

UNIVERSIDAD DE SONORA

**DIVISION DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA.**

EXPLORACION GEOLOGICA MINERA DE LA MINA SANTA GERTRUDIS, EXPLORACION Y EXPLOTACION DEL DEPOSITO SOFIA.

**EJIDO 6 DE ENERO.
MUNICIPIO DE CUCURPE, SONORA.**

**TESIS
PARA OBTENER EL TITULO DE
GEOLOGO
PRESENTA**



**EL SABER DE MIS HIJOS
HARA MI GRANDEZA
BIBLIOTECA DE CIENCIAS
EXACTAS Y NATURALES**

JOSE CARLOS BELTRAN ENCINAS

Hermosillo Sonora

1998

**BIBLIOTECA DEPTO.
DE GEOLOGIA**

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess



NOMBRE DE LA TESIS:

**"EXPLORACION GEOLOGICA MINERA DE LA MINA
SANTA GERTRUDIS, EXPLORACION Y EXPLOTACION
DEL DEPOSITO SOFIA"**

NOMBRE DEL SUSTENTANTE:

JOSE CARLOS BELTRAN ENCINAS

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada como requerimiento parcial para obtener el Título de Geólogo en la Universidad de Sonora.

M. C. EDWIN PEREZ SANCHEZ

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada como requerimiento parcial para obtener el Título de Geólogo en la Universidad de Sonora.

ING. JAIME E. ISLAS YOPPE

El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada como requerimiento parcial para obtener el Título de Geólogo en la Universidad de Sonora.

GEOL. JUAN RAMON GONZALEZ SANTONAL



EL SABER DE MIS HIJOS
HARA MI GRANDEZA
BIBLIOTECA DE CIENCIAS
EXACTAS Y NATURALES

ATENTAMENTE
"EL SABER DE MIS HIJOS HARA MI GRANDEZA"

GEOL. JUAN JOSE PALAFOX REYES
Jefe de Departamento

AGRADECIMIENTOS.

Para la realización de este trabajo fue necesario el apoyo incondicional del equipo de exploración de Oro de Sotula de La Mina Santa Gertrudis, así como el aporte de conocimientos de mis sinodales, y demás personas que por su gran numero resulta imposible mencionarlas, pero a todos ellos les doy mis más infinitas y sinceras gracias .

Doy gracias a Dios que es el creador de todas las cosas y dedico el presente trabajo, el cual significa un paso más en mi carrera profesional y la culminación de una meta trazada desde hace mucho tiempo atrás a:

A MIS PADRES , por su paciencia y sacrificio.

A MI ESPOSA, *Araceli* por su apoyo y comprensión.

- **A MIS HIJOS**, *Sofía, Melissa y Sael*, los cuales me dieron fortaleza.
- **A MIS HERMANOS**, por su amistad y compañerismo.



EL SABER DE MIS HIJOS
HARA MI GRANDEZA
BIBLIOTECA DE CIENCIAS
EXACTAS Y NATURALES

Sinceramente

José Carlos Beltran Encinas

BIBLIOTECA DEPTO.
DE GEOLOGIA

T25



EL SABER DE MIS HIJOS
HARA MI GRANDEZA
BIBLIOTECA DE CIENCIAS
EXACTAS Y NATURALES

INDICE

Resumen

I. Introducción

I.1 Objetivo de estudio	1
I.2 Trabajos previos	1
I.3 Aspecto legal	2
I.4 Antecedentes históricos	2
I.5 Método de trabajo	3
I.5.1 Trabajo de campo	4
I.5.2 Trabajo de gabinete	5

II. Geografía

II.1 Localización Mina Santa Gertrudis	6
II.2 Acceso y vías de comunicación	6
II.3 Clima	6
II.4 Flora y fauna	7
II.5 Fisiografía y geomorfología	7

III. Geología

III.1 Geología regional de la mina Santa Gertrudis ...	8
III.1.1 Estratigrafía	8
III.1.2 Descripción litológica	10
III.2 Geología estructural	18
III.3 Alteración y mineralización	20
del la mina Santa Gertrudis	
III.4 Paragénesis	22
III.5 Geoquímica	22
III.6 Geología histórica	23
III.7 Geofísica	26

IV. Geología y explotación del depósito Sofía

IV.1 Geología del depósito Sofía	27
IV.2 Geología estructural y mineralización	28
del depósito Sofía	

BIBLIOTECA DEPTO.
DE GEOLOGIA

IV.3 Programa de barrenación del depósito Sofia	29
IV.4 Método de explotación	30
IV.4.1 Parámetros de minado.....	30
IV.5 Método de estimación de reservas geológicas...	31
IV.6 Método de beneficio	32
IV.6.1 Características importantes para utilizar el.....	33
método Lixiviación por montones	
V. Tipo de depósito	
V.1 Modelo del depósito	34
V.2 Similitud con otros depósitos	34
V.2.1 Características generales de la.....	35
mina Goldstrike	
VI. Exploración	37
VII. Conclusiones y recomendaciones	38
Referencias	40



EL SABER DE MIS HIJOS
HARA MI GRANDEZA
BIBLIOTECA DE CIENCIAS
EXACTAS Y NATURALES

BIBLIOTECA DEPTO.
DE GEOLOGIA

Resumen

El programa de exploración y explotación por oro en la mina Santa Gertrudis, es llevado a cabo por Campbell Resources con su subsidiaria en México Oro de Sotula S.A. de C.V., que es la propietaria desde julio de 1994.

El programa de exploración es muy persistente y extenso, y está enfocado básicamente al incremento de reservas minables a cielo abierto, cerca de las instalaciones de operación de la mina, en un radio aproximado de 5 km, con las características mineralógicas de los demás cuerpos encontrados y que se puedan explotar económicamente a cielo abierto. También se está llevando a cabo intensa exploración en la parte sureste de la propiedad.

El presente trabajo es el estudio geológico detallado del depósito Sofía, el cual se encuentra dentro del límite de las instalaciones de operación de mina.

El depósito Sofía se localiza en la Mina Santa Gertrudis, dentro del distrito minero del Santa Teresa, ubicado en el municipio de Cucurpe, Sonora, en terrenos pertenecientes principalmente al ejido 6 de Enero, a 250 km al noreste de la ciudad de Hermosillo Sonora y 180 km al sur-sureste de la ciudad de Tucson, Arizona.

De manera general, el depósito Sofía tiene un rumbo de NW 60° SE y un echado de 65° al SW. Este yacimiento se encuentra en rocas cretácicas, correlacionables cronoestratigráficamente con las rocas que constituyen el Grupo Bisbee, al sureste de Arizona.

El cuerpo mineral es de forma irregular y se encuentra hospedado en un miembro de la unidad K-Mural (correlacionable con la Formación Mural del Grupo Bisbee).

La unidad K-Mural, se encuentra constituida principalmente por 3 miembros:

El miembro inferior Ko consiste de calizas masivas con ostreas y es la base de esta unidad; el miembro medio Ks-Kel, que consiste en una alternancia de limolitas calcáreas, lutitas, lutitas negras carbonosas y ocasionalmente lentes de areniscas de grano fino a mediano calcáreas y caliza laminar gris con diseminación de pirita. En la parte media con espesores de hasta

8.0 metros que se ha denominado Kel. La cima de esta unidad está constituida por el miembro superior K1 que consiste en una alternancia de limolita y lutita débilmente calcárea de color gris a verde olivo; tienen espesores que varían desde 0.50 metros hasta 3.0 metros, con caliza de color gris a rosa rojizo en espesores de hasta 5.0 metros.

El miembro en donde se encuentra el depósito Sofia es denominado Ks-Kel. La zona mineralizada se encuentra delimitada al bajo por el Ko, formado por limolita calcárea de grano fino y principalmente por caliza masiva fosilífera. La parte superior del cuerpo está delimitado por caliza laminar de color gris con fuerte diseminación de piritita (Kel).

Las principales alteraciones observadas dentro del depósito Sofia, y en el distrito minero son del tipo hidrotermal consistentes en: silicificación, argilización, carbonatación, sulfurización (pirita, arsenopirita, limonita, arsenosiderita), desarrollo de anillos de "liesegang" y localmente descalcificación.

Basándose en estudios geológicos detallados, se sabe que existieron varios controles importantes para la formación del depósito Sofia:

a) Roca favorable (limolita y lutita calcárea), b) estructura NW (casi paralela a las estratos, produciendo fuerte cizallamiento), c) estructura NE (falla normal con rumbo 40° y con echado al NW), la cual al parecer sirvió de conducto a las soluciones mineralizantes, y d) intersección de la estructura noreste con roca favorable.

Las rocas que conforman la litología de la mina fueron afectadas por esfuerzos de compresión e intrusión durante la Orogenia Laramide, por fallamiento normal tipo Sierras y Valles, y por hidrotermalismo principalmente.

Al final del evento compresivo Laramide se llevó a cabo una fase extensiva, desarrollándose fallamiento normal en dos direcciones NNW y NE, y fallamiento lístrico.

Es posible que las estructuras desarrolladas durante la extensión al final de la Orogenia Laramide, hayan servido como conducto de soluciones hidrotermales mineralizantes; así como el emplazamiento de diques lamprofíricos.

Según estudios de microsonda electrónica mandados a realizar por la Compañía Minera Zapata, de varias muestras de tajos, principalmente del tajo Agua Blanca, se obtuvo la siguiente paragénesis:

El oro vino en pequeñas cantidades en una primera etapa de marcasita, acompañado por el depósito de arsenopirita. La segunda etapa de marcasita contenía más cantidad de oro, indicando mayor precipitación de oro durante el último depósito de marcasita.

Se observó que en muestras de alta ley, proveniente del tajo Agua Blanca revelaron oro nativo de un tamaño de 2 a 4 micras; por lo tanto es probable que la mayoría del oro se encuentre finamente diseminado, en ese rango de tamaño.

Para la explotación del depósito Sofía se utilizó el sistema denominado minado a cielo abierto y el mineral extraído se benefició utilizando el sistema por lixiviación en montones ("Heap Leach").



EL SABER DE MIS HIJOS
HARA MI GRANDEZA
BIBLIOTECA DE CIENCIAS
EXACTAS Y NATURALES

BIBLIOTECA DE GEOLOGIA

BIBLIOTECA DE GEOLOGIA

BIBLIOTECA DEPTO.
DE GEOLOGIA

interés (Sofía). El Depósito Sofía se descubrió en febrero de 1995 y para julio del mismo año se empezó a preparar el tajo para su explotación.

Bennett (1988) desarrolló un trabajo en el distrito titulado "A gold exploration aided mapping, remote sensing analysis, and geographic information system compilation". En este trabajo El autor utiliza el sistema de compilación de información (GIS), sensoría remota y cartografía para la exploración por oro en el distrito minero Santa Teresa.

Alba Pascoe (1995) publicó un trabajo titulado "Situación actual y perspectivas del distrito minero de Santa Gertrudis".

I.3.- Aspecto Legal.

En cuestión minera, el área de estudio se encuentra protegida por el lote con título de explotación: Agua Blanca E-321.1-9/797,T-185587, con una superficie de 350 ha, emitido por la Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal de conformidad con lo que establece la Ley Reglamentaria del Art. 27 Constitucional en Materia Minera.

I.4.- Antecedentes históricos

Historia minera de la región

La actividad minera en el área que data de fines del siglo XIX (David Gómez J. comunicación oral, 1996), se inicia con trabajos de explotación de oro de placer en las áreas del Real Viejo y San Rafael.

Posteriormente, en el siglo XX se explotaron a baja escala las minas de plata de Santa Gertrudis, La Viviana y El Espíritu. Para finales de los años 70 y principios de los 80, el Sr. Luis Colosio F. tenía la concesión de Santa Gertrudis, lo que permitió que el Sr. Ernesto Esquer Valle llevara los terreros de Santa Viviana a la

fundición de Cananea, los cuales tenían leyes de oro mayores de 5 gr/ton .

El Sr. Austreberto Ochoa encargado de transportar los terreros, fue quién tomó la iniciativa de hacer un muestreo en los afloramientos de roca en lo que hoy se conoce como Mina Amelia. Al ensayar estas muestras el Sr. Esquer tuvo la certeza (comunicación personal Ing. David Gómez) de la existencia de una yacimiento rico en oro, por lo que denunció el área llamando a los otes Amelia y Carmen.

Los trabajos periciales para proteger el área fueron encomendados al Ing. Víctor Juvera, quien al hacer un estudio del área se dió cuenta que el terreno estaba libre, por lo que procedió a denunciar, asociándose con los Sres. Agustín Albeláis, Javier Bustamante y Guillermo Salas.

En el año de 1984, el Sr. Esquer dió inicio a las operaciones para la preparación y explotación del yacimiento a pequeña escala y de forma rudimentaria. El mineral obtenido era enviado a la fundición que Phelps Dodge Co. tenía establecida en Bisbee, Arizona. Con el tiempo, Compañía Minera Zapata S. de R. L. adquirió las propiedades, las que a su vez pasaron a Oro de Sotula S.A. de C.V., en julio de 1994. Desde entonces y hasta la fecha Oro de Sotula ha producido alrededor de 175,000 onzas, con una ley de 2 gr/ton de Au. (Ver Tabla Comparativa Producción mina Goldstrike y mina Santa Gertrudis).

I.5.- Método de trabajo.-

Para fines prácticos este trabajo se ha dividido en trabajo de campo y trabajo de gabinete. A continuación se describe brevemente los principales métodos utilizados en el presente trabajo.

1.5.1 Trabajo de campo

a) *Geología superficial*

La geología superficial se realizó en dos etapas. La primera etapa fue la cartografía 1:5,000 en un área de 2 km por 2 km en el cuadrángulo denominado Agua Blanca, con el respectivo muestreo. Después de analizar los resultados obtenidos en el muestreo la cartografía 1:5,000, se seleccionó un área de 300 m de ancho por 500 m de largo, la cual fue la zona más interesante en valores de oro y geología favorable, la cual denominé “Sofía”.

La segunda etapa de cartografía consistió en el muestreo y levantamiento 1:500, apoyándose en una red de estacado de 50 m por 50 m del área “Sofía”. Este levantamiento se llevó a cabo con brújula y cinta.

b) *Zanjeo, muestreo y cartografía*

De los resultados obtenidos en la segunda etapa de cartografía y muestreo, se procedió a la elaboración de 7 zanjas con tractor de aproximadamente 4.0 m de ancho por un largo promedio de 45 m equidistantes cada 25 m con rumbo noreste. Después de la elaboración de las zanjas se procedió al muestreo de canal y mapeo de zanjas.

c) *Barrenación de diamante y circulación inversa.*

El programa de barrenación consistió de dos etapas de barrenación. La primera etapa consistió en 20 barrenos de circulación inversa haciendo un total de 1599.50 metros y tomando muestra cada 1.5 metros. La segunda etapa consistió en la perforación de 4 barrenos de diamante sumando un total de 457.80 metros, haciendo el muestreo de acuerdo a las características propias del núcleo.

d) *Descripción de los barrenos.*

Dentro del trabajo de campo también se efectuó la descripción de muestras obtenidas en la barrenación de circulación

inversa, así como la descripción del núcleo obtenido de la barrenación de diamante.

I.5.2 Trabajo de gabinete

a) Documentación

Esta etapa consistió de un análisis y una síntesis de los trabajos que pudieron obtenerse del área, así como de la recopilación de planos y fotografías con el fin de tener un panorama general previo a los trabajos de campo.

b) Elaboración de planos

En el gabinete se llevó a cabo la elaboración de planos de las diferentes etapas de exploración, así como las secciones geológicas para el apoyo en la barrenación, de los levantamientos realizados en el campo.

e) Laboratorio

A través del desarrollo de exploración superficial y por obra directa (barrenación y zanjas), se tomaron muestras para análisis químico cuantitativo, con su respectiva verificación en diferentes laboratorios. Los laboratorios utilizados tanto en exploración superficial como en barrenación fueron laboratorios particulares. El método utilizado de ensaye de las muestras obtenidas en la barrenación y de superficie fue por fusión para oro y de absorción atómica para el arsénico.

c) Cálculo de reservas

Tomando como base los resultados obtenidos en los barrenos y los resultados obtenidos en superficie y en obras directas de exploración (zanjas), se efectuó el cálculo de reservas, con el método que se detallará en el capítulo correspondiente.

II.- Geografía

II.1.-Localización de la mina Santa Gertrudis.

La mina se localiza en el noreste del estado de Sonora, aproximadamente a 80 km al sureste de Nogales, Sonora y a 250 km al noreste de Hermosillo, Sonora

Los depósitos más importantes se encuentran en terrenos del Ejido Seis de Enero, Mpio.de Cucurpe, Sonora, aproximadamente a 48 km al noreste de Magdalena de Kino, Sonora. Los principales yacimientos se encuentran orientados NW-SE, y se extienden en el cinturón sedimentario por más de 15 km de largo y 5 km de ancho.

I.1.2.- Acceso y vías de comunicación.

