



EL SABER DE MIS HIJOS
HARÁ MI GRANDEZA

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

YACIMIENTOS HIDROTERMALES SINGENÉTICOS (SEDEX)
DE ORO Y PLATA EN LAS NAPAS DEL DISTRITO REBEICO-
SOYOPA, SONORA CENTRAL

TESIS

Que para obtener el Grado de
MAESTRO EN CIENCIAS-GEOLOGÍA



Presenta:
ARIEL GUILLERMO NAVARRO HERRERA

Hermosillo, Sonora, Agosto de 2005.

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

Agosto 22, 2005.

DR. INOCENTE G. ESPINOZA MALDONADO

Coordinador de Programa
Maestría en Ciencias-Geología
Departamento de Geología
Universidad de Sonora
Presente

Por este conducto y de la manera más atenta, nos permitimos someter a su consideración, para su aprobación el siguiente tema de tesis, intitulado:

**“YACIMIENTOS HIDROTERMALES SINGENETICOS
(SEDEX) DE ORO Y PLATA EN LAS NAPAS
DEL DISTRITO REBEICO-SOYOPA, SONORA CENTRAL”**

Esto es con el fin de que el alumno: **ARIEL GUILLERMO NAVARRO HERRERA**, pueda presentar su examen profesional, para la obtención de su título de Grado de la Maestría en Ciencias-Geología.

Sin otro en particular quedamos de Usted.

ATENTAMENTE

DR. LUIGI RADELLI ROCCO
Director de Tesis

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



EL SABER DE MIS HIJOS
HARA MI GRANDEZA

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

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

Agosto 23, 2005.

DR. LUIGI RADELLI ROCCO

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:

**“YACIMIENTOS HIDROTERMALES SINGENETICOS
(SEDEX) DE ORO Y PLATA EN LAS NAPAS
DEL DISTRITO REBEICO-SOYOPA, SONORA CENTRAL”**

Esto es con el fin de que el alumno: **ARIEL GUILLERMO NAVARRO HERRERA**, pueda presentar su examen profesional, para la obtención de su título de Grado. Asimismo le comunico que han sido asignados los siguientes Sinodales:

DR. INOCENTE G. ESPINOZA MALDONADO	PRESIDENTE
M.C. SAUL HERRERA URBINA	SECRETARIO
DR. LUIGI RADELLI ROCCO	VOCAL
DR. ROGELIO MONREAL SAAVEDRA	VOCAL

Sin otro en particular, quedo de Usted.

ATENTAMENTE

DR. INOCENTE G. ESPINOZA MALDONADO

Coordinador de Programa
Maestría en Ciencias-Geología



EL SABER DE MIS HIJOS
HARA MI GRANDEZA
MAESTRIA EN CIENCIAS
GEOLOGIA
DEPTO. DE GEOLOGIA

C.c.p. Archivo



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

NOMBRE DE LA TESIS:

**“YACIMIENTOS HIDROTERMALES SINGENETICOS (SEDEX)
DE ORO Y PLATA EN LAS NAPAS
DEL DISTRITO REBEICO-SOYOPA, SONORA CENTRAL”**

NOMBRE DEL SUSTENTANTE:

ARIEL GUILLERMO NAVARRO HERRERA

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 Grado en la Universidad de Sonora.

DR. LUIGI RADELLI ROCCO

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 Grado en la Universidad de Sonora.

M.C. SAUL HERRERA URBINA

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 Grado en la Universidad de Sonora.

DR. INOCENTE G. ESPINOZA MALDONADO

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 Grado en la Universidad de Sonora.

DR. ROGELIO MONREAL SAAVEDRA

**ATENTAMENTE
“EL SABER DE MIS HIJOS HARA MI GRANDEZA”**

DR. INOCENTE G. ESPINOZA MALDONADO

Coordinador de Programa
Maestría en Ciencias-Geología

INDICE

1.0 Resumen	1
2.0 Introducción	4
3.0 Geología	8
3.1 (a) Unidades Tectono-Estratigráficas	10
3.1.1 (1) El Autóctono: El Jurásico Americano	10
3.1.2 (2) Los Cuerpos Alóctonos	11
3.1.2.1 La Plataforma Paleozoica	11
3.1.2.2 La Napa Soyopa	16
3.1.2.3 La Napa Los Chinos	18
3.1.2.4 La Napa San Antonio	22
3.2 (b) La Cobertura del Triásico Superior	25
3.2.1 El Grupo Barranca	25
3.3 (c) Las Formaciones Ígneas.....	26
3.3.1 Los cuerpos intrusivos	26
3.3.2 Los cuerpos efusivos de la Formación Tarahumara	27
3.4 (d) Las Formaciones de cobertura terciaria.....	28
4.0 La deformación de las diferentes unidades	30
4.1 El Autóctono Americano	30
4.2 La Plataforma Paleozoica	30
4.3 La Napa Soyopa	30
4.4 La Napa Los Chinos	31
4.5 La Napa San Antonio	31
4.6 El Grupo Barranca (Triásico Sup.)	32
4.7 Las rocas ígneas lamínicas intrusivas y efusivas	32
4.8 La Formación Belleza y Baucarit (Oligoceno Sup.– Mioceno Inf.)	32
5.0 Las Mineralizaciones	33
5.1 Mineralizaciones de la Napa San Antonio	34
5.2 Mineralizaciones de la Napa Soyopa	34

5.3 Mineralizaciones de la Napa San Antonio	35
5.3.1 (1) Montaña de Oro	35
5.3.2 (2) Gallo de Oro	37
5.3.3 (3) Mineralizaciones auríferas sin nombre de la cuarcita soporoba	39
5.4 Mineralizaciones de la Napa Soyopa	39
5.4.1 a) Bloque Rebeico-Soyopa	39
5.4.1.1 (1) San Cristóbal	39
5.4.1.2 (2) Noche Buena	44
5.4.1.3 (3) Tepehuaje	46
5.4.2 b) Bloque Soyopa-San Antonio	52
5.4.2.1 (4) La Prietita y La Prieta	52
5.4.2.2 (5) Hidalgo	55
5.4.2.3 (6) Guadalupe	56
5.4.3 (c) Los depósitos de barita de la Napa Los Chinos	56
6.0 Observaciones.....	57
7.0 Geoquímica	61
8.0 El Origen de las mineralizaciones	65
9.0 Comparación con otros yacimientos estratiformes en ambientes sedimentarios.....	69
9.1 Comparación con Depósitos Tipo Mississippi Valley (MVT)	70
9.2 Comparación con los Depósitos Tipo Carlin	71
9.2.1 El Deposito de Hardie Footwall	78
9.2.2 Depósito Deep Star	79
9.3 Génesis de los Depósitos Tipo Carlin en Nevada, USA	80
9.4 Comparación con los Depósitos del Distrito Minero Macmillan Pass, Yukon, Canadá	83
9.4.1 El Depósito Tom	84
9.4.2 El Depósito Jason	84
9.4.3 El Depósito Boundary Creek	84
10.0 Discusión y Conclusiones.....	89

1.0 RESUMEN

El objeto de este trabajo es el estudio de varias mineralizaciones de oro y plata que ocurren en el área de Rebeico-Soyopa-San Antonio, Sonora central.

Esta parte de Sonora y zonas aledañas están caracterizadas geológicamente por el apilamiento de tres grandes napas, las Napas Soyopa, Los Chinos y San Antonio, que consisten de rocas sedimentarias del Paleozoico depositadas en una cuenca marina compleja y relativamente profunda.

Dichos cuerpos alóctonos se emplazaron en el Triásico Inferior sobre la plataforma calcáreo-arenácea paleozoica de Sonora central, la cual, ya cargada de estas napas cabalgó durante el "Mesocretácico" (Oregoniano) sobre las formaciones autóctonas del área, incluyendo las del Cretácico Inferior.

De las 3 napas, la Napa Soyopa aflora principalmente en la parte norte del área de estudio o bloque Rebeico-Soyopa; la Napa San Antonio aflora en mayor proporción en el área sur o bloque Soyopa-San Antonio; y la Napa Los Chinos aflora solamente al oeste del área de estudio, pero es incluida en este trabajo por contener importantes mineralizaciones de Barita, hecho que nos permiten comparar las mineralizaciones en estudio con otras mineralizaciones de Norte América,

La Napa Soyopa consiste de una alternancia de calizas, lutitas y cuarcitas y termina con una cuarcita maciza. Con la excepción de estas últimas, la secuencia de esta napa ha sido afectada primeramente por una esquistosidad de flujo paralela a la estratificación, y sucesivamente por un segundo plegamiento, hechos que dieron lugar a estructuras en cartera de huevo. En cambio, las cuarcitas terminales, por ser más competentes fueron afectadas solamente por una esquistosidad de fractura.

La Napa San Antonio que es la más alta del edificio estructural del área, está constituida por una alternancia de cuarcitas, calizas y lutitas en su parte

inferior, y, en su parte superior, por una potente unidad de ortocuarcitas. Las alternancias de la parte inferior de la secuencia se encuentran intensamente plegadas pero sin presentan una esquistosidad regionalizada (lo que permite diferenciarla de la Napa Soyopa). Las ortocuarcitas que coronan estas intercalaciones muestran pliegues kilométricos que afloran en las partes altas de los cerros.

La Napa Los Chinos, que aflora al oeste del área de estudio (Mazatán, Cobachi) está constituida por lutitas, calizas, pedernales y capas con barita detrítica.

Tanto en el bloque Rebeico-Soyopa, como en el bloque Soyopa-San Antonio, existen varios cuerpos mineralizados de oro y plata encajonados por las rocas de las Napas Soyopa y San Antonio.

Entre estos depósitos, los cuales fueron explotados en el pasado única y exclusivamente por gambusinos y/o pequeños mineros de la región tenemos los de: La Montaña de Oro al este de Rebeico; San Cristóbal, San Miguel o Mina del Río y Gallo de Oro al noroeste del poblado de Soyopa; Noche Buena al norte de Soyopa; Tepehuaje al nor-noreste de Soyopa; La(s) Prieta(s), La Prietita, Hidalgo, Santo Niño y Guadalupe al suroeste de Soyopa.

Los documentos bibliográficos acerca de estas mineralizaciones son muy escasos, reduciéndose a una tesis de licenciatura, en la cual se citan sin explicación alguna y a un mapa geoquímico de Magma Chem Exploration Inc., (1999), en las que se citan como yacimientos de tipo Carlin.

En el trabajo que aquí se presenta se pudo corroborar que la distribución de las mineralizaciones indicadas obedece a un control estratigráfico.

Con el fin de establecer si se trata de mineralizaciones epigenéticas posteriores al emplazamiento de las napas o de mineralizaciones ya existentes en los cuerpos ahora alóctonos y emplazadas junto con ellos, se estudiaron

también las relaciones existentes entre las mineralizaciones y las deformaciones que afectaron las napas que las contienen.

Se pudo establecer que todos los cuerpos mineralizados estudiados se caracterizan por: (1) ser concordantes con las rocas que las encajonan, (2) que están afectados por el mismo plegamiento y la misma esquistosidad y fenómenos asociados, como lo son el (budinaje, estructuras de pinch and swell, etc.), que afectaron las rocas que los encajonan.

Se observó que ninguno de los cuerpos mineralizados pasa de una napa a la otra, o de una napa a la plataforma: todos estos cuerpos mineralizados se encuentran delimitados por los planos de cizalla que separan las Napas Soyopa y San Antonio y a estas de la plataforma.

En el área afloran rocas ígneas intrusivas y efusivas (granitoides laramídicos y lavas de la Formación Tarahumara). Pero estas rocas no presentan las deformaciones que se encuentran en las rocas de las distintas napas del área y por lo tanto son posteriores a las mineralizaciones.

Se compararon las mineralizaciones en estudio con otras mineralizaciones estratiformes de Norte América como los Mississippi Valley Type, Depósitos Carlin y los Depósitos del Distrito Minero Macmillan Pass del Yukon, Canadá, siendo estos últimos los que mostraron la mayor similitud con ellos tanto por su marco tectono-estratigráfico como por su génesis mineralógica.

Las mineralizaciones en discusión se interpretaron como singenéticas hidrotermales en el sentido de que sus metales aportados por fluidos, que percolaron per ascensum a través del zócalo y depositados bajo condiciones apropiadas de pH y Eh, y de la fugacidad del oxígeno (fO_2) de las soluciones, en las cuencas en las que sedimentaban las rocas de las actuales Napa Soyopa y Napa San Antonio.

2.0 INTRODUCCION

El trabajo que aquí se presenta es un desarrollo del estudio de las mineralizaciones del área de Rebeico-Soyopa-San Antonio, Sonora central, ya iniciado en la Tesis de Licenciatura de Navarro (2003).

Se trata de cuerpos mineralizados singenéticos estratiformes que se encuentran en las secuencias de una cuenca compleja de aguas relativamente profundas de edad Ordovícico a Pérmico y emplazadas, y deformadas, junto con ellas como alóctonos, las Napas Soyopa y San Antonio, arriba de la Plataforma arenácea-calcárea de Sonora central durante el Triásico Temprano.

Estos cuerpos son:

- *en la Napa Soyopa:*

- San Cristóbal (Ag) al noroeste de Soyopa;
- Noche Buena (Ag) al norte de Soyopa;
- Hidalgo (Ag) al sur-suroeste de Soyopa;
- La Prieta y La Prietita (Ag) al suroeste de Soyopa;
- Tepehuaje (Au) al nor-noreste de Soyopa;
- Guadalupe (Au) al sur-suroeste de Soyopa;

- *en la Napa San Antonio*

- Montaña de Oro (Au) al este de Rebeico;
- Gallo de Oro (Au) al noroeste de Soyopa.

En este trabajo se aportan dos modificaciones con respecto de la geología propuesta en la Tesis de Licenciatura arriba indicada.

Con el fin de poder comparar mejor las mineralizaciones en cuestión con otras, igualmente metálicas y también estratiformes, de Norte América, se completó el análisis del marco tectono-estratigráfico general de las mineralizaciones, incluyendo en este las mineralizaciones estratiformes de barita de la Napa Los Chinos, que acompaña a las Napas Soyopa y San Antonio,

Además, se re-interpretó la posición estratigráfica de la Cuarcita de Soporoba.

Esta formación había sido incluida en la Napa Soyopa por Radelli et al. (1987) y considerada como parte del zócalo por Navarro (2003). Pero se pudo mostrar que en realidad pertenece a la Napa San Antonio, de la cual es el elemento más bajo. Esta Cuarcita contiene una mineralización aurífera claramente epigenética, pero que por ser pobre no es menos importante: en el área considerada, es el único caso en el cual estaría conservada la parte inferior, epigenética, de las mineralizaciones hidrotermales singenéticas superiores en ambiente sedimentario (en este caso Montaña de Oro y Gallo de Oro).

Navarro (2003), además demostró que se trata de mineralizaciones estratiformes singenéticas, se encontró que los cuerpos mineralizados de la Napa Soyopa pertenecen a dos niveles estratigráficos y que es un hecho que, por tratarse de mineralizaciones singenéticas estratiformes, indica que estas mineralizaciones corresponden a dos eventos mineralizantes. Esta conclusión se confirmó en el presente trabajo con base en **datos geoquímicos**.

También por medio de datos geoquímicos se pudo mostrar que las mineralizaciones de la Napa San Antonio [Montaña de Oro (Au) al este de Rebeico y Gallo de Oro (Au) al noroeste de Soyopa] presentan una firma distinta, así que debe concluirse que representan un evento mineralizante independiente.

Como se dijo, se trata de mineralizaciones contenidas en napas, y transportadas junto con ellas. Cada napa, por otro lado, corresponde a una unidad paleogeográfica distinta. Es posible, entonces, que la "independencia" del evento mineralizante al cual se deben los cuerpos auríferos de la Montaña de Oro y del Gallo de Oro de la Napa San Antonio esté relacionado solo con la distinta situación paleogeográfica que necesariamente con un evento temporalmente diferente de aquel que produjo los cuerpos auríferos del Tepehuaje y Guadalupe de la Napa Soyopa.

Con base en los resultados geoquímicos y consideraciones estratigráfico-estructurales ha sido posible establecer una correlación entre los cuerpos mineralizados de los bloques occidental (Rebeico - Soyopa) y oriental (Soyopa - San Antonio). Esta correlación pone en evidencia la extensión regional, y por lo tanto la posible importancia económica, de las mineralizaciones estudiadas.

Existen en el área en estudio una casi completa inaccesibilidad, por derrumbes e inundaciones, de las obra mineras antiguas. Como, además, el desarrollo de las obras antiguas había empezado desde los afloramientos mineralizados, esos de hecho habían sido eliminados. Esta situación hizo casi imposible el conseguir muestras mineralizadas aptas para un estudio microscópico.

Las muestras que se obtuvieron fueron proporcionadas por algunos "gambusinos" locales que las conservaban en sus casas. Se prepararon 11 muestras, esperando obtener su análisis químico y mejorar así el estudio geoquímico.

Para entender mejor su naturaleza y poder hacer unas previsiones, se efectúa una **comparación de las mineralizaciones sonorenses estudiadas con otras mineralizaciones estratiformes de Norte América**: los depósitos tipo Mississippi Valley (MVT), los depósitos "tipo" Carlin de Nevada y los depósitos estratiformes del Macmillan Pass del Yukon, Canadá.

Se ha podido establecer, que los depósitos hidrotermales en ambiente sedimentario de Sonora central, objeto del presente estudio, son genéticamente muy similares, para decir poco, de los depósitos considerados como SEDEX del Macmillan Pass, Yukon, Canadá.

Es esta una conclusión muy importante porque permite esperar que los depósitos de Sonora central aquí estudiados tengan un volumen mineralizado del orden de los 15 Mt (promedio mundial de los depósitos SEDEX, con el 10% de los depósitos con un volumen en exceso de 130Mt) con unas leyes cuyo

promedio mundial, para los argentíferos, es de 2.8% Pb, 5.6% Zn y 30 gr/T de Ag.

Se termina con la sugerencia de una campaña geofísica seguida por una campaña de barrenación destinada a determinar la morfología, el volumen y las leyes de los cuerpos mineralizados estudiados.

3.0 GEOLOGIA

Introducción

Las mineralizaciones objeto del presente estudio son las que se encuentran en el área Rebeico – Soyopa – San Antonio de la Huerta, al Este de Hermosillo.

- De Norte a Sur, se trata de las mineralizaciones siguientes (fig. 1): Montaña de Oro, San Cristóbal, San Miguel o Mina del Río, Gallo de Oro, Noche Buena, Tepehuaje, La Prieta, La Prietita, Hidalgo, Guadalupe, Santo Niño.

