometría vertical tiende a tener una forma similar al de flor negativa.

La concentración de polos para datos de inclinación indica por su mayoría una tendencia hacia el SE en el área de bonanza comprendida entre HW y NC2 y Amolillo. Una ligera rotación de los bloques causada por la transtensión del sistema en el último evento de deformación, produjo una variación en los niveles de sulfuros, las composiciones de minerales primarios serian diferentes de los que actualmente se extraen conforme se avanza en profundidad.

ABSTRACT

La Colorada mining district is an epithermal intermediate sulphidation deposit with argentiferous mineralization. In this study was developed a structural geological model of the reservoir with the expectation to provide tools for exploration in potentially mineralized zones.

The district has 3 mines: Recompensa Mine, Estrella Mine and Candelaria Mine each with its respective main vein: Recompensa Vein, Amolillo Vein and No Conocida Vein (HW and NC2).

The structures in La Colorada were affected to at least two hard tectonic events; Laramide folding and post-Laramide faults.

The main structures Veta Amolillo, NC2, HW have a dip SE. And Recompensa Vein has a dip to NNW, the direction of movement is normal for all faults.

According to the calculate direction for the shear stress, we have an initial move in NE-SW direction in response to regional distention. A subsequent movement NW-SE is perceiving in Amolillo vein by kinematic indicators. In all cases the movement is transtensive according to the angle of tectonic spectrum.

For Amolillo, HW and NC2 veins have a right oblique component of fracturing, in response to a regional extensional system (σ_3) NE, and a left oblique normal component in Recompensa Vein in response to the second extensional event NW.

Interpreting the horizontal view of the model, it is observed that the veins are staggered, the system seems to have a transtensional behavior (oblique - normal). The vertical geometry is similar to a negative flower structural model.

The concentration of poles for data dips indicate a trend towards SE by mostly, between área in the Amolillo, HW and NC2. A faint rotation of the blocks caused by transtension system on the last event of deformation, creating a variation in sulfides levels, primary mineral compositions would be different from those currently extracted as advances in depth

INDICE

Resumen / Abstract.....	i
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo general	1
1.1.1 Objetivos específicos.....	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Área de estudio.....	2
1.4 Antecedentes.....	4
1.5 Trabajos previos.....	4
1.6 Metodología.....	6
1.6.1 La construcción geométrica de Mc Coss.....	7
I) El espectro tectónico.....	8
II) Los indicadores cinemáticos.....	8
III) Determinación de la orientación de los vectores de desplazamiento sobre un plano.....	9
IV) Solución grafica para las magnitudes relativas de los ejes principales.....	11
CAPÍTULO 2. MARCO TECTÓNICO.....	12
CAPÍTULO 3. GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	20
3.1 Estratigrafía.....	23
3.1.1 Formación Cuesta del Cura.....	23
3.1.2 Formación Indidura.....	25
3.1.3 Conglomerado La Colorada.....	25
3.1.4 Volcánico inferior.....	27
3.1.5 Volcánico Superior.....	27
3.1.6 Aluviales.....	28

CAPÍTULO 4. RESULTADOS.....	29
4.1 Análisis de imagen DEM.....	29
4.2 Análisis cinemático de las estructuras.....	30
4.2.1 Sistema Candelaria zona óxidos.....	30
4.2.2 Sistema Candelaria zona sulfuros.....	34
4.2.3 Sistema Amolillo.....	40
4.2.4 Sistema Recompensa.....	46
CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN.....	50
5.1 Construcción del modelo geológico estructural.....	51
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES.....	56
Referencias.....	58
Anexo.....	62

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

El distrito Minero La Colorada se encuentra ubicado en Chalchihuites, Zacatecas, entre los estados de Zacatecas y Durango, a una elevación de 2,400 m.s.n.m. El yacimiento es parte de la denominada "Faja de Plata" reconocida por sus importantes depósitos minerales que convierten a México en el mayor productor de plata a nivel mundial.

El distrito minero de La Colorada aloja yacimientos de tipo epitermal de sulfuración intermedia (Steinmann M. and Wafforn M., 2013), la mineralización de plata se hospeda en vetas encajonadas en secuencias sedimentarias y volcánicas del Cretácico y Cenozoico.

El lugar de estudio se desarrolló en la Mina La Colorada actualmente a cargo de la compañía Pan American Silver. La operación actual de La Colorada es de 1,500 toneladas al día con una producción anual de 4.5 millones de onzas de Plata.

Las vetas mineralizadas en La Colorada contienen tanto minerales de sulfuro como de óxido. Los minerales de sulfuro más comunes son la galena, esfalerita, tetraedrita, argentita, y piritita, y minerales de óxido como hematita, goethita y pirolusita.

1.1 Objetivo general

El presente estudio tiene como objetivo general elaborar un modelo geológico estructural del yacimiento del Distrito Minero La Colorada.

1.1.1 Objetivos específicos

1. Identificar las estructuras geológicas del Distrito Minero La Colorada.

2. Determinar la geometría de las estructuras principales en las distintas minas del distrito.
3. Determinar la dirección de los ejes de esfuerzos regional y local por medio de análisis cinemáticos y la construcción cinemática de Mc Coss.
4. Determinar el sentido de movimiento de las fallas individuales y de la zona de cizalla para revelar la posibilidad de presencia de estructuras similares.
5. Proponer un modelo geométrico para el sistema de vetas principales con base en el análisis estructural y cinemático realizado.

1.2 Justificación

El principal motivo de desarrollar este trabajo de investigación es el contribuir en el conocimiento geológico-estructural de la mineralización en La Colorada, con esta investigación se espera generar herramientas para la realización de exploración en zonas potencialmente mineralizadas.

La importancia de esta investigación es aportar y mejorar el entendimiento de la geometría de las estructuras a escala local, regional y tectónica del Distrito de La Colorada.

Además, con el análisis cinemático de los principales sistemas de fallas, poder mejorar los modelos tectónicos existentes.

1.3 Área de estudio

La Unidad Minera La Colorada se localiza en la porción occidental del estado de Zacatecas en el municipio de Chalchihuites (*Ver figura 1*).

Se localiza en los límites de la Sierra Madre Occidental y Mesa Central.

En las coordenadas 23° 22' 55" latitud Norte, 103° 45' 25" longitud Oeste.

Chalchihuites cuenta con una extensión territorial aproximada de 891 km², limita con el municipio de Sombrerete al norte, con el municipio de Jiménez del Teúl al sur y con el estado de Durango al oeste. La palabra Chalchihuites es de origen náhuatl y quiere decir esmeralda o piedra preciosa.



Figura 1. Ubicación geográfica de la mina La Colorada.

Como vías de acceso se cuenta con el Aeropuerto Internacional de Calera, Zac., a 150 km de Sombrerete y a 20 km. de Zacatecas, Zac. Chalchihuites cuenta con dos vías de acceso; a partir de Sombrerete a lo largo de 50 km. al SW pasando por el poblado de Gualterio, la segunda opción es desde de la población de Vicente Guerrero, Durango, pasando por Chalchihuites y continuar por Gualterio.

El clima en la región es generalmente seco, la temporada de lluvias se da durante junio a septiembre, son comunes las heladas a principios de año, la temperatura promedio en la región es de 23° C.

Las principales actividades de la región son la agricultura, la minería y la ganadería; los minerales más explorados son la plata, oro, plomo, zinc y caolín (Montañez A. et al., 2007).

1.4 Antecedentes

Se tiene referencias de explotación artesanal desde los tiempos pre-coloniales desarrollada por tlaxcaltecas y luego por españoles, el mineral en el cercano distrito de Chalchihuites fue descubierto en 1556–1558 (Consejo de Recursos Minerales, 1992), posteriormente se tiene una producción minera intermitente hasta que fuera completamente detenida durante la guerra de Independencia. Posteriormente se da el reinicio de actividades en la década de 1920 (Cervantes, 1984), la Eagle Pitcher Company operó formalmente en el área de La Colorada y posteriormente también lo hicieron otras compañías como Candelaria y Canoas S.A. (subsidiaria de Fresnillo S.A.) y Compañía Minera La Campaña (subsidiaria de Industrias Peñoles). En 1949 la compañía Minas Victoria Eugenia S.A. de C.V. inicia actividades operando hasta diciembre de 1993. En 1994 las propiedades de Victoria Eugenia fueron adquiridas por Minas La Colorada S.A. de C.V. y posteriormente en marzo de 1998 Pan American Silver Corp compra La Colorada (Pan American Silver, 2007).

1.5 Trabajos previos

En este apartado se presentan una recopilación de estudios estructurales previos realizados en la zona y que nos ayudaron a crear un contexto para este análisis.

En el reporte interno de la Mina La Colorada de Sharp A., et al., (2007), indica que al Oriente tenemos fallas notables, estas forman al noreste las estructuras dominantes en el área del proyecto y nos dan el control de la mineralización. La mayoría de estas fallas son de inclinación moderada a fuerte (entre 50° a 70° al SW). La evidencia sugiere un movimiento de tipo normal en estas fallas; sin

embargo, la mayoría de las fallas fueron reactivadas en algún momento, por lo que la dirección de movimiento durante la deformación inicial es incierta. Se observa que los contactos estratigráficos son desplazados desde diez hasta más de cien metros en fallas normales.

Posteriormente en el reporte interno de la Mina La Colorada de Steinmann M. and Wafforn M., (2013), mencionan que las rocas sedimentarias marinas (calizas y lutitas) muestran un echado predominante hacia el poniente, tanto al NW como SW; también mencionan que los cuerpos intrusivos de la Sierra de Chalchihuites se encuentran como apófisis y están representando solo la manifestación de un extenso batolito que se encuentra en la región y en otras localidades.

La intrusión de los cuerpos ígneos causó plegamiento, diaclasas, fracturas y fallas. La Sierra de Chalchihuites se puede interpretar como un monoclinial producto del levantamiento causado por las intrusiones de la parte oriente de la sierra; aparte de esta estructura, tenemos otros anticlinales y sinclinales pequeños en la parte SE del área de estudio.

También en el reporte hacen una simplificación de las orientaciones promedio para las principales estructuras mineralizadas (dip/dip direction).

Sistema Candelaria: Veta HW = 60°/075°, Veta NC2 = 60°/135°, Veta NC3 = 80°/175°, Veta Santa Juana = 60°/145°, Veta 2 = 60°/132°, Veta La Libertad = 60°/160°. Sistema Amolillo: Veta Amolillo = 59°/150°. Sistema de Recompensa: Veta Recompensa = 75°/355°, Manto Erika = 85°/350°.

Estudios estructurales realizados en la misma localidad, pero para la unidad de El Toro por Ingeniería Geotécnica para Minería y Obras Civiles, se indica un marco tectónico regional en el que menciona que, dentro del municipio de Chalchihuites, las vetas tienen un rumbo predominante al NW y con echado al SW; así tenemos el siguiente sistema de fracturas del área El Conjuero con rumbo general N15° W, echado de 45° a 80° al SW y longitudes de 2 a 3 kilómetros.

Sistema de fracturas del área Dolores con rumbo N30°W a N10°E con echado de 60° a 80° al SW y longitudes hasta de 1 kilómetro.

En el área también se presentan el sistema de fracturas San Antonio y San Marcos con un rumbo general N40°–85° W y un echado de 47° a 60° al SW y longitudes hasta de 400 metros. Sistema de fracturas en el área de Dulces Nombres de rumbo general N15°E y echado de 60° al NW y SE casi perpendicular a las anteriores; sistema de fracturas del área El Oro de rumbo general N30°W a N15°E echados de 60° a 70° tanto al SW como al NW y longitudes de 300 metros. Existe otra falla denominada Veta–Falla Chalchihuites que alcanza hasta 18 kilómetros de longitud y se encuentra en la parte oeste, suroeste y sur de la sierra, interpretada como una falla normal con echado al SW, y una serie de fallas escalonadas en donde la sierra vendría a ser un "horst" y el valle un "graben".

1.6 Metodología

- 1) Se realizó el levantamiento de geología estructural de las estructuras principales a partir de la observación directa, con la toma de datos en la extensión de las estructuras, a lo largo de los rebajes de la mina a profundidad. Para tal fin se utilizó una brújula Brunton en la toma de rumbos y echados de las principales estructuras y vetillos de cada grupo.
- 2) Con la información levantada en el campo, se analizó el comportamiento estructural y se definieron los principales sistemas de vetas, así como la presencia de otras estructuras geológicas en la roca encajonante.
- 3) Se utilizó el software Global Mapper para el análisis del Modelo Digital de Elevaciones (DEM) del área de estudio y alrededores buscando estructuras similares a las identificadas en el Distrito La Colorada.

- 4) Posteriormente mediante la aplicación de estereogramas de inclinación y rosetas de orientación, se identificaron sistemas de fallamiento y fracturamiento definidos para cada estructura levantada dentro de los rebajes en cada una de las minas.

Los puntos obtenidos para inclinación son representados en la proyección estereográfica de Schmidt. En la roseta azimutal se muestran las orientaciones de las vetas.

- 5) También se tomaron datos de pitch de estrías siguiendo la regla de la mano derecha (0–180) en los planos de falla de vetas con la ayuda de brújula y rumbera, para lo cual se construyeron diagramas de esfuerzos con el método de los diedros rectos, con el apoyo del software Fault Kin.
- 6) Se realizó una comprobación de la dirección del movimiento inicial del sistema de fallas por medio de la construcción geométrica de Mc Coss.
- 7) Se elaboró el modelo geológico estructural de acuerdo a los resultados obtenidos para las estructuras estudiadas.

1.6.1 La construcción geométrica de Mc Coss

Este método permite la determinación rápida de las orientaciones de los ejes principales del elipsoide infinitesimal de deformación, tomando en cuenta la importancia de la oblicuidad en la convergencia y divergencia de las zonas tectónicas (transpresión y transtensión).

I) El espectro tectónico

En 1986, Mc Coss definió el "Espectro Tectónico" a partir de una entidad sólida que es afectada por un esfuerzo definido. La entidad sólida al ser afectada por el esfuerzo sufre desplazamiento, sin embargo, es detenida por un bloque estático, que ejerce una fuerza similar en sentido contrario, generándose una zona de compresión entre la entidad sólida y el bloque estático.

Las áreas sobre esfuerzo compresivo van variando conforme el ángulo de incidencia se hace oblicuo con respecto a la zona de choque, teniendo así dos componentes de esfuerzo, de cizalla pura y cizalla simple, generándose así las zonas de transpresión, involucrando desde el punto de vista tectónico subsidencia de bloques con componentes menores de deslizamiento a rumbo.

Conforme las caras de incidencia de la entidad sólida van haciéndose paralelas a la dirección del esfuerzo de compresión se crean zonas de cizalla simple, esto genera campos de espectro tectónico en "wrench" (deslizamiento de bloques a rumbo de tipo siniestro y diestro, dependiendo de la dirección del movimiento de éstos). La extensión pura implica la generación de zonas de apertura sin componentes de cizalla, teniendo el eje principal mínimo de esfuerzos actuando horizontalmente.

II) Los indicadores cinemáticos

Existen estructuras que son acompañadas por arreglos en pluma (estructuras pinadas *(ver figura 2a)*), las cuales interceptan a la falla principal y son normales al vector de deslizamiento. De la misma manera tienden a formar un ángulo agudo, el cual se cierra en la dirección de desplazamiento del bloque que las contiene.

Comúnmente, las estructuras en pluma están restringidas a un solo lado de la falla. Su distribución se relaciona a los cuadrantes de tensión que dividen a uno o varios puntos de ruptura de la estructura principal *(ver figura 2a)*. Si hay repetición de desplazamientos en la falla pueden generarse varios juegos de estructuras pinadas que propician zonas repletas de espacios que preparan el terreno para la intrusión de fluidos mineralizantes. De la misma manera, la alternancia de zonas de tensión en puntos de ruptura en una falla puede propiciar estructuras pinadas a ambos lados de esta.

III) Determinación de la orientación de los vectores de desplazamiento sobre un plano.

Las orientaciones de los ejes máximo y/o mínimo principales del elipsoide infinitesimal de deformación pueden ser inferidos a partir de las estructuras primarias de dilatación, por ejemplo: aperturas por tensión, estilolitas, pliegues y fallas, entonces las orientaciones de los vectores de la zona de desplazamiento pueden determinarse de la siguiente manera, *(Ver figura 2b)*:

- 1) Trazar una recta a rumbo general a la estructura principal, trazar un indicador cinemático en contacto con esta recta. Trazar un círculo, de radio arbitrario, tangente a la recta de la estructura principal
- 2) Proyectar una línea perpendicular al indicador cinemático dentro del círculo, la cual será el vector de extensión.
- 3) Trazar una línea perpendicular al vector de extensión, tangente al punto de contacto entre el indicador cinemático y la estructura principal, esta nueva línea proyectada hasta el límite de la elipse de deformación será el vector de compresión.

- 4) Para generar la recta del espectro tectónico, trazar una línea uniendo los extremos de los vectores de ejes principales máximo y mínimo en contacto con la elipse infinitesimal de deformación. Esta línea será igual al vector de desplazamiento. El sentido del vector será definido a partir de la intersección con el eje mínimo hacia el eje máximo
- 5) Por último, trazamos una perpendicular a nuestra recta principal dentro del círculo, esta nos dará el ángulo del espectro tectónico en su intersección con el espectro tectónico.

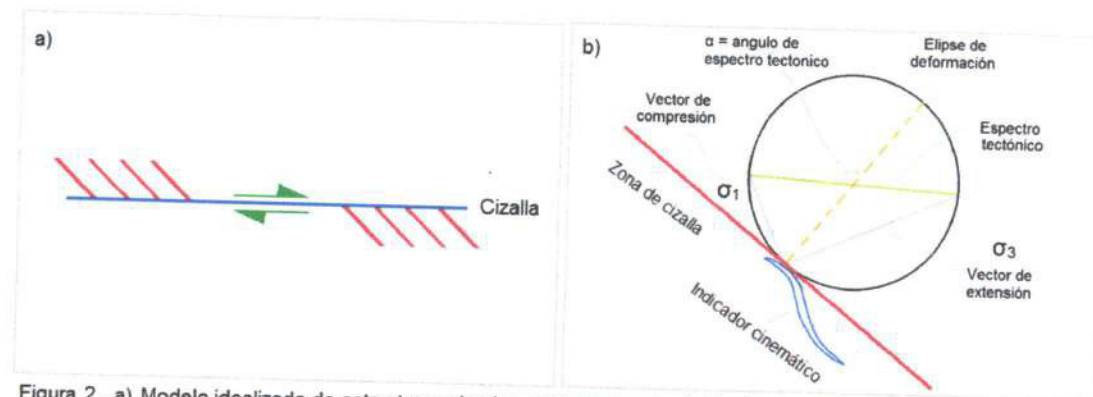


Figura 2 . a) Modelo idealizado de estructuras pinadas, en una zona de cizalla. b) Cálculo de dirección de esfuerzos para una zona de cizalla según Mc Coss A.M., 1986.

- IV) Solución gráfica para las magnitudes relativas de los ejes principales.

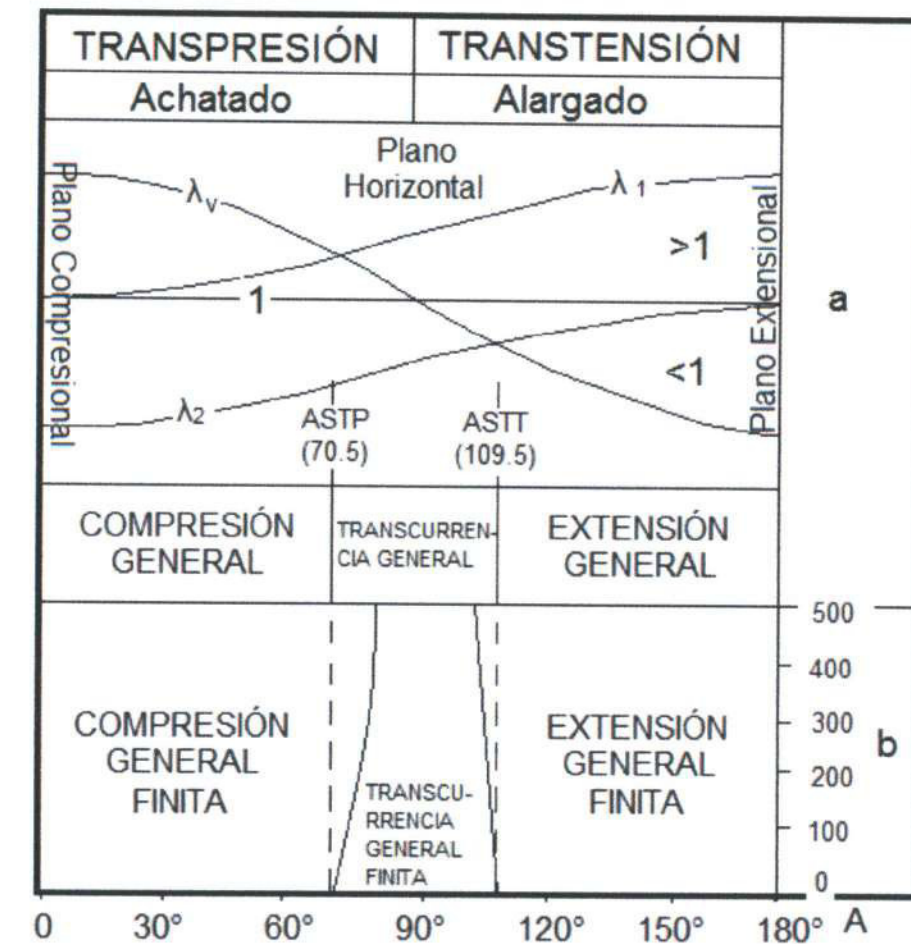


Figura 3. Solución gráfica para determinar las características de (a) el elipsoide infinitesimal de deformación y (b, a) del elipsoide finito. Las orientaciones donde se producen transpresión axialmente simétrica y transtensión se muestran mediante ASTP y ASTT, respectivamente, λ es la mayor elongación vertical. $\lambda_1 > \lambda_2$ son los principales esfuerzos horizontales, e_{max} , es la máxima extensión finita. Tomado de Mc Coss A.M., 1986

Capítulo 2. MARCO TECTÓNICO

La Colorada tiene un control estructural relacionado al sistema de fracturamiento cortical de San Luis– Tepehuanes (SFST) y que se desarrolla siguiendo el borde oriental de la Sierra Madre Occidental (Pan American Silver, 2007).

