

4701



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



**GEOLOGIA Y EXPLORACION DEL YACIMIENTO GRETA,
MINA SANTA GERTRUDIS, DISTRITO MINERO SANTA
TERESA, MUNICIPIO DE CUCURPE, SONORA**

TESIS QUE PARA OBTENER EL TITULO DE GEOLOGO

PRESENTA

HERIBERTO MOROYOQUI GRIEGO

Hermosillo Sonora

2003

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



EL SABER DE MIS HIJOS
HARA MI GRANDEZA

UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISIÓN DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

TEL. (662) 259 21 10
FAX 259 21 11

Noviembre 25, 2003.

M.C. FRANCISCO JAVIER GRIJALVA NORIEGA

Jefe del Departamento de Geología
Universidad de Sonora
Presente

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

“GEOLOGIA Y EXPLORACIÓN DEL YACIMIENTO GRETA, MINA SANTA GERTRUDIS, DISTRITO MINERO SANTA TERESA, MUNICIPIO DE CUCURPE, SONORA ”

Esto es con el fin de que el alumno:

HERIBERTO MOROYOQUI GRIEGO

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

ATENTAMENTE


M.C. EFRÉN PEREZ SEGURA

Director de Tesis



EL SABER DE MIS HIJOS
HARA MI GRANDEZA
DEPARTAMENTO DE
GEOLOGIA

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



EL SABER DE MIS HIJOS
HARÁ MI GRANDEZA

UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISIÓN DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

TEL (662) 259 21 10
FAX 259 21 11

Noviembre 26, 2003.

M.C. EFRÉN PEREZ SEGURA
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 Y EXPLORACIÓN DEL YACIMIENTO GRETA, MINA SANTA GERTRUDIS, DISTRITO MINERO SANTA TERESA, MUNICIPIO DE CUCURPE, SONORA ”

Esto es con el fin de que el alumno:

HERIBERTO MOROYOQUI GRIEGO

pueda presentar su examen profesional, para la obtención de su título. Asimismo le comunico que han sido asignados los siguientes sinodales:

M.C. EFRÉN PEREZ SEGURA
ING. RICARDO AMAYA MARTINEZ
GEOL. JUAN R. GONZALEZ SANDOVAL

VOCAL
SECRETARIO
PRESIDENTE

Sin otro en particular, quedo de Usted.

ATENTAMENTE

M.C. FRANCISCO J. GRIJALVA NORIEGA
Jefe de Departamento



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



NOMBRE DE LA TESIS:

**“GEOLOGIA Y EXPLORACIÓN DEL YACIMIENTO GRETA,
 MINA SANTA GERTRUDIS, DISTRITO MINERO SANTA
 TERESA, MUNICIPIO DE CUCURPE, SONORA”**

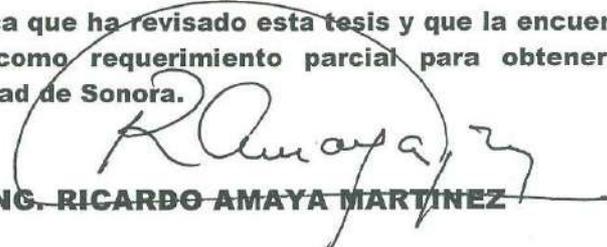
NOMBRE DEL SUSTENTANTE:

HERIBERTO MOROYOQUI GRIEGO

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. EFRÉN PEREZ SEGURA

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. RICARDO AMAYA MARTINEZ

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 R. GONZALEZ SANDOVAL

ATENTAMENTE
"EL SABER DE MIS HIJOS HARA MI GRANDEZA"

M.C. FRANCISCO JAVIER GRIJALVA NORIEGA
Jefe de Departamento

FJGN*ar



EL SABER DE MIS HIJOS
 HARA MI GRANDEZA
 DEPARTAMENTO DE
 GEOLOGIA

AGRADECIMIENTOS

A Dios creador de todas las cosas, y a alguien que está muy cerca de él, dedico el presente trabajo.

Para la realización de éste 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 M.C Efrén Pérez Segura, Geol. Juan González, y el Dr. Lucas Ochoa Landín y demás personas que por su gran número resulta imposible mencionarlas, pero a todos ellos les doy mis más infinitas gracias.

Estoy profundamente agradecido al Dr. Lucas Ochoa Landín, por su valiosos comentarios y discusiones que me llevaron a la conclusión de este trabajo. A Isidro Flores, por su apoyo en él proceso y desarrollo de esta escrito. A Abel y Angel, les doy mi mas infinitas gracias por su apoyo desinteresado para la impresión y elaboración de mi tesis.

A MIS PADRES José y Margarita, por su paciencia y sacrificio.

A MI ESPOSA Rocío por su apoyo y comprensión.

A MIS HIJOS, Jocabed, Eliezer y Asbel que me dieron fortaleza.

A MIS HERMANOS, por su amistad, compañerismo y el ánimo que me infundieron.

INDICE

	Pga.
I.RESUMEN.....	1
II.-INTRODUCCION.....	2
II.1.- Localización y Acceso.....	2
II.2 .-Generalidades.....	2
II.2.1.- Objetivo de trabajo.....	2
II.2.2.- Sistema de trabajo	4
II.2.3.- Antecedentes.....	4
III.- GEOLOGIA DEL DISTRITO SANTA TERESA.....	5
III.1.- Litología y Estratigrafía.....	5
III.1.1 - Rocas Sedimentarias.....	7
Unidad El Tuli.....	7
Unidad Kco.....	9
Unidad Kvs.....	9
Unidad K-Mural.....	10
<i>Miembro Inferior Ko.....</i>	10
<i>Miembro Medio Ks-Kel.....</i>	10
<i>Miembro Superior Kl.....</i>	11
Unidad Ksl.....	12
III.1.2.- Rocas Igneas.....	12
Diorita (Beceros Norte y Sur).....	12

Granito Las Panochas.....	13
Diques Lamporfidos.....	13
Dique Felsico.....	14
III.2.- Tectónica.....	16
III.3.- Yacimientos Minerales.....	17
IV.- GEOLOGÍA, MINERALIZACIÓN Y ALTERACION DEL DEPOSITO GRETA.....	20
IV.1 Introducción.....	20
IV.2.- Litología y estratigrafía.....	21
Greta NE.....	27
Cerro Greta.....	27
Ontario.....	27
IV.2.- Geología Estructural del área Greta.....	28
IV.3.- Mineralización.....	30
IV.4.- Alteración.....	33
Silicificación.....	33
Argilización.....	35
Piritización.....	35
Hematización.....	37

VI.- Conclusiones y Recomendaciones.....	37
VII.- Referencias.....	39

Lista de Figuras

	pgs.
Figura 1.- Plano de localización.....	3
Figura 2.- Plano geológico estructural simplificado.....	
Figura 3.- Columna estratigráfica del distrito.....	8
Figura 4.- Plano geológico del área Greta.....	23
Figura 5.- Secciones geológicas y de alteración del área Greta.	26

Lista de Fotografías

Fotografía 1.- Lamprofido área Ontario.....	15
Fotografía 2.- Mostrando zona de falla y jaseroide.....	24
Fotografía 3.- Mostrando zona de jaseroide.....	25
Fotografía 4.- Zona de brecha silicificada del tipo jaseroide...	29
Fotografía 5.- Traza de las fallas NE-SW, principales conductos de la mineralización.....	31
Fotografía 6.- Mostrando argilización en bandas de liesegang..	36

Tablas

Tabla 1.- Características geológico-mineras de distintos depósitos en el Distrito de Santa Teresa.....	22
--------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

controlada posiblemente por un sistema de fallas NE-SW; el cual es considerado como el conducto principal, mismo que define la orientación del yacimiento NE 20 SW.

II.- INTRODUCCION

II.1.- Localización y Acceso

El área de estudio se localiza en la parte norte-central del estado de Sonora, aproximadamente a 170 Km al NNE, en línea recta de la ciudad capital Hermosillo, y a 250 Km a través de carretera federal número 15.

Geográficamente se ubica dentro de las coordenadas: Latitud N30° 36'' y longitud E110° 33''. El acceso se logra por la carretera federal de cuatro carriles que une las ciudades de Hermosillo-Nogales. Saliendo de Hermosillo a los 180 kilómetros de distancia se llega a la ciudad de Magdalena de Kino, de donde se desprende, hacia el ESE la carretera estatal Magdalena-Cucurpe. Aproximadamente a los 26 kilómetros de la ciudad de Magdalena, se toma un camino de terracería de aproximadamente 39 Km hacia el NE, pasando por los ranchos El Carrizal, El Aquituni y La Golondrina, hasta llegar a las instalaciones de la mina Santa Gertrudis (Figura 1).

El área de estudio denominada Greta, se encuentra dentro de la propiedad de la mina Santa Gertrudis, en la parte este, en terrenos del rancho El Palmillar propiedad del Sr. Gustavo Maldonado, dentro del municipio de Cucurpe, Sonora (Figura 1).

II.2.- Generalidades

II.2.1.- Objetivo de trabajo

El objetivo primordial de éste trabajo es definir la geología, estructura, mineralización y alteración del depósito Greta, para lo cual se realizaron levantamientos geológicos a detalle, descripción e interpretación de 30 barrenos de circulación inversa y uno de diamante, con el propósito de delinear los cuerpos de mena, su prolongación y la búsqueda de nuevos cuerpos de oro diseminado, económicamente explotables en esta zona.

