

18  
24

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**COCIENTES METALICOS Y DISTRIBUCION ZONAL DE  
Ag, Pb Y Zn; EN LA VETA SANTA INOCENCIA DEL DISTRITO  
MINERO DE FRESNILLO, F.L.D., ZACATECAS**

**TESIS PROFESIONAL  
Que para obtener el titulo de:  
INGENIERO GEOLOGO  
presenta:**

**Ana Martha Moya Saavedra**

1991

**FALLA DE ORIGEN**



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

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

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO

SRITA: ANA MARTHA MOYA SAAVEDRA  
Presente.

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Enrique Gómez de la Rosa, y que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de ingeniero geólogo:

COCIENTES METALICOS Y DISTRIBUCION ZONAL DE Ag, Pb y Zn  
DE LA VETA SANTA INOCENCIA, EN EL DISTRITO MINERO  
DE FRESNILLO, FRESNILLO, ZACATECAS

- I INTRODUCCION
- II OBJETIVOS
- III GENERALIDADES
- IV FISIOGRAFIA Y GEOMORFOLOGIA
- V GEOLOGIA
- VI YACIMIENTOS MINERALES
- VII MODELO CONCEPTUAL DE LA GENESIS DEL  
DISTRITO MINERO DE FRESNILLO
- VIII VETA SANTA INOCENCIA
- IX COCIENTES METALICOS Y DISTRIBUCION  
ZONAL DE Ag, Pb y Zn
- X CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES  
BIBLIOGRAFIA  
PLANOS E ILUSTRACIONES

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

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

A t e n t a m e n t e  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Ciudad Universitaria, a 18 de enero de 1991  
EL DIRECTOR

DANIEL RESENDIZ NUÑEZ

DRN'RJPYS'lom'

## RESUMEN

El Distrito Minero de Fresnillo, está ubicado en la parte central del Estado de Zacatecas.

Es un yacimiento hidrotermal constituido por "stockworks", diseminados, mantos, chimeneas y vetas. Estas últimas son las que actualmente producen y presentan una mineralización de plata, plomo y zinc. Se encuentran encajonadas en sedimentos clásticos marinos del Cretácico Inferior, en rocas volcánicas del Cretácico Medio y en un conglomerado continental del Terciario. En las partes profundas de la mina los cuerpos se relacionan con un intrusivo cuarzomonzonítico del Oligoceno.

La Veta Santa Inocencia se localiza al sur del Distrito, formando parte de un sistema de vetas denominado Área San Luis, que presenta un rumbo general que varía de N 70°E a N 80° W. La estructura más importante de ésta área es la Veta Santo Niño, de la cual se desprende al alto, en el nivel 400, la Veta Santa Inocencia.

La mineralización está compuesta por elementos nativos, sulfuros, sulfosales y en menor cantidad óxidos. Los minerales de mena más importantes son: esfalerita, galena, pirargirita, proustita, polibasita, argentita, acantita, tetrahedrita y tenantita.

Los planos de isovalores reflejan zonas de alta concentración: Dos para plata, uno en el contacto con la Veta Santo Niño y dos preferentemente en los niveles superiores de la veta; Tres para plomo y zinc, alojados principalmente al este de la estructura.

Los cocientes metálicos establecen la diferenciación química del sistema, el cual se enriquece en plomo y zinc a profundidad con relación a la plata; en tanto que a mayor concentración relativa de zinc, disminuye la del plomo y viceversa. La zona de alta concentración relativa de zinc se ubica al oriente de la estructura disminuyendo hacia el poniente.

## INDICE

Resumen	i
Indice	ii
Agradecimientos	iii
I.- Introducción.	1
II.- Objetivos.	2
III.- Generalidades.	3
III.1.- Localización Geográfica.	3
III.2.- Historia.	3
IV.- Fisiografía y Geomorfología.	6
IV.1.- Orografía.	6
V.- Geología.	8
V.1.- Geología Regional.	8
V.2.- Estratigrafía.	8
VI.- Yacimientos Minerales.	14
VI.1.- Tipos de yacimientos minerales.	14
VI.2.- Mineralogía y Paragénesis.	19
VI.3.- Zoneamiento Mineral.	21
VI.4.- Alteraciones.	21
VII.- Modelo Conceptual de la Génesis del Distrito Minero de Fresnillo.	23
VIII.- Veta Santa Inocencia.	24
VIII.1.- Antecedentes.	24
VIII.2.- Geología.	25
VIII.3.- Mineralogía.	26
VIII.4.- Paragénesis y Zoneamiento Mineral	27
IX.- Cocientes Metálicos y Distribución zonal de Ag, Pb y Zn en la Veta Santa Inocencia.	28
IX.1.- Diferenciación de un Sistema Hidrotermal.	28
IX.2.- Bases Teóricas de los Cocientes Metálicos.	28
IX.3.- Discusión de Isovalores y Cocientes.	31
X.- Conclusiones y Recomendaciones.	41
Bibliografía.	43

## I.- INTRODUCCION.

La Unidad Fresnillo, propiedad de Compañía Fresnillo, S.A. de C.V., produce actualmente 40,000 toneladas mensuales de mineral, con una ley promedio de 0.48 gm/ton Au, 780 gm/ton Ag, 0.33 % Pb, 0.67 % Zn y 0.03 % Cu. (Palacios, 1990).

La mina se encuentra ubicada en la ciudad de Fresnillo, en la parte central del país.

Este yacimiento fue descubierto en 1554, comenzando la explotación de plata en el Cerro Proaño; la etapa actual de producción se inició en 1929, con la fusión de dos compañías americanas.

Históricamente se han explotado 5 tipos de cuerpos: "Stockworks", disseminados, mantos, chimeneas y vetas. Actualmente estas últimas son las que están en producción.

Existen dos sistemas de vetas, uno situado en la parte central "Cerro Proaño" y el otro al sureste del Distrito denominado "Area San Luis", con 8 vetas descubiertas hasta la fecha, siendo esta zona la que sostiene el total de la producción actual.

La Veta Santo Niño, es la más importante del Area San Luis, conociéndose por aproximadamente 3 Km a rumbo. La Veta Santa Inocencia, motivo de este estudio, es un desprendimiento al alto de Santo Niño y presenta características geológicas similares.

Existen pocos estudios sobre la Veta Santa Inocencia, mientras que existe mucha información sobre la estructura de la cual se desprende.

La Unidad Fresnillo, inicialmente minó a tajo abierto, por el método de Glory Hole, pero actualmente todas las labores son subterráneas. El método de minado utilizado es Tumba con relleno hidráulico.

## II.- OBJETIVOS.

Mediante planos de isovalores de elementos metálicos, describir la distribución zonal de valores altos de Ag, Pb y Zn a lo largo de la Veta Santa Inocencia.

Utilizando el método de Cocientes Metálicos, establecer la dirección de migración y el sentido de diferenciación de las soluciones mineralizantes que dieron origen a la estructura.

Comparar la distribución de valores con el comportamiento químico del sistema y establecer si existe alguna relación entre ellos.

Proponer mediante este trabajo zonas potenciales de exploración cercanas a la Veta Santa Inocencia.

### III.- GENERALIDADES.

#### III.1.- Localización geográfica y vías de acceso.

El Distrito Minero de Fresnillo, se encuentra localizado en la parte central del Estado de Zacatecas, aproximadamente a 60 km al noroeste de la capital del estado. Tiene acceso directo a través de la Carretera Panamericana (Federal No. 45), en el km 812, desde la ciudad de México y por el Ferrocarril México - Cd. Juárez; además cuenta con un aeropuerto localizado a 35 Km al sureste de la ciudad de Fresnillo.

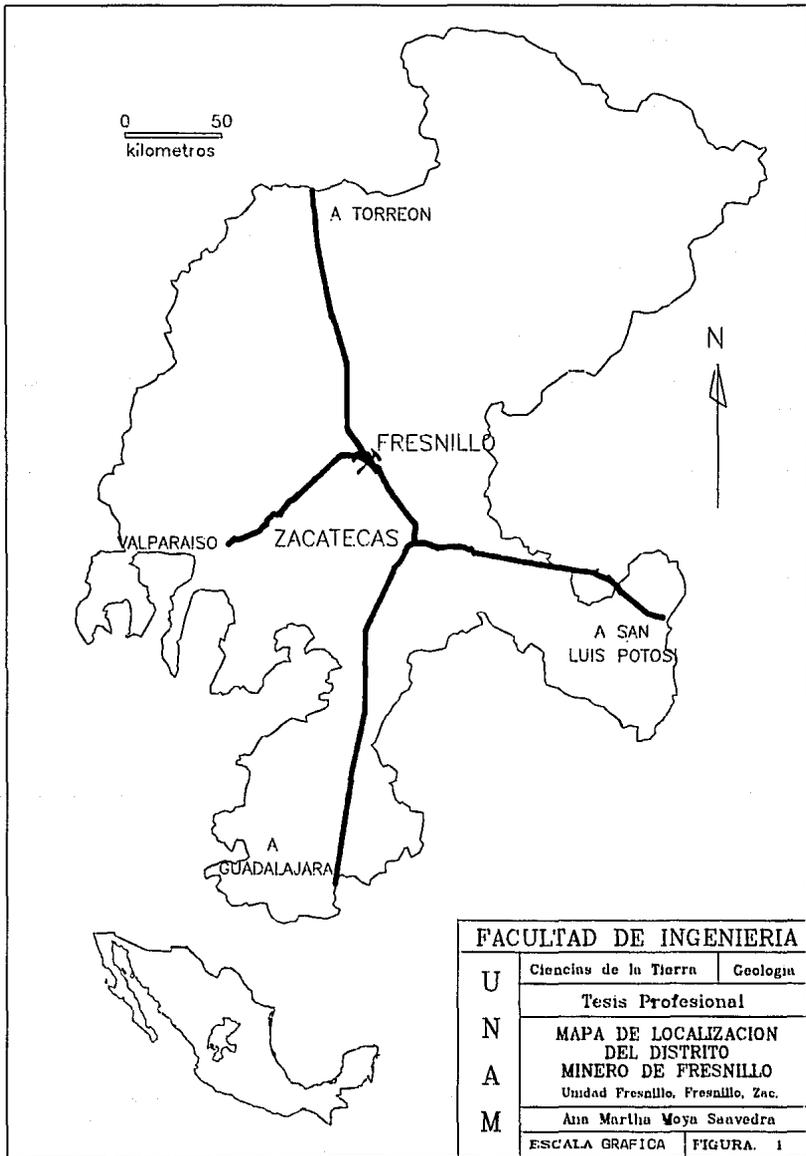
El área que abarca el Distrito, es de aproximadamente 132 km<sup>2</sup>, los cuales se encuentran alrededor del Cerro Proaño, lugar donde se iniciaron las labores mineras. Las coordenadas geográficas son: 23° 10' 29" Latitud Norte y 102° 52' 39" Longitud Oeste. Su elevación media sobre el nivel del mar es de 2,200 m (Figura 1).

#### III.2.- Historia.

En el año de 1546, fue fundada la Ciudad de Zacatecas, al pie del Cerro de La Bufa, por cuatro soldados españoles, al mando del Capitán Juan de Tolosa.

Desde los primeros años se dedicaron a la búsqueda de nuevos yacimientos en los lugares aledaños y fue así como se descubrió el Distrito Minero de Fresnillo, por Francisco de Ibarra, en el año de 1553 (Bargallo, en Robledo, 1985), y que ha sido desde entonces un importante centro productor.

Las primeras obras se desarrollaron en el Cerro Proaño, nombre que conserva en honor de su iniciador capitán Diego Fernández de Proaño, en 1554. Poco se conoce de las primeras operaciones mineras en Fresnillo; juntando varias relaciones, parece poder asegurarse que las minas estaban trabajando normalmente en el año de 1717 y que su actividad fue notable en el año de 1751 bajo el mando de un administrador español de apellido Murguía. En 1757, sin embargo, las minas fueron paradas por dificultades económicas y, sin duda, también a causa de los crecientes problemas del desagüe y así permanecieron abandonadas hasta 1830, año en que las minas pasaron a ser propiedad del Estado de



Zacatecas, por el interés que tomó el entonces gobernador Francisco García.