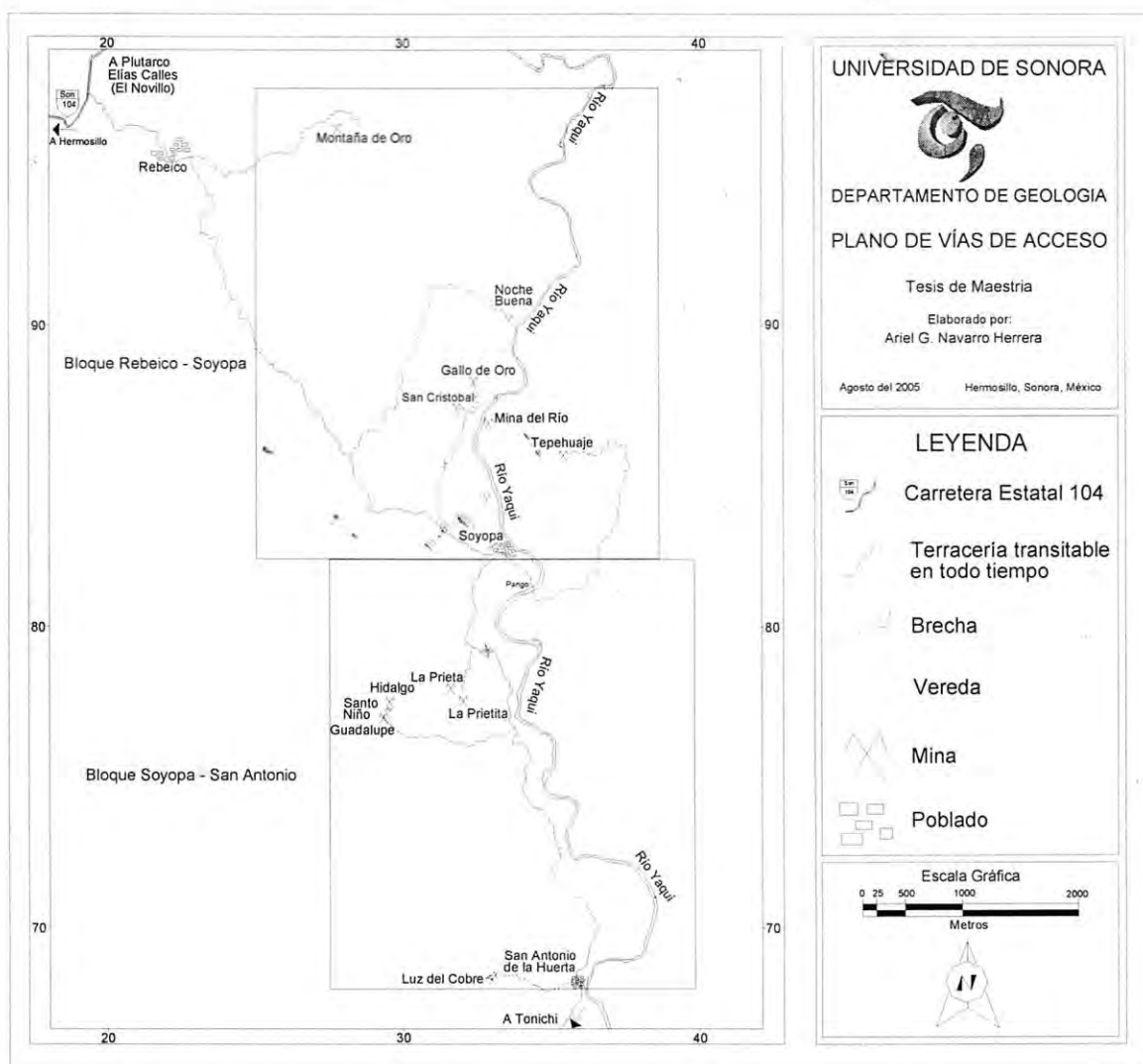


Figura 1.- Plano de vías de acceso a las obras mineras del área de estudio.

El marco geo-tectónico del área y de las mineralizaciones en cuestión fueron discutidos por (Navarro Herrera, 2003, Navarro y Radelli 2004a y 2004b).

Dichos autores reconocieron lo siguiente:

- (1) un *Autóctono americano*, al cual habían sido atribuidas: (a) una secuencia fuertemente fracturada de areniscas considerada como perteneciente al Jurásico (Radelli et al., 1993; Dórame 2003) y (b) una secuencia de cuarcitas – *Cuarcita Soyopa*– que presenta un plegamiento isoclinal;
- (2) una *Plataforma calcáreo-arenácea Paleozoica*, alóctona, que, ya cargada de las Napas indicadas en el punto siguiente de las cuales constituye el *autóctono relativo*, cabalgó durante el Oregoniano (“Mesocretácico”) los depósitos del Jurásico;
- (3) las *Napas Soyopa, Chino y San Antonio* (Radelli et al., 1987; Radelli, 1993; Dórame, 2003; Navarro Herrera, 2003), emplazadas sobre la citada Plataforma Paleozoica durante el Triásico Inferior; de estas tres napas, (Navarro Herrera, 2003), fueron discutidas solamente las primeras dos;
- (4) rocas ígneas intrusivas y efusivas, granitoides y Formación Tarahumara del Cretácico Superior – Paleoceno (McDowell et al., 1994).

Como será discutido más adelante, las revisiones efectuadas posteriormente obligaron, sin embargo, a asignar la unidad aquí llamada *Cuarcita Soyopa*, anteriormente atribuida al autóctono americano, a la Napa San Antonio.

Por otro lado, para poder comparar las mineralizaciones de las Napas Soyopa y San Antonio con las de otros depósitos (Carlin, Macmillan Pass) se hizo necesario considerar también la Napa Los Chinos, que aflora al NW del

área de Rebeico-Soyopa en la cual ocurren las mineralizaciones objeto del presente estudio (Fig. 2).

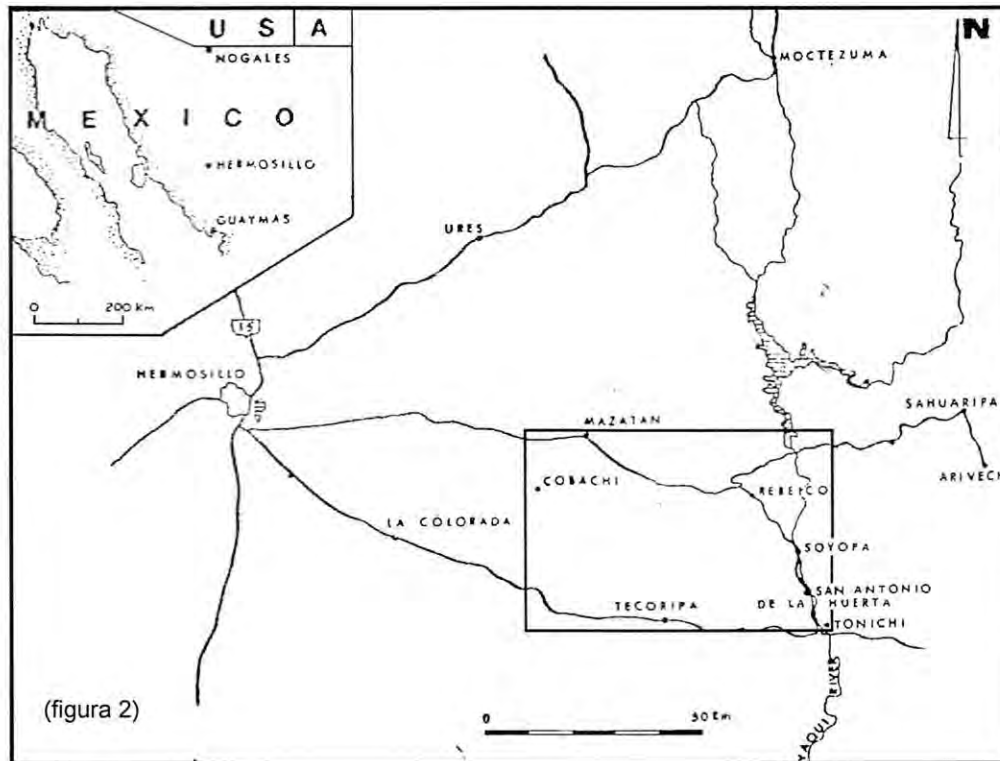


Fig. 2.- Localización de las áreas donde aflora las mineralizaciones de barita de la napa Los Chinos.

3.1 (a) LAS UNIDADES TECTONO-ESTRATIGRÁFICAS

A continuación se describen brevemente las unidades tectono-estratigráficas del área en el orden en el cual se encuentran sobrepuestas en el terreno.

3.1.1 (1) *El Autóctono Americano: El Jurásico Americano*

Esta unidad está constituida por una secuencia de areniscas de cuarzo de grano fino, con abundantes minerales opacos (pirita, calcopirita). Las rocas son estratificadas y presentan una coloración oscura (negra), debido a su gran contenido de hierro. Estas rocas presentan una muy fuerte fracturación. En estos

afloramientos no se encontraron fósiles; sin embargo, se asignan al Jurásico por analogía de facies con la secuencia de la Sierra de la Campanería, atribuida a este periodo por Radelli et al. (1993), y que también están cabalgadas por la Plataforma Paleozoica.

Por otro lado, la facies de esa secuencia es completamente distinta a la del Jurásico alóctono (Dórame, 2003), reconocida en otras partes de Sonora. Cabe mencionar que esta secuencia está afectada por pequeñas intrusiones de rocas ígneas de edad desconocida, posiblemente Eoceno, con las cuales están en relación algunas manifestaciones de molibdeno.

3.1.2 (2) Los cuerpos alóctonos

En esta sección se describen rápidamente los cuerpos alóctonos de la región estudiada y sus relaciones. Para la claridad de la exposición y de su lectura es importante recordar que la región fue afectada por dos fenómenos compresivos (Radelli et al., 1987; Radelli et al., 1993; Dórame, 2003), como sigue. El primer fenómeno compresivo, ocurrido en el Triásico Inferior, dio lugar al cierre de un dominio paleozoico de cuenca y al emplazamiento de sus secuencias, en forma de tres napas (Napas Soyopa, Chinos y San Antonio), arriba de la Plataforma calcárea Paleozoica de Sonora central. Este fenómeno compresivo ha sido seguido por una distensión del Triásico Superior, misma que permitió la sedimentación del Grupo Barranca arriba de las tres Napas indicadas arriba y de la Plataforma.

3.1.2.1 La Plataforma Paleozoica

Esta unidad aflora principalmente en la parte Norte del área de estudio, en el Bloque Rebeico-Soyopa, formando relieves característicos de las rocas calcáreas. Buenos ejemplos de este relieve se encuentran en el Cerro Las Cuevitas, a 4.4 km de las obras mineras del Tepehuaje, y aproximadamente a unos 6 km al noroeste de ese mismo cerro. Aflora además en tres pequeñas

ventanas tectónicas situadas una en el área de las obras mineras del Tepehuaje; otra en las inmediaciones de las obras mineras de San Cristóbal, en el Bloque Rebeico-Soyopa (Fig. 3); y la tercera en el Bloque Soyopa-San Antonio, cerca de las mineralizaciones de Hidalgo-Guadalupe (Fig. 4).

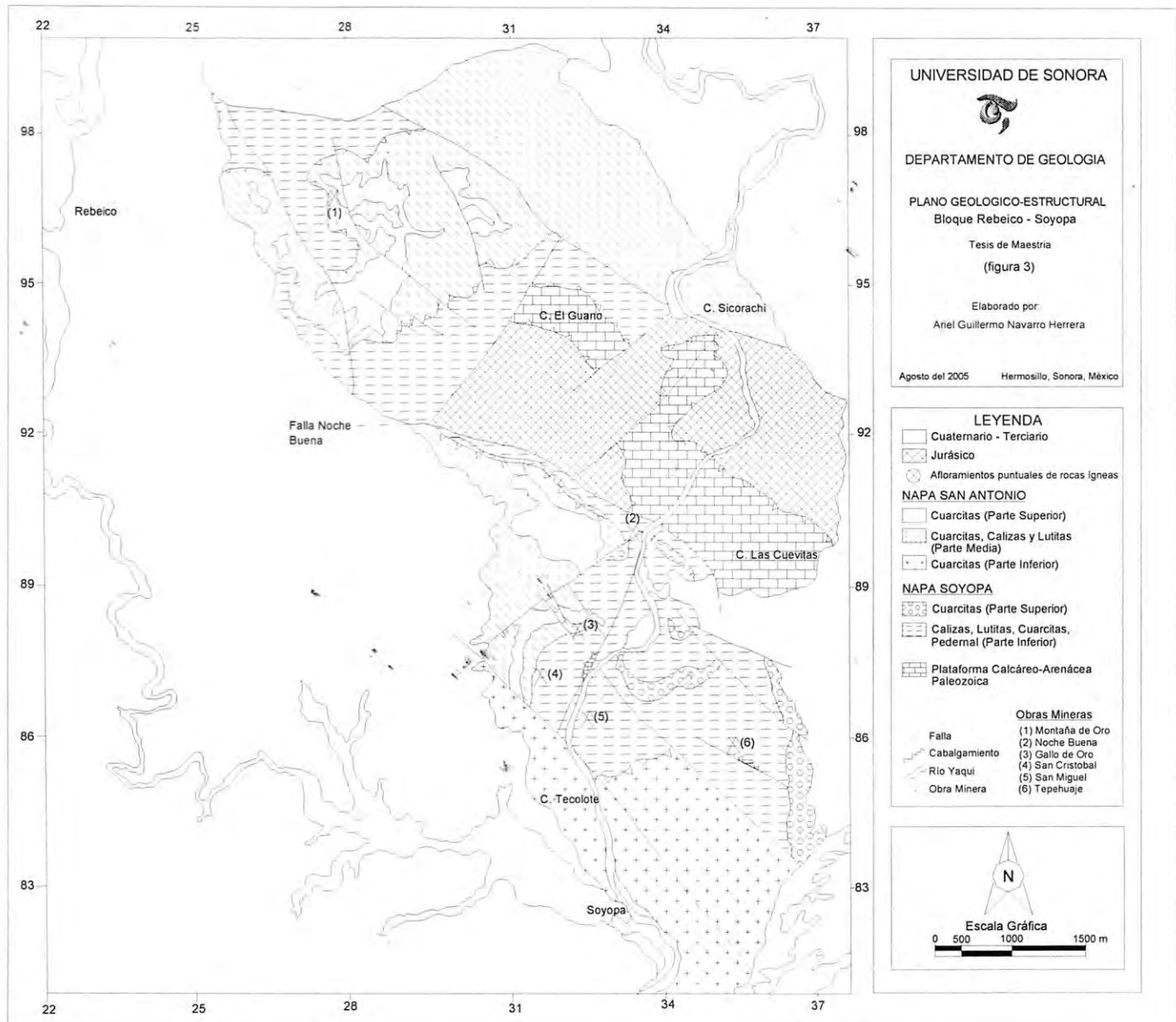


Figura 3.- Plano geológico-estructural del bloque Rebeico-Soyopa.

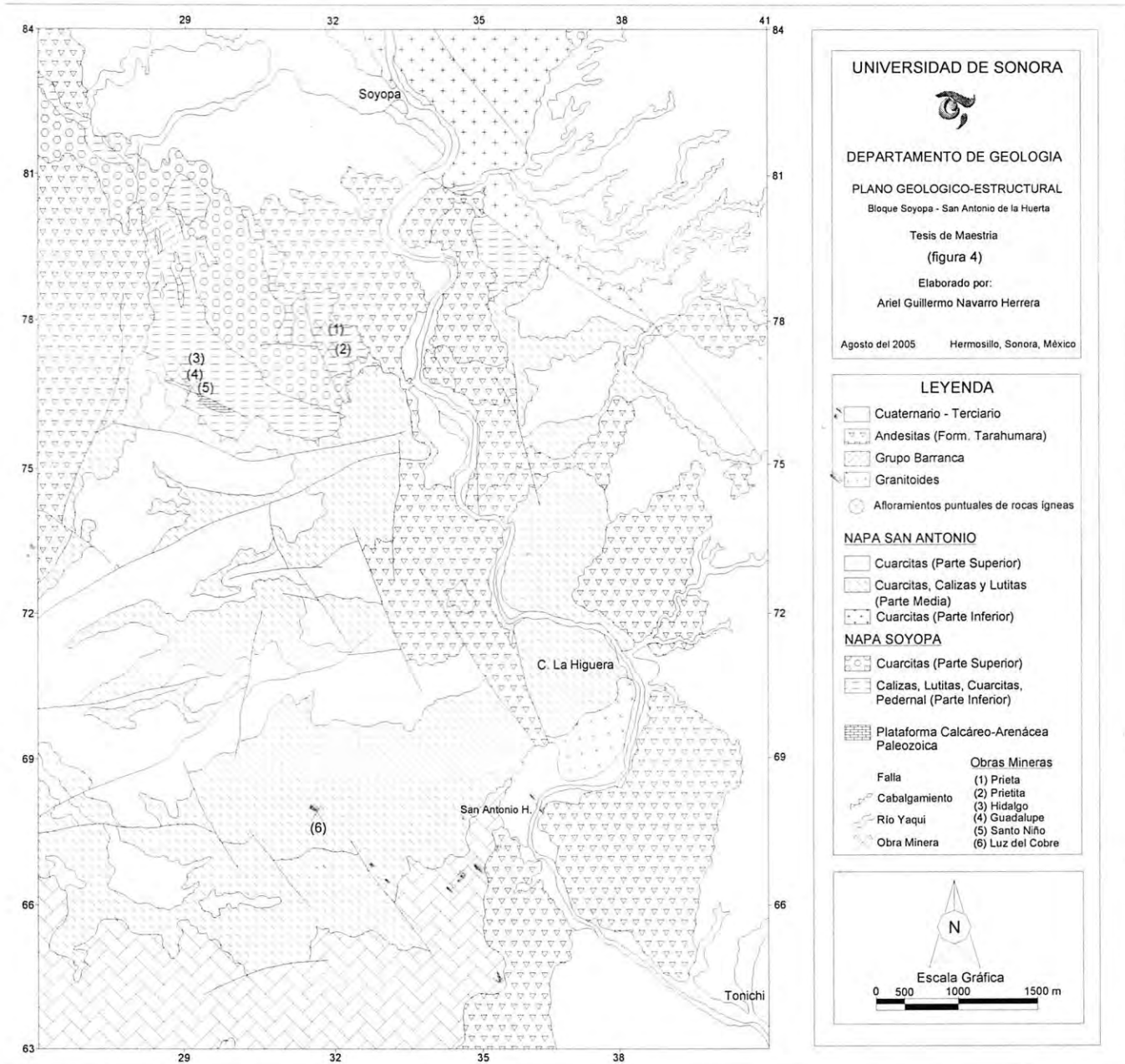


Figura 4.- Plano geológico-estructural del bloque Soyopa-San Antonio de la H.

En el área indicada la Plataforma calcárea Paleozoica está constituida por grandes espesores de calizas grises. Estas calizas están plegadas más no presentan la esquistosidad típica encontrada en las rocas de las napas que la cubren. En las dos primeras ventanas tectónicas indicadas arriba las calizas de

esta unidad contienen pequeños clastos de pedernales, lo que podría indicar que se trata de sedimentos depositados cerca del límite de la antigua plataforma continental.

Los afloramientos de la plataforma, presentan cierta variedad faunística. Por ejemplo, en las inmediaciones del Cerro Las Cuevitas se encuentran abundantes fusulínidos y crinoides, que llegan a medir hasta 13 cm de largo y 2cm de ancho (fig. 5).



Fig. 5.- Rocas calizas del Cerro Las Cuevitas, conteniendo crinoides en corte basal, indicando una edad Pérmico Inferior (Pérez, 2001)

En la ventana tectónica del Tepehuaje se encuentran organismos fósiles tales como, briozoarios, equinodermos, crinoides, braquiópodos, moluscos y algas rojas. En estos mismos afloramientos se descubrieron además, por primera vez en México, dos ejemplares de un artrópodo probablemente del género *Arthropleura* (B. Buitrón, com. pers.), actualmente en estudio (Fig. 6).



Fig. 6.- Ejemplar de artrópodo probablemente del género *Arthropleura*, descubierto por primera vez en México (B. Buitrón, com. pers.).

Dicha plataforma ha sido cabalgada durante el Triásico Inferior por la Napa Soyopa y se encuentra sobreyaciendo al Jurásico Americano (Autóctono Americano), y más al Este, al Cretácico Inferior (cabalgamiento Oregoniano).

Comparando las características estratigráficas de esta plataforma en el área de estudio, en la Sierra de La Campanería, en la Sierra de Los Chiltepines y en el área de Arivechi, podemos observar lo siguiente: en el área estudiada están representados sus miembros del Pérmico Inferior; en la Sierra de la Campanería (Vega y Araux, 1985) miembros que van desde el Devónico hasta el Pérmico Inferior; en la Sierra de Los Chiltepines miembros desde el Cámbrico hasta el Pérmico (Himanga, 1997).

Estas observaciones indican que durante su traslado (Oregoniano) la Plataforma ha sido amputada de sus miembros Pre-Devónicos en la Sierra de La Campanería, y de todos sus miembros Pre-Pérmicos en el área de estudio.

3.1.2.2 La Napa Soyopa

La Napa Soyopa descansa directamente sobre la Plataforma calcárea-arenácea (autóctono relativo). Este contacto se observa claramente en la Sierra de Martínez, en los Cerros de Cobachi, en la Sierra de La Campanería. Además en el área de estudio aparece en las tres pequeñas ventanas tectónicas ya mencionadas. A su vez, a lo largo de toda el área de estudio está cabalgada por la Napa San Antonio.