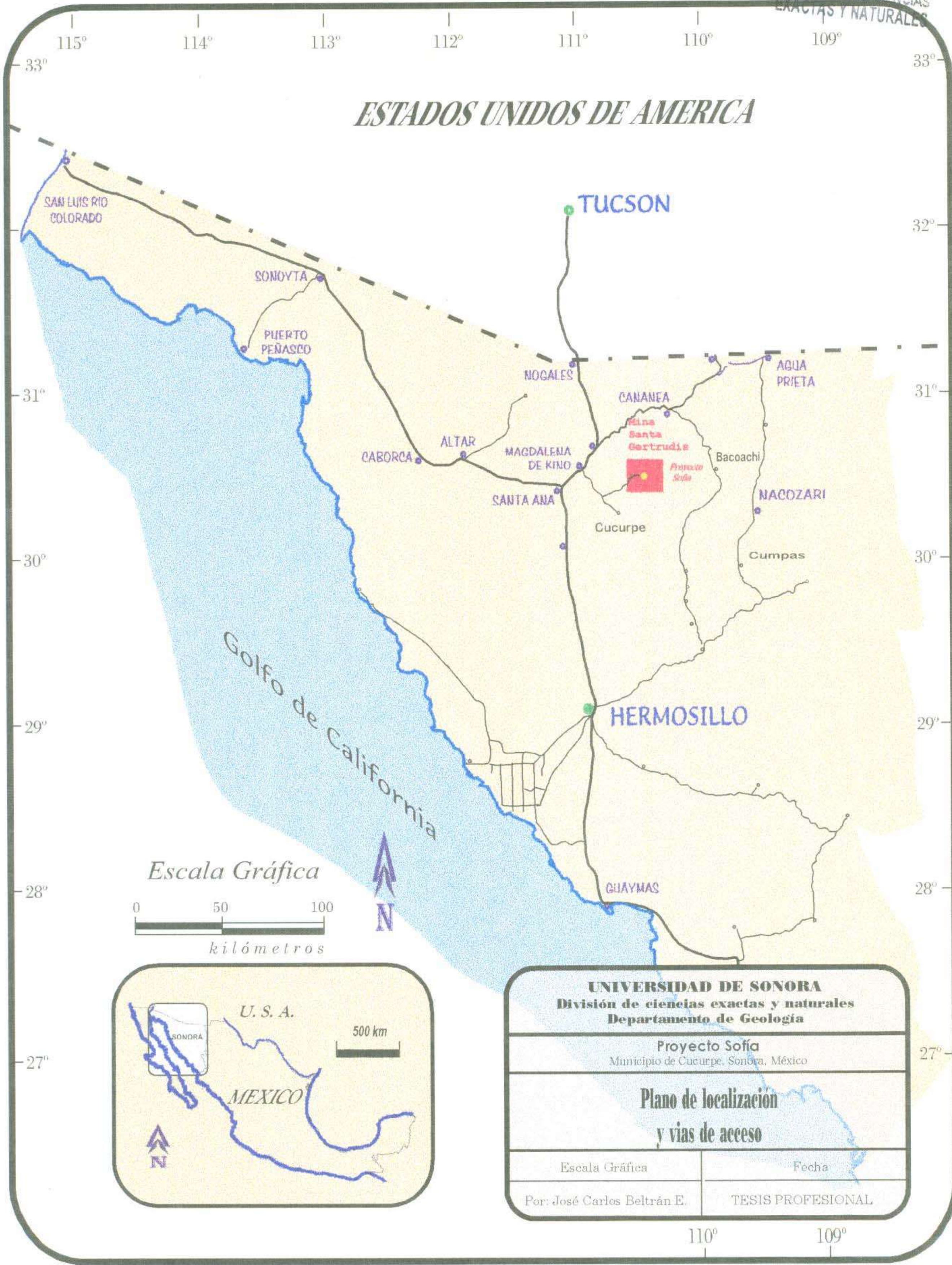
Partiendo de la Ciudad de Hermosillo Sonora, se toma la carretera federal No. 15, Hermosillo-Nogales, hasta llegar a la ciudad de Magdalena de Kino Sonora, aproximadamente 180 km. De Magdalena, se toma la carretera que conduce a Cucurpe, rumbo al sureste, y en el kilómetro 32, se toma una desviación con rumbo general noreste, pasando por los ranchos, El Carrizal, La Golondrina, El Aquituni, hasta llegar al ejido Seis de Enero, donde se encuentra la mina Santa Gertrudis aproximadamente a 39 km de la desviación mencionada. El depósito Sofía se encuentra a 2.5 km con rumbo noreste de la puerta principal. (ver Plano de Localización Y Vías de Acceso).

II.3.- Clima.

La clasificación según Köepen; es seco-semicálido (Bs1kw(x')), con lluvias en verano y en invierno, con porcentaje de precipitación invernal mayor de 10.2. La temperatura media anual es de 21.1 grados centígrados y con precipitación anual de 300 mm a 450 mm.

II.4.- Flora y fauna.

Dentro del área se presentan varios tipos de vegetación debido a las características topográficas, edáficas y climatológicas



que dan por resultado una serie de condiciones favorables para el desarrollo de diferentes comunidades de flora y fauna.

Flora

Entre las especies más importantes tenemos:

Ocotillo (*Fouquiera splendens*), Mezquite (*Prosopis glandulosa*), Uña de gato (*Mimosa laxiflora*), Agave (*Agave*, sp.), Encino (*Quercus emoryi*), Tascale (*Juniperus californica*).

Fauna

Dada a las características mencionadas con anterioridad el área se ubica entre los ecosistemas de pradera del desierto (Fauna Sonorense, Gobierno del Estado de Sonora, 1993). Entre las especies más importantes en anfibios y reptiles tenemos: Cachora (*Urosaurus ornatus*), Víbora sorda (*Pituophis melanoleucus*), Sapo (*Gastrophysa olivacea*), Coralillo (*Micruroides euryxanthus*), Víbora de cascabel (*Crótalus tigris*), las especies más importantes en aves son: Cuervo (*Corvus corax*), Halcón (*Accipiter striatus*), Ardilla de rocas (*Citellus variegatus*) y en mamíferos tenemos: Venado (*Odocoileus virginianus*), Coyote (*Canis latrans*).

II.5.-Fisiografía y Geomorfología.

El Estado de Sonora está formado por dos provincias fisiográficas, que son: Sierra Madre Occidental y Sierras y Valles. La Provincia Sierras y Valles está dividida en dos sub-provincias fisiográficas, la región más montañosa al este y la zona baja del desierto de Sonora al oeste. El límite entre estas subprovincias está aproximadamente dado por la carretera federal No. 15, Hermosillo-Nogales.

La mina Santa Gertrudis se encuentra localizada en la provincia de Sierras y Valles paralelos y dentro de la subprovincia de la región más montañosa, desarrolladas durante el evento de extensión Sierras y Valles.

Las elevaciones en la mina Santa Gertrudis van de 1,100 a 1,900 m.s.n.m.

Los cerros escarpados con pronunciadas cimas afiladas en el tope del cerro (al norte) y los lomeríos suaves, anchos y de suaves escarpes (al sur) fueron causados por la litología del área, que generalmente está compuesta por rocas sedimentarias, con un rumbo general NW 60° SE y un echado al SW de moderado a fuerte ángulo; cortadas casi perpendicularmente por fallamiento NE y NW. El efecto de la erosión ha creado cordones de rumbo NW, generalmente con escarpes suaves al SW, de los materiales más resistentes, como areniscas y calizas.

La red fluvial desemboca en el río San Miguel de Horcasitas. Los ríos San Rafael y El Palmillal son los más largos de la región.

III- Geología

III.1 Geología regional de La Mina Santa Gertrudis.

En el noroeste de México, sedimentos marinos fueron depositados durante el Cretácico Temprano. (Ver Plano de Geología Regional)

La parte central del distrito minero Santa Teresa (mina Santa Gertrudis), está formada por un cinturón sedimentario de 15 km de largo por 5 km de ancho de rocas marinas carbonatadas y rocas sedimentarias clásticas del Cretácico Temprano. Los espesores alcanzan más de 1500 metros en la columna estratigráfica y son correlacionables con el Grupo Bisbee del sureste de Arizona y noreste de Sonora.

III.1.1.-Estratigrafía.

La litología está compuesta por: Rocas sedimentarias, correlacionables con el Grupo Bisbee descritas por Ransome (1904), además de rocas ígneas terciarias tanto volcánicas como intrusivas de composición variada, depósitos del Cuaternario de pie de monte y aluvión (Ver Columna Litoestratigráfica de la mina Santa Gertrudis). Las rocas sedimentarias están limitadas en su exposición por rocas volcánicas al norte (Sierra Azul) al sur (Cerro La

Ventana), al este (Cerro El Cacaxtle) y al sureste por sedimentos lacustres terciarios y depósitos cuaternarios.

Tanto las rocas sedimentarias como las volcánicas fueron afectadas por los intrusivos terciarios.

Las unidades han sido divididas localmente de modo informal y se han asignado abreviaciones las cuales indican el período geológico, seguido de la litología dominante. Las abreviaciones fueron adaptadas, y en algunos modificadas, desde Waegli y Forrester (1987) y personal de Compañía Minera Zapata.

La columna estratigráfica (Ver Columna Estratigráfica) está constituida de la base a la cima por:

Mesozoico

Unidad Kcg.

Unidad Kco

Unidad Kvs (similar a la Formación Morita)

Unidad K-Mural, compuesta por Ko, Ks-Kel y Kl (similar a la Formación Mural)

Unidad Ksl (similar a la Formación Cintura)

Cenozoico

Rocas ígneas extrusivas.

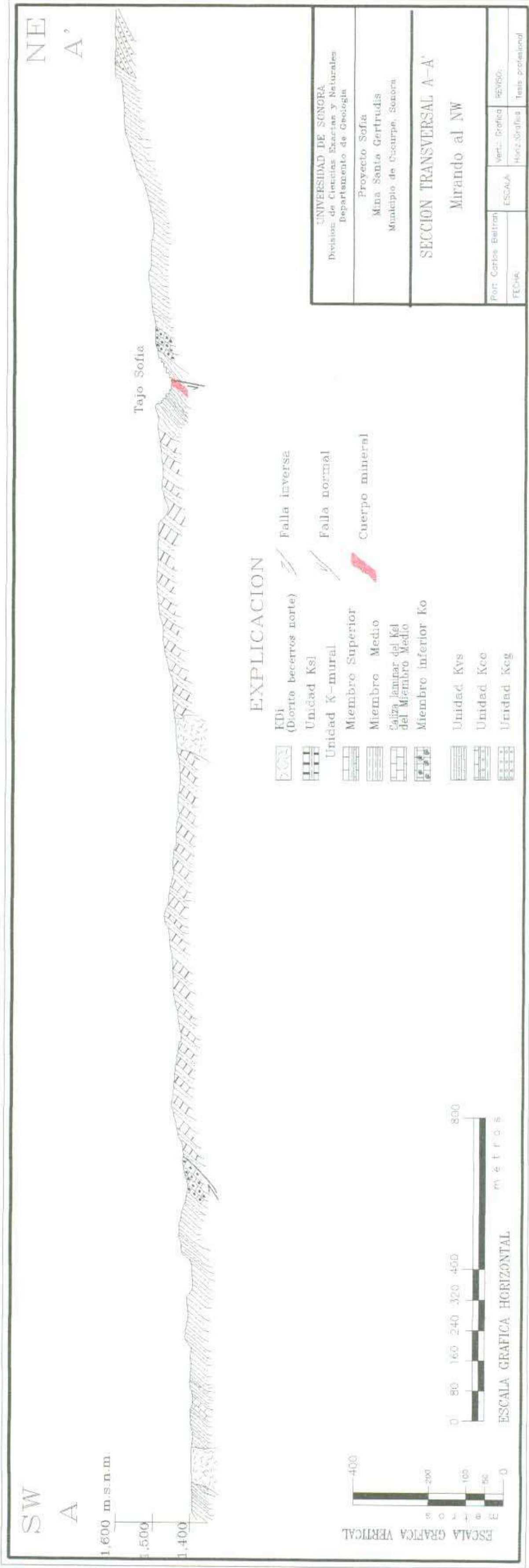
Rocas ígneas intrusivas.

Depósitos de pie de monte.

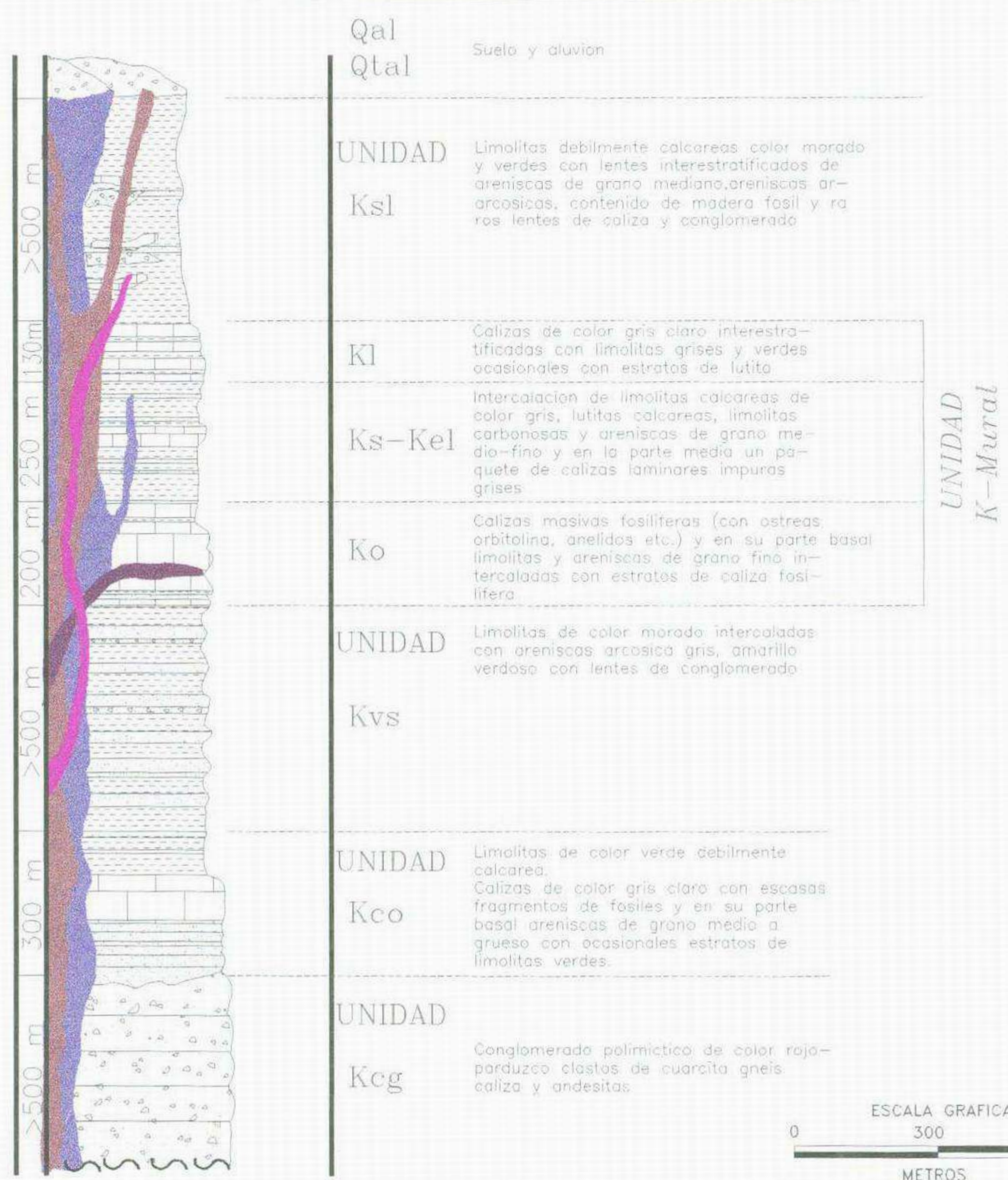
Aluvión.



SECCION TRANSVERSAL A-A'
Mirando al NW



COLUMNA LITOESTRATIGRAFICA MINA SANTA GERTRUDIS



ESCALA GRAFICA
0 300 600
METROS

UNIVERSIDAD DE SONORA Division de ciencias exactas y naturales Departamento de Geología	
MINA SANTA GERTRUDIS PROYECTO SOFIA Municipio de Cucurpe Sonora	
COLUMNA LITOESTRATIGRAFICA MINA SANTA GERTRUDIS	
ESCALA	FECHA
POR: Carlos Beltran	TESIS PROFESIONAL

III.1.2-Descripción litológica

Mesozoico

Unidad Kcg

Esta unidad se encuentra en la base de la columna estratigráfica del distrito con un espesor de más de 500 m .

Esta unidad está formada por clastos de diferentes tamaños que comprenden desde 3 mm hasta 1 m de diámetro varían de redondeados a subredondeados, de composición y origen diverso que van desde rocas intrusivas (diorita, granodiorita), rocas metamórficas (cuarcitas, gneiss), y rocas sedimentarias (limolita, arenisca, lutita, caliza, etc.); todos los clastos están cementados por material calcáreo de color verde parduzco o rojizo.

La oxidación de los minerales ricos en hierro da como resultados tonos rojizos y parduzcos, mientras que el grado de cloritización da un color verde oscuro.

La edad del conglomerado Kcg no se sabe con precisión, pero se piensa que pudiera ser de edad Cretácico Temprano (Neocomiano).

La sedimentación de esta unidad sugiere o representa una facies próxima a un abanico aluvial (Bennett, 1988).

En el distrito esta unidad ocupa la parte NE, en la falda occidental de la Cerro El Centinela y la parte norte del Cerro El Muerto.

Unidad Kco

Se encuentra en discordancia angular con la unidad Kcg. La base está constituida por arenisca de color gris rosado de grano fino a grueso, el espesor de las capas es hasta de 5 metros, cambiando gradualmente a estratos lenticulares de arenisca de color verde, de grano fino.