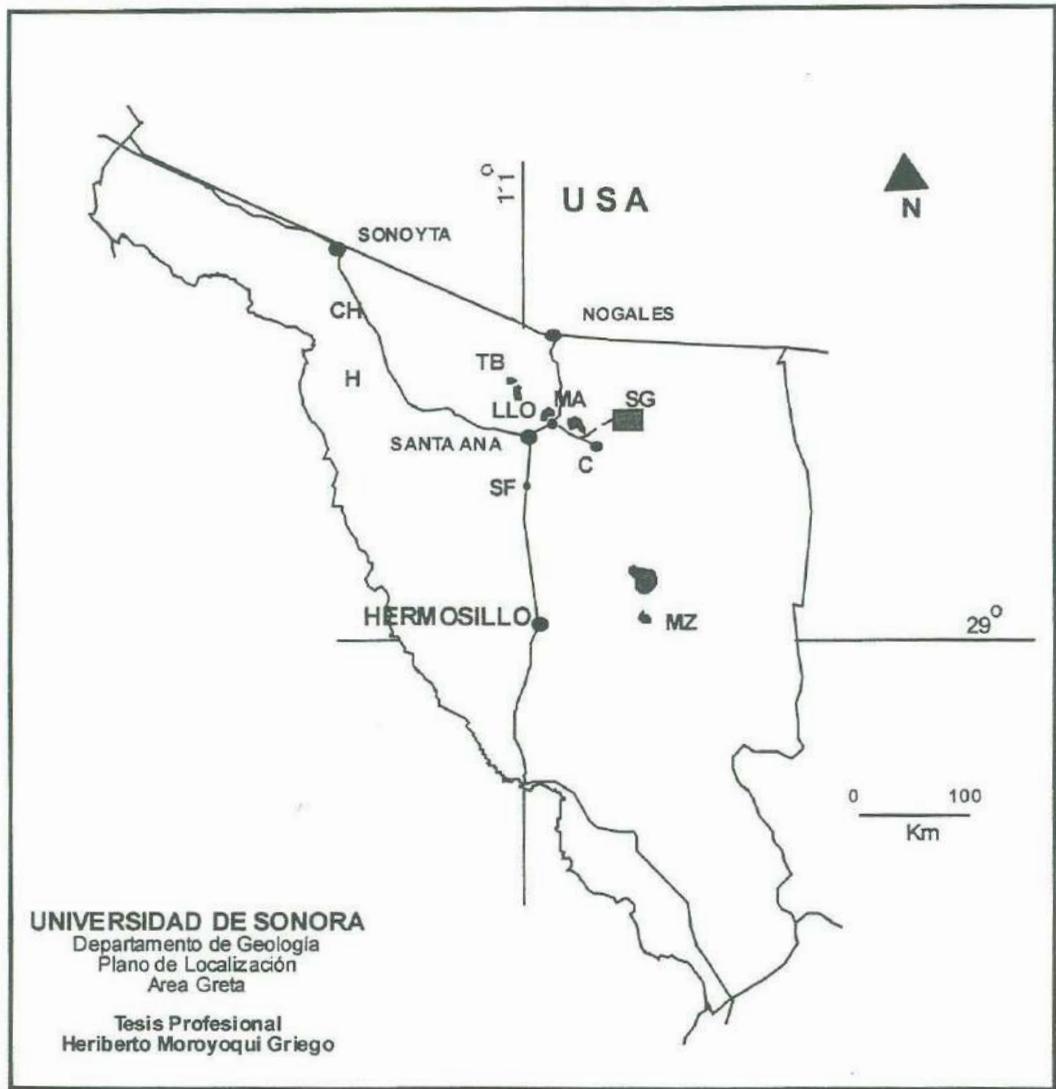


Figura 1.- Mapa del Estado de Sonora, mostrando la localización y acceso del distrito minero Santa Teresa, Municipio de Cucurpe. En achurado corresponde a la distribución general de algunos complejos metamórficos: MZ-Mazatán, MA-Magdalena, TB-Tubutama. Las siguientes siglas corresponden a depósitos importante de oro: CH-La Choya, H-Herradura, SF-San Francisco, LLO-Lluvia de Oro y SG-Santa Gertrudis (incluido en el distrito Santa Teresa).

II.2.2.- Sistema de trabajo :

1.- Recopilación de información geológica en relación al área Greta.

2.- Estudio Geológico-Estructural

a).- Cartografía geológica-estructural 1:5000

b).- Muestreo de esquila de roca 1:5000

3.- Localización de áreas de interés procediéndose a :

a).- Geología a detalle 1:2000, 1:1000 y 1:500

b).- Muestreo de rocas

c).- Delimitar zanjas, mapeo a detalle 1:500, interpretación del área y barrenación.

II.2.3.- Antecedentes

La actividad minera en el distrito Santa Teresa comenzó a finales del siglo XIX, explotando la región en forma de placeres, como es el caso de las áreas Real Viejo y San Rafael. Posteriormente, al comienzo del siglo XX se inicia la explotación de minerales a pequeña escala en las minas de plata Santa Gertrudis, La Viviana y El Espíritu. En el año 1990 la empresa minera Santa Gertrudis, comienza la explotación de oro diseminado a gran escala bajo el sistema de minado a cielo abierto. En éste Distrito se reconoció un importante potencial de oro de tamaño micrométrico, hospedado en sedimentos calcáreos cretácicos, con características similares a los depósitos tipo Carlin del oeste de Estados Unidos.

A mediados de 1994 la compañía minera Santa Gertrudis del grupo Phelps Dodge Co., decidió vender la propiedad a la compañía Minerales de Sotula, posteriormente nombrada Oro de Sotula S.A. de C.V., que fué subsidiaria del grupo canadiense Campbell Resources Inc. Esta última continuó e inició la explotación de 18 depósitos de mineral, bajo el sistema de minado "a cielo abierto" conocidos como: Agua Blanca, Becerros Norte y Becerros Sur, Corral, Corral NW,

Dora, Gregorio, Katman, Hilario, Manueles, Maribel, Ruben, San Ignacio, Sofía, El Toro, Trinidad, El Mirador y Toro Norte.

Debido al decremento del precio del oro en el año de 1999, la Compañía Oro de Sotula S.A. de C.V., decidió cerrar y traspasar sus concesiones mineras. Por tal motivo, quedaron pendientes trabajos de exploración en varios proyectos y prospectos entre los que destacan Greta, El Tigre y Nelly hacia la parte Este; La Escondida, Lola, La Peque, Verónica, Real Viejo, Santa Teresa, y Cerro la Eme hacia la parte centro y norte, con el propósito de encontrar nuevos cuerpos de mineral del orden económico. La Figura 2, muestra la localización de la mayor parte de las áreas exploradas dentro del distrito de Santa Teresa.

III.- GEOLOGIA DEL DISTRITO SANTA TERESA

III.1.- Litología y Estratigrafía:

En el Distrito de Santa Teresa, afloran un grupo de rocas de ambiente marino de aguas someras que sobrepasan los 1500 metros de espesor, las cuales son consideradas del Cretácico inferior al Cretácico Superior y han sido correlacionadas como equivalentes al Grupo Bisbee que aflora en el sureste de Arizona, noroeste de Sonora. Estas rocas geomorfológicamente se comportan en forma de un cinturón alargado de aproximadamente 20 kilómetros de largo por 8 kilómetros de ancho, mismo que define un rumbo general de N50°W y un echado general de S20-50°W de la estratigrafía (Figura 2).

Este cinturón sedimentario está circundado o limitado principalmente por paquetes de rocas volcánicas terciarias que sobreyacen en forma discordante sobre el mismo, las cuales cubren principalmente las partes norte y sur del distrito, cuya composición y ocurrencia es similar al volcanismo de la Sierra Madre Occidental.

Este conjunto de rocas cretácicas están intrusionadas por un enjambre de diques principalmente dioríticos y lamprofídicos, y escasos diques félsicos. En la parte centro-este del distrito, por medio de magnetometría y gravimetría, se detectaron posibles cuerpos intrusivos de mayor dimensión (stocks) a profundidades >400 m, que marcan estructuras regionales semicirculares en

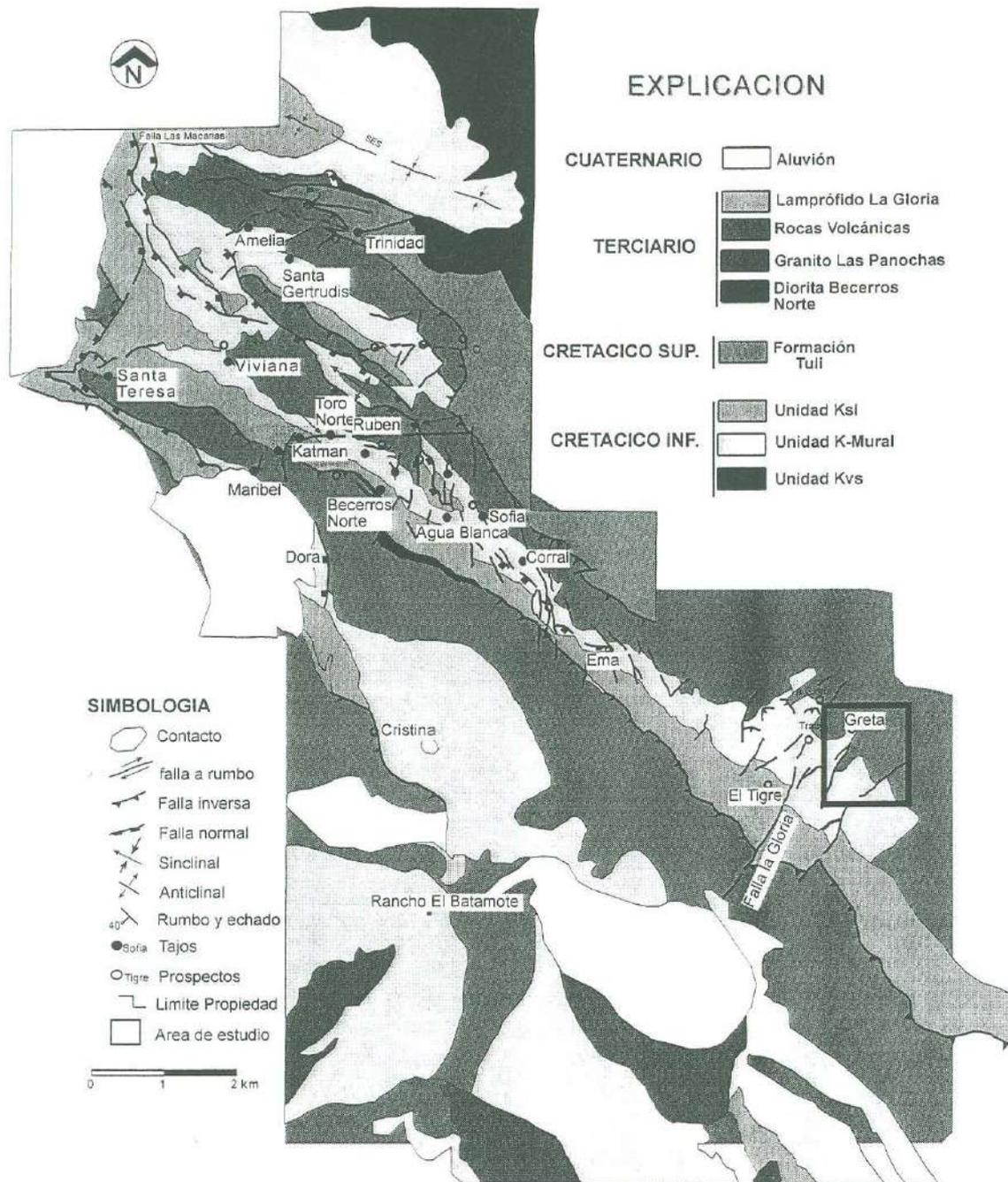


Figura 2.- Plano geológico-estructural simplificado del distrito minero de Santa Teresa. El recuadro señala el área de estudio. Tomado de Beltrán, C. (1998).

superficie que solamente son detectadas a través de fotografías aéreas o imágenes de satélite. También, en la parte sur del distrito afloran rocas intrusivas tales como el granito Las Panochas.