En el área de estudio aflora principalmente en el Bloque Rebeico-Soyopa. En este sector la Napa Soyopa se encuentra:

- (a) aproximadamente a 1.5 km del poblado de Soyopa, en los cerros que contienen las mineralizaciones de San Cristóbal, Santo Niño y Tepehuaje;
- (b) más hacia el Norte, a lo largo del arroyo Noche Buena, donde está en contacto por falla con el Jurásico Americano;
- (c) Al sureste de Rebeico, aproximadamente a 5 km, en la parte inferior de los cerros donde se ubica la mineralización de la Montaña de Oro (Fig. 3).

En el Bloque Soyopa-San Antonio la Napa Soyopa aflora en menor proporción, encontrándose en los cerros que contienen las mineralizaciones de Hidalgo, Guadalupe y Santo Niño, aproximadamente a 5 km al Suroeste de Soyopa (Fig. 4).

En el área de estudio, de las tres partes de la Napa Soyopa propuesta por Radelli et al. (1987), se encuentran solamente las dos superiores. La primera de estas dos partes está constituida por una alternancia de calizas, lutitas y cuarcitas. Las calizas son muy silicificadas y fracturadas de color gris a negro, en estratos de espesor variable desde unos pocos cm hasta decenas de cm. Las lutitas son de color negro que también presentan silisificación y fracturamiento. A menudo contienen micro-vetillas de calcita. Las cuarcitas de esta parte de la Napa Soyopa son de estratificación muy delgada (cms), de grano fino, de un color gris claro a rojizas debido a productos de oxidación y a su contenido ferrífero.

La parte superior de la Napa Soyopa está constituida de cuarcitas con óxidos de fierro con un espesor potente, formando crestas prominentes que evidencian pliegues en las partes altas de los cerros.

En la Napa Soyopa se encontraron graptolitos que corresponden al Ordovícico Medio a Ordovícico Tardío, como sigue:

- Sierra El Encinal: *Dicellograptus* sp., *Reteograptus* cf. *R. geinitzianus* Hall, en lutitas negras del Arroyo Cervantes (C. Carter en Barrera M. y Domínguez P., 1987). *Climacograptus bicornis tridentatus* Lapworth, *Orthograptus?* aff. *O. amplexicaulis* (Hall). en lutitas negras del Rancho Nuevo (ibidem).
- Cobachi: *Dicranograptus* sp. aff. *Ramosus*, Elles et Wod, *Orthograptus* sp. aff. *truncates* (Lapworth), *Climacograptus* Hall, *Climacograptus longispinus* hvalross, Ross et Barry, en lutitas silíceas en los alrededores de La Vuelta Colorada (Peiffer-Rangin et al., 1980; Noll, 1981).
- En la región de la Mina Barita de Sonora: Un número de graptolitos Ordovícicos (Barita de Sonora S.A., comunicación privada de datos no publicados del USGS).

Todas las facies de esta napa se encuentran afectadas por una intensa esquistosidad de flujo, la cual es paralela a la estratificación, lo cual dificulta diferenciar la estratificación de la esquistosidad, esta esquistosidad se encuentra plegada, debido a un replegamiento de estas rocas, dando como resultado una estructura en cartera de huevo. Así como las rocas de la parte superior de dicha napa, debido a su mayor competencia, la esquistosidad se refractó disponiéndose casi verticalmente, volviéndose una simple esquistosidad de fractura.

La Napa Soyopa ha sido afectada por cuerpos graníticos, los cuales, también alcanzaron a intrusionar al edificio de la Napa San Antonio, como es el caso del Cerro La Higuera (Fig. 4), así como diques andesíticos encontrados en el interior de las obras mineras del Tepehuaje. Estos cuerpos filonianos no presentan esquistosidad, u otro tipo de deformación penetrativa. Por lo cual fueron depositados después del emplazamiento de las Napas.

En esta Napa se encuentra una parte de las mineralizaciones de oro y plata que han sido la razón de ese trabajo.

3.1.2.3 La Napa Los Chinos

La Napa Los Chinos aflora entre los poblados de Mazatán y Rebeico, aproximadamente a 18 km de Mazatán, en la Mina Barita de Sonora y en una menor proporción aproximadamente a 8 km del poblado de Cobachi, en lo que se conoce como la Mina Barita de Cobachi (Fig. 2). Esta napa no se encuentra aflorando en el área de estudio de las mineralizaciones. Sin embargo es importante mencionarla, por contener una importante mineralización de barita, hecho que permite comparar las mineralizaciones del área estudiada con yacimientos similares de Nevada y del Yukon.

En el área de Cobachi, la Napa Los Chinos se encuentra cabalgando tectónicamente a la Napa Soyopa y estando a su vez cabalgada por la Napa San Antonio.

Los afloramientos principales de la Napa Los Chinos se encuentran hacia la parte oriental del tramo Mazatán-Rebeico. Hacia el Norte, la Napa Los Chinos se encuentra cabalgando a la Napa Soyopa, que a su vez cabalga a la Plataforma Paleozoica (autóctono relativo). Hacia la parte suroeste del tramo indicado la Napa Los Chino está cabalgada por la Napa San Antonio. Hacia el sureste la Napa Los Chinos está en contacto con rocas volcánicas Laramídicas (Fig. 7).

La Napa Los Chinos incluye argilitas, margas, lutitas, importantes intercalaciones de pedernales, calizas arenosas, areniscas, capas de barita detrítica y otras con concreciones de barita. El orden estratigráfico de las litofacies no está bien definido debido a fuertes complicaciones estructurales (Fig. 8).

Gracias a los trabajos de la Mina Barita de Sonora se puede observar que las facies de grano fino de la Napa Los Chinos contienen también olistolitos aparentemente de rocas Ordovícicas de la Napa Soyopa. Se trata principalmente de pedernales y lutitas y secundariamente de bloques de rocas volcánicas muy alteradas (andesitas ¿basaltos?). Estos olistolitos varían en tamaño desde pocos centímetros hasta algunos decímetros. En Cobachi esta misma unidad muestra un carácter turbidítico muy marcado (Ketner, 1986).

Cerca de la base de la secuencia con barita ha sido encontrado en los depósitos de la Napa Los Chinos, tanto en las cercanías de la Mina Barita de Sonora (Los Pozos), como en el área de Cobachi, el braquiópodo *Dzieduszickia* (Noll et al., 1984) del Devónico Tardío (Fameniano) de Maruecos, Polonia y Nevada. Pero del área de la Mina Barita de Sonora se reportaron también conodontos fusulínidos del Misisípico y Pensilvánico. A los depósitos contenidos en la Napa Los Chinos se asigna por lo tanto una edad Devónico a Pensilvánico.

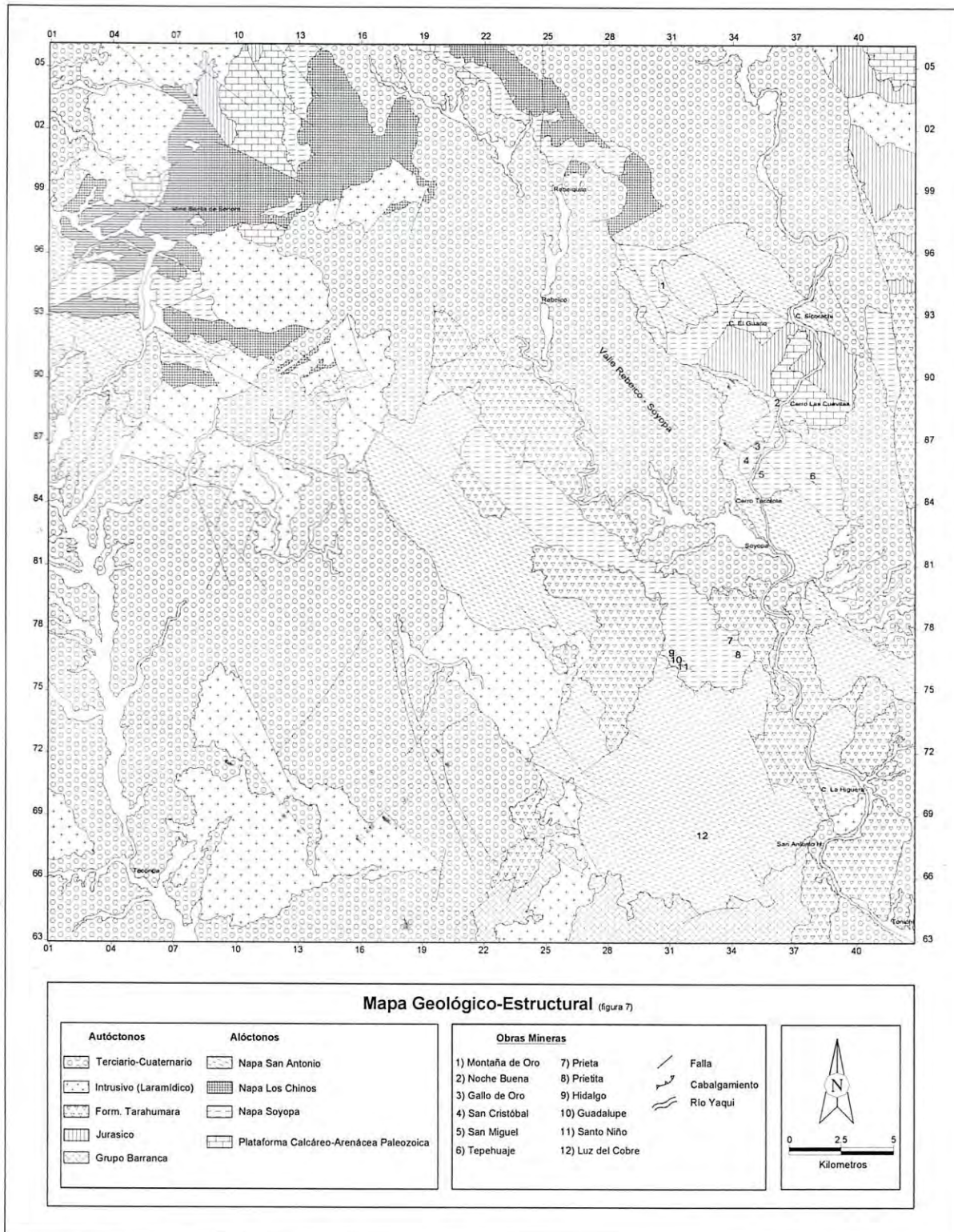
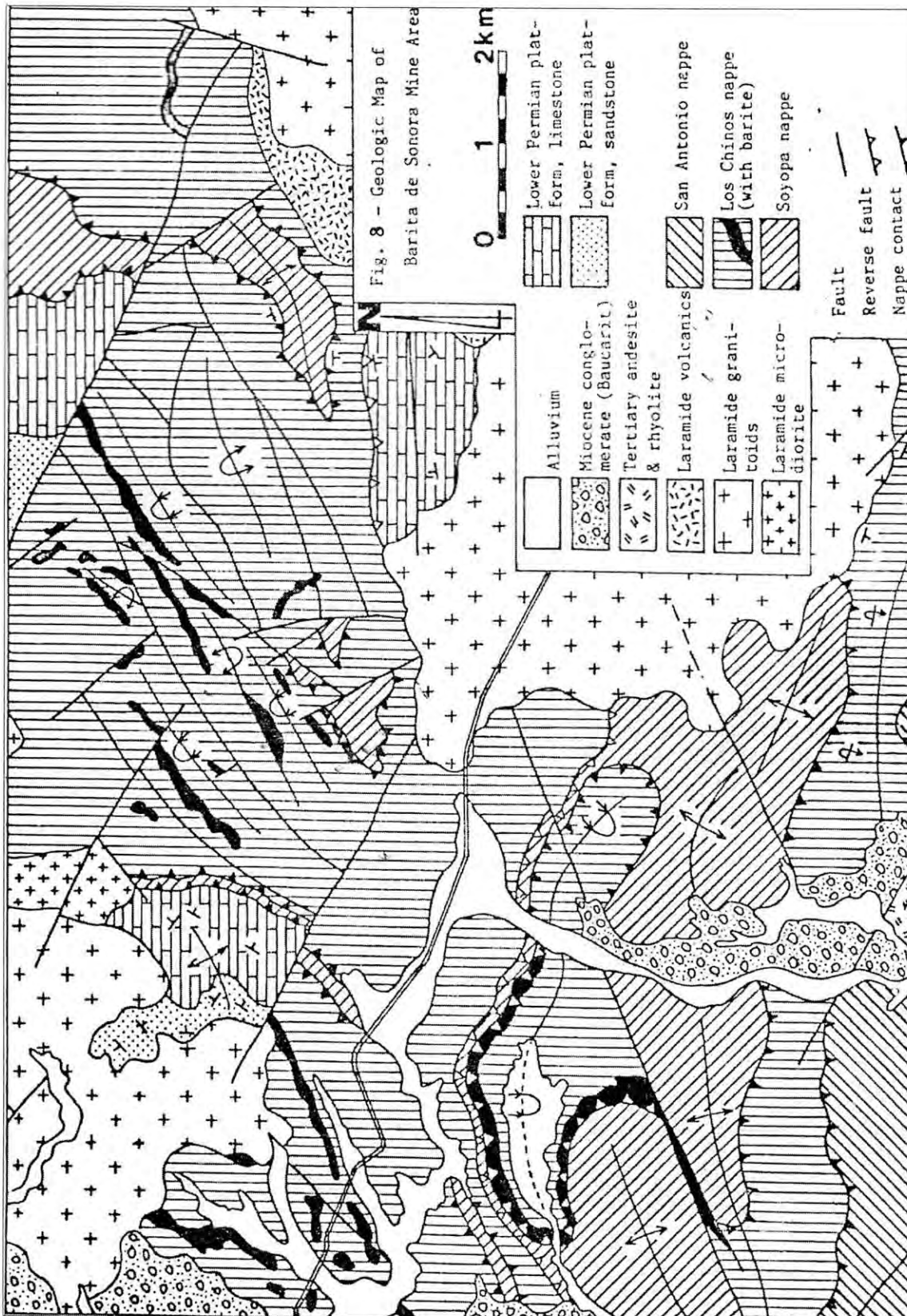


Fig. 7.- Mapa geológico-estructural que incluye las mineralizaciones de barita de la Napa Los Chinos.



Esta atribución cronoestratigráfica no significa necesariamente que la cuenca donde se acumularon los depósitos de la actual Napa Los Chinos se abrió posteriormente a la de aquellos de las actuales Napas Soyopa y San Antonio, en los cuales el Ordovícico está documentado paleontológicamente. Por un lado, es posible que durante su traslado la Napa Los Chinos haya sido amputada de sus miembros más antiguos. Por otro lado, es también posible que ciertas secuencias de las áreas de la Mina Barita de Sonora y Cobachi atribuidas a la Napa Soyopa correspondan a la parte inferior de la Napa Los Chinos. Lo que se puede afirmar es que, como lo indican (i) los olistolitos de la Napa Los Chinos; y (ii) el carácter detrítico de la barita de los yacimientos de Mazatán y Cobachi – entre el Ordovícico y el Devónico Tardío, hubo una fuerte fase tectónica que permitió la erosión y la sedimentación de depósitos anteriores, aparentemente de la cuenca Soyopa: barita posiblemente hidrotermal al origen y detrítica en la secuencia Los Chinos y bloques de rocas volcánicas alteradas englobados en las facies sedimentarias de la secuencia con barita de Los Chinos.

3.1.2.4 La Napa San Antonio

Después de haber sido el elemento más alto del edificio del Triásico Inferior, la Napa San Antonio es la más alta del edificio Oregoniano. Se encuentra cabalgando la Napa Los Chinos o ya sea directamente a la Napa Soyopa. Esto se observa en la parte más alta del cerro donde se encuentra la mineralización de Gallo de Oro, y a lo largo del arroyo Noche Buena cerca de las obras mineras del mismo nombre; así como al Este de Rebeico en las obras mineras de Montaña de Oro hasta el Cerro Sicorachi, en el Bloque Rebeico-Soyopa (Fig. 3).

La mayoría de los afloramientos de la Napa San Antonio se encuentran en el bloque Soyopa-San Antonio (Fig. 4).

La Napa San Antonio consiste de tres partes:

(1) Parte Inferior: cuarcitas de estratificación fina, muy plegadas y esquistosas, con una tonalidad rojiza, que hemos llamado informalmente cuarcitas soporoba; esta unidad ha sido agregada a la Napa San Antonio gracias a las observaciones realizadas durante el desarrollo del presente trabajo, como se discutirá más adelante.

(2) Parte Media: una alternancia de cuarcitas, calizas y lutitas. Estas facies están fuertemente plegadas, pero a diferencia de las de la Napa Soyopa no presentan una esquistosidad regionalizada, permitiendo separar estas dos napa una de la otra, a pesar de su litología similar.

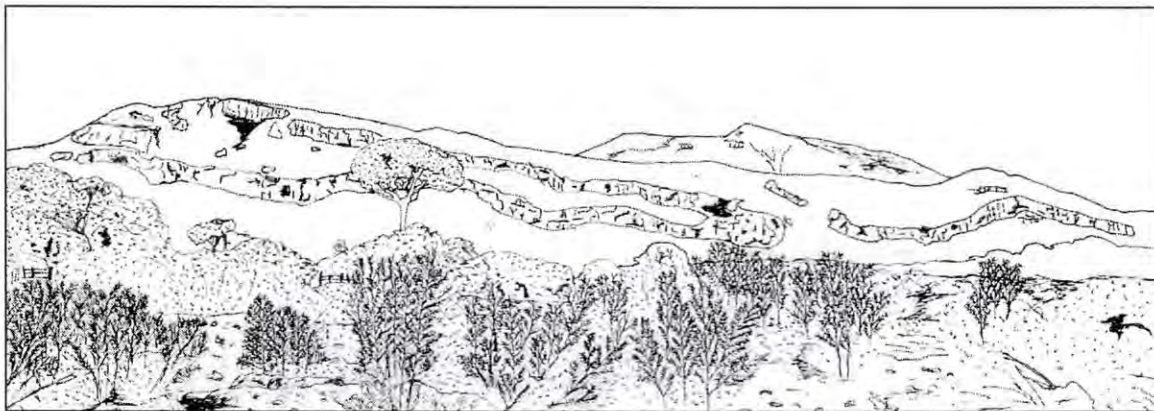


Figura 9.- Estilo tectónico de la Napa San Antonio; pliegue isoclinal acostado puesto en evidencia por una capa de cuarcita (viendo al Norte). Localidad Zaporichi N=3183924 E=630328 (valle de Soyopa). El panorama tiene aproximadamente 230 m de largo.

(3) Parte Superior: una unidad de Ortocuarzitas de un espesor que oscila entre los 15 y 20 m.

Como ya se mencionó, la parte inferior de esta napa aflora en las cercanías del poblado de Soyopa y en el área del Cerro Tecolote (Figs. 3 y 4); sus miembros medio y superior en la parte centro-sur del Bloque Soyopa-San Antonio (Fig. 4).

Las ortocuarcitas de la parte superior aparecen como estratos conspicuos coronando la mayoría de los cerros de este bloque, dando lugar a una morfología muy escarpada, típica.

Las alternancias de la parte media de la Napa San Antonio contienen lutitas ocasionalmente fosilíferas conteniendo graptolitos, que permiten asignar a esta secuencia una edad del Ordovícico.

La Napa San Antonio corresponde a rocas que van del Ordovícico Medio al Ordovícico Tardío, indicado por fósiles como:

- Rancho La Escondida (NW de San Javier): *Dicellograptus* cf. *D. ornatos minor* Toghil, *Climacograptus* cf. *C. hastatus* Hall, *Climacograptus* cf. *C. longispinus* hvalross Ross et Berry, *Glyptograptus?* sp., *Amplexograptus?* sp.
- Cerro El Capulín (Arroyo El Carrizo): *Dicellograptus* sp., n. sp?