En la parte media de esta unidad, en contacto concordante, se observan horizontes de caliza de color gris oscuro con restos de conchas de ostreas. Hacia la parte superior existen capas de limolita, de color gris verdoso con espesor de hasta 40 m .

El ambiente de depósito de esta unidad obedece a una primera transgresión (González-León y Jacques-Ayala, 1988) y que ocurrió al menos al principio del Aptiano.

Es posible observar esta unidad en las estribaciones de la sierra El Centinela y en el cerro El Muerto, en este lugar se localiza el proyecto "La Trinidad", propiedad de Oro de Sotula S.A. de C.V.

Unidad Kvs.

Esta unidad es similar a la Formación Morita del Grupo Bisbee. Está formada por rocas vulconosedimentarias de un característico color morado oscuro, intercalada con estratos lenticulares de arenisca de grano medio a grueso, que ocasionalmente llega a ser conglomerática y arenisca arcósica; varían de verde a café; su espesor alcanza hasta los 400 metros.

Las capas varían en espesor desde 10 centímetros a 50 metros, como se observa al sur de la propiedad, en el Cerro Los Pinos Cuates.

Esta unidad representa una facies transicional de un ambiente no marino a uno marino. Los sedimentos fueron depositados cerca de los márgenes de un mar transgresivo en un delta aluvial (Schafroth, 1986).

Esta formación es de posible edad Aptiano (Schafroth, 1968, Hayes, 1970)

Unidad K-Mural

Esta unidad es similar a la Formación Mural del Grupo Bisbee; se encuentra en contacto concordante y sobreyaciendo a la unidad Kvs (similar a la Formación Morita).

BIBLIOTECA DEPTO
DE GEOLOGIA

Representa el tiempo de máxima transgresión durante el Aptiano-Albiano (113 millones de años). Dentro del distrito minero Santa Gertrudis alcanza un espesor de hasta 500 metros. Está constituida por tres miembros cartografiables:

Miembro Inferior, (Ko)

Miembro Medio (Ks-Kel)

Miembro Superior (Kl)

Son variables en cuanto a espesor y composición. Este paquete de rocas sedimentarias cretácicas sugiere numerosos cambios de facies, esto es indicativo de una cuenca marina somera, con rápida sedimentación y constituye el evento más importante de transgresión.

Miembro Inferior (Ko).

Este miembro está compuesto de limolitas calcáreas de color verde a gris en la base, y de calizas grises fosilíferas, con gran cantidad de ostreas y orbitolinas, en la cima de esta unidad.

Este miembro tiene espesores de 25 a 55 metros y contiene gran cantidad de ostreas (*Exogyra* sp., Mckee, 1991), así como conchas de almejas, corales, rudistas, orbitolinas y huellas de anélidos. Aunque se sabe que los anélidos, equinoides y ostreas pueden vivir en aguas claras a moderadamente turbias, los corales requieren de aguas claras.

De acuerdo a Mckee (1991), un abanico deltaico puede ser el responsable de las turbiditas en aguas profundas, pero la presencia de corales (Bennett, 1988) sugiere un ambiente más somero con rápida sedimentación y aguas moderadamente claras.

Miembro Medio (Ks-Kel).

La parte media de la unidad K-Mural es asignada al Ks. Varía de 50 a 300 metros de espesor.

Aunque el miembro Ks está formado principalmente por limolita calcárea de color verde a gris, también son abundantes la limolita carbonosa negra y la arenisca arcósica de grano fino a medio. La limolita carbonosa contiene zonas de disseminación

abundante de cristales de pirita, hasta de 1 cm de largo. Debido al metamorfismo regional, esta limolita carbonosa localmente llega a convertirse en pizarra.

Unas calizas delgadas impuras, referidas al Kel, forman un estrato fuertemente distintivo en el centro del Ks.

El Kel tiene espesores que van de 0 hasta 10 m y contiene capas laminares de calizas de 1 cm a 10 cm de espesor. Algunos fragmentos de fósiles no identificados son comunes en el Kel.

Dentro del Ks varios fragmentos de equinoideos indican ambientes marinos de aguas someras.

Miembro Superior (Kl)

La parte superior de la unidad K-Mural es asignada al miembro Kl. Aunque interestratificado con limolitas y menor cantidad lutitas, este miembro es dominado por calizas masivas (0-5 m de espesor), en la cima de la unidad K-Mural.

Los espesores de este miembro varían de 75 a 150 metros. Las calizas son de color gris claro en superficie fresca y de color ante en áreas intemperizadas. Las calizas se encuentran interestratificadas con limolitas débilmente calcáreas de grano fino, que varían de gris a verde claro, hasta de 20 metros de espesor.

El espesor medio de esta sección alcanza 125 metros. Este miembro no es fosilífero, pero es posible observar ocasionalmente fragmentos de conchas de almejas y ostreas en la cima de esta unidad.

Unidad Ksl

Equivale a la Formación Cintura del Grupo Bisbee. Sobreyace a la unidad K-Mural, en contacto concordante; empero, con un cambio fuerte en color, textura y composición, representando un período de regresión.

La unidad Ksl está formada por limolitas calcáreas de color morado rojizo intercaladas con areniscas de color amarillento de grano medio, lentes de conglomerados polimícticos y raros lentes de

calizas. Las calizas son de color gris claro y afloran en forma de pequeños afloramientos muy localizados. Las limolitas y las areniscas son abundantes dentro de esta unidad.

Las areniscas son de grano medio, localmente exceden hasta espesores de 50 metros y lateralmente hasta de 10 metros y cambian a limolitas. Estos fuertes cambios de facies laterales son comunes en esta unidad.

Es frecuente encontrar dentro de esta unidad abundantes piezas de madera petrificada. Árboles petrificados hasta de 15 metros de longitud y de hasta un 1 metro de diámetro son encontrados.

Los conglomerados dentro de esta unidad son capas generalmente menores de 1.0 metro de espesor, y en algunos casos separan areniscas y limolitas y en otros casos se encuentran entre dos capas de areniscas. Esta unidad alcanza hasta 400 metros de espesor.

Cenozoico

Rocas ígneas extrusivas

Ignimbrita Cacaxtle.- Se encuentra expuesta en la parte superior del cerro del mismo nombre y en la sierra San Antonio aproximadamente a 15 km sureste de la Mina Santa Gertrudis, fuera de la propiedad de Oro de Sotula.

La Ignimbrita Cacaxtle es una toba riolítica soldada de color café, de aproximadamente 300 metros de espesor.

Se sugiere que esta secuencia fue depositada antes del evento extensivo de Sierras y Valles, pero definitivamente después del plegamiento y fallamiento inverso, asociada con la Orogenia Laramide

El Remolino.- Con este nombre se conoce a una secuencia volcánica, la cual se encuentra en la parte este del rancho del mismo nombre y aproximadamente a 17 kilómetros al sur de la mina Santa Gertrudis, fuera del área de estudio.

Esta secuencia está constituida de areniscas tobáceas de color blanco amarillento, limolitas volcánicas, aglomerado volcánico de color amarillento, en donde los fragmentos alcanzan hasta 20 cm de diámetro. Aunque no ha sido obtenida la edad de esta secuencia volcánica dentro del distrito minero, se presume que puede ser de Oligeno Tardío a Mioceno Temprano. Esta edad estimada se basa en diques porfídicos de variada composición que cortan esta secuencia cerca del rancho El Batamote. Estos pórfidos (dique Becerros Sur) también se encuentran cortando al Granito Las Panochas, al cual se le ha determinado una edad de 36 m.a. con K-Ar (Bennett, 1988). El Granito Las Panochas se encuentra al sur del Rancho El Batamote.

Sierra Azul.- La Sierra Azul se encuentra a aproximadamente a 15 kilómetros al norte de la Mina Santa Gertrudis, fuera de la propiedad de Oro de Sotula.

La Sierra Azul está constituida en forma general por una secuencia volcánica de flujos andesíticos, flujos riolíticos, basaltos, tobas ácidas, así como otras rocas piroclásticas. Esta área se encuentra fuera del área de la propiedad de Oro de Sotula y fuera del área de estudio.

Rocas ígneas intrusivas

Las rocas ígneas intrusivas se encuentran distribuidas en toda el área. Ellas incluyen “stocks” de granito, diques félsicos, diques y “sills” de composición intermedia y diques porfídicos de composición félsica a máfica.

La mayoría de los intrusivos son en forma de diques con espesores menores de 2 m y limitados en su longitud. Muchos de los diques muestran una débil alteración clorítica regional y localmente fuerte alteración hidrotermal.

Diorita.

Esta roca es de color verde oscuro, con alteración propilítica; los diques de esta composición son abundantes en el distrito y principalmente en la mina Santa Gertrudis.

La diorita alterada contiene más o menos igual porcentaje (20%) de cristales de anfíboles (hornblenda), plagioclasa (andesina) y biotita. Los fenocristales que constituyen la diorita tienen una distribución irregular; su tamaño es menor a 2 mm .

La hornblenda está fuertemente fracturada, con gran cantidad de cavidades. Mientras que la biotita está alterada a clorita, las plagioclasas están alteradas a muscovita e illita.

En algunos diques alterados, delgadas vetillas de calcita están cortadas por cuarzo. Numerosos intrusivos dioríticos alterados, en forma de diques y estrato-diques, son generalmente menores de 2 m de espesor y 10 m de largo en los afloramientos, a excepción del dique cartografiado entre los tajos Becerros Norte y Becerros Sur, que tiene aproximadamente 2.5 km de largo (Ver Plano de Geología Regional).

Los diques varían en cuanto a la abundancia de la hornblenda: algunos contienen pequeños cristales de hornblenda, y otros diques contienen abundantes cristales de hornblenda de más de 3 mm de largo.

La diorita con fuerte alteración propilítica no se encuentra plegada, pero se encuentra emplazada en fracturas de fuerte ángulo y planos de estratificación.

Esto sugiere que los diques fueron emplazados después del principal evento de compresión asociado con la Orogenia Laramide. Por lo tanto, estos intrusivos fueron al parecer introducidos al final de la Orogenia Laramide, que correspondió a un evento de extensión durante Terciario medio.

Granito Las Panochas

Esta roca constituye el único “stock” que aflora dentro del distrito minero, el cual se encuentra al sur del Rancho El Batamote, a aproximadamente 12 km al sur de la Mina Santa Gertrudis. Aunque este granito se encuentra fuera del área de estudio, es importante mencionarlo por la relación de campo existente con las demás rocas y además porque se encuentra fechado.

El granito es hiperaluminoso, rico en cuarzo (20%) y muscovita (10%), además de feldespato potásico (35%). Cerca del 3% del granito está compuesto de cristales subhedrales de minerales opacos (2 mm), principalmente pirita.

La edad del granito Las Panochas es de 36.1 ± 0.9 m.a. (Eoceno) por el método radiométrico K-Ar.

Diorita rica en biotita (Lamprófido la Gloria)

Este dique contiene hasta 50% de biotita (parcialmente alterada a clorita en algunos afloramientos); también contiene plagioclasas (30%), cuarzo (5%), hornblenda (3-10%) y minerales opacos (3-10%).

Esta roca está expuesta en superficie en forma de diques y "sills" y es menos abundante que la diorita con alteración propilítica.

Estos dique-estratos han ascendido a través de fallas de fuerte ángulo y a través de planos de estratificación de las rocas.

La edad de este intrusivo es de 26.1 ± 0.7 m.a. la cual se obtuvo mediante el estudio radiométrico K-Ar de biotita (Bennett, 1988), en una muestra tomada aproximadamente a 500 m al sur del campamento La Gloria. Este dique se encuentra fuera del área de estudio. El campamento La Gloria se encuentra aproximadamente a 9 km al sureste de la mina Santa Gertrudis.

Dique Becerros Sur.

Este intrusivo está fuertemente alterado, siendo difícil de reconocer el tipo de intrusión. Se ha referido a una intrusión félsica.

El rumbo principal de este intrusivo es NE, con un echado fuerte al NW y al parecer existe una relación con la mineralización.

En superficie el dique se observa fuertemente decolorado, blanquecino, de textura sacaróide, difícil reconocer. Este dique se puede ver cortando a las rocas sedimentarias dentro del tajo Becerros Sur. También se ha observado en la cartografía a detalle de los bancos de producción, cortando a la diorita, y según Bennett (1988), este dique se encuentra intrusionando a las rocas volcánicas

terciarias del Cerro La Ventana. Por lo que sugiere ser el evento de intrusión más joven del área.

III.2 Geología Estructural

Las rocas sedimentarias cretácicas de la mina Santa Gertrudis han sido fuertemente afectadas por plegamiento, fallamiento y fuerte fracturamiento; así en su modelo de ocurrencia y afloramiento muestran un sistema de pliegues buzantes hacia el SW.

Específicamente, estas rocas muestran plegamiento, fallamiento inverso, fallas de deslizamiento e intrusión durante la Orogenia Laramide, y fallamiento del tipo de Sierras y Valles.

Los eventos tectónicos manifestados en los afloramientos del área de estudio son principalmente los siguientes, desde el más antiguo al más joven:

1.- Las rocas sedimentarias cretácicas (70-50 m.a.) (Anderson, 1997) estuvieron sujetas a un proceso de deformación compresiva durante la Orogenia Laramide (final del Cretácico-principio del Terciario) ocasionando fallamiento inverso, así como fuerte plegamiento, desarrollando un sistema de pliegues buzantes al SW. Los indicadores cinemáticos son consistentes en cuanto a que el fallamiento inverso tuvo una dirección NE, durante la compresión NE-SW. El fallamiento inverso trajo como consecuencia la repetición de unidades favorables para la mineralización.

Las capas de las rocas sirvieron como planos de deslizamiento durante el evento compresivo, y es en este intervalo de tiempo cuando se desarrollaron zonas de cizalla NNW, las cuales son importantes para la preparación de las rocas.

Ejemplos de zonas de cizalla relacionadas al fallamiento inverso se localizan en la base y en la cima de la unidad K-Mural, las cuales sirvieron de importantes conductos estratiformes permeables para fluidos hidrotermales. Esto puede observarse en las cercanías del tajo El Corral; así mismo, un fuerte plegamiento se encuentra en la pared sur del mismo tajo.

2.- Al cesar la deformación compresiva (35-25 m.a.) (Anderson,1997), inició una etapa temprana de extensión de la corteza, llevándose a cabo el desarrollo de zonas de cizalla NNW con echado al SW, y estructuras NE, reactivación de zonas de cizalla de fallamiento inverso y desarrollo de estructuras de tipo lístrico. También durante este evento se llevó a cabo la introducción de cuerpos hipabisales de composición intermedia (andesita y diorita) en forma de dique-estratos y de cuerpos más máficos como lamprófidos. Ejemplos de estas estructuras las podemos encontrar en el proyecto Emma y en el tajo El Corral.

La significación del desarrollo de estas zonas es la siguiente: Los sistemas de cizalla están asociados con fuerte alteración hidrotermal y mineralización por oro.

Es posible observar en bancos de producción del tajo El Corral una clara asociación entre zonas de alta ley de oro con zonas de cizalla N-S con un echado al W, lo cual indica una zona de extensión E-W. Estas estructuras al intersectar una unidad estratigráfica favorable desarrollan cuerpos mineralizados. En estas zonas de cizalla es posible observar diques de lamprófidos (22-26 m.a.,Bennett, 1991), sugiriendo intrusiones sintectónicas.

Es también en esta fase cuando ocurre la introducción del Granito Las Panochas (36.1 ± 0.9 m.a.) el cual se encuentra al sur del rancho El Batamote.

3.- Extensión Sierras y Valles (< 20 m.a.) (Anderson,1997). Es en esta etapa extensiva cuando se lleva a cabo el fallamiento de rumbo N-S, principalmente, de fuerte ángulo, caracterizado por zonas de hasta 3 metros de espesor de material de falla deleznable (no cohesivo), y con ligero desplazamiento.

Análisis cinemáticos sugieren una extensión. Ejemplos de estas estructuras se observan en toda la propiedad. Un buen ejemplo ocurre a lo largo del proyecto Allison y en la pared este del tajo Maribel (Anderson, 1997).

III.3 Alteración y mineralización de la mina Santa Gertrudis.

La mineralización está controlada tanto estratigráficamente como estructuralmente. Las rocas huéspedes más favorables donde se ha encontrado oro corresponden a las siguientes unidades: Kco, K-Mural (Ko, Ks-Kel y Kl), Ksl y en menor importancia en el Kvs. Todas estas unidades son típicamente calcáreas o calizas arcillosas cuando no están alteradas. (Ver tabla mostrando Las Características de los Cuerpos Explotados a la Fecha y que Constituyen la Mina Santa Gertrudis)

Existe una fuerte evidencia para pensar en un factor estructural, como control de la mineralización: Fallas de rumbo noreste de alto ángulo y de poco desplazamiento, son zonas de brechamiento y de “stockwork”. El desarrollo de jasperoide y de material silíceo de origen hidrotermal (“sinter”) está asociado con estas estructuras. En algunos depósitos las podemos observar como en Agua Blanca, Gregorio, Hilario, Sofía y Melissa.

En la mina Santa Gertrudis se encuentran estructuras de bajo ángulo con rumbo noroeste casi paralelas al rumbo de las rocas. Estas estructuras de bajo ángulo también se han observado cortando la estratificación, como en el tajo El Corral. Estas fallas son difíciles de reconocer; pues como ya se mencionó, son subparalelas al rumbo de las capas. Sin embargo, los indicadores utilizados son los pliegues de arrastre, zonas de brechas y zonas de repetición de estratos.