La columna litoestratigráfica del distrito Santa Teresa, está conformada desde su base hasta la cima por las unidades; El Tuli, Kco, Kvs, K-Mural y el Ksl. Esta nomenclatura es de carácter informal, la cual fue diseñada y utilizada por la compañía Phelps Dodge y adoptada en este trabajo. La columna estratigráfica del distrito de Santa Teresa es mostrada en la Figura 3.

III.1.1 - Rocas Sedimentarias.

Unidad El Tuli

Conglomerado polimíctico compuesto por fragmentos de roca generalmente subredondeados de cuarcita, limolita, arenisca y en menor proporción fragmentos de caliza. Todos estos fragmentos se encuentran dentro de una matriz arenosa impura de tonos verdosa y rosáceo. El espesor de esta unidad alcanza aproximadamente 500 metros y es muy notoria su presencia en la Sierra El Centinela, que se localiza hacia el flanco NE de la zona de los principales depósitos de la mina Santa Gertrudis (Figura 2). Esta unidad fue previamente considerada como equivalente al conglomerado Glance que se encuentra en la base del Grupo Bisbee en el sureste de Arizona y noroeste de Sonora, al cual se le ha asignado una edad perteneciente al Jurásico Superior por (Bilodeau y Linderbeg, 1983). Sin embargo, Beltrán-Encinas (1998) señala que el conglomerado que aflora en este distrito contiene fragmentos de caliza fosilíferas y limolitas pertenecientes a las unidades K-Mural y Kvs respectivamente, lo cual indica que este conglomerado no corresponde a la base del Grupo Santa Gertrudis, considerándose tener una edad perteneciente al Cretácico Tardío y ser equivalente con el conglomerado El Tuli, como también fue sugerido por Rodríguez-Castañeda, 1997. En el distrito, este conglomerado parece estar en contacto estructural con los sedimentos del Grupo Santa Gertrudis equivalentes al los del Grupo Bisbee y aparentemente no ha sido una roca favorable para la recepción de mineral aurífero.

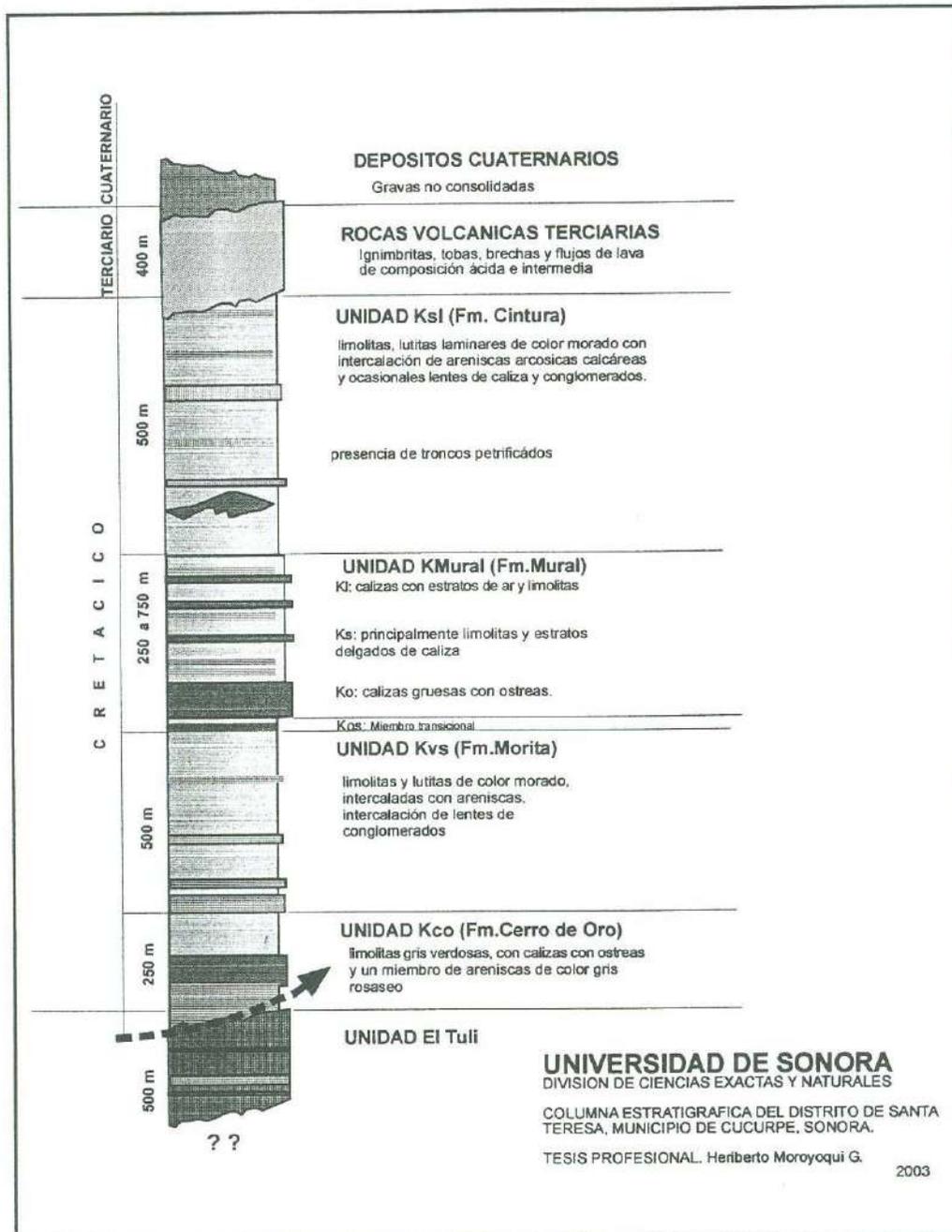


Figura 3.- Columna estratigráfica del distrito minero Santa Teresa.

Unidad Kco

Su base está compuesta por un miembro de areniscas de color gris-rosadas, un miembro medio constituido por un paquete de calizas de color gris oscuro con restos de ostreas y un miembro superior compuesto por limolitas de color gris-verdosas. Esta unidad tiene un espesor mayor de 250 metros y es equivalente a la Formación Cerro de Oro del Grupo Bisbee, como ha sido sugerido por González-León y Jacques-Ayala (1988).

Dentro de este distrito, solo se encontró mineralización económica dentro de esta unidad en el tajo denominado Trinidad, localizada en la parte norte de la propiedad de Santa Gertrudis. Por efectos de los límites de la propiedad, ésta unidad no aparece en el mapa del distrito.

Unidad Kvs

Concordantemente sobre la unidad Kco se tienen las rocas pertenecientes a la unidad Kvs, la cual en su mayor parte está constituida por limolitas de color morado oscuro de posible constitución vulcanoclástica, como ha sido sugerido por Bennett, (1993). Estas rocas se encuentran intercaladas con paquetes de areniscas impuras de colores grises amarillentas en superficie, con espesores que varían entre 5 a 20 metros y ocasionalmente se observan lentes de conglomerados de decenas de metros de largo y 0.50 a 1.0 m de ancho. Esta unidad llega a sobrepasar los 500 metros de espesor y por sus características físicas y su posición estratigráfica es correlacionable con la Formación Morita del Grupo Bisbee.

Descansando concordantemente encima de la unidad Kvs, se tiene un paquete de calizas fosilíferas intercaladas con limolitas de color morado y areniscas, siendo muy notorio sus afloramientos y han sido referidas como un miembro transicional entre Kvs y la unidad que la suprayece K-Mural. Este miembro ha sido denominado como Kos y en el área de estudio conforma la base de la secuencia sedimentaria presente en esta zona, la cual se presenta parcialmente mineralizada.

Unidad K-Mural

Esta unidad descansa en concordancia sobre la unidad Kvs, específicamente sobre el citado miembro transicional Kos. Su espesor varía aproximadamente de 250 a 700 metros y está integrada por tres miembros los cuales son extensamente expuestos en todo el distrito y han sido denominados como: Miembro Inferior (Ko), Miembro Medio (Ks-Kel), Y el Miembro Superior (KI)

Miembro Inferior Ko

Este miembro está constituido por un paquete de calizas de color gris oscuro con abundante presencia de ostreas y ocasionales fragmentos de anélidos, siendo muy característico a lo largo del distrito su relieve morfológico. En el distrito de Santa Teresa el espesor de este miembro varía de 20 a 50 metros, y en el área Greta alcanza mas de 30 metros de espesor. Generalmente las calizas se vuelven laminares hacia el alto y se intercalan con limolitas calcáreas, graduando transicionalmente a calizas laminares carbonosas o negruscas hacia el alto.

En el área de Greta este miembro aflora extensamente, corresponde a una de las principales rocas huésped de la mineralización económica, y ha sido fuertemente afectada por fallamiento normal y de rumbo posteriores a la mineralización

Miembro Medio Ks-Kel:

El Miembro Medio Ks es un paquete de limolitas calcáreas y carbonosas con lentes de limolitas de color verde y areniscas de color gris, con un alto contenido de pirita (~2%) y fuerte presencia de materia carbonosa y alcanza un espesor entre 50 y 250 metros. La limolita carbonosa, en partes, es fuerte receptora de mineralización de oro y localmente llega alcanzar altos contenido de mas de 10 gr/t de Au.

El Miembro Kel consiste de un paquete de calizas de color gris oscuro generalmente laminares y con facies locales de estratos de 0.20 hasta 0.80

metros, lateralmente presenta zonas con una intercalación de limolitas oscuras calcáreas. En el distrito su espesor tiene variaciones desde 15 hasta 50 metros. Es un paquete característico con fuertes plegamientos y deformaciones, y es una unidad fuertemente receptora de mineralización en distintos tajos dentro del distrito y en el área de estudio.

Miembro Superior KI

Está constituido principalmente de estratos gruesos de caliza de color gris claro, que varían de 0.5 hasta 10 metros de espesor, intercaladas con limolitas de color gris y verdes con ocasionales lentes arenosos. Esta caliza generalmente no es fosilífera, aunque algunos estratos cerca de la parte superior del miembro contienen escasos fósiles.