El SFST marca el límite entre dos regiones dentro de la provincia fisiográfica de la Mesa Central (MC) y, a su vez, forma el límite suroeste de la MC con la Sierra Madre Occidental (Ver figura 5). En él se han reportado diferentes fases de actividad durante el Cenozoico (Nieto Samaniego et al., 2005).

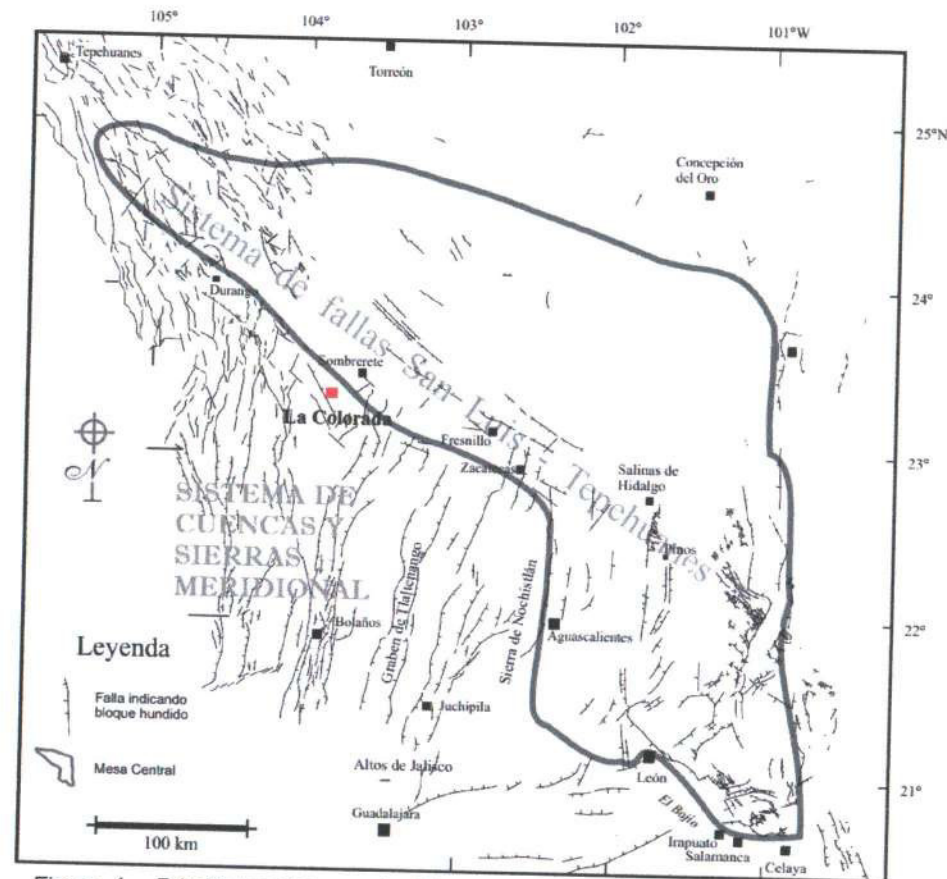


Figura 4. Principales sistemas de falla en los alrededores de la Mesa Central (modificado de Nieto Samaniego et al., 2005). El sistema San Luis-tepehuanes va de San Luis de La Paz en Guanajuato hasta Tepehuanes en Durango y divide a la Mesa Central. El sistema de Cuencas y Sierras meridional está formado por fallas de rumbos que van de NNW a NNE (Loza Aguirre., 2013). El punto rojo indica la ubicación del Distrito de La Colorada.

Aparte del Sistema de Fallas San Luis-Tepehuanes (SFSLT), dentro de la zona de estudio coexiste el sistema regional de "Cuencas y Sierras Mexicano" (CyS) (Loza Aguirre., 2013) (ver figura 6). El sistema de Cuencas y Sierras Mexicano se caracteriza por la presencia de fosas, semifosas y pilares tectónicos desarrollados principalmente durante el Oligoceno (Tristán Gonzáles et al., 2012) en toda la mitad oriental de la Sierra Madre Occidental (Ferrari et al., 2005), en el cual se distinguen fallas de rumbo NNW a NNE (Henry C.D. y Aranda J.J., 2000). Estas fallas generaron una topografía de fosas y pilares alargados como los que se observan al oeste y suroeste de la Mesa Central (Loza Aguirre., 2013). Se puede considerar que, en conjunto ambos sistemas de falla (CyS y SFSLT), actuaron durante el Oligoceno como una zona de falla normal buzante hacia el SW que desplazó entre 500 y 1000 m a las rocas pre-cenozoicas (Loza Aguirre., 2013).

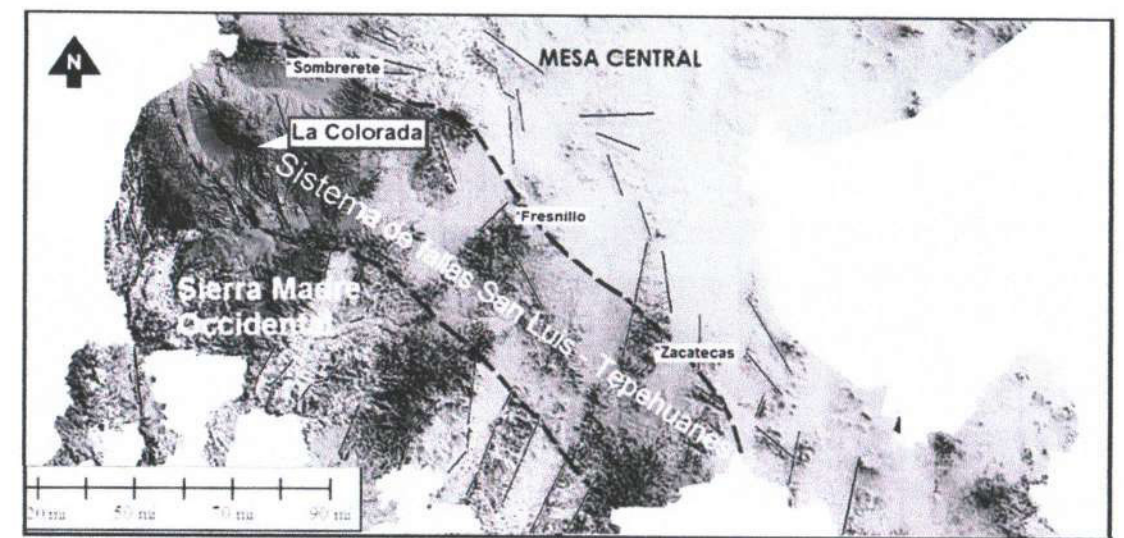


Figura 9. Sistema de fracturamiento cortical San Luis - Tepehuanes marcando los límites entre la Sierra Madre Occidental y la Mesa Central.

Para la localidad de Sombrerete la actividad de las fallas más antigua se ubica en el Eoceno medio-tardío (Ver figura 6), ya que corta rocas del Eoceno

temprano-medio y aloja vetas con edad de mineralización entre el Eoceno tardío y Oligoceno temprano (Albinson F.T., 1988). Las vetas son cortadas por fallas más recientes, las cuales también cortan riolitas de edad posiblemente del Oligoceno entre 30 Ma. y 25 Ma., por su correlación con las rocas riolíticas de Fresnillo (Nieto Samaniego A. F. et al., 2005).

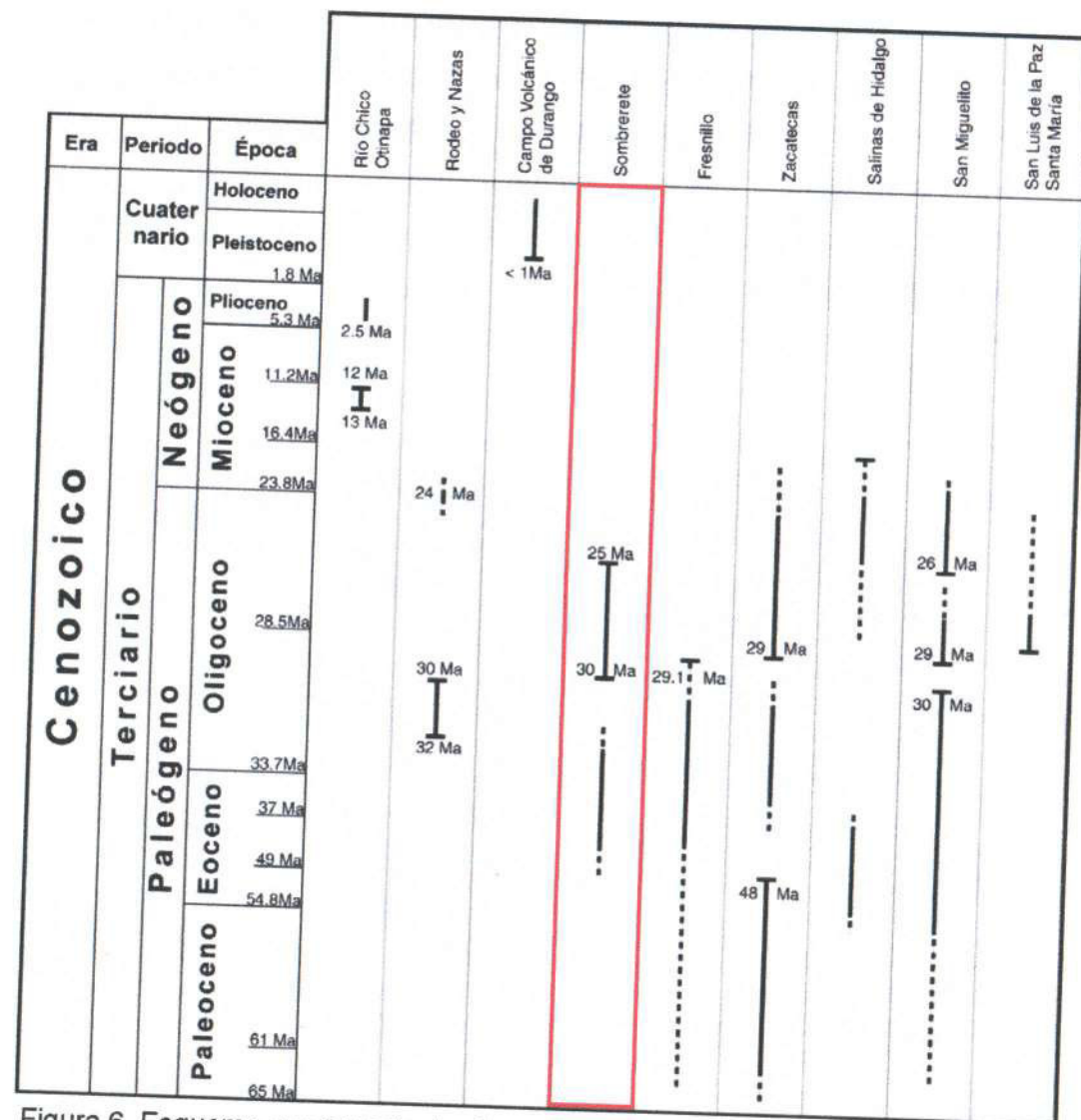


Figura 6. Esquema que muestra las fases de actividad que ha presentado el SFST en cada localidad reportada. Tomado de Barajas-Gea, (2008).

Las rocas presentes en La Colorada fueron sometidas al menos a dos eventos tectónicos importantes (*ver figura 7*); Plegamiento Laramide, y fallamiento post-Laramide, se distinguen tendencias en fallamientos de Este a Oeste y eventos de inclinación regionales.

La Colorada muestra distintos periodos de la deformación. La orogenia Laramide afecta tanto las formaciones sedimentarias como el volcánico inferior, desarrollando plegamiento isoclinal de rumbo NW-SE.

En un periodo de extensión después de la deposición de la unidad volcánica inferior dio lugar a la formación de fallas de alto ángulo. Algunos componentes de deslizamiento probablemente fueron contemporáneos de fallas normales, debido a la presencia de milonita en los planos de falla (Chutas N. y Sack R. O., 2004).

Durante el Cenozoico, en el Oligoceno, hay un evento post-Laramide de tipo distensivo que reactiva algunas fallas antiguas, que causo zonas de cizallamiento frágil en el sistema transtensivo (Sharp A., et al., 2007), y que sirvieron para la inyección de cuerpos. Este evento favoreció la formación de domos riolíticos en la zona que presentan una orientación NW-SE.

En este evento suceden plegamientos de pequeña amplitud siguiendo una dirección NNW y NNE y que localmente llegan a volcarse con planos axiales inclinados ligeramente hacia el este y hacia al oeste (Pan American Silver, 2007). El fracturamiento y brechamiento observado en las vetas parece indicar una intermitencia de movimiento con pulsos de mineralización. (Pan American Silver, 2007). La reactivación de este sistema ha generado vetas tensionales con buzamiento al E-W.

PERIODO	EPOCA	EDAD	EVENTO
Neógeno	Mioceno	(23 ma)	Oxidación de las vetas
	Oligoceno	(25 ma)	Supergrupo volcánico superior (riolita)
		(34 ma)	[REDACTED]
Paleógeno		(50 a 40 ma)	Relleno de fisuras. Alteraciones alrededor de las vetas Aberturas de dilatación.
		(45 ma)	Complejo de derrames volcánicos (andesita, riolita y diorita)
		(54 ma)	Flujos masivos de dacita
	Paleoceno	(56 ma)	Formación Ahuichila
Cretácico		(70 ma)	[REDACTED]
	Superior	(95-80 ma)	Formación Indidura
	Inferior	(104-95 ma)	Formación cuesta del cura

Figura 7. Cronología de los eventos geológicos para La Colorada. Modificado de Sharp et al., (2007).

En el distrito de La Colorada tenemos un sistema de fallamiento general que dio origen a las vetas principales de rumbo E-W y NE, fallas que fueron originadas por los esfuerzos de compresión y distensión posteriores al empuje que ejerció el intrusivo regional ya que estas estructuras mineralizadas no necesariamente siguen los contactos litológicos, puesto que atraviesan ambas rocas.

De manera regional tenemos dos sistemas de fallas predominantes con rumbos NNW y otro con rumbo NNE; los buzamientos son preferenciales al SW y NW respectivamente, adicionalmente tenemos fallamiento y fracturamiento menor en diferentes direcciones y de manera radial debido al empuje de los intrusivos aflorantes.

La mineralización se dio posterior a la secuencia volcánica inferior, y es anterior a la secuencia volcánica superior. Albinson F.T., (1988) y Moller et al., (2001) identificaron varios estilos diferentes de mineralización en La Colorada entre ellos las chimeneas, las vetas, las brechas pipe, y cuerpo de reemplazo de estilo manto, todas relacionadas al fallamiento. Los diferentes tipos de mineralización parecían estar vinculadas y ser casi contemporáneos (Moller et al., 2001).

Las estructuras principales dentro de La Colorada son Amolillo y No Conocida, ambas, pertenecen a un mismo sistema de fracturamiento con orientaciones ENE y con buzamiento SE, en contraste la veta Recompensa ubicada al NW del distrito tiene un rumbo E-W y su buzamiento es al norte (Ver figura 8 y 10). Estas estructuras serán descritas detalladamente en el capítulo de resultados.

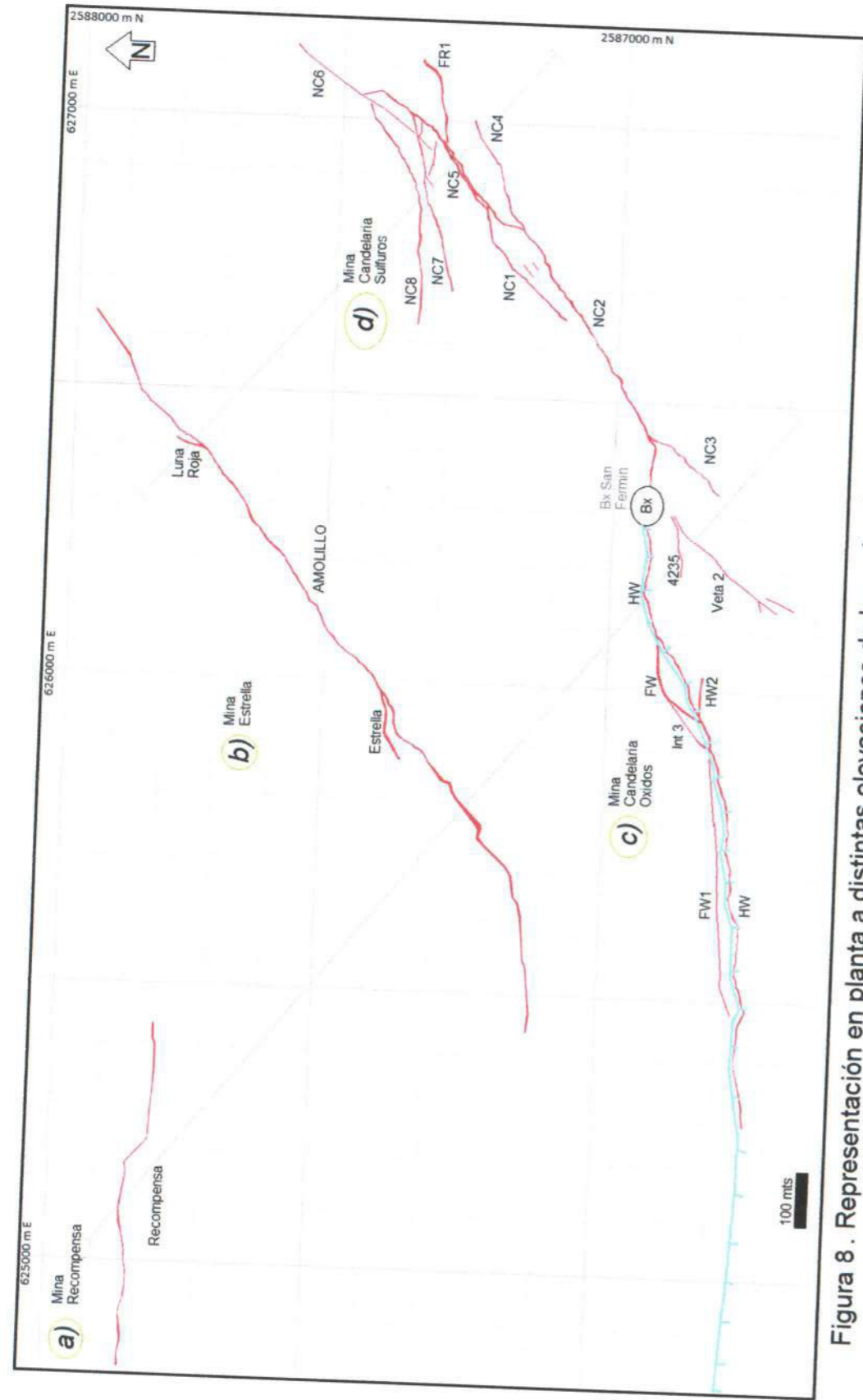


Figura 8 . Representación en planta a distintas elevaciones de las estructuras mineralizadas.

a) Veta Recompensa Nv. 165. b) Veta Amolillo Nv. 365. c) Veta HW Nv. 513. d) Veta NC2 Nv.498.

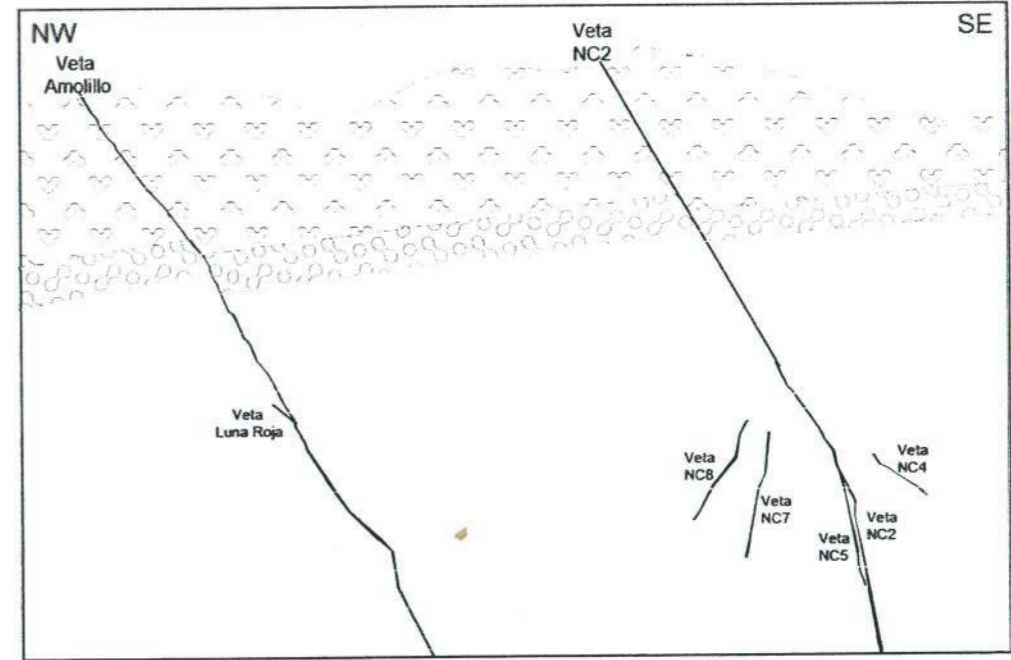


Figura 9. Seccion longitudinal del área NE del distrito

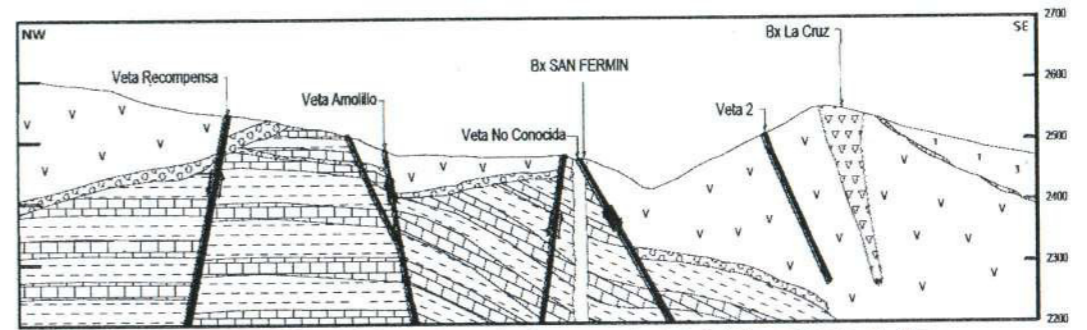


Figura 10. Seccion longitudinal de la parte central y noroeste del distrito mirando al NE. Tomado de Pan American Silver (2007).