Bajo el entusiasta impulso del Sr. García, las minas volvieron a trabajar y la producción de plata se reanudó en 1832.

En 1835, se admitió capital inglés para hacer la instalación de las bombas "Cornish" movidas a vapor, que fueron instaladas en los dos tiros principales. El capital se usó también para construir la Gran Hacienda de Beneficio, hoy Hacienda Proaño, fundando también la Escuela Práctica de Minería (edificio que actualmente ocupa la Universidad Autónoma de Fresnillo, la Casa de la cultura y el Hospicio). La Compañía formada entonces (Cía. Zacatecano-Mexicana) trabajó con éxito hasta 1872, no pudiendo seguir adelante debido a trastornos económicos y políticos.

En 1903, una compañía americana ("The Fresnillo Mining Co."), construyó una planta de lixiviación para el tratamiento de las colas del proceso de patio, y en 1911, compró las minas y construyó una planta de cianuración para el beneficio de 500 toneladas diarias. De 1913 a 1919, mina y planta permanecieron inactivas por completo debido a la Revolución Mexicana.

En 1919, "The Fresnillo Mining Co.", rentó sus propiedades a una compañía inglesa ("The Mexican Corporation"), la cual erigió una planta de cianuración para 2200 ton y cuya capacidad se aumentó posteriormente para tratar 3000 toneladas diarias, empezando la intensa explotación en 1921 de los minerales de plata oxidados. En el año de 1929, se formó la compañía "The Fresnillo Co.", mediante la fusión de "The Fresnillo Mining Co." y "The Mexican Corporation"; esta compañía sufrió una serie de cambios y la razón social prevaleció hasta el 6 de Septiembre de 1961, en que conforme a lo estipulado en la nueva ley minera, "The Fresnillo Co." se mexicanizó y se le dió el nombre de Compañía Fresnillo S.A. de C.V. formando parte del Grupo Peñoles. Actualmente el 60% de las acciones pertenecen al Grupo Peñoles y el 40% al Grupo AMAX.

La producción actual en la mina asciende a 40,000 toneladas mensuales, con una ley promedio de 0.48 gm/ton Au, 780 gm/ton Ag, 0.33 % Pb, 0.67 % Zn y 0.03 % Cu. (Palacios, 1990).

#### IV.- FISIOGRAFIA Y GEOMORFOLOGIA.

El Distrito Minero de Fresnillo pertenece a la parte norte de la Provincia Fisiográfica de la Mesa Central colindando con la Provincia Fisiográfica de la Sierra Madre Occidental, por lo cual en el distrito se presentan características de ambas (figura 2).

Geomorfológicamente se pueden distinguir dos unidades bien definidas.

La primera corresponde al flanco sur de la Sierra Madre Occidental, localizándose en la parte SW del Distrito; presenta sierras de pendientes fuertes. Disectada por arroyos de corrientes intermitentes, que forman abundantes depósitos de talud de gran extensión. Estas sierras están constituidas principalmente de riolitas e ignimbritas terciarias.

La segunda unidad, comprendida al NW, NE y SE del Distrito, está representada por lomeríos redondados de suaves pendientes y por extensas planicies; es en ella que se localizan los afloramientos más superficiales del yacimiento, en el Cerro de Proaño. esta unidad está constituida por rocas sedimentarias e igneas del Cretácico y Terciario.

##### IV.1.- TOPOGRAFIA.

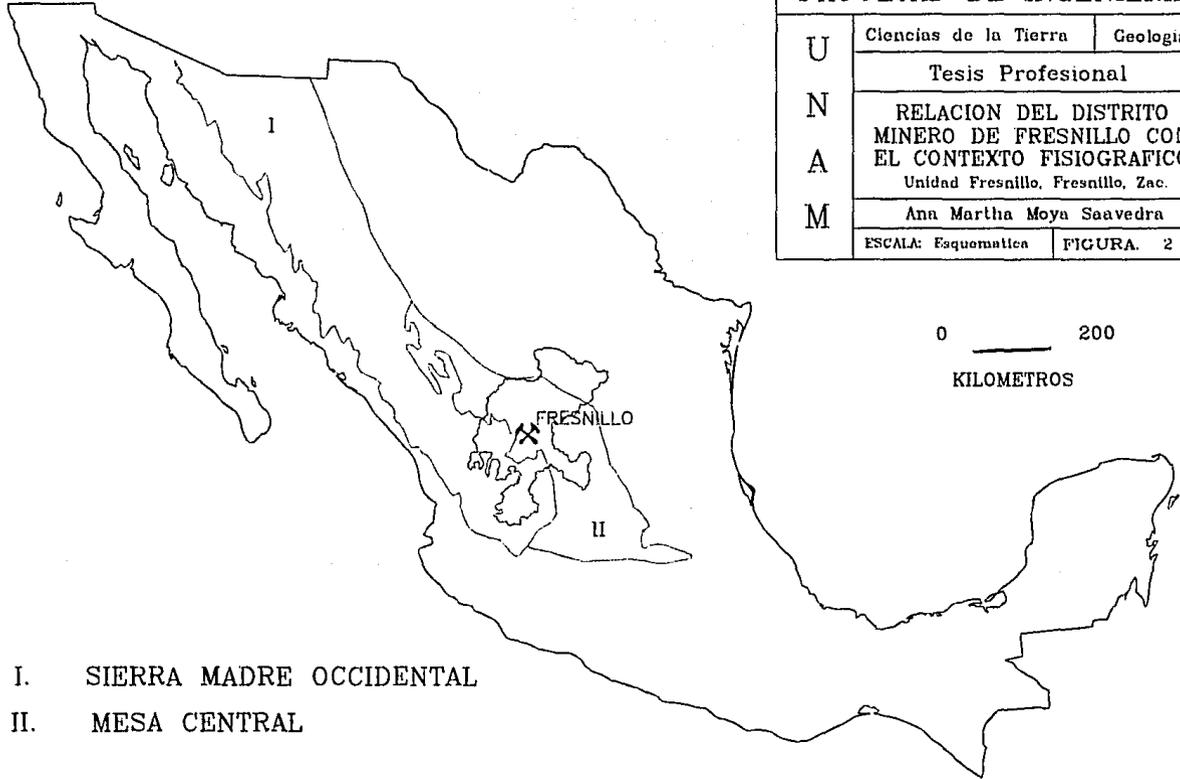
En las zonas aledañas a la unidad, las principales elevaciones que se presentan son la mesa de San Albino, con una elevación de 2,300 m.s.n.m. Constituida por derrames riolíticos del Terciario.

En la parte norte se localiza la Sierra de Fresnillo con una elevación de 2,300 a 2,350 m.s.n.m. constituida principalmente por rocas sedimentarias del Cretácico y tobas riolíticas; al SW de la sierra, está el Cerro del Xocnostle, constituido por un derrame basáltico de edad Terciaria.

Al NE y Este del Distrito se localizan la loma de Santa Ana con una elevación de 2,100 m.s.n.m. y el Cerro del Pardillo con una elevación de 2,050 m.s.n.m., constituidos por rocas piroclásticas del Terciario.

FACULTAD DE INGENIERIA

U N A M	Ciencias de la Tierra	Geología
	Tesis Profesional	
	RELACION DEL DISTRITO MINERO DE FRESNILLO CON EL CONTEXTO FISIOGRAFICO Unidad Fresnillo, Fresnillo, Zac.	
	Ana Martha Moya Saavedra	
ESCALA: Esquemática		FIGURA. 2



- I. SIERRA MADRE OCCIDENTAL
- II. MESA CENTRAL

## V. - GEOLOGIA.

### 4.1.- GEOLOGIA REGIONAL.

En el área de Fresnillo no afloran las rocas de basamento. Las cuales se encuentran a 60 km en la ciudad de Zacatecas, donde afloran esquistos sericiticos y filitas que subyacen rocas sedimentarias Triásicas con rocas verdes asociadas (De Cserna, 1976).

Las rocas más antiguas en el área de Fresnillo, son intercalaciones de grauwacas, lutitas calcáreas y lutitas denominadas Grupo Proaño del Cretácico Inferior. Esta secuencia subyace en aparente discordancia a sedimentos silíceos, andesitas y brechas andesíticas de la Formación Chilites del Cretácico Medio, sobreyacidas por calizas delgadas a medianas, que se han correlacionado con la formación Cuesta del Lura del Cretácico Superior.

La serie Mesozoica está cubierta discordantemente por rocas terciarias representadas por conglomerados continentales y rocas extrusivas ácidas (Robledo, 1989) y está cortada por un intrusivo cuarzozonóitico fechado en 38 m.a. promedio (Lang E. et al. 1988).

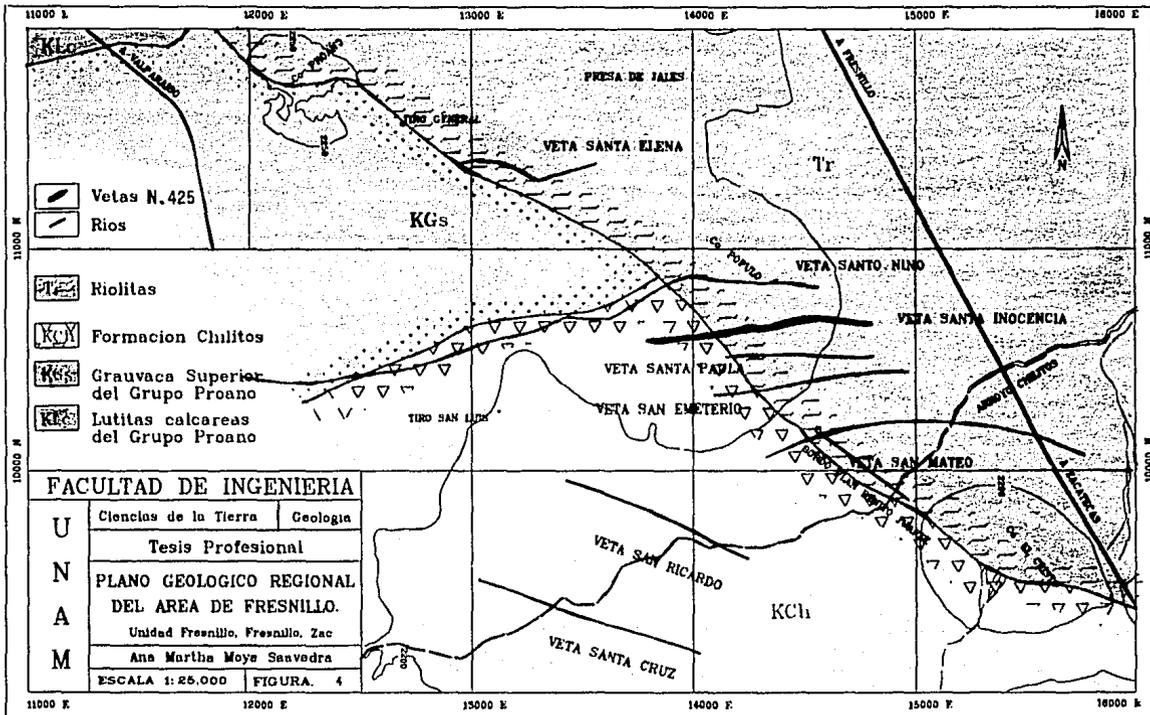
### V.2.- ESTRATIGRAFIA.

A continuación se describen las rocas expuestas en el Distrito Minero de Fresnillo, de la más antigua a la más joven. La figura 3 muestra en forma de tabla las relaciones estratigráficas en el Distrito. Para referencia cartográfica ver figura 4.

En el presente trabajo se utilizarán las palabras "Grupo" y "Formación" informalmente, para nombrar a las diferentes unidades de roca, debido a que el Código de Nomenclatura Estratigráfica establece ciertas características que no se han descrito en Fresnillo; por ejemplo: la determinación del área tipo y ubicación específica de la sección tipo, definición, límites y relaciones de los contactos (Comisión Americana de la Nomenclatura Estratigráfica, 1986).

