

**UNIVERSIDAD DE SONORA**

**DIVISION DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES**

**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

**GEOLOGIA DE MINA Y CONTROL DE MINERAL  
DEL TAJO EL TORO  
MINA SANTA GERTRUDIS  
MUNICIPIO DE CUCURPE, SONORA**

**FRANCISCO JAVIER CUEVAS GONZALEZ**

**SEPTIEMBRE DEL 2000.**



**BIBLIOTECA  
DE CIENCIAS EXACTAS  
Y NATURALES**

# 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



# UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISION DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

Tel. 59 - 21 - 10  
Fax. 59 - 21 - 11

Departamento de Geología

Octubre 16 2000.

**GEOL. ISMAEL MINJAREZ SOSA**

Jefe del Departamento de Geología

Universidad de Sonora

Presente

Por este conducto me permito someter a su consideración el siguiente tema de tesis

**"GEOLOGIA DE MINA Y CONTROL DE MINERAL  
DEL TAJO EL TORO MINA SANTA GERTRUDIS MUNICIPIO  
DE CUCURPE, SONORA"**

Esto es con el fin de que el alumno:

**FRANCISCO JAVIER CUEVAS GONZALEZ**

Pueda presentar su examen profesional, para la obtención de su título. En espera de su respuesta, quedo de Usted.

ATENTAMENTE

*M. Morales Montano*  
GEOL. MARIANO MORALES MONTAÑO  
Director de Tesis

C.c.p. Interesado  
C.c.p. Archivo



# UNIVERSIDAD DE SONORA



DIVISION DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

Tel. 59 - 21 - 10  
Fax. 59 - 21 - 11

Departamento de Geología

Octubre 16 2000.

## GEOL. MARIANO MORALES MONTAÑO

Director de Tesis  
Departamento de Geología  
Universidad de Sonora  
P r e s e n t e

Por este conducto le comunico que ha sido aprobado el tema de tesis propuesto por  
Usted, intitulado:

### "GEOLOGIA DE MINA Y CONTROL DE MINERAL DEL TAJO EL TORO MINA SANTA GERTRUDIS MUNICIPIO DE CUCURPE, SONORA"

Esto es con el fin de que el alumno: **FRANCISCO JAVIER CUEVAS  
GONZALEZ**, pueda presentar su examen profesional, para la obtención de su  
título. Asimismo le comunico que han sido asignados los siguientes sinodales:

**DR. LUCAS H. OCHOA LANDIN - PRESIDENTE**  
**ING. EFREN PEREZ SEGURA - SECRETARIO**  
**GEOL. MARIANO MORALES MONTAÑO - VOCAL**

Sin otro en particular, quedo de Usted.

ATENTAMENTE

  
**GEOL. J. ISMAEL MINJAREZ SOSA**

Jefe de Departamento



SABER DE MIS  
HARA MI GRANDE  
1931

C.c.p. Interesado  
C.c.p. Archivo



Departamento de Geología

**NOMBRE DE LA TESIS:**

**"GEOLOGIA DE MINA Y CONTROL DE MINERAL  
DEL TAJO EL TORO MINA SANTA GERTRUDIS  
MUNICIPIO DE CUCURPE, SONORA"**

**NOMBRE DEL SUSTENTANTE:**

**FRANCISCO JAVIER CUEVAS GONZALEZ**

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.

*al no. 115. al no.*  
**GEOL. MARIANO MORALES MONTAÑO**

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.

*[Signature]*  
**DR. LUCAS HILARIO OCHOA LANDIN**

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.

*[Signature]*  
**ING. EFREN PEREZ SEGURA**

**ATENTAMENTE**

**"EL SABER DE MIS HIJOS HARA MI GRANDEZA"**

*[Signature]*  
**GEOL. J. ISMAEL MINJAREZ SOSA**

**Jefe de Departamento**

# INDICE

<b>INTRODUCCION .....</b>	<b>1</b>
<b>GENERALIDADES .....</b>	<b>3</b>
LOCALIZACIÓN .....	3
CLIMA .....	3
FLORA Y FAUNA.....	3
<b>FISIOGRAFIA Y GEOMORFOLOGIA.....</b>	<b>5</b>
<b>GEOLOGIA REGIONAL DEL DISTRITO .....</b>	<b>6</b>
ESTRATIGRAFÍA .....	8
Formación Glance (Kcg) .....	8
Formación Cerro de Oro (Kco).....	8
Formación Morita (Kvs).....	9
Formación Mural (Ko, Ks-Kel-Ks, KI) .....	10
Miembro Inferior (Ko) .....	10
Miembro Medio (Ks-Kel-Ks) .....	10
Miembro Superior (KI) .....	11
Formación Cintura (Ksl) .....	11
Rocas Igneas Extrusivas.....	12
Ignimbrita Cacaxtle.....	12
Volcánicas Sierra Azul .....	12
Rocas Igneas Intusivas .....	13
Diorita.....	13
Granito Las Panochas.....	14
Lamprófidio La Gloria.....	14
Dique Becerros Sur.....	14
<b>MINERALIZACION .....</b>	<b>16</b>
PARAGÉNESIS .....	17
GEOQUÍMICA .....	18
<b>TAJO EL TORO .....</b>	<b>20</b>
<b>GEOLOGIA DE MINA.....</b>	<b>23</b>
CÁLCULO DE RESERVAS.....	23
Definición de Cuerpos de Mineral .....	25
Etapa de Exploración .....	25
Etapa de Definición .....	25
Interpretación del Cuerpo de Mineral.....	27

DISEÑO DEL TAJO .....	28
DISEÑO DE MINADO .....	28
TRABAJO DE CAMPO .....	29
TRABAJO DE GABINETE .....	29
BARRENACIÓN Y VOLADURAS .....	30
LABORATORIO .....	30
TOPOGRAFÍA .....	31
CALCULO DE LEY FINAL.....	31
<b>CONTROL DE MINADO Y LEYES.....</b>	<b>33</b>
CONTROL DE LEY POR VOLADURAS.....	33
MUESTREO Y MAPEO DE CARAS .....	33
MONITOREO DE AVANCES .....	34
MÉTODO DE EXPLOTACIÓN .....	35
MÉTODO DE BENEFICIO.....	35
OPERACIÓN.....	36
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>37</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>38</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>39</b>



## RESUMEN

El depósito El Toro se localiza en la Mina Santa Gertrudis dentro del distrito minero de Santa Teresa, en el Municipio de Cucurpe, Sonora en los terrenos del ejido 6 de Enero.

El depósito El Toro tiene un rumbo de NW 65° SE y un echado de 65° al NE. Este yacimiento se encuentra en rocas cretácicas correlacionables crono-estratigráficamente con las rocas que constituyen el Grupo Bisbee, al sureste de Arizona.

El cuerpo mineral se encuentra hospedado en dos miembros de la unidad K-Mural, la unidad K-Mural esta constituida por 3 miembros, el miembro inferior Ko es la base de la unidad y esta constituido por calizas masivas con ostreas, el miembro medio (Ks-Kel). El miembro Ks consiste en una alternancia de limolitas calcáreas, lutitas, lutitas negras carbonosas y lentes de areniscas de grano fino a medio, el miembro Kel esta constituido por una caliza laminar gris claro con diseminación de pirita. La cima de la unidad está constituida por el miembro Kl que consiste de una alternancia de limolitas, lutitas y caliza. El depósito el Toro se hospeda en los miembros Ks-Kl.

El depósito El Toro presenta alteraciones del tipo hidrotermal que consisten en silisificación, argilización, desarrollo de jasperoides anillos de liesegang.

La mineralización en el depósito El Toro se sabe que existieron varios controles importantes para la formación de este depósito, roca favorable, estructuras paralelas a los estratos produciendo

cizallamiento estructura NE que al parecer actuaron como conductos de las soluciones mineralizantes

La Compañía Minera Zapata mando analizar varias muestras de tajos en explotación por el método de microsonda electrónica y se obtuvieron las siguientes paragenesis.

El oro vino en pequeñas cantidades en la primera generación de marcasita pero la segunda generación de marcasita contenía una mayor cantidad de oro, en muestras de alta ley se observo oro nativo de 2 a 4 micras por tanto es probable que la mayoría del oro se encuentre diseminado en ese rango de tamaño.

El deposito El Toro se mino por el sistema de minado a cielo abierto, en total se minaron 463,775 toneladas de mineral con una ley promedio de 1.845gr/Ton. el sistema de beneficio fue el de lixiviación por montones (Heap Leach).

## INTRODUCCION

Es del conocimiento popular la importancia del Distrito Minero de Santa Teresa ya que se asocia a la historia minera de las zonas de Cucurpe y Magdalena De Kino, Sonora que inicia con las primeras incursiones de los mineros Europeos en el siglo XIX en las localidades de San Rafael y El Real Viejo.

Como herederos de esta tradición, los pequeños mineros y gambusinos han mantenido activa la minería en la zona, explotando pequeños cuerpos de muy altas leyes de oro. Esto interesó a algunas compañías de capital extranjero, entre ellas a Phelps Dodge, Co.

En el año de 1983, Minera Zapata S.A. de C.V. subsidiaria de Phelps Dodge, Co. Inició la exploración sistemática del Distrito Minero de Santa Teresa, siendo hasta octubre del año de 1990 cuando se iniciaron las primeras actividades de explotación y fueron interrumpidas en diciembre de 1997, ocasionado por la caída del valor de los metales y del oro específicamente.

En julio de 1994, Campbell Resources adquirió la propiedad por medio de su subsidiaria Oro de Sotula, S.A. de C.V. siendo ésta la actual propietaria del distrito. La mina Santa Gertrudis consiste de una serie de depósitos localizados en una franja mineralizada de más de 15 kilómetros de largo por 6 kilómetros de ancho, algunos de ellos ya fueron minados.