CAPÍTULO 3. GEOLOGIA DEL AREA DE ESTUDIO

El marco geológico esta dado por rocas sedimentarias calcáreas muy características de la Mesa Central, estas rocas deformadas del Mesozoico son cubiertas por derrames volcánicos del Cenozoico, las cuales dominan en la Sierra Madre Occidental (McDowell F.W. and Clabaugh, S.E., 1979).

Estas rocas sedimentarias son pertenecientes al Terreno Parral (Garduño M.V.H y Zaldívar R.J, 1984).

En escala regional, La Colorada consta de tres paquetes de roca, de los cuales dos son de origen volcánico y se encuentran en disconformidad con las rocas sedimentarias. Las rocas sedimentarias del Cretácico incluyen la Fm. Cuesta del Cura e Indidura, que son mayoritariamente calizas, con intercalaciones de limolita calcárea y arenisca (Chutas N. y Sack R. O., 2004), ambas formaciones afloran en el noroeste del distrito únicamente, encajonando casi en su totalidad a la Veta Recompensa y parte de Veta Amolillo en su parte posterior.

Se tiene un pequeño afloramiento del conglomerado La Colorada al centro del distrito, cubriendo a las formaciones Cuesta del Cura e Indidura.

Las rocas sedimentarias aparecen cubiertas por rocas volcánicas en el centro o noreste del distrito, la cubierta esta compuestas de dacita de textura porfídica, flujos de andesita, tobas y flujos de brechas.

El paquete superior de rocas volcánicas consiste en lapilli y tobas dacíticas con clastos angulares de traquita alterada (Chutas N. y Sack R. O., 2004). Este flujo aparece ampliamente al sur del distrito únicamente.

Durante el Oligoceno se emplazó un cuerpo intrusivo de composición granodiorítica, de color gris claro a blanco, el cual está íntimamente relacionado a la mineralización, a la vez, en la porción sur de La Colorada se tiene un pórfido de composición riolítica,

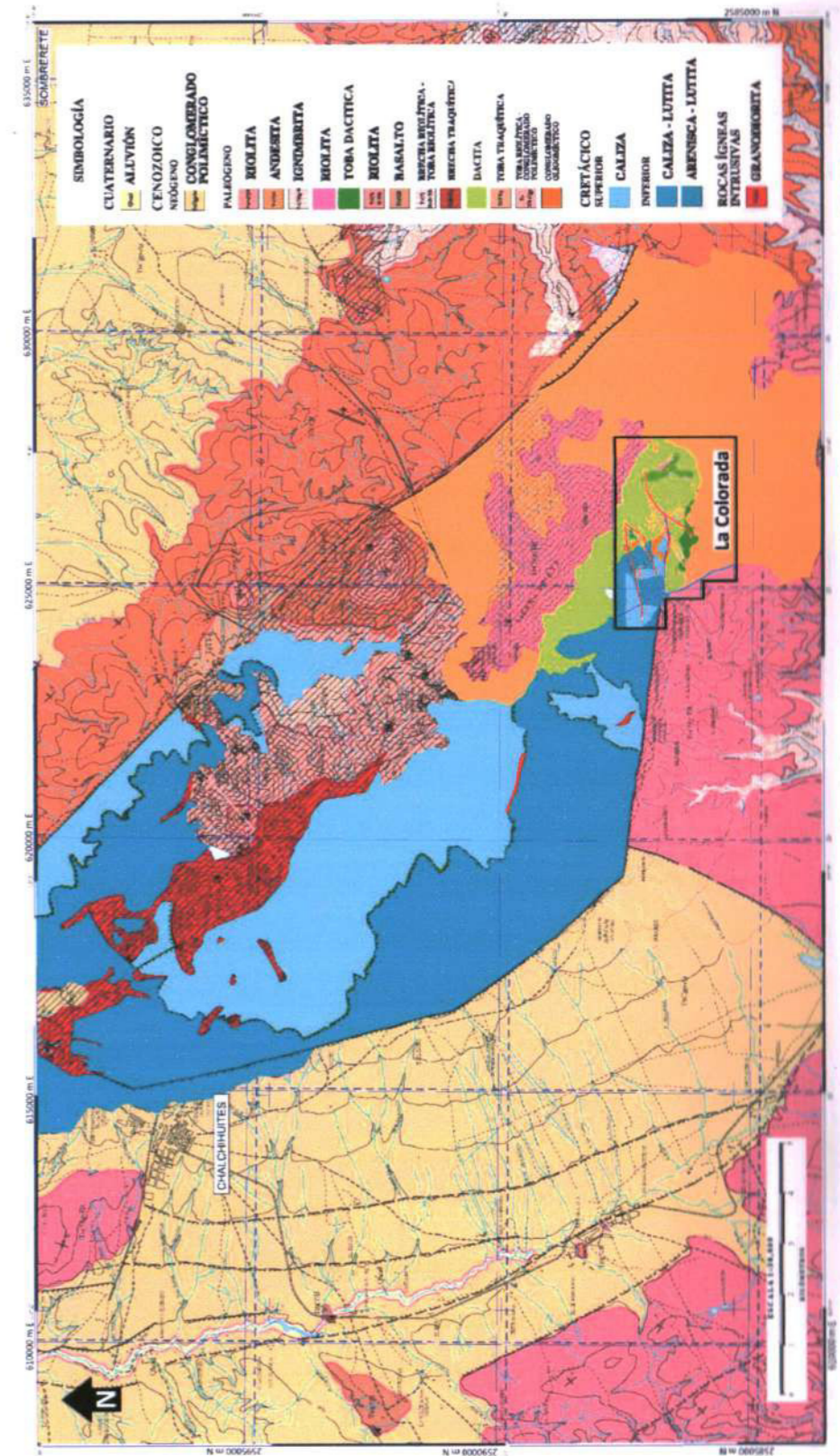


Figura 11. Mapa geológico regional mostrando los alrededores del Distrito de La Colorada, Modificado de SGM, (1999).

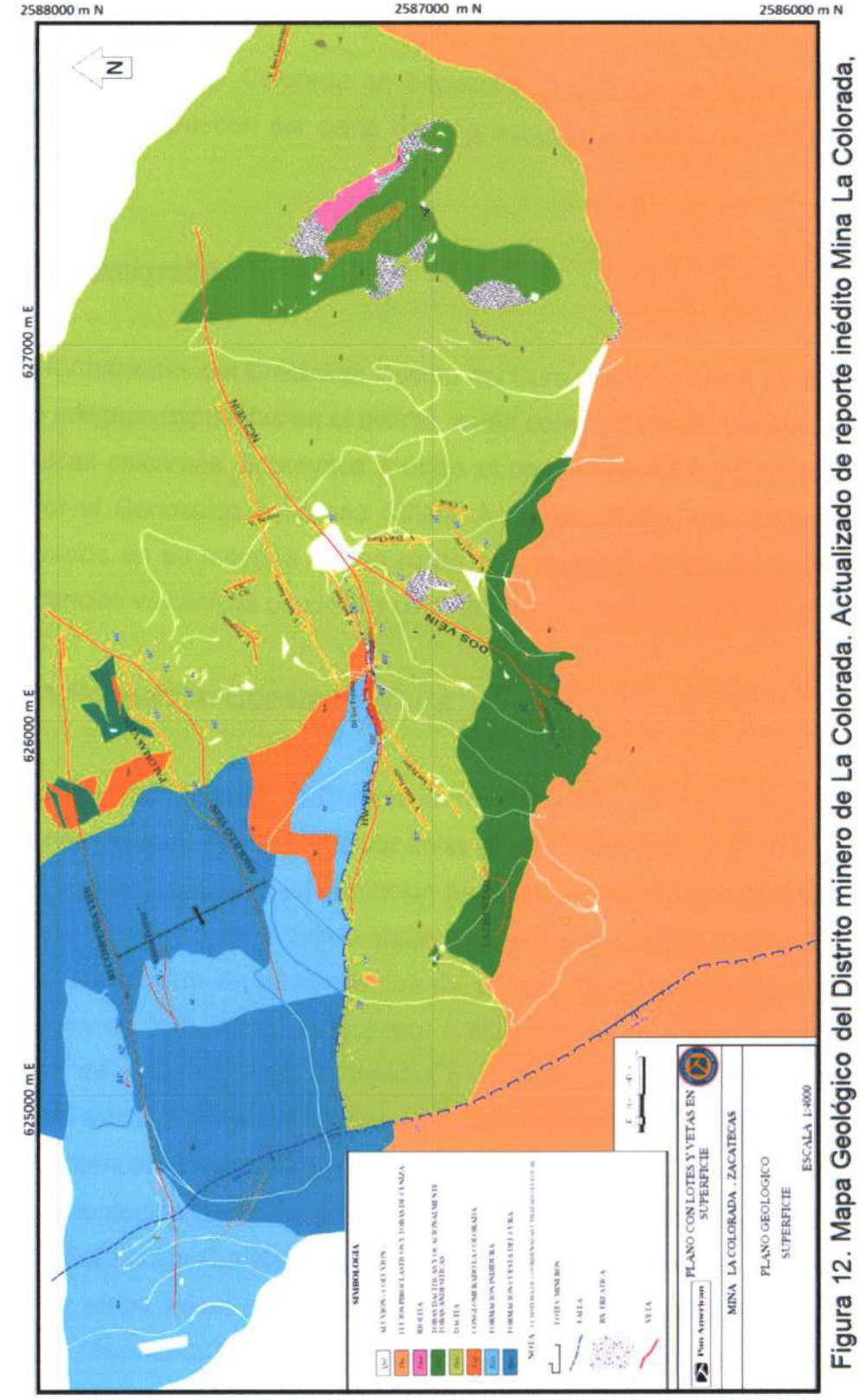


Figura 12. Mapa Geológico del Distrito minero de La Colorada. Actualizado de reporte inédito Mina La Colorada, Zacatecas, Mexico. Plata panamerica S.A. de C.V. (2013).

Regionalmente La Colorada se encuentra dentro de un contexto de domos riolíticos que pueden ser parte de una estructura mayor (Montañez A. et al., 2007).

3.1 Estratigrafía

Las formaciones del Cretácico; Cuesta del Cura y la Formación Indidura son las más antiguas expuestas en el distrito, están compuestas por carbonatos y rocas clásticas calcáreas. Sobreyace a éstas el conglomerado La Colorada de edad mayor al Cenozoico temprano (Sharp A., et al., 2007), que contiene clastos derivados en su mayoría de las rocas sedimentarias adyacentes y luego dos secuencias volcánicas conocidas como Inferior (dacitas) y Superior (riolitas).

3.1.1 Formación Cuesta del Cura

Es la formación Cuesta del Cura es la más antigua en el distrito minero (Albiano – Cenomaniano). Fue definida por Imlay (1936), en el sector del mismo nombre en el sur de Coahuila. Esta formación tiene una amplia distribución en el norte y noreste de México, en la Sierra Madre Oriental y en la Mesa Central. En el área de estudio consta de afloramientos de calizas de color gris oscuro en capas delgadas de 0.10–0.30m de espesor e interestratificadas con lutitas y algunos niveles de pedernal negro en bandas o nódulos. La característica más notable son los estratos plegados. La potencia total estimada en el distrito es de 400m (Pan American Silver, 2007).

Por su contenido faunístico y microfaunístico, así como su litología se interpreta que la Formación Cuesta del Cura se depositó en un ambiente marino pelágico en una etapa inicial regresiva del mar, presumiblemente de la denominada Cuenca Mesozoica del Centro de México (Barbosa Gudiño J. et al., 2004),

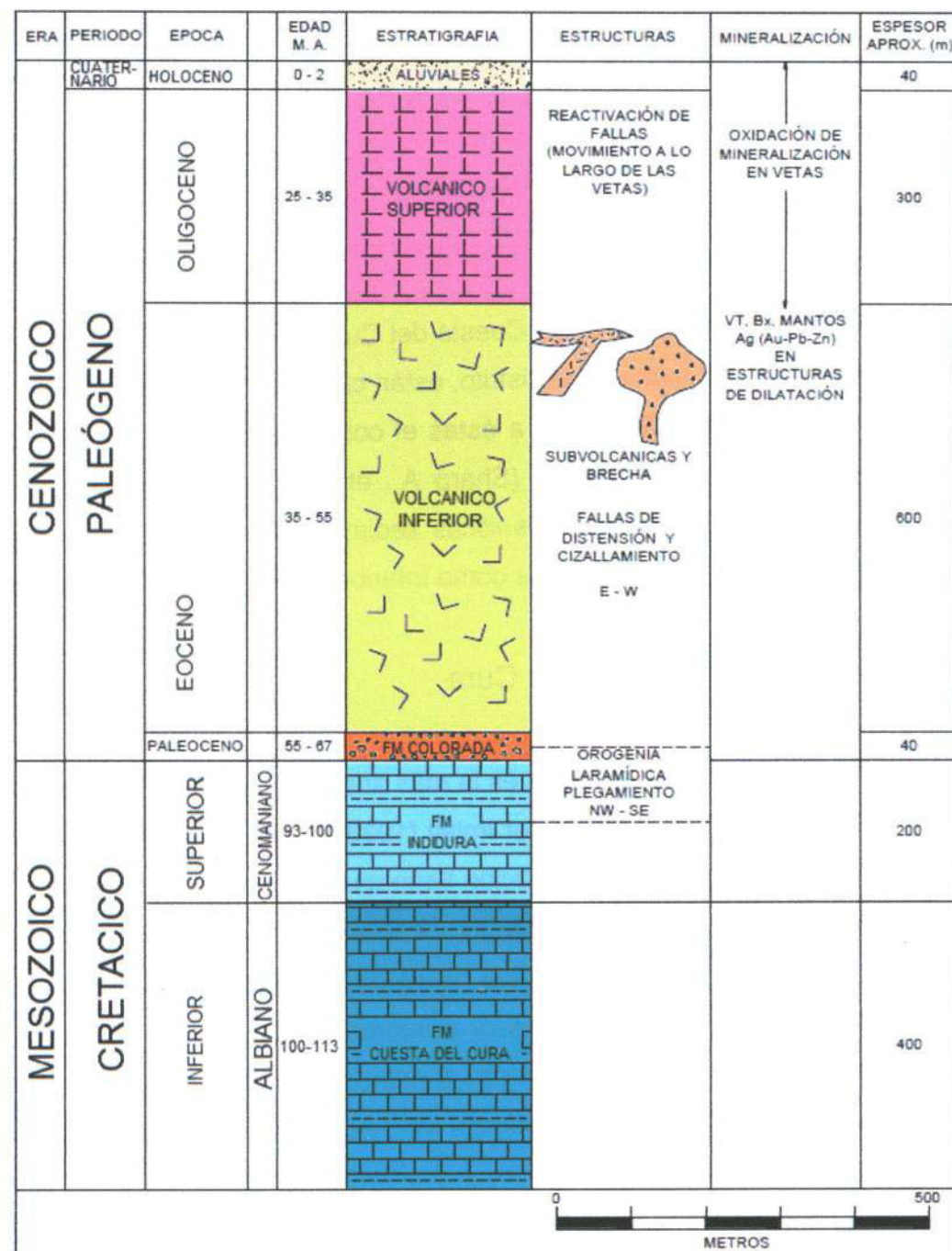


Figura 13. Columna estratigráfica de La Colorada. Modificado de reporte interno Mina La Colorada, Zacatecas, México. Plata Panamericana, (2007).

3.1.2 Formación Indidura

La Formación Indidura fue originalmente descrita por Kelly W.A. (1936) en la región de Delicias, Coahuila. Está ubicada temporalmente entre el Turoniano al Coniaciano. Es correlacionable con la formación Soyatal de la Plataforma Valles-San Luis Potosí, y con la formación Agua Nueva de la Cuenca Tampico-Misantla. Sobreyace a la Formación Cuesta del Cura de manera concordante y transicional, pero en el campo los contactos entre ambas no están bien definidos. En La Colorada consiste de una secuencia intercalada de areniscas, calizas arcillosas, pizarras y lutitas carbonosas. Son de edad Cretácico superior y se estima tiene un espesor promedio de 200m (Pan American Silver, 2007).

En su parte inferior se interpreta un medio batial a sublitoral (característico tipo Flysch) de cuenca en donde se depositaron calizas en alternancia rítmica con materiales terrígenos con facies que varían desde profundas a litorales, prevaleciendo condiciones reductoras, indicado por la presencia de nódulos de hierro posiblemente a partir de piritita (Barbosa Gudiño J. et al., 2004), y es relacionado probablemente con ambiente deltaico (Isla de Coahuila).

3.1.3 Conglomerado La Colorada

Es correlacionable a la Formación Ahuichila, pero a diferencia de este, el conglomerado La Colorada es oligomíctico.

Es un conglomerado compuesto de fragmentos de caliza que varían de color café claro a gris por sus distintos grados de oxidación, además de lutita y cuarzo, los fragmentos pertenecientes a las Formaciones Cuesta del Cura e Indidura, son angulosos a subangulosos, en una matriz arcillo-arenosa y un cementante calcáreo bien compactado de color gris a gris oscuro, los clastos van desde centímetros hasta 3 metros de diámetro. Tiene un espesor promedio de 40 m

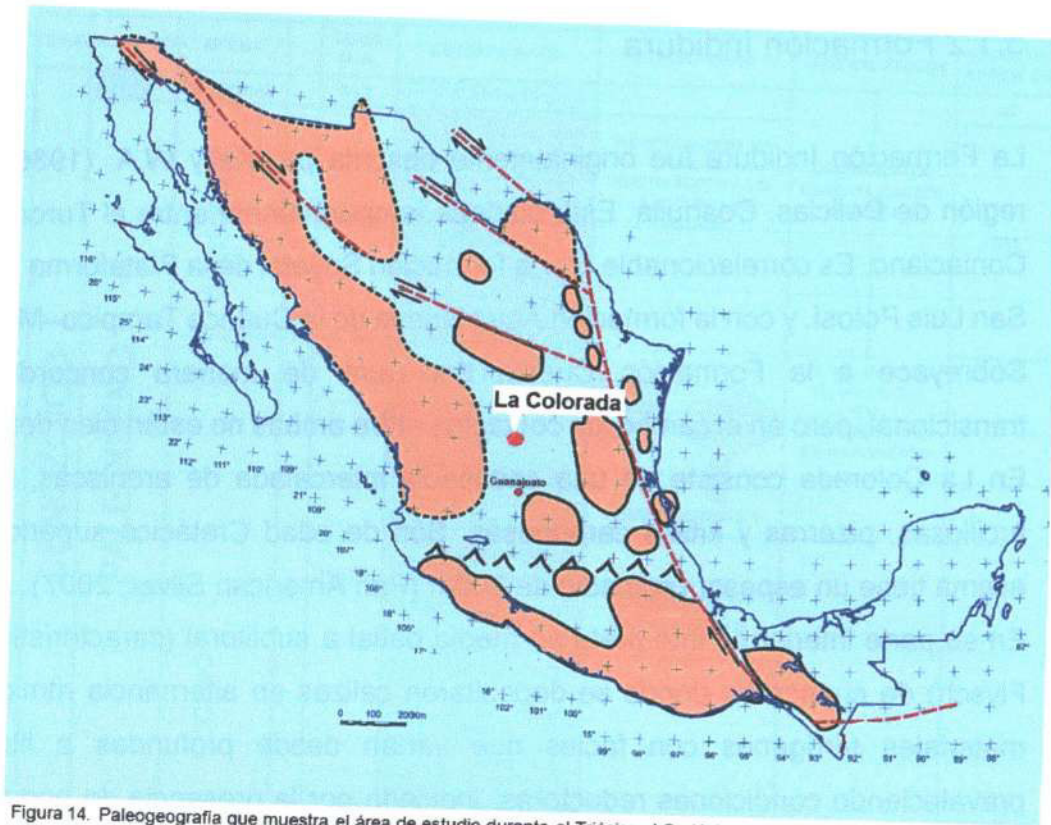


Figura 14. Paleogeografía que muestra el área de estudio durante el Triásico al Cretácico Temprano. Modificado de Padilla y Sánchez (1986).