Pero es importante mencionar que unos conodontos del Carbonífero han sido descubiertos en la misma área, localidad del Rancho La Escondida (Stewart, com. pers.). Este descubrimiento pone obviamente una nueva pregunta en el origen de la unidad de San Antonio (a menos que tales conodontos pertenezcan a la unidad siguiente de la Napa Los Chinos).

Como menciona Navarro (2003), se interpretó la secuencia cuarcítica que se encuentra en las cercanías del poblado de Soyopa en ambos lados del Río Yaqui, y que había sido interpretada como parte de la Napa Soyopa por Radelli et al. (1987), como parte del autóctono americano. Se trata de una unidad conformada por rocas finamente estratificadas, intensamente plegadas y con una muy fuerte esquistosidad, que presenta varias tonalidades de rojo, la cual, además, contiene una mineralización de oro.

Se pueden hacer las consideraciones siguientes.

En el área de la Mina del Tepehuaje (Cerro Tepehuaje), a poca distancia hacia el ENE, en el área de la Mina San Cristóbal (Bloque Rebeico – Soyopa) y en el área de las Minas Hidalgo, Guadalupe y Santo Niño (Bloque Soyopa – San Antonio) en las ventanas tectónicas que permiten ver el substrato de la Napa Soyopa, se encuentra directamente, debajo de dicha napa, la Plataforma Paleozoica, sin el intermediario de las cuarcitas en cuestión. Se puede excluir entonces que las cuarcitas Soporoba pertenezcan a la Napa Soyopa como indicado por Radelli et al. (1987).

Por otro lado, en ninguna parte las cuarcitas Soporoba se encuentran a la base de la Napa Soyopa, napa más baja de los edificios del Triásico Inferior y Oregoniano.

Así, la única alternativa que queda en el contexto geológico-estructural del área es de asignar las Cuarcitas Soporoba a la Napa San Antonio, como la parte inferior de la misma.

Hacia la parte sur del Bloque Soyopa-San Antonio, la Napa San Antonio desaparece en discordancia por debajo del Grupo Barranca del Triásico Superior. Los conglomerados de la Formación Arrayanes del Grupo Barranca, están constituidos por clastos de ortocuarcita de la parte superior de la Napa San Antonio; por lo cual es evidente que esta napa después de ser emplazada durante el Triásico Temprano fue sometida a una fuerte fase distensiva durante el Triásico Tardío, la cual provocó la apertura de la Cuenca Barranca.

3.2 (b) LA COBERTURA DEL TRIÁSICO SUPERIOR:

3.2.1 El Grupo Barranca

El Grupo Barranca es una secuencia edad Triásico Superior (Alencaster, 1961), discordante sobre la Napa San Antonio. El Grupo Barranca está constituido por tres formaciones, de abajo hacia arriba: Formación Arrayanes, Formación Santa Clara y Formación Coyote.

La *Formación Arrayanes* consiste de alternancias de conglomerados, areniscas de cuarzo y lutitas. Los clastos de sus conglomerados están constituidos por las cuarcitas de la parte superior de la Napa San Antonio y no existen cuando esta parte de la napa no ocurre.

La *Formación Santa Clara* consiste de lutitas carbonosas fosilíferas (fósiles vegetales) que se intercalan con areniscas de cuarzo, mantos de carbón (que se vuelve grafito por metamorfismo de contacto con cuerpos ígneos laramídicos) y alguna capas de calizas marina fosilíferas.

La *Formación Coyote* (que no aparece en el área representada en el mapa de la Figura 4) consiste de conglomerados intercalados con horizontes de areniscas y pequeñas capas de lutitas.

Con su presencia este Grupo indica que a la compresión del Triásico Inferior que dio lugar al apilamiento de las Napas Soyopa, Los Chinos y San Antonio sobre la Plataforma Paleozoica siguió en el Triásico Tardío una fase distensiva que abrió, justamente, la cuenca Barranca.

Es significativo también que las formaciones del Grupo Barranca presentan pliegues abiertos a cerrados pero no pliegues isoclinales. En el área objeto del presente estudio todo plegamiento isoclinal terminó durante el Triásico Temprano.

3.3 (c) LAS FORMACIONES IGNEAS.

Existen en el área de estudio rocas magmáticas tanto intrusivas (granitoides, brecha de colapso de la Luz del Cobre y diques) como efusivas.

3.3.1 Los cuerpos intrusivos

(i) Los cuerpos intrusivos más importantes del área son granitoides. Estos se encuentran en los dos bloques en los cuales se ha subdividido el área, pero son más abundantes en el Bloque Soyopa-San Antonio que en el Bloque

Rebeico-Soyopa. Entre estos cuerpos ígneos conviene mencionar el de la intrusión granítica del Cerro La Higuera.

(ii) En las cercanías del poblado de San Antonio de la Huerta, se encuentra la Mina Luz del Cobre, la cual corresponde a una brecha de colapso cuprífera. Esta brecha ha sido interpretada como un probable producto "superficial" de un pórfido cuprífero profundo (Clarck et al. 1981) (Fig. 4).

(iii) Pequeños cuerpos de rocas hipabisales de color gris y grano medio con fenocristales de anfíbol en pequeñas masas subcirculares de menos de un metro de diámetro cortan los afloramientos del Jurásico Americano y de la secuencia de la Napa San Antonio. En el Jurásico Americano con estos cuerpos intrusivos están relacionadas unas pequeñas mineralizaciones de molibdeno.

(iv) Diques de composición andesítica han sido encontrados en los trabajos mineros subterráneos del Tepehuaje (Napa Soyopa) y de la Montaña de Oro.

3.3.2 Los cuerpos efusivos de la Formación Tarahumara

Se trata de rocas riolíticas y andesíticas que son abundantes especialmente en el Bloque Soyopa-San Antonio, donde cubren las formaciones de la Napa San Antonio y las del Grupo Barranca. Estas rocas se indican comúnmente bajo el nombre de Formación Tarahumara.

Discusión

Es importante mencionar que: ninguna de las formaciones ígneas que acabamos de mencionar presenta deformación, por lo cual son posteriores al emplazamiento de las Napas.

Los cuerpos tratados en el punto (i) se atribuyen al Batolito Laramídico de Sonora de 67 ± 10 Ma (Damon et al., 1983).

La brecha de colapso de la Luz del Cobre, del punto (ii), tiene una edad radiométrica K/Ar de 57.4 ± 1.4 Ma (Damon et al., 1983),

La Formación Tarahumara está compuesta por rocas riolítico-andesíticas de edad 70 ± 1 Ma (Cretácico Superior-Paleoceno), como indicado por McDowell et al. (1994). Es decir por lo tanto una formación laramídica, contemporánea del Batolito de Sonora, del cual representa un equivalente efusivo.

Por no presentar deformación alguna, los cuerpos considerados en los puntos (iii) y (iv) son también claramente postectónicos. Entonces, pueden ser atribuidos ya sea al Laramídico o a un evento posterior. La experiencia indica (Radelli, 1998) que en Sonora las mineralizaciones de molibdeno son del Eoceno.

Es posible por lo tanto que también las mineralizaciones de molibdeno observadas en el Jurásico Americano y los cuerpos intrusivos (iii) con los cuales están en relación, sean de esta edad geológica. Las rocas filonianas del punto (iv) pueden ser ya sea laramídicas, eocenas o posteriores.

3.4 (d) LAS FORMACIONES DE COBERTURA TERCIARIA

El valle de Rebeico-Soyopa, así como el valle de La Estrella (El Novillo) – es decir los dos valles que enmarcan los relieves de Rebeico – Soyopa – San Antonio contienen importantes formaciones terciarias de relleno.

Se trata de las *Formaciones Belleza, Baucarit, detríticas con intercalaciones volcánicas, y la Formación Lista Blanca, consistente de rocas volcánicas.*

La *Formación Belleza* es una secuencia depositada en cuencas endorreicas lacustres (Calles, 1999). El nombre ha sido creado informalmente por Vega (1996). La mineralización ha sido estudiada sucesivamente por Calles

(1999) y Vega y Calmus (2003). Consiste de conglomerados y areniscas en capas relativamente delgadas y de color claro, con intercalaciones volcánicas. Estas intercalaciones tienen una edad radiométrica de 21 – 23 Ma. Un equivalente de la Formación Belleza, la Formación Magdalena del área de Magdalena está afectada por diques riolíticos con una edad radiométrica de ± 20 Ma. Ha sido posible, entonces, asignar a la Formación Belleza, una edad Oligoceno Superior -Mioceno inferior, $\pm 24-20$ Ma (Calles, 1999). Esta formación está fuertemente basculada y en varias partes plegada.

La *Formación Baucarit* es una formación fluvial a fluvio-lacustre. Consiste de conglomerados y areniscas en capas generalmente espesas. Se encuentra en discordancia sobre la Formación Belleza. Por otro lado, en el área de Tepoca, la Formación Báucarit está cubierta por andesitas basálticas de edad radiométrica K/Ar de 17 Ma (Cochemé, 1985). Su edad por lo tanto se considera como Mioceno Inferior (20 a 17 Ma). Esta formación se encuentra a menudo basculada, pero nunca plegada.

La *Formación Lista Blanca* es una secuencia de riolitas, para la cual Bartolini et al. (1991) reportaron una edad radiométrica de 12 a 10 Ma. De esta formación, discordante sobre las otras formaciones terciarias, ocurren en el área unos afloramientos sub-horizontales en el Valle Rebeico – Soyopa.

4.0 LA DEFORMACION DE LAS DIFERENTES UNIDADES

Debido a que este tema tiene una importancia considerable para la interpretación de las mineralizaciones estudiadas, en este apartado se indican las características estructurales de las diferentes unidades descritas en las páginas anteriores. Las formaciones estratificadas se tratan en su orden de sobreposición. Las rocas ígneas siguiendo un criterio cronológico.

4.1 EL AUTÓCTONO AMERICANO

En base a observaciones de campo, esta unidad que se considera del Jurásico y presenta solamente una intensa fracturación.

4.2 LA PLATAFORMA PALEOZOICA

La plataforma calcáreo-arenácea paleozoica, emplazada como una napa durante el Oregoniano, está caracterizada por pliegues abiertos a cerrados, guardando sin embargo en su conjunto una estructura sencilla, esencialmente rígida. Esta estructura es congruente con la de otras napas emplazadas, también en el Oregoniano, en otras partes del Oeste de los EEUU.

Un excelente ejemplo de ellas es el del alóctono de Golconda en Nevada. La base de estas napas es siempre una gran cizalla plana; y así debe interpretarse la de la plataforma paleozoica de Sonora considerada en este párrafo.

4.3 LA NAPA SOYOPA

La mayoría de las facies de esta napa se encuentran afectadas por una intensa esquistosidad de flujo. Salvo en las charnelas de los pliegues esta esquistosidad es sensiblemente paralela a la estratificación, de tal manera que muchas veces resulta difícil diferenciar estratificación de esquistosidad.

Solamente en las rocas de la parte superior de la napa, más competentes, la esquistosidad se refractó, disponiéndose casi verticalmente, volviéndose una simple esquistosidad de fractura.

Sucesivamente, esta primera esquistosidad, indicada aquí arriba, ha sido plegada, dando como resultado una estructura en cartera de huevos.

4.4 LA NAPA LOS CHINOS

Las facies de esta napa están afectadas por grandes pliegues isoclinales, frecuentemente tumbados. La vergencia de la mayoría de estos pliegues es hacia el NW, pero ocurren también estructuras de vergencia opuesta, que indican que también esta napa ha sido afectada por dos fases de deformación.

4.5 LA NAPA SAN ANTONIO

De las tres partes en las cuales hemos subdividido la Napa San Antonio, solamente la inferior, denominada informalmente Cuarcitas Soporoba (que en nuestra área de estudio aparece exclusivamente en las inmediaciones del poblado de Soyopa) presenta grandes pliegues isoclinales y una esquistosidad de flujo bien desarrollada.

La parte media (cuarcitas, calizas y lutitas) y la parte superior (ortocuarcita) de esta napa presenta pliegues cerrados a isoclinales pero no una esquistosidad generalizada. Cuando la parte media de la Napa San Antonio está directamente en contacto con la Napa Soyopa es esta diferencia estructural entre las dos napas que permite separar la una de la otra, a pesar de la similitud de su contenido estratigráfico.

4.6 EL GRUPO BARRANCA (TRIÁSICO SUPERIOR)

Como ya se apuntó, este Grupo es discordante sobre las napas tratadas en los párrafos anteriores, en particular sobre la Napa San Antonio, de la cual además ocurren clastos en su Formación Arrayanes.

De las tres formaciones – Arrayanes, Santa Clara y Coyotes – de este Grupo, la primera y la última presentan pliegues abiertos. En cambio, cuando contiene carbón y/o grafito, y debido a la plasticidad de estas rocas, la Formación Santa Clara puede presentar pliegues cerrados.

4.7 LAS ROCAS ÍGNEAS LARAMÍDICAS INTRUSIVAS Y EFUSIVAS

(Batolito de Sonora y Formación Tarahumara)

Ninguna de estas rocas presenta una deformación penetrativa. Están afectadas solamente por las fallas que abrieron las cuencas terciarias.

4.8 LAS FORMACIONES BELLEZA Y BÁUCARIT (OLIGOCENO SUPERIOR – MIOCENO INFERIOR)

Estas formaciones se citan aquí solamente por memoria, puesto que no presentan interés alguno para las mineralizaciones objeto de este trabajo, ni para su interpretación.

Ambas formaciones son discordantes sobre las formaciones más antiguas.

Entre la Formación Belleza ($\pm 25 - 20$ Ma) y la Formación Báucarit ($\pm 20 - 17$ Ma) existe una clara discordancia angular (Calles, 1999). Generalmente esta discordancia se debe a un basculamiento de la Formación Belleza, pero en algunas partes esta formación presenta un plegamiento, debido probablemente a sistemas de Riedel transpresivos (Valenzuela, 2003).

5.0 LAS MINERALIZACIONES

Como ya fue documentado, Navarro Herrera (2003), estas mineralizaciones se conocen gracias a trabajos mineros ("minas") realizados única y exclusivamente a partir de afloramientos mineralizados. Existen obras mineras que se realizaron en la época de la Colonia, cuando existía el Real Viejo (antiguo pueblo de Soyopa) como los trabajos mineros de La Prieta (Fig. 4); otros fueron hechos en la época pre-revolucionaria, y de estos últimos algunos se han seguido trabajando discontinuamente hasta nuestros días.

Estos trabajos se efectuaron únicamente a partir de afloramientos donde se observaba la mineralización y siguiendo la misma mientras era visible, pero sin tener ideas sobre su comportamiento geométrico (pliegues, fallas, y otras estructuras ligadas a la deformación incluyendo la esquistosidad). Como consecuencia de esta situación dos o más obras mineras han sido efectuadas sobre partes dislocadas por la tectónica de un mismo cuerpo como si se tratara de dos cuerpos independientes y no de posibles extensiones de un solo cuerpo. Esto ha sido probablemente el caso de las minas San Cristóbal, Noche Buena y Mina del Río (Fig. 3) o el de las minas Guadalupe y Santo Niño (Fig. 4).

Por otro lado, antes de los trabajos de (Navarro Herrera, 2003; Navarro-Herrera y Radelli, 2004; y el presente trabajo) la génesis de estas mineralizaciones realmente no había sido estudiada. Sin embargo y sin discusión alguna, han sido consideradas por la comunidad geológica sonoreense como laramídicas y relacionadas con la brecha de colapso de La Luz del Cobre, y en un estudio presentado por Magma Chem Exploratin Inc. (1999) como mineralizaciones de tipo Carlin.

En base al estudio de Navarro Herrera (2003) y del presente estudio se considera la posibilidad de un control estratigráfico de las mineralizaciones y se

estudian sus relaciones con las deformaciones de las Napas que las contienen. El fin de esta investigación es de determinar si se trata de mineralizaciones epigenéticas posteriores al emplazamiento de las Napas, o ya existentes en los cuerpos ahora alóctonos, y emplazadas junto con ellos.

Los cuerpos mineralizados considerados en este estudio se encuentran distribuidos en las Napas San Antonio y Soyopa como sigue:

5.1 MINERALIZACIONES DE LA NAPA SAN ANTONIO

- 1) Mineralizaciones auríferas sin nombre de la cuarcita soporoba
- 2) Montaña de Oro, Au (Bloque Rebeico – Soyopa, Fig. 1, Fig. 3)
- 3) Gallo de Oro, Au (Bloque Rebeico – Soyopa, Fig. 1, Fig. 3)

5.2 MINERALIZACIONES DE LA NAPA SOYOPA.

Estas mineralizaciones aparecen en dos sierritas separadas en parte por el valle Rebeico – Soyopa. A continuación serán discutidas entonces en dos bloques: Bloque Rebeico – Soyopa y Bloque Soyopa – San Antonio.

Bloque Rebeico – Soyopa (Fig. 1 Fig. 3)

- 1) San Cristóbal, Ag, (Au)
- 2) Noche Buena, Ag, (Au)
- 3) San Miguel o Mina del Río, Ag, (Au)
- 4) Tepehuaje, Au, (Ag)

Bloque Soyopa – San Antonio (Fig. 1, Fig. 4)

- 5) La Prietita Ag, (Au)
- 6) La Prieta, Ag, (Au)
- 7) Hidalgo, Ag, (Au)
- 8) Guadalupe, Au, (Ag)

5.3 MINERALIZACIONES DE LA NAPA SAN ANTONIO

5.3.1 (1) Montaña de Oro

Esta mineralización, aurífera como indica su nombre, se ubica aproximadamente a 8 km al Este del poblado de Rebeico

La mineralización se presenta como un cuerpo tabular concordante con las capas de las alternancia de calizas, cuarcitas y lutitas de la parte media de la Napa San Antonio y se encuentra plegada junto con su roca encajonante (Figs. 10 y 11). Su piso está afectado por una serie de fallas paralelas, ligeramente discordantes con la estratificación y la mineralización.

De hecho el cuerpo mineralizado se encuentra entre una cuarcita al techo y una caliza gris (no mineralizada) al piso.

La mineralización corresponde a una caliza con masas cuarzosas estratificadas, ambas facies conteniendo minerales ferrosos alterados que le confieren una coloración variada amarillo-ocre-rojizo. Es posible observar macroscópicamente restos de pirita y calcopirita, minerales con los cuales según la experiencia de los gambusinos se encuentra asociado el oro.



Figura 10.- Cuerpo mineralizado en la bocamina del nivel inferior. Nótese la concordancia de este cuerpo con las rocas encajonantes. Dibujo sobre foto. Mina Montaña de Oro.

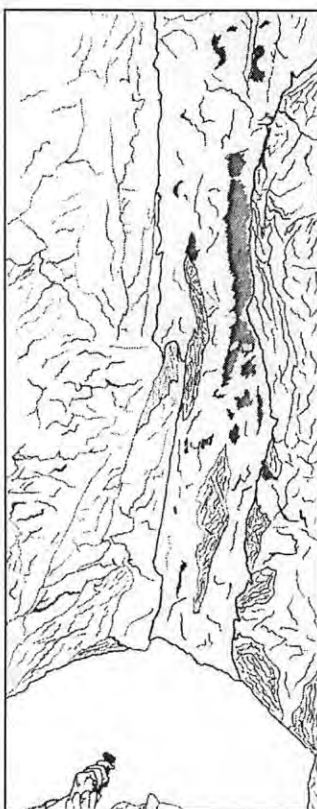


Figura 11.- Nivel inferior de la Montaña de Oro. Nótese el cambio de echado del cuerpo mineralizado con respecto a como se observa en la (fig. 9). Nótese la concordancia del cuerpo mineralizado con las rocas encajonantes. El dibujo muestra como el cuerpo mineralizado se desarrolló hacia la obra del nivel superior. Dibujo sobre foto.

El cuerpo mineralizado tiene 1m de ancho y pudo ser seguido en una de las obras por 51 m. Tiene un rumbo NE-SW durante los primeros 21m, y cambia paulatinamente a un rumbo E-W, lo cual da una idea del plegamiento al que fue sometido.

Las rocas encajonantes (alternancias de calizas, cuarcitas y lutitas) se encuentran afectadas por pliegues isoclinales con ejes de rumbo NE-SW, y planos axiales de echado al NW y por una esquistosidad también de echado al NW.