TABLA ESTRATIGRAFICA				
ERA	PERIODO	NOMBRE LOCAL	ESPESOR ( m )	LITOLOGIA
CENOZOICO	CUATERNARIO	ALUVION	0-30	Aluvion
	TERCIARIO	CUARZOMONZONITA	15	Cuarzomonzonita
		RIOLITAS	50-100	Riolita
		Tb. RIOLITICAS	500	Tobas riolíticas
		Fin. FRESNILLO	0-300	Brechas sedimentarias
MESOZOICO	CRETACICO	Fm. C. del Cura	300	Calizas
		Fm. CHILITOS	500	Andesitas con intercalaciones de sedimentos
		GRUPO PROANO	500	Grauvaca superior
			300	Lutitas calcareas y carbonosas
			700	Grauvaca inferior

Figura 3. Tabla estratigrafica del Distrito Minero de Fresnillo, Fresnillo, Zac. (Robledo, 1985)



## MESOZOICO.

### + CRETACICO.

Grupo Proaño: Fué definido por Stone y McCarthy (en García, et.al, 1985) dividiéndolo en tres miembros: Inferior, Medio y Superior, con un espesor de más de 1,000 m se describen del más antiguo al más joven:

**GRAUVACA INFERIOR (KGi).**- Corresponde al miembro inferior del Grupo Proaño; no aflora, solamente se encuentra en las obras mineras y consiste en una secuencia de grauvasas de grano medio, color gris oscuro, con intercalaciones de lutitas calcáreas y carbonosas en estratos delgados y lentes de caliza. La parte inferior de esta unidad se desconoce, pues los barrenos y obras en la mina no han delimitado ningún contacto, por lo tanto, el espesor es desconocido aunque por las evidencias existentes supera los 700 m. El contacto superior se encuentra concordante con la unidad de lutitas calcáreas y carbonosas. Se han encontrado fósiles que han dado una edad Cretácico Temprano.

**LUTITAS CALCAREAS Y CARBONOSAS (KLC).**- Esta unidad corresponde al miembro medio del Grupo Proaño, aflora al Poniente y NW del Cerro Proaño y en el interior de la mina, consiste en lutitas laminares de color gris oscuro, de aspecto bituminoso y de color amarillento por intemperismo; presenta intercalaciones de areniscas y lentes de caliza; en las obras mineras se puede apreciar el plegamiento y deformación de estas lutitas. Los contactos de esta unidad en superficie, aparentemente nos definen una estructura de un anticlinal con su eje longitudinal orientado hacia el NW. El contacto de esta unidad con la grauvaca superior, se conoce por medio de las obras mineras en los niveles 270, 425 y 695. El espesor máximo de esta unidad es del orden de los 300 m.

No existe discordancia de las lutitas calcáreas y carbonosas con la grauvaca inferior que subyace, ni con la grauvaca superior que la sobreyace. La edad de esta unidad es Cretácico Inferior Tardío.

**GRAUVACA SUPERIOR (KGS).**- Corresponde al Miembro Superior del Grupo Proaño, aflora en la parte SW del Cerro Proaño y en el interior de la mina; está constituida por

areniscas de grano fino a medio, color gris claro a gris oscuro, con tintes verdosos; el color de intemperismo es café rojizo a amarillento. En superficie los datos de estratificación tienen un rumbo general de N 70°E, con echados de 52° a 80° al SE; el espesor estimado para esta unidad es de aproximadamente 500 m. Sobreyace concordantemente a las lutitas calcáreas y carbonosas, y con la unidad sobreyacente (Formación Chilitos), aparentemente no hay discordancia. Su edad es Valangiano con base en radiolarios (Dávila, 1983).

**FORMACION CHILITOS (KCh).** - Esta Formación está expuesta a lo largo del arroyo de Chilitos al Sur de Fresnillo, litológicamente se identifican rocas volcánicas como: andesitas, aglomerados andesíticos, con intercalaciones de limolitas, areniscas y lentes de margas, calizas y lutitas. Las andesitas de color gris oscuro a verde claro con tintes café rojizos presentan estructuras de lavas almohadilladas ("Pillow-lavas") de textura porfídica. Los minerales visibles son plagioclasas y algunos ferromagnesianos, con vesículas rellenas de cuarzo, calcita y calcedonia; en general se presentan cloritizadas y a veces silicificadas.

La Formación Chilitos al parecer descansa concordantemente sobre la Granvaca Superior del Grupo Proaño; esto puede observarse tanto en las obras mineras como en superficie. Hacia el área de los cerros del Pópulo y del Cristo, esta formación está cubierta discordantemente por tobas riolíticas del Terciario. El espesor es aproximadamente de 500 m determinado por obra minera y por barrenación.

## CENOZOICO.

**BRECHA SEDIMENTARIA (Tbs) (Formación Fresnillo).** - Aflora en superficie en los cerros del Pópulo y Proaño, está expuesta en diferentes niveles de la mina; consiste de fragmentos de roca que alcanzan los 6 cm y son de calizas, lutitas calcáreas y areniscas; son en su mayoría angulosos a subangulosos. Los fragmentos de roca son en orden de abundancia: limolita, pedernal y arenisca arcésica.

El contacto inferior de esta unidad, es por discordancia angular con las rocas cretácicas del Grupo Proaño y con la formación Chilitos, en tanto que sobreyaciéndola en posición normal, se encuentran tobas riolíticas; el espesor de la brecha varía de 0 a 300 m. Se la considera como de edad Eoceno Tardío - Oligoceno Temprano.

**TOBAS RIOLITICAS (Ttr).**- Constituyen una potente unidad que se presenta ampliamente expuesta en el Distrito, principalmente al SE de Fresnillo, Zac. Se han diferenciado hasta cuatro tipos de rocas con base en características texturales distintivas y son: Ignimbritas, brecha volcánica, tobas riolíticas y toba lítica. Con base en las dataciones radiométricas de K-Ar, su edad es Oligoceno y se sitúa en los 29.1 m.a. (Lang, et.al., 1988).

**RIOLITAS (TR).**- Los mejores afloramientos están expuestos al SE del Distrito. Estas rocas están constituidas por fenocristales de cuarzo, biotita y feldespatos contenidos en una matriz afanítica; presenta textura fluidal, así como abundante calcedonia en forma coloforme y drusas; se presentan también algunas alternancias de vitrófiros. El espesor de estas rocas varía de 50 a 100 m. La edad radiométrica K-Ar varió de 27.7 a 27.4 m.a. (Lang, op.cit.).

**CUARZOMONZONITA (Tczm).**- Aflora a 150 m al SW del Tiro Fortuna, consiste en una roca intrusiva de composición cuarzomonzonítica; su comportamiento estructural es de un dique con potencia aproximadamente de 15 m con rumbo aproximado de N 50°W y generalmente vertical; su textura es porfídica con fenocristales de cuarzo y feldespatos alterados en una matriz afanítica; el color de intemperismo es café amarillento a verdoso. Este cuerpo está bien delimitado en el interior de la mina en el área Fortuna y se encuentra intrusionando a las unidades de grauvaca inferior y lutitas calcáreas y carbonosas. La edad de la intrusión fue determinada por el método K-Ar y varía de 32.2 a 33.5 m.a., es decir, que la edad de la intrusión se considera del Oligoceno (Lang, op.cit.).

**CONGLOMERADO Y ALUVION (Qal).**- El espesor varía de 0 a 30 m, y está constituido principalmente por fragmentos volcánicos.

## VI.- YACIMIENTOS MINERALES

### VI.1.- TIPOS DE YACIMIENTOS MINERALES.

Existen dos sistemas de alineamiento en las principales estructuras del Distrito Minero de Fresnillo y son: NW-SE y E-W. Los cuerpos minerales que se han explotado son: Yacimientos de tipo Stockwork, Diseminados, Mantos, Chimeneas y Vetas.

#### + STOCKWORK :

El "Stockwork" o criadero en masa, se localiza en el Cerro Proaño, ocupa un área de 700 m de largo por 200 m de ancho y ha sido minado con el sistema Glory Hole hasta una profundidad de 100 m de la superficie, emplazados en la Graueca Superior.

La forma de estos cuerpos es muy irregular, por lo general adoptan la forma de embudos alargados a lo largo de una estructura principal.

La mineralización primaria de estos cuerpos, consiste principalmente de cuarzo, pirita y minerales de plata no identificados, con poca esfalerita y galena. Los minerales oxidados contuvieron plata nativa y cerargirita; una buena guía mineralógica es la alteración argílica y el manganeso, pues mientras más persistente sea su presencia, mayor es la ley de plata y oro.

#### + DISEMINADOS :

Los cuerpos diseminados se encuentran en la parte central de la mina y están íntimamente relacionados con vetas, reemplazando capas favorables pertenecientes al Grupo Proaño.

El reemplazamiento se observa en las capas de lutitas calcáreas, las cuales forman un anticlinorio, existiendo mayor favorabilidad en las crestas de los pliegues, formando cuerpos de diseminados cuya ley es más rica cerca de las vetas y disminuye a medida que se aleja de éstas; presenta además en los extremos, una aureola piritica para pasar posteriormente a una alteración propilitica.

Este tipo de yacimiento se encuentra encajonado dentro del miembro medio del Grupo Proaño. Las vetas que se relacionan con estos diseminados son: Cueva Santa, Espíritu Santo, Providencia y San Pascual.

Los minerales más comunes en estos cuerpos son: esfalerita, galena, pirita, arsenopirita, calcopirita, pirrotita, tenantita y tetraedrita.

#### + MANTOS Y CHIMENERS :

Los yacimientos tipo mantos y chimeneas se encuentran restringidos hacia la parte noroeste de la mina de Fresnillo y a una profundidad de 800 a 1,100 m aproximadamente, en un área denominada "Fortuna". Estas estructuras están encajonadas dentro del miembro inferior del Grupo Proaño. Están íntimamente relacionadas con un cuerpo intrusivo de composición cuarzomonzonítico, ya que los mencionados cuerpos, mineralizados se alojan alrededor de dicho intrusivo.

La alteración asociada es skarnificación rica en fierro de alta temperatura.

Los mantos descubiertos a la fecha son: Manto Inferior, Manto Superior, Manto 3060, Mantos 2939 y 3004.

Los sulfuros de los mantos son masivos y se encuentran comúnmente en cuerpos estratificados, los cuales siguen los horizontes lutíticos reemplazándolos en su mayor parte; los sulfuros en orden de abundancia son: marmatita, pirita, galena, pirrotita, calcopirita, argentita, arsenopirita, tetraedrita, magnetita, motildita y pavonita. La ganga está compuesta de axinita, cuarzo, calcita, hedembergita, clorita, epidota, siderita y material carbonáceo.

Las Chimeneas son cuerpos tubulares en posición inclinada o vertical, que nacen del alto de algún manto, preferentemente cercanas al cuerpo intrusivo, ya que se piensa que dicha intrusión preparó el terreno deformándolo y brechándolo para que posteriormente se emplazaran dichas estructuras. Las chimeneas hasta la fecha identificadas son: 2907, 2912 y 2990.

La mineralización de las chimeneas es similar a la de los mantos, aunque éstas son más ricas principalmente en plata. Los minerales de ganga son: cuarzo, axinita, epidota, calcita, clorita y hedembergita.

## + VETAS :

Operativamente las vetas se han dividido en dos áreas: Proaño y San Luis.

### AREA PROAÑO :

Estas vetas fueron las que dieron origen y vida a este Distrito; los primeros lugares de explotación fueron las vetas que afloran en el Cerro Proaño, posteriormente se fueron ampliando las exploraciones y se descubrieron más de 100 vetas sobre la parte central del área. Actualmente esta zona está abandonada y sólo quedan pequeños pilares.

El rumbo general de este sistema fue NW-SE, con buzamiento al SW, las principales vetas que dieron auge al Distrito fueron: Veta Cueva Santa, 2137, Plomosas, 2200, San Pascual, Providencia, 2630, 1600, 2270, etc.

La Veta Cueva Santa fue la de mayor extensión encontrándose en superficie y se exploró hasta el nivel 1015 con valores económicos, su mayor longitud la tuvo en el nivel 425, con más de 1150 m de desarrollo vertical.

En esta área se han descrito dos grupos de vetas de acuerdo a su mineralogía, clasificándolas como: vetas de sulfuros livianos a las formadas principalmente por cuarzo, pirita, plata, oro y bajos valores de plomo, zinc y cobre; Vetas de sulfuros pesados formadas por altos valores de plomo, zinc, cobre y bajos en cuarzo y pirita.