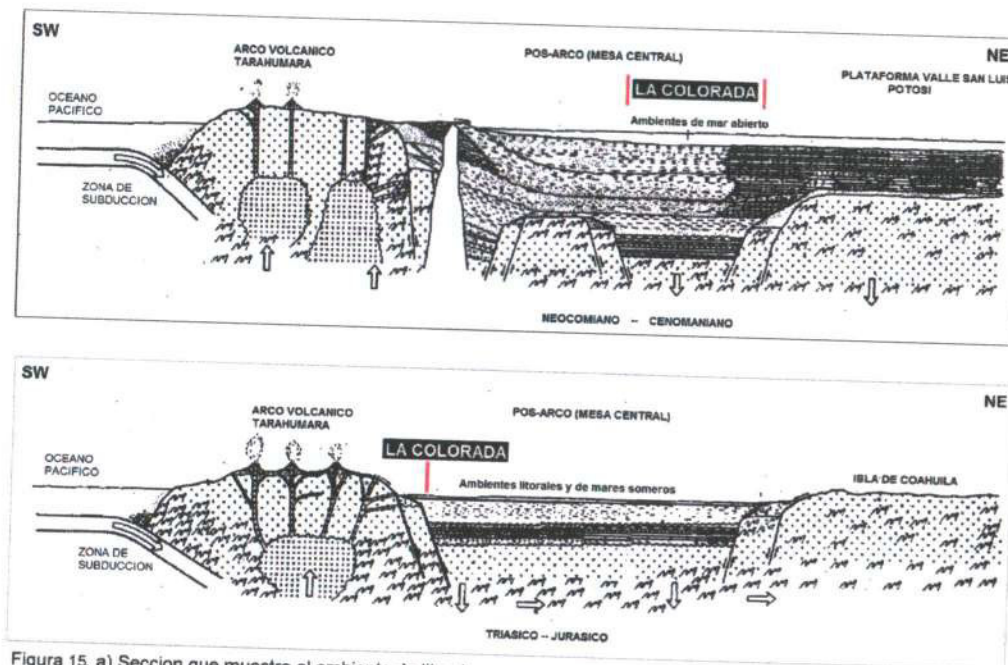


Figura 15. a) Sección que muestra el ambiente de litorales y mares someros en el Triásico - Jurásico y posteriormente el de mar abierto en el Neocomiano - Cenomaniano. Ambientes de formación de las rocas encajonantes (F. Cuesta del Cura e Indidura). Modificado de Araujo - Mendieta, (1983).

y se le ubica por correlación en el Cenozoico temprano. Aflora a 1.5 km al NW del Distrito La Colorada (Pan American Silver, 2007).

Este conglomerado se depositó en las mesetas como resultado de la deformación y plegamiento de la Orogenia Laramide (Santiago Carrasco B., et al., 2000).

Se observan pequeñas vetillas de calcita, prueba de un fracturamiento y posterior relleno por fluidos hidrotermales.

3.1.4 Volcánico inferior

Es una secuencia de dacita-traquitas, es de color gris verdoso claro a gris rosado, de textura porfídica, con matriz de fenocristales subhedrales de plagioclasa, ferromagnesianos y cuarzo (Santiago Carrasco B., et al., 2000), en unas zonas se observa alteración argílica y en niveles menores a los 200 metros se observan zonas oxidadas, tiene un espesor aproximado de 600m (Pan American Silver, 2007). Esta unidad sirve de huésped para gran parte de vetas y brechas mineralizadas. Se le asigna una edad Eoceno, de origen hipoabisal (Santiago Carrasco B., et al., 2000). Se encuentra cubierta por una delgada capa de piroclastos y volcanoclastos.

3.1.5 Volcánico Superior

Son secuencias de rocas piroclásticas y tobas riolíticas de color café rojizo y gris rosado, constituidas por fragmentos de roca, cuarzo, feldespatos y ferromagnesianos inmersos en una matriz de vidrio volcánico, emplazados en disconformidad con la volcánica inferior. Tiene una edad Oligocena, su emplazamiento fue posterior a la mineralización, alcanza los 300m de espesor (Pan American Silver, 2007).

3.1.6 Aluviales

Constituidos por material aluvial y suelos producto de la erosión de todas las formaciones descritas y expuestas en superficie, depositados a lo largo de los valles con altitudes de 2,100 m.s.n.m, y en partes bajas de la sierra, presentando color rojizo por la oxidación, Su edad es relativamente reciente, perteneciendo al Cuaternario desde principios del Pleistoceno hasta el Holoceno de 0-2 Ma. Con un espesor aproximado de 40 m como máximo (Pan American Silver, 2007).

Capítulo 4. RESULTADOS

4.1 Análisis de imagen DEM

Se utilizó el software Global Mapper para el análisis de la imagen DEM del área de estudio y alrededores buscando estructuras que nos ayuden a generar el modelo estructural para el Distrito La Colorada. En el análisis se observan tres sistemas dominantes, lineamientos mayores se extienden en dirección ENE, NW y NE.

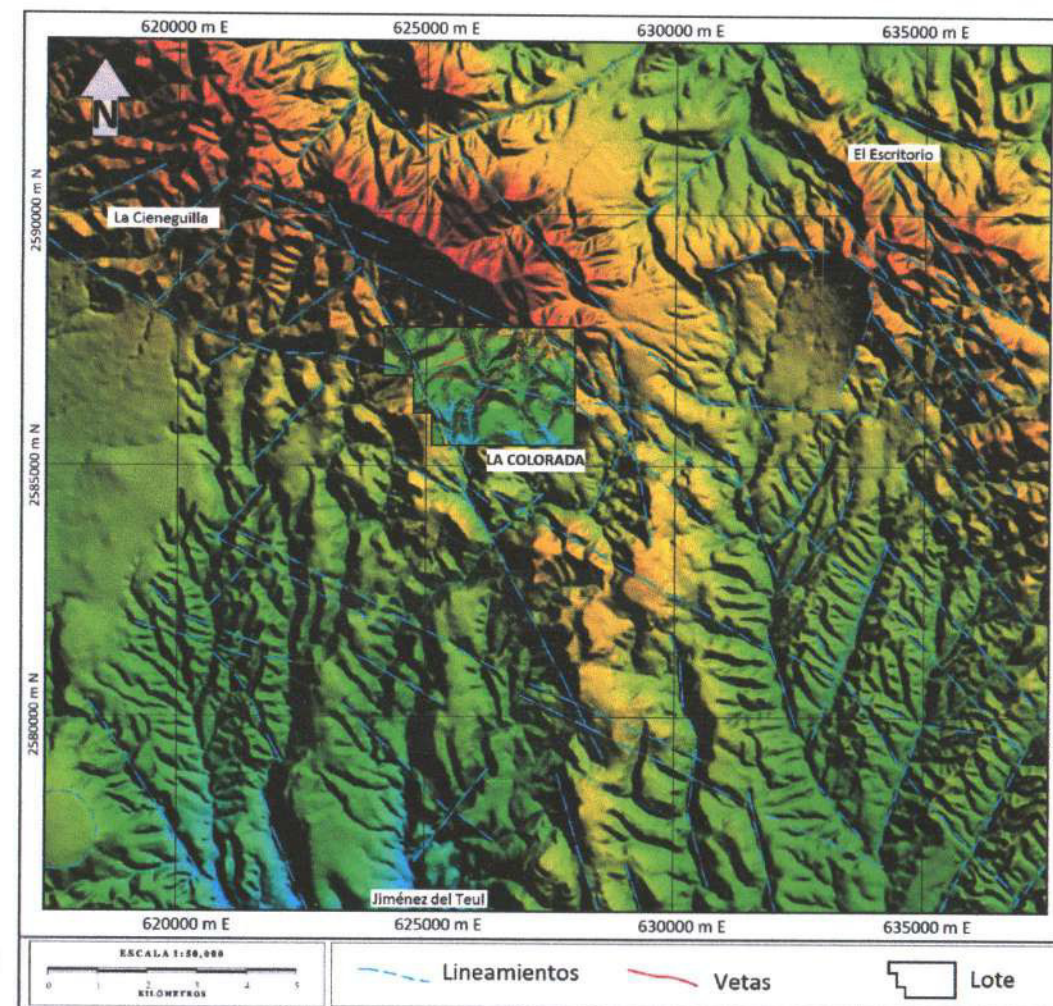


Figura 16. Identificación de lineamientos en el Modelo Digital de Elevaciones a nivel regional.

4.2 Análisis cinemático de las estructuras

Para realizar el análisis acerca del significado estructural del fallamiento, se trató por distinto cada veta principal y estas se dividieron en dos zonas, oriente y poniente.

4.2.1 Sistema Candelaria zona óxidos

Veta HW

Esta estructura se extiende hacia el poniente a partir de la Brecha San Fermín la cual divide a la estructura No Conocida. La cinemática de HW es compartida con la Falla Chalchihuites que atraviesa el distrito en sentido E-W.

La veta HW varía de composición según su profundidad; en profundidades próximas a la superficie abundan los minerales de óxido y se encuentra lixiviada, conforme se avanza en profundidad aparecen los minerales de sulfuro.

La estructura HW consta de cuatro estructuras divergentes adicionales. Dos son vetas brechadas con alteración argílica HW2 y FW1. HW2 es una veta de mineral de óxidos que aparece bandeada, y en algunas zonas caolinizada, se observan minerales como cuarzo lechoso, rodocrosita, oquedades de calcita, también se observan hilos de sulfuro.

Las otras dos estructuras del alto de HW se nombran FW e Intermedia 3, estos se ubican en una zona amplia de cizalla en la que se encuentran más ramaleos, también son vetas brechadas de cuarzo con minerales de óxido. (Steinmann M. – Wafforn M., 2013). Las vetas tienen un ancho promedio de 1 m y ensanchan hasta 4 m en las intersecciones con la veta principal HW. Estas contienen clavos de mineralización.

La veta No Conocida (NC2 y HW) es la estructura más explotada con una longitud probada de 3km y una profundidad de 600m.

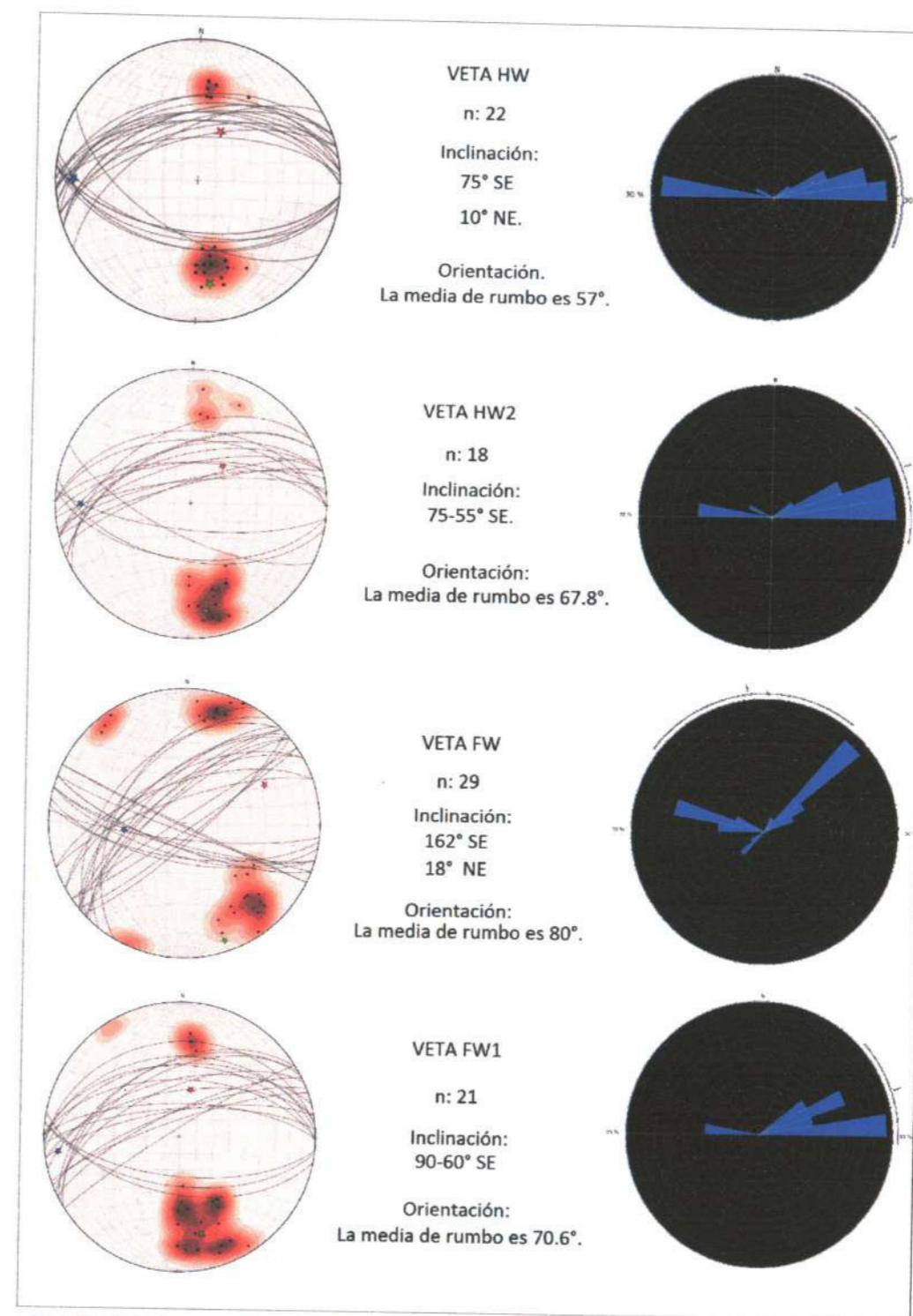


Figura 17. Estereogramas de inclinación y rosetas de orientación para las vetas de la Mina Candelaria zona de Óxidos. Ver tabla A-2 del anexo para conocer los datos. Ver figura 18 para conocer la ubicación de la obtención de datos para cada proyección.

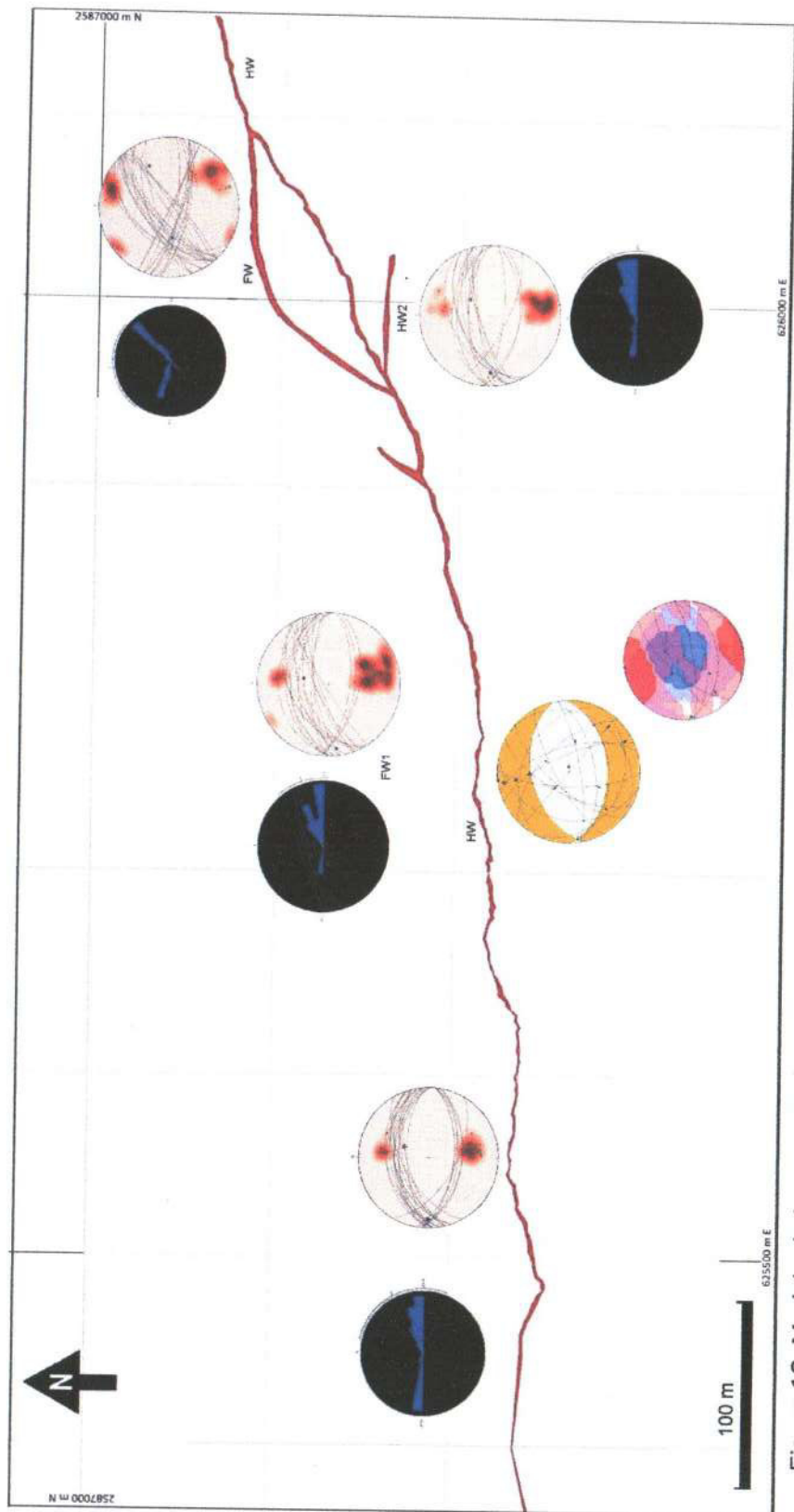


Figura 18. Modelo de la zona de Oxidos de la Mina Canderaria, en este se muestra la localización de las estructuras principales y su análisis estereográfico. Ver figuras 17 y 19 para conocer los resultados cinemáticos de cada proyección. Ver figura 8 para conocer la ubicación de la veta.

Para el diagrama de esfuerzos. Se analizaron 5 datos de estrías siguiendo la regla de la mano derecha (0-180), en el plano de falla principal de la estructura HW para lo cual se construyó un diagrama de esfuerzos con el método de los diedros rectos, con el apoyo del software Fault Kin. El esfuerzo tiene una componente sigma 3 al NNW.

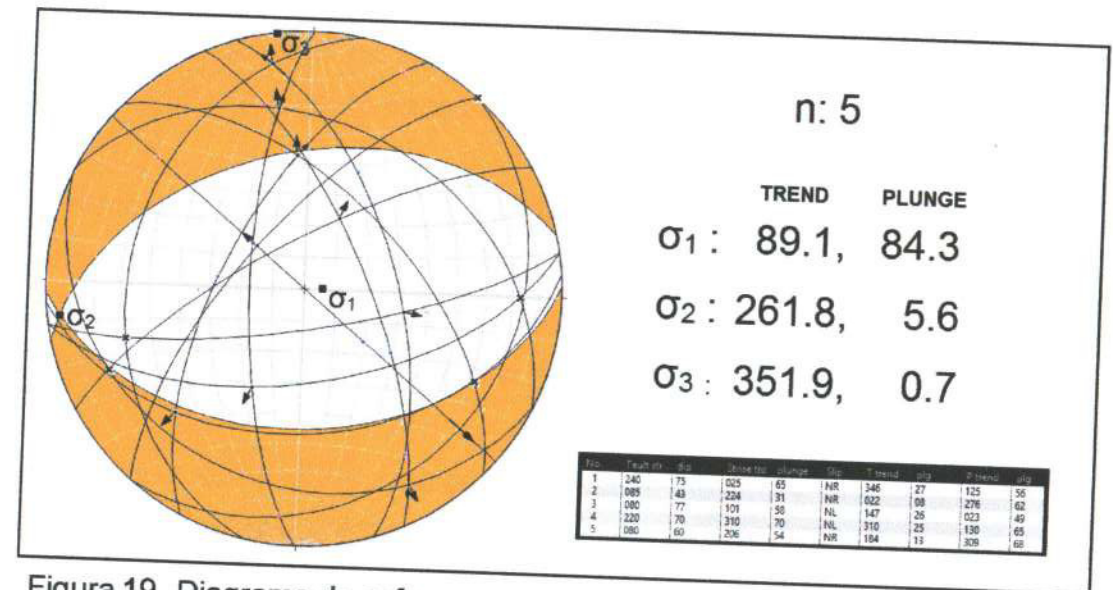


Figura 19. Diagrama de esfuerzos para HW. Ver figura 18 para conocer la ubicación de la obtención de los datos para realizar la proyección. Ver tabla A-7 del anexo para conocer los datos.

4.2.2 Sistema Candelaria zona sulfuros

Veta NC2

NC2 es una ancha veta de sulfuros de hasta 4m. Tiene una longitud de más de 900 m hasta donde es cortada por la Brecha San Fermín. Contiene la mayor parte de mineral sulfuro de la mina que aparecen a partir de los 300m. de profundidad desde superficie.

La veta NC2 se divide en varias vetas estrechas, las vetas NC1, NC3, NC4, NC5, NC6 constituyen un mismo sistema de vetas en la porción noreste del distrito, con rumbo NE-SW y su inclinación oscila entre de 45° a 87° SE, y un ancho entre los 0,2 a 3 m.

A poca profundidad la veta NC5 se observa caolinizada con distintos grados de oxidación con coloraciones rojiza, amarilla y verdosa con sílice lechoso como ganga. En niveles más profundos NC5 tenemos fenocristales de esfalerita y galena en una veta de sílice, con una textura masiva microcristalina que varía a zonas con bandeamiento de sulfuros.

Al bajo de la estructura NC2, en la esquina noreste de la mina Candelaria tenemos dos importantes estructuras NC7 y NC8 las cuales tienen un echado al 63 y 85 SW respectivamente y rumbo WNW. Su composición es de mineral sulfuro.

Veta 2

Es una estructura al sur de NC2, tiene una anchura media de 1.3 m y una longitud de 300 m. Esta estructura contiene óxido estimado y reservas minerales de sulfuro. Actualmente no se encuentra en explotación, pero se conoce su continuidad en profundidad. Es parte del mismo sistema de NC2, con rumbo 38° NE y un buzamiento promedio de 55° SE.

Esta veta es de textura sacaroide, compuesta de cuarzo con sulfuros y presenta alteración argílica.