La esquistosidad S_1 es ligeramente más vertical que el cuerpo mineralizado, que en nuestra interpretación corresponde a una estratificación S_0 . Por lo tanto, la estructura observada aparece como la del flanco normal de un pliegue. Esta actitud se debe a una rotación posterior al emplazamiento de la napa, cuya vergencia primitiva era hacia el NE. Hay que apuntar sin embargo que la esquistosidad que afecta esta secuencia es débil en comparación con la que afecta la secuencia de la Napa Soyopa.

No existen trabajos mineros por debajo del plano de cabalgamiento de la Napa San Antonio. Este hecho sugiere que también el cuerpo mineralizado ha sido cortado por el plano de cabalgamiento de dicha napa.

Según la tradición oral, el cuerpo presenta leyes de Au de hasta más de 100gr/Ton, tratándose probablemente de la ley del mineral seleccionado (pepenado).

5.3.2 (2) Gallo de Oro

Esta mineralización, aurífera como lo indica su nombre, se encuentra en las cercanías del poblado de Soyopa, aproximadamente a 6km hacia el NW, en la ribera derecha del Río Yaqui, a 380 m por encima de él.

Al igual que muchas otras de esta área, esta mineralización ha sido explotada en el pasado por gambusinos de la región. Actualmente se encuentra, como las otras, abandonada y prácticamente derrumbada, lo que hace difícil su estudio y comprensión

Se pudo visitar una obra de aproximadamente 65 m con un rumbo NE45°SW, que a los 44 m se bifurca al NW. El cuerpo presenta en general una actitud entre sub-vertical y un fuerte buzamiento al NW.

La del Gallo de Oro, al igual que la mineralización de la Montaña de Oro, se encuentra encajonada en la secuencia de la parte media de la Napa San Antonio, arriba de su plano de cabalgamiento sobre la Napa Soyopa.

El cuerpo mineralizado es de forma tabular y tiene un espesor aproximado de 2 m. Consiste, como el de la Montaña de Oro, de una caliza con masas cuarzosas estratificadas e intercalaciones de bandas ferrosas, que tiene una caliza gris al piso y una cuarcita al techo. Como en el caso anterior, ambas facies contienen minerales ferrosos alterados que le confieren una coloración entre amarillo, ocre y rojizo.

Los minerales ferrosos primitivos son por lo menos en parte, pirita y poca calcopirita.

Según información recogida oralmente en el lugar, el oro explotado en esta obra minera se encontraba en las bandas ferrosas. Una característica peculiar de este cuerpo mineralizado, es que está dislocado por una serie de fallas de echado al SE entre 40° y 45°.

A primera impresión esta mineralización parece ser igual a la de la Montaña de Oro. Sin embargo existe entre las dos una diferencia importante: en la Montaña de Oro el oro es ligado, mientras que en el Gallo de Oro el oro se presenta libre. Esto es sugerido por el hecho de que en esta última mina el mineral era concentrado (o preconcentrado) con la "maquina de viento

mexicana”, mientras que en la Montaña de Oro el mineral era fundido, cianurado o amalgamado.

5.3.3 (3) Mineralizaciones auríferas sin nombre de la Cuarcita Soporoba

Una mineralización aurífera de tipo diferente ocurre en la Cuarcita Soporoba, secuencia cuarcítica de la parte inferior de la Napa San Antonio, en las cercanías de Soyopa (y posiblemente más al norte, a la latitud de Rebeico, al pié occidental de los relieves de la Montaña de Oro).

Esta mineralización no se presenta, como las de las mineralizaciones del Gallo de Oro y de la Montaña de Oro, en forma tabular o estratiforme, concordante con las capas de cuarcita. Es, al contrario, claramente discordante con las cuarcitas que la encajonan, mismas que corta en numerosas vetas y vetillas de forma irregular, que rellenan fracturas, posiblemente afectadas por una deformación posterior a su emplazamiento. En estas estructuras el oro (libre ?) se encuentra asociado a impregnaciones de minerales de fierro generalmente oxidados que les imprimen una coloración rojiza típica.

Lo que se puede observar de sus relaciones geométricas con las cuarcitas encajonantes sugieren claramente, sin embargo, que se trata de una mineralización epigenética.

No se conocen obras mineras de alguna importancia efectuadas sobre esta mineralización.

5.4 MINERALIZACIONES DE LA NAPA SOYOPA

5.4.1 (a) Bloque Rebeico - Soyopa

5.4.1.1 (1) San Cristóbal

Esta mineralización se encuentra a unos 5 km al Noroeste de Soyopa, en la ribera derecha (oeste) del Río Yaqui, a 160 m más abajo de la mineralización de Gallo de Oro. Está hospedada en la Napa Soyopa, la cual se encuentra

descansando directamente sobre la Plataforma Paleozoica, como se puede observar gracias a una de las ventanas tectónicas ya mencionadas.

La mineralización de San Cristóbal también fue explotada, en el pasado, exclusivamente por gambusinos de la región, que por selección ("pepenado") obtenían un producto con alta ley de plata, mismo que enviaban a una fundición. Actualmente se encuentra derrumbada en su mayoría y algunos de sus túneles están inundados, lo que dificulta y a veces hace imposible su observación.

Fue posible estudiar los trabajos accesibles de tres niveles (Fig. 12), el primero e inferior a unos 220 m de altura sobre el nivel del Río Yaqui, el segundo a unos 15 m y el tercero a unos 30 m más arriba del primero. Estos túneles siguen el rumbo del cuerpo mineralizado.

La parte accesible de las obras del primer nivel consisten de un túnel principal de 100 m de largo y de un contrapozo que lo conecta con las obras del segundo nivel. La parte accesible del segundo nivel es un túnel de entre 10 y 15 y la del tercer nivel un túnel de aproximadamente 30 metros de largo.

La disposición relativa de estos tres niveles de explotación indica que la mineralización tiene un rumbo general NW-SE y echado hacia el NE; pero en el detalle se observa que el rumbo y echado varían de un punto a otro, al igual que aquellos de su roca encajonante.

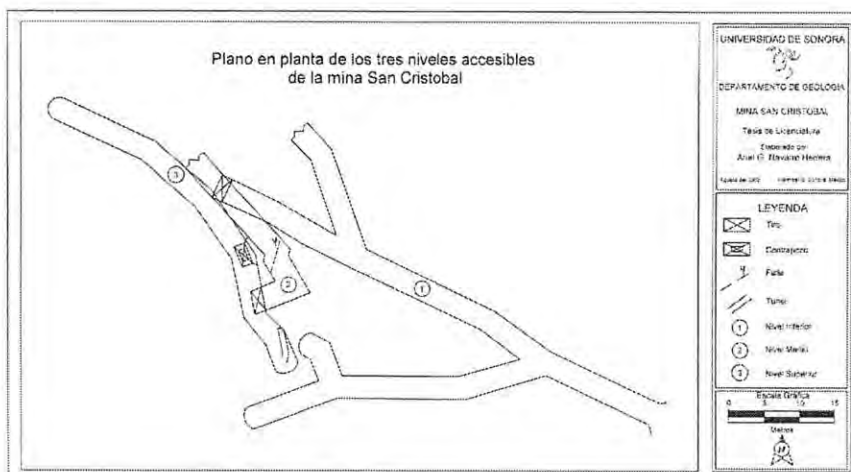


Fig.12.- Plano en planta de los 3 niveles accesibles de la mina San Cristóbal.

El cuerpo mineralizado corresponde a un intervalo negro de la secuencia de calizas con intercalaciones de lutitas de la parte inferior de la Napa Soyopa. Como todas las capas de la secuencia considerada también el intervalo mineralizado ha sido afectado por un plegamiento intenso de tipo isoclinal y una esquistosidad particularmente manifiesta en las lutitas intercaladas en las calizas. El cuerpo mineralizado contiene microvetillas de calcita en los planos de dicha esquistosidad y masas de calcita zebra así como de cuarzo lechoso. Contiene además escasa pirita, calcopirita, galena y carbonatos de cobre.

La mineralización primaria consistió de pirita, calcopirita, galena, tetrahedrita, freibergita, y posiblemente polibasita (?), siempre acompañada por cuarzo y calcita.

En partes, la pirita y la calcopirita se encuentran muy oxidadas, debido a circulación de aguas superficiales que transformaron estos minerales dando lugar a hematita, goetita, carbonatos de cobre, y probablemente carbonatos de plomo con plata.

Esta alteración da a la mineralización y a las rocas que la engloban colores negros, así como tonos amarillos, lo que permite su reconocimiento. El cuerpo mineralizado llega a tener un espesor de hasta 3 m, debido a engrosamientos producidos por la deformación, como se dirá más adelante.

Los gambusinos aprovechaban esencialmente la parte central de este cuerpo, siendo la de más altos valores, de la cual, según comunicación oral, obtenían un producto comercial con 6% de Cu, 15 kg de Ag y 2gr de Au/Ton.

El límite entre este cuerpo mineralizado y su encajonante no es neto. Se observa en realidad que la mineralización aumenta progresivamente desde la periferia hacia la parte central del cuerpo mineralizado.

Como ya se dijo, la mineralización es concordante con la estratificación de las calizas (Figs. 13 y 14). Junto con las calizas en las cuales se encuentra,

el cuerpo mineralizado ha sido afectado además por una esquistosidad paralela o sub-paralela a los planos de estratificación,



Figura 13.- Estructura de la mineralización en el techo del nivel superior de las obras accesibles (Figura 11). Nótese la concordancia del cuerpo mineralizado con las rocas encajonantes. Cuerpo mineralizado y rocas encajonantes están afectados por una misma esquistosidad $S1 \parallel S0$. Dibujo sobre foto de una superficie de aproximadamente 3.75 m x 2.75 m. Mina San Cristóbal.



Figura 14.- Nivel inferior de las obras accesibles (Figura 12). Se observa un pilar en el cual aparece el cuerpo mineralizado y su encajonante mostrando un pliegue isoclinal. Nótese la concordancia del cuerpo mineralizado con su encajonante. Dibujo sobre foto. Mina San Cristóbal.

Sin embargo, debido a su diferente competencia la mineralización ha sido deformada de una manera diferente a la de las calizas que lo contienen. Esto dio origen en particular a estructuras de tipo "pinch and swell" (Fig. 15), y en ocasiones a verdaderos budines (Fig. 16).

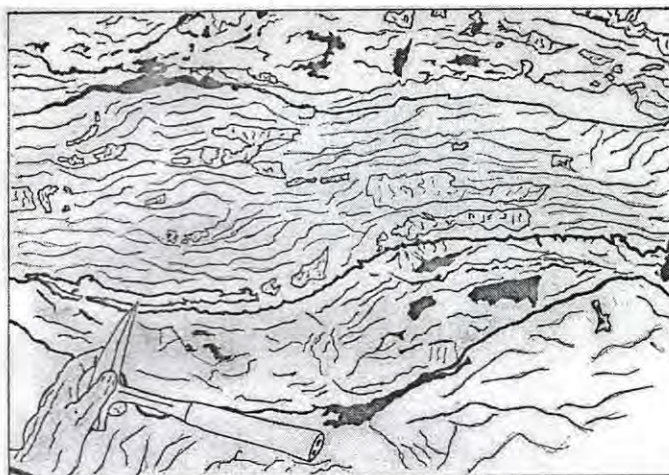


Figura 15.- Nivel intermedio de las obras accesibles (Figura 12). Estructura en <<pinch and swell >> de una parte cuarzosa del cuerpo mineralizado. Dibujo sobre foto. Mina San Cristóbal.

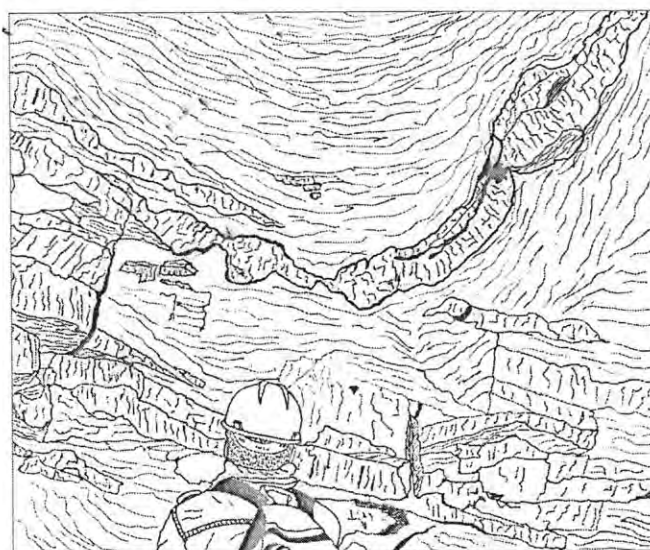


Figura 16.- Nivel inferior de las obras accesibles (Figura 12). Estructura del cuerpo mineralizado. Nótese (a) los budines y (b) el plegamiento que afectó el nivel con los budines. Dibujo sobre foto. Mina San Cristóbal.

Estas estructuras de "pinch and swell" y budines, han sido a su vez plegadas, hecho que se puede observar en las masas cuarzosas de la mineralización. Debido a esta sucesión de eventos estructurales, su actitud NW-SE, de echado al NE cambia en el detalle, pudiendo disponerse sub-horizontal y/o mostrando pequeños pliegues métricos.

El cuerpo mineralizado tiene su espesor máximo en las charnelas de los pliegues. Esto se debe a que por el intenso plegamiento isoclinal, en las charnelas los dos flancos del pliegue se juntan, dando a la mineralización un espesor "doble". Estas estructuras son conocidas por los gambusinos de la región como "bolsas", siendo esta la parte mineralizada más rica del cuerpo. Uno de estos pliegues métricos está expuesto en la bocamina del nivel inferior de a Mina San Cristóbal.

Cabe mencionar que al igual que todos los pliegues que afectan a la Napa Soyopa, también los que afectan la mineralización y su encajonante inmediato han sido rotados por la falla lístrica llamada en este trabajo Falla Noche Buena, por correr a lo largo del arroyo del mismo nombre (Fig. 3).

5.4.1.2 (2) Noche Buena

La antigua Mina Noche Buena se ubica aproximadamente a 5 km de las obras mineras de San Cristóbal, encontrándose también en la ribera oeste del Río Yaqui, casi al nivel de este, cerca de su unión con el Arroyo Noche Buena (fig. 3).

El camino de terracería por el cual se llega a esta obra minera se encuentra casi en su totalidad destruido. Además la localización de las obras de la Mina Noche Buena en el mapa INEGI (Carta topográfica Bacanora H12D55) es errónea: la obra está casi a 1.5 km más al SW del punto en el cual se indica

en esta carta. También se puede llegar a ella por una vereda que baja desde los trabajos de la Mina San Cristóbal y sigue hacia el Norte por toda la ribera oeste del Río Yaqui.

Al igual que el de San Cristóbal, el cuerpo mineralizado de Noche Buena corresponde a una caliza negra con lutitas intercaladas de la parte inferior de la Napa Soyopa. Este cuerpo mineralizado se encuentra muy impregnado de óxidos, presentándose como una masa de café oscuro a negro. Contiene abundantes vetillas de calcita y se pueden apreciar en él escasos cristales de pirita y sulfuros de plata como freibergita y sulfuros de cobre como calcopirita y tetraedrita, a la cual se asocia la plata.

El cuerpo mineralizado tiene un rumbo $NE50^{\circ}SW$ y echado de 35° al SE, siendo concordante con las capas que lo encajonan. Este cuerpo fue explotado en el pasado por plata. Según la tradición oral la explotación se hacía en 7 niveles. Pero de estos trabajos antiguos solo son accesibles unos 20 m de un túnel, probablemente del nivel superior, lo que no permite definir sus caracteres morfológicos (fig. 17). La riqueza en plata de esta mineralización está indirectamente confirmada por la explotación de sus terreros, ocurrida durante el auge argentífero de los años 80.



Figura 17.- Aspecto y actitud del cuerpo mineralizado como se aprecia en un pilar. Dibujo sobre foto. Mina Noche Buena.

5.4.1.3. (3) Tepehuaje

La mineralización del Tepehuaje se encuentra ubicada a unos 4 km al Noreste del poblado de Soyopa. Para poder llegar a esta mineralización, es necesario cruzar el Río Yaqui. En el año 2004 se cruzaba este río por medio de un pango. Pero actualmente este pango está destruido y ese cruce puede ser efectuado ya sea por un vado cerca de Soyopa (cuando el nivel del agua está lo suficiente bajo) o bien por un camino que sale del poblado de Tonichi hacia el NNW, hasta llegar a Saporoba, y de ahí a las obras del Tepehuaje.

Esta mineralización ha sido explotada por oro en diferentes épocas, siendo la última en nuestros días, por gambusinos y/o muy pequeños mineros. Según la tradición oral, el mineral seleccionado y/o pepenado tenía leyes de hasta 100 gr/Ton.

El cuerpo mineralizado se hospeda en la Napa Soyopa inmediatamente arriba de su contacto con la Plataforma Paleozoica, es decir en la que se considera como la parte inferior de dicha Napa, constituida por una secuencia monótona de calizas gris claro y calizas arenosas en capas delgadas. Esta parte inferior calcáreo-arenácea de la Napa Soyopa no ocurre en la Mina de San Cristóbal, pero es posible que exista entre el nivel de dicha mina y el Río Yaqui.

Las rocas del Tepehuaje se encuentran afectadas por una esquistosidad la cual es paralela a la estratificación, tal y como ocurre en el área de San Cristóbal. Debido a una mayor competencia de las rocas del Tepehuaje, su esquistosidad es menos visible, haciendo posible reconocer mejor el plegamiento, el cual, al igual que en San Cristóbal, es un plegamiento isoclinal (Figs. 18 y 19), de plano axial echado al NE, actitud debida a una rotación pos-napa ligada a fallas lístricas con un echado al SW.

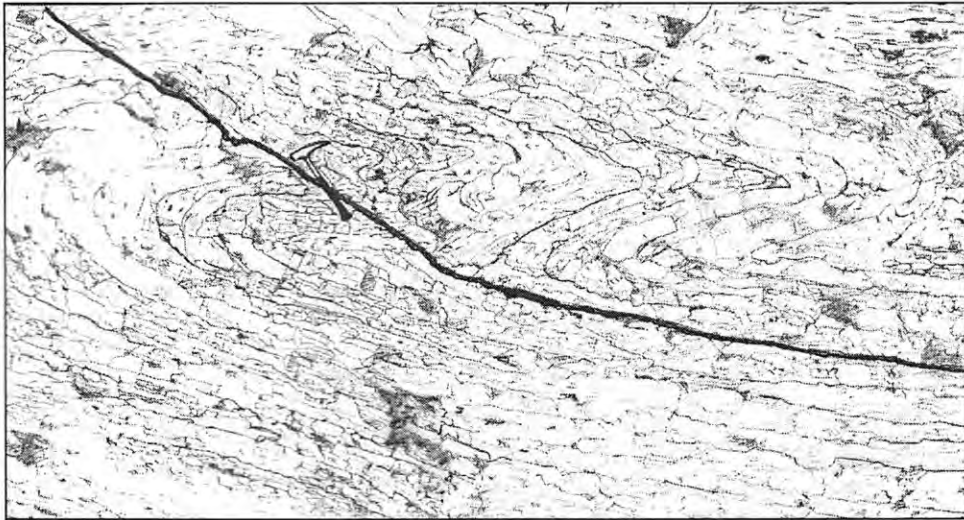


Figura 18.- Pliegues isoclinales fallados en calizas que hospedan la mineralización. Dibujo sobre foto. Mina Tepehuaje.