### AREA SAN LUIS :

Actualmente en el Distrito Minero de Fresnillo, el área con mayor potencial de reservas económicas es el Área San Luis (Ver Fig.3). Las vetas desarrolladas hasta ahora son: Santa Elena, Santo Niño, San Ricardo, Santa Inocencia, San Emeterio y Santa Cruz; y se conocen por medio de barrenación las vetas Santa Paula, San Emeterio y San Mateo.

El Área San Luis se encuentra ubicada aproximadamente a 1.5 km al SE del Tiro General, abarcando una superficie de 5.5 km<sup>2</sup>. Estratigráficamente se encuentra compuesta por rocas sedimentarias del miembro Medio y Superior del Grupo Proaño,

andesitas con intercalaciones de sedimentos de grano fino de la Formación Chilitos y brecha sedimentaria de la Formación Fresalillo.

A continuación se presenta una breve descripción de las vetas de ésta área.

#### + VETA SANTO NIÑO.-

Esta veta es la más importante por su longitud y ley promedio de Ag en todo el Distrito. Tiene un rumbo general N 75° E, con variaciones locales de  $\pm 20^\circ$  y una inclinación de 60° a 80° al S, el ancho de la veta varía desde 0.1 m a más de 4 m, teniendo en promedio 2.83 m. Los minerales de ganga consisten en cuarzo, calcita y cantidades menores de clorita y arcillas. Los minerales de mena están representados por sulfuros y sulfosales principalmente pirargirita, polibasita, tetrahedrita, raramente proustita, esfalerita, galena, argentita y calcopirita.

Se tiene una producción total a la fecha de 1,475,900 ton, con una ley promedio de 0.49 gm/ton Au, 798 gm/ton Ag, 0.42 % Pb, 0.83 % Zn y 0.03 % Cu.

#### + VETA SANTA INOCENCIA.-

La Veta Santa Inocencia es un desprendimiento al alto de Veta Santo Niño, el hallazgo de esta estructura se efectuó en el mes de octubre de 1984, durante el desarrollo de la Veta Santo Niño en el nivel 425.

Esta estructura tiene un rumbo general N 75° E, con echado de 70° con variantes de  $\pm 10^\circ$  al NW y se encuentra encajonada principalmente en la Formación Chilitos. El ancho promedio de esta estructura es de 2.84 m, y su mineralogía es bastante similar a la de la Veta Santo Niño. La textura es principalmente bandeada, sobre todo en los niveles superiores y se encuentra estructuralmente controlada por una falla al bajo de ésta.

Se tiene una producción a la fecha de 196,940 ton, con una ley de 0.23 gm/ton Au, 470 gm/ton Ag, 0.33 % Pb, 0.68 % Zn y 0.02 % Cu.

#### + VETA SANTA ELENA.-

Fue descubierta y se comenzó a desarrollar en el año de 1977. Se puede definir como una veta de rumbo E-W con un echado de 65° al S, con un espesor promedio de 2.06 m, constituida por cuarzo blanco, amatista, lechoso y ahumado, de textura típica de relleno de cavidades en la que los minerales ocurren como bandas crustiformes, diseminaciones, reemplazando fragmentos de brecha y en algunas ocasiones en formas cristalinas dentro de drusas.

Actualmente la producción de esta veta ha sido de 302,8691 ton, con una ley promedio de 0.22 gm/ton Au, 460 gm/ton Ag, 0.22 % Pb, 0.42 % Zn y 0.01 % Cu.

En 1983, se descubrió un ramal al alto de la Veta Santa Elena, estructuralmente muy irregular debido a sus adelgazamientos y ensanchamientos y por sus flexuras a lo largo de su rumbo, caracterizada además por estar constituida por cuarzo ahumado y amatista.

La producción de los ramales de la Veta Santa Elena a la fecha es de 47,041 ton, con una ley de 0.13 gm/ton Au, 407 gm/ton Ag, 0.19 % Pb, 0.37 % Zn y 0.02 % Cu.

#### + VETA SAN RICARDO.-

La Veta San Ricardo es una estructura que se encuentra alojada en una brecha de falla de rumbo N 75° W, con buzamiento de 75° al norte. Es una de las vetas de mayor espesor ya que cuenta con un ancho promedio de 2.73 m. La mineralización se extiende verticalmente desde el Nivel 165 al Nivel 425. La veta está encajonada en una alternancia de andesitas y sedimentos de la Formación Chilitos y su potencia es independiente del tipo de rocas.

A la fecha se tiene una producción total de 64,210 ton, con una ley promedio de 0.34 gm/ton Au, 654 gm/ton Ag, 0.44 % Pb, 0.86 % Zn y 0.03 % Cu.

#### + VETA SAN EMETERIO.-

Situada a 50 m al Norte de la Veta San Ricardo, es la veta menos mineralizada en el área; presenta un rumbo variable de NW 80°SE a NE 60°SW. Se ha desarrollado en sólo

dos niveles y muestra un ancho promedio de 1.02 m con una ley de 0.46 gm/ton Au, 275 gm/ton Ag, 0.4 % Pb, 0.7 % Zn y 0.03 % Cu. A la fecha se tiene una producción del mineral desarrollado de 20,258 ton.

#### + VETAS SANTA PAULA Y SAN MATEO.-

Estas vetas se conocen únicamente por barrenación.

### VI.2.- MINERALOGIA Y PARAGENESIS.

Los minerales de mena de las vetas son intercrecimientos complejos de sulfuros de metales base de grano fino y sulfosales de plata. Los sulfuros y los sulfosales identificados por orden de abundancia son:

Pirita (2 generaciones), esfalerita, galena, pirargirita, polibasita, calcopirita, arsenopirita (2 generaciones), tetrahedrita, argentita, estefanita, marcasita, proustita, antimonipearsita, pirrotita y polibasita de selenio.

Estos minerales ocurren en bandas crustiformes, bandeamiento grueso, diseminaciones, digitaciones, reemplazamiento de fragmentos de brecha y matriz de brecha. Las fracturas oxidadas contienen limonita, hematita, óxidos de manganeso, malaquita, azurita y plata nativa.

Los minerales de ganga incluyen varios tipos de cuarzo y calcedonia, calcita, clorita y varios tipos de arcilla (montmorillonita, caolinita, laminaciones de clorita-esmectita y cantidades traza de illita y sericita). El depósito de minerales se divide en 4 fases paragenéticas:

- 1.- Pirita y arsenopirita
- 2.- Sulfuros de metales básicos, pirita y arsenopirita
- 3.- Sulfosales de plata y sulfuros y
- 4.- Sulfuros supergénicos y óxidos.

	ETAPA I	ETAPA II	ETAPA III	ETAPA IV
Pirita I	—	—		
Arsenopirita I	—	—		
Pirita II	—	—	—	—
Arsenopirita II	—	—	—	—
Estalerita	—	—	—	—
Galena	—	—	—	—
Calcopirita	Granos — — — — Inclusion — —	—	—	—
Pirrotita	—			
Tetraedrita	—	—	—	
Pirargirita	—	—	—	—
Proustita				—
Polibasita	—	—	—	—
Estefanita	—		—	—
Acantita	—		—	—
Plata nativa	—	—	—	
Marcasita	—		—	
Hematita	—		—	
Cuarzo	—	—	—	—
Clorita	—	—	—	—
Calcita	—	—	—	—

Figura 5. Secuencia paragenetica de deposito para la Veta Santo Nino, (Gemmell, et.al. 1988). Distrito Minero de Fresnillo, Fresnillo, Zac

La similitud de las secuencias paragenéticas en las etapas 1, 2 y 3 indican que los principales pulsos mineralizantes evolucionaron en forma similar. La cuarta etapa representa un cambio en las condiciones físico-químicas de las soluciones mineralizantes. (Simmons, 1986), (Figura 5).

### VI.3.- ZONEAMIENTO MINERAL.

La pirita, argentita, marcasita y hematita, son más abundantes en los niveles superiores de las vetas. La esfalerita, polibasita y plata nativa son más abundantes en los niveles intermedios, pero la pirrotita como inclusión en esfalerita, galena, calcopirita granular, arsenopirita y pirargirita tienden a concentrarse en los niveles inferiores.

La distribución de la tetrahedrita es errática, pero siguiendo la ocurrencia de granos de calcopirita. La estefanita ocurre en cantidades traza a través de la extensión vertical de las vetas. La pirargirita comúnmente se asocia con la pirita en los niveles superiores y con esfalerita y en menor grado con galena en los niveles inferiores.

### VI.4.- ALTERACIONES (Rovalcaba y Thompson, 1988).

Los principales tipos de alteración que se presentan en las vetas son los siguientes:

**Propilitica.**- Este tipo de alteración es el más extendido en el área, y consiste esencialmente de calcita, epidota y clorita, así como cantidades variables de pirita y menores de montmorillonita y caolinita dependiendo de la intensidad de la alteración y de la composición de la roca encajonante.

Cuando los otros tipos de alteraciones no se presentan, las rocas propilitizadas se encuentran adyacentes a las vetas, mientras que cuando existen otros tipos de alteración, la propilitización se encuentra alejada hasta 4 m de la estructura.

Las brechas volcánicas andesíticas de la Formación Chilitos, responden más ampliamente a la alteración durante la formación de los minerales que los sedimentos superiores del Grupo Proaño. La alteración deutérica de las rocas andesíticas es menor y hay un pronunciado incremento de asociación de

minerales propilíticos en los lugares donde las vetas se encuentran encajonadas en la andesita.

Las texturas originales de la roca se conservan en la andesita con fenocristales relictos de augita, hornblenda y plagioclasas. Las plagioclasas son reemplazadas por epidota y calcita, mientras que los minerales ferromagnesianos son reemplazados por clorita, epidota y magnetita. La esfena accesoria, apatita y zircón aparecen relativamente sin alteración.

Las lutitas del Grupo Proaño no muestran alteración propilítica en los lugares donde es cortada por vetas ricas en plata, mientras que las areniscas inmaduras muestran moderada propilitización.

**+ Argílica.**- Este tipo de alteración consiste de caolinita y montmorillonita, cantidades variables de pirita, menores de hallosoycita, sericita, clorita y epidota.

La clorita y la epidota son estables en la zona argílica. Los límites entre la zona argílica interior y la zona filica se seleccionan arbitrariamente donde la sericita o la illita han reemplazado más del 50% de los feldespatos potásicos de la roca. El espesor de la zona argílica varía desde 0.05 a 10 m de ancho.

La alteración argílica en las brechas volcánicas andesíticas es perceptible debido a la decoloración. La caolinita es el mineral arcilloso más abundante, se encuentra reemplazando a las plagioclasas, mientras que la presencia de la montmorillonita depende de la asociación propilítica de los minerales ferromagnesianos. La alteración argílica afecta no sólo a la andesita, sino también a la grauvaca y a las lutitas de Grupo Proaño.

**+ Filica .-** El principal arreglo incluye sericita y pirita, con cantidades menores de illita, caolinita y montmorillonita. Este tipo de alteración es más característico en rocas con relativa abundancia de feldespatos potásicos, como en las grauvas del Grupo Proaño.

## VII.- MODELO CONCEPTUAL DE LA GENESIS DEL DISTRITO MINERO DE FRESNILLO.

El modelo se conceptualiza como un sistema hidrotermal con circulación de fluidos saturados en sílice, en el cual fueron inyectadas soluciones salinas metalíferas. En este sistema, los fluidos evolucionan a partir de aguas meteóricas profundas en convección, mientras que los flujos salinos evolucionan a partir de una fuente magmática profunda, la inyección de soluciones salinas metalíferas fue provocada por el fracturamiento causado, debido a movimientos del cuerpo magmático subyacente: las vetas brecha registran este evento.

Cuando las soluciones salinas entran en los conductos recientemente formados desplazan cualquier fluido preexistente y semejan un régimen hidrodinámico controlado por la presión.