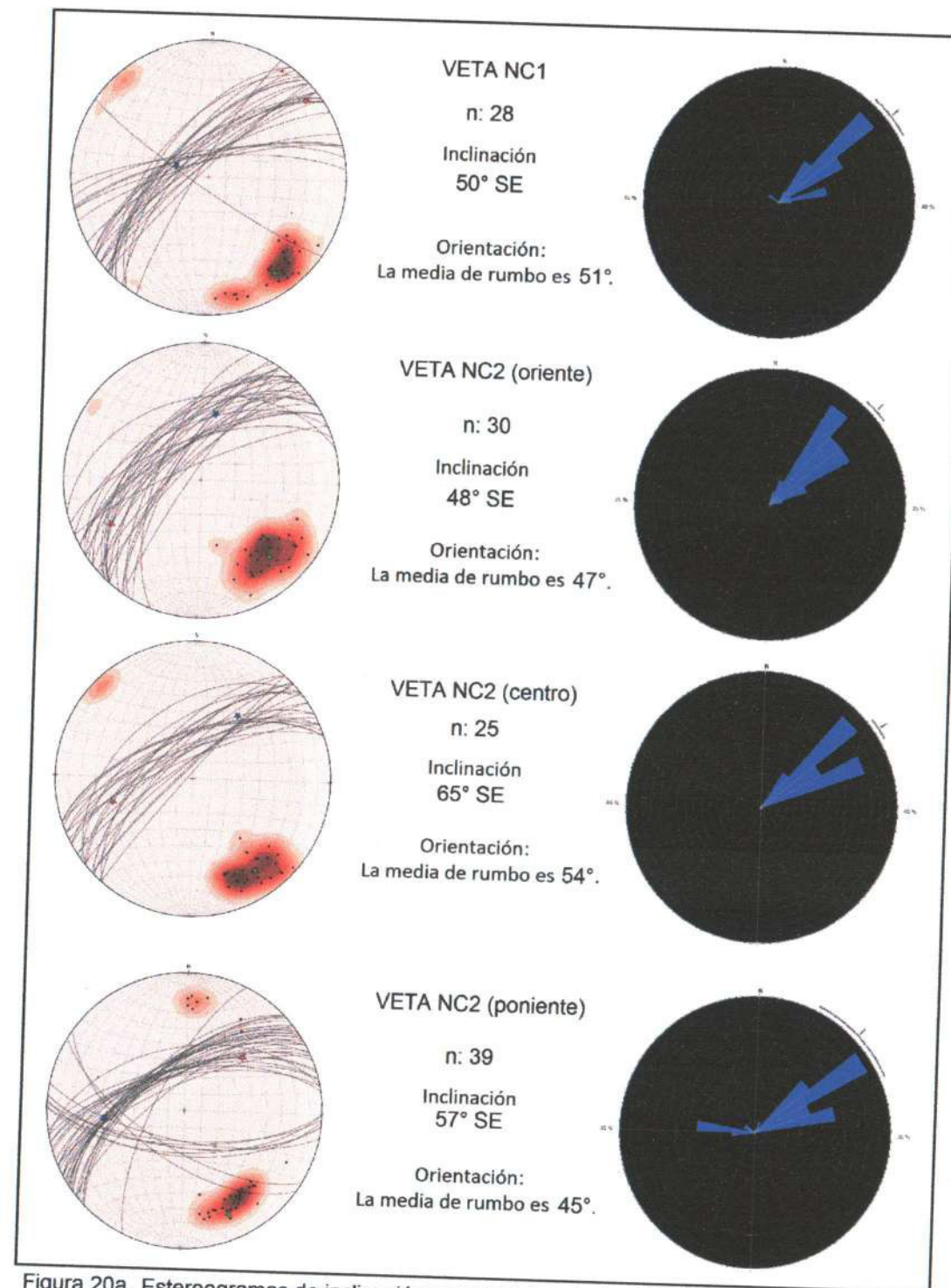


Figura 20a. Estereogramas de inclinación y rosetas de orientación para las vetas de la Mina Candelaria zona de Sulfuros. Ver tabla A-1 del anexo para conocer los datos. Ver figura 21 para conocer la ubicación de la obtención de datos para cada proyección.

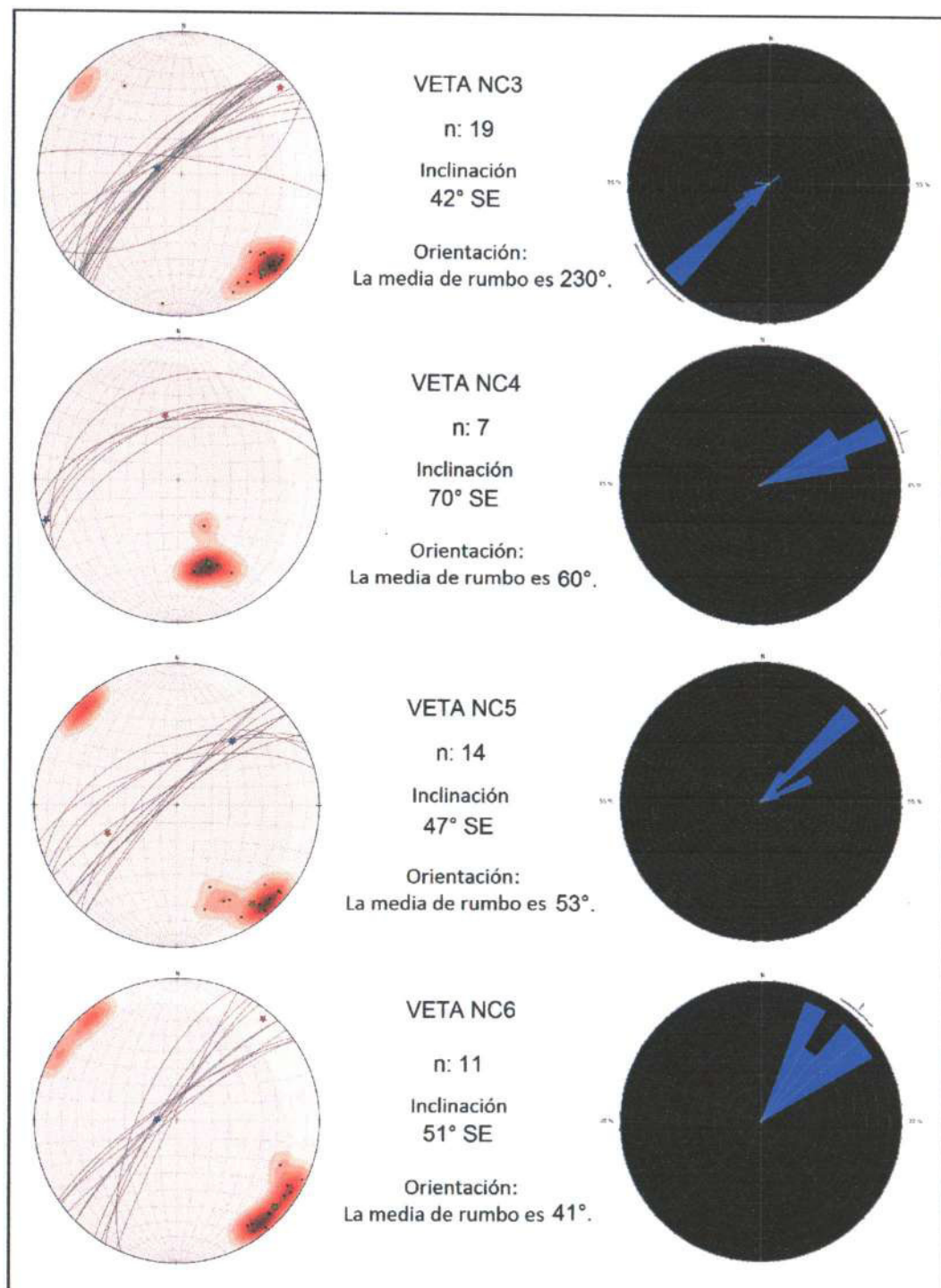


Figura 20b. Estereogramas de inclinación y rosetas de orientación para las vetas de la Mina Candelaria zona de Sulfúros. Ver tabla A-1 del anexo para conocer los datos. Ver figura 21 para conocer la ubicación de la obtención de datos para cada proyección.

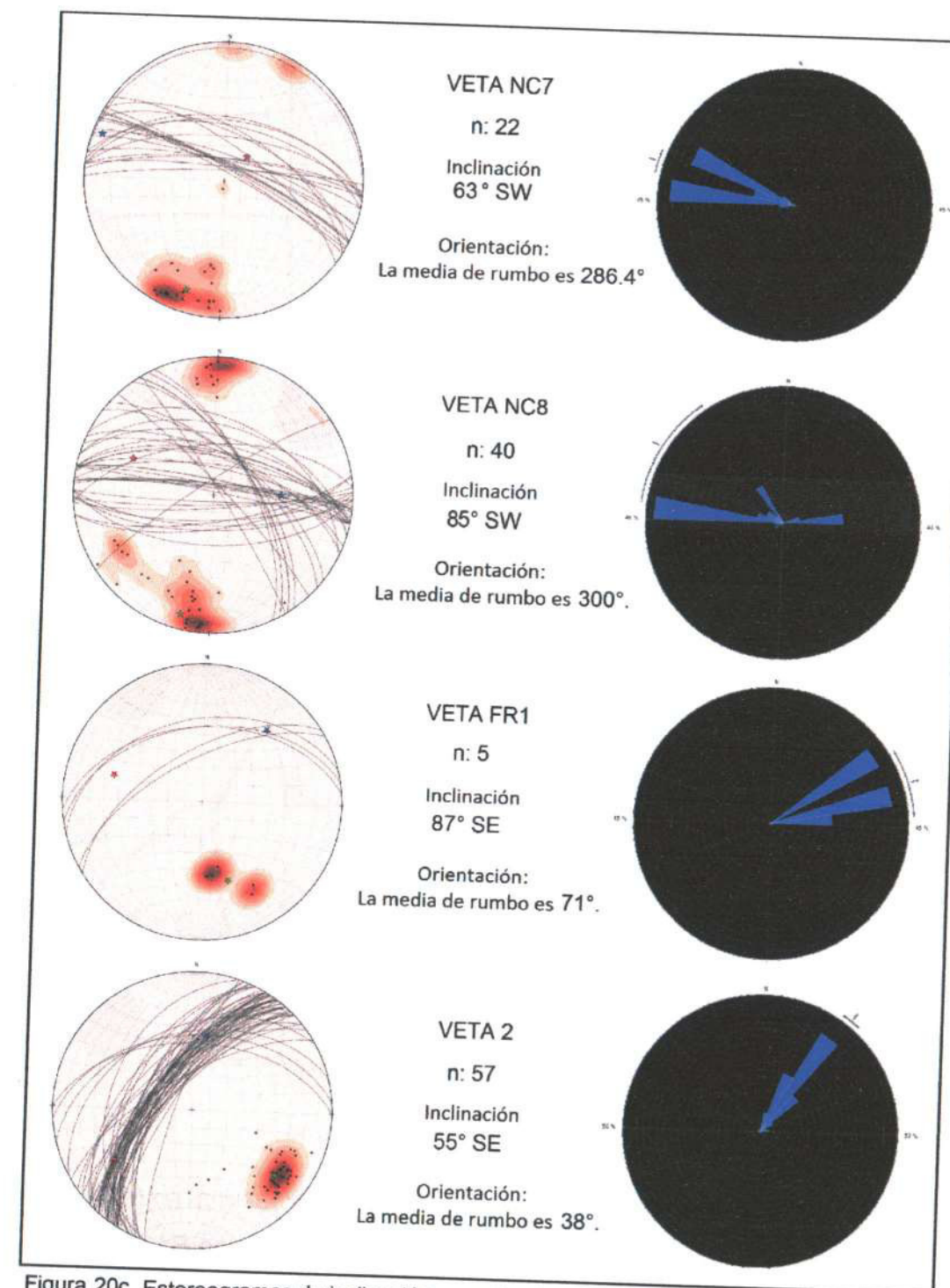


Figura 20c. Estereogramas de inclinación y rosetas de orientación para las vetas de la Mina Candelaria zona de Sulfúros. Ver tabla A-1 del anexo para conocer los datos. Ver figura 21 para conocer la ubicación de la obtención de datos para cada proyección.

El cálculo de dirección de esfuerzos para el área de sulfuros en Mina Candelaria, (Ver figura 22), muestra un vector de tensión con dirección S10°E, mientras que el vector de compresión presenta una dirección N80°W, así mismo el vector de

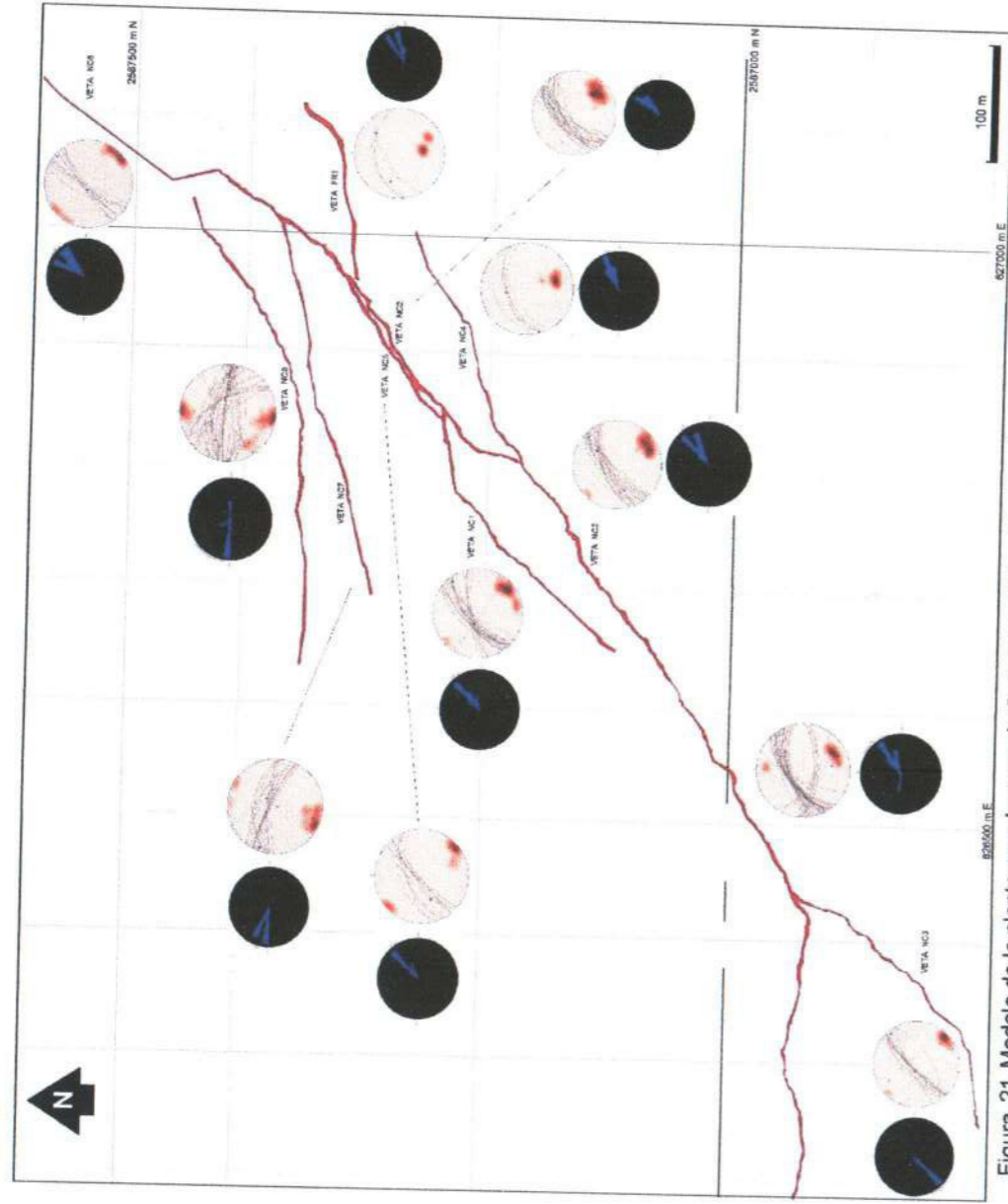


Figura 21. Modelo de la planta para la zona de Sulfuros en Mina Candelaria, indicando las zonas de obtención de datos estructurales con sus respectivos estereogramas de inclinación y rosetas azimutales de orientación. El detalle y número de datos de las proyecciones estereográficas se encuentran en las figuras 20a, 20b, 20c. Ver figura 8 para conocer la ubicación de la veta.

extensión resultante es de N30°W. El ángulo de espectro tectónico obtenido es de 90°.

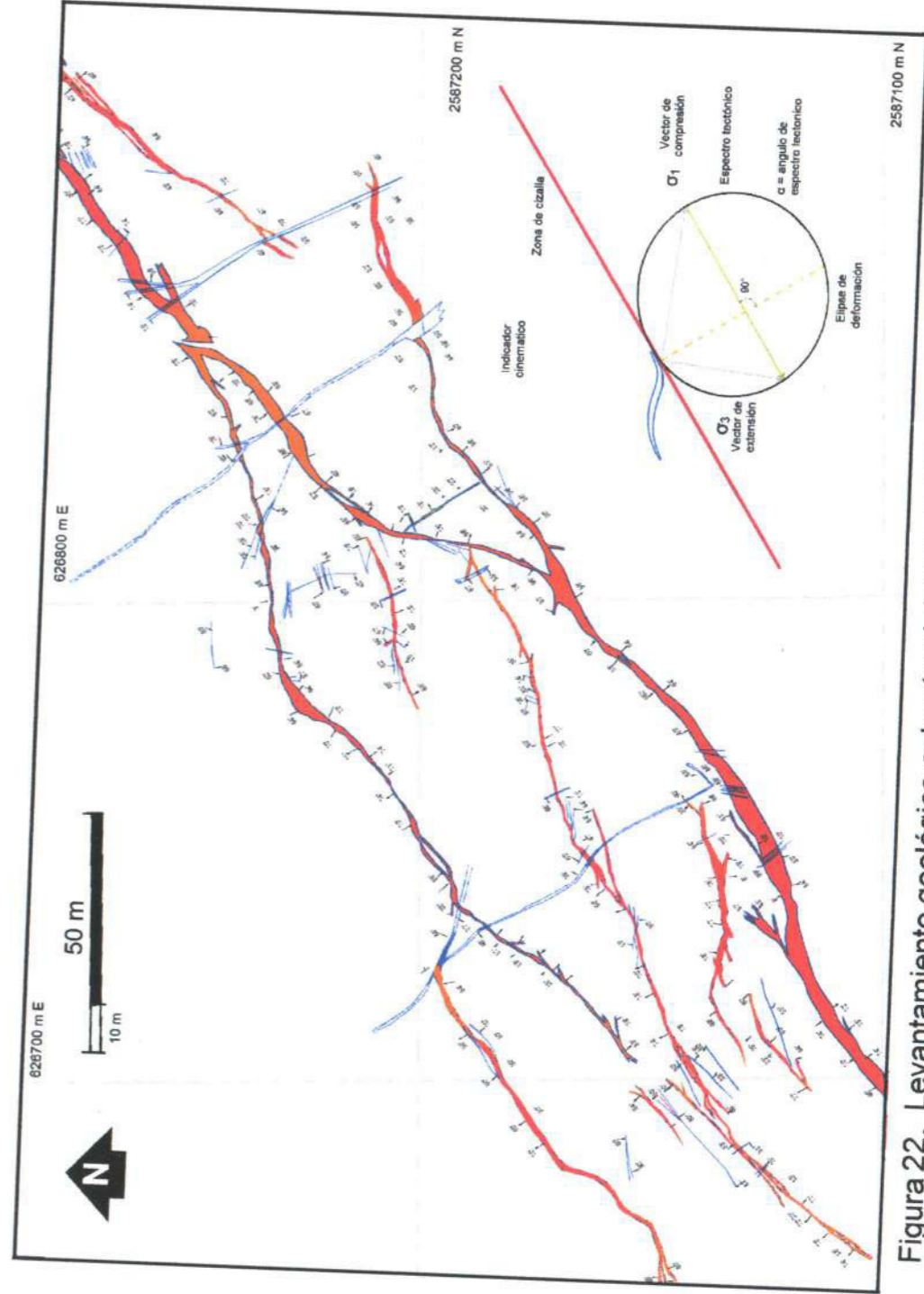


Figura 22. Levantamiento geológico estructural del Nivel 468 de la zona de sulfuros Mina Candelaria (cortesía de Pan American Silver, en la esquina inferior derecha se muestra el cálculo de dirección de esfuerzos para la zona de cizalla según Mc Coss A.M., (1986).

4.2.3 Sistema Amolillo

Veta Amolillo

Amolillo es una extensa veta de óxido de cuarzo masivo con transición a mineral de sulfuro a partir de los 365 m de profundidad. Se encuentra a 500 m al noroeste del complejo NC2-HW y al sureste de la veta Recompensa. Tiene un ancho promedio de 1.2 m con una extensión conocida de 1,400 m. La veta se encuentra en su parte superior encajonada en dacita y a profundidad en caliza y lutita. La roca encajonante contiene importantes cantidades de plata hasta los 2 metros de ancho a los lados de las vetas. Tiene un rumbo de 53° NE y un buzamiento de 47° SE.

Su comportamiento se ha desarrollado casi idéntico a No Conocida (Ver figura 8), se espera que en profundidad se asemeje aún más.

La veta Amolillo se divide en 2 importantes ramales, nombrados Veta Estrella de minerales de óxido y Luna Roja veta de cuarzo y mineral sulfuro. Se tiene un dique de composición dacítica con fragmentos de caliza, este es presumiblemente más joven a la veta ya que no se encuentra mineralizado. La veta envuelve al dique en los contactos con la caliza.

Se analizaron los grupos de datos de estrías para las distintas estaciones siguiendo la regla de la mano derecha (0-180), en el plano de falla principal de la estructura Amolillo, para lo cual se construyeron siete diagramas de esfuerzos con el método de los diedros rectos, (ver Figura 24) con el apoyo del software Fault Kin. El esfuerzo predominante tiene una componente sigma 3 al SE.