La mina Santa Gertrudis es un yacimiento epitermal tipo Carlin, que ocurre en rocas sedimentarias carbonatadas del Cretácico inferior

y Cretácico medio. La mineralización económica del yacimiento consiste en su totalidad de partículas de oro libre en tamaños que varían de 4 a 8 micras, aunque también se llegan a observar de hasta 0.5 mm. La plata se encuentra en una proporción de 1:1 con respecto al oro.

Actualmente se tiene un programa de exploración que abarca toda la propiedad y que está en etapa de barrenación en varias áreas.

Durante la fase de minado se usó como ley mínima de corte 0.5 gr/ton y la producción fue de 3,000 toneladas diarias de mineral teniéndose una relación de descapote de 7 toneladas de tepetate por 1 tonelada de mineral. El método de beneficio es el de lixiviación por montones o "heap leach."

La producción histórica de la mina Santa Gertrudis en los 7 años que duró la explotación (1991- 1997) fue de 6,844,188 toneladas de mineral con una ley promedio de 2.0 gr/ ton. Para esto se removieron 49,028,175 toneladas de roca estéril.

# GENERALIDADES

## Localización

La mina Santa Gertrudis se localiza en la porción centro-norte del estado de Sonora, a 32 kilómetros en línea recta al noreste de la población de Magdalena de Kino Sonora.

El acceso actual es por el tramo carretero que une las poblaciones de Magdalena de Kino y la población de Cucurpe Sonora, en el kilómetro 32 se toma la desviación que va con rumbo al noreste y se recorren 39 kilómetros de camino de terracería hasta las instalaciones de la mina Santa Gertrudis. (figura 1)

## Clima

El tipo de clima predominante es semiseco templado con lluvias en verano y un promedio de precipitación invernal mayor de 10.2 pulgadas. La temperatura media anual es de 16 grados Celcius.

## Flora y Fauna

Dentro del área se presentan varios tipos de vegetación, entre las especies de mayor importancia destacan: Encino (*Quercus emorgi*), Táscale (*Juniperus californica*), Uña de gato (*Mimosa laxiflora*), Ocotillo (*Fouquema splendens*), Mezquite (*Prosipus glandulosa*), Agave (*Agave sp.*), Chilicote (*Erythrina flabelliformis*), Aliso (*Plantanus wrightii*), Tarachico (*Dodonaea viscosa*), Choya (*Opuntia versicolor*), Batamote (*Bacharis salicifolia*), Jecota

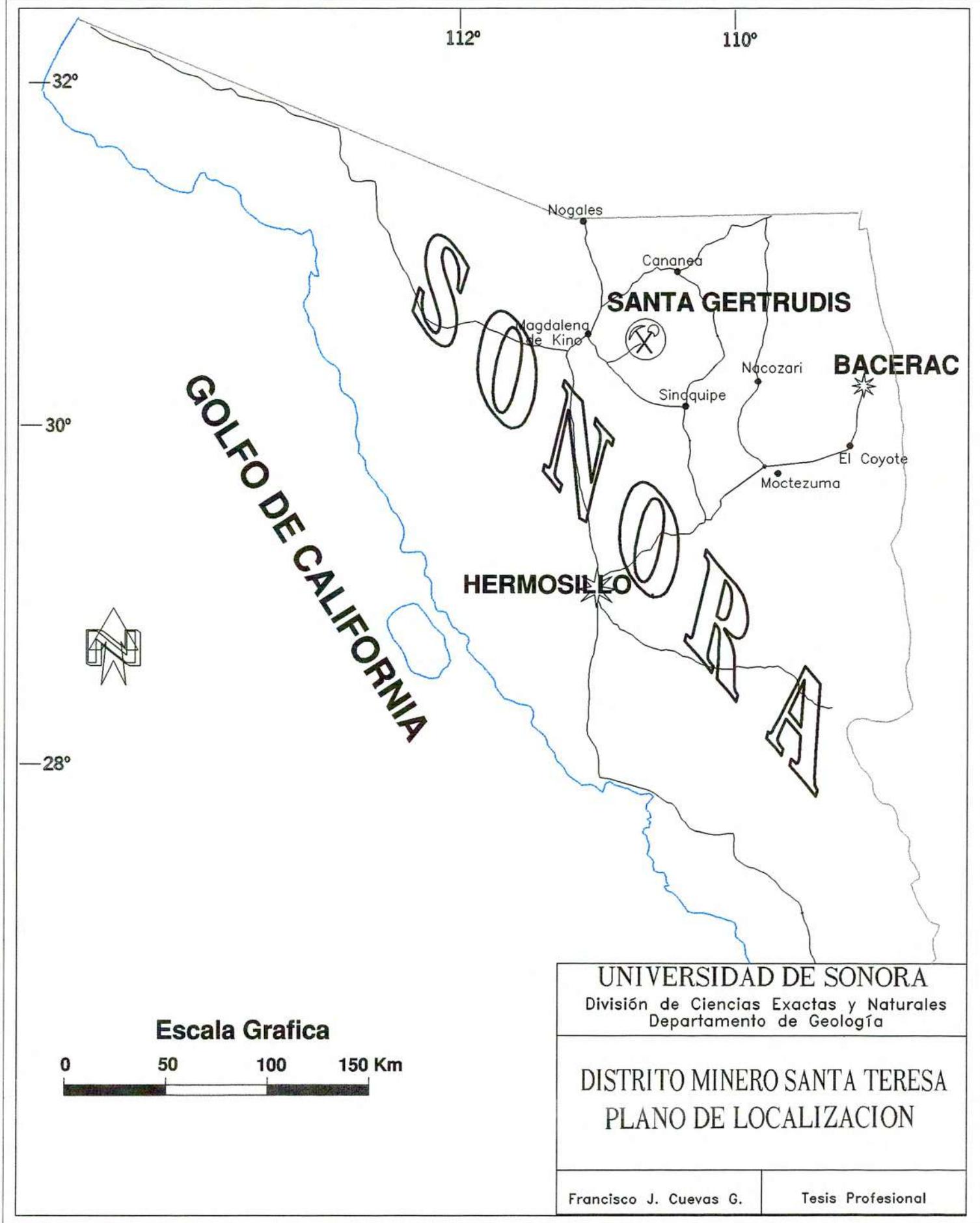


Figura 1

(*Hymenoclea monogyra*), siendo el encino la especie con mayor área cubierta por hectárea seguido del tascate y la uña de gato y en tercer lugar el Mezquite.

Las especies de animales más importantes son venado cola blanca, (*Odocoileus orginianus*), jabalí de collar (*Tayassu tajacu sonoriensis*), lince (*Lyns rufus*), ardilla (*Citellus variegatus*), halcón cola roja (*Accipiter striarus*) , cuervo (*Corvus coras*), aura (*Cathartes aura teter*), paloma (*Zenaida macroura*), correcaminos (*Geococcyx californianus*), liebre (*Lepus alleni*), coyote (*Canis latrans*), zorrillo (*Mephitis mephitis*), león de montaña (*Felis concolor*), zorra (*Urocyon cinereoargenteus*), cachora (*Urosaurus ornatus*), huico (*Cnemidophorus sonoraë*), víbora sorda (*Pituophis melanoleucus*) , víbora de cascabel (*Crotalus tigris*) y coralillo (*Micruroides euryxanthus*).



## **FISIOGRAFIA Y GEOMORFOLOGIA**

De acuerdo a la clasificación fisiográfica que INEGI (1981) publica en la carta fisiográfica Tijuana, escala 1:1'000,000, el distrito minero de Santa Teresa pertenece a la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Occidental y más específicamente a la subprovincia de Sierras y Valles del Norte dentro del sistema y tipo de topoforma de Sierra Alta, (figura 2)

En la mina Santa Gertrudis las elevaciones varían de 1000 a 1900 metros sobre el nivel del mar. Al norte tenemos escarpes con pronunciadas cimas y al sur tenemos lomeríos suaves, anchos y de suaves escarpes, esto, ocasionado por la litología del área que en su mayoría consiste de rocas sedimentarias.

El efecto de la erosión ha generado cordones y lomeríos con rumbo NW y escarpes suaves al SW. La red fluvial desemboca en el arroyo San Rafael y el arroyo el Palmillal los que, a su vez, se juntan y forman lo que es el río San Miguel de Horcasitas.