Su espesor varía desde 75 hasta 150 metros. En este miembro son característicos los plegamientos y zonas deformadas, muy notorios en el distrito, especialmente en el cerro de la Eme, localizado en la parte norte de la propiedad Santa Gertrudis. Por otra parte, también ha sido una roca favorable para la mineralización, donde se hospedaron depósitos de mineral, tales como El Toro así como otros depósitos que estuvieron en etapas de exploración.

Unidad Ksl

Esta unidad sobreyace gradacionalmente a la unidad K-Mural y es equivalente a la Formación Cintura del Grupo Bisbee. Su espesor sobrepasa los 500 metros y su litología es muy similar a la de la unidad Kvs, la cual consiste de limolitas principalmente de color morado claro posiblemente de carácter vulcanoclástico, intercaladas con limolitas de color verde y areniscas calcáreas impuras y ocasionalmente con estratos de conglomerado y de caliza arcillosa. Dentro de ésta unidad es común la presencia de troncos de árboles petrificados de color gris negruzco. Es muy característico en las limolitas las formas laminares y foliación (pizarreño), donde también se aprecian zonas con pliegues y

micropliegues. Bennett (1993), señala que esta unidad fue formada durante la regresión de la cuenca Bisbee.

Estas rocas han sido mas receptivas para la mineralización que las rocas de la unidad Kvs. Dentro de esta unidad se han encontraron algunos de los principales cuerpos mineralizados de la mina Santa Gertrudis, tales como Becerros Sur, Becerros Norte, Katman, Manueles Sur, Maribel y algunos otros prospectos (Figura 2).

III.1.2.- Rocas Igneas

En mucho menor proporción que las rocas sedimentarias, en la región de Santa Teresa afloran rocas igneas constituidas, por un conjunto de diques principalmente dioríticos, lamprofidicos y escasos diques félsicos, los cuales intrusionan la columna estratigráfica del distrito en la zona de mayor desarrollo minero. Hacia el sur del distrito, se tiene la presencia de cuerpos intrusivos mayores, como es el caso del Granito Las Panochas.

También existen rocas volcánicas terciarias aflorando en distintas partes de la región, las cuales cubren discordantemente al cinturón sedimentario. Hacia el norte del distrito afloran rocas volcánicas y piroclásticas de composición andesítica, riolítica y basáltica que componen lo que se conoce como Sierra Azul. Al este-sureste del distrito se tiene una secuencia de rocas piroclásticas de composición riolítica, la cual ha sido denominada informalmente como ignimbrita Cacaxtle, por los mismos geólogos de la mina de Santa Gertrudis. Hacia el sur del distrito, aflora una secuencia de rocas volcánicas constituida por toba y aglomerado de tonos amarillentos y de composición andesítica-dacítica la cual ha sido denominada como rocas volcánicas El remolino. Por sus escasos afloramientos en el área de Santa Teresa y por ser posteriores a la mineralización de oro, todas estas rocas volcánicas han sido brevemente descritas y consideradas poco atractivas para ser estudiadas; por lo que solo se hace esta breve descripción de ellas, y solo aparecen las que están dentro de la propiedad. Por otro lado, se describen en forma más detallada las rocas de carácter intrusivo en la región, por considerarse en algunas partes asociadas a la etapa de mineralización de oro en el distrito.

A continuación se describen las rocas intrusivas:

Diorita (Beceros Norte y Sur)

La roca representativa de este tipo de intrusivos en la región de Santa Teresa es la diorita Beceros. Esta roca es de color verde, presenta una textura generalmente de grano grueso, ligeramente porfídica con fenocristales de plagioclasa euedrales a subedrales de hasta 2 a 3 milímetros de largo, alcanzando un 15 a 20 % del volumen total. Se tienen fenocristales de hornblenda parcialmente cloritizados en un 5% del volumen total. En el tajo Beceros norte, este cuerpo llega alcanzar mas de 20 metros de ancho y se prolonga por mas de 500 metros de largo en una dirección NW-SE. Este cuerpo parece imprimir recristalización a los sedimentos calcáreos de la unidad Ksl y parece haberse emplazado en una zona de falla con la misma dirección del cuerpo intrusivo. La unidad Ksl, presenta una silicificación tipo hornfels, la cual podría haber sido impuesta por este intrusivo.

Granito Las Panochas

Este cuerpo intrusivo aflora sobre el arroyo San Rafael cerca del rancho El Batamote aproximadamente a 5 km al sur de las instalaciones de la mina. Abarca un área aproximada de 2x2 km, e intrusiona a los miembros Ko, Ks, Kl y posiblemente a la unidad Ksl. En muestra de mano, es de color claro, con una textura granular media a gruesa, conteniendo minerales esenciales de feldespatos y cuarzo en más de 50 % en volumen, con menor proporción de biotita y menor moscovita (<2% del volumen total), como minerales accesorios. En esta roca se tiene la presencia de posible granate, en pequeños granos de menos de 0.5 mm de diámetro y en una proporción de menos de 1% en volumen. Bennett, (1993), fechó esta roca por K/Ar en 36.1 ± 0.9 Ma y la definió como un granito peraluminoso de dos micas. Esta roca al intrusionar parte de la secuencia sedimentaria del Grupo Bisbee, implantó una característica alteración, de metamorfismo de contacto, convirtiendo a las rocas sedimentarias en hornfels. Estas rocas alteradas, son ampliamente distribuidas en el sur del distrito y se

piensa que gran parte de las rocas silicificadas en el área de Greta, en las partes más profundas, fueron afectadas por este evento.

Diques Lamprofídicos

Estos diques se encuentran distribuidos en gran parte del distrito y cortan a la secuencia de rocas sedimentaras del Cretácico inferior y aún a las rocas intrusivas descritas anteriormente. Por lo regular se presentan en forma de diques y dique-estratos y ocasionalmente en forma lenticular. Generalmente, se encuentran rellenando zonas de falla de bajo y alto ángulo. Generalmente su espesor es de 1.0 m y alcanza ocasionalmente espesores hasta de 5 m . Su color característico es verde oscuro, de aspecto masivo, textura granular gruesa, con fenocristales subedrales de plagioclasa y abundante biotita, generalmente presentan una fuerte propilitización y. Su espesor varía de 0.5 hasta decenas de metros (Foto 1). Uno de estos diques, en el área La Gloria, aproximadamente a 5 km al este de las instalaciones de la mina, fue fechado por K/Ar en 26 Ma por Bennett (1993). Algunos de estos diques se encuentran mineralizados en el área de Greta, en los costados de los diques y ocasionalmente en el interior de estos cuerpos. Esta asociación con la mineralización de oro, ha llevado a los geólogos de exploración en esta área, a pensar una edad menor a 26.1 ± 0.7 Ma. para la mineralización de oro en el distrito.

Dique Félsico

Se encuentran principalmente en forma de diques, con espesores no mayores de 2 m de ancho y con direcciones variadas. Un cuerpo representativo de estos diques aflora en el tajo Becerros sur (Figura 2), el cual corta a toda la secuencia y aún al dique diorítico Becerros (norte y sur), siendo la última o una de las últimas manifestaciones de magmatismo en el distrito y posterior a la mineralización de oro mas importante en el distrito. Esta roca es de un color claro, con textura porfídica, aspecto sacaroide conteniendo fenocristales de cuarzo dentro de una matriz fina, con menos de 2% de pirita secundaria en forma diseminada.



Fotografía 1.- Lamprófidó, en la zona de Ontario. Note la exposición característica de estos cuerpos en superficie, presentando una textura gruesa.

III.2.- Tectónica

Un importante período de deformación compresional en forma de cabalgamientos, afectó a los sedimentos que componen el Grupo Bisbee en la parte norte-noreste de Sonora, durante el Cretácico tardío-temprano, como fue indicado por Bennett, (1993). Esta etapa compresional es reconocida al sur de Arizona y referida como el evento tectónico del Cretácico tardío al Paleoceno, con una vergencia al noreste, ocurrido durante la orogenia Laramídica como fue sugerido por Haxel, et al., (1984).

Anderson (1998) en el distrito de Santa Teresa, describe las siguientes fases de deformación Laramídica clasificándolas de la siguiente manera :

a).- Fase Compresional Temprana

Durante ésta fase se produjo plegamientos y fallamiento inverso, en una gran parte del distrito Santa Teresa, incluyendo el área Greta. Posiblemente ésta fase ocurrió del Cretácico tardío-Terciario temprano (75 a 50 Ma).

Observaciones de campo en éste distrito nos muestra zonas de cizalla paralelas y subparalelas a la estratigrafía con dirección NW-SE, formando lineamientos, laminación y alargamiento de minerales y clastos, los cuales se observan en las unidades El Tuli y K-Mural. Durante ésta fase se produjo engrosamiento de la secuencia sedimentaria producto de la duplicación de la estratigrafía, a lo largo de estructuras de fallamiento inverso.

b).- Fase Extensional Temprana

Al finalizar la fase anterior, se inicia una fase extensional causando movimientos de reactivación y relajamiento en donde los componentes del movimiento anterior se invierten, dando como resultado fallamientos normales utilizando los mismos planos de falla. En algunas partes, como el Tajo El Corral y Gregorio se pueden observar estructuras con movimiento normal de bajo ángulo, buzando ligeramente al suroeste con pequeños pliegues recostados y gradaciones que pasan de un régimen dúctil a frágil y sobre impuestos a la primera deformación, sugiriendo una compleja historia estructural para esta fase.

c).- Fase Extensional Tardía

Durante ésta fase da inicio una tectónica cortante con desplazamientos laterales, en donde es posible el origen de los sistemas de fallas NE, considerados como los conductos principales de la mineralización y como secundarios a los sistemas NW. Estos sistemas generalmente produjeron fallas de gran ángulo, y se consideran como el evento final Laramídico. Esta fase termina posiblemente en el Terciario Medio (Oligoceno Temprano) y es posible que haya ocurrido un poco antes del evento de mineralización.

d).- Tectonismo Plio-Cuaternario

Este evento es posterior a las fases Laramídicas y corresponde al tectonismo de Sierras y Valles (Basin and Range). La actual morfología del distrito Santa Teresa refleja el estilo característico de este tipo de deformación, formando valles y sierras alargadas con sistema de fallas de tipo normal generalmente de fuerte ángulo. Las estructuras mineralizadas en el distrito, en algunas partes han sido afectadas por éste estilo de deformación, y se consideran posteriores a los eventos de mineralización.