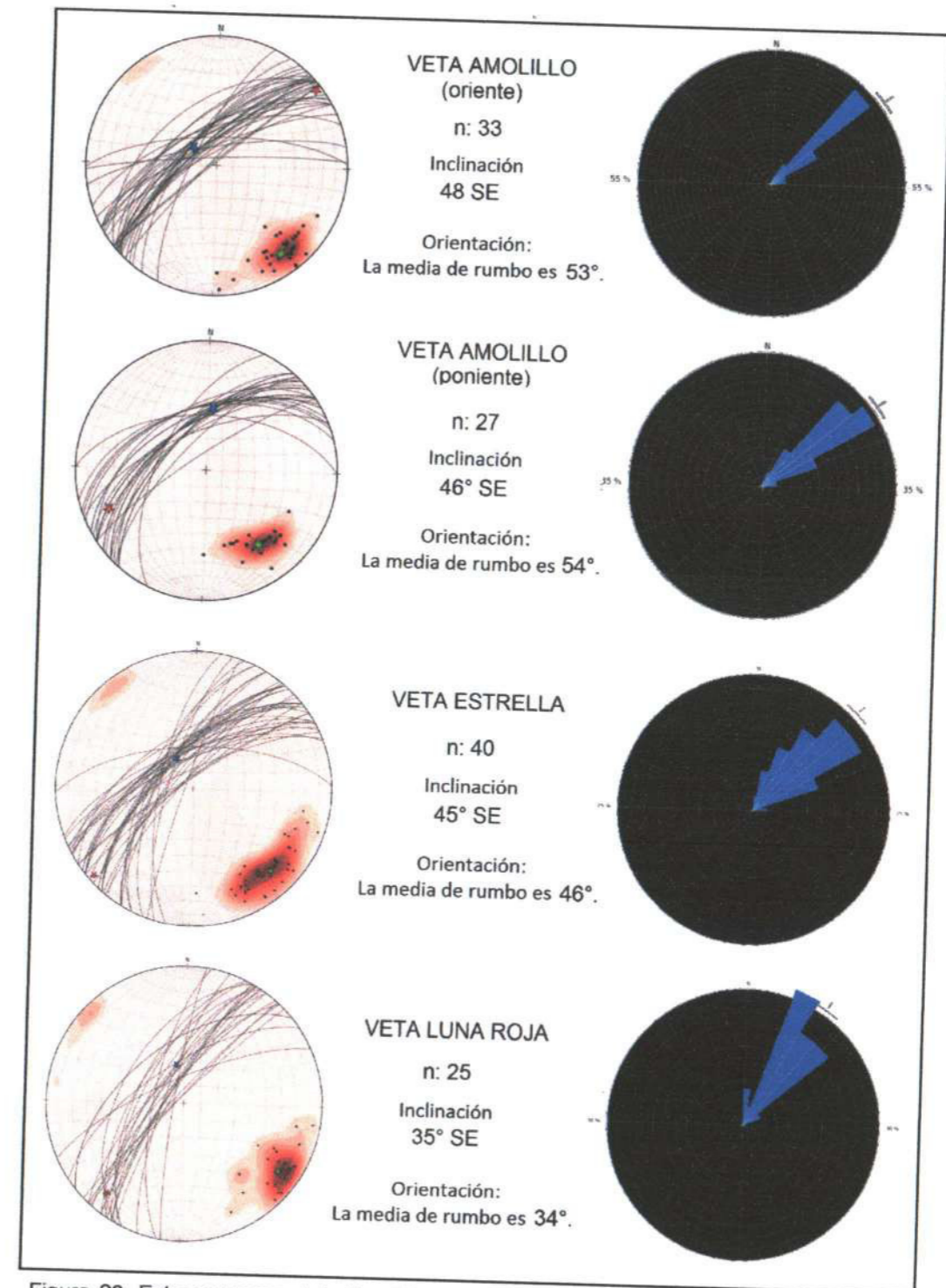


Figura 23. Estereogramas de inclinación y rosetas de orientación para las vetas de la Mina Estrella. Ver tabla A-3 del anexo para conocer los datos. Ver figura 25 para conocer la ubicación de la obtención de datos para cada proyección.

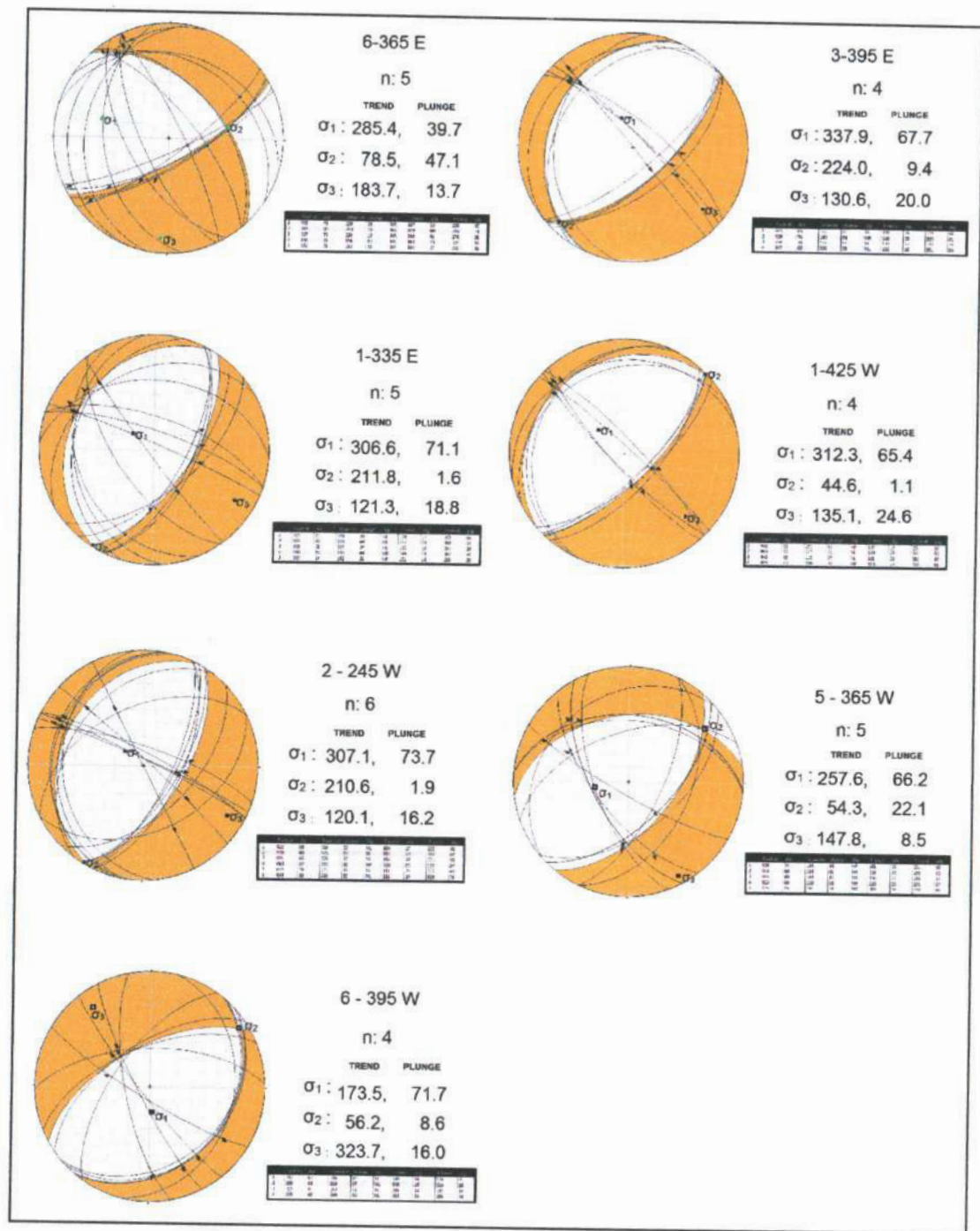


Figura 24. Diagramas de esfuerzos para Veta Amolillo, se muestra un diagrama para cada plano de falla con estrias observado, indicando la dirección de los esfuerzos principales. Ver tabla A-7 del anexo para conocer los datos. Ver figura 25 para conocer la ubicación de la obtención de datos para cada proyección.

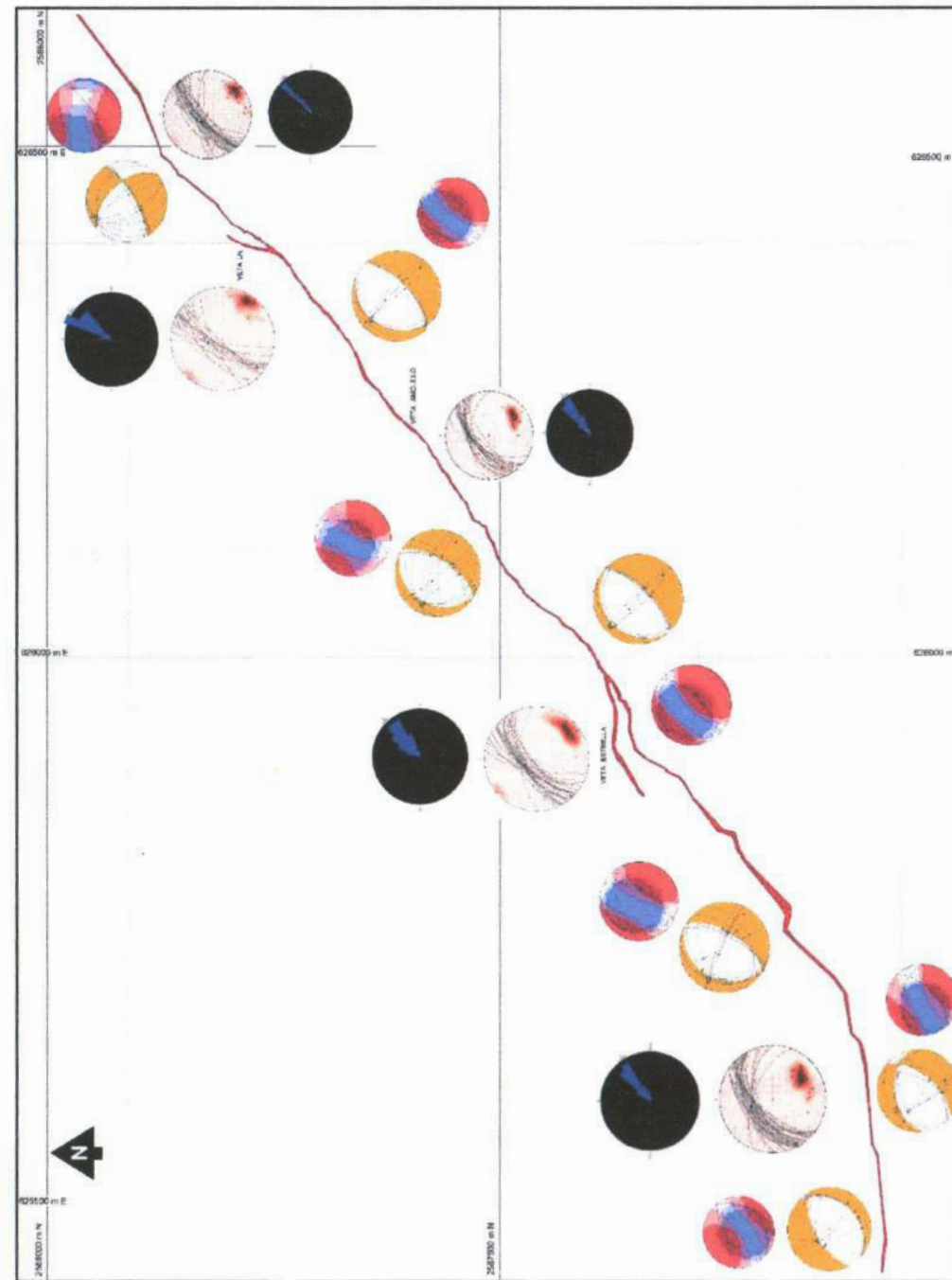


Figura 25. Modelo de Mina Estrella, mostrando a Veta Amolillo, Estrella y Luna Roja, con los estereogramas para inclinación, rosetas azimutales de inclinación y diagramas de esfuerzos principales, en su respectiva ubicación. El detalle y resultados del análisis cinemático de las proyecciones estereograficas se encuentran en las figuras 23 y 24. Ver figura 8 para la ubicación de la veta.

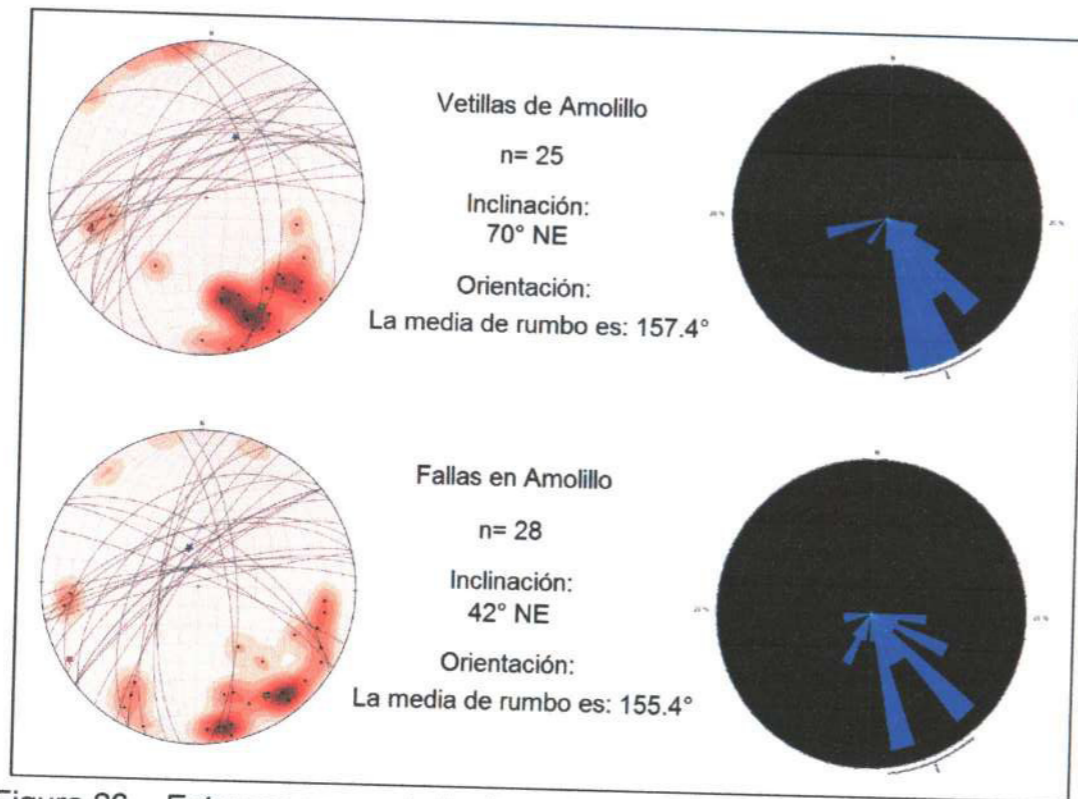


Figura 26. Estereogramas de inclinación y rosetas de orientación azimuthal para las vetillas y fallas menores que atraviesan la veta Amolillo. Ver tabla A-6 del anexo para conocer los datos. Ver figura 27 para conocer el movimiento cinemático obtenido a partir de las proyecciones.

El cálculo de dirección de esfuerzos para la Mina Estrella, (Ver figura 27), muestra un vector de tensión con dirección N53°E, mientras que el vector de compresión presenta una dirección N80°E, así mismo el vector de extensión resultante es de N80°W. El ángulo de espectro tectónico obtenido es de 125°.

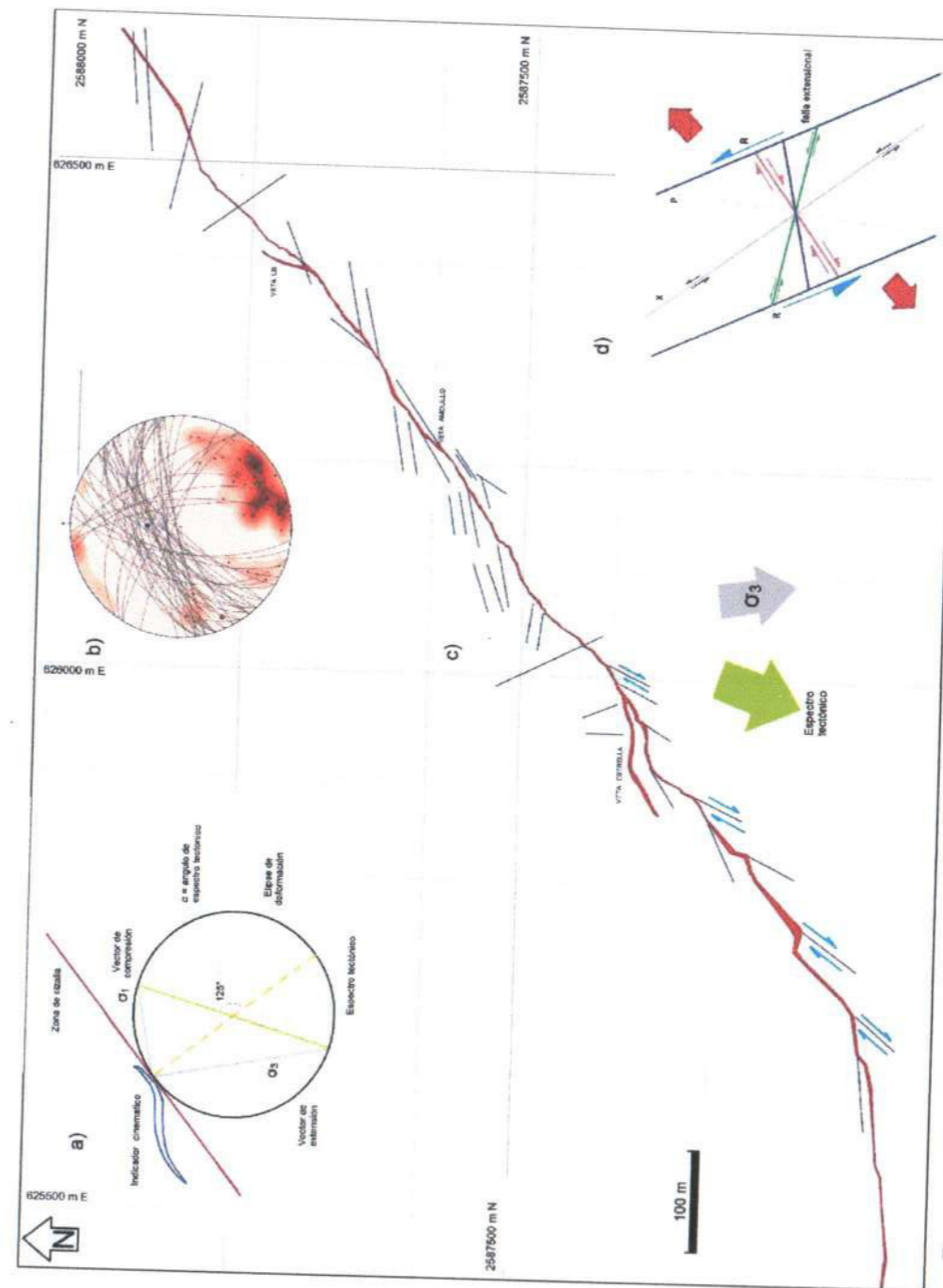


Figura 27. Modelo estructural para los esfuerzos principales en Veta Amolillo. a) Cálculo de la dirección del esfuerzo principal para una zona de cizalla según (McCoss A. M., 1987). b) Estereograma para indicadores cinemáticos. c) Veta Amolillo con una simplificación de las fallas y vetillas que la atraviesan. d) Modelo del sistema de cizalla según la dirección de los esfuerzos.

4.2.4 Sistema de Recompensa

Veta Recompensa

Recompensa es una veta de cuarzo lixiviada con minerales de óxido su rumbo es 85 NE y su inclinación 85 NW, es una veta muy compacta y dura, se compone principalmente de cuarzo bandeado, con calcita, rodocrosita como ganga y minerales económicos de tetraedrita y pirargirita, en una textura típica de cavidades póstumias. Al alto cuenta con un manto de mineralización conocido como Erika también con valores interesantes. La veta es estrecha con un espesor de 0.8 m en promedio y 1.5 m en la zona económica.

El cálculo de dirección de esfuerzos para la Mina Recompensa, (ver figura 31), muestra un vector de tensión con dirección N85°E, mientras que el vector de compresión presenta una dirección N60°E, así mismo el vector de extensión resultante es de N30°W. El ángulo de espectro tectónico obtenido es de 127°.

Se analizó un grupo de 3 datos de estrías obtenidos siguiendo la regla de la mano derecha (0–180), en el plano de falla principal de la veta Recompensa, para lo cual se construyó un diagrama de esfuerzos con el método de los diedros rectos, con el apoyo del software Fault Kin (ver figura 29). El esfuerzo tiene una componente sigma 3 al SW.