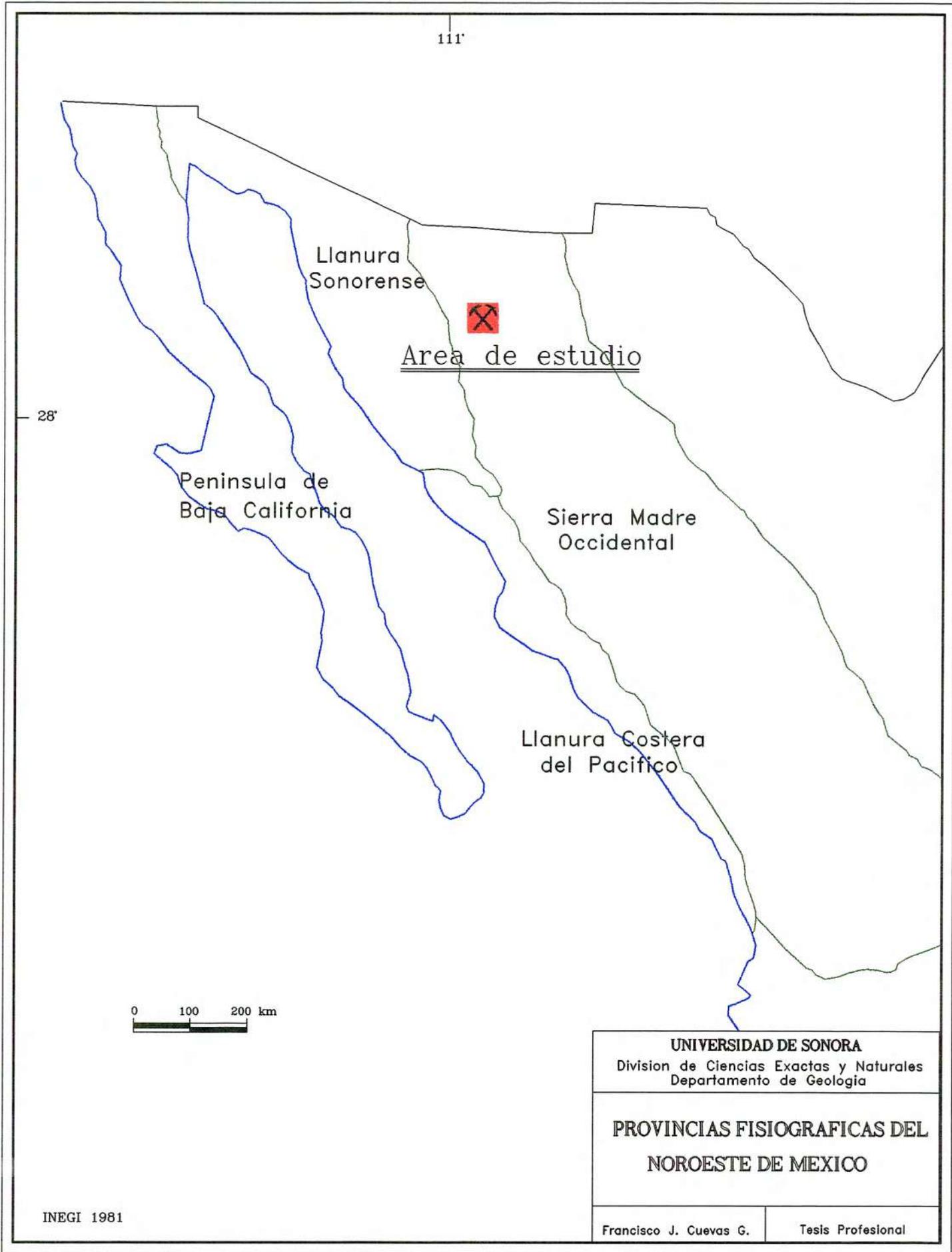


Figura 2

## **GEOLOGIA REGIONAL DEL DISTRITO**

El Distrito Minero de Santa Gertrudis está localizado dentro de un cinturón de rocas sedimentarias carbonatadas del Cretácico Inferior con una extensión aproximada de 15 kilómetros de largo y 5 kilómetros de ancho, con una tendencia general de NW 60° SE y echados al SW y NE. También se encuentran rocas intrusivas y hacia el sur un paquete de rocas volcanoclásticas de composición andesítica e ignimbríticas (cerro El Cacaxtle, cerro La Ventana y El Remolino). Depósitos de talud recientes, se desarrollan hacia el SW y rumbo al valle del arroyo Santa Teresa.

Las unidades sedimentarias cretácicas del distrito son equivalentes estratigráficamente al grupo Bisbee del sureste de Arizona, que fueron descritas por Ransome (1904).

Los sedimentos que originaron a estas rocas fueron depositados cerca del margen occidental del canal de Chihuahua, que fue la mayor cuenca depositacional del Norte-Centro de México a mediados del Cretácico temprano. El depósito del grupo Bisbee se dio en el norte de la punta del canal durante su máxima extensión hacia el norte.

En el distrito se tiene una columna estratigráfica de al menos 1,300 metros de espesor que desde el punto de vista litoestratigráfico - faunístico equivalen al conglomerado Glance, Formación Cerro de Oro, Formación Morita, Formación Mural y Formación Cintura en orden ascendente estratigráficamente.

Estas rocas han sido fuertemente afectadas por distintos eventos tectónicos ocasionando fuerte plegamiento, fallamiento inverso, fallas de deslizamiento e intrusión durante el tiempo de la Orogenia Laramide y también se distingue fallamiento del tipo Sierras y Valles.

Esfuerzos compresivos desarrollaron pliegues buzantes hacia el SW (Anderson, 1997), así como fallamiento inverso durante la Orogenia Laramide (50-70 m.a.) de fines del Cretácico-principios del Terciario, dicho fallamiento tuvo una dirección NE. Al cesar la deformación compresiva inicia una etapa temprana de extensión de la corteza llevándose a cabo el desarrollo de estructuras de cizalla orientadas NNW y echados al SW, así como estructuras orientadas al NE. En este evento también se llevó a cabo el emplazamiento de cuerpos hipabisales de composición intermedia (andesita, diorita y lamprófidos). Las zonas de cizalla están relacionadas con una fuerte alteración hidrotermal y mineralización de oro. Durante la etapa de extensión del tipo Sierras y Valles (Anderson, 1997) se lleva a cabo el fallamiento N-S con echados casi verticales con zonas de hasta 3 metros de espesor y ligeros desplazamientos.

## **ESTRATIGRAFIA**

En el distrito Minero de Santa Gertrudis se ha adoptado la misma nomenclatura estratigráfica del grupo Bisbee del SE de Arizona (Figura 3). A continuación se describen estas unidades en orden estratigráfico de más antiguo a más joven.

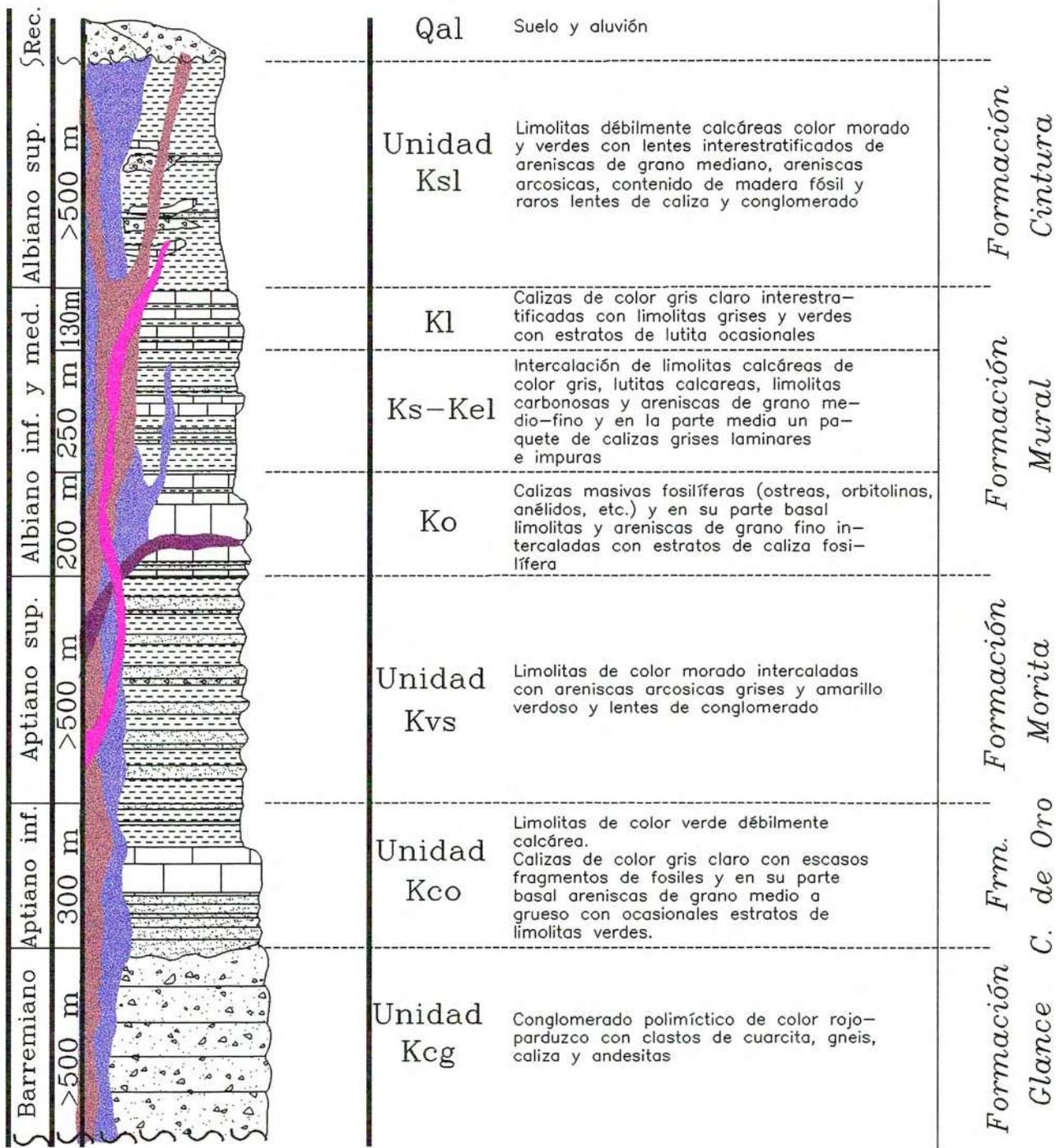
### **Formación Glance (Kcg)**

Esta unidad está constituida principalmente por un conglomerado basal polimíctico, los fragmentos presentan una composición variable de andesitas, gneises y calizas, empacados en una matriz arenosa, las dimensiones alcanzan hasta un metro de diámetro y hacia la parte inferior disminuyen los de composición volcánica y aumentan los calcáreos, tiene un espesor promedio de más de 500 metros. Los afloramientos de esta unidad se ubican en la parte Noreste del distrito, en la sierra El Centinela y cerro El Muerto sobreyaciendo posiblemente a rocas paleozoicas y precámbricas. La edad no se sabe con precisión, se piensa que puede ser de edad Cretácico temprano (Neocomiano).

El ambiente de depósito sugiere una facies próxima a un abanico aluvial (Bennett, 1988).