En la fisura "Santo Niño" el intervalo de temperaturas de 250 a 200 grados centígrados fue muy favorable para la depositación rápida de sulfuros de Ag, Pb y Zn, en respuesta a la pérdida de gas y al consecuente incremento del Ph debido a la ebullición. Cuando los pulsos magmáticos disminuyeron, las soluciones preexistentes entraron nuevamente a los conductos y llenaron los huecos remanentes con cuarzo y calcita. Este ciclo de eventos se repitió por lo menos 3 veces, la cuarta etapa de depósito de calcita marca el término de los eventos formadores de mena y significa un cambio de la fuente y la composición química de los fluidos hidrotermales. (Simmons et.al., 1988).

## VIII.- VETA SANTA INOCENCIA.

### VIII.1.- ANTECEDENTES.

Para el año de 1971 la Compañía Fresnillo, pasaba por graves problemas debido a la falta de reservas de mineral, decidiéndose a hacer contratos con otras empresas para realizar diversos estudios en el área, los cuales fracasaron.

Posteriormente, el personal del Departamento de Geología de la misma empresa, estudió más a detalle las áreas Oriente y Sur Oriente de la mina, donde anteriormente se habían cortado por medio de barrenación a diamante unos hilillos angostos con valores anómalos de plata, lo que hizo a esta zona de mayor interés.

En el año de 1974 se programó una serie de barrenos de diamante que no cortaron mineralización económica, por lo que se dió una segunda serie de barrenos, teniéndose seis intersecciones, todas ellas de alta ley de plata, que cubrían una longitud a rumbo de veta de 160 m, lo que indicó que se trataba de una veta de importancia, dicha veta lleva el nombre de Veta Santo Niño, la cual es la más importante y de mayor producción en la actualidad en el Distrito Minero de Fresnillo.

En el transcurso de la exploración del Ramal 4967 al alto de la Veta Santo Niño, se descubrió otra estructura que nace aproximadamente en el nivel 425, con buzamiento contrario al de la Veta Santo Niño, dicha estructura lleva el nombre de Veta Santa Inocencia, y se desarrolló a lo largo de su rumbo aproximadamente 180 m, fue explorada del nivel 425 hacia el nivel 370 por medio del contrapozo 4910. También se realizó un programa de barrenación para conocer su ubicación en el nivel 370 y 320, así como su comportamiento, ley y potencia.

En dicho programa se dieron 4 barrenos, perforados en el nivel 370; además de 5 barrenos dados en el nivel 320, todos ellos detectaron valores económicos, por lo que fue posible reunir todos los datos aportados por la barrenación y cuantificar un potencial de reservas que arrojaron un total de 111,000 ton.

Se tenían aproximadamente 300 m de su proyección en el nivel 370 y se inició este mismo programa para el nivel 320, para posteriormente iniciar su desarrollo en ambos niveles.

A la fecha se han perforado un total de 23 barrenos, entre barrenos de mina y superficie, los desarrollos por niveles han alcanzado el orden de de los 880 m, 615 m y 610 m, en los niveles 320, 370 y 425 respectivamente.

Se tienen cubricados hasta Noviembre de 1990, un total de 272,100 ton de mineral probado y probable, con una producción total a la fecha de 138,000 ton con una ley de 0.23 gm/ton de Au, 470 gm/ton de Ag, 0.33 % de Pb, 0.68 % de Zn y 0.02 % de Cu. Dentro del mineral posible se cuantificaron 198,600 ton, con una ley promedio de 577 gr/ton de Ag.

## VII.2.- GEOLOGIA.

La veta presenta un rumbo general de N 75°E, con buzamiento de 70° con variantes de  $\pm 10^\circ$  al NW. Está controlada al bajo por una falla con material montmorillonítico y milonita, que en algunas partes alcanza espesores hasta de 1.50 m, lo que causa serios problemas en su minado.

La veta está constituida principalmente por diferentes variedades de cuarzo y calcita. Las texturas presentes son: bandeadas, brechoides y disseminaciones que son típicas de relleno de cavidades, también presenta drusas donde se encuentran varios minerales en forma cristalina.

La mineralización se encuentra en bandas de hasta 1 cm de espesor, siendo combinaciones de sulfuros y sulfosales, así como en ocasiones se presenta en forma disseminada dentro de la veta.

Santa Inocencia se caracteriza por la abundante presencia de pirita a lo largo de toda la estructura y de una textura que localmente se denomina listoneada.

La veta tiene una longitud a rumbo de 900 m y una extensión vertical de 230 m, aproximadamente.

En el nivel 320 se conoce a lo largo de 880 m, aproximadamente, presentando anchos que van desde 1.20 a 4.70 m. En los niveles 370 y 425 se ha desarrollado por una longitud de 615 y 610 m, respectivamente, con anchos que varían de 1.70 a 4.20 m.

Presenta además, fallas transversales con movimientos importantes, que desplazan horizontalmente a la veta hasta 3 m. Existe también un fracturamiento a rumbo que causa problemas en el minado, debido a la inestabilidad.

La veta se encuentra encajonada en su mayor parte dentro de las andesitas de la Formación Chilitos, en el nivel 270 se aloja dentro de horizontes sedimentarios de la misma formación. Las andesitas muestran un color verde olivo, debido a la propilitización, en ocasiones están brochadas. En algunas partes se distingue una textura amigdaloides. Los minerales visibles son plagioclasas y algunos ferromagnesianos, se presentan vesículas rellenas de cuarzo, calcita y calcedonia, a esto se debe que se observe la textura amigdaloides.

Particularmente en Santa Inocencia se encuentran fragmentos de roca sedimentaria, a pesar de que en los respaldos se tienen rocas andesíticas, aparentemente esto se debe al arrastre de los fragmentos.

Los principales tipos de alteración que se presentan en la Veta Santa Inocencia son propilitica, argílica y filica.

### VIII.3.- MINERALOGIA.

Los minerales presentes en la veta "Santa Inocencia" se describen a continuación:

Pirita ( $FeS_2$ ):- Es uno de los minerales que se encuentran en mayor abundancia dentro de la veta, su ocurrencia es en forma diseminada tanto en la veta como en la roca encajonante, también se presenta en forma masiva asociada con los minerales de mena, en ocasiones se encuentra en forma cristalina asociada con pirargirita dentro de drusas de calcita y cuarzo.

Esfalerita ( $Zn,Fe$ ) S:- Se encuentra en finos hilillos dentro de la veta así como en los respaldos de ésta, también en forma diseminada en el cuarzo, otra de sus ocurrencias es en angostas bandas que bordean fragmentos de cuarzo y calcita, se asocia con galena, pirargirita y pirita. Raramente se presenta en forma cristalina.

Galena ( $PbS$ ):- Se presenta en forma semejante a la esfalerita, se puede observar en hilillos alternados con esfalerita y en agregados finos asociada a la plata, en ocasiones se presenta en pequeños cristales.

Pirargirita ( $Ag_3 Sb S_3$ ):- Es el mineral de plata más importante que se encuentra en la veta, se le puede observar en hilillos finos dentro del cuarzo y la calcita, en forma diseminada, su forma cristalina se encuentra dentro de drusas

asociada a la polibasita; en ocasiones se presenta en cristales prismáticos bien formados.

Polibasita (Ag, Cu)<sub>16</sub> Sb<sub>2</sub> S<sub>11</sub>.- Sólo se le ha encontrado en forma cristalina dentro de drusas asociada a pirargirita y cuarzo, los cristales que presenta son de forma plana.

Calcopirita (Cu Fe S<sub>2</sub>).- Es poco común su presencia en esta veta, se encuentra asociada principalmente a pirita, ocurre en forma masiva y rellenos en drusas.

Argentita (Ag<sub>2</sub>S).- Se encuentra en pequeñas disseminaciones dentro del cuarzo y en agregados finos asociada con la galena, en ocasiones forma pequeños hilillos y manchones en el cuarzo.

Hematita (Fe<sub>2</sub> O<sub>3</sub>).- Se encuentra en pequeños hilillos dentro del cuarzo y en disseminaciones, en ocasiones se llega a confundir por su parecido y forma de presentación con la pirargirita pero ésta se distingue por su brillo más metálico.

Marcasita (Fe S<sub>2</sub>).- Ocurre en granos finos asociada a la pirita, se encuentra relleno de cavidades y en drusas de calcita.

#### VIII.4.- PARAGENESIS Y ZONEAMIENTO MINERAL.

La secuencia paragenética de la Veta Santa Inocencia no ha sido estudiada, sin embargo, sus características mineralógicas, texturales y estructurales son muy semejantes a las de la Veta Santo Niño, y por ser un desprendimiento de dicha veta, para los fines de este trabajo se considera que su evolución paragenética, zoneamiento y génesis son similares.

## IX.- COCIENTES METALICOS Y DISTRIBUCION ZONAL EN LA VETA SANTA INOCENCIA.

### IX.1.- DIFERENCIACION EN UN SISTEMA HIDROTERMAL.

Simmons (1986), propone para la Veta Santo Niño una diferenciación en las asociaciones mineralógicas para un intervalo de 400 m, demostrando una evolución mineralógica y metálica del sistema. Basados en lo anterior y en la similitud que presenta la Veta Santa Inocencia con la Veta Santo Niño, tanto en sus asociaciones mineralógicas, su distribución dentro de la estructura y en las alteraciones de la roca encajonante; se considera al yacimiento dentro del Modelo Hidrotermal de Buchanan (Buchanan en Eimon, 1988). (Figura 6).

Las soluciones salinas metalíferas durante su ascenso sufren un cambio químico debido principalmente al decrecimiento de presión y temperatura, el cual provoca el depósito de fases minerales que causan una variación en la concentración y composición del fluido mineralizante, a lo que se debe una diferenciación paulatina conforme el fluido se va acercando a superficie. Los cocientes metálicos muestran esta tendencia de diferenciación, al reflejar la concentración de un metal con respecto a otros.

### XI.2.- BASES TEORICAS DE LOS COCIENTES METALICOS.

Un cociente metálico es una proporción que existe entre elementos de diferentes condiciones de formación.

Los cocientes metálicos han sido utilizados como un método sistemático. Permite cuantificar el zoncamiento y tener un modelo específico de la distribución química y mineralógica del yacimiento que se forma por la diferenciación de las soluciones hidrotermales. Entendiéndose por diferenciación, el cambio químico progresivo de las soluciones, que resulta de la reacción con las rocas encajonantes, del gradiente de presión y temperatura, y de la formación de las fases minerales a lo largo de la ruta seguida (P. Goodell en Diaz, 1978).

En resumen, la aplicación de este método en estructuras mineralizadas ha permitido:

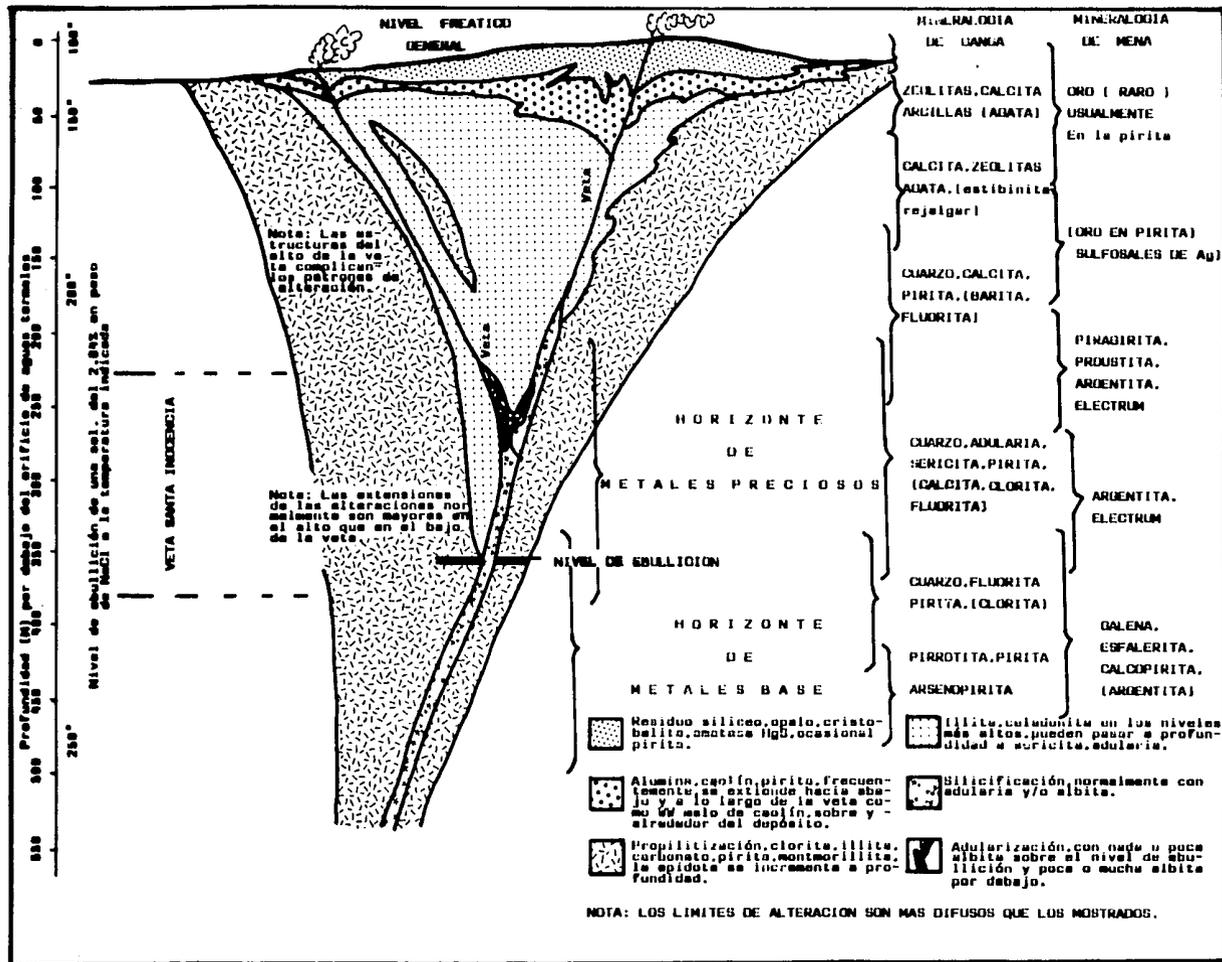


FIGURA 8.- MODELO HIDROTHERMAL DE BUCHANAN. (EIMON, 1988)

- a) Cuantificar el zoneamiento regional de la mineralización,
- b) Establecer la dirección de movimiento de las soluciones, y
- c) Correlacionar asociaciones mineralógicas en las vetas del Distrito.

Al definir los cocientes metálicos, es importante tomar en cuenta no sólo los metales como elementos aislados, sino relacionarlos con los minerales en los cuales se presentan y con la distribución de éstos dentro de la estructura.

Es importante considerar que el graficar valores elementales en proyecciones de cuerpos mineralizados, es una técnica conocida para la interpretación del patrón de zoneamiento, sin embargo, ésta es más indicativa de la distribución de clavos de mineral, que de cambios químicos en los procesos de génesis. La distribución de clavos de mineral frecuentemente se correlaciona con características estructurales como inflexiones, ensanchamientos, etc. Por su parte, el uso de cocientes metálicos puede dar una mejor caracterización cuantitativa del zoneamiento, ya que puede indicar cambios en las características químicas del material que fue depositado por las soluciones mineralizantes (Solano, 1980), sin embargo, su correlación con la distribución de altos valores económicos no siempre es válida.

Para llevar a cabo estos estudios, es necesario considerar varios factores entre los cuales uno de los más importantes es la mineralogía, pues de esa manera se podrán seleccionar los minerales que sean comunes en todas las vetas y también para discriminar entre mineralización hipogénica, supergénica y de oxidación.

En general, es importante determinar la paragénesis para darle preferencia a los elementos que corresponden a la misma etapa de mineralización, de otra manera habría traslape de concentraciones elementales, lo que dificulta grandemente la interpretación (Solano op.cit.). En el Distrito Minero de Fresnillo, las 4 etapas que se han distinguido en la veta están relacionadas con la evolución estructural. El estudio de la paragénesis revela una evolución sostenida a través de los 3 primeros períodos evolutivos (Gemell, et.al., 1988), es decir, que la evolución mineralógica se conserva como un solo sistema.

El tratamiento estadístico de las muestras en distribución log-log, revela que los cocientes de los tres elementos se

comportan como una sola población (figura 7). Por lo tanto, no se tomaron en cuenta las etapas individualmente y se consideró el sistema como un todo.

Con base en lo anterior se utilizó un denominador común para efectuar los cocientes de los 3 metales más importantes en la Veta Santa Inocencia, que son Ag, Pb y Zn.

Las fases minerales de la veta se conservan constantes tanto vertical como horizontalmente, siendo una relación importante la concentración relativa de los minerales.

En general se observa una mayor cantidad de esfalerita con respecto a la galena, presentando una relación aproximada de 2:1, tomando en cuenta esto, el denominador usado fue  $(Pb+2Zn)$  para resaltar el peso del zinc con respecto a los otros metales dentro del sistema.

La Ag, el Pb y el Zn, fueron divididos entre un denominador común, con el objeto de estandarizar el parámetro de comparación para ver la evolución de los metales en el sistema con respecto a una misma variable.

Los cocientes están basados en el muestreo sistemático (cada 2 m) que se maneja en la mina.

#### XI.4.- DISCUSION DE ISOVALORES Y COCIENTES.

##### a).- Isovalores y Cocientes de Ag.

En el plano de isovalores se observan dos zonas de alta concentración de Ag, la primera está relacionada al contacto con la Veta Santo Niño y la segunda aparentemente controlada por la elevación.

El sistema hidrotermal es un sistema estructuralmente controlado, ya sea que se acepte la idea de una preparación estructural previa, es decir fracturamiento preexistente, o de un fracturamiento controlado por un sistema de esfuerzos particular, en el cual la presión hidráulica genera los espacios necesarios (Simmons, et.al., 1988). En los sitios en que la propagación de fuerzas es rápida se generan flexiones, desprendimientos, lazos cimoides, en los cuales tienden a depositarse más rápido concentraciones mayores de minerales, lo cual forma clavos económicos, como es el caso

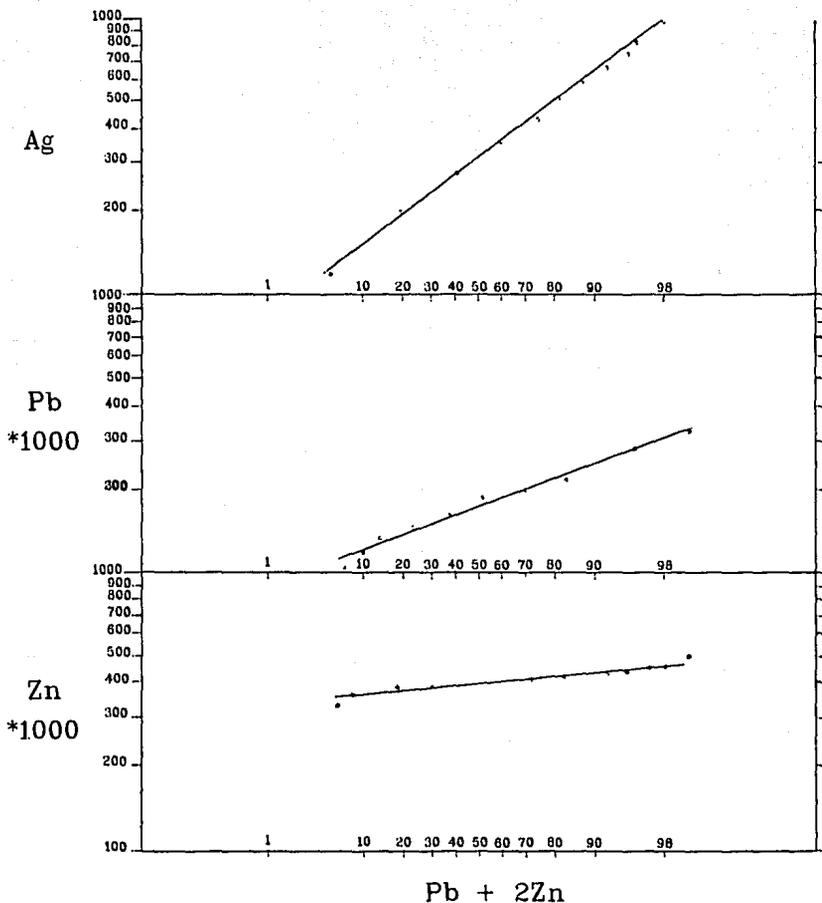


Figura 7. Comportamiento estadístico log-log de las muestras agrupadas. Mina fresnillo, Fresnillo, Zac.

de la primera zona de valores altos de plata, que se relaciona con un desprendimiento.

Mientras que la primera zona está controlada por un régimen estructural; la segunda, está controlada por la diferenciación química normal en el sistema, es decir que los valores altos de metales preciosos se concentran en los niveles superiores (Eimon, 1988). (Figura 6).

Los cocientes metálicos de  $(Ag/(Pb+2Zn))$  evidencian la diferenciación del sistema, pues se observa un zoneamiento vertical, donde el sistema se enriquece en plata con respecto al plomo y el zinc, al avanzar los fluidos hacia la superficie.

Comparando los planos de isovalores de Ag, con el de sus cocientes (figuras 8 y 9), la primera zona de altos valores no tiene ninguna correlación con la evolución química de las soluciones, ya que a pesar de la alta ley que presenta, las relaciones de concentración permanecieron constantes.

Considerando a la Veta Santa Inocencia como un sistema individual, en el plano de cocientes de Ag, se observa que el zoneamiento corresponde con un cambio en la composición química del fluido.

#### b).- Isovalores y cocientes de Pb y Zn.

En los planos de isovalores de Pb y Zn (figuras 10 y 11), se observa: 1) Un zoneamiento vertical, en el cual, tanto el Pb como el Zn aumentan a profundidad; 2) Para ambos elementos se distinguen hacia el Este, 3 clavos que aproximadamente coinciden.

En el plano de cocientes de  $(Pb/(Pb+2Zn))$  (figura 12), se ve un enriquecimiento de plomo con respecto al zinc cerca del contacto con la Veta Santo Niño y un empobrecimiento tanto vertical ya que disminuye hacia los niveles superiores, como lateral decreciendo su concentración hacia el Este.

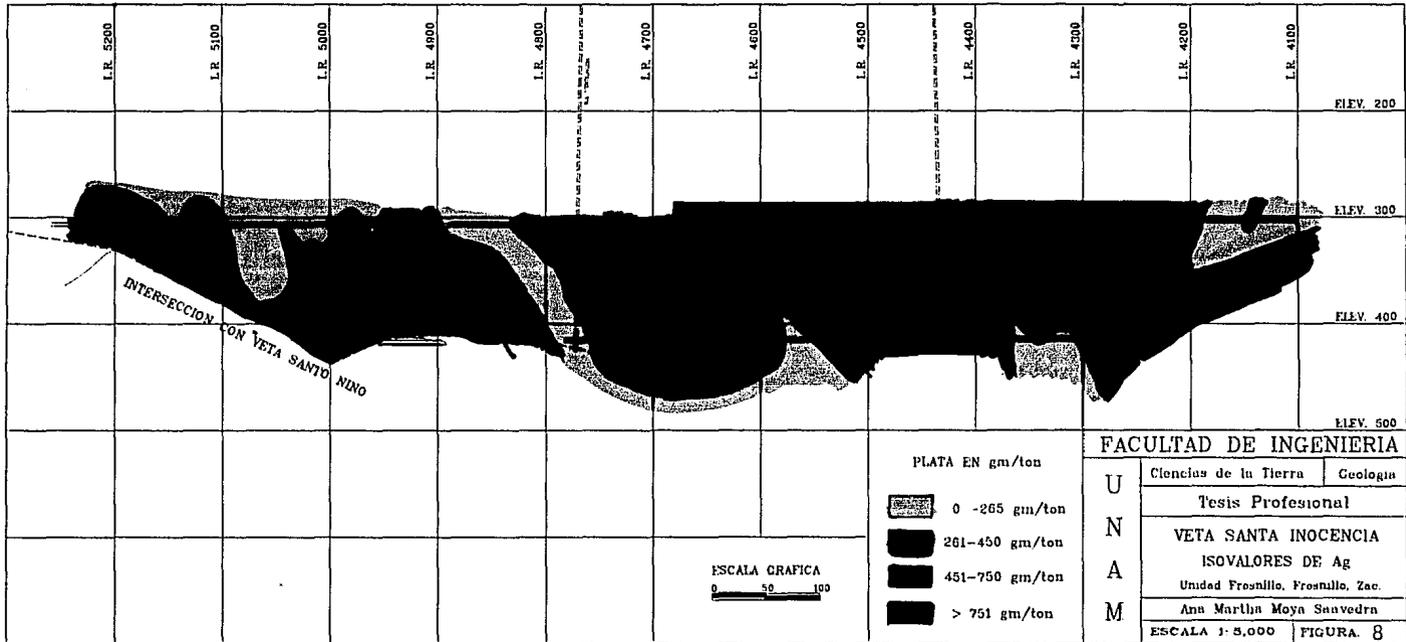
En el plano de cocientes de  $(Zn/(Pb+2Zn))$  (Figura 13), la concentración de zinc, muestra un comportamiento opuesto a la del plomo, ya que éste se incrementa hacia el Este. El zoneamiento vertical en el plano no está muy bien definido.