III.3.- Yacimientos Minerales

El distrito minero Santa Teresa se ha caracterizado por la presencia de depósitos de oro hospedados dentro de un cinturón de rocas sedimentarias cretácicas, equivalentes a las rocas silico-calcáreas del grupo Bisbee del sureste de Arizona y con características similares a los depósitos tipo Carlin del oeste de Estados Unidos.

Dentro de la propiedad de la mina Santa Gertrudis, se han explotado alrededor de 18 depósitos de oro diseminado (Figura 2), bajo el sistema a cielo abierto y beneficiados por el método de lixiviación de montones por solución de cianuro sódico. A dos kilómetros al noroeste de la mina Santa Gertrudis, la Compañía Minera Roca Roja explotó alrededor de tres depósitos de oro diseminado en el área de la mina La Amelia con características similares a aquellos encontrados en la propiedad Santa Gertrudis los cuales han sido

beneficiados bajo el mismo sistema. Todos éstos depósitos guardan una marcada similitud con relación a su alteración, mineralogía, estructura, formas, leyes y tonelajes. Sus leyes en oro oscilan generalmente entre 1 y 3 gr/ton. Sin embargo, se observan diferencias que pueden darse entre algunos depósitos, probablemente relacionados a cambios litológicos, estructurales y a la preparación del terreno (roca encajonante).

La mina Santa Gertrudis produjo poco más de 7 millones de toneladas de mineral (mas de 400000 oz.) con una ley promedio aproximadamente de 2.02 gr/ton Au. La recuperación del mineral ha sido entre 75 y 85 %. Mientras que los depósitos de la mina La Amelia, explotados por Minera Roca Roja produjeron alrededor de 1.36 millones de toneladas de mineral con ley de 3.04 gr/ton Au, con características similares a los depósitos de la mina Santa Gertrudis.

Todos estos depósitos se encuentran distribuidos a lo largo del cinturón sedimentario cretácico de rumbo N50W, y han sido hospedados principalmente por las unidades K-Mural (Ko, Ks, KI), Ksl y Kco, equivalentes a las unidades del Grupo Bisbee.

La forma de los depósitos generalmente es irregular, sin embargo el conjunto de cuerpos que los integran adoptan formas estratiformes, como mantos, "bolsas" y ocasionalmente vetiformes.

El principal control de la mineralización ha sido el estructural y se asocia con el control estratigráfico-litológico. El sistema de fallas NE se ha considerado como el principal conducto de la mineralización y al sistema de fallas NW como el secundario, aunque generalmente la actitud de los cuerpos ya conocidos son al NW.

Los depósitos de la mina Santa Gertrudis y mina La Amelia, generalmente se hospedaron dentro de zonas de intersección de fallas y dentro de zonas litológicamente favorables asociadas con fallas. La litología favorable ha sido principalmente todas aquellas rocas físicamente inconsistentes, deformables y rocas generalmente silico-calcáreas impuras, pertenecientes principalmente a las unidades K-Mural, Ksl y Kco.

La mineralización económica se ha encontrado dentro de zonas completamente oxidadas, aunque existen algunos depósitos en zonas de

transición (sulfuros y óxidos), y en mantos con alto contenido de material carbonoso, como se observó en los tajos Dora, y El Corral.

Los principales tipos de alteración en este distrito son: hematización, argilización, silicificación, limonitización y ocasionalmente calcita en forma de vetillas producto de descalcificación. Beltrán (1998), menciona que los distintos tipos de alteración responden de acuerdo al tipo de litología, donde podemos apreciar por ejemplo jasperoides en unidades calcáreas y específicamente en zonas de calizas, mientras que en rocas arcillosas o limolíticas se presenta la argilización, de ésta manera también la descalcificación se lleva a cabo en unidades calcáreas debido a la introducción de soluciones hidrotermales silíceas, provocando con ello la salida de los carbonatos, formando porosidades en las rocas y posteriormente brechas de colapso, y finalmente estos espacios son ocupados por la mineralización. Posteriormente, los cuerpos mineralizados han sido en parte profundamente oxidados, por procesos supergénicos, formando grandes zonas de oxidación (hematización y limonitización).

El oro es de tamaño micrométrico y se encuentra asociado a hematita, limonita, jarosita, sulfuros de fierro principalmente pirita, arsenopirita, y posiblemente se encuentre encapsulado dentro del cuarzo, calcita y también es común en forma libre (Pérez, E.,1995). La Tabla 1 muestra las características geológicas y de mineralización de algunos de los distintos cuerpos mineralizados que han sido minados dentro del Distrito Minero Santa Teresa (Mina Santa Gertrudis y Mina La Amelia).

IV.-GEOLOGÍA, MINERALIZACION Y ALTERACIÓN DEL DEPÓSITO GRETA

IV.1.-Introducción

Greta fue uno de las áreas descubiertas durante la etapa de exploración por Cía. Minera Zapata, la cuál consideró viable para realizar algunos barrenos de tipo exploratorio.

La empresa minera Oro de Sotula S.A de C.V. a través de División de Exploración a cargo del Ing. William Hamilton, emprendió en el año 1995 un intenso programa de exploración incluyendo barrenación de circulación inversa y de diamante, sobre algunas áreas de la propiedad Santa Gertrudis, con el propósito de conocer a profundidad y lateralmente los "blancos" encontrados durante la etapa de exploración geológica. Este programa incluyó el área Greta.

Posteriormente Oro de Sotula concluye en Greta una fase de barrenación con 7650 metros, distribuidos en 71 barrenos (GR-201 a GR-271) de circulación inversa con diámetro de 4 3/4" y 14 barrenos de diamante (GR-301 a GR-314) con un total de 1060 metros, y solo una mínima parte de ellos se incluyen en el plano geológico de esta área, por considerarse solo los necesarios.

Los barrenos de diamante tuvieron como objeto conocer a mas detalle las características a profundidad del yacimiento, las cuales incluyen litología, estructuras, mineralización, alteración y ley. Mientras que los barrenos de circulación inversa, básicamente se usaron para conocer la leyes del yacimiento, y darse solo una idea de su litología, alteración y mineralización.

De acuerdo a los resultados de exploración y evaluación en el área de Greta, se estimaron reservas por mas de 1,000,000 de toneladas de material con leyes que van desde 1.26 a 1.97 gr/ton de Au.

Como dato adicional, se puede mencionar que debido a factores como alta relación de descapote, y precios del oro, hacen que este proyecto se considere en calidad de recursos geológicos dentro del distrito minero de Santa Teresa.

IV.2- Litología y estratigrafía

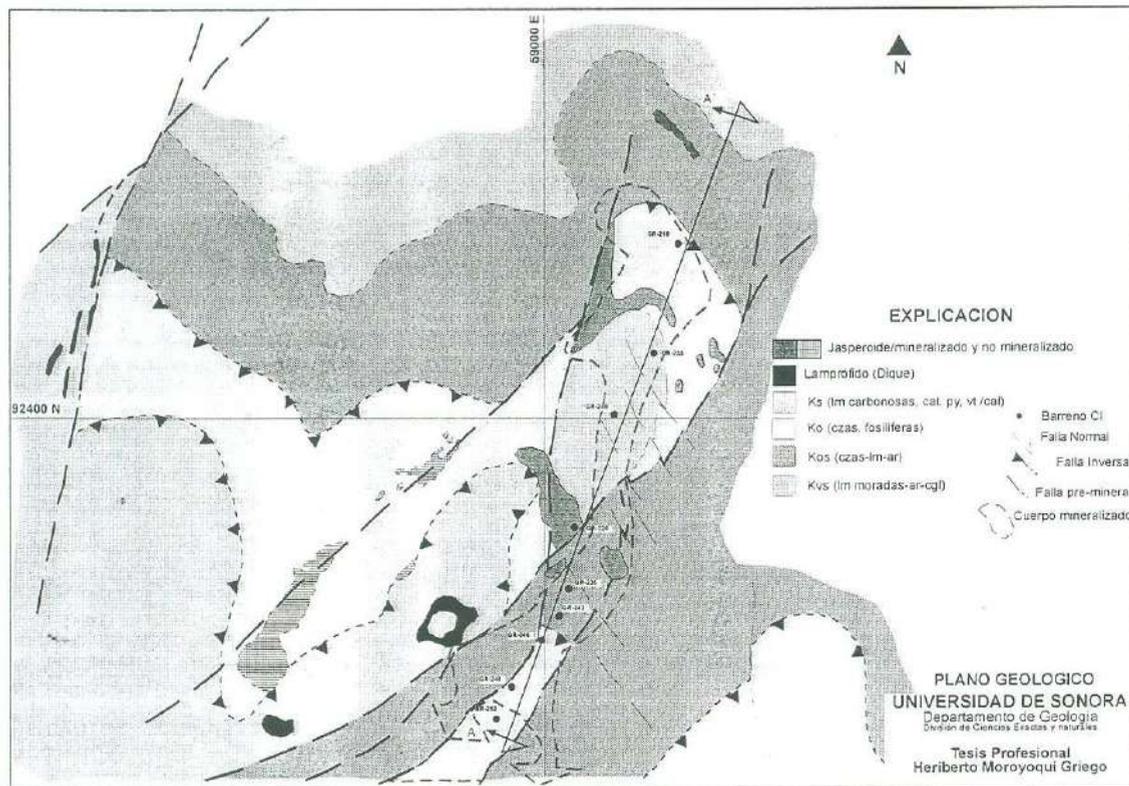
El área de estudio representa aproximadamente una superficie de 0.8 Km cuadrados. Para fines prácticos el yacimiento se ha dividido en tres zonas; la zona norte, llamada Greta NE; zona centro como Cerro Greta y zona sur como Ontario.

Las unidades litológicas que afloran dentro del área Greta se ubican en la parte media-superior de la columna estratigráfica del distrito Santa Teresa (ver Figura 3), las cuales corresponden al miembro transicional Kos como la base, y sobre éste miembro, la unidad K-Mural con sus miembros Ko y Ks, cubriendo la mayor parte del área del depósito Greta.