### **Formación Cerro de Oro (Kco)**

En la base esta constituida por areniscas de grano grueso color gris rosáceo y capas de hasta 5 metros de espesor, en la parte media de la unidad se encuentra una serie de calizas color gris



UNIVERSIDAD DE SONORA  
 Divisi3n de Ciencias Exactas y Naturales  
 Departamento de Geología

COLUMNA LITOSTRATIGRAFICA  
 DISTRITO MINERO SANTA GERTRUDIS

Francisco J. Cuevas G.      Tesis Profesional

Modificado de Beltrán, 1998.

Figura 3

oscuro con restos de conchas de ostras. En la parte superior se presentan limolitas de color verde con espesores de hasta 40 metros. El espesor promedio es de al menos 300 metros y se localiza al Noreste del distrito donde descansa en contacto discordante con el conglomerado Glance. La edad reportada para esta unidad corresponde a la parte inferior del Aptiano, y su depósito obedece a una primera transgresión (González-León y Jacques-Ayala, 1988).

### **Formación Morita (Kvs)**

Esta unidad está constituida por limolitas depositadas en un ambiente volcánico - sedimentario, presentan un característico color morado, con pequeños lentes y nódulos de material calcáreo de color gris y cuerpos lenticulares de areniscas grises, en ocasiones de grano grueso que casi llegan a conglomerados. Alcanza espesores de hasta 400 metros. Se localiza en toda la propiedad aflorando de SE-NW a lo largo de 15 Kilómetros aproximadamente.

Esta formación es de posible edad Aptiano (Schafroth, 1968) y es similar a la formación Morita del Grupo Bisbee.

El ambiente de depósito, de acuerdo a las características composicionales y texturales corresponde a una facies transicional de un ambiente no marino a un ambiente marino. Los sedimentos fueron depositados cerca de los márgenes de un mar transgresivo en un delta aluvial (Schafroth, 1968).



## **Formación Mural (Ko, Ks-Kel, Kl)**

En el año de 1986 el Ing. David Gómez Juárez, para facilitar el trabajo geológico y para ubicarse mejor estratigráficamente, vio la conveniencia de dividir la Formación Mural en tres miembros. Al miembro inferior lo llamo Ko, al miembro medio Ks-Kel-Ks y el superior como Kl. (Fig. 3). Esta unidad alcanza un espesor de 500 metros aproximadamente y se correlaciona con la Formación Mural del Grupo Bisbee. Se localiza aflorando en toda la propiedad de SE-NW. Este paquete de rocas presenta numerosos cambios de facies sugiriendo una correspondencia con un ambiente de cuenca marina somera constituyendo el evento más importante de transgresión durante el Aptiano-Albiano.

### **Miembro Inferior (Ko)**

Consiste en un horizonte limolítico de color gris, estratificado con capas de caliza gris que varían de 1 a 55 metros de espesor con contenido de fósiles como ostreas (*Exogyra* sp), (Mckee, 1991), corales, rudistas, orbitolinas y huellas de anélidos. La presencia de corales (Bennett, 1988) sugiere un ambiente somero con rápida sedimentación y aguas moderadamente claras.

### **Miembro Medio (Ks-Kel)**

Está formado por tres horizontes estratigráficos; El inferior y Superior (Ks) son limolíticos de capas delgadas y laminares de color

gris negruzco, carbonosas y ligeramente calcáreas alternadas con capas de arenisca, presentan abundantes dendritas de óxidos de hierro (hematita y jarosita). Entre los dos horizontes limolíticos hay un horizonte calcáreo (Kel) que esta constituido por capas delgadas de caliza impura de color gris oscuro, tiene un espesor de hasta 10 metros. En total, los tres horizontes alcanzan un espesor de al menos 300 metros.

La presencia de fragmentos de equinoideos dentro del miembro Ks nos indica un ambiente de depósito marino de aguas someras (Bennett, 1988).

### **Miembro Superior (KI)**

Está constituido por capas gruesas de calizas masivas de tono crema al intemperismo y de color gris oscuro en muestra fresca, presenta superficies ásperas y están interestratificadas con limolitas que varían del gris al verde claro y con un espesor de hasta 20 metros. Toda la unidad alcanza un espesor de al menos 125 metros. Este miembro no es fosilífero pero ocasionalmente, se logran observar fragmentos de conchas.

### **Formación Cintura (Ksl)**

Esta formación sobreyace a la Formación Mural en contacto normal, consiste en una alternancia de capas sedimentarias que varían de color morado claro a verde claro a gris pardo, la composición varía de limolitas a areniscas de grano medio bien clasificado. En esta formación, es característica la abundancia de

troncos de árbol silicificados. El espesor promedio observado alcanza hasta los 400 metros y sus afloramientos se distribuyen prácticamente en toda la propiedad de SE a NW. Desde el punto de vista de correlación, es equivalente a la Formación Cintura del Grupo Bisbee. Los cambios fuertes de color, textura y composición nos indican un depósito en un período de regresión.

## **Rocas Igneas**

Después del depósito de la secuencia sedimentaria descrita, hubo actividad ígnea, identificada por los intrusivos y rocas extrusivas de composición intermedia - félsica. Su emplazamiento afectó toda la columna provocando la formación de hornfels de grano fino y grueso, fracturando y plegando las rocas existentes y creando espacios para su posterior mineralización.

## **Ignimbrita Cacaxtle**

Es una toba riolítica soldada de color café claro de 300 metros de espesor aproximadamente. Se localiza en la parte superior del Cerro el Cacaxtle y en la sierra San Antonio, aproximadamente a 15 km. al sureste de la Mina Santa Gertrudis.

## **Rocas Volcánicas Sierra Azul**

Consisten en una serie de flujos andesíticos, riolíticos, basaltos y tobas ácidas y se localizan a 15 kilómetros al norte de la mina Santa Gertrudis.

## Rocas Igneas Intrusivas

Estas rocas están representadas por stocks de granito, diques félsicos, intermedios y máficos, la mayoría de estos intrusivos se presentan en forma de diques con espesores menores a dos metros y de longitud muy variada. Se localizan prácticamente en toda el área de la mina.

### Diorita

Presenta un color verde oscuro, la cantidad de hornblenda, plagioclasas, y biotita es alrededor del 20%.

Los diques son muy variados en cuanto al contenido de hornblenda mientras unos solo presentan una pequeña cantidad otros en cambio presentan un contenido muy abundante, son generalmente menores a dos metros de espesor y una longitud muy variada, se localizan en toda el área siendo mas marcada su presencia en el área de la mina. La diorita no se encuentra plegada pero está emplazada en fracturas de fuerte ángulo, este hecho sugiere una fecha posterior al evento principal de compresión asociado a la Orogenia Laramide. Al parecer, estos intrusivos ocurrieron al final de esta, en un evento de extensión durante el Terciario medio (22-26 m.a., Bennett, 1991).



## Granito Las Panochas

Es un granito hiperaluminoso rico en cuarzo (20%), Muscovita (10%), feldespatos potásicos (35%), minerales opacos principalmente piritita (3%), su afloramiento presenta una distribución aproximada de dos kilómetros de largo por un kilómetro de ancho, se localiza al sur del rancho el Batamote como a doce kilómetros al sur de la mina Santa Gertrudis. Ha sido fechado (Bennett, 1988), por el método radiométrico K-Ar obteniéndose una edad de  $36.1 \pm 0.9$  m.a. (Eoceno).

## Lamprófido La Gloria

Este dique contiene un alto contenido de biotita (50%), plagioclasas (30%), cuarzo (5%), hornblenda (3-10%) y minerales opacos (3-10%). Presenta longitudes muy variadas y los espesores son menores a dos metros, aflora en forma de dique-estratos emplazados en planos de fallas de fuerte ángulo así como en los planos de estratificación de las rocas. Este intrusivo tiene una edad de  $26.1 \pm 0.7$  m.a. y fue fechado por el método radiométrico K-Ar en biotita (Bennett, 1988), este tipo de roca es menos frecuente que la diorita de hornblenda.

## Dique Becerros Sur

Este intrusivo se encuentra cortando las capas sedimentarias y se puede observar muy bien en el tajo Becerros Sur, está fuertemente alterado y es muy difícil reconocer a que tipo de intrusión pertenece, al parecer, se trata de una intrusión félsica. Tiene un

rumbo NE con fuerte echado al NW. En la superficie se observa muy decolorado, blanquecino y de una textura sacaroide. Según Bennett (1988), este dique está intrusionando a las rocas volcánicas terciarias del Cerro La Ventana lo cual, nos sugiere, que es el evento de intrusión más joven del área.

## MINERALIZACION

La mineralización está estratigráfica y estructuralmente controlada. Gran parte del oro está hospedado en las unidades Ks, Kel, Ksl, Ko y en menor extensión en el Kvs, siendo estas típicamente limolitas calcáreas o calizas alteradas. Existe fuerte evidencia del control estructural de la mineralización, manifestándose a lo largo de fallas de alto ángulo con rumbo predominante al noreste y con leve desplazamiento de rumbo NE-SW. La mayoría de las zonas están oxidadas y argilizadas, observándose también que la mayoría de los cuerpos mineralizados presentan silicificación y vetillas de cuarzo.

El material carbonoso presente, se ha asociado como producto de los fluidos hidrotermales que removilizaron el carbón de las mismas limolitas.

Se tiene evidencia de que los fluidos hidrotermales migraron a través de las fallas y fracturas, afectando fuertemente las rocas sedimentarias calcáreas. Esto provocó una descalcificación y por consiguiente la generación de espacios y huecos preparando el terreno para el depósito posterior de la mineralización. En algunos tajos existe una asociación estrecha del mineral con los diques dioríticos, dique-estratos andesíticos y felsitas, pero no se comprobó una relación directa con la mineralización porque a la fecha no se han encontrado valores de oro en los diques, al menos en el área de la mina.

Mas bien, al parecer, estos intrusivos aprovecharon los planos de debilidad de la roca y los usaron como una vía de escape.