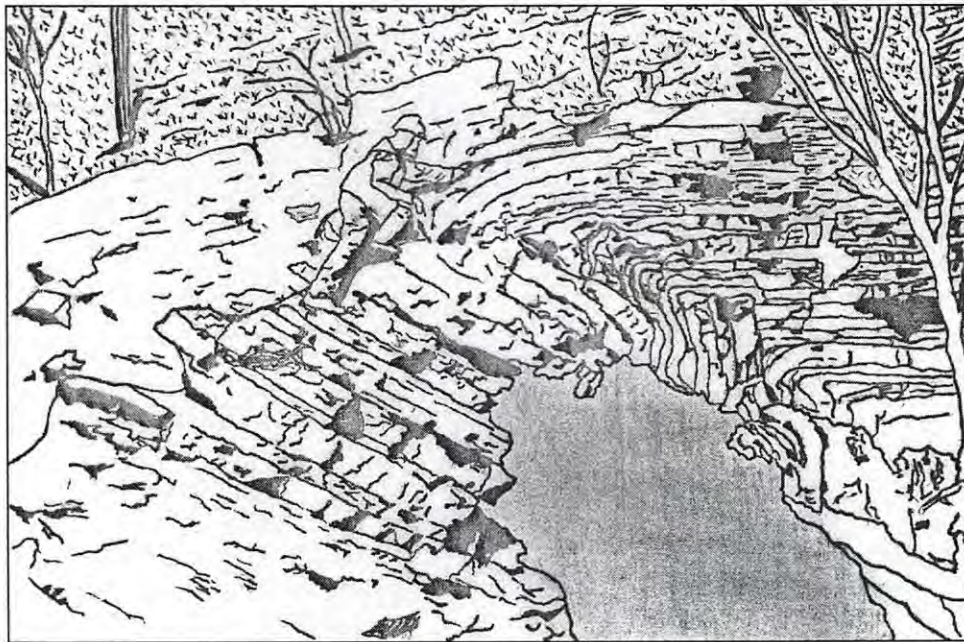


Figura 19.- Plegamiento isoclinal de calizas que hospedan la mineralización. Dibujo sobre foto. Mina Tepehuaje.

En el área del Tepehuaje se pueden reconocer todavía entre 20-25 socavones que se disponen a unos 10 m de distancia horizontal y a unos 3 a 5 m de distancia vertical uno del otro, como se muestra en la (Fig. 20).



Figura 20.- Se observan varias bocaminas a pequeña distancia la una de la otra. En nuestra interpretación esta disposición de las obras mineras se debe a que el cuerpo mineralizado está afectado por un pliegue isoclinal como se indica por la línea punteada. Dibujo sobre foto. Mina Tepehuaje.

El cuerpo mineralizado consta de una alternancia de calizas y calizas arenosas de color blanco-sucio, amarillo, café y rojiza, con masas irregulares de cuarzo lechoso y niveles ferruginosos que contienen carbonatos de cobre.

El cuerpo mineralizado corresponde a un cambio estratigráfico en la secuencia. Tanto al piso como al techo se encuentran capas de calizas de colores claros y de 10 a 20 cm de espesor. En cambio el cuerpo mineralizado

mismo está caracterizado por cuerpos irregulares de cuarzo lechoso y por colores oscuros. Esto se debe a lo siguiente:

- (a) el oro se encuentra en los niveles ferruginosos;
- (b) debido a circulación de aguas superficiales, estos niveles ferruginosos han sido muy oxidados, y esto confirió al cuerpo aurífero colores oscuros (naranja, café, rojizos), que permiten reconocerlo fácilmente.

Se puede estimar el espesor primitivo del cuerpo en unos 2 m. Sin embargo, debido al plegamiento, a la esquistosidad y otros fenómenos asociados como el budinaje, el espesor actual varía desde pocos cm hasta llegar a alcanzar los 4m (Figs. 21,22,23,24 y 25).

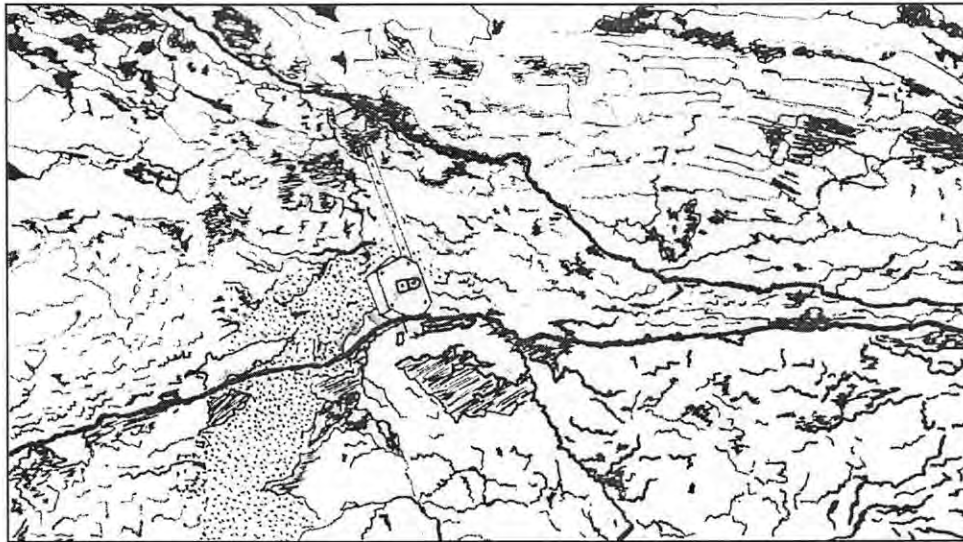


Figura 21.- Cambios de espesor del cuerpo mineralizado. En esta figura el cuerpo mineralizado está indicado por la posición de la cinta métrica. Mina Tepehuaje.

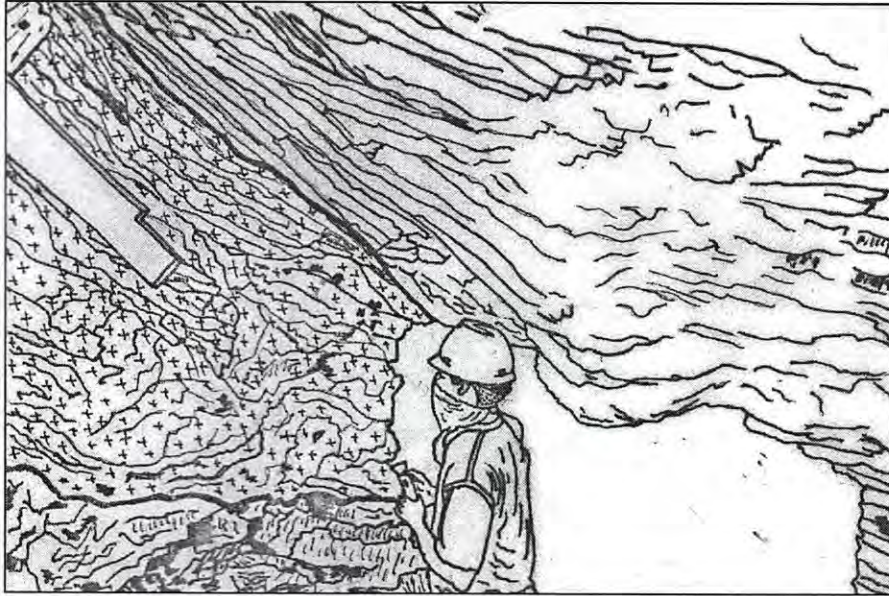


Figura 22.- El cuerpo mineralizado esta indicado por las cruces. Nótese la concordancia entre el cuerpo mineralizado y las rocas encajonantes. Dibujo sobre foto. Mina Tepehuaje.

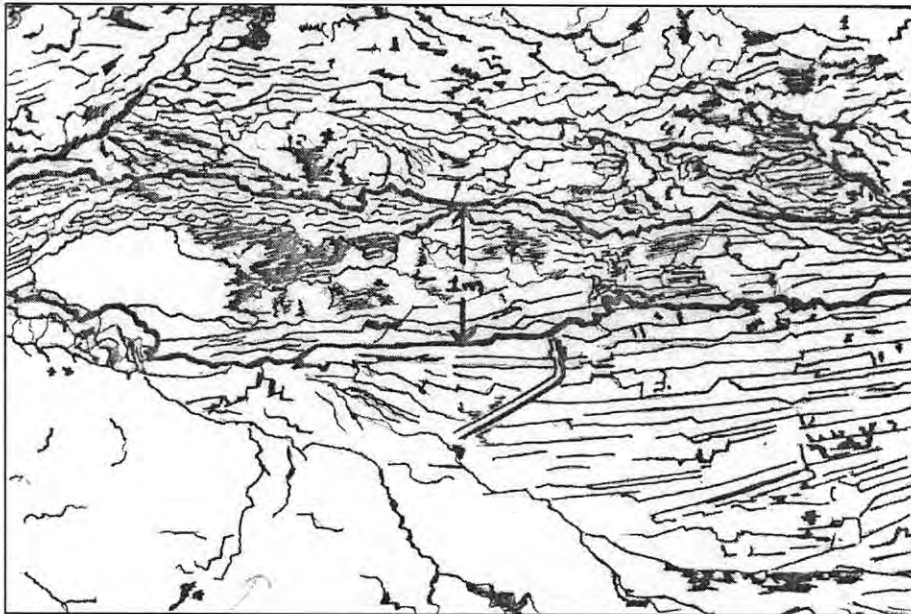


Figura 23.- Cambios en el espesor del cuerpo mineralización hasta 1m. Nótese la concordancia entre el cuerpo mineralizado y las rocas encajonantes. Dibujo sobre foto. Mina Tepehuaje.

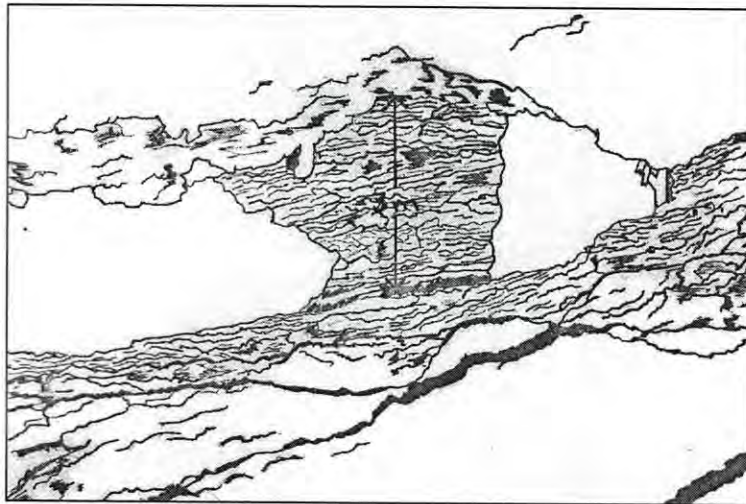
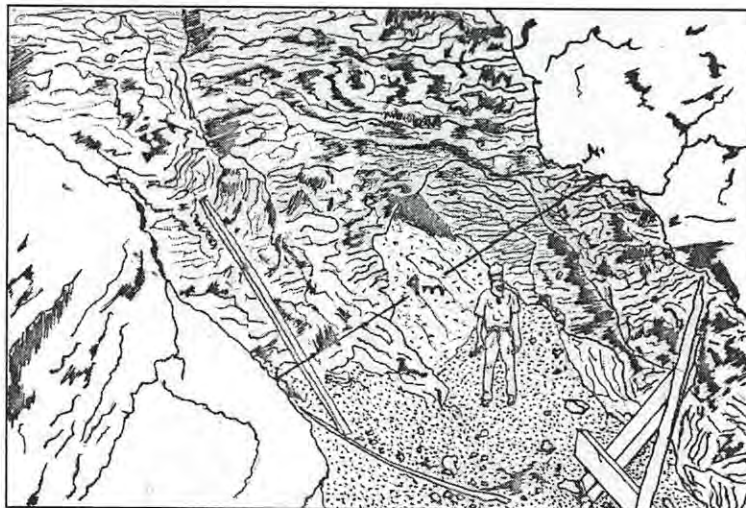


Figura 24.- Cambio de espesor del cuerpo mineralizado hasta 3 m. Nótese la concordancia del cuerpo mineralizado con las rocas encajonantes. Dibujo sobre foto. Mina Tepehuaje.



Figuras 25.- Cambio de espesor del cuerpo mineralizado hasta 4 m. Nótese la concordancia del cuerpo mineralizado con las rocas encajonantes. Dibujo sobre foto. Mina Tepehuaje.

Al igual que en San Cristóbal la mineralización aumenta en las charnelas de los pliegues (“bolsas” de los gambusinos), y los espesores menores se encuentran en los flancos estirados de los mismos, donde inclusive puede desaparecer por completo.

Los contactos del cuerpo mineralizado con su encajonante, tanto al bajo como al alto, son netamente estratigráficos. Esto indica que la génesis de la mineralización está ligada a un cambio en las condiciones de sedimentación y que se trata por lo tanto de una mineralización de tipo singenético, sea cual fuera el origen de los elementos metálicos.

La mineralización desaparece totalmente a profundidad, lo demuestran varios tiros y/o "inclines" que bajan desde el nivel inferior de los trabajos antiguos, los cuales fueron realizados para seguir o volver a encontrar la mineralización lo cual nunca fue alcanzado. Hay que concluir que la mineralización ha sido truncada por el plano o los planos de cizalla a que se debe el cabalgamiento de la Napa Soyopa sobre la Plataforma Paleozoica.

5.4.2 (b) Bloque Soyopa-San Antonio

Las mineralizaciones estudiadas de este bloque son:

- 4) La Prietita y La Prieta Ag (Au)
- 5) Hidalgo Ag (Au)
- 6) Guadalupe Au (Ag)

Todas ellas se encuentran dentro de la Napa Soyopa.

5.4.2.1. (4) La Prietita

La Mina La Prietita se ubica a unos 5.5 km al Suroeste de Soyopa. Ha sido explotada por plata en el pasado desde la época colonial, cuando existía el Real Viejo, que llegó a poblarse por los mismos trabajadores de esta mina y desapareció con el tiempo, reubicándose en lo que hoy se conoce como el poblado de Soyopa.

En el área de La Prietita, se alcanzan a reconocer todavía 5 bocaminas en forma de tiros inclinados ("inclines") de 45° al NE. En la actualidad estas obras están en gran parte derrumbadas y algunas de ellas inundadas. Esto hace difícil y muchas veces prácticamente imposible su acceso. Solamente fue posible recorrer unos 20 a 25 metros de las obras, de los cuales de 8 a 10 metros son de "inclines", seguidos por unos 15 metros de desarrollo sub-horizontal.

La mineralización se encuentra en rocas carbonatadas y tiene al techo cuarcitas que en capas de espesor variable sobreyacen las rocas carbonatadas. Las rocas carbonatadas son calizas y lutitas de color café a negro. Tanto las rocas encajonantes como la mineralización se encuentran afectadas por una esquistosidad paralela a sub-paralela a sus planos de estratificación.

La mineralización, al igual que su encajonante, tiene un rumbo general de NW-SE con echado al NE, pero con variaciones de un punto a otro en el detalle, debido a su intenso plegamiento (Fig. 26) posterior a la esquistosidad, (esquistosidad plegada).

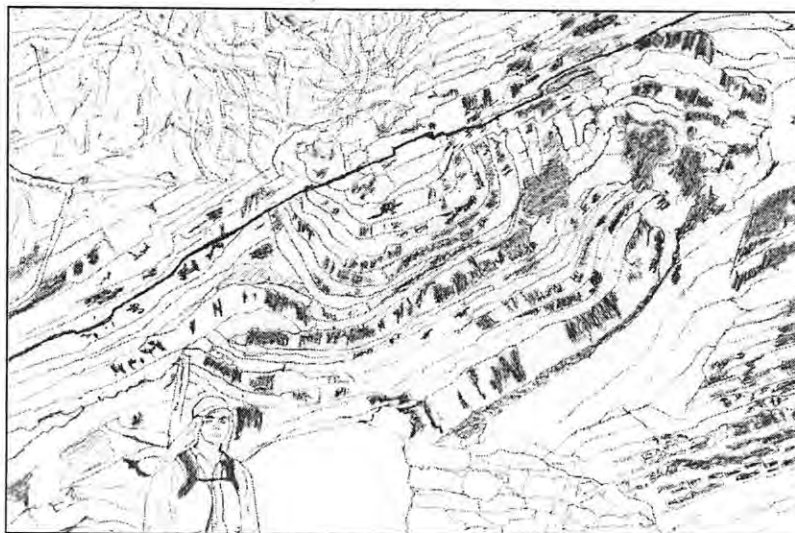


Figura 26.- Pliegue fallado en las cuarcitas. Dibujo sobre foto. Mina Prietita.

El cuerpo mineralizado, concordante con las rocas encajonantes, está caracterizado por un gran contenido de calcita e impregnaciones de carbonatos de cobre, así como de óxidos de hierro. Su espesor es variable entre 1.5 y 2 metros. Sus contactos tanto con las rocas del piso como con las cuarcitas del techo son estratigráficos y la mineralización máxima en su parte axial, la mineralización desaparece paulatinamente tanto al piso como al techo.

Al igual que en San Cristóbal los espesores mayores de mineral se encuentran en las charnelas de los pliegues ("bolsas" de los gambusinos).

Según la tradición oral estas bolsas llegaban a contener hasta 13 kg de Ag por tonelada.

Debido a los problemas de acceso que se presentan en estas obras no ha sido posible establecer en cual o cuales minerales se encontraba la plata.

La Prieta (o Las Prietas)

Esta mineralización se encuentra ubicada a unos 5 km al suroeste de Soyopa. Llegando por el mismo camino de terracería que lleva a la Mina La Prietita (Fig. 4).

Como La Prietita, en el pasado fue explotada por plata, sus trabajos son actualmente inaccesibles debido a su antigüedad. Según la tradición oral La Prieta tenía hasta 20 kg de plata por tonelada.

En los años 70 unos pequeños mineros trazaron a unos 500 m del camino de terracería antes mencionado un túnel de rumbo SW, con el fin de alcanzar la mineralización. Este túnel tiene una longitud de 170 m, de los cuales, a los 160m hay un crucero con rumbo NW de aproximadamente 24 m de longitud, al final del cual se encuentra la mineralización.

Esta es prácticamente igual a la de La Prietita, encajonada en calizas de color café a negro hacia el piso, y cuarcitas hacia el techo. El cuerpo mineralizado se encuentra impregnado de óxidos ferrosos y contiene gran cantidad de calcita. Esto se puede constatar gracias a restos del mineral dejados en la entrada de la mina por los mismos trabajadores.

5.4.2.2. (5) Hidalgo

Se encuentra aproximadamente a 7 km al NE de Soyopà, a una elevación de 560m. Ha sido explotada en el pasado y hasta hace pocos años (década de los 80's) por Ag acompañada por poco Au.

La mayoría de los túneles que fueron trazados en esta mineralización se encuentran derrumbados, o bien tapados con rocas por los mismos dueños para protección de su mineral. Además, se encuentran llenos de gases tóxicos por falta de ventilación, haciendo aun más difícil su observación.

La mineralización, en la cual se reconocen macroscópicamente pirita, calcopirita y carbonatos de cobre, está hospedada en calizas grises o negras con nódulos de pedernal, con algunas intercalaciones de calizas rosadas y de lutitas negras de la parte superior de la Napa Soyopa. Está siempre acompañada de muchas vetillas de cuarzo así como lutitas negras de la parte superior de la Napa Soyopa. Su espesor promedio es de 2 m.

Esta mineralización, junto con las calizas que la contienen, han sido afectadas por un plegamiento isoclinal y una esquistosidad; y, sucesivamente, por un segundo plegamiento. La mineralización se encuentra cortada por vetillas de cuarzo y calcita, emplazadas posiblemente por el segundo plegamiento.

5.4.2.3 (6) Guadalupe

La obra minera de Guadalupe se encuentran a unos 6.5 km al Suroeste de Soyopa, a una elevación de 660 m. Ha sido explotada en el pasado y hasta la década de los 80's por oro y plata.

Debido a los derrumbes que presenta esta obra solo fue posible visitar un "incline".

Según las observaciones efectuadas este cuerpo mineralizado presenta una gran similitud con el del Tepehuaje.

Está encajonado en calizas de coloración clara entre gris y, en algunas partes rosadas. Es concordante con las capas de calizas, y ha sido afectado junto con estas por un plegamiento y una esquistosidad sub-paralela a la estratificación. Presenta tanto al piso como al techo una relación transicional con dichas calizas, siendo su parte central la mas rica.