Tabla 2.- Características geológico-mineras de distintos depósitos en el distrito de Santa Teresa

Nombre del Tajo	Unidad	Actitud Rumbo/ echado	Alteración	Control	Ley gr/ton Au	Minado Tons.	Relación Descapote	Observaciones
Agua blanca	K-Mural-Ks	N 60° W/ S 60° W	Fte. arg., ox, vt qz.	Estructural, litológico Falla NE	2.10	559,180	1:1.25	
Beceros Norte	Ksl	N 55° W/ S 65° W	Arg., bandas ox, vt qz.	Estructural Estratigráfico, al bajo dique dio.	2.07	1'598,189	1:4.95	
Beceros Sur	Ksl	N 55° W/ S 65° W	Fte. arg., bandas de ox, vts qz.	Litológico al bajo dique dior.	2.16	790,018	1:14.20	Oro de Sotula , cúbico mas reservas
El carnello	K-Mural-Ks	N 60° W/ N 65° E	Fte ox y arg., vts qz.	Litológico	1.08	198,365	1.3.28	Fuerte deformación
El Corral	Ks	N 20° W/ S 45° W	Fte ox y arg., vts qz.	Estructural, falla N- S	2.17	693, 203	1:6	
El Corral NW	Ks	N-S/ 70° al W	Fte sil, vts qz	Estructural	2.3	32,000	1:7	Reinterpretación
Dora	K-Mural-Ks-Ksl?	Compleja N 30° E/ y NW	Fte ox, arg., zonas carbonosas	Litológico estructural	2.34	1'014, 815	1:11	Sulfuros al fondo del tajo.
Gregorio	Ks	N-S/ 65° al W	Fte arg, vts qz, < ba	Litológico estructural	1.43	209,810	1:58	
Hilario	Ks-Ksl	N 45° W/ S 65° W	Arg., vts qz.	Litológico y estructural	0.95	105,465	1:2.91	
Katman	Ksl	N 60° W/ N 65° E de echado	Mod ox, vts qz. Sil.	Estructural, falla NE	1.48	373, 116	1:8.1	
Manuces Sur	Ksl	N 60° E/ N 65° W	Fte arg, vts qz.	Estructural, falla NE	2.69	127,485	1:3.36	Reinterpretación
Maribel	Ksl	N 60° E/ N 65° W	Fte., arg.,	Estructural falla NE	2.18	346,690	1:11	
El Mirador	Ks, Ksl	NW/ echados al NE.	Mod arg., sil., ox, vts qz	Estructural litológico				Reinterpretación
Rubén	Ko	N 60° E/ N 65° W	Silie, jasp	Estructural falla NE	3.85	51,840	1:4.31	Reinterpretación
Sofía	K-Mural	N 45° W/ S 55° W	Arg., bandas ox, vts qz.	Litológico estructural	1.26	240, 263	1:6.03	
Toro Fase 1	K-Mural, Ks, Kl	N 50° E/ N 65° W	Fte sil., vts qz, débil arg.,	Estructural falla NE	1.81	132,640	1:4.78	Reinterpretación
Toro Extensión	K-Mural, Ks	N 30° W/ N 65° E	Fte sil., arg., vts qz.,	Litológico	1.39	338,400	1:6.57	Reinterpretación

Figura 4.- Plano geológico estructural del área Greta, interpretado a partir de descripción de barrenos y cartografía a detalle en superficie.



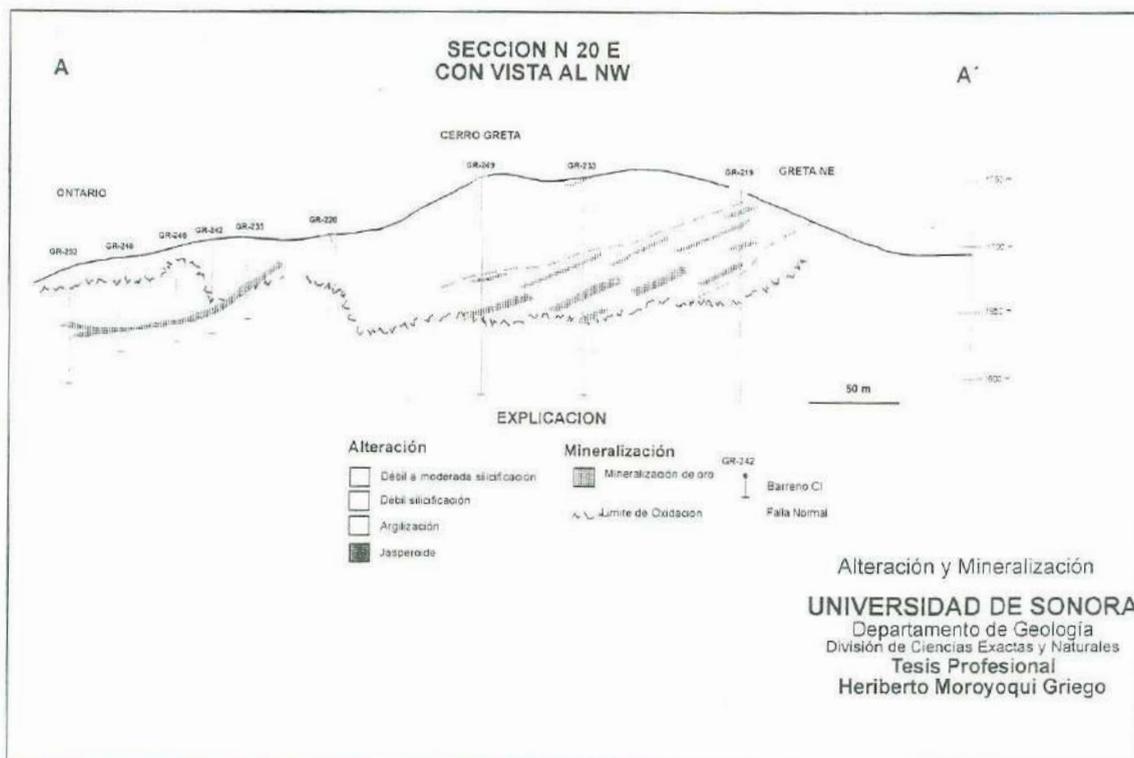
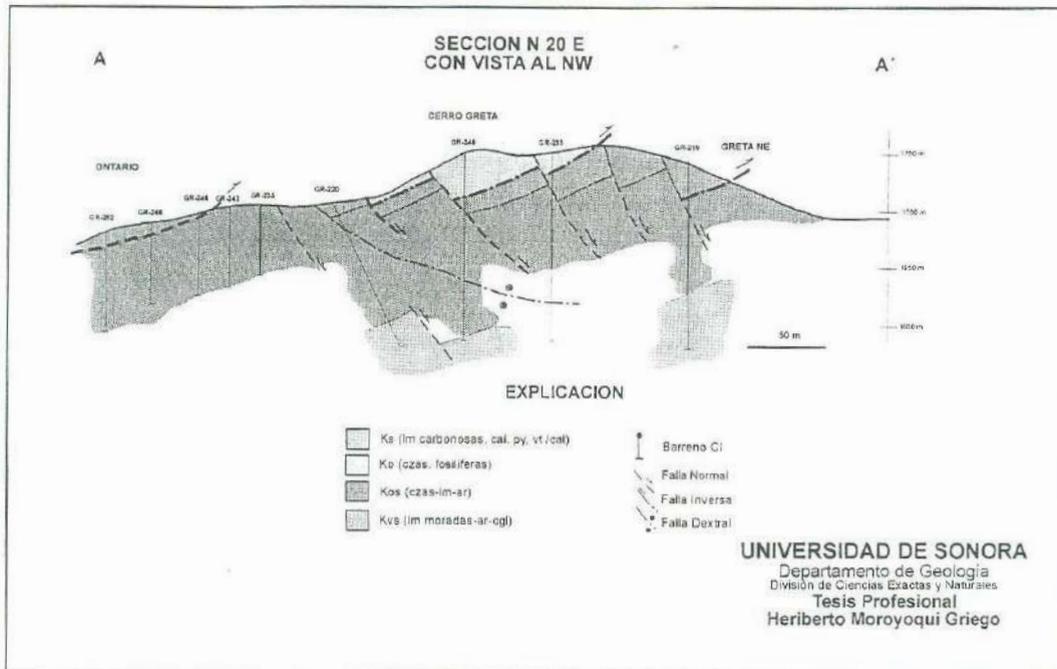


Fotografía 2.- Mostrando una zona de falla de actitud subhorizontal, separando una zona de tipo jaseroide al alto, de otra zona fuertemente argilizada al bajo.



Fotografía 3.- Fotografía mostrando detalle de la zona tipo jasperoide de la foto anterior, al alto de la falla subhorizontal. Note la zona de brecha, con fragmentos anguloso e irregulares, fuertemente silicificados con penetrante oxidación. Los óxidos de color ocre, podrían pertenecer a óxidos de arsénico.

Figura 5.- Sección geológica (a) y de alteración (b) en el área de Greta. Su localización es mostrada en el plano geológico- estructural de la Figura 4.



Greta NE

Esta zona se localiza en la parte norte del yacimiento (Figura 4), donde afloran principalmente calizas fosilíferas (*Ostreas*) pertenecientes al miembro Ko, las cuales han sido en gran parte reemplazadas por sílica del tipo jasperoide, principalmente en las partes cercanas a las zonas de falla con orientaciones preferentes N-S y NE-SW y en la intersección de ambas estructuras (Figura 4). La caliza también presenta una débil a moderada silicificación y oxidación. En la parte mas al norte de éstas calizas aparecen rocas del miembro transicional Kos, conformadas por estratos métricos de calizas fosilíferas con intercalación de areniscas arcósicas y limolitas moradas las cuales presentan desde una débil a moderada argilización-oxidación, y silicificación, esta zona de caliza también ha sido reemplazada por sílica del tipo jasperoide, cerca de una zona de falla de bajo ángulo (Ver fotografías 2 y 3), donde se puede apreciar claramente en la zona del alto un horizonte fuertemente oxidado de jasperoide mineralizado y al bajo un horizonte de material de falla argilizado de color blancuzco. La parte oxidada corresponde a una zona de brecha con penetrante silicificación y presencia de óxidos de arsénico (Fotografía 2).

Cerro Greta

El área de Cerro Greta se localiza inmediatamente al sur de Greta NE y conforma la parte central del depósito (Figura 4). Sobre ésta zona afloran limolitas negras carbonosas y calizas delgadas de color negro pertenecientes al miembro Ks, mismas que se encuentran al parecer en contacto por falla sobre el miembro Ko (Figura 5). Esta zona se encuentra justo en la intersección de estructuras N-S y NE-SW, siguiendo aparentemente planos de estratificación, mas o menos paralelos a fallas de bajo ángulo, el cual podría corresponder a controles tanto físicos como químicos de las rocas hospedantes. La rocas presentan una débil silicificación, argilización y oxidación cerca de la superficie.