En algunos depósitos en el centro de la propiedad existe una asociación mineralógica de Cu-Au y Cu-Ag, la cual es posible que esté asociada con un intrusivo que no aflora. En esta zona el desarrollo de “skarn-hornfels” está acompañada de una fuerte y extensiva piritización, así como manifestación de magnetita en el contacto metamórfico.

En el área que comprende en sí la mina, afloran diques dioríticos, dique-estratos andesíticos y felsitas, aunque no existe una clara evidencia de que el control de la mineralización esté asociado a estos eventos magmáticos. Se ha observado que todas las zonas

Tabla mostrando las características de los cuerpos explotados a la fecha y que constituyen La Mina Santa Gertrudis

Nombre del tajo	Unidad-Miembro	Actitud	Alteración	Control	Ley promedio gr/ton Au	Tonelaje minado	Relacion de desacapote	Descubierto por	Desarrollado por	observaciones
Dora	K-mural-Ks	NE30°SE, echado	Fuerte oxidación y argilización	Control litológico	2.34	1014815	1:11	Zapata	Oro de sotula	El último banco presenta sulfuros, 4 fases de explotación
Maribel	Ksl	NE 60°SW echado 65° al NW	Fuerte argilización	Estructural Falla NE	2.18	346590	1:11	Zapata	Zapata-Oro de sotula	
Manueles sur	Ksl	NE 60°SW echado 65° al NW	Fuerte argilización, vetillas de cuarzo	Estructural Falla NE	2.69	127485	1:3.36	Zapata	Oro de sotula	Reinterpretación
Katman	Ksl	NW 60°SE, echado de 65° al NE	Moderada oxidación, vetillas de cuarzo.	Estructural Falla NE	1.48	373115	1:8.10	Oro de Sotula	Oro de Sotula	Reinterpretación
Toro fase 1	K-Mural-Ks-KL	NE 50°SE, echado de 65° al NW	Fuerte silicificación,vetileo de cuarzo, argilización	Estructural Falla NE	1.81	132640	1:4.78	Zapata	Oro de Sotula	Reinterpretación
Toro extension	K-Mural-KS	NW30SE, echado de 65 ° al NE	Fuerte silicificación,vetileo de cuarzo, argilización.	Control litológico	1.39	338400	1:6.57	Zapata	Oro de sotula	Reinterpretación
Ruben	K-Mural-Ks	NE 60°SW Echado 65° al NW	Fuerte silicificación,jaspeoide	Estructural Falla NE	3.85	51840	1:4.31	Zapata	Oro de Sotula	Reinterpretación
Camello	K-Mural-Ks	NW60°SE, echado de 65° al NE	Fuerte oxidación, fuerte argilización, vetileo de cuarzo	Control litológico limolitas del Ks	1.08	198365	1:3.28	Zapata	Zapata-Oro de Sotula	Fuerte plegamiento
Gregorio	K-Mural-Ks	N-S, echado de 65° al W	Fuerte argilización, vetileo de cuarzo, ocas. barita en vetillas	Control litológico y estructural (falla N-S, echado de 65 ° al W)	1.43	209810	1:5.63	Zapata	Zapata-Oro de Sotula	
Agua blanca	K-Mural-Ks	NW 60° SE, echado de 60° al SW	Fuerte argilización, oxidación, vetileo de cuarzo.	Control estructural(falla NE), control litológico	2.10	559180	1:1.25	Zapata	Zapata-Sotula (mino fuera de diseño)	
Sofia	K-mural	NW45□ a 50°SE, echado de 55 °al SW	Argilización, vetileo de cuarzo y anillos de oxido de hierro.	Control litológico y estructural (Falla Sofia NE)	1.26	240263	1:6.03	Oro de sotula	Oro de sotula	
Hilario	K-Mural	NW45□SE, echado de 65□ al SW	Argilización y vetileo de cuarzo	control litológico y estructural (falla NE)	0.95	105465	1:2.91	Zapata	Zapata-Oro de sotula	

Becerro norte	Ksl	NW55□SE, echado de 65° al SW	Argilización, vetillas de cuarzo, "liesegang band"	Control litológico, control estructural(falla NW paralela a las capas), al bajo de dique diorítico	2.07	1596189	1:4.96	Zapata	Zapata-Oro de sotula	
Becerro sur	Ksl	NW55□SE, echado de 65□ al SW	Fuerte argilización, oxidación, liesegang, vetillas de cuarzo	Control litológico,, asociado a dique diorítico (cuerpo al bajo) y dique felsico NE70°SW	2.16	790016	1:14.20	Zapata	Zapata	Sotula cubico mas reservas
El Corral	K-Mural-Ks	NW 20□SE, echado de 45 ° a 60° al SW	Fuerte argilización, oxidación, anillos de óxido de hierro y vetillas de cuarzo	Control estructural (falla N-S, echado de 65° a 70° al W)	2.17	693203	1:6.00<	Zapata	Zapata-Oro de Sotula	
El corral Nw	K-Mural-Ks	N-S, echado de 70° al W	Fuerte silicificación,vetilleo de cuarzo	Control estructural- falla N-S, echado de 70° al W control estructural-falla N- S, echado de 70 ° al W	2.3	32000	1:7	Zapata	Oro de sotula	Reinterpretación



mineralizadas presentan cizallamiento y brechamiento de moderado a intenso.

La mayoría de las zonas están oxidadas y argilizadas, aunque en algunos de los depósitos existe desarrollo de silicificación y jasperoide, y pérdida de carbonatos.

El material carbonoso, que a la fecha no es económica su explotación, se ha asociado como producto de la removilización de carbón de las mismas limolitas por fluidos hidrotermales, y es posible observarlo en algunos depósitos como el Corral, Dora, Gregorio, Sofía y Melissa.

Las asociaciones de la alteración son simples y de baja temperatura. Las principales alteraciones encontradas en los cuerpos minerales son la alteración argílica, la silicificación y vetillas de cuarzo. Comúnmente la calcita acompaña a la sílice y forma vetilleo de calcita. Casi todos los minerales arcillosos han sido alterados a sericita, aunque la caolinita se encuentra fuertemente desarrollada en algunos prospectos.

La alteración responde a la litología: por ejemplo en las calizas del miembro Ko existe un fuerte desarrollo de jasperoide (proyecto La Gloria y El Toro), fuerte argilización y fino vetilleo de cuarzo en las rocas del Kvs, Ks, limolita del Kl y Ksl.

La mineralización y estilos de alteración, en conjunción con la roca huésped de Santa Gertrudis, son similares a los depósitos encontrados en Carlin, Chimney Creek, Jerit Canyon y Goldstrike, todos estos localizados en Nevada. Los modelos de estos depósitos sugieren que los fluidos hidrotermales migraron a través de las fallas y fracturas, afectando fuertemente las rocas sedimentarias calcáreas. Se crearon espacios y se incrementó la porosidad por disolución de carbonatos de la matriz, produciendo brechas de colapso y en algunos casos brechas hidrotermales. Esos espacios vacíos son subsecuentemente rellenados y mineralizados con oro.

III.4. Paragénesis

Varios trabajos de láminas delgadas revelan que el depósito de oro estuvo precedido de una descalcificación inicial de la roca.

La paragénesis del oro incluye una primera etapa de depósito de marcasita, seguido por arsenopirita y después por una segunda generación de marcasita. Los estudios de microsonda muestran que la arsenopirita y la primera etapa de marcasita contenían poca cantidad de oro, pero la segunda generación de marcasita contenía más oro, indicando la precipitación de oro en la segunda etapa de marcasita.

Durante la oxidación, la arsenopirita se altera a arsenosiderita, mientras que la marcasita se altera a óxidos de fierro y sulfatos. Los análisis en prueba de microsonda muestran que el oro liberado de la oxidación de la marcasita, migra y es atrapada como finos granos en la arsenosiderita.

III.5 Geoquímica

Es clara la asociación de oro con arsénico en material oxidado, pero es menos clara en material no oxidado, como en los sulfuros, porque no se ha encontrado una relación primaria entre el oro y el arsénico.

El oro y el arsénico son bastante anómalos en Santa Gertrudis. Los valores de oro de 10 ppm no son muy comunes, aunque es posible encontrar valores raros de 34 gramos por tonelada. Los valores de arsénico en mineral son típicamente en un rango de 500 a 1500 ppm.

Las leyes de plata en realidad son erráticas, de aproximadamente 1:1 con el oro. Los valores de antimonio son generalmente menores a 20 ppm, y el mercurio está en un rango menor que el oro.

El zinc y el cobre están generalmente entre 50 y 150 ppm, mientras el plomo está generalmente entre 10 y 50 ppm.

La forma y la asociación mineralógica en combinación con la geoquímica, indican que el depósito de Santa Gertrudis se formó por procesos epitermales, similares a los depósitos de Carlin Nevada.

III.6 Geología Histórica

Varios eventos geológicos que han sucedido desde el período Cretácico Temprano al Terciario se describen a continuación. De éstos algunos han sido colocados en sus respectivas edades y otros se les ha asignado una edad tentativa a falta de evidencias concretas.

1) Período de sedimentación Cretácico Temprano.

Se caracteriza por un período de sedimentación de rocas clásticas (abanico aluvial) y rocas marinas.

Este período también se caracteriza por transgresiones y regresiones marinas, que constituyen el primer evento conocido y que dió origen a las rocas sedimentarias que constituyen las unidades del distrito minero Santa Teresa. Las orbitolinas encontradas dentro de estas rocas proporcionan una edad Aptiano tardío- Albiano medio para estas unidades y se interpreta que dichos sedimentos fueron formados dentro de cuerpos de agua en ambientes costeros y marinos poco profundos.

Basándose en que estas unidades sedimentarias son correlacionables con el Grupo Bisbee (en González León, 1978) que aflora en el SE de Arizona y NE de Sonora, y también con el Grupo Chihuahua (Córdoba, 1969), la hipótesis de Hayes (1970) que propone un mar transgresivo desde el Golfo de México hacia el continente durante el Cretácico Temprano, es bastante aceptable. Según Hayes, durante el Cretácico Temprano (a fines del Neocomiano), el SE de Arizona y NE de Sonora permanecieron como áreas positivas que proporcionaron sedimentos hacia el SE, a un mar que avanzaba desde el Golfo de México hacia el norte de Chihuahua.

Este mar transgresivo constituyó a su paso y a su regreso la llamada Cuenca Chihuahuense, (en González León, 1978) que es

bien conocida al oeste del Río Bravo y al este de la Sierra Madre Occidental, y en su prolongación en Nuevo México y Arizona (Hayes, 1970). Según Hayes (1970) el máximo avance del mar hacia el continente ocurrió en el Albiano temprano. Durante el Albiano medio el mar aparentemente se retiró del SE de Arizona y probablemente del W de Sonora. De acuerdo a esto se puede decir que la prolongación de la Cuenca Chihuahuense llegó hasta Sonora centro septentrional, cubriendo los lugares donde actualmente se encuentra el área estudiada, depositando sobre esa paleogeografía, los sedimentos que actualmente se conocen. Es posible que a finales del Albiano los mares se retiraron de esta parte del continente, tal vez debido a un levantamiento general de estas áreas, lo que se deduce a falta de sedimentos más jóvenes de este tipo.

2) Fase de deformación Laramídica

Esta orogenia produjo plegamiento y fuerte cabalgamiento en los sedimentos del Cretácico Inferior. Dicho evento es posterior al Albiano.

En el área se observa que los planos de cabalgamiento son paralelos a la estratificación, por lo que se deduce que las capas de las rocas sirvieron como planos de deslizamiento a las fallas inversas.

3) Período de Intrusión

Se infiere la intrusión plutónica de un cuerpo diorítico que afectó las rocas sedimentarias principalmente de la parte central de la mina; así como en la parte SE de la propiedad. El intrusivo es inferido o es interpretado de acuerdo a una fuerte anomalía magnética, registrada durante la aeromagnetometría, y por pequeños xenolitos de diorita encontrados en el Granito Las Panochas.

La alteración que produjo esta intrusión se manifiesta como aureolas de metamorfismo, como desarrollo de "hornfels", localmente pequeños "skarn" y posible mineralización con oro.

Los xenolitos de diorita encontrados en el Granito Las Panochas sugiere una edad mayor de 36.1 m.a.

4) Período de erosión

Ocurrió posterior a los eventos descritos y antes del volcanismo del Terciario.

5) Primer período de extensión

Casi al finalizar la Orogenia Laramide, al fin del Cretácico Tardío, vino un cese en el proceso de compresión y trajo consigo un período de relajamiento. Las rocas cretácicas del área se vieron afectadas por dos familias de fallas normales: NW-SE y NE-SW, que afectó los eventos anteriores.

Las fallas de la familia NW-SE, posiblemente fueron reactivadas de las fallas inversas ó cabalgamientos durante el período de compresión, ya que encontramos fuerte zonas de cizallamiento subparalelas a la estratificación (Becerros Norte).

6) Volcanismo

Este evento inicia el primer período de volcanismo terciario que ocurrió al norte y al sur del área de estudio. Dicho volcanismo es de composición andesítico, ignimbrítico (cerro El Cacaxtle, cerro La Ventana) y tobáceo (El Remolino).

7) Mineralización, alteración hidrotermal e intrusión de diques

Estos eventos ocurrieron en el período posterior al volcanismo y se le ha dado una edad de entre 26 m.a. y 20 m.a., de acuerdo al fechamiento del lamprófido La Gloria realizado por Bennett en 1988. Este período es el más importante en el distrito; ya que durante este tiempo es cuando tiene lugar el desarrollo de la mayoría de los depósitos de oro.

Las rocas durante este período se ven afectadas por una fuerte alteración hidrotermal y por consiguiente el desarrollo de cuerpos minerales con oro; es también durante este período que las rocas del distrito se ven afectadas por un período de intrusión magmática expresada por un enjambre de diques de composición andesítica y diques lamprofíricos. Es posible que la mineralización

BIBLIOTECA DEPTO.
DE GEOLOGIA



sea contemporánea a la intrusión ya que en algunos casos como en el proyecto Sebastián al sur del tajo El Corral, localmente los diques andesíticos tienen valores de oro hasta de 0.6 gr/ton de oro. En el proyecto Sofía, una muestra de diorita obtenida en el barreno SOF-113 de diamante se obtuvo 1.5 m con 0.303 gr/ton de oro; también en el proyecto Tracy, al SE de la propiedad, los diques lamprofídicos tienen valores hasta de 0.8 gr/ton de oro, pero en algunos tajos como Becerros Norte y Becerros Sur los diques andesíticos no contienen valores de oro.

8) Período de extensión Sierras y Valles Paralelos

Por último las rocas del área se vieron afectadas por un período de extensión con rumbo general N-S.

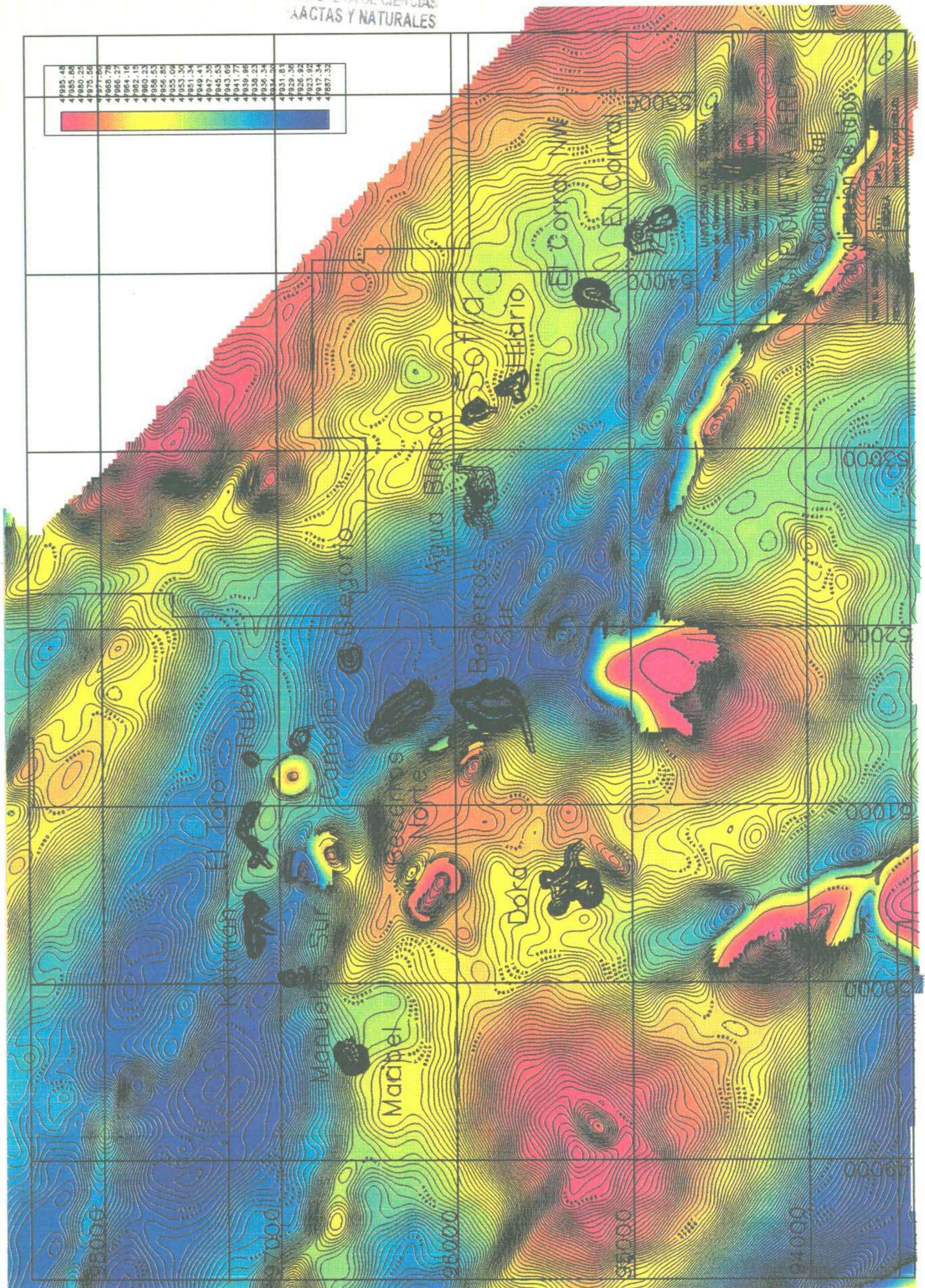
Un buen ejemplo es el Proyecto Allison, al SE del tajo El Corral.