Es posible que la mineralización y la intrusión hallan ocurrido casi al mismo tiempo ya que, en algunos casos, y muy localmente, se han encontrado valores de oro en los diques (Beltrán, E., J.C. 1998 Tesis Profesional pag. 25). Por esto, siempre que se localiza un dique se hace un reconocimiento y se muestrea tanto al bajo como al alto del mismo.

### Paragénesis

Estudios al microscopio electrónico muestran distintas paragénesis que incluyen la depositación de marcasita. Así mismo, muestran que la arsenopirita y la primera generación de marcasita fueron anfitriones de un poco de oro, pero la segunda generación de marcasita es de un alto contenido de oro.

Durante el proceso de oxidación, la arsenopirita se altera a arsenosiderita y los óxidos de fierro y sulfuros provienen de la oxidación de la marcasita. Es así como el oro liberado de la oxidación de marcasita migra y es atrapado como finos granos en la arsenosiderita.

Estudios petrográficos - mineragráficos revelaron que el depósito de oro estuvo relacionado a una descalcificación de la roca. El sílice está comúnmente acompañado con calcita formando un cruzamiento tardío a las vetas. Muestras de la mina Amelia revelaron que la depositación del oro se relaciona con la descalcificación.

Como se menciona en el capítulo de geología regional (Pag.5), el desarrollo de cizallas NNW y las estructuras NE se llevaron a cabo al cesar la deformación compresiva. Las zonas de cizalla están relacionadas con una fuerte alteración hidrotermal y mineralización de oro, prueba de ello se tiene en el tajo el Toro donde el fallamiento NE se considera como canal alimentador que al encontrar roca favorable se formaron depósitos de oro. Por lo general en estos canales las concentraciones de oro son de valores altos y van disminuyendo conforme se extienden a lo largo de las capas.

La mina Santa Gertrudis se considera un depósito tipo Carlin ya que la alteración y la mineralización así como la roca huésped presentan características similares a los depósitos encontrados en Carlin Nevada. Así tenemos que en las calizas existe el desarrollo de jasperoide, argilización y vetillas de cuarzo en las limolitas del Kvs, Ks, Kl y Ksl.

## Geoquímica

Según el trabajo efectuado por Banerjee (1997), el sistema geoquímico en Santa Gertrudis es similar al de los depósitos tipo Carlin. Esto es, una fuerte asociación del oro con altas concentraciones de arsénico, antimonio, mercurio y bajas concentraciones de metales base.

En general el oro se correlaciona más fuertemente con el arsénico, seguido por el antimonio y el mercurio (Banerjee, 1997).



En cuanto a la plata, el zinc, cadmio y cobre solo tienen una débil asociación con el oro en algunas áreas aunque también se han detectado muy localmente concentraciones altas que se han interpretado como eventos mineralizantes previos bajos en oro, o debido a litologías muy específicas (intrusivos probablemente).

Los rangos típicos de valores de los elementos que más se correlacionan con el oro son:

Arsénico de 10 a 10,000 ppm.

Antimonio de 10 a 1,000 ppm.

Mercurio de 10 a 1,000 ppm.

Plata de 1 a 100 ppm.

Cobre de 5 a 200 ppm (Banerjee, 1997).

## TAJO EL TORO

El Toro es un depósito epitermal de oro microscópico diseminado, se localiza parte en el miembro superior (Kl) y parte en el miembro medio (Ks) de la formación Mural. El miembro medio está constituido de tres horizontes estratigráficos Ks-Kel-Ks, los horizontes Ks son los más favorables para la mineralización y están constituidos por limolitas de capas delgadas y laminares de color gris claro, carbonosas, ligeramente calcáreas y alternadas con areniscas. Es por esto, que la mayor parte mineralizada se localiza en el miembro medio (Ks), (Figura 4).

En este tajo tenemos tres diques de composición diorítica y tres diques de composición lamprofídica con alto contenido de hornblenda y biotita respectivamente. En los contactos de ambos tipos de diques con las limolitas, se observan o se tienen altos valores de oro tanto al alto como al bajo de estos.

La zona mineralizada varía en tamaño y en ley, hay zonas de hasta 10 metros con valores de 1.5 a 2.0 gr./ton. En zonas donde se cruzan fallas de rumbo noreste con los diques con rumbo noroeste (dique-estratos) la mineralización es de un alto contenido de oro. La roca huésped, limolita, se encuentra muy fracturada, altamente oxidada y argilizada, presenta anillos de liesegang y un bajo contenido de pirita fresca.

Por lo general tenemos asociado a las fallas y con rumbo noroeste vetas de cuarzo con un espesor aproximado de 30



EXPLICACION

- Unidad Ksl
- Unidad KI
- Ks
- Unitad K Mural
- Unitad Kvs
- Lamprofitos
- Tajo
- Fallas

Escala Grafica



UNIVERSIDAD DE SONORA  
 Division de Ciencias Exactas y Naturales  
 Departamento de Geologia

TAJO EL TORO  
 GEOLOGIA

Francisco J. Cuevas G. Tesis Profesional

Figura 4

centímetros. En este tajo no se tiene presencia de oro visible como en otros tajos.

Los diques tanto de composición diorítica como lamprofídica varían en espesor de 0.50 a 2.0 metros. Algunos de ellos se encuentran completamente oxidados, pero ninguno tiene valores de oro. En cambio, en las zonas de limolitas carbonosas donde no se tiene presencia de diques los valores de oro varían entre 2.0 a 5.0 gr./ton. La presencia de carbón en estas rocas fija el mineral de oro, bajando el porcentaje de recuperación evitando ser llevados al patio de lixiviación.

Al noreste del tajo El Toro las limolitas carbonosas están en contacto con las calizas del Ko donde por lo general no tenemos mineralización potencialmente económica.

En este tajo la mineralización esta controlada estructuralmente por fallas de rumbo que varían de 45° a 60° NE con echados de 45° a casi vertical hacia el NW. En estas zonas las leyes de oro se disparan a valores que van de 0.5 gr/ton a 12.0 gr/ton en bloques de 0.5 metros hasta 20.0 metros de ancho y van descendiendo a lo largo del rumbo de las capas.

Esto también ocurre en las fallas paralelas a las capas que varían de N50 a 65W con echados de 50 a 65 grados al NE. En estas zonas las leyes de oro no son tan fuertes como en las fallas NE y alcanzan valores de 0.3 gr/ton hasta 5.0 gr/ton en bloques de 0.3 metros hasta 2.0 metros de espesor (Figura 5)