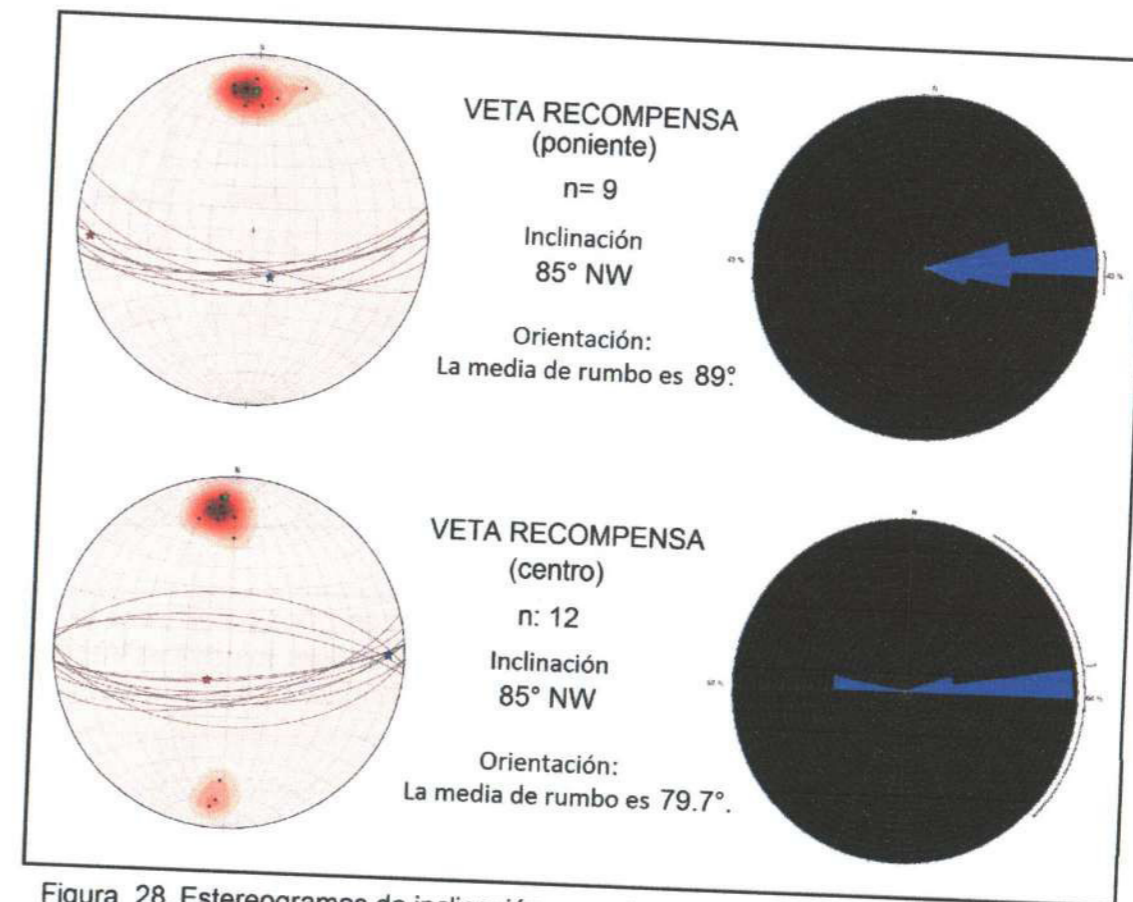


Figura 28. Estereogramas de inclinación y rosetas de orientación para las vetas de la Mina Recompensa. Ver tabla A-4 del anexo para conocer los datos. Ver figura 30 para conocer la ubicación de la obtención de datos para cada proyección.

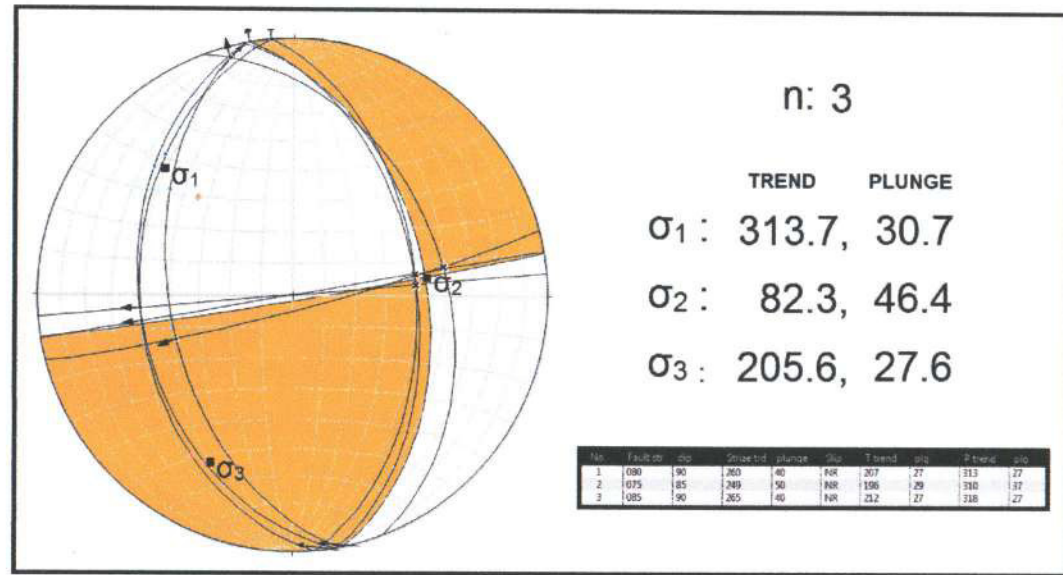


Figura 29. Diagrama de dirección de esfuerzos principales para la Veta Recompensa. Ver tabla A-7 del anexo para conocer los datos. Ver figura 30 para conocer la ubicación de la obtención de datos para la proyección.

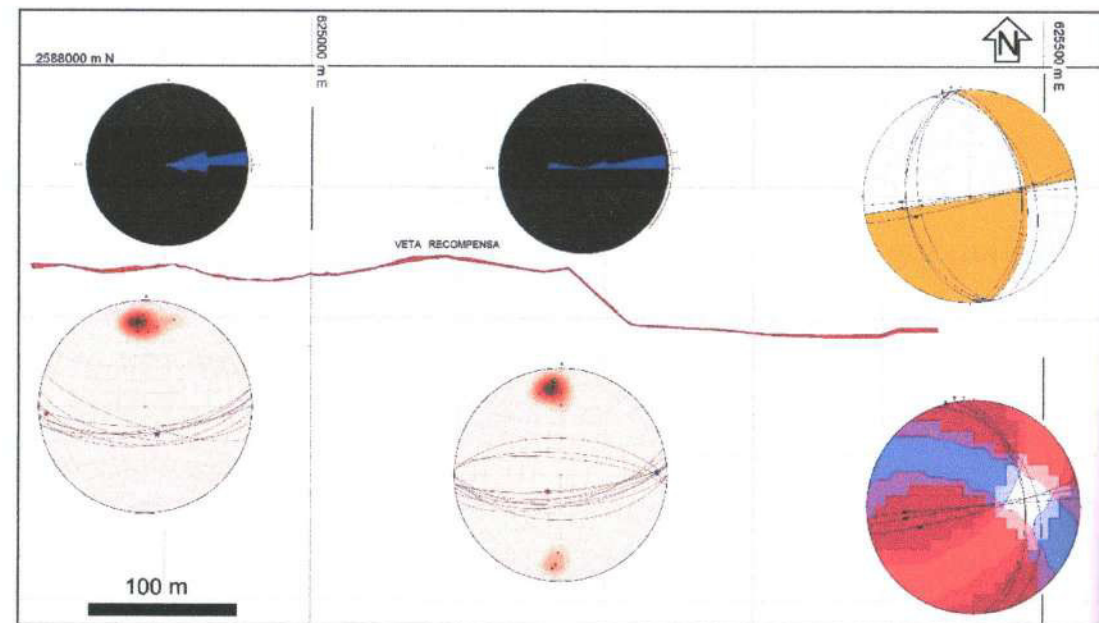


Figura 30. Modelo en planta de la Veta Recompensa, con estereogramas de inclinación, rosetas azimutales de orientación y diagrama de esfuerzos. El detalle y resultados del análisis cinemático de las proyecciones estereográficas se encuentran en las figuras 28 y 29. Ver figura 8 para conocer la ubicación de la veta.

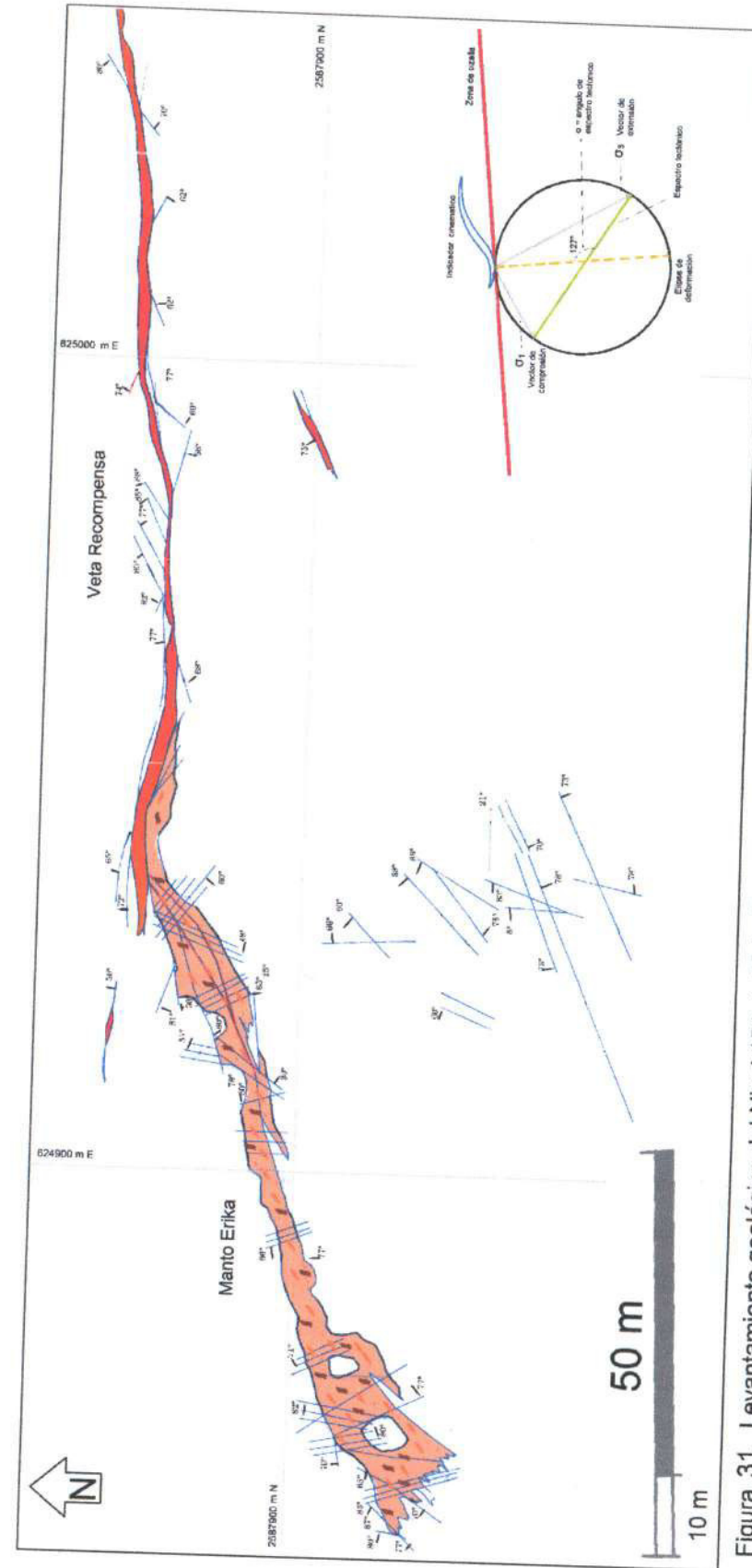


Figura 31. Levantamiento geológico del Nivel 150 de Veta Recompensa al Poniente, mostrando los indicadores cinemáticos (cortesía de PanAmerican Silver), en la esquina inferior derecha se muestra el cálculo de esfuerzos para la zona de cizalla según Mc Coss A.M., (1986). Ver figura 8 para la ubicación.

Capítulo 5. DISCUSIÓN

El Sistema de vetas de La Colorada presenta un control estructural marcado por la geometría de las vetas y fallas que la componen, de esa forma podemos indicar sistemas de fallas, para las Vetas Amolillo, HW y NC2 se tiene una componente de fallamiento oblicuo derecho, en respuesta a un sistema distensivo regional (σ_3).

Según el análisis cinemático por estereogramas para el complejo de HW el esfuerzo extensional dominante es NNE, para el complejo NC2 va de N-S a NW-SE (ver figura 21 y 22). La extensión en veta Amolillo es hacia el NW y en veta Recompensa es NNE. Según los indicadores cinemáticos para veta HW el esfuerzo extensional es al NNW, para veta Recompensa es N-S y para veta Amolillo va de N-S al NW-SE.

De acuerdo al análisis cinemático realizado el esfuerzo indica distensión en el movimiento. La evidencia de una tectónica de extensión es la presencia de brechas tectónicas acompañando las vetas, producto de la apertura espacios y los sucesivos episodios de deformación y mineralización.

Esto se puede comprobar con el modelo geométrico en planta de la superficie en la que se observa que el fallamiento principal está controlado por una falla de desplazamiento lateral orientada NNW-SSE (Falla Azul) y por la Falla Chalchihuites que atraviesa el sistema de E-W.

Las zonas de apertura han servido de trampa para la deposición de iones metálicos generadores de sulfuros económicos y su posterior enriquecimiento de plata.

Se realizó la comprobación del movimiento por medio del cálculo geométrico de Mc Coss, con la cual se interpretaron los ángulos del espectro tectónico, dando

como resultado transtensión para todas las vetas principales (ver figuras 22, 27 y 31). Según el cálculo de dirección de esfuerzos para la cizalla de Mc Coss, (1986), tenemos un movimiento inicial en dirección NNW para veta Amolillo y Recompensa, para el complejo de NC2 la extensión es en sentido NNE, en respuesta a la distensión (σ_3).

5.1 Construcción del modelo geológico estructural

En los diagramas de esfuerzos se observan tendencias dominantes de fallamiento centradas al NE al oriente del distrito y E-W al poniente del mismo.

De acuerdo a la tendencia de los datos obtenidos en la dirección de los ejes principales de deformación mostrados en resultados podemos establecer ciertos patrones que coinciden con modelos estructurales.

Observamos una inclinación al SE para Veta Amolillo, NC2, HW, Veta 2. Y una inclinación al NNW para la veta Recompensa, debido al sentido del movimiento en fallas normales. Actualmente se conoce la continuidad de las Vetas NC2 y Amolillo hasta 1km de profundidad conservando las mismas características estructurales de rumbo e inclinación, aunque aún no hay evidencia concreta de metasomatismo causado por el intrusivo, que, según los modelos epitermales alcalinos debe estar en una profundidad menor a los 2000 metros.

Partiendo de estas observaciones se elaboró el modelo geológico estructural para el yacimiento argentífero de la Mina La Colorada (Ver figura 32).

La geología estructural regional nos indica que el yacimiento es parte de un pilar tectónico, ubicado en un gran bloque en el borde oriental del graben de Chalchihuites, en la que se tiene una caída de bloques en sentido NW-SE dándole al modelo una forma similar de flor negativa, típico de movimientos transtensivos, lo que posteriormente favoreció la circulación de fluidos mineralizantes.

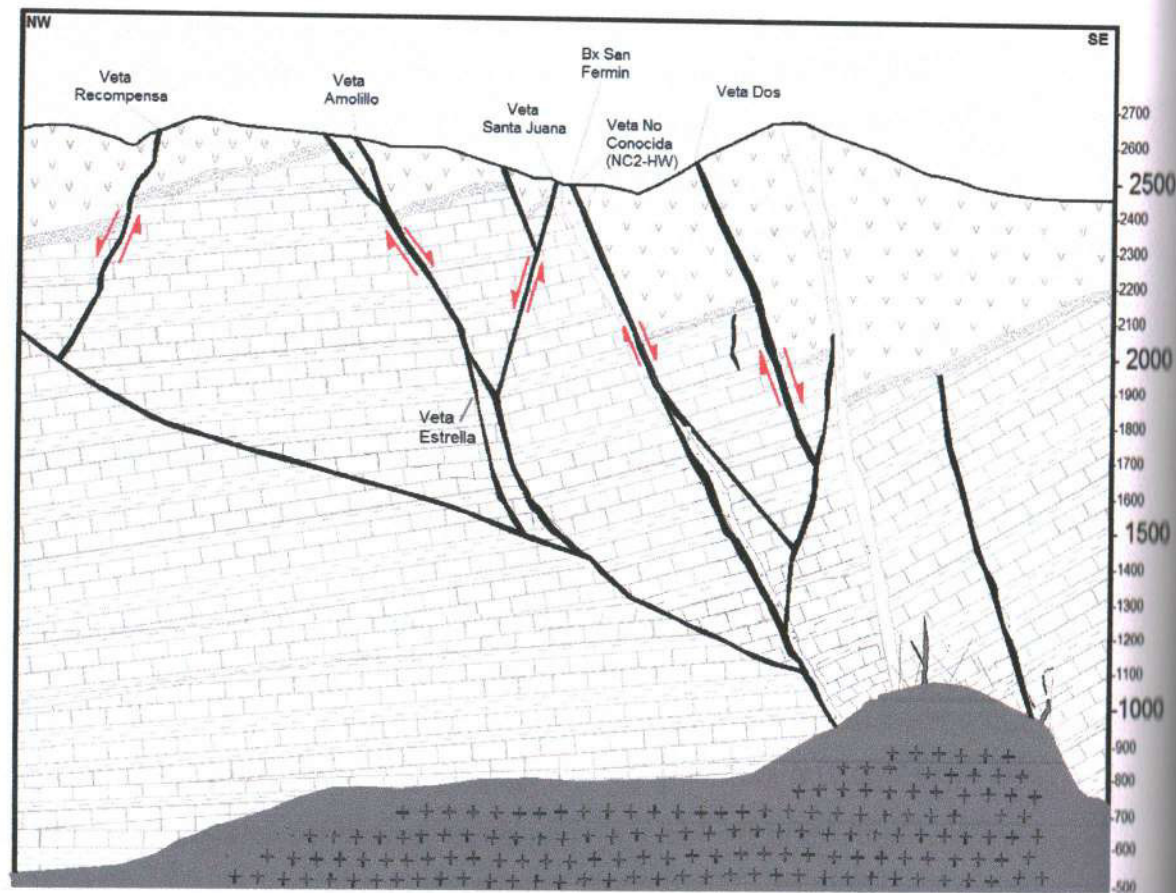


Figura 32. Vista en sección del modelo estructural geológico propuesto para el yacimiento argentífero del Distrito de La Colorada.

En un modelo con inflexiones de apertura causados por la distensión, el distrito Minero de La Colorada parece un abanico extensional imbricado, con límite en la Falla Azul, dextral en el movimiento transcurrente.

Al interpretar la vista de planta del modelo, el sistema parece tener un comportamiento transtensional (oblicuo-normal). Se observa que las vetas se escalonan (ver figura 33).

Por la geometría que puede dominar el sistema tiene una componente normal oblicua izquierda en Veta Recompensa y oblicua derecha para Amolillo, HW y NC2.

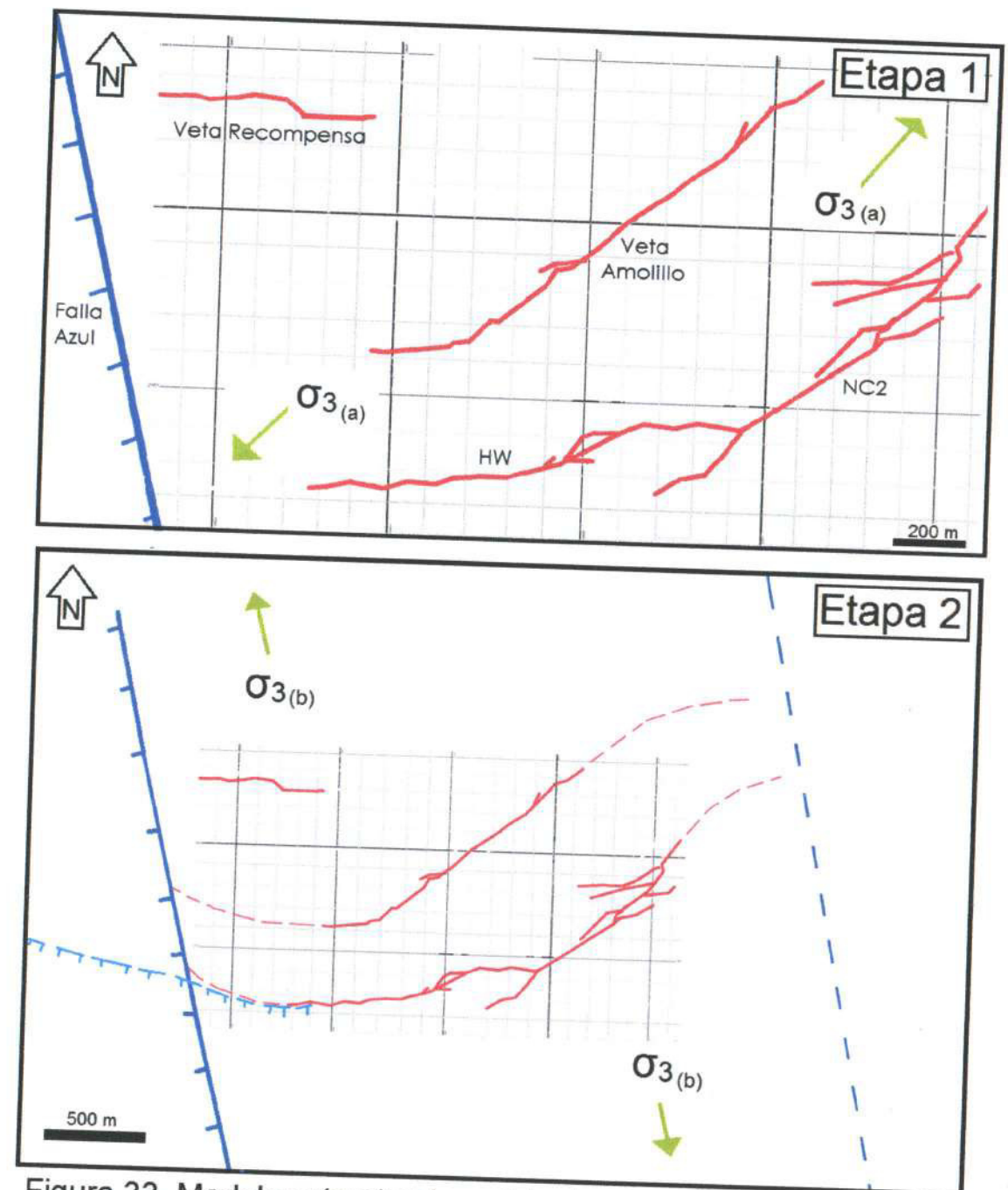


Figura 33. Modelo estructural en vista de planta para La Colorada, indicando las etapas de deformación en respuesta a un sistema distensivo (σ_3).