En los alrededores de esta mineralización, es posible observar una ventana tectónica, la cual permite ver que el substrato inmediato sobre el cual descansa esta secuencia es la Plataforma Paleozoica. Así, tanto por analogía con la secuencia del Tepehuaje como por su relación geométrica con la Plataforma Paleozoica, hay que atribuir la secuencia que lo contiene a la parte basal de la Napa Soyopa.

5.4.3. (c) Los depósitos de barita de la Napa Los Chinos.

Uno de los objetivos del presente trabajo es el de discutir la génesis de las mineralizaciones metálicas discutidas arriba y contenidas en las Napas Soyopa y San Antonio. Con este fin es conveniente plantear, por lo menos de una manera somera, el panorama yacimientológico de la región, tomando en cuenta los depósitos de la Napa Los Chinos, parte integral del conjunto alóctono reconocido en la misma.

La Napa Los Chinos contiene depósitos de barita de los cuales dos – el conocido como Barita de Sonora, cerca de Mazatán y el de Cobachi, en la Sierra de Cobachi – han sido o son (Cobachi) explotados actualmente.

Se trata de depósitos netamente estratiformes, aparentemente del Devónico, que consisten de barita masiva, de areniscas en las cuales la barita constituye el cemento, de calizas baritíferas y de conglomerados con barita. Estas capas están asociadas a grandes espesores de pedernales, lo que indica un ambiente de depósito de mar profundo, con influencias volcánicas.

6.0 OBSERVACIONES

Antes de seguir es conveniente, a este punto, resumir los datos expuestos arriba, fruto de observaciones macroscópicas, o sea de campo, conforme, desde los tiempos de Lyell, al método fundamental de las Ciencias Geológicas.

Todas las mineralizaciones de Au y Ag estudiadas ocurren en las Napas Soyopa y San Antonio, mientras que la Napa Los Chinos contiene depósitos de barita.

En el bloque oriental o Bloque Rebeico – Soyopa la Napa Soyopa presenta dos niveles mineralizados: el nivel del Tepehuaje (nivel inferior) y el nivel de la San Cristóbal (nivel superior). En dicho bloque, el nivel *del Tepehuaje* ha sido reconocido solamente en el área de la “Mina” del Tepehuaje.

En cambio el *nivel de San Cristóbal* parece mucho más extendido.

Al Noreste parece extenderse en el subsuelo hasta incluir la mineralización de las obras Noche Buena. Hacia el Sur el nivel San Cristóbal parece existir entre dicha “mina” y el Cerro Tecolote, es decir sobre una

distancia de entre 1 - 1.5 km, donde existieron trabajos de explotación en el tiempo pasado ("San Cristóbal Viejo"), trabajos de los cuales no quedan trazas.

Este nivel parece extenderse también al Sureste de la mina San Cristóbal en la rivera izquierda (este) del Río Yaqui, donde existieron obras mineras llamadas San Miguel o Mina del Río, obras que incluían un molino y de las cuales tampoco quedan trazas.

En el bloque occidental o Bloque Soyopa-San Antonio también se encuentran en la Napa Soyopa dos niveles mineralizados: el *nivel Hidalgo-Guadalupe* (nivel inferior) y el *nivel de Las Prietas* (nivel superior).

Esto se deduce claramente de la distancia estratigráfica entre estos dos niveles y las cuarcitas sobreyacentes. De hecho mientras el nivel superior está directamente en contacto con dichas cuarcitas el nivel inferior se encuentra a una distancia vertical de unos 250 m de la misma. Además por lo que se puede observar en la proximidad de la "Mina" Guadalupe, el nivel Hidalgo-Guadalupe se encuentra a no más de unos 50 m arriba de la Plataforma Paleozoica sobre la cual descansa la Napa Soyopa.

Es posible concluir, entonces, que *en ambos bloques* – oriental, Bloque Rebeico-Soyopa; y occidental, Bloque Soyopa-San Antonio - *la Napa Soyopa contiene dos niveles mineralizados de los cuales el inferior (Tepehuaje, Guadalupe) es aurífero (Tepehuaje) o auro-argentífero (Guadalupe) y el superior (San Cristóbal, Las Prietas) es esencialmente argentífero.*

Según nuestras observaciones de campo, la Napa San Antonio contiene dos mineralizaciones estratificadas, ambas auríferas y ambas en el Bloque Rebeico - Soyopa: las mineralizaciones de La Montaña de Oro y de El Gallo de Oro.

Pero, de acuerdo con nuestra interpretación geológico-estructural actual, la Napa San Antonio también contiene la Cuarcita Soporoba, correspondiendo esta última a la parte inferior de dicha napa.

Ahora bien, las capas de la Cuarcita Saporoba están cortadas por una mineralización aurífera. Se trata de vetillas irregulares que rellenan fracturas, donde el oro está asociado con impregnaciones de minerales de hierro oxidados (antiguos sulfuros ?). Los cuerpos mineralizados aparecen como muy discontinuos y, según la tradición oral local, nunca permitieron una explotación sistemática ni de nivel "gambusino".

Con la única excepción de la mineralización aurífera de la Cuarcita Saporoba, todas las mineralizaciones consideradas en este estudio se encuentran asociadas a facies calcáreas (calizas y lutitas).

De todas las mineralizaciones indicadas, solamente la de la Cuarcita Saporoba es claramente epigenética. De ninguna de las otras se conocen los conductos a través de los cuales las mineralizaciones han llegado a ocupar su sitio actual.

Además, como ha sido comprobado muchas veces por los trabajos mineros, todos los cuerpos mineralizados estudiados están totalmente delimitados por los planos de cabalgamiento, o los planos de cizalla inducidos por el cabalgamiento, de las Napas Soyopa y San Antonio.

Todos los cuerpos mineralizados estudiados han sido afectados, junto con las rocas de las Napas Soyopa y San Antonio que los contienen, por un plegamiento y un aplastamiento (esquistosidad), seguidos posteriormente por una nueva deformación plicativa, dando como resultado una estructura en cartera de huevos. En cambio, ninguna de las rocas ígneas que se observaron cortando las rocas encajonantes de los cuerpos mineralizados presenta una deformación penetrativa.

Este punto es importante porque permite excluir toda relación genética de las mineralizaciones en cuestión con el magmatismo laramídico, como por

ejemplo el de La Luz del Cobre. La razón de esta afirmación es sencilla: ningún cuerpo ígneo laramídico de la región presenta una deformación penetrativa.

Queda así establecido que las mineralizaciones observadas estaban contenidas en las rocas que constituyen actualmente las Napas Soyopa, Los Chinos y San Antonio, antes de su emplazamiento como tales sobre la Plataforma Paleozoica durante el Triásico Inferior. En otras palabras, las mineralizaciones observadas y descritas en el presente trabajo se emplazaron, sea cual fuera su origen, en las cuencas sedimentarias en las cuales se depositaron las rocas paleozoicas que actualmente constituyen las Napas Soyopa, Los Chinos y San Antonio y fueron transportadas tectónicamente junto con éstas.

De todas las mineralizaciones tratadas en el presente trabajo, las de barita de la Napa Los Chinos son evidentemente singenéticas y la de oro de la Cuarcita Soporoba es epigenética.

Queda para definirse, en cambio, la naturaleza real de las otras mineralizaciones indicadas arriba de las Napas Soyopa y San Antonio, de las cuales ya se estableció, sin embargo, que son estratiformes y paleozoicas como las rocas que las contienen. Se abordara este aspecto después de exponer los resultados geoquímicos obtenidos sobre las mismas.

7.0 GEOQUIMICA

Se estudiaron 5 muestras tomadas en las obras más importantes, y de las cuales se había podido recabar más información geológica (estratigráfica y estructural).

Se analizaron en los laboratorios de ALS Chemex, por fusión (lithium borate) [ME- MS81] con un ICP-MS, las Tierras Raras (T.R.) de los cuerpos

mineralizados de Tepehuaje, Guadalupe, San Cristóbal, Hidalgo y Montaña de Oro (Tabla 1).

Tabla 1.- Resultados geoquímicos de los análisis para Tierras Raras de las diferentes muestras recabadas en las obras mineras del área de estudio

Elementos	Hidalgo	San Cristóbal	Guadalupe	Montaña de Oro	Tepehuaje
Ag	507	639	648	32	34
Ba	9.2	4600	63.7	167	1065
Ce	1.5	1.2	17.8	12.4	29.9
Co	0.5	2.9	8.2	8.4	3.2
Cr	ND	10	10	20	20
Cs	0.2	0.2	ND	0.3	4.6
Cu	3250	10000	619	564	45
Dy	0.1	0.2	2.2	1.2	1.7
Er	0.1	0.1	1.2	0.7	1.2
Eu	0.1	0.2	1.1	0.5	1.6
Ga	7	6	1	3	15
Gd	0.1	0.2	2.3	1.3	2.2
Hf	ND	ND	ND	1	4
Ho	ND	ND	0.5	0.3	0.4
La	ND	3.6	14	6.3	16.7
Lu	ND	ND	0.1	0.1	0.2
Mo	ND	ND	ND	12	ND
Nb	ND	ND	ND	1	7
Nd	0.7	0.7	6.4	5	12.7
Ni	5	9	30	58	16
Pb	10000	10000	10000	743	114
Pr	0.2	0.2	1.6	1.4	3.7
Rb	6.2	7.8	1.4	5.5	159
Sm	0.1	0.2	2.2	1	2.3
Sn	96	22	23	1	8
Sr	3.2	71.1	9.2	25.4	349
Ta	ND	ND	ND	ND	0.5
Tb	ND	ND	0.4	0.2	0.3
Th	ND	1	ND	1	6
Tl	1	ND	ND	ND	ND
Tm	ND	ND	0.2	0.1	0.2
U	ND	ND	3.8	1.3	7.4
V	13	11	5	28	89
W	ND	ND	ND	2	9
Y	0.5	1.3	11.6	9.1	15.4
Yb	ND	0.1	0.9	0.5	1.2
Zn	10000	10000	301	146	191
Zr	4.4	4.3	2.2	24.8	109.5

Las "firmas" T.R. obtenidas de los cuerpos mineralizados de la Napa Soyopa se organizan en dos grupos: Tepehuaje – Guadalupe, grupo aurífero, y San Cristóbal – Hidalgo, grupo argentífero (fig. 27).

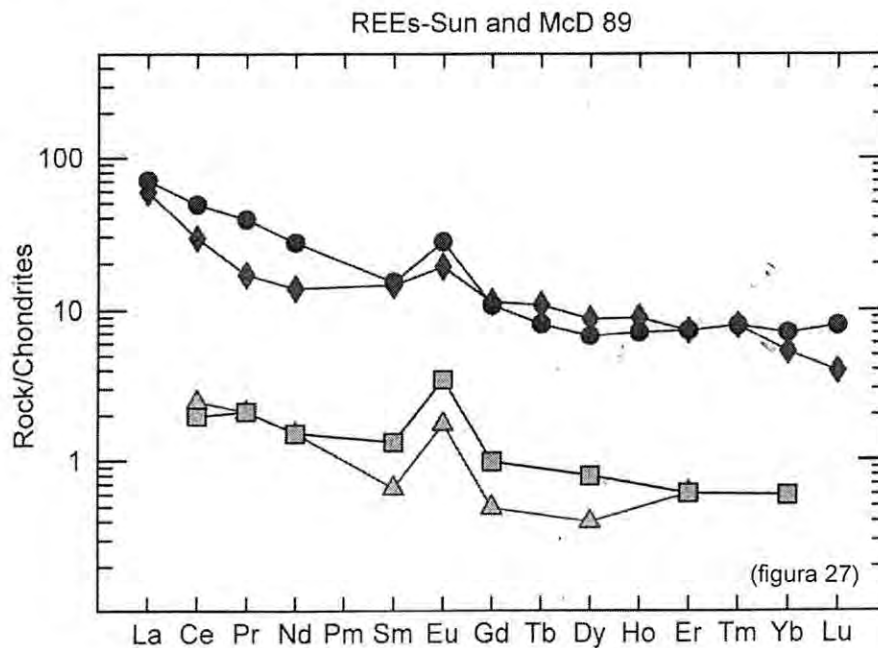


Figura 27 – Firmas de la Tierras Raras de los cuerpos mineralizados de la Napa Soyopa: Tepehuaje (círculos), Guadalupe (rombos), San Cristóbal (cuadros) e Hidalgo (triángulos). Nótese que hay dos « parejas » de firmas: la de los cuerpos auríferos del Tepehuaje y de Guadalupe; y la de los cuerpos argentíferos de (San Cristóbal e Hidalgo).

En el grupo argentífero San Cristóbal – Hidalgo además de una gran similitud en las firmas T.R. se encuentran en los resultados de los análisis valores muy parecidos de los contenidos de elementos metálicos:

	<u>San Cristóbal</u>	<u>Hidalgo</u>
Ag ppm	639	507
Pb ppm	> 10 000	> 10 000
Zn ppm	> 10 000	> 10 000

En cambio, en el grupo aurífero Tepehuaje – Guadalupe se encuentra una buena correspondencia de los valores de las T.R., pero no así en los contenidos de los elementos metálicos

	<u>Tepehuaje</u>	<u>Guadalupe</u>
Ag ppm	34	648
Pb ppm	114	>10 000
Zn ppm	191	301

Esto se debe, probablemente, a una real diferencia entre la mineralización del Tepehuaje, que es esencialmente aurífera, y de Guadalupe, que es más bien auro-argentífera y que como tal ha sido explotada.

La firma T.R. obtenida para el cuerpo mineralizado aurífero de la Montaña de Oro de la Napa San Antonio tiene una forma similar a la del grupo aurífero de la Napa Soyopa pero presenta valores de las T.R. inferiores casi de un factor 10 a las de ese grupo aurífero. Los valores de sus elementos metálicos, por otro lado, no se parecen a los de los dos grupos, aurífero y argentífero, de la Napa Soyopa: Ag ppm 32; Pb ppm 743; Zn ppm 146 (Fig. 28).

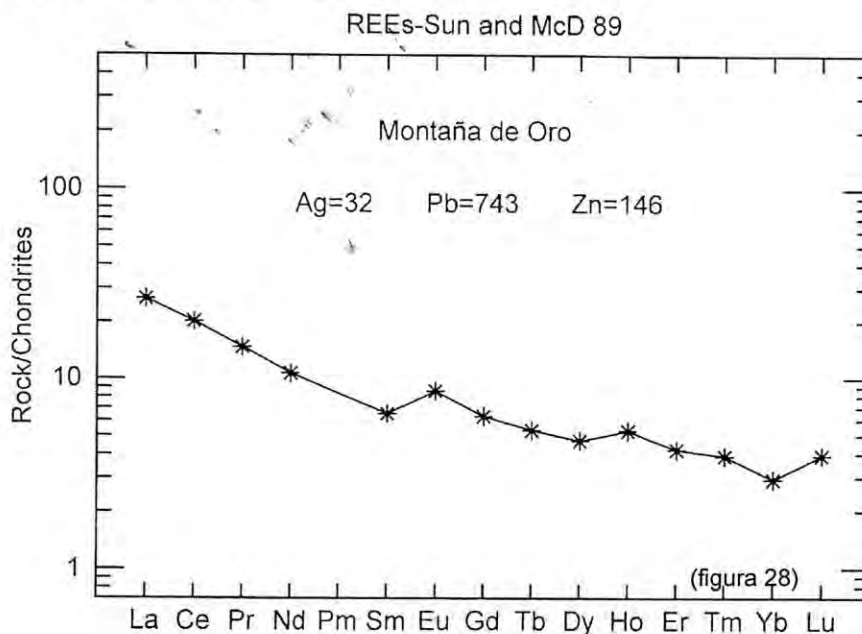


Figura 28 – Firma de las Tierras Raras del cuerpo mineralizado aurífero de La Montaña de Oro de la Napa San Antonio. Compárese con la fig. 12 y nótese la similitud y al mismo tiempo la diferencia entre esta firma y la de los cuerpos auríferos de la Napa Soyopa (Tepehuaje y Guadalupe).

Así, a pesar del número mínimo de resultados disponibles los análisis efectuados de muestras de los diferentes cuerpos mineralizados subrayan tanto sus caracteres comunes como sus caracteres distintos.

Su análoga posición tectóno-estratigráfica y su análoga composición mineralógica ya sugerían por si mismas que la "pareja" de los cuerpos mineralizados Tepehuaje (aurífero) y San Cristóbal (argentífero) del Bloque Rebeico-Soyopa puede ser correlacionada con la "pareja" Guadalupe (aurífero) e Hidalgo (argentífero) del Bloque Soyopa-San Antonio. Esta conclusión parece ahora confirmada por las firmas virtualmente iguales de sus Tierra Raras.

Por lo menos como hipótesis de trabajo, parece entonces posible postular que, eventualmente con interrupciones debidas a la tectónica posterior, las mineralizaciones, o por lo menos las estructuras que las contienen y que las permitieron, eran continuas entre los afloramientos de las "parejas" indicadas a unos 10 km la una de la otra.

De la misma forma y con las mismas limitaciones se puede postular también que la mineralización del cuerpo Hidalgo (elevación 560 m) de echado al NE se continúa al NE con los cuerpos de echado similar de La(s) Prieta(s) (elevación 350 m) y La Prietita (elevación 350 m) a una distancia horizontal de unos 5 km.

En todos los casos estudiados se obtuvo una « firma » que muestra una anomalía positiva del Europio y un contenido de T.R. que baja progresivamente de las livianas a las pesadas.

Anomalía del Europio por si sola, da una « firma » que corresponde a *residuos magmáticos líquidos* en los que se concentran las T.R., contrariamente a las soluciones hidrotermales en las que se concentran las T.R. pesadas.

La anomalía positiva del Europio puede ser explicada de dos maneras.

Sin tener en cuenta la « firma » indicada de las otras T.R., la anomalía positiva del Europio puede ser puesta en relación con la desestabilización de las plagioclasas por las soluciones hidrotermales oceánicas (ver más adelante).

Pero si se tiene en cuenta la « firma » ya indicada de las otras T.R. y los datos mineralógico-petrográficos de las mineralizaciones consideradas, la anomalía positiva del Europio puede ser explicada, tomando en cuenta la afinidad del Eu con el Ca, con la abundancia de la calcita que se encuentra en los cuerpos mineralizados.

Esta interpretación implica un origen profundo, posiblemente relacionado con un magma carbonatítico, de la calcita y por consiguiente también de las mineralizaciones.

8.0 EL ORIGEN DE LAS MINERALIZACIONES

Para tratar de precisar este punto empezaremos ahora considerando el contenido estratigráfico de las Napas Soyopa, Los Chinos y San Antonio. El significado paleogeográfico preciso del contenido estratigráfico de cada una de ellas no está claramente establecido aún - por ejemplo, queda todavía por ser entendida la verdadera razón de la abundancia de las cuarcitas que caracterizan la Napa San Antonio. Sin embargo, se puede considerar como establecido (Radelli et. al., 1987; Radelli et. al., 1993) que el contenido de dichas napas corresponde a diferentes partes de una grande, y posiblemente compleja, cuenca sedimentaria paleozoica. Influencias oceánicas por lo menos en partes de dicha cuenca están claramente indicadas por algunas de las facies presentes, como por ejemplo la de los gruesos paquetes de pedernales de la Napa Los Chinos.

En el marco geológico general del área y de acuerdo con las observaciones geométrico-estructurales hechas anteriormente, está permitido postular:

(a) que los metales de los cuerpos mineralizados estratiformes considerados fueron aportados por fluidos;

(b) que estos fluidos percolaron "per ascensum" a través de fallas del zócalo de las cuencas originales donde sedimentó el contenido de las Napas; y

(c) que la temperatura elevada de estos fluidos mineralizantes estaba en relación con un "ascenso" de la astenósfera (Pelissonnier, 1995).

Es bien conocido que en todos los casos de este tipo el depósito de los metales ha sido controlado por el pH del medio y por la fugacidad del oxígeno de las soluciones (Anderson, 1975). Es legítimo pensar por lo tanto que en los cuerpos mineralizados asociados con las rocas carbonatadas de la Napa Soyopa el depósito de los elementos metálicos ha sido relacionado con un pH elevado de los niveles carbonatados a los cuales llegaban los fluidos y con condiciones de baja fugacidad del oxígeno (condiciones reductoras).