III.7 Geofísica

Estudios geofísicos, como contornos totales radiométricos, campo magnético total, gradiente vertical magnético y resistividad aparente fueron realizados en la propiedad por Campbell Resources con su subsidiaria en México Oro de Sotula S.A. de C.V., desde 1994. Así también se realizaron estudios geofísicos por polarización inducida selectiva. Estos estudios fueron hechos por Phelps Dodge con subsidiaria en México Minera Zapata.

La aeromagnetometría (Ver Plano de Aeromagnetometría) ha ayudado a definir la ocurrencia de un intrusivo. Esta es un área donde la imagen de satélite muestra una estructura circular. El "skarn" resultante y su mineralogía son observadas en conjunción con anomalías de oro-cobre-molibdeno. Esta área pudiera ser un blanco para exploración por pórfido.

A la fecha, con los datos geofísicos que se han obtenido del campo total magnético y gradiente vertical magnético, hemos observado que los depósitos Becerros Sur, Becerros Norte, El Camello, Rubén, El Toro, Katman, Manueles Sur y Maribel se



encuentran circundando una anomalía (alto magnético) magnética semicircular, la cual está asociada a curvilineamientos; estos pueden ser observados en la imagen de radar (Ver Plano de Imagen de Radar). Lo que pudiera indicar un “stock” a profundidad.

La radiometría muestra y ha ayudado a definir las estructuras mayores, donde la mineralización es localizada. Este estudio geofísico define una zona de 15 km de largo, dentro del cual la mineralización es encontrada.

La resistividad ayuda a definir zonas de fuerte silicificación identificándose como una fuerte anomalía siendo coincidentes con estructuras de fuerte ángulo, también ha ayudado a definir zonas de fuerte fracturamiento identificándose como una anomalía baja.

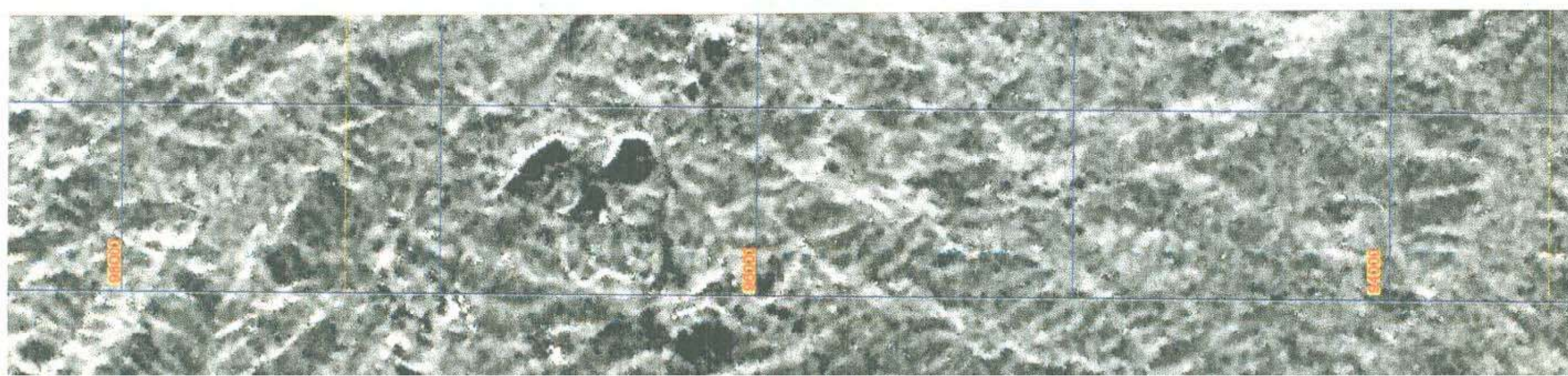
IV.- Geología y explotación del depósito Sofía

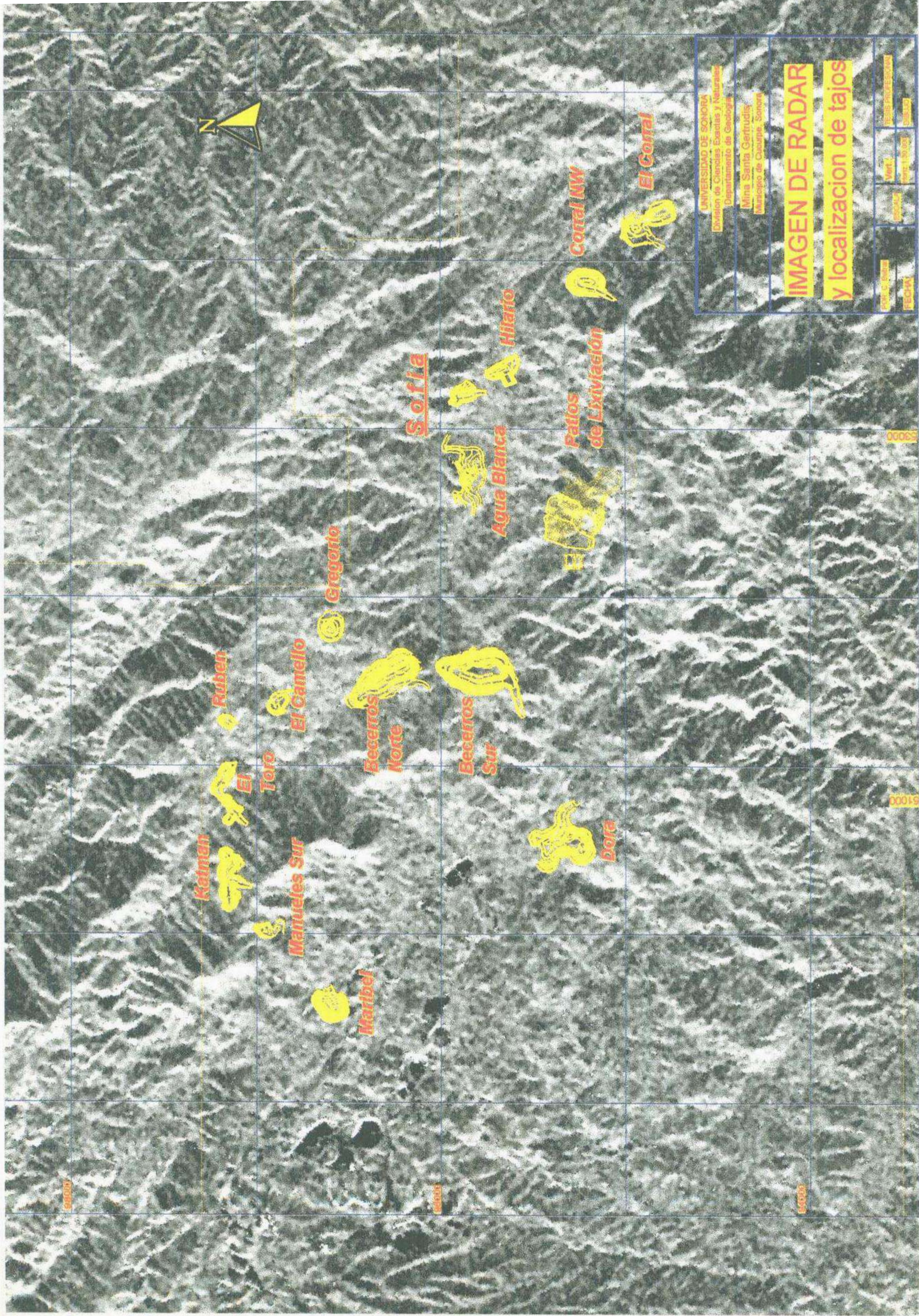
El depósito Sofía se encuentra localizado en la parte central del cinturón sedimentario y en la parte alta sur del cerro entre los tajos Hilario y Agua Blanca, este último de alta ley, y una relación de descapote alrededor de 1:1(ver Plano de Detalle Sofía).

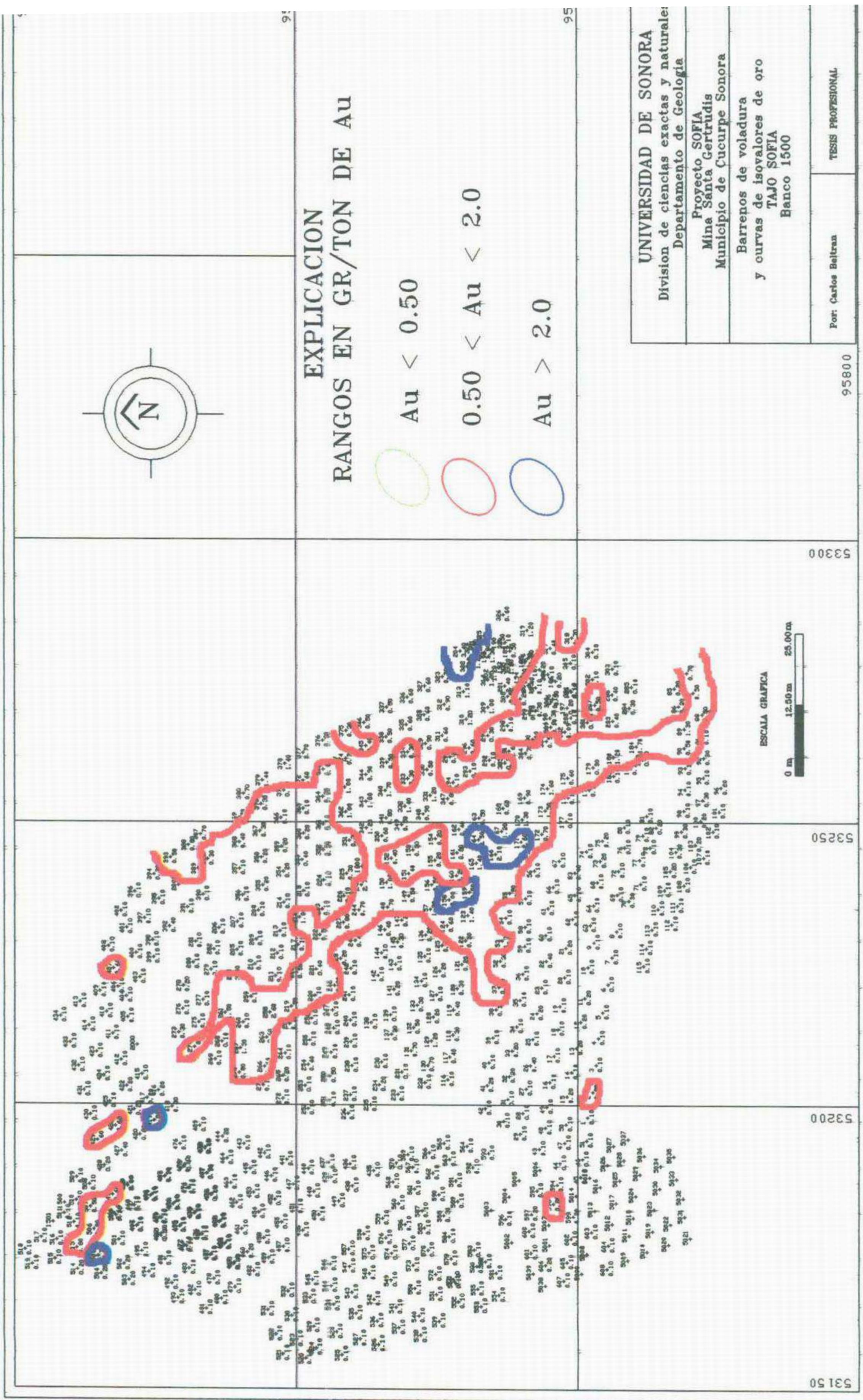
La geología del depósito Sofía está constituida por rocas cretácicas de la unidad K-Mural (Ver Plano de Geología a Detalle Proyecto Sofía).

Los miembros que constituyen la unidad K-Mural, en el depósito Sofía son, de la más antigua a la más joven: el Ko, caliza fosilífera de color gris oscuro, ocasionalmente fuertemente silicificada, intercalada con limolitas de grano fino calcáreas; en el depósito Sofía, las calizas fosilíferas se encuentran en forma lenticular y aflorando en forma irregular, posiblemente debido a un cambio lateral de facies.

Otro miembro muy importante donde se encuentra el 100% del depósito Sofía, es el miembro Ks-Kel, constituido por limolita carbonosa, limolita calcárea de color verde a amarillo claro, fuertemente fracturadas y cizalladas con lentes de areniscas de grano fino, cementadas por material calcáreo. En la parte central de este miembro aflora un paquete de caliza gris laminar con