A pesar de que la correlación entre valores altos de Pb y Zn es positiva, sus concentraciones relativas guardan una relación inversa, es decir que a mayor concentración de zinc, disminuye proporcionalmente la presencia del plomo, esto

evidencia la diferenciación lateral en la composición de los depósitos.

Relacionando los cocientes de Ag, Pb y Zn, se interpreta que efectivamente la mineralización está determinada por la diferenciación química de las soluciones, presentando un zonedamiento tanto vertical como horizontal en la evolución de la Veta Santa Inocencia.

Basados en las observaciones anteriores y en los rangos de temperatura (170 ° - 260 ° C) obtenidos en inclusiones fluidas por Simmons (1988) para la Veta Santo Niño y considerando la similitud de la Veta Santa Inocencia con ésta, podemos situar a ésta última estructura dentro del modelo de Buchanan en la zona de bonanza, lo cual se encuentra resaltado en la figura 6.



I.R. 5200

I.R. 5100

I.R. 5000

I.R. 4900

I.R. 4800

I.R. 4700

I.R. 4600

I.R. 4500

I.R. 4400

I.R. 4300

I.R. 4200

I.R. 4100

ELEV. 200

ELEV. 300

ELEV. 400

ELEV. 500

INTERSECCION CON VETA SANTO NINO

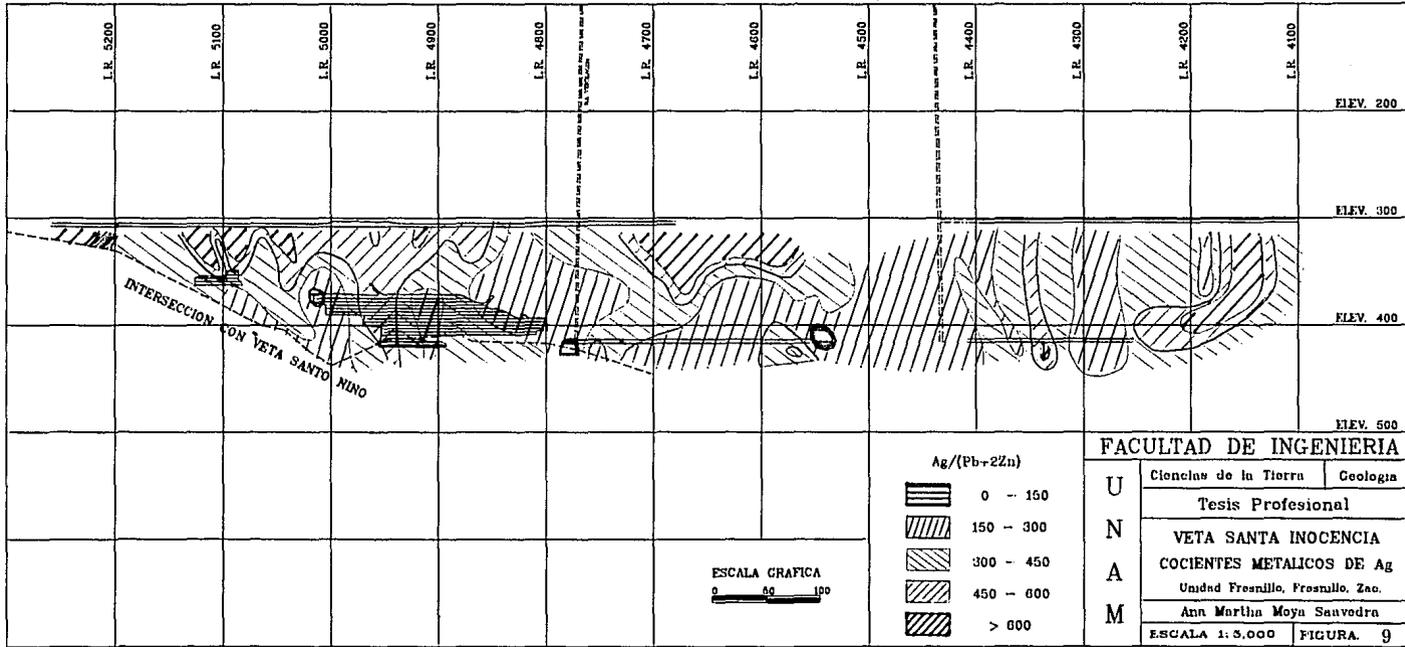
PLATA EN gm/ton

-  0 -265 gm/ton
-  261-450 gm/ton
-  451-750 gm/ton
-  > 751 gm/ton

ESCALA GRAFICA  


**FACULTAD DE INGENIERIA**

U N A M	Ciencias de la Tierra	Geologia
	Tesis Profesional	
	VETA SANTA INOCENCIA	
	ISOVALORES DE Ag	
	Unidad Fresnillo, Fresnillo, Zac.	
Ana Martha Moya Saavedra		
ESCALA 1:5,000		FIGURA. 8



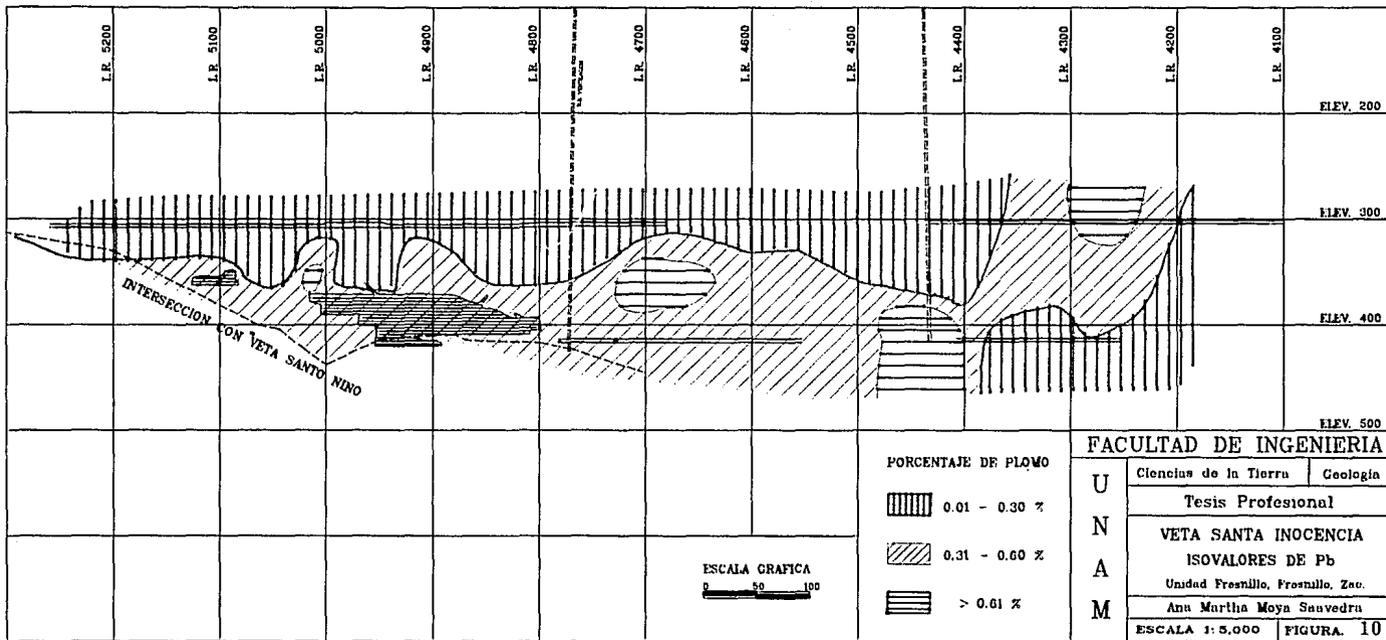
FACULTAD DE INGENIERIA

<p>U N A M</p>	Ciencias de la Tierra	Geología
	Tesis Profesional	
	VETA SANTA INOCENCIA	
	COCIENTES METALICOS DE Ag	
	Unidad Fresnillo, Fresnillo, Zac.	
Ana Martha Moya Saavedra		
ESCALA 1:5,000		FIGURA 9

Ag/(Pb+Zn)

[Horizontal lines]	0 - 150
[Diagonal lines /]	150 - 300
[Diagonal lines \]	300 - 450
[Cross-hatch]	450 - 600
[Dense cross-hatch]	> 600