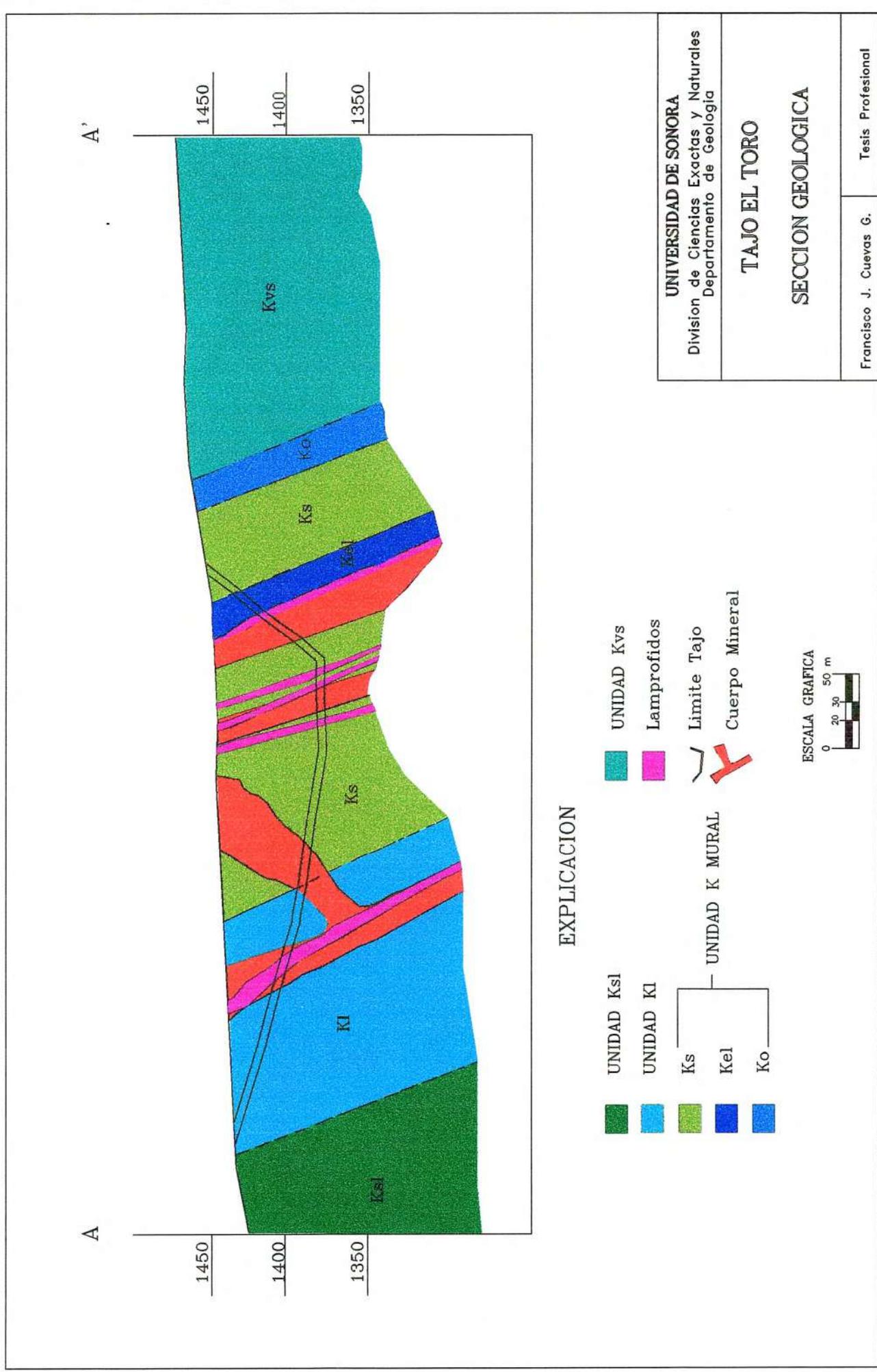


Figura 5

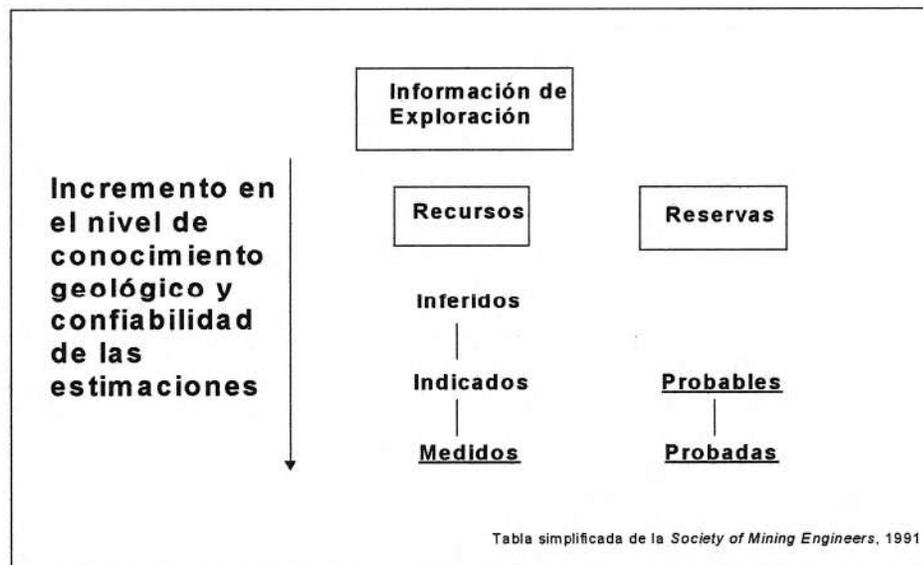
Las leyes de oro aumentan conforme se profundiza en el tajo esto debido quizá a una lixiviación natural ocasionado por las aguas meteóricas.

# GEOLOGIA DE MINA

## Cálculo de Reservas

El siguiente paso más importante, posterior al descubrimiento de un cuerpo de mineral, es el definir la existencia de una “reserva” mediante la estimación de la cantidad y calidad de dicho mineral, de acuerdo a parámetros previamente definidos por la empresa.

Dicha reserva de mineral, de acuerdo al grado de conocimiento que se tenga de ella, se deberá de enmarcar dentro de alguna “clasificación de reservas”. En el presente trabajo se ha escogido la clasificación de reservas propuesta por la Society of Mining Engineers y que a continuación se presenta en forma simplificada.



En esta clasificación se define como “recurso” al total de mineral con ley superior a una ley mínima de corte previamente definida y sobre el cual no se tiene ningún plan de minado definido. El

término "reserva" se aplicará solo a la parte del depósito mineral que puede ser económica y legalmente extraída al tiempo de su estimación.

De acuerdo a la metodología de exploración utilizada por Oro de Sotula, S.A. de C.V. la información que se genera sobre un cuerpo de mineral antes de ser entregado al departamento de mina para su definición, cumple con la definición de recurso medido o recurso geológico. Esto es, el tonelaje y ley del mineral, limitado por concentraciones anómalas del mismo y sin incluir algún plan de minado.

Dependiendo del grado de confiabilidad para predecir la ley y tonelaje de un bloque de mineral los recursos pasan a ser reservas probables y reservas probadas. Además se ha probado que son económicamente redituables siguiendo un determinado modelo de minado.

Las definiciones anteriores, aunque revisadas de manera general, son la guía para la planeación de los trabajos que el geólogo de mina deberá realizar para poder presentar un cuerpo de mineral minable y que genere una remuneración económica aceptable según la política de la empresa. Dichos trabajos se definen a continuación.

## **Definición de Cuerpos de Mineral**

### **Etapa de Exploración**

Durante la etapa de exploración de un área se generan planos de superficie con geología, estructuras principales, muestreo y obras de exploración, como zanjeo y barrenos. Dependiendo de la geología, las secciones de barrenación tienen de 40 a 50 metros de separación y los objetivos a interceptar por los barrenos están a 50 y 100 metros de profundidad. Esta información deberá de ser suficiente para delinear un cuerpo de mineral con una ley superior a la ley mínima de corte definida previamente. La ley promedio y las toneladas de mineral calculados serán clasificadas como recursos geológicos o recursos medidos.

### **Etapa de Definición**

Para elevar al rango de “reservas” a los “recursos geológicos” definidos por exploración, se tienen que calcular algunos parámetros que ayudarán a dirigir los siguientes trabajos, tanto del departamento de geología de mina como del de ingeniería y planeación.

La ley mínima de corte deberá de establecerse de acuerdo a los costos de producción y administrativos previamente calculados. Esto nos ayudará a poder identificar, en los modelos de mineral, los bloques que por su baja ley deberán de seguirse explorando para aumentarla o que deberán de ser desechados dentro de los cálculos.

El cálculo de una ley máxima para los bloques de mineral es de suma importancia ya que debido a la naturaleza del oro, su ocurrencia en diferentes tamaños provoca el “efecto de pepita” y por lo tanto se puede provocar una sobre-estimación de las reservas. Mediante una gráfica de frecuencia acumulada donde se comparen las leyes obtenidas durante todo el estudio del cuerpo de mineral (aún durante su minado), se podrá observar como la mayoría de las muestras caen dentro de un “rango de leyes”, las cuales, si se respetan, darán mayor certidumbre al modelo propuesto de reservas. La gráfica adjunta muestra como el 90 % de un grupo de muestras cae dentro del intervalo de 2.50 – 3.00 gr./ton, (Fig. “A”). Lo que significa que cualquier ley mayor a 3.00 gr./ton puede ser causa del efecto de pepita y por lo tanto deberá de recortarse a 3.00 gr./ton.

Grafica de Frecuencia Acumulada

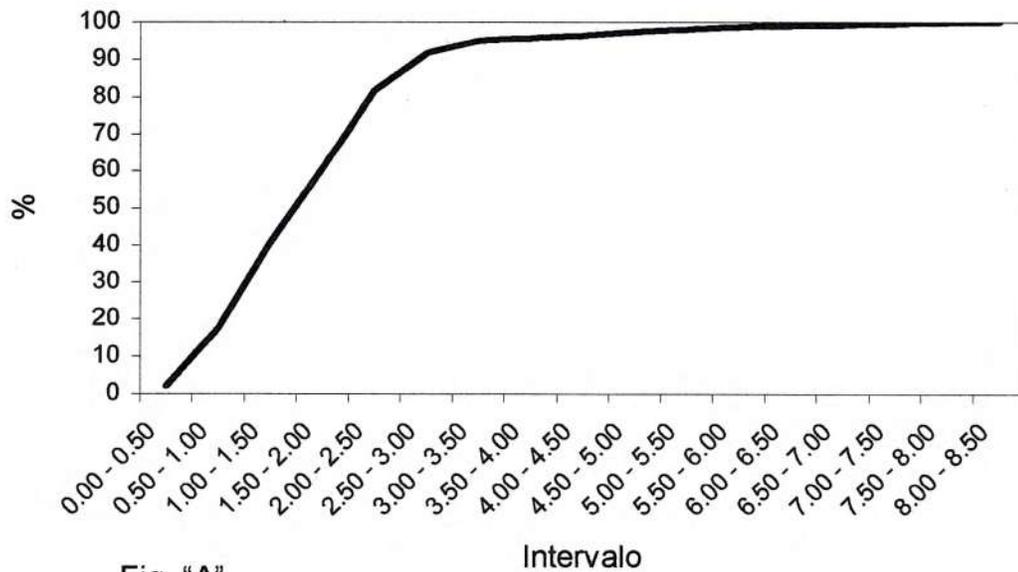


Fig. "A"

Los datos anteriores nos dan una idea de la variabilidad de las leyes dentro del cuerpo y nos ayudan a definir un espaciamiento mínimo del muestreo del cuerpo de mineral. En el caso del cuerpo de El Toro se decidió muestrear el cuerpo cada 20 metros, longitudinal y verticalmente.

La elaboración de secciones longitudinales permite monitorear el avance del muestreo y definir tendencias de concentraciones del mineral.

Con los datos anteriores se identificarán las zonas del cuerpo de mineral que deberán muestrearse, ya sea en superficie o con barrenación, para tener un conocimiento confiable del cuerpo.

## Interpretación del Cuerpo de Mineral

Una vez completado el muestreo se procede a la elaboración de secciones transversales que permitirán interpretar el comportamiento del cuerpo. La información de las secciones se traslada a plantas donde se verá el desarrollo del cuerpo longitudinalmente.

Debido al comportamiento del mineral en el distrito, los cuerpos de mineral delineados en las plantas son bloqueados usando simplemente la mitad de la distancia entre los puntos de muestreo y se le asigna a cada bloque la ley de la muestra que lo representa. Esta información será utilizada por el departamento de ingeniería para



elaborar los diseños preliminares del tajo, según los parámetros económicos de la empresa.

## Diseño del Tajo

Como se indicó anteriormente la parte de las reservas que queden comprendidas dentro de un plan de minado y que su explotación sea económicamente redituable, se considerarán dentro del rango de reservas probadas.

## Diseño de Minado

Durante y después de la etapa de definición de un cuerpo de mineral, el departamento de ingeniería y planeación elabora diferentes diseños de tajos con sus respectivos análisis de sensibilidad.

Estos diseños son regulados principalmente por los siguientes parámetros definidos para la mina Santa Gertrudis:

Bancos de 6 metros de alto

Angulo final de taludes de 53°.

Banquetas de 10 metros de ancho para cada 5 bancos.