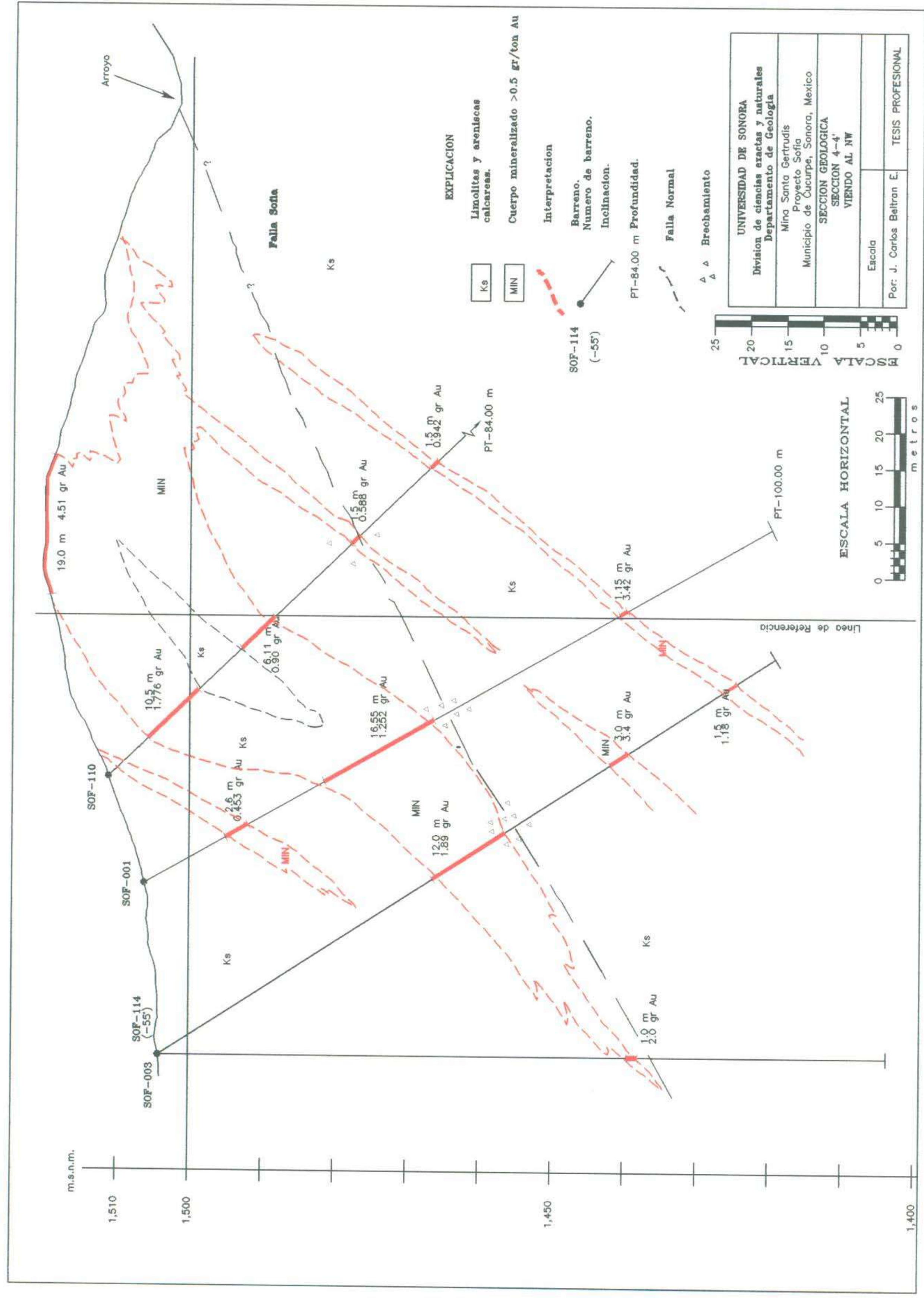


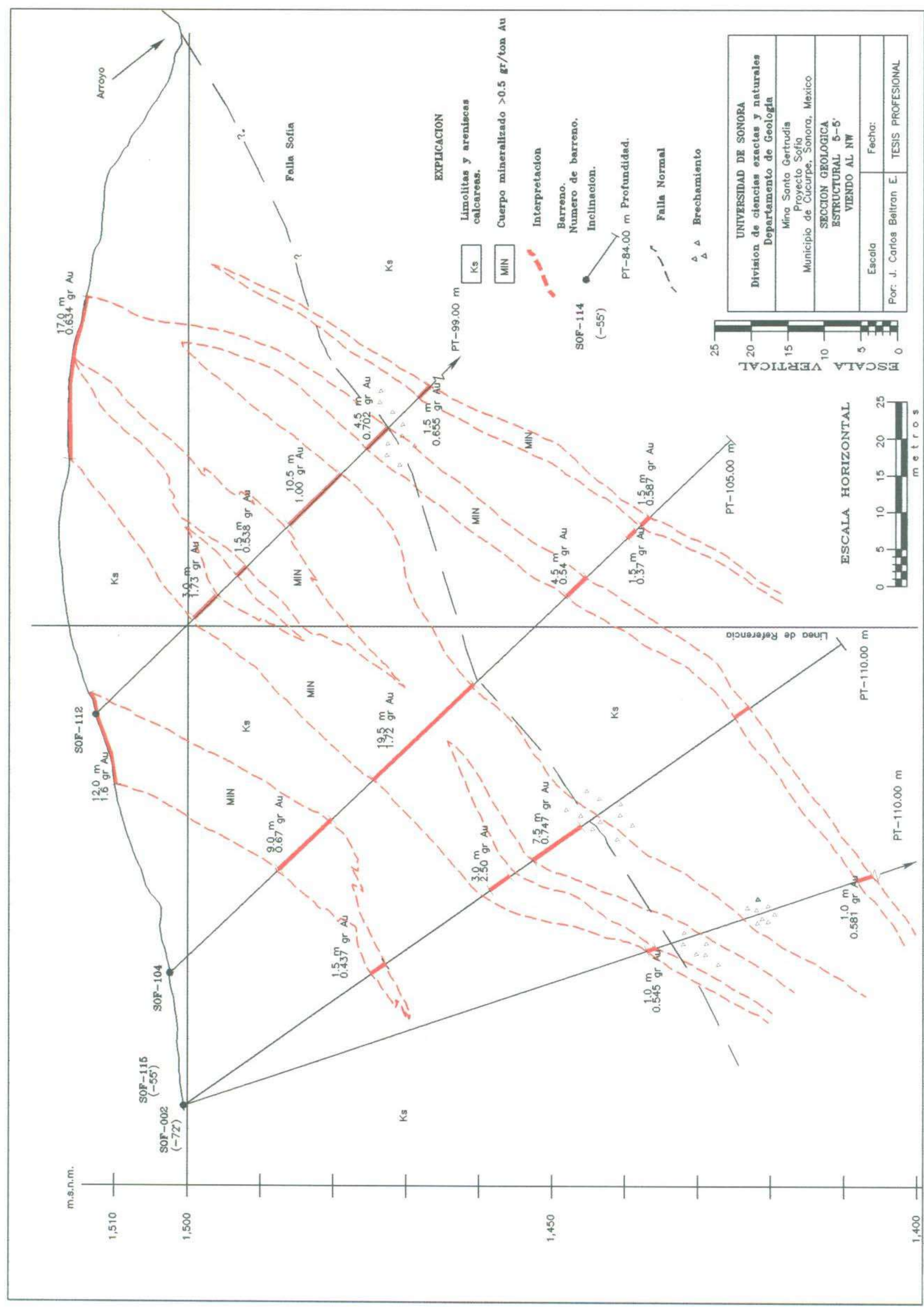


EXPLICACION
RANGOS EN GR/TON DE AU

- $Au < 0.50$
- $0.50 < Au < 2.0$
- $Au > 2.0$

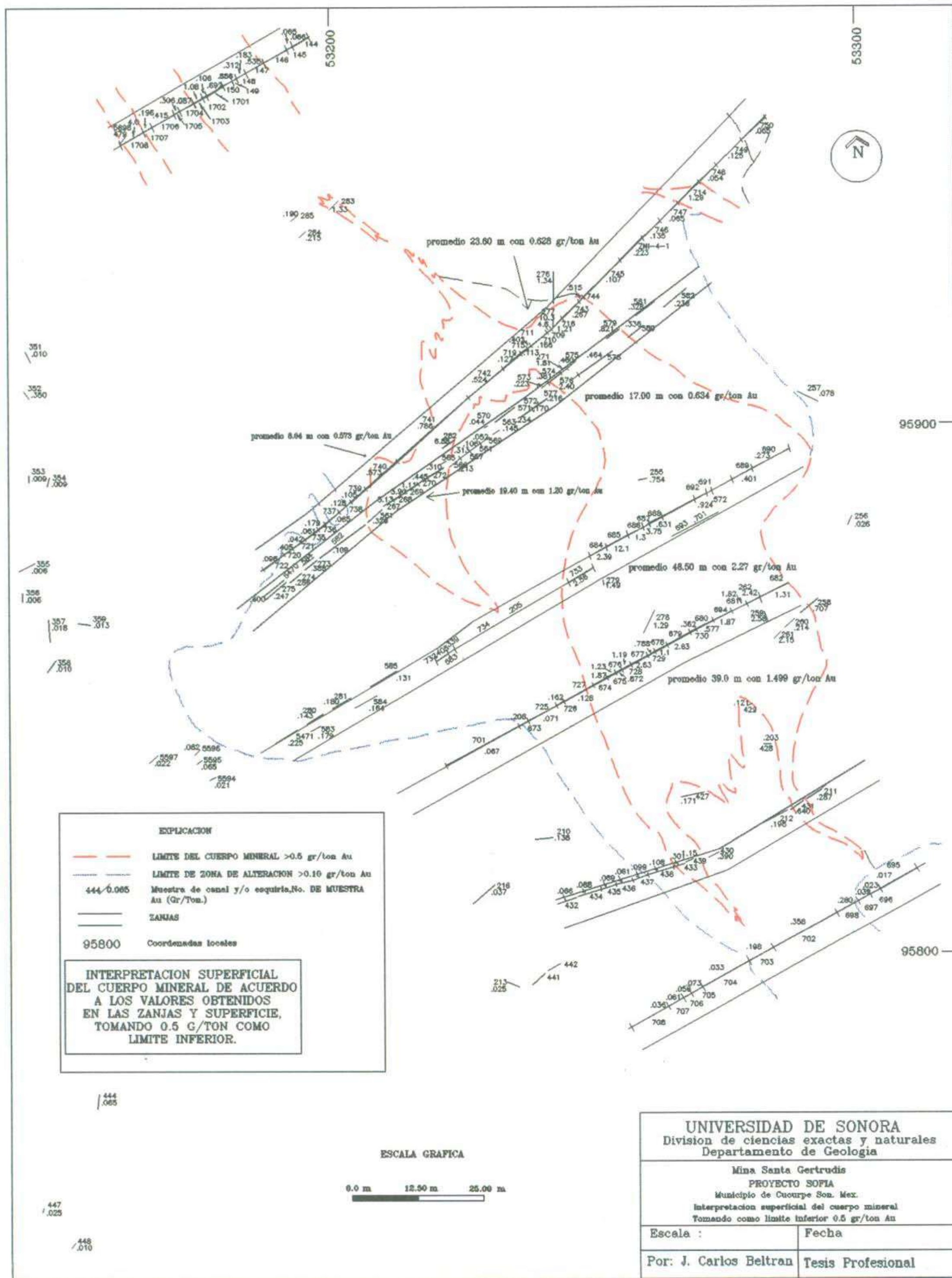
UNIVERSIDAD DE SONORA
Division de ciencias exactas y naturales
Departamento de Geologia
Proyecto SOFIA
Mina Santa Gertrudis
Municipio de Cucurpe Sonora
Barrenos de voladura
y curvas de isovalores de oro
TAJO SOFIA
Banco 1500
Por: Carlos Baltran
95800
95800







EL SABER DE NUESTROS DIAS
HARA MI GRANDEZA
BIBLIOTECA DE CIENCIAS
EXACTAS Y NATURALES



diseminación de pirita fresca, con un espesor que varía de 0 m a 5 m. A este paquete de calizas se le ha denominado Kel, y se encuentran al alto del depósito Sofía.

El depósito de oro diseminado Sofía, es irregular pero tiene un rumbo general NW 60° SE con echado promedio de 65° al SW y es de forma lenticular a rumbo y a profundidad.

IV.2 Geología estructural y mineralización del depósito Sofía.

「Estructuralmente el depósito Sofía es el producto de la intersección de limolitas calcáreas y areniscas (Ks-Kel) de grano fino con un rumbo de 45° a 60° NW-SE y con echado 65° al SW, fuertemente cizalladas por una estructura NW subparalela a las capas, y una estructura de fuerte ángulo NE 40° SW y un echado que varía de 45° al NW a casi vertical, la cual se ha denominado Falla Sofía」(ver Plano de Barrenos de Voladuras y Curvas de Isovalores, Secciones Transversales y Plano de Interpretación Superficial del Cuerpo Mineral). 「Esta tiene muy poco desplazamiento vertical, siendo responsable del fuerte brechamiento y de haber funcionado como alimentador de soluciones hidrotermales, desarrollándose la mineralización en el alto de esta estructura, así como en las rocas del miembro Ks.

El depósito Sofía tiene una forma irregular, con ancho promedio de 10 a 15 metros en sus partes más potentes y hasta 1.50 metros en sus zonas más delgadas, con una longitud a rumbo de capa de aproximadamente 150 metros」(Ver Interpretación Superficial del Cuerpo Mineral).

Las rocas que hospedan la mineralización fueron originalmente limolitas, lutitas calcáreas, localmente limolitas carbonosas, así como posiblemente calizas arcillosas.

Las limolitas se observan fuertemente argilizadas, ligeramente oxidadas y de moderado a fuerte vetilleo de cuarzo, ocasionalmente formando un enrejado fino. Dentro de las zonas mineralizadas por oro de este depósito, es posible encontrar intervalos de hasta 1.5 metros de limolita carbonosa, con

diseminación de pirita fresca con valores de oro de hasta 0.908 gr/tonelada, las cuales no fueron incluidas dentro de las reservas minables.

Posiblemente fluidos hidrotermales hayan emanado por la Falla Sofía, disolviendo la mayor parte del carbonato de esas rocas, llevándose a cabo un proceso de descalcificación (vetilleo de calcita en rocas adyacentes), resultando un incremento en la porosidad y en la formación local de brechas de colapso. Se deduce que la falla con rumbo NE 40° SW es la responsable de la mineralización, prueba de ello es de más de 1 gramo de oro en material de falla en el barrenos SOF-002.

Acompañando a la removilización de carbonato y brechamiento ocurrió el depósito de sílice en la matriz con oro y pirita, y posiblemente marcasita y arsenopirita.

En las zonas mineralizadas, las rocas sedimentarias presentan variación en cuanto a: silicificación, argilización, sericitización, vetillas de cuarzo, vetillas de calcita y de pirita oxidada.

IV.4 Programa de barrenación del depósito Sofía.

El programa de barrenación consistió de:

a) *Elaboración de secciones geológicas.*

Después de haber hecho la interpretación y configuración del cuerpo tomando en cuenta los resultados de muestra obtenidas en las zanjas y de muestreo de superficie, utilizando la cartografía a detalle 1:500, se procedió a la elaboración de 11 secciones geológicas-estructurales equidistante 25 metros con rumbo NE 55° SW (Ver Planta de Barrenación).

b) *Barrenación.*

La barrenación utilizada fue de 2 tipos: barrenación con circulación inversa y barrenación con diamante, consistiendo en dos etapas.

En la primera etapa de barrenación se llevó a cabo con circulación inversa y barrenación con diamante, siendo principalmente una etapa de exploración. En esta etapa se procedió a dar un barreno en cada sección, con la finalidad de interceptar el cuerpo a profundidad, entre 25 y 40 metros de la superficie, dándose un total de 2 barrenos con diamante con una profundidad total de 148.10 metros y 9 barrenos con circulación inversa, haciendo un total de 684.00 metros (ver Plano con Planta de Barrenación Proyecto Sofía y Tabla de Resultados No. 1)

De acuerdo a los resultados satisfactorios y a la posibilidad de incrementar reservas se procedió a dar una segunda etapa de barrenación.

La segunda etapa consistió en dar más barrenos en las secciones donde los resultados fueron satisfactorios (de la sección 3-3' a la sección 8-8'), tanto de diamante como de circulación inversa, llegando en algunas secciones hasta 100.00 metros de profundidad (sección 4-4'). En esta etapa se dieron 11 barrenos con circulación inversa haciendo un total de 915.5 metros y 3 barrenos con diamante haciendo un total de 309.70 metros. Esta etapa ayudó en la definición del cuerpo, así como en la cubicación de reservas. La barrenación de diamante también fue utilizada para obtener muestra para realizar pruebas metalúrgicas.

El cálculo de reservas económicamente minables fue de 225,000 ton con una ley promedio de 1.3 gr/ton de oro.

IV.4.- Método de explotación

El método de explotación que se lleva a cabo en la mina Santa Gertrudis y en cada uno de los depósitos es el minado a tajo abierto.

IV.4.1.-Parámetros de minado:

- 1.- Minado a cielo abierto.
- 2.-Bancos de 6.0 m con talud de 55 grados.



ESCALA GRAFICA

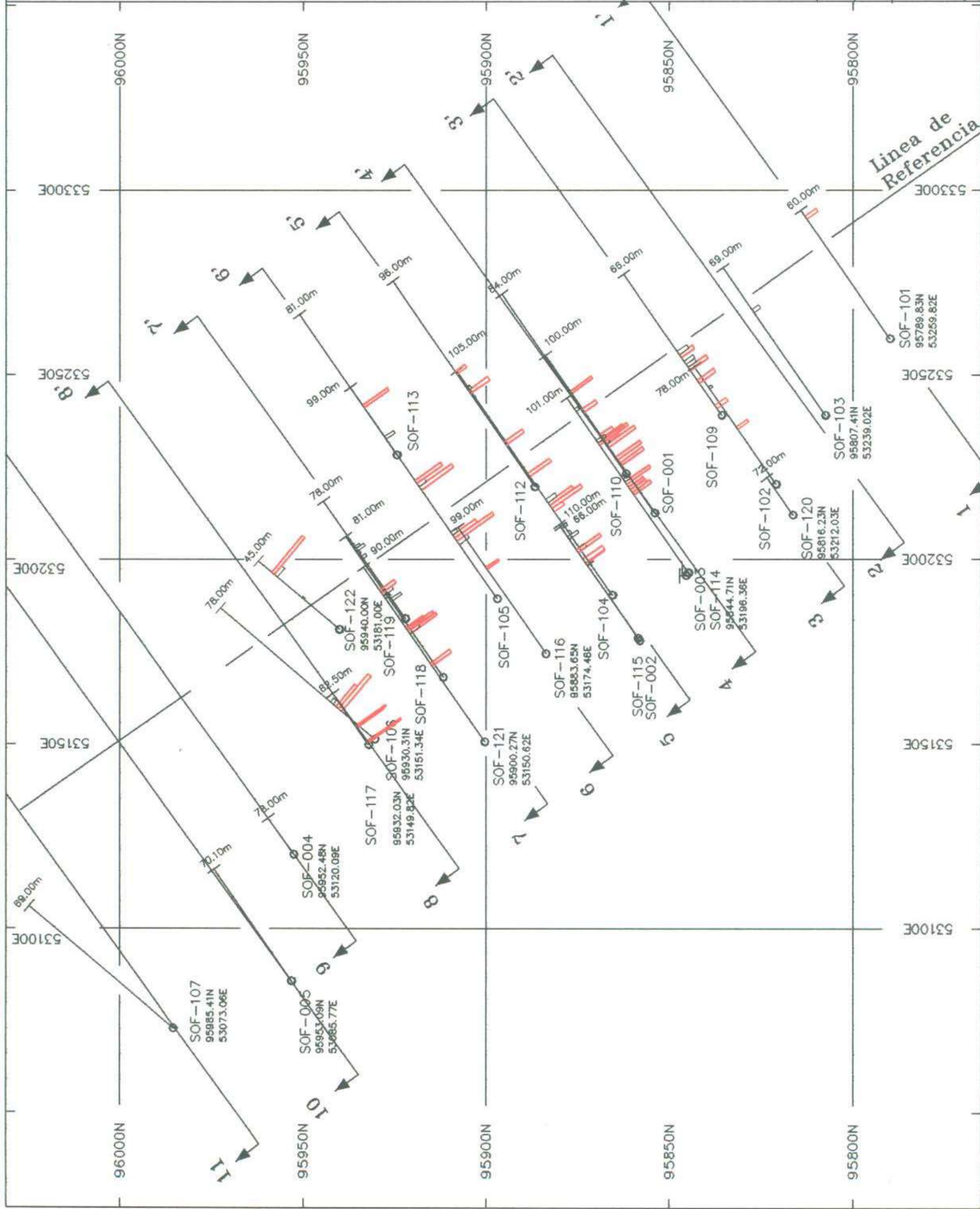


UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISION DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