Ontario se localiza hacia el lado sur del cuerpo mineralizado, inmediatamente al sur de Cerro Greta (ver Figura 4). Sobre ésta área afloran rocas pertenecientes a los miembros Ko y Kos. En la parte mas

al sur aflora una porción de calizas del miembro Ko, las cuales presentan una moderada silicificación, en forma de enjambres de vetillas de calcita y cuarzo. Rodeando al miembro Ko se tienen un paquete de limolitas de color púrpura, areniscas del tipo arcosas y en menor proporción calizas, que corresponden al miembro transicional Kos. Por lo regular los sedimentos clásticos son de estratificación fina, en cambio las calizas presentan una estratificación gruesa de 0.5 a 1.0 m de espesor de cada estrato.

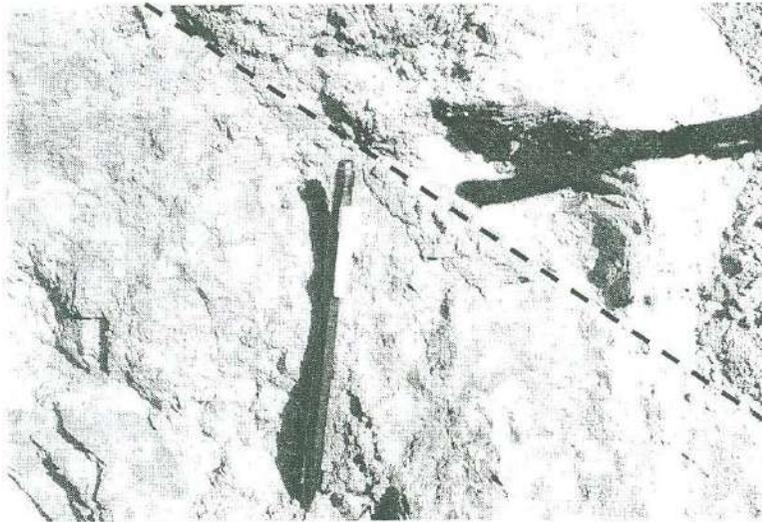
Una parte importante del cuerpo mineralizado en esta área se encuentra dentro de esta zona de Ontario, principalmente en la parte norte y dentro de un paquete silicificado oxidado considerado como jaseroide (Fotografía 4)

Descripción a detalle de barrenos de circulación inversa y en menor proporción de diamante, han mostrado, la presencia de zonas carbonosas, a veces en forma de finos gránulos diseminados y rellenando cavidades, las cuales ha sido consideradas como carbón producto de removilización, como sucede en el área de los principales depósitos de la mina Santa Gertrudis.

IV.2.- Geología Estructural del área Greta

El área de Greta ha sido afectada por una moderada a fuerte deformación compresional, atribuida a eventos laramídicos. De la misma forma, también están presentes estilos de deformación más recientes considerados dentro de la fase extensional correspondientes a la tectónica de Sierras y Valles paralelos.

Las estructuras incluidas dentro de la fase compresional laramídica, corresponden a fallas de bajo ángulo con un rumbo preferencial NW-SE (Figura 4 y 5). Este tipo de fallas de posible edad cretácicas tardías corresponde, a un sistema de fallas de rumbo NW-SE de bajo ángulo y consideradas como fallas inversas, las cuales son subparalelas a los planos de estratificación entre los miembros Kos, Ko, y Ks (Figura 5). Estas estructuras se extienden a todo lo largo del distrito y frecuentemente presenta indicios de movimientos posteriores por efecto de reactivación. En la parte norte del cuerpo mineralizado, específicamente en el Cerro Greta y Greta NE (Figura 4), estas estructuras parecen haber actuado



Fotografía 4.- Fotografía en la zona de Ontario, mostrando una zona de brecha silicificada del tipo jasperoide en reemplazamiento a la caliza Ko. Note la posible ocurrencia de varias fases de mineralización: a) Formación de jasperoide y b) fase de relleno de cuarzo tardío.

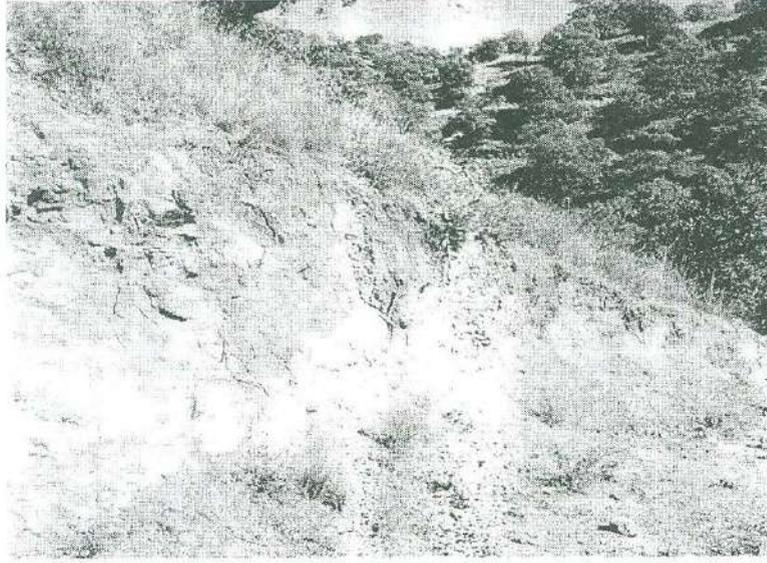
como trampas para la mineralización aurífera en la intersección de fallas con un rumbo N-S, NE-SW como lo sugiere la presencia de los cuerpos mineralizados en la misma dirección que estas últimas estructuras. Diferentes barrenos dados en esta zona confirman estas observaciones, específicamente en los barrenos GR-219, GR-238, GR-250 y GR-310, así como en la zona de Ontario, donde estas aseveraciones han sido confirmadas por los barrenos GR-306, GR-213, GR-214 y GR-239. Solo uno de todos estos barrenos es mostrado en la Figura 5.

El sistema de fallas N-S y NE-SW tienen un rumbo preferencial N20-30°E con una fuerte inclinación al noroeste. Estas fallas tienen un movimiento dextral y desplazan al sistema de fallas subhorizontales inversas mencionadas líneas arriba y parecen estar relacionadas con el evento final laramídico. Estas estructuras parecen corresponder al control principal de la mineralización, como lo sugiere el alineamiento de los cuerpos mineralizados y zonas de jaseroide observadas en lo largo de estas estructuras (Foto 5). En algunos lugares dentro del distrito, este tipo de estructuras ha sido rellenado por cuerpos lamprófidos, sugiriendo que este tipo de estructuras podrían tener gran continuidad vertical, pudiendo conectarse con cuerpos intrusivos profundos.

En general, la cantidad de elementos estructurales así como eventos de mineralización y alteración, en esta área de Greta, la han definido como una área extremadamente compleja y similar a otras áreas del distrito Santa Teresa, tales como Ruben, El Toro Norte, Santiago, Karla y La Víbora (Figura 2).

IV.3- Mineralización

La mineralización en el área Greta consiste de oro diseminado de tamaño micrométrico (< 5 micras de diámetro), con una ley que varía entre 1.2 y 1.9 gr/ton. La mineralización se encuentra generalmente hospedada dentro de rocas calcáreas y donde el control de la mineralización es tanto estructural como litológico-estratigráfico.



Fotografía 5.- Fotografía en la zona de Ontario, mostrando la traza de una de las falla NE-SW, consideradas como los conductos principales de la mineralización. Note que la parte mas rojiza corresponde a una zona de jasperoide.

La mineralización es principalmente de oro con menor plata con una relación de 1:1. Los valores de oro parecen asociarse principalmente a sulfuros de hierro como pirita y marcasita y a sulfuros de arsénico del tipo arsenopirita, con minerales de ganga principalmente de cuarzo y calcita. De acuerdo al análisis de multielementos realizados por Oro de Sotula, en varios conjuntos de muestras, los valores de los elementos traza son; el As (>100 ppm), Sb (10-30 ppm) y Hg (~800 ppb), elementos que se encuentran muy cercanamente asociados al oro. De la misma forma, se tiene la presencia de pequeñas cantidades de metales base como Cu, Pb, Zn y Mo. El Ba y Mn también están presentes en esta zona al igual que en la mayor parte de los depósitos en el distrito.

La mineralización en Greta NE y Cerro Greta se encuentra en varios cuerpos tabulares semiacostados en forma de mantos, generalmente mas oxidados que en la parte de Ontario. Los barrenos GR-238, GR-250 GR-237 y GR-236 (ver Figura 4), se encuentran acomodados en línea en una dirección WNW-ESE los cuales cortan tres cuerpos, donde el primero de ellos se encuentra muy cerca a la superficie, con un espesor de entre 10 a 30 metros y una ley de 0.8 a 1 gr/ton de Au. El segundo cuerpo de entre 3.0 metros de espesor con leyes de 12 gr/ton de Au y un tercer cuerpo de 4.5 m de espesor con leyes de 5 gr/ton de Au. Los tres cuerpos se encuentran separados entre 20 a 30 metros entre si y pueden prolongarse por mas de 40 m de largo y 20 m de ancho (ver Figura 4). El primer cuerpo corresponde a una masa de jasperoide fuertemente oxidada, de color rojizo oscuro, con algunas zonas de brecha y enjambre de vetillas de cuarzo y escasos sulfuros de hierro principalmente (pirita y marcasita), donde la mineralización de oro se encuentra en forma diseminada asociada a óxidos de hierro del tipo hematita, jarosita y menor limonita. En este cuerpo puede darse el caso que gran parte de la mineralización de oro se encuentre dentro de la masa de jasperoide. El segundo cuerpo, localizado entre 40 y 50 metros de profundidad, se encuentra dentro de una zona de tipo jasperoide oxidada, con características geológicas muy similares al primer cuerpo. El tercer cuerpo localizado entre 85 y 90 metros de profundidad, corresponde a una zona de falla oxidada y argilizada, con escasos fragmentos de vetillas de cuarzo y sulfuros de hierro (pirita, pirrotita

y/o marcasita), donde la mineralización de oro se encuentra principalmente diseminada en gran parte de la zona de óxidos (hematita-jarosita y menor limonita) y en menor proporción en zonas de transición sulfuros-óxidos.

Algunos estudios preliminares y escritos que se han hecho en el distrito sobre paragénesis metálica (McKelvey y Heihlmeyer, 1988; Bennett, 1993, Pérez, 1995) revelan la existencia de varias fases o generaciones de mineralización de oro, las cuales se describen a continuación:

-Una primera fase de depósito de marcasita con bajos valores de oro, seguido de una generación de arsenopirita.

-Una segunda fase de marcasita con alto contenido de oro.

-Posteriormente ocurre la oxidación y el oro es liberado de los sulfuros para ser atrapado por arsenosiderita, hematita y limonita.