Pendiente máxima de 10% para rampas finales.

El mejor diseño será aquel que reúna las condiciones de la extracción de la mayor parte del mineral definido con un margen de ganancia aceptable.

## Trabajo de Campo

Cuando el equipo de exploración detecta una zona con valores de oro lo hace por medio de muestreo siguiendo las alteraciones favorables tanto de oxidación como por geoquímica de suelo. El muestreo de afloramiento nos da resultados inmediatos sobre el contenido de mineral en las rocas y nos proporciona un parámetro inmediato de las dimensiones del área prospectiva.

Si los resultados son favorables, se procede al zanjeo del área con el fin de conocer los valores y la actitud de las estructuras lo mas real posible.

Si las muestras del zanjeo son interesantes, se procede a la planeación de la barrenación para conocer a profundidad las actitudes que toman y la variación de las leyes.

## Trabajo de Gabinete

Si los resultados de la barrenación son favorables se procede a la elaboración de las secciones geológicas (Figura 6) y a la interpretación de los cuerpos. Ya identificados los cuerpos de mineral se procede al trazo de los mismos en plantas a elevaciones definidas previamente y se calcula el tonelaje y la ley promedio de los bloques de mineral.

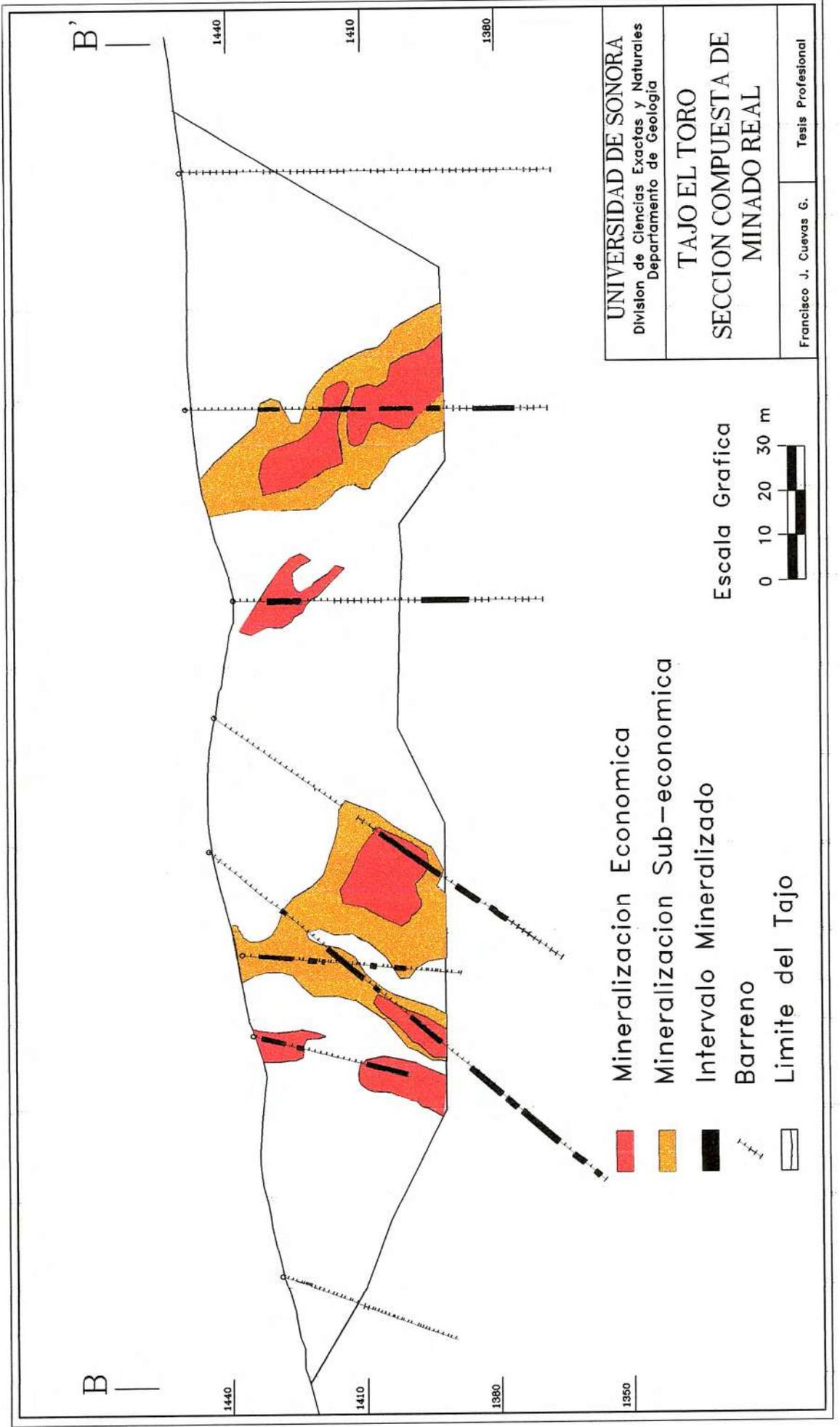


Figura 6

El departamento de ingeniería es el encargado del diseño del tajo y para su elaboración se toman como parámetros los bloques y las leyes de los cuerpos de las plantas geológicas.

Así el modelo diseñado es el más favorable para la recuperación de mineral y que implica el menor movimiento de material estéril.

Los límites del tajo son marcados por el departamento de topografía por medio de estacado formando lo que será el primer banco del diseño y nos sirve para ir nivelando el terreno.

## **Barrenación y Voladuras**

El departamento de barrenación y voladuras hace su primer planilla de barrenación y se procede a ejecutar los primeros barrenos de producción, estos barrenos están espaciados en una red de tresbolillo que mide cinco metros de largo por cinco metros de ancho y una profundidad de ocho metros, la broca que se usa es de 4'3/4 de pulgada.

## **Laboratorio**

Los polvos de la barrenación son recogidos en bolsas por un equipo semiautomático que consiste de un muestreador que se coloca a un lado de la broca para que los polvos se depositen en ellos. Es responsabilidad del geólogo de mina que la muestra sea bien tomada y que el muestreador sea bien colocado para que la muestra sea lo mas representativo posible.

Las muestras se etiquetan y se mandan al laboratorio de la mina; también se hace un levantamiento topográfico de cada barreno y se le pone la misma etiqueta de la muestra, el laboratorio tiene la obligación de analizar las muestras lo más rápido posible y pasar los resultados al departamento de geología, ya una vez analizadas las muestras se cargan al programa de computadora de la mina (Datamine) el cual con los resultados nos proporciona un plano con los valores de las leyes de cada uno de los barrenos y nos da la ley promedio automáticamente.

Con esta información se unen los barrenos por medio de curvas de isovalores delimitando las zonas con valores de oro. La (figura 7) ilustra la ley mínima de corte ("cut off") en Santa Gertrudis la cual es de 0.5gr/ton de Au.

## Topografía

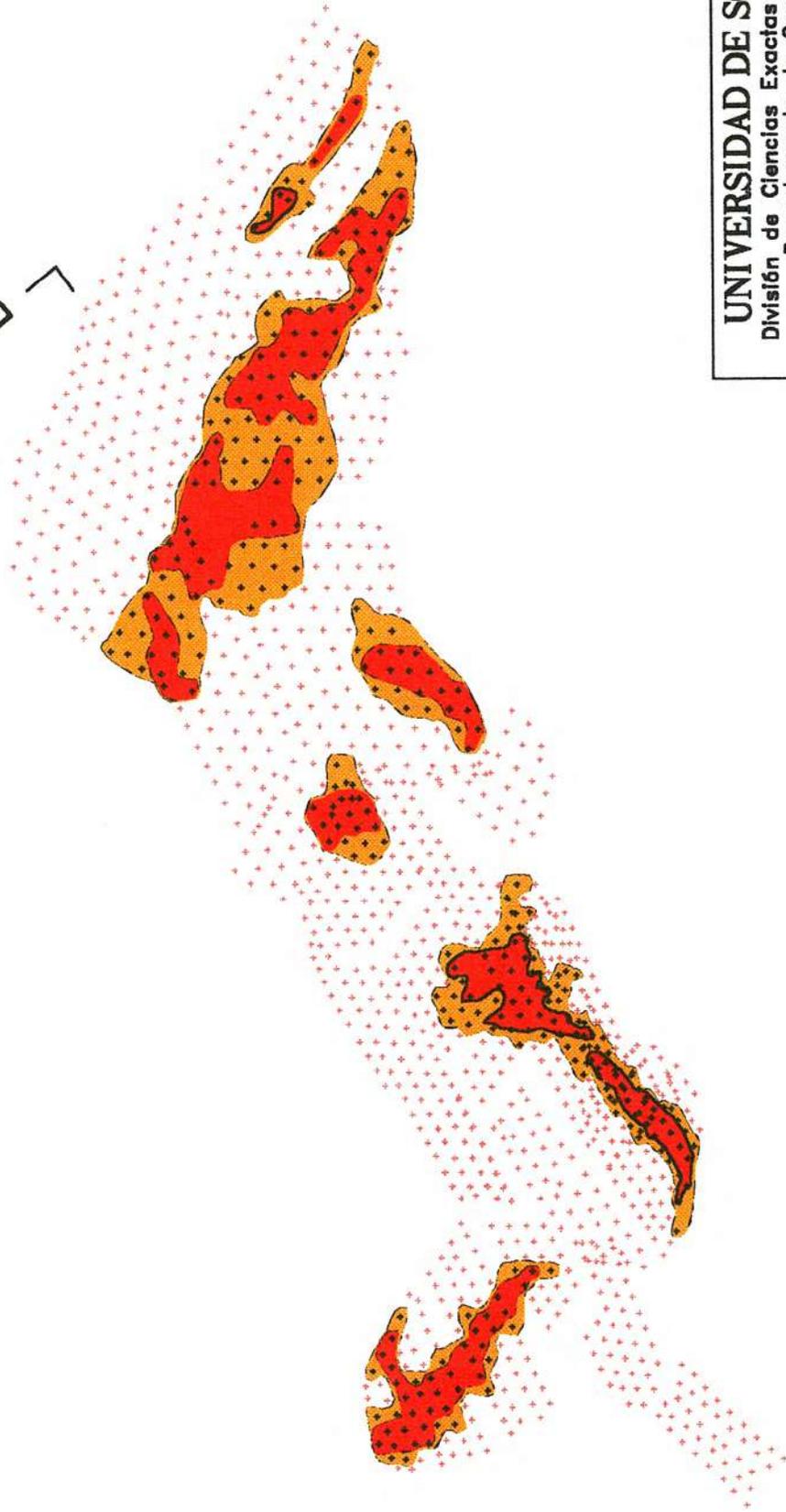
Ya una vez detectados los barrenos con ley arriba de 0.5gr/ton de Au se relocalizan en el tajo con ayuda del departamento de topografía y se marcan por medio de listones, esta información se transmite al encargado o jefe de grupo y entre los dos departamentos se busca la manera más efectiva para el minado de los cuerpos.