PROYECTO SONIA
MINA SANTA GERTRUDIS
MUNICIPIO DE CUICURPE SONORA MEX

Planta de barrenacion
PROYECTO SONIA
PROYECCION VERTICAL

HISTOGRAMA LOGARITMICO
POR: J. CARLOS BELTRAN | TESIS PROFESIONAL



Resultados de barrenación del Proyecto Sofía

Tabla de resultados No. 1

No. de barreno	Tipo de barreno	Inclin	Azimuth	Sección	Interv. mineral	De(m)	A(m)	Ley promedio gr/ton Au	Tipo de alteración	Prof(m). del barreno
SOF-001	DDH	-60°	55°	4-4'	15.35	29.55	44.90	1.350	Fte. Argiliz., "boxwork" de pirita, vetillas de cuarzo	100.00
					0.80	76.50	77.35	3.019	Anillos de oxido de fierro, vetillas de calcita	
SOF-002	DDH	-72°	55°	5-5'	6.40	72.40	78.80	2.89	Fuerte brechamiento, fuerte oxidación, vetillas calcita	110.00
SOF-003	DDH	-90°		4-4'	0.62	80.75	81.37	1.60	Fuerte oxidación	
SOF-004	DDH	-81°	55°		negativo					
SOF-005	DDH	-60°	55°	10-10'	negativo					
SOF-101	Circ. Inv.	-45°	55°	1-1'	1.5	55.50	57.00	1.89	Zona de carbón	60.00
SOF-102	Circ. Inv.	-60°	55°	3-3'	4.5	36.00	40.50	1.083	Fuerte oxidación, vetillas de cuarzo, moderada argilización	78.00
					1.5	63.00	64.50	1.170	Argilización	
SOF-103	Circ. Inv.	-45°	55°	2-2'	1.5	48.00	49.50	1.45	Debil oxidación, oxidos de fierro entre fracturas	105.00
SOF-104	Circ. Inv.	-45°	55°	5-5'	1.50	21.00	22.50	1.350	Argilización	
					4.50	25.50	30.00	0.823	Fuerte silicificación	
					19.50	37.50	57.00	1.711	Argilización y vetillas de cuarzo	
					1.50	76.50	78.00	0.99	Argilización	
					1.50	88.50	90.00	0.582	Zona de carbón	
SOF-105	Circ. Inv.	-45°	55°	6-6'	10.50	25.50	36.00	2.411	Vetillas de cuarzo, "box work" de pirita,	99.00
					4.50	51.00	55.50	4.097	Dis. Pirita, fuerte oxidación	
SOF-106	Circ. Inv.	-45°	40°	8-8'	7.50	15.00	22.50	3.050	Vetillas de cuarzo	78.00
					1.50	57.00	58.50	0.908	Zona de carbón	
SOF-107	Circ. Inv.	-48°	40°	11-11'	negativo					
SOF-109	Circ. Inv.	-45°	55°	3-3'	1.50	3.00	4.50	1.90	Diseminación de "box work" de pirita	66.00
					1.50	15.00	16.50	2.610	Diseminacion fina de "box work " de pirita	
					12.00	21.00	33.00	1.328	Diseminación fina de "box work" de pirita, fuerte silicificación	
SOF-110	Circ. Inv.	-45°	55°	4-4'	1.50	1.50	3.00	0.577	Diseminación de pirita	84.00
					6.00	12.00	18.00	2.870	Dis. fina de pirita, anillos de oxidos de fierro , vetillas de cuarzo, silicificación.	
					4.50	25.50	30.00	1.007	Vetillas de cuarzo, fuerte argilización	

																	Anillos de oxido de fierro		
																	Vetillas de cuarzo		
SOF-112	Circ. Inv.	-45°									5-5'						Argilización y vetillas de cuarzo		96.00
																	Silificación		
																	Fuerte silicificación		
																	Vetillas de cuarzo		
SOF-113	Circ. Inv.	-55°									6-6'						Diseminación seudomorfos de pirita		81.00
																	Moderada oxidación		
																	vetillas de cuarzo en DIORITA		
																	Vetillas de cuarzo		
SOF-114	Circ. Inv.	-55°									4-4'						Moderada argilización, ocasionales vetillas de cuarzo		101.00
																	Vetillas de cuarzo		
																	Diseminación fina de Arsenopirita		
SOF-115	Circ. Inv.	-55°									5-5'						Anillos de oxido de fierro, "box work" de pirita		66.00
																	Diseminación pirita, vetillas de cuarzo		
																	Moderada oxidación		
SOF-116	Circ. Inv.	-65°									6-6'						Vetillas de cuarzo		99.00
SOF-117	Circ. Inv.	-78°									8-8'						Vetillas de cuarzo		82.50
																	Vetillas de cuarzo, seudomorfos de pirita		
																	Seudomorfos de pirita		
SOF-118	Circ. Inv.	-55°									7-7'						Seudomorfos de pirita		81.00
																	Fuerte brechamiento cementada por calcita		
																	Vetillas de cuarzo, seudomorfos de pirita		
SOF-119	Circ. Inv.	-60°									7-7'						Seudomorfos de pirita, vetillas de cuarzo		78.00
																	Enrejado de cuarzo		
SOF-120	Circ. Inv.	-80°									3-3'						Zona de carbón		72.00
																	Zona de carbón		
																	Zona de carbón y vetillas de cuarzo ,calcita, pirita		
SOF-121	Circ.Inv.	-50°									7-7'						Vetillas de cuarzo,		90.00
																	"Box work" de pirita, fuerte silicificación		
																	Vetillas de cuarzo, "liesegang bang" : fuerte silicificación		
SOF-122	Circ. Inv.	-50°									7.5-7.5'						Vetillas de cuarzo		45.00
																	Vetillas de cuarzo		

- 3.-Banquetas de 10 m cada 5 bancos.
- 4.-Area mínima de operación de 25 metros.
- 5.-Ancho mínimo de acarreo de 18.0 metros.
- 6.-Pendientes de rampas finales del 10%.

IV.5 Método de estimación de reservas geológicas

Las reservas geológicas fueron calculadas usando secciones geológicas transversales.

Toda la barrenación fue dada en retículas, orientadas paralelas y perpendicularmente a la zona mineralizada. Estas secciones transversales son aproximadamente perpendiculares al rumbo. En resumen, los pasos utilizados para la estimación de reservas son:

- Interpretación del cuerpo de acuerdo a la geología y resultados obtenidos del laboratorio y tomando como límites de mineralización de 0.5 gr/ ton de Au.

- Ensayes de barrenos, ensaye de muestreo superficial, ensaye de las muestras tomadas en zanjas, litología y estructural obtenida en la cartografía de superficie y la descripción de los barrenos son dibujados y colocadas en cada sección. Intersecciones de menos de 3 metros fueron diluidas con la cantidad apropiada de material que rodea a estas intersecciones hasta 3 metros de espesor. Si el resultado de llevar a cabo esta operación está dentro de los límites de la ley mínima de corte, es incluida en las reservas. También zonas de tepetate de menos de 3 metros de espesor fueron usadas para diluir las zonas de mineral que rodea estas intersecciones.

Aunque en superficie los ensayos fueron utilizados en la determinación de la forma y la proyección del cuerpo en superficie, solamente los ensayos de los barrenos fueron empleados en la estimación de la ley del depósito, ya que los ensayos de superficie tienden a ser menos confiables.

La barrenación se hizo cada 25 metros entre secciones, y 20 metros entre barrenos, en una retícula; los ensayos son basados en el

porcentaje de dos ensayos de fuego. Después de que la geometría del cuerpo se determinó, se procedió a obtener la densidad de las zonas mineralizadas, tomando como límite la ley mínima de corte.

El área de influencia para cada intersección, se tomó como la mitad de la distancia entre el siguiente barrenos de la misma sección, y la mitad adyacente entre secciones. Donde es abierta a rumbo de capa, se tomó 25 metros horizontalmente.

El volumen influenciado por cada barrenos en cada intersección es multiplicado por la densidad para determinar el volumen; de esa forma sumamos el tonelaje de cada sección y obtenemos el tonelaje total.

Para la estimación de reservas minables, se dibuja el contorno del cuerpo en superficie y secciones longitudinales, y se hace la elaboración de plantas. Esto se lleva a cabo en el departamento de ingeniería de mina.

Elaboración de plantas, en este caso cada 6 m con el fin de calcular áreas de mineral y de tepetate y obtener la relación de descapote. Esta información se captura y se analiza en el paquete de programas "Datamine" para el cálculo de ley por bloques y el diseño del tajo; aunque primeramente se elabora un diseño preliminar manual.

IV.6 Método de beneficio.

El método utilizado para la extracción del oro de la roca en la mina Santa Gertrudis, es el método denominado "*Heap Leaching*" o lixiviación por montones, el cual hace posible la extracción de oro de baja ley, siendo rentable utilizándose grandes volúmenes de material.

La típica operación consiste en minas a tajo abierto, un molino procesando todo o parte del mineral extraído, un área para la construcción de las pilas de las soluciones, un área próxima para la construcción de la planta que cubra el proceso de absorción de carbón, para la recuperación del oro en este caso de la solución impregnada (preñada), un laboratorio para el análisis, clasificación



del mineral y contabilizar los valores en todas las corrientes del proceso.

El mineral es acarreado desde la mina a tajo abierto hasta el área donde se forma el "*Heap Leach*" o hacia donde se encuentra el molino, dependiendo del tamaño de los fragmentos, ley del mineral y de su mineralogía.

En cualquier caso, el mineral es aglomerado en el área destinada para la formación de montones siendo irrigada con la solución proveniente de la pila de cianuro de potasio.

Dicha solución pasa filtrándose a través del montón de mineral, enriqueciendo con el oro, siendo depositada en una pila para la solución impregnada. La solución impregnada es bombeada a la planta de recuperación de los minerales preciosos por medio de carbón activado o por precipitación por el método "*Merril-Crowe*" o con sulfuro de sodio. Finalmente, el producto recuperado es fundido formando barras.

IV.6.1 Características importantes para utilizar el método de lixiviación por montones.

1. - Oro principalmente microscópico.
2. - El mineral no debe contener cianicidas, como: cobre, arsénico, sulfuros (cianuro de sodio) etc.
3. - Que el mineral sea permeable (circulación de solución).
4. El mineral no debe contener material carbonoso, ya que actúa receptor del oro (fija el oro), o arcillas en exceso que puedan obstaculizar el proceso, causando la precipitación prematura o la mala circulación de las soluciones.
- 5.- Es importante la altura de los montones; ya que de la altura de los montones depende la permeabilidad, el contenido de oxígeno, ya que si no hay oxígeno el cianuro no disuelve el oro.

V. Tipo de depósito

V.1.- Modelo del depósito.

El depósito Sofía se clasifica como un depósito de oro diseminado hidrotermal tipo "Carlin", ya que tiene las siguientes características:

1. Rocas calcáreas como huéspedes (Ks-Kel).-
2. La alteración del depósito Sofía es muy similar de moderada a fuerte argilización, moderada oxidación (goethita y en menor cantidad hematita), vetilleo de cuarzo y descalcificación
- 3.- Carbón removilizado (en mínima proporción).
- 4.- Oro fino de 2 a 4 micras, fue originalmente llamado oro invisible".
- 5.- Arsénico en más de 1000 ppm.
- 6.- Antimonio en menos de 20 ppm.
- 7.- Zonas de fallamiento con rumbo NNW, NE posibles conductos.

V.2. Similitud con otros depósitos

La forma y la asociación mineralógica en combinación con la geoquímica indican que el depósito Sofía en la mina Santa Gertrudis se formó por procesos hidrotermales y estructurales similares a los depósitos tipo Carlin en el estado de Nevada.

Los depósitos encontrados en la mina Santa Gertrudis también tienen similitud con los depósitos encontrados en el patrón estructural Carlin en el estado de Nevada, principalmente con los depósitos encontrados en la Mina Goldstrike (ver Plano Mina Goldstrike), en el condado Eureka en estado de Nevada en los Estados Unidos de América, en la parte norte-central del patrón estructural Carlin.

La Mina Gold Strike produjo alrededor de 253,490 onzas de oro en un periodo de 20 años en 22 tajos pequeños en óxidos en una área de 2 millas cuadradas, desde que empezó la exploración en 1962 hasta 1986, descubriéndose posteriormente los depósitos

profundos en sulfuros. La mina Santa Gertrudis ha producido a la fecha aproximadamente 450,000 onzas en un periodo de 7 años en 17 tajos separados, en óxidos (Ver Tabla Comparativa Mina Santa Gertrudis y Mina Goldstrike).

V.2.1 Características Generales de la Mina Goldstrike en el condado de Eureka, Nevada en los Estados Unidos de América.

La mina Goldstrike se encuentra en el condado Eureka, Nevada en los Estados Unidos de América, aproximadamente a 36 kilómetros al noroeste del poblado Carlin, siendo controlada por Barrick Goldstrike Mines Inc. (Ver Plano de Geología General Mina Goldstrike).

Geología Regional de la Mina Goldstrike

La estratigrafía de la mina Goldstrike consiste de sedimentos marinos del Paleozoico temprano, sedimentos tobáceos del Terciario y flujos riolíticos. Las rocas del Paleozoico temprano están compuesta de dos secuencias asociadas con el borde occidental del cratón de Norteamérica: al este una secuencia carbonatada derivada de un miogeoclinal; y al oeste una secuencia de sedimentos compuestos de sílice derivados de un eugeoclinal más al oeste. Durante el Devónico tardío y Misísipico temprano, la secuencia de sedimentos silíceos (oeste) cabalgaron a la secuencia de rocas carbonatadas (este), a lo largo de la falla inversa Roberts Mountains (en Lauha, Bettles; 1992).

El bloque autóctono (secuencia del este), consiste de la Formación Roberts Mountains y la Formación Popovich.

Formación Roberts Mountains.- La edad de esta formación va desde el Silúrico tardío al Devónico temprano. Está compuesta de dos miembros: El miembro inferior consiste de caliza laminar y limolita de grano fino. El miembro superior consiste de caliza masiva fosilífera y caliza dolomítica, con fragmentos de crinoides, corales y fragmentos de braquiópodos.

Formación Popovich.-Consiste de calizas, limolitas y calizas fosilífera (posiblemente derivada de la Formación Roberts Mountains).

El bloque alóctono está representado por la Formación Vinini de posible edad Ordovícico. Esta formación está compuesta por dos miembros; el miembro inferior consiste de limolitas, argilita masiva, delgadas capas de argilita y en menor cantidad caliza. El miembro superior consiste de una intercalación de limolitas, cuarcita y arenisca.