Es posible también la existencia de varias generaciones de sílice contemporáneas a los eventos de mineralización aurífera. El oro nativo puede ocurrir sobre granos de pirita, marcasita, arsenopirita, en cuarzo y en calcita.

IV.4. - Alteración

Los tipos de alteración que se han reconocido en el área de Greta guardan una similitud con otros cuerpos mineralizados en el distrito Santa Teresa, los cuales incluyen, silicificación, argilización, piritización y hematitización.

Silicificación.

Las zonas más intensamente silicificadas en Greta, se presentan en forma de pequeños cuerpos irregulares de jaspeoide algunos de ellos alcanzando centenares de metros cuadrados y algunos de ellos de solo decenas de metros, disgregados entre las tres zonas mineralizadas (Figura 4). En Cerro Greta, estos cuerpos, comúnmente siguen planos de estratificación cerca a los contactos entre los miembros K_o y K_s (Figura 4); en cambio, al oeste de Ontario, los cuerpos se presentan alargados en dirección NE-SW, aparentemente siguiendo estructuras

con la misma dirección. En general los cuerpos jasperoides, parecen corresponder a una zona concurrente entre dos fallas de bajo ángulo correspondiente a la fase compresional a que estuvo sometida el distrito. Para el área de Cerro Greta y Ontario, los cuerpos jasperoides parecen coincidir en el contacto estructural entre los miembros Ko y Ks, y extenderse en la misma dirección como ha sido confirmado por una serie de descripciones de barrenos localizados en estas dos zonas. Las zonas con jaseroide por lo regular, tiene una textura generalmente sacaroidea, variando el tamaño de sus granos desde muy fino a grueso. Algunas de ellas, como sucede en el área de Cerro Greta y Onatrio, se encuentran mineralizadas; en cambio al oeste de Ontario, la zona de jaseroide presenta solo valores anómalos en Au y en ocasiones completamente estériles. Aunque no se conoce la razón de la mineralización económica de alguna de estas zonas de jaseroide, parece existir una diferencia textural entre estos dos tipos de jasperoides. Los que se encuentran mineralizados, presentan generalmente una textura mas fina y una silicificación mas intensa que aquellos no mineralizados. Por otro lado, el reemplazamiento por sílice en ambos casos puede ser completa o contener parte de roca caliza sin reemplazar, rodeada por zonas de jaseroide.

En el área de Cerro Greta se tiene una zona de jaseroide con promedio de 1 gr/ton de Au, con fuerte anomalías de As, Hg y Sb. Este cuerpo aflora en superficie y tiene un espesor que varía de 10 a 30 metros de espesor cerca de la superficie. En el área de Ontario en su parte norte, las zonas de jaseroide presentan una fuerte a moderada oxidación dentro del miembro transicional Kos. Al oeste de Ontario las zonas de jaseroide son completamente estériles y en partes presenta valores anómalos de oro.

De acuerdo a las descripciones de barrenos de circulación inversa y algunos de diamante, se ha podido observar a profundidades de entre 50 a 70 metros debajo de la superficie, rocas con débil y moderada silicificación, consideradas como tipo hornfels. Estas rocas, parecen pertenecer a una etapa temprana de mineralización en zonas de contacto con cuerpos de emplazamiento poco profundo documentados por métodos geofísicos. Este tipo de alteración es más prominente hacia el suroeste de Greta, las cuales parecen guardar una clara relación genética con cuerpos de composición granítica.

Argilización.

En el área de Greta, los minerales producto de éste tipo de alteración son: illita y montmorillonita principalmente. Este tipo de alteración se presenta en el área de estudio como zonas irregulares, por lo regular a zonas mineralizadas y principalmente en rocas arcillosas y arenosas y ocasionalmente en calizas cizalladas y zonas de fallas como se aprecia en la Foto 1. Algunas veces, se asocia a óxidos de hierro, conformando anillos concéntricos y bandas de oxidación denominados "liesegang"(Foto No.6).

Piritización

La piritización se presenta generalmente en forma diseminada y asociada a delgadas vetillas acompañada con cuarzo y calcita. En algunos lados se observa ocasionalmente en forma de delgadas laminas, paralelas a la estratificación en algunas rocas que hospedan la mineralización.

Dentro de las zonas mineralizadas la pirita se encuentra diseminada en pequeños cristales cúbicos y de forma octaédrica de menos de 1 mm de diámetro, alcanzando en promedio 1.5% en volumen, disminuyendo fuera de la zona de alteración hasta menos de 1%. Otra manera de presentarse este mineral es acompañando a minerales cuarzo y calcita en vetillas de menos de 0.5 cm de ancho, las cuales se concentran mas cerca de zonas de falla, muy asociada a los cuerpos mineralizados. Otros minerales asociados a la pirita incluyen marcasita, posible pirrotita y arsenopirita. Cristales automorfos de pirita con diámetros de mas de 2 mm, están presentes en delgadas laminillas horizontales, y se encuentran distribuidos en forma regular en toda el área de estudio. En superficie estas zonas conteniendo pirita, en partes ha sido profundamente alterados a óxidos de hierro, presentando zonas de "boxwork". Gran parte de la mineralización de oro, parece asociarse a zonas de alto contenido de pirita del tipo fino, como lo demuestran una serie de ensayos en zonas mineralizadas.

Es común apreciar huecos de pirita en zonas con incipiente caolinización, y en zonas de bandas hematitizadas. Las masas de jaseroide mineralizadas por lo general no contienen pirita ni otros sulfuros de hierro. Se tiene lentes carbonosos



Fotografía 6.- alteración argílica, con anillos de oxidación (liesegang), espacios vacíos de pirita, zonas blanquizas de caolinización, Greta.

localizados dentro del yacimiento, los cuales por lo general contienen pirita muy fina en forma diseminada.

Hematización :

Este tipo de oxidación es la forma más común observada en la mayor parte en éste yacimiento y generalmente en todos los cuerpos auríferos en el distrito de Santa Teresa.

La hematización se encuentra por lo general distribuida en gran parte de las estructuras y rocas adyacentes a los cuerpos de mineral. El grado de hematización varía desde débil a intenso, promediando de moderado a fuerte en el depósito Greta. La hematización se asocia comúnmente con limonización principalmente, y también en menor proporción con jarosita y goethita.

Es notoria la presencia de bandas y anillos concéntricos de hematita, llamados "liesegang" alrededor y dentro de las zonas mineralizadas, por lo cual son de gran importancia y se han tomado como guías de exploración.

V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Podemos considerar que el distrito minero Santa Teresa, localizado en el Municipio de Cucurpe, Sonora se caracteriza por la presencia de yacimientos auríferos que guardan similitudes con algunos de los yacimientos tipo Carlin del oeste de Estados Unidos. Observándose la presencia de depósitos de oro diseminados, encajonados dentro de un cinturón de rocas sedimentarias (calco-silicatadas) de edad Cretácico Tardío, equivalentes a las rocas del grupo Bisbee, del sureste de Arizona E.U.A.

Una gran parte de éstos depósitos se encuentran hospedados dentro de zonas de intersección de fallas (NE-NW), asociados con litologías receptivas. Donde el principal control de la mineralización ha sido el estructural, acompañado del control lito-estratigráfico.

El yacimiento Greta se encuentra hospedado dentro de la unidad K-Mural principalmente, dentro de los miembros Ko-Ks y dentro del miembro transicional

Kos que forma la base de K-Mural. Estructuralmente éste depósito se encuentra dentro de una zona de intersección de fallas NW y NE.

La mineralización y/o cuerpos del depósito se encuentran dentro de un sistema de fallas de bajo ángulo de rumbo aproximadamente N45°W, y que a su vez está limitado por un sistema de fallas de rumbo N20-30°E, estas últimas considerándose como el conducto primario de alimentación.

La orientación del yacimiento es al N20-30°E, con un echado de bajo ángulo hacia el oeste. Tiene una extensión en superficie aproximada de 500 metros y un ancho de 50 a 80 metros.

Contiene reservas del orden de recursos geológicos de 1,125 000 toneladas con ley de 1.82 gr Au.

Se considera importante continuar con la cartografía 1 : 5000, a detalle sobre las unidades K-Mural y Ksl principalmente. Sobre todo el cinturón sedimentario cretácico del distrito Santa Teresa, así como en su extensión lateral.

Se recomienda además se hagan estudios sobre paragénesis mineralógica y metálica, inclusiones fluidas, así como profundidad de formación de los depósitos de oro entre otros, con el objeto de conocer a más detalle éste tipo de depósitos de oro diseminado y para un enfoque más preciso sobre las estrategias de exploración.

Se recomienda continuar con una etapa más de barrenación en el área del depósito Greta para cerrar más el depósito, así como en algunos sitios donde la red de barrenación en superficie es de cuarenta metros y que no hay información geológica.

VI.- REFERENCIAS

- Bilodeau w.L., and Linderbeg F.A., 1983**, Early Cretaceous Tectonics and Sedimentation in Southern Arizona, Southwestern New Mexico, and Northern Sonora, Mexico, in Rocky Mountain Section SEPM, Mesozoic Paleogeography of West-Central United States, M.W. Reynolds and E.D. Dolly, eds., Denver Colorado, p.173-188.
- Alba Pascoe Ajax, 1995**, Situación actual y perspectivas del Distrito Minero Santa Teresa, Compañía Minera Oro de Sotula, Reporte Interno, p. 4.
- Anderson, S., 1999**, Structural geology-Santa Gertrudis Property: Informe interno, Compañía Minera Oro de Sotula, p. 6.
- Behre, Dolbear & Company Inc., 1997**, Evaluation of the Santa Gertrudis property. Informe inédito, Oro de Sotula, p. 20.
- Beltrán, C., 1998**, Exploración Geológica de la Mina Santa Gertrudis y Exploración y Explotación del depósito Sofía (Tesis Profesional).
- Bennett, S.A., 1993**. Santa Teresa District, Sonora, Mexico: A gold exploration study aided by lithologic mapping, remote sensing analysis, and geographic information system compilation. M. Sc. Thesis, University of Colorado.
- Exploration Oro de Sotula and Geology Staff, 1995**. Brief overview of the Santa Gertrudis gold deposits. Internal Company Report.
- González L., 1978**, Geología del área de Arizpe. Tesis Profesional, Universidad de Sonora, 92 p.
- Helmstead, H., 1996**, Structural observations at the gold Deposits of Santa Gertrudis mine, Santa Teresa District, Northeast Sonora, Mexico.
- 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

Perez, E., 1995, Reporte Mineregráfico-Petrográfico, de algunas muestras del área Cristina, Mina Santa Gertrudis, Municipio de Cucurpe, Sonora, reporte interno.

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