Analizando la imagen DEM establecimos los límites del sistema, que complete la cizalla para las vetas principales del distrito (ver figura 16). Podemos observar la continuidad de la Falla Azul hasta por 15 km en la carta geológica de Chalchihuites.

Es común encontrar lazos cimoides a lo largo de todas las estructuras en La Colorada, y en todas las escalas.

Se propone un modelo estructural con geometrías favorables para dilatación con base en la tendencia en el rumbo de las estructuras.

Para generar el modelo de depósito del yacimiento se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones. El plomo y zinc aumentan los grados por debajo de ~ 960 m, donde los grados Ag parecen estar disminuyendo. No es aun evidente la presencia de cobre, pero en general los grados de Cu también aumentan por debajo del ~ 960 m. La mineralización tipo skarn se observa en las intersecciones por debajo de los 960 m de la paleosuperficie (Chutas N. y Sack R. O., 2004).

La profundidad de la mineralización es claramente observada para las distintas estructuras, así como su profundidad de permeabilidad, esto causado por una reactivación del sistema y una ligera rotación de los bloques causada por la transtensión del sistema en el último evento deformativo, produjo una variación en los niveles sulfuración, estas observaciones ayudaron a la creación de una posible interpretación del depósito, basados en el modelo para epitermales alcalinos, para lo cual se adaptó a La Colorada un modelo para los yacimientos de intermedia sulfuración similar al de Fresnillo y Guanajuato. La geometría estructural interpretada, en conjunción con la tipología de yacimientos epitermales alcalinos propuesto por Albinson, (2001) (Ver figura 34).

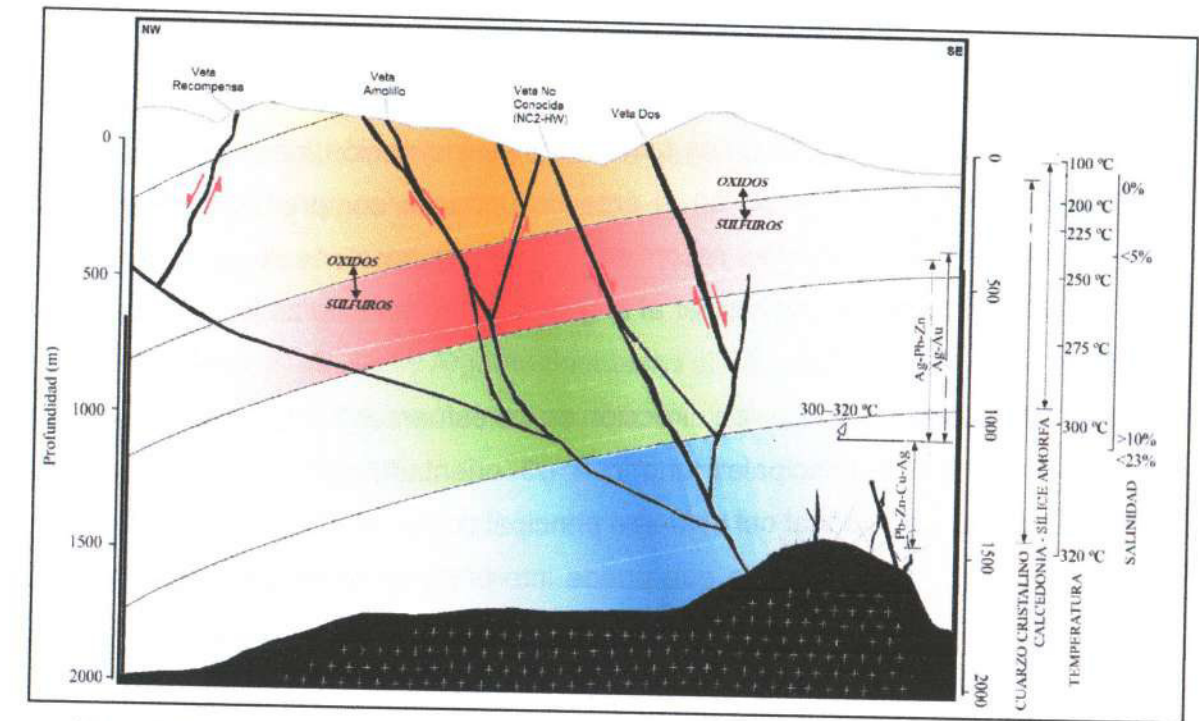


Figura 34. Modelo del depósito epitermal alcalino (intermedia sulfuración), aplicado al yacimiento de La Colorada, según su profundidad de formación relacionado al inicio del proceso de ebullición de fluidos sodico-clorurados ascendentes (adaptado de Albinson et al., 2001).

Se piensa que las debilidades estructurales jugaron un papel crítico en la formación de mineral. La ebullición debió ser el resultado de la presión litostática, es probable la roca huésped haya aumentado su permeabilidad, apareciendo fallas o fracturas que pudieron servir como conductos para la migración hacia arriba de los fluidos.

La naturaleza de grano extremadamente fino de algunos sulfuros y sulfosales, observada en niveles intermedios, evidencian un reequilibrio del mineral, el cual sugiere que las composiciones de minerales primarios serian diferentes de los que actualmente se extraen conforme se avanza en profundidad.

Capítulo 6. CONCLUSIONES

La concentración de polos para datos de inclinación indica por su mayoría una tendencia hacia el SE en el área de bonanza comprendida entre NC2-HW y Amolillo, por lo cual se recomienda que para barrenos de exploración se utilice una dirección perpendicular al ángulo del polo en esta zona.

De acuerdo al análisis de dirección de los esfuerzos principales se pueden indicar dos eventos principales uno con σ_3 orientado al NE interpretada como la orientación regional del esfuerzo principal compresivo mínimo (σ_3), y otra con σ_3 orientado NW y N-S, lo que puede interpretarse como un estado de esfuerzos local.

La evidencia de orientación de esfuerzos indica que el sistema fue sometido a un esfuerzo continuo ya que aparecen orientaciones que varían desde el NE al NW. Veta Recompensa y La Falla Chalchihuites (HW) son producto del último esfuerzo, este sentido solo es apreciable de manera local, limitado por las fallas de sentido NNW.

El comportamiento de los cuerpos minerales es regular tanto en inclinación, como en su orientación. según lo obtenido en los diagramas de esfuerzos para las estructuras.

La estructura principal del sistema es la veta NC2, que posee la mayor cantidad de reservas de mineral sulfuro y una gran cantidad de lazos con importantes valores, esto podría deberse a que mantiene una inclinación constante a lo largo de toda su estructura y esta característica debiera repetirse en profundidad lo que provoco que entrara en contacto por una gran fuente de fluidos mineralizados próximos a la fuente de calor. Filones ubicados en las proximidades de esta estructura con características estructurales similares deberían presentar mismos valores minerales.

Debido a las características observadas en las vetas antes mencionadas se recomienda darles mayor importancia a estructuras no exploradas de similares características estructurales. Los sectores a lo largo de una falla o zona de cizalla que presentan inflexiones en dirección NNW son los más interesantes para encontrar valores económicos.

Estructuras entre NC2 y Amolillo orientadas al SE pueden contener significativas cantidades de plata en los primeros 1500 m de profundidad de la formación original del yacimiento.

REFERENCIAS

- Albinson, F.T., 1988, Geologic reconstruction of paleosurfaces in the Sombrerete, Colorada, and Fresnillo districts, Zacatecas state, Mexico: *Economic Geology*, v. 83, p. 1647–1667.
- Aguilar Vera O., 2013, Estudio geotécnico El Toro. Ingeniería Geotécnica para Minería y Obras Civiles, S.A. de C.V. Fresnillo, Zacatecas. México. p. 11-13.
- Araujo–Mendieta, J., Arenas–Partida, R., 1986, Estudio tectónico–sedimentario en el mar mexicano, Estados de Chihuahua y Durango. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, v. 47, p. 55–67
- Barajas Gea C.I., 2008, Estudio de la deformación cenozoica y sismicidad en la región de Canatlán. Durango. Centro de Geociencias, UNAM, México. Tesis de Maestría. 113 p.
- Barbosa Gudiño J., Hoppe M., Gomez Anguiano M., y Martínez Macías P., 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. 311–312.
- Camprubí A., Albinson T., 2006, Depósitos epitermales en México: actualización de su conocimiento y reclasificación empírica. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 53, p. 27–85.
- Cervantes, M.E., 1984, Operación minera en la Colorada, Zacatecas. *Revista Geomimet, AIMMG*. México. p. 81–90.

Chutas N., Sack R. O., 2004, Ore genesis at La Colorada Ag–Zn–Pb deposit in Zacatecas, México. Department of Earth and Space Sciences, University of Washington, USA Mineralogical Magazine, December 2004, v. 68(6), p. 923–936

Consejo de Recursos Minerales, 1992, Geological mining monograph of the 5th state of Zacatecas, Consejo de Recursos Minerales, México, 154 p.

Ferrari, L., Valencia-Moreno, M., Bryan, S., 2005, Magmatismo y tectónica en la Sierra Madre Occidental y su relación con la evolución de la margen occidental de Norteamérica: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Volumen conmemorativo del centenario, Temas selectos de la geología mexicana, 57(3), p. 343-378.

Garduño M.V.H., Zaldívar R.J., 1984, Estudio estratigráfico y estructural de las rocas del Paleozoico Superior de Santa María del Oro, Durango, y sus implicaciones tectónicas. Reunión Anual, Sociedad Geológica de México., p. 37–38.

Henry, C.D., Aranda-Gómez, J.J., 2000, Plate interactions control middle – late Miocene, proto-Gulf and Basin and Range extension in the southern Basin and Range: Tectonophysics, 318, p. 1-26.

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 Bull. v. 47, p. 1091-1152

Kelly, W.A., 1936, Geology of mountains bordering the valleys of Acantita and Las Delicias: Geological Society of America Bulletin, v. 47. p.1009–1038.

Loza–Aguirre I., Nieto–Samaniego A. F., Alaniz–Alvarez S., Iriondo A. 2008, Relaciones estratigráfico–estructurales en la intersección del sistema de fallas San Luis–Tepehuanes y el graben de Aguascalientes, México central. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. v. 25. p. 533–548.

Loza Aguirre I., 2013, Deformación y volcanismo cenozoicos al noroeste de la Mesa Central, región Tepehuanes-Canatlán, Durango: Queretaro, Mexico, Universidad Nacional Autónoma de México., Tesis doctoral, 162 p.

McCoss A.M. 1986, Simple constructions for deformation in transpression/ transtension zones. Journal of Structural Geology, Great Britain. v. 8, Num. 6, p. 715–718.

McDowell, F.W., Clabaugh, S.E., 1979, Ignimbrites of the Sierra Madre Occidental and their relation to the tectonic history of western Mexico. Geological Society of America Special Paper, p. 113–124.

Montañez A., Ramírez J.G., Martínez A., 2007, Carta Geológica–Minera Chalchihuites F13–B34, Zac., Esc. 1:50,000, Consejo de Recursos Minerales, Pachuca, Hgo., México, Edición: 1a.

Nieto–Samaniego A. F., Alaniz–Álvarez, Camprubí A., 2005. La Mesa Central de México: estratigrafía, estructura y evolución tectónica cenozoica: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 57, Num.3, p. 285–317.

Padilla y Sanchez, R.J., 1986, Post–Paleozoic tectonics of Northeast Mexico and its role in the evolution of the Gulf of Mexico: Geofísica Internacional, v.25, Num. 1, p. 157–206.

Pan American Silver, 2007, Mina La Colorada. Chalchihuites, Zacatecas, México. (inédito). p. 1-7.

Santiago-Carrasco B., Martínez C., Sánchez G., Chiapa R., Palacios R., 2000, Informe final de la cartografía geológica minera escala 1:250000, carta Monterrey clave G14-7, estados de Coahuila, Nuevo Leon y Zacatecas. Consejo de Recursos Minerales. Saltillo, Coahuila, p. 18-20.

Sharp A., et al., 2007, Pan American Silver Corp., La Colorada Mine Project, Technical Report. Chalchihuites, Zacatecas, México, p. 29-33.

Soto-Morán, M., 1987, Relaciones en espacio y tiempo entre chimeneas y vetas del distrito minero de La Colorada, Zacatecas: UNAM, Facultad de Ingeniería, Tesis inédito, 97 p.

Steinmann M., Wafforn M., 2013, Informe técnico análisis económico preliminar para la expansión de la Mina de La Colorada Zacatecas, México, p. 29-33

Tristán-González, M., Torres-Hernández, J.R., Labarthe-Hernández, G., Aguillón-Robles, A., Yza-Guzmán, R., 2012, Control estructural para el emplazamiento de vetas y domos félsicos en el distrito minero de Zacatecas, México: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 64(3), p. 353-367.

ANEXO

A.1. Tabla de datos de sistema de vetas en Mina Candelaria, área de sulfuros.

Veta NC1		53	72	75	40
Rumbo	Echado	47	82	20	64
40	58	45	85	33	73
303	83			40	50
50	78	Veta NC2		28	73
53	68	Rumbo	Echado	55	55
35	67	70	65	53	60
43	65	47	77	35	60
41	66	40	75	40	64
43	66	43	79	45	68
45	74	33	71	60	72
55	68	33	84	65	70
55	70	65	80	70	72
45	70	55	68	55	80
37	74	60	68	45	68
35	60	30	64	60	65
54	80	43	59	70	63
75	76	40	53	50	81
76	76	40	55	65	65
80	74	43	51	62	74
75	80	56	50	40	87
70	80	60	65	70	62
85	77	60	67	40	72
60	78	65	56	45	83
50	75	50	68	45	84
30	83	50	55	55	75
50	82	45	69	65	78

52	56
50	63
49	64
44	75
50	46
68	62
40	63
55	63
71	65
60	69
50	65
52	60
304	60
72	64
60	65
45	60
60	60
64	60
56	65
80	65
75	68
300	67
50	75
55	62
65	74
48	62

45	64
46	63
25	72
275	68
273	63
272	72
280	72
275	68
270	70
270	65
78	69
65	68
58	67
53	62
54	60
78	52
75	65
67	65
63	68
57	62

Veta NC3	
Rumbo	Echado
57	63
278	81
246	80

225	80
223	78
222	82
220	82
224	80
235	74
232	81
238	78
242	75
223	69
225	68
228	62
225	84
218	80
225	78
226	79

Veta NC4	
Rumbo	Echado
80	55
70	55
60	64
65	55
80	55
70	50
60	30

Veta NC5	
Rumbo	Echado
68	52
42	72
64	64
61	65
60	80
50	80
45	82
50	86
40	85
50	86
50	86
50	80
75	65
40	83

Veta NC6	
Rumbo	Echado
55	84
50	87
45	82
54	79
56	78
45	81
25	87

30	79
32	84
23	68
35	81

Veta NC7	
Rumbo	Echado
305	70
277	5
290	79
275	82
275	64
275	77
288	75
280	78
270	84
287	80
300	83
273	77
295	81
295	80
297	82
294	81
298	85
300	60
295	62

280	57
277	52
275	54

Veta NC8	
Rumbo	echado
265	60
235	82
280	60
275	72
273	83
275	86
274	84
280	84
80	74
80	70
90	60
280	81
90	72
88	69
85	82
90	86
87	84
280	81
87	75
274	83

Veta FW1	
Rumbo	Echado
60	50
58	45
62	45
65	60
87	40
280	55
276	60
90	55
90	46
75	55
86	73
57	85
70	80
68	75
63	75
83	45
85	30
80	62
275	66
90	70
80	74

Veta 4235	
Rumbo	Echado
85	85
87	70
70	73
82	73
62	73
80	80
90	75
90	72
80	78

A.3. Tabla de datos de sistema de vetas en Mina Estrella

Veta Amolillo		25	75	43	64
Rumbo	Echado				
70	50	45	75	55	60
40	60	40	70	42	72
58	60	48	68	110	60
55	60	47	70	50	47
45	60	80	78	43	67
45	65	60	75	60	63
45	60	58	65	90	56
50	60	48	78	66	60
40	65	46	69	54	53
90	55	60	65	57	48
55	80	50	80	55	62
25	60	50	88	62	47
65	50	87	85	58	40
67	65	50	87	65	46
55	60	60	82	62	52
55	65	57	70	60	65
48	60	46	75	39	70
42	70	48	77	47	55
47	75	43	86	59	53
38	70	50	50	75	63
48	60	55	75	87	59
60	70	88	72	75	68
45	60	65	78	52	62
33	70	50	76	55	58
		70	66	35	54

36	58
50	57
35	53
50	60
42	45
80	60
60	57
42	62
60	50
45	65
45	66
42	70
55	50
60	55
50	60
40	65
75	50
60	55
68	50

Veta Luna Roja	
Rumbo	Echado
40	78
45	86
30	79
42	73
42	84
50	55
10	72

8	84
29	74
26	65
32	62
55	67
33	75
65	75
30	80
35	80
25	62
32	80
41	86
30	70
35	72
28	82
28	52
50	55
18	78

Veta Estrella	
Rumbo	echado
25	63
18	85
59	66
55	83
40	68
25	66
50	65
40	70
50	70

42	71
63	68
60	72
40	69
55	57
52	67
62	73
64	79
67	72
87	65
55	84
45	83
50	84
39	79
38	83
20	68
10	70
30	75
40	67
52	65
68	67
60	69
50	67
30	70
42	70
30	71
37	77
60	60
47	74
50	64

A.4. Tabla de datos de sistema de vetas en Mina Recompensa

Veta Recompensa	
Rumbo	Echado
84	60
108	75
92	60
80	68
98	65
80	72
85	70
85	69
89	75
80	72
83	65
90	66
85	77
85	78
275	77
273	73
90	55
85	72
272	62
75	67
85	68

A.5. Tabla de datos de sistema de Vetas en Mina Veta 2

Veta 2		30	70	42	75
Rumbo	Echado	25	50	35	70
38	66	30	70	18	80
40	67	20	65	36	64
45	65	25	53	36	76
35	70	18	40	53	63
30	72	30	60	58	70
30	66	32	65		
40	72	28	65		
32	66	36	62		
45	68	35	68		
50	72	31	70		
34	74	25	60		
38	65	40	65		
40	68	43	73		
45	76	35	65		
31	78	40	68		
20	68	43	75		
23	60	35	70		
22	70	36	65		
60	40	42	50		
75	43	30	60		
85	45	40	70		
90	50	32	74		
50	60	30	66		
45	55	33	65		

A.6 Estructuras menores en las vetas principales

Vetillas en		40	74
Candelaria Sulfuros		45	75
Rumbo	Echado	5	72
85	83	60	78
52	75	70	82
55	81	33	72
120	78	40	62
117	42	55	42
110	70	50	78
35	45	50	76
46	82	45	42
75	70	30	69
80	60	26	84
85	65	115	50
84	55	75	77
40	51	55	74
59	62	50	72
51	48	60	85
30	66	305	85
34	67	317	72
68	53	300	79
66	60	57	60
80	63	60	65
70	84	75	40
84	10	85	45
75	86	80	45
65	72		

Amolillo vetillas	
Rumbo	Echado
45	71
40	87
70	55
80	57
55	59
80	55
45	80
70	70
45	57
60	73
60	87
125	45
80	87
65	80
165	64
168	52
75	87
78	49
70	71
90	80
40	70
70	65
15	50
45	60
30	62

Amolillo fallas	
Rumbo	Echado
80	79
75	79
50	75
40	80
30	81
50	75
78	80
50	80
76	87
25	58
50	82
85	80
170	75
175	70
55	38
122	62
120	70
110	85
10	71
5	70
25	76
120	79
70	60
75	60
55	70
65	70
18	69
48	53

A.7 TABLA DE DATOS DE PLANOS DE FALLAS CON ESTRIAS.

PLANOS DE FALLA CON ESTRIAS					
ESTRUCTURA	REBAJE	RUMBO	ECHADO DEL PLANO	PITCH (bloque del alto)	
HW	5-528W	240	75 SE	110	
		220	70 SE	90	
		80	60 SE	110	
		85	43 NW	130	
		80	77 SE	60	
HW2	2-513 E	85	42 SE	75	
		90	50 SE	85	
		70	57 SE	0	
FW	2-513E	280	46 SW	100	
AMOLILLO	5-245W	25	63 NW	75	
		25	60 NW	85	
		28	68 NW	85	
		31	65 NW	80	
		45	55 NW	85	
		63	42 NW	90	
		60	45 NW	90	
	1-335E	55	41 NW	80	
		63	64 NW	95	
		50	60 NW	95	
		40	64 NW	120	
		6E-365E	63	73 NW	140
			65	80 NW	170

		57	70 NW	160
		58	71 NW	110
		52	78 NW	120
	3E-395E	45	65 NW	80
		50	74 NW	90
		50	58 NW	80
		47	65 NW	70
	5W-365	50	54 NW	120
		45	60 NW	120
		45	55 NW	125
		25	66 NW	100
		25	45 NW	125
	1-425W	40	65 NW	100
		43	72 NW	85
		49	69 NW	80
		45	73 NW	100
	6W-	247	62 NE	80
	395W	268	63 NE	70
		215	64 NE	80
		235	60 NE	82
RECOMPENSA	1-165	80	90	140
		75	85	130
		85	83	140