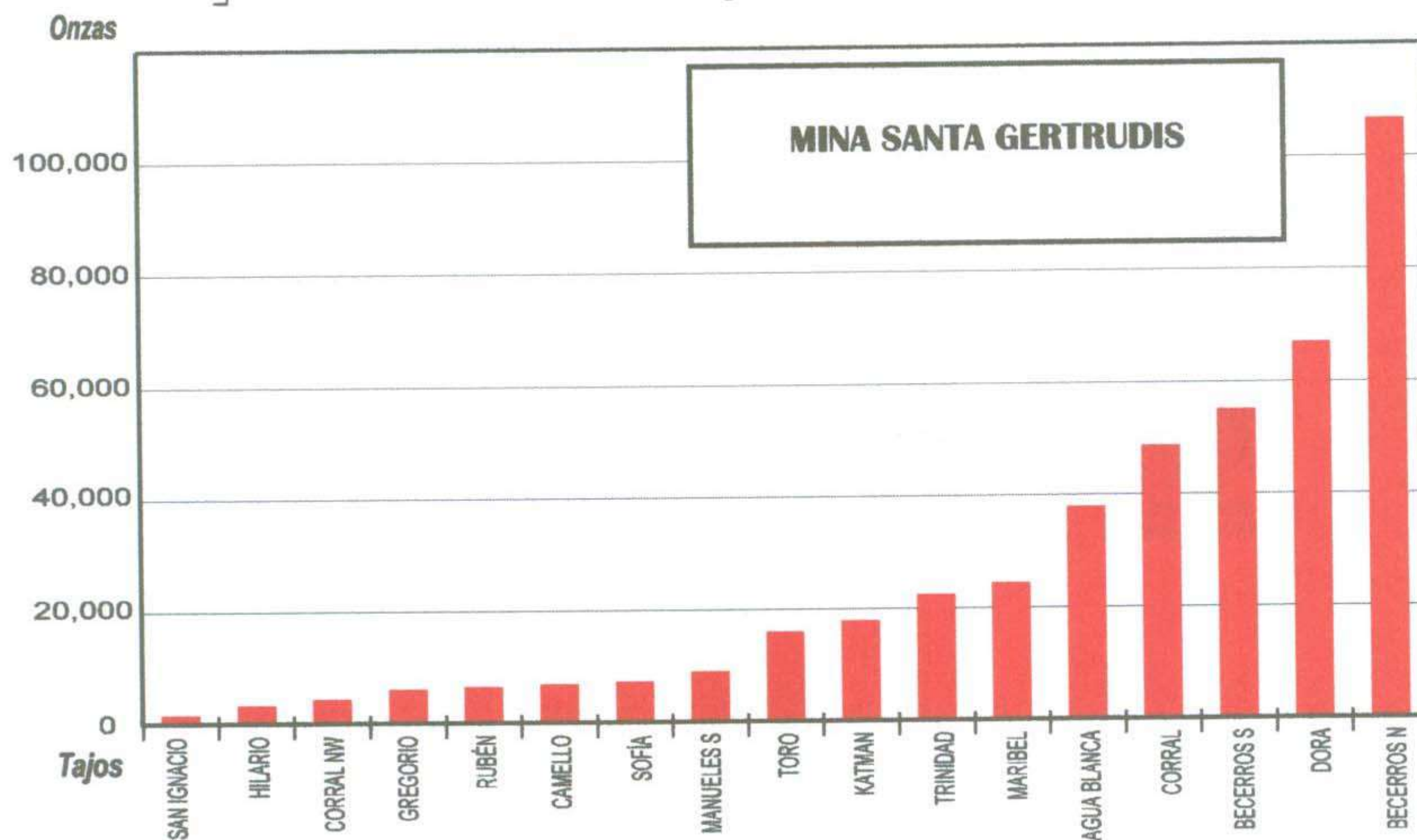
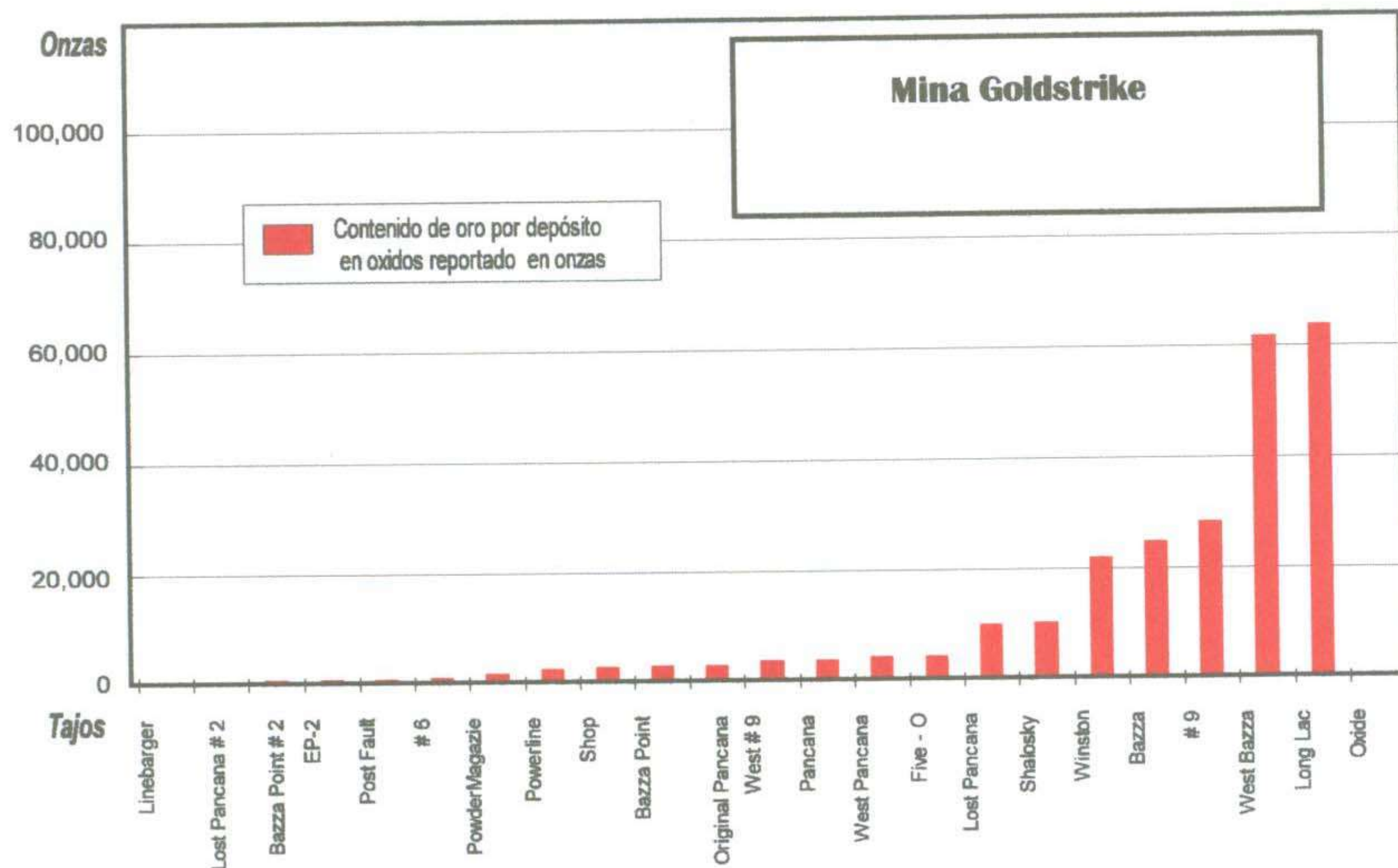
Las rocas del Terciario están representadas por la Formación Carlin y flujos volcánicos de edad Mioceno. La Formación Carlin consiste de intercalación de tobas soldadas, sedimentos volcanoclásticos, limolitas, gravas y coluvión.

Rocas intrusivas.- Las rocas paleozoicas fueron afectadas por el intrusivo Jurásico Goldstrike, el cual consiste en una granodiorita que varía a diorita en composición.

En muchas áreas de la mina son encontrados diques monzoníticos y cuarzo-monzoníticos con un rumbo NW-SE ó N-S, de posible edad Eoceno-Oligoceno.

Alteración, Mineralización y Controles estructurales.

Alteración.- Descarbonatación, argilización, silicificación y piritización, son los tipos de alteración predominantes en la mina Goldstrike y son espacialmente controlados por zonas estructurales y favorables horizontes litológicos. La silicificación está presente en varios estados: persistente sílice, vetas de cuarzo y formando enrejados finos de cuarzo, estando asociado a fallas y fracturas. La alteración argílica está caracterizada por el desarrollo de caolinita y en menor cantidad illita (en Volk, 1992). La piritización ocurre dentro de zonas silicificadas como argilizadas, la cantidad de pirita/marcasita observada dentro de los cuerpos mineralizados varía de 5% a 20%.



La Mina Goldstrike produjo 253,200 onzas en oxidos en 22 tajos en un período de 20 años

La Mina Santa Gertrudis ha producido 450,000 Onzas en oxidos un período de 7 años en 17 tajos

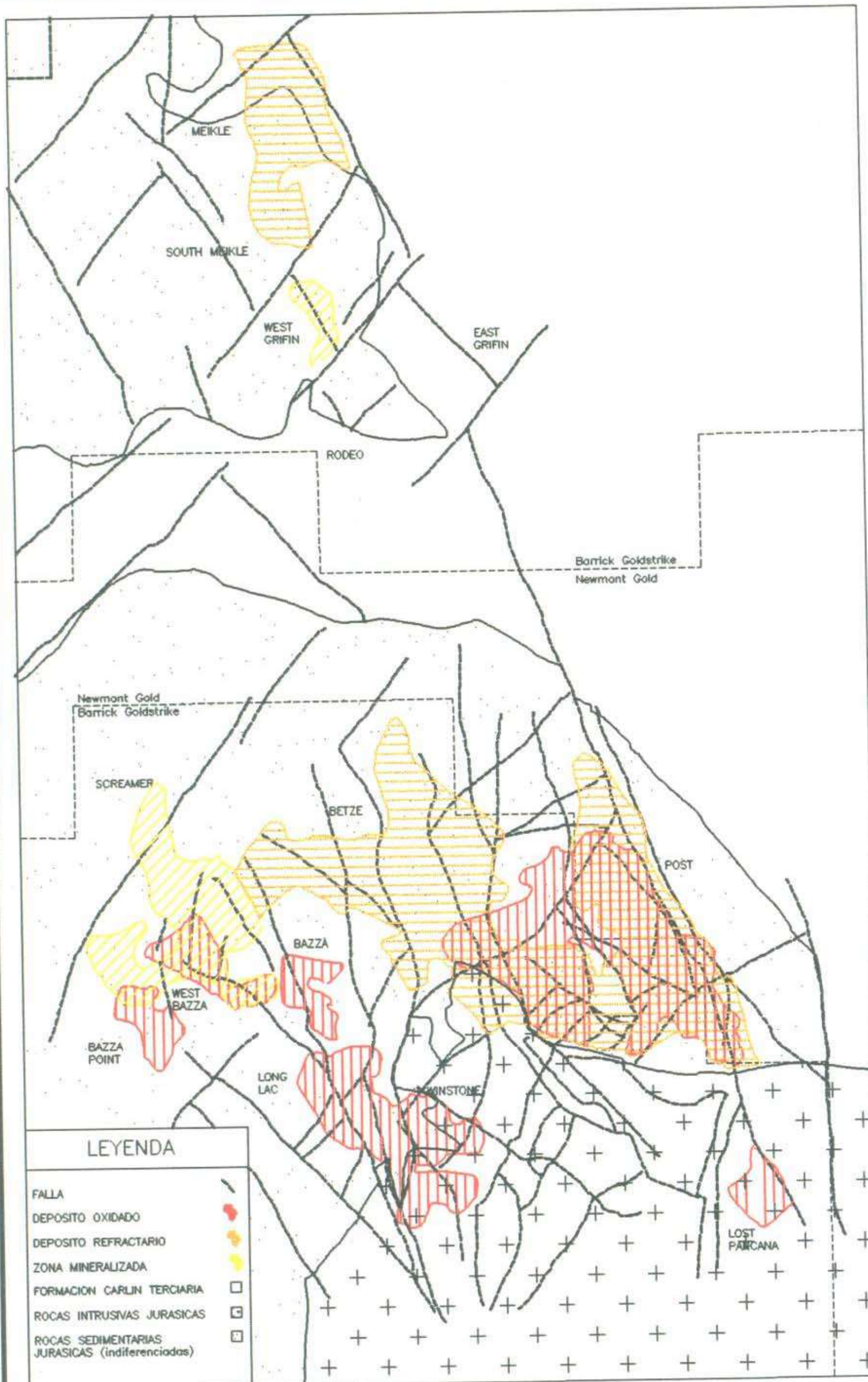
tomado de Behre& company, 1997

UNIVERSIDAD DE SONORA
División de ciencias exactas y naturales
Departamento de Geología

Comparación de producción
Mina Goldstrike y Mina Santa Gertrudis

TESIS PROFESIONAL

Por: J.Carlos Beltran Encinas



ESCALA GRAFICA



UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISION DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Mina Santa Gertrudis
Municipio de Cucurpe Sonora

MAPA GEOLOGICO SIMPLIFICADO DE LA MINA GOLDSTRIKE
MOSTRANDO LA GEOLOGIA SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAS
CON DEPOSITOS Y LIMITES DE PROPIEDADES (NGC-NEWMONT GOLD
Y BGMI-BARRICK GOLDSTRIKE MINES, INC)

FOR: Carlos Beltran

FECHA: -

ESCALA

TESIS PROFESIONAL

Mineralización.- El tamaño del oro es micrométrico de 200 micras de diámetro, estando asociado a la piritita y arsenopiritita. La piritización ocurre tanto en zonas silicificadas como argilizadas.

Oro visible es observado en varias localidades de la propiedad, aunque es volumétricamente menor y está comúnmente asociado a calizas arcillosas y limolitas.

Ganga no metálica asociada con mineralización con oro incluye cuarzo, caolinita, calcita, sericita y barita.

Según Arehart, (1993, en Volk, 1992), ha propuesto una edad de mineralización de 117 m.a. fechando la sericita en sedimentos alterados y de rocas intrusivas

Controles estructurales.- Los controles de la mineralización incluyen fallas de fuerte ángulo, anticlinales y fallas relacionadas a brechas de colapso, las cuales sirvieron de canales para los fluidos mineralizantes. Las principales fallas tienen un rumbo NNW y ENE.

VI.- Exploración

El potencial para encontrar más reservas en la mina Santa Gertrudis, así como en los alrededores de la misma es excelente, tanto para minerales oxidados, hasta una profundidad de 100 metros, que se puedan explotar en las instalaciones con las que cuenta la mina actualmente; así como la búsqueda de depósitos de alta ley a profundidad.

Actualmente Oro de Sotula ha implementado un completo y extenso programa de exploración que consiste en: Muestreo y cartografía regional 1:5000 y 1:10000; muestreo y cartografía a detalle 1:500 de blancos obtenidos durante la cartografía regional; reinterpretación de los yacimientos; aeromagnetometría; radiometría; resistividad aparente; fotointerpretación, imagen Landsat, imagen de radar, barrenación de diamante y circulación inversa en varios blancos de la propiedad.

Actualmente se está llevando la compilación de los estudios de fotointerpretación, geofísica, y geología, para programación de barrenación profunda, tomando en cuenta los siguientes elementos,

los cuales son similares a los que se han enfocado la exploración de depósitos profundos, tipo Carlin de Nevada en los Estados Unidos de Norte América:

Intersección y reacción de rocas huéspedes favorables (rocas de la unidad K-Mural y de la unidad Ksl) con estructuras de fuerte ángulo e intersección de estructuras.

Proximidad a cuerpos intrusivos, los cuales han causado alteración y creación de hornfels de los sedimentos o donde los cuerpos intrusivos inferidos, parecen haber dejado zonas estructurales complejas o donde los intrusivos se han emplazado en estructuras mayores y la proximidad a la superficie de depósitos de oro y mineralización.

VII.- Conclusiones y Recomendaciones.

Conclusiones.

La forma y la asociación mineralógica, en combinación con la geoquímica, indican que los depósitos en la Mina Santa Gertrudis se formaron por procesos hidrotermales similares a los depósitos del Carlin.

Las rocas del área, son rocas de edad Cretácico Temprano a Oligoceno-Mioceno.

La mayoría de los cuerpos se encuentran hospedados dentro de la unidad Kco, K-Mural, Ksl y en menor proporción en la Unidad Kvs.

Los principales controles son:

a) Estructurales: Fallas de fuerte ángulo NE (posiblemente alimentadores de fluidos mineralizantes), fallas NW de bajo ángulo con movimiento lístrico subparalelas a la estratificación (difíciles de identificar) principalmente.

b) Litológicos: Rocas calcáreas, rocas permeables, rocas fuertemente reactivas pertenecientes a la Unidad K-Mural, Unidad Ksl y Unidad Kco principalmente

El depósito Sofia se encuentra hospedado dentro del miembro Ks de la Unidad K-Mural.

El depósito Sofia tiene un rumbo general NW 60° SE, con un echado de 65° al SW. Tiene una longitud aproximada de 150 metros de largo por 10 metros de ancho en promedio, con reservas minables de 225,000 toneladas con 1.35 gramos por tonelada de oro.

Recomendaciones

Se recomienda seguir con el trabajo que se está llevando a la fecha como el muestreo y cartografía (1:5000 y 1:10000) a lo largo del cinturón sedimentario favorable, principalmente en las unidades K-Mural, Ksl y Kco.

Se recomienda iniciar un programa de exploración para depósitos profundos de alta ley en oro en sulfuros (Carlin), ya que las características geológicas y estructurales son semejantes a los depósitos profundos de alta ley en oro dentro del patrón estructural Carlin en el estado de Nevada en los Estados Unidos de Norteamérica.

También se recomienda hacer un estudio detallado de los intrusivos en el área, enfocado a determinar si existe una relación con la mineralización.

Referencias

- Alba Pascoe, Ajax, 1995, Situación actual y perspectivas del Distrito minero Santa Gertrudis
- Anderson, Scott, 1997, Structural geology- Santa Gertrudis Property. Informe inédito, compañía Oro de Sotula.
- Behre, Dolbear & Company Inc., 1997, Evaluation of the Santa Gertrudis property. . Informe inédito, compañía Oro de Sotula.
- Bennett, Scott , 1988, A gold exploration study aided by lithologic mapping, remote sensing analysis, and geographic Information system compilation.
- Bennett, Scott, Atkinson, W, 1993, Use of thematic mapper imagery To identify mineralization in Santa Teresa district, Sonora Mexico: International Review.
- González León, Carlos, 1978, Geología del área de Arizpe, [tesis Profesional]: Universidad de Sonora, Hermosillo Sonora, 92 p.
- González-León, Carlos and Jacques-Ayala, C., 1988, Estratigrafía de rocas Cretácicas del área de Cerro de Oro, Sonora Central Universidad de Sonora, Departamento de Geología, Boletín,v. 5, p. 1-23
- Helmstead, Hebert, 1996, Structural observations at the gold Deposits of Santa Gertrudis mine, Santa Teresa district Northeast, Sonora, Mexico. Informe inédito, Compañía Oro de Sotula
- Lauha, Eric and Bettles, Keith, 1992, A geologic comparison of the

Post/Betze and Purple vein deposits of Goldstrike and Meikle Mine, Nevada.

Mckee, Mary, 1991, Deformations and stratigraphic relationships of mid-Cretaceous to Early Tertiary mass gravity slides in marine basin in Sonora Mexico [Ph. D. Dissertation]: Pittsburgh, Pennsylvania, University Pittsburgh, 286 p.

Ransome, F. L, 1904, The geology and ore deposits of the Bisbee Quadrangle, Arizona: United States Geological Survey Professional Paper No. 21, Washington D.C.

Schafroth, D.W, 1968, Stratigraphy of the some Cretaceous formations of southeast Arizona: Ariz. Geol. Guidebook III, Geological Society of America.

Volk, Jeffrey, Lauh, Eric, Leonardson, Robert and Rahn, Jerry, 1994, Structural geology of Betze/ Post and Meikle deposits, Elko and Eureka, Counties, Nevada.

BIBLIOTECA DEPTO
DE GEOLOGIA

BIBLIOTECA DEPTO
DE GEOLOGIA