## Calculo de Ley Final

El material se lleva a la quebradora y una vez mas al momento de ser triturado, se remuestra por el equipo de laboratorio al momento de pasar por la banda rumbo al patio de almacenamiento



B 7



Mineralización Económica

Mineralización Sub-económica

Barrenos de Producción



UNIVERSIDAD DE SONORA  
División de Ciencias Exactas y Naturales  
Departamento de Geología

**TAJO EL TORO**  
**BANCO DE PRODUCCION**  
**NIVEL 1420**

Francisco J. Cuevas G.

Tesis Profesional

Figura 7

(cono), diariamente el cono es transportado al patio de lixiviación donde se apila en montones de cinco metros de altura se nivela y se le pasa el tractor con un "ripper" de dos metros para ser zanjeado o acanalado para su posterior riego con solución de cianuro de potasio.

Al momento de ser transportado se toman muestras por el departamento de geología y se promedian para tener un control del tonelaje y ley de cada cono.

## **CONTROL DE MINADO Y LEYES**

### **Control de Ley por Voladuras**

Una vez que se le da el piso al banco, el departamento de barrenación y voladuras marca los barrenos de producción en una red de tresbolillo (Figura 7) procurando que la cuadrícula ocupe la mayor área que previamente fue marcada por el geólogo de mina como la zona donde se espera la mayor concentración de mineral, esto es con el fin de que los barrenos ocupen la mayor área del cuerpo mineral y así tener una ley mas exacta. Los barrenos están distribuidos en una cuadrícula de 5.0 metros por 5.0 metros.

Al final del tajo se hace una comparación del diseño del tajo con los bloques de mineral que se calcularon por medio de secciones longitudinales y se comparan con los resultados reales del minado (figura 6).

### **Muestreo y Mapeo de Caras**

Para tener un mayor control de los cuerpos y sus leyes diariamente se hace mapeo de las paredes de cada banco. El mapeo se hace a detalle escala 1:500, se muestrean las paredes del banco que se esta minando y se pasan los datos al plano del tajo banco por banco.

Con esta información es muy fácil tener un control del mineral así como los posibles cambios que puedan tener los cuerpos y las leyes de los mismos. Es muy importante tener buena relación con los operadores de los cargadores y estar en contacto permanente con

ellos para informarles de los posibles cambios del mineral ya sea en el rumbo o en la ley de los mismos.

Esto se hace porque ellos se guían por el color del material. Las zonas donde hay mineral la influencia de la alteración es muy amplia ocasionando que la mayoría de los operadores se confundan y carguen zonas alteradas del mismo color del mineral pero con leyes muy bajas de oro, o pase completamente lo contrario lo que es mineral sea cargado como material estéril y tirado a los vaciaderos.

Siempre que el operador tiene alguna duda inmediatamente pide apoyo al departamento de geología ya que un error al momento de decidir si es mineral o material estéril es muy costoso para la compañía.

## Monitoreo de Avances

Día con día se monitorea el avance del material minado por medio de levantamiento topográfico y se calcula la cantidad de mineral minado así como su ley basándonos en las leyes que reportaron los barrenos de producción. Esto se hace rápidamente cubicando la superficie minada y se compara con la cantidad de material que reportaron los camiones a los patios de la quebradora, esta es otra manera alterna de llevar a cabo un control del mineral ya que, no se puede reportar mayor o menor cantidad del que se cubica por medio de topografía, las cantidades deben coincidir.



## Método de Explotación

El método de explotación utilizado en la mina Santa Gertudis es el minado a cielo abierto con bancos de 6.0 metros de altura y talud de 55 grados. Se dejan banquetas de 10.0 metros cada 5 bancos, el área mínima de operación es de 25.0 metros, los caminos de acarreo son de 18.0 metros de ancho mínimo con pendientes de rampa finales del 10%.

## Método de Beneficio

El método utilizado para la extracción del mineral es el "heap leaching" o método de lixiviación por montones que es el más recomendado para la extracción de oro de baja ley. Para que dicho método sea aplicable, el material debe cumplir con ciertos parámetros para lograr una óptima recuperación del oro, entre los cuales destacan:

- \*\* El tamaño de las partículas de oro debe ser principalmente microscópico.
- \*\* El material no debe contener cianicidas como cobre, arsénico, sulfuros etc.
- \*\* Debe de ser permeable para una mayor circulación de las soluciones.
- \*\* No debe de contener material carbonoso ya que este, actúa como receptor del oro.
- \*\* La altura de los montones no debe sobrepasar los 40 metros ya que afecta la buena circulación de las soluciones además de que, el contenido de oxígeno, disminuye la oxidación del cianuro.

## Operación

La fase de operación consiste en un molino que procesa el material a la medida recomendada en este caso 3 pulgadas, un área para la elaboración de los patios de lavado de material, un área para las pilas de solución y las columnas de carbón para la absorción del mineral, estas áreas se deben localizar lo mas cerca posible una de la otra para evitar los acarrees largos ya sea de solución o de material, un laboratorio para los análisis de las soluciones y contabilizar las leyes de despojo y la planta química que se encarga de separar el oro del carbón. Finalmente el oro es fundido para su comercialización.

## CONCLUSIONES

Los depósitos en la Mina Santa Gertrudis tienen la forma, la asociación mineralógica y la geoquímica de los depósitos formados por procesos hidrotermales similares a los depósitos tipo Carlin. Se diferencian de estos, en la edad de la roca encajonante.

Los principales controles de la mineralización son estructurales y litológicos; los controles estructurales están caracterizados por fallas con rumbo NE de fuerte ángulo que, posiblemente sean los alimentadores mineralizantes y fallas de bajo ángulo paralelas a la estratificación. Los controles litológicos se deben a lo calcáreo y lo permeable de las rocas del área.

La mayoría de los depósitos se encuentran hospedados en las Formaciones Cerro de Oro, Mural, Cintura y en menor proporción en la Formación Morita.

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

El depósito El Toro se encuentra hospedado en la unidad K-Mural la mayor parte en el miembro Ks y en menor proporción en el miembro KI. Tiene un rumbo general de NW 65° SE con un echado de 60° NE. con una longitud de 250 metros de largo por 15 metros de ancho en promedio, se minaron 463,975 toneladas de mineral con una ley de 1.845 gr/ton.

## RECOMENDACIONES

La geoquímica de suelo en la mina Santa Gertrudis ha marcado una pauta a seguir, los nuevos depósitos encontrados en el área en su mayoría son detectados por anomalías geoquímicas de suelo.

Las estructuras NE deben ser descritas a detalle y cerrar el muestreo lo más posible, así como hacer un estudio detallado de los movimientos estructurales.

El estudio del contenido mineral de los depósitos debe cumplir con los parámetros establecidos en la mina para obtener un máximo de recuperación como el tamaño del grano de la roca huésped, que no contenga material carbonoso, que los minerales cianicidas no rebasen los parámetros establecidos.

Se debe continuar con la exploración y verificar a profundidad el contenido de oro en sulfuros dado que, en algunas muestras de estos tomadas en el área han revelado buen contenido de oro.

## **BIBLIOGRAFIA**

Alba Pascoe, Ajax, 1995, Situación actual y perspectivas del Distrito Minero de Santa Gertrudis. Informe inédito, compañía Oro de Sotula.

Anderson, Scott, 1997, Structural geology - Santa Gertrudis Property. Informe inédito, compañía Oro de Sotula.

Bennet, Scott, 1988, A gold exploration study aided by lithologic mapping, remote sensing analysis, and geographic Information system compilation. Informe inédito, compañía Oro de Sotula.

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.

Mackee, Mary, 1991, Deformations and stratigraphic relationships of mid-Cretaceous to Early Tertiary mass gravity slides in marine basin in Sonora México (Ph. D. Dissertation): Pittsburgh, Pennsylvania, University Pittsburgh, 286 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

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

Helmstead, Hebert, 1996, Structural observations at the gold Deposits of Santa Gertrudis mine, Santa Teresa district Northeast, Sonora, México. Informe inédito, Compañía Oro de Sotula.

Behre, Dolbear & Company Inc., 1997, Evaluation of the Santa Gertrudis property. Informe inédito, Compañía Oro de Sotula.

Beltran E., J.C. 1998. Exploración Geológica Minera de la Mina Santa Gertrudis, Exploración y Explotación del Deposito Sofía. Tesis Profesional Universidad de Sonora. 41 p.

John G. Stone, Peter G. Dunn 1996, Ore Reserve Estimates in the Real World. Society of Economic Geologists Special Publication Number 3, Second Edition. 160 pp.

Neil R. Banerjee 1997, A Surface, Drill Hole, and Soil Geochemical Investigation of the Santa Gertudis Property, Sonora, Mexico. Informe inédito, Compañía Oro de Sotula. 41 p.