A este respecto es muy interesante volver a considerar las mineralizaciones auríferas de la Cuarcita Soporoba, de la Montaña de Oro y del Gallo de Oro de la Napa San Antonio.

Se explico anteriormente que la Cuarcita Soporoba corresponde a la parte inferior de la Napa San Antonio, de la cual los niveles, en parte calcáreos y mineralizados, de la Montaña de Oro y del Gallo de Oro están separados por superficies de cabalgamiento y/o cizalla.

Se ha visto también que la Cuarcita Soporoba contiene una mineralización aurífera epigenética en forma de vetillas irregulares de escasa continuidad y aparentemente deformadas, mientras que las mineralizaciones de

la Montaña de Oro y del Gallo de Oro en niveles calcáreos de la parte media de la Napa San Antonio son estratiformes.

Esta situación parece sugerir

(a) *que el contenido metálico de la Montaña de Oro y del Gallo de Oro ha sido aportado a las facies calcáreas de la San Antonio en la cuenca paleozoica cuando en ella sedimentaban dichas facies después de la sedimentación de la Cuarcita Soporoba a través de las fracturas de esta última; y*

(b) *que durante el traslado tectónico de la Napa San Antonio, y debido probablemente a diferencias de competencia, sus partes media y superior se despegaron de su parte inferior, obliterando, por una elisión tectónica clásica, los términos intermedios, que debían contener los canales alimentadores de la mineralizaciones metálicas.*

Las mineralizaciones de las Napas Soyopa y San Antonio (con la excepción de la mineralización epigenética hospedada en la Cuarcita Soporoba) aparecen como excelentes ejemplos de los que Pelissonnier (1997) llama "**Yacimientos hidrotermales en ambiente sedimentario**". En esta definición el término de "hidrotermal" significa que los metales han sido aportados por fluidos ácidos a un ambiente sedimentario, donde su precipitación ha sido controlada por las condiciones de pH y de la fugacidad del oxígeno (fO_2).

En otras palabras, se trata de yacimientos:

- ***singenéticos*** en el sentido de que se acumulan al mismo tiempo que sedimentan las formaciones que los contienen (en esto son como los yacimientos sedimentarios, por ejemplo los Kupferschiefer) y

- **epigenéticos** en el sentido de que su contenido metálico es aportado por soluciones hidrotermales (en este sentido se diferencian totalmente de los yacimientos sedimentarios, por ejemplo, de nuevo, los Kupferschiefer).

Este concepto es muy importante porque permite entender que los niveles mineralizados discutidos arriba no representan una mineralización, sino mineralizaciones sucesivas, de edad geológica diferente, separadas por intervalos de tiempo sin acumulación de metales. Así, por ejemplo, en la Napa Soyopa tenemos una primera mineralización, aurífera a auroargentífera (nivel Tepehuaje – Guadalupe), y una segunda mineralización, argentífera (nivel San Cristóbal – Hidalgo).

En cambio, como la experiencia enseña que las distintas napas corresponden a distintas unidades paleogeográficas, no sabemos si las mineralizaciones de la Montaña de Oro y del Gallo de Oro de la parte media de la Napa San Antonio es contemporánea o no de las de la Napa Soyopa. Lo único que sabemos es que dichas mineralizaciones se formaron en una parte distinta de la cuenca paleozoica, a lo cual corresponde una firma T.R. diferente de las de las mineralizaciones de la Napa Soyopa.

Son parte integrante de la evolución que lleva a la formación de este tipo de yacimientos los procesos siguientes:

- (a) una necesaria fracturación del zócalo, durante las diferentes fases de la apertura de la cuenca;
- (b) un ascenso astenosférico capaz de proveer los elementos metálicos, la temperatura indispensable para su movilización hasta las áreas de depósito.

Los tres parámetros fundamentales que definen un yacimiento - origen, transporte y concentración (trampa) de su contenido metálico - pueden ser indicados, en el caso en estudio, como sigue:

Origen: fluídos, conteniendo los metales en complejos clorurados, derivados de un ascenso astenosférico;

Transporte: percolación *per ascensum* de los fluidos a través de las fisuras del zócalo, abiertas por la distensión (y ya imposible de observarse debido a que durante su traslado las napas perdieron toda conexión con su zócalo);

Concentración (trampa): estratigráfico-geoquímica, controlada por pH y fO_2 .

9.0 COMPARACIÓN CON OTROS YACIMIENTOS ESTRATIFORMES EN AMBIENTE SEDIMENTARIO

Las modalidades genéticas generales de los yacimientos estratiformes en contexto sedimentario son ya bien conocidas. Han sido ampliamente discutidas en los casos de los de tipo Mississippi Valley en plataformas calcáreas, de los de tipo Kupferschiefer y Copper Belt de Zambia en secuencias transgresivas (areniscas, lutitas y margas; areniscas y dolomías), en borde de cuencas, de yacimientos de Uranio en areniscas continentales con buen contenido de materia orgánica (Pelissonnier, 1965; 1995 y bibliografía citada) y de ciertos yacimientos de la región del Yukon (Canadá), como el de Pb-Zn-Ag de Macmillan Pass (Gardner and Hutcheon, 1985).

A continuación se establece una comparación de los yacimientos sonorenses estudiados, yacimientos de las Napas Soyopa y San Antonio, con los de los tipos indicados aquí arriba y en particular con los hospedados en facies calcáreas.

9.1 COMPARACIÓN CON DEPÓSITOS TIPO MISSISSIPPI VALLEY (MVT)

Los MVT son esencialmente depósitos de galena y esfalerita con marcasita, fluorita, barita y calcopirita. Se encuentran en plataformas calcáreas que presentan una deformación relativamente débil, que se expresa por fracturas, amplios domos, cuencas y pliegues suaves, y un basamento ígneo o metamórfico antiguo, precámbrico. En cambio, los depósitos aquí estudiados son y han sido explotados esencialmente como depósitos de oro y/o plata acompañados por plomo, zinc y eventualmente cobre. Los cuerpos mineralizados se encuentran en facies de cuenca alóctonas (napas) que debido a su traslado tectónico han perdido toda relación con su zócalo. Los cuerpos mineralizados han sido altamente deformados junto con esas rocas, habiendo sido afectados ambos por pliegues isoclinales y por una esquistosidad de flujo y fenómenos asociados (por ejemplo, budinaje, estructuras en "pinch and swell", etc.).

Además, en los MVT la mineralización se presenta en estructuras positivas en cuerpos tabulares reemplazando estratos carbonatados individuales y en vetas. En cambio, las mineralizaciones objeto del presente trabajo son cuerpos tabulares inter-estratificados en las secuencias que los hospedan y nunca como vetas.

Así, las mineralizaciones de que se trata y los MVT pertenecen a tipos totalmente distintos de metalotectos:

- (a) *yacimientos epigenéticos ligados a plataformas los MVT,*
- (b) *contemporáneos de la sedimentación (singenéticos) en una cuenca, en las cuales los metales son aportados por soluciones hidrotermales (y en este sentido epigenéticos) los segundos.*

9.2 COMPARACIÓN CON LOS DEPÓSITOS DE TIPO CARLIN

Como ya se advirtió, las mineralizaciones objeto de este estudio han sido consideradas, sin ninguna discusión, como depósitos de tipo Carlin de Nevada, USA (S. King, Magma Chem Exploration Inc., 1999). Por lo tanto, antes de decidir si es correcta, cabe preguntarse sobre qué está basada.

Es cierto que tanto los depósitos tipo Carlin de Nevada, USA, como los depósitos sonorenses en estudio están hospedados en rocas sedimentarias calcáreas del Paleozoico Inferior.

Es cierto también que los depósitos de ambos grupos se encuentran en cuerpos alóctonos, en napas y están acompañados por depósitos estratiformes de barita. Pero aparentemente aquí terminan las similitudes.

(a1) Las napas sonorenses – Napas Soyopa, Los Chino y San Antonio – han sido emplazadas sobre una Plataforma calcáreo-arenácea Paleozoica en el Triásico Inferior, que sucesivamente, en el Oregoniano (entre Cretácico Inferior y Cretácico Superior), cabalgó a su vez hacia el E y NE hasta cubrir depósitos del Cretácico Inferior, como por ejemplo en Arivechi.

(a2) En lo que se refiere a los depósitos tipo Carlin de Nevada, USA, la situación tectónica es la siguiente:

Las mineralizaciones consideradas de tipo Carlin se encuentran entre el plano de cabalgamiento Golconda al Oeste y el que delimita el Overthrust Belt al Este, incluyendo así el Alóctono Robert Mountain (Figs. 29 y 30).

Arriba del cabalgamiento Robert Mountain se encuentran rocas “paleo-oceánicas” (eugeoclinal de ciertos autores) del Paleozoico Inferior (Cámbrico a Devónico) que algunos autores indican con *Western Assemblage* (comparar las Figuras 29 y 30 con la Figura 31) debajo de las cuales aparecen en ventanas tectónicas rocas, también de edad Cámbrico a Devónico, de una plataforma carbonatada. Algunos autores (por ejemplo, Armstrong et al., 2003) indican

estas rocas con el término de “*Eastern Assemblage*”, pero de hecho se trata sencillamente del Overthrust Belt.

Datos estratigráficos indican que el cabalgamiento de las rocas paleo-oceánicas del Robert Mountain sobre los depósitos “de plataforma” (miogeoclinal de ciertos autores) del Overthrust Belt ocurrió durante la Orogenia Antler del Devónico Superior-Mississípico (por ejemplo, Roure, 1984; Armstrong et al., 2003). Pero todo el sistema ha sido profundamente reactivado en el Oregoniano, cuando los cabalgamientos de Golconda, de Robert Mountain y del Overthrust

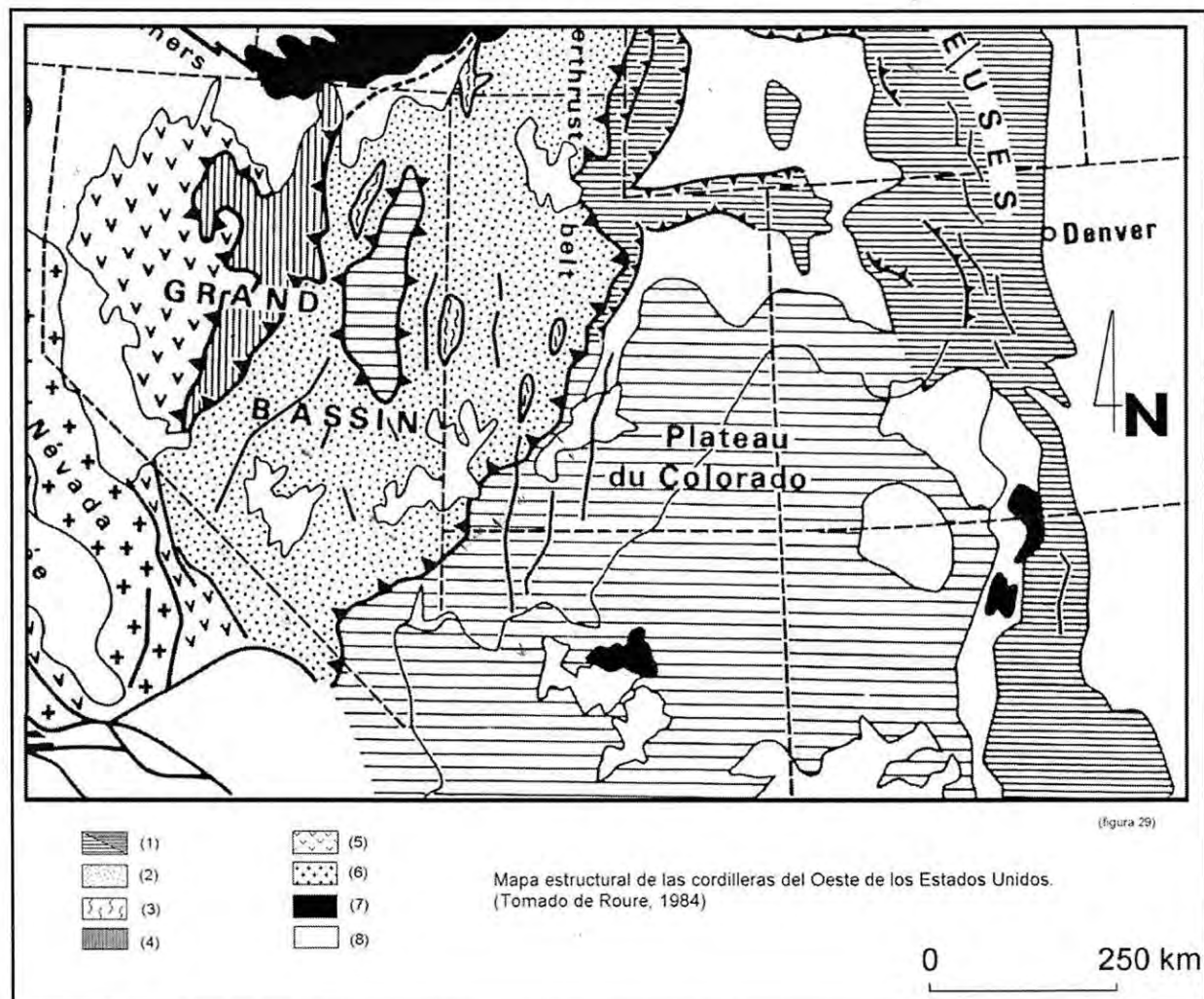


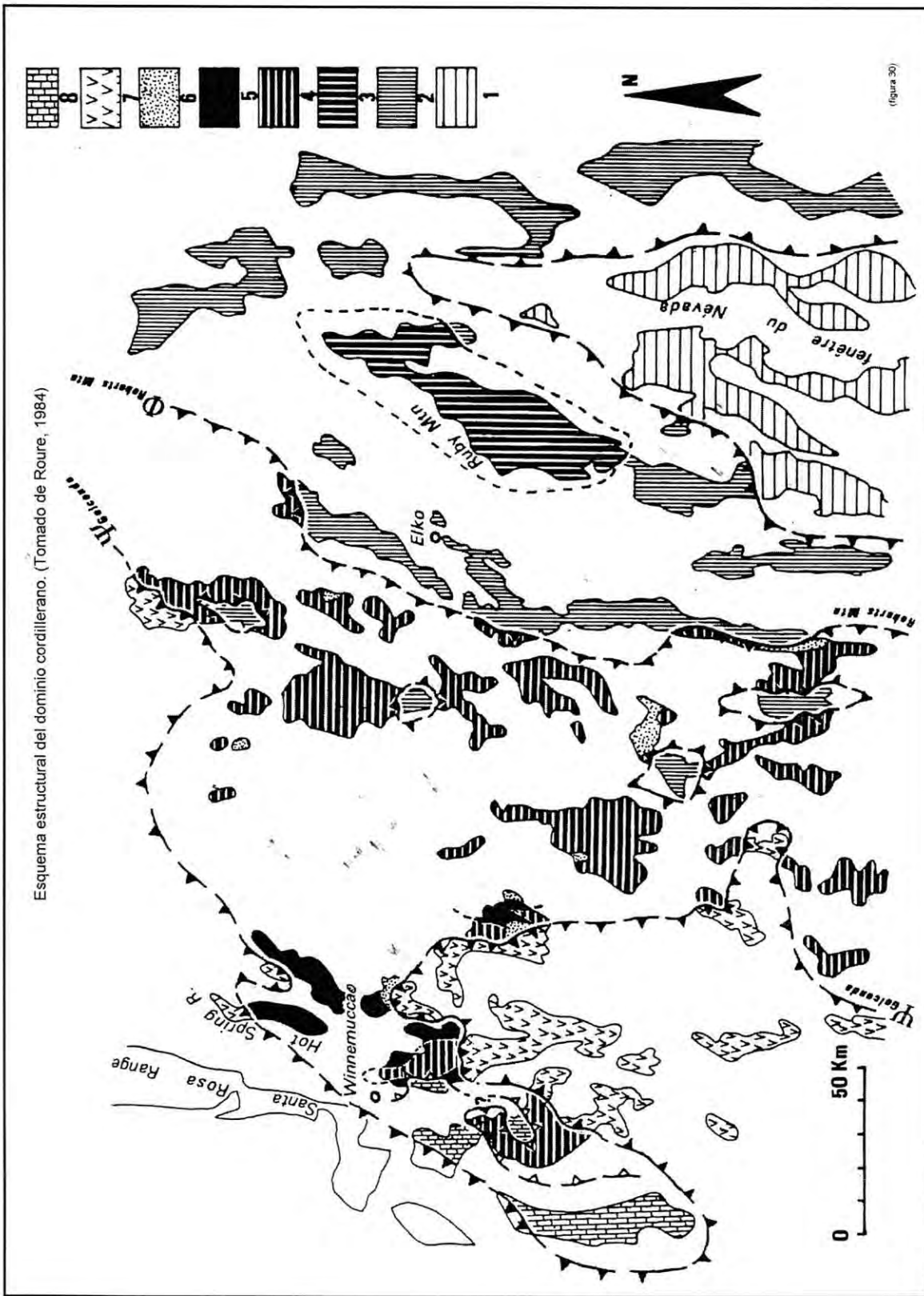
Figura 29.- Mapa estructural de las cordilleras del oeste de los Estados Unidos. Tomado de Roure, 1984.

Leyenda del mapa estructural de las cordilleras del Oeste de los Estados Unidos (fig. 29).

- 1) Antepais Americano Colorado \ Rocallosas Canadienses
- 2-4) Dominio Cordillerano
 - 2) Serie Miogeoclinal (Plataforma)
 - 3) Metamorphic Core Complex
 - 4) Secuencia paleo-oceánica del Paleozoico Inferior
- 5) Bloque Americano – Mexicano
- 6) Batolito del Cretácico Superior
- 7) Volcanismo de la Snake River
- 8) Cuaternario

Leyenda del esquema estructural del dominio cordillerano (fig. 30).

- 1) Antepais Americano
- 2) Serie Miogeoclinal (Plataforma)
- 3) Metamorphic Chorreé Complex
- 4) Serie paleo-oceánica del Paleozoico Inferior
- 5) Precámbrico no metamórfico y Paleozoico Inferior detrítico (Beltia)
- 6) Paleozoico Superior (Molasas de la Orogenia Antler)
- 7) Bloque Americano – Mexicano (secuencia paleozoica del Paleozoico Superior)
- 8) Triásico Calcáreo



(figura 30)

Belt tomaron su aspecto definitivo y escamas del Overthrust Belt se intercalaron tectónicamente entre cuerpos del alóctono Robert Mountain.

Durante el Eoceno parece haberse producido en el área de los depósitos tipo Carlin de Nevada, USA, un importante magmatismo de poca profundidad que dio lugar a rocas intrusivas porfíricas, probablemente a una grande (700 km²) anomalía aeromagnética y tal vez a una parte de los depósitos de oro.

Los depósitos de oro tipo Carlin se encuentran principalmente en el Eastern Assemblage (parte de la Napa del Overthrust Belt) pero también en el Alóctono Robert Mountain o Western Assemblage. Por este mismo hecho se puede excluir que la mineralización de Carlin sea singenética en el sentido que hemos precisado para los depósitos sonorenses que nos ocupan.

Esencialmente se trata de depósitos de arsenopirita aurífera diseminada en rocas sedimentarias calcáreas.

Los depósitos auríferos del tipo Carlin son más abundantes cerca de fallas de rumbo NE, de diques ígneos de rumbo NW y de planos de cabalgamiento cercanos de horizontes estratigráficos permeables. Durante la mineralización y un poco antes de ella, la permeabilidad primaria fue aumentada por la alteración hidrotermal con disolución de la calcita y formación de dolomita. Los sulfuros metálicos precipitaron en los poros entre los granos de dolomía.

Los yacimientos auríferos se constituyeron donde los fluidos pudieron subir a través de estructuras corticales y al encontrar rocas poco permeables se movieron lateralmente para reaccionar con rocas carbonatadas.