ESCALA GRAFICA  
 0      50      100



I.R. 5200

I.R. 5100

I.R. 5000

I.R. 4900

I.R. 4800

I.R. 4700

I.R. 4600

I.R. 4500

I.R. 4400

I.R. 4300

I.R. 4200

I.R. 4100

ELEV. 200

ELEV. 300

ELEV. 400

ELEV. 500

INTERSECCION CON VETA SANTO NIÑO

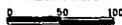
PORCENTAJE DE PLOMO

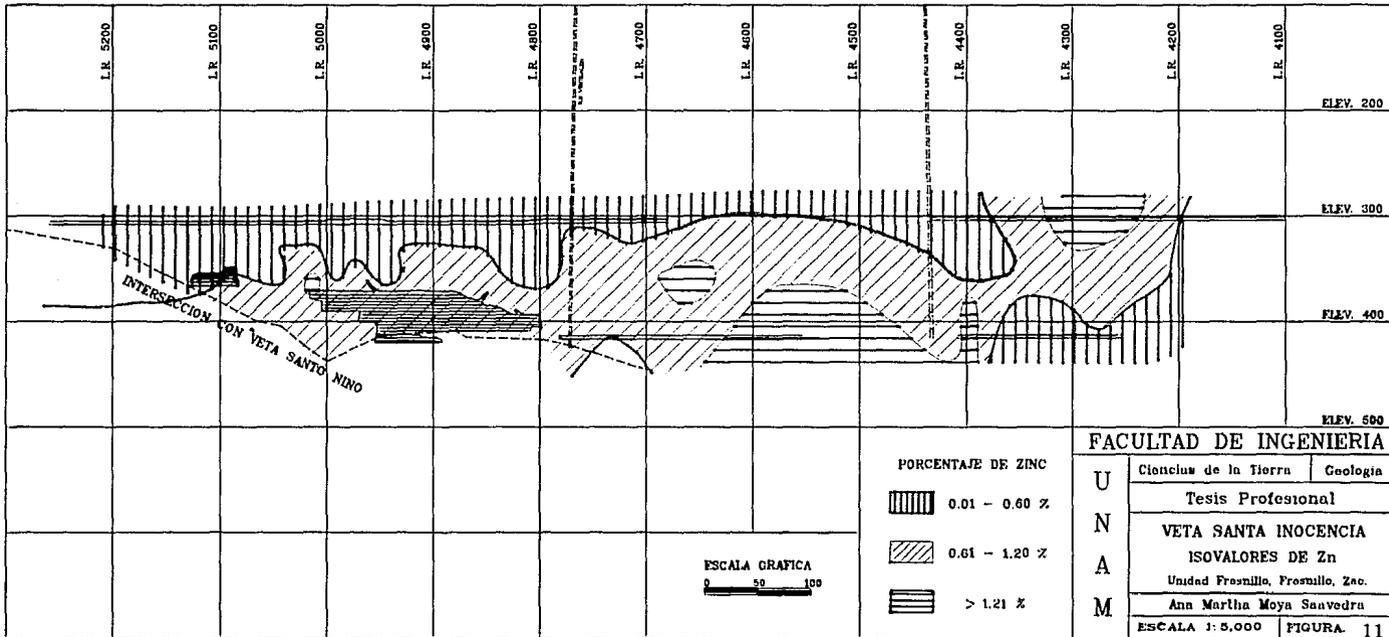
 0.01 - 0.30 %

 0.31 - 0.60 %

 > 0.61 %

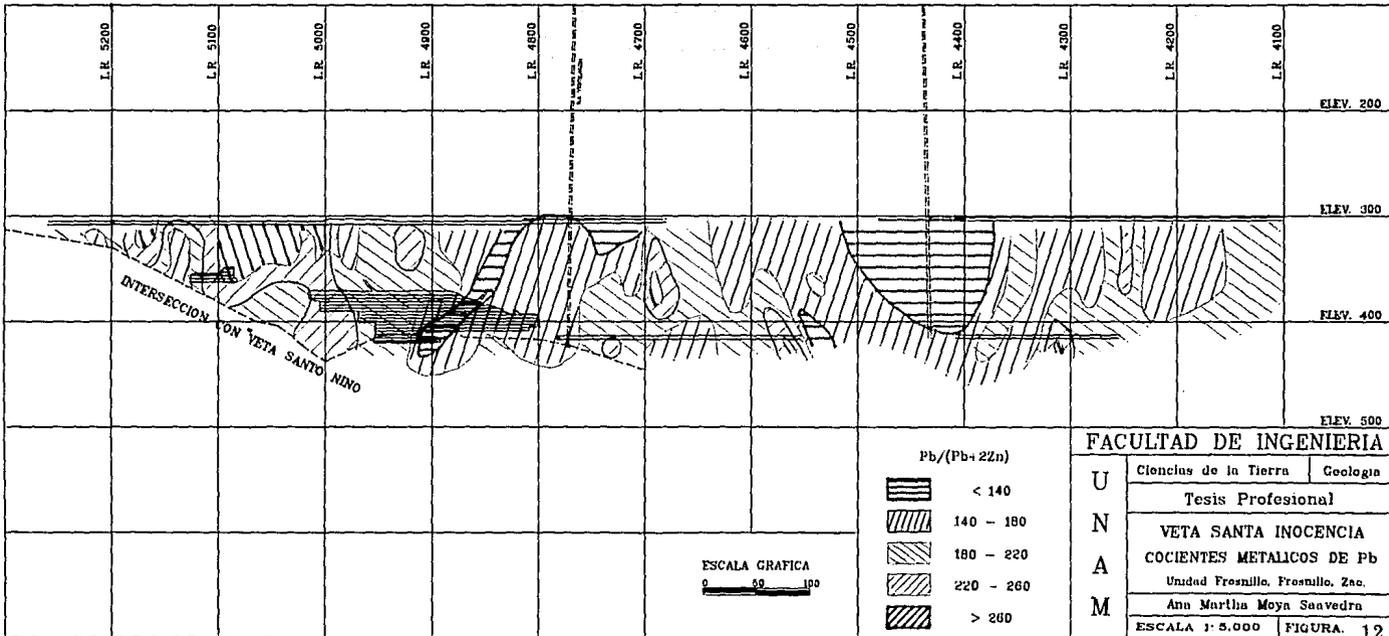
ESCALA GRAFICA





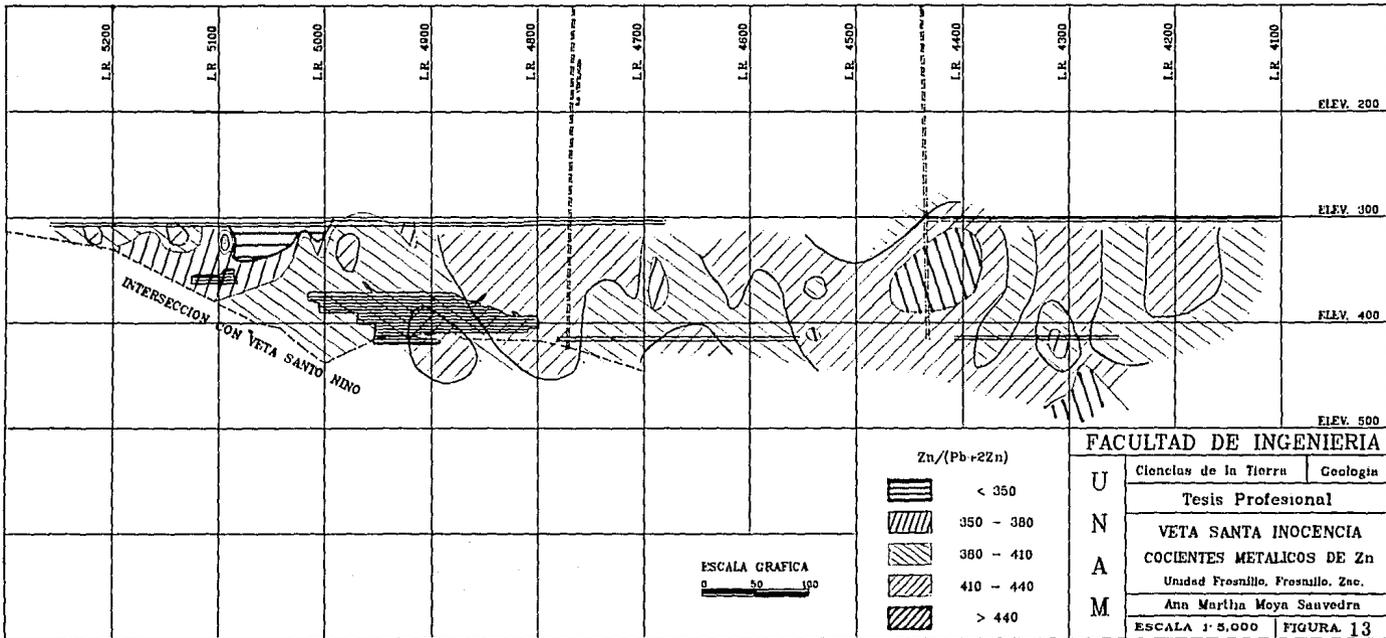
FACULTAD DE INGENIERIA

U N A M	Ciencias de la Tierra	Geología
	Tesis Profesional	
	VETA SANTA INOCENCIA	
	ISOVALORES DE Zn	
	Unidad Fresnillo, Fresnillo, Zac.	
Ann Martha Moya Saavedra		
ESCALA 1:5,000		FIGURA 11



FACULTAD DE INGENIERIA

U N A M	Ciencias de la Tierra	Geología
	Tesis Profesional	
	VETA SANTA INOCENCIA	
	COCIENTES METALICOS DE Pb	
	Unidad Fresnillo, Fresnillo, Zac.	
Ana Martha Moya Saavedra		
ESCALA 1:5.000		FIGURA. 12



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- 1.- La Veta Santa Inocencia se comporta como un yacimiento epitermal dentro del Modelo de Buchanan.
- 2.- El tratamiento estadístico de las muestras indicó que a pesar de que existieron 4 diferentes etapas de evolución estructural, la mineralización se comporta como una sola población.
- 3.- Los isovalores reflejan la composición química en un punto del sistema.
- 4.- Los isovalores reflejan clavos de mineral, pero no toman en cuenta la composición de las soluciones mineralizantes.
- 5.- Los cocientes metálicos reflejan la diferenciación química en la estructura.
- 6.- Los cocientes metálicos no reflejan las zonas económicamente ricas, sino el comportamiento metálico el sistema.
- 7.- De acuerdo al zoneamiento obtenido, la dirección del movimiento fue tanto lateral, como verticalmente ascendente, pero los elementos aportados por este trabajo no son concluyentes para especificar la ubicación de la fuente al este o al oeste; aunque con base en el sentido del zoneamiento Cu-Zn-Pb-Ag, se puede pensar en un sentido de migración ascendente de este a oeste. Aunque resulta preliminar sin el apoyo de otro tipo de análisis.
- 8.- A partir de la interpretación de los planos de cocientes se observa que a mayor presencia de Zn, menor presencia relativa de Pb y viceversa; en tanto que a mayor presencia de Ag, disminuye la concentración relativa de Pb y Zn.
- 9.- En el caso particular de los desarrollos con obra directa, es común que se suspendan cuando la estructura se angosta. Se recomienda para esta veta continuar los desarrollos hacia el este cuando se presenten estos casos, pues el sentido de migración indica el origen de estos fluidos hacia esta zona, y es muy posible que esas partes económicamente estériles puedan volver a formalizarse.

10.- Basados en barrenación realizada en la parte este de la Veta San Mateo, donde se ha encontrado mineral económico (figura 4) y en el presente estudio que establece para la Veta Santa Inocencia un sentido de migración Este-Oeste de las soluciones, se abre una zona potencialmente atractiva para exploración al oriente de la coordenada 15000 E limitada al sur por la Veta San Mateo y al norte por la probable proyección de la Veta Santo Niño.

Hasta el momento sólo se ha explorado en esta zona la posible continuidad de la Veta Santo Niño.

## B I B L I O G R A F I A

- Código de Nomenclatura Estratigráfica, 1986. Comisión Americana de Nomenclatura Estratigráfica. 4a. Edición.
- Cserna, Z., 1976. Geology of the Fresnillo, área, Zacatecas, México. Geol. Soc. Am. Bul., V.87, No.8, p.1191-1199.
- Dávila-Alcocer, U. M. 1981 (1983). Radiolarios del Cretácico Inferior de la Formación Plateros, Distrito Minero de Fresnillo, Zac. Rev. Inst. Geol. U.N.A.M., Vol.5 no.1. p. 118-120.
- Díaz-B., N., 1978. Cocientes Metálicos y Zoneamiento en Colqui. IV Congreso Peruano de Geología. Lima, Perú. Memorias 32 p.
- Eimon, P. I., 1988. Epithermal Gold silver deposits. New Mexico Institute of Mining and Technology, Socorro, New Mexico, USA. 102 p.
- García-Milán, E., Lerma-Reaza, E. y Gallas-G., L., 1985. Fresnillo. AIME, ed. Minas Mexicanas, Vol. 1, p. 75-93.
- Gemmell, J., Simmons, S.F. and Zantop, H., 1988. The Santo Niño silver-lead-zinc vein, Fresnillo District, Zacatecas, México: part I. Structure, vein stratigraphy, and mineralogy. Econ. Geol. Vol. 83, p. 1597-1618.
- Lang, B., Steinitz, G., Sawkins, F, J. and Simmons, S. F., 1980. K-Ar ages studies in the Fresnillo silver district, Zacatecas, Mexico. Econ. Geol. Vol. 83, p. 1642-1646.

- Palacios-Martínez, H.A. 1990. Inventario de mineral 1991. Informe Privado, Compañía Fresnillo, S.A. de C.V., Inédito, 55 p.
- Robledo - Martínez, A., 1985. Geología y distribución de los valores de plata en la Veta Santa Elena del Distrito Minero de Fresnillo, Zac. Tesis Profesional, I.P.N.
- Ruvalcaba-Ruiz, D. C. and Thompson, T. B., 1988. Ore deposits at the Fresnillo Mine, Zacatecas, Mexico. Econ. Geol. Vol. 83, p. 1583-1596.
- Simmons, S. F., 1986. Physico-chemical nature of the mineralizing solutions for the Santo Niño vein: Results from fluid inclusions, hydrogen, oxygen and helium studies in The Fresnillo district, Zacatecas, Mexico. Unpub. Ph.D. Thesis, Univ. of Minnesota. 204 p.
- Simmons, S. F., Gemmell, J.B. and Sawkins, F.J., 1988. The Santo Niño silver-lead-zinc vein, Fresnillo District, Zacatecas, México: part II. Physical and Chemical nature of ore-forming solutions. Econ. Geol. Vol. 83, p. 1619-1641.
- Solano-Rico, B., 1988. Muestreo, procesamiento e interpretación de datos geoquímicos. Apuntes para curso interno de Compañía Fresnillo, Inédito 105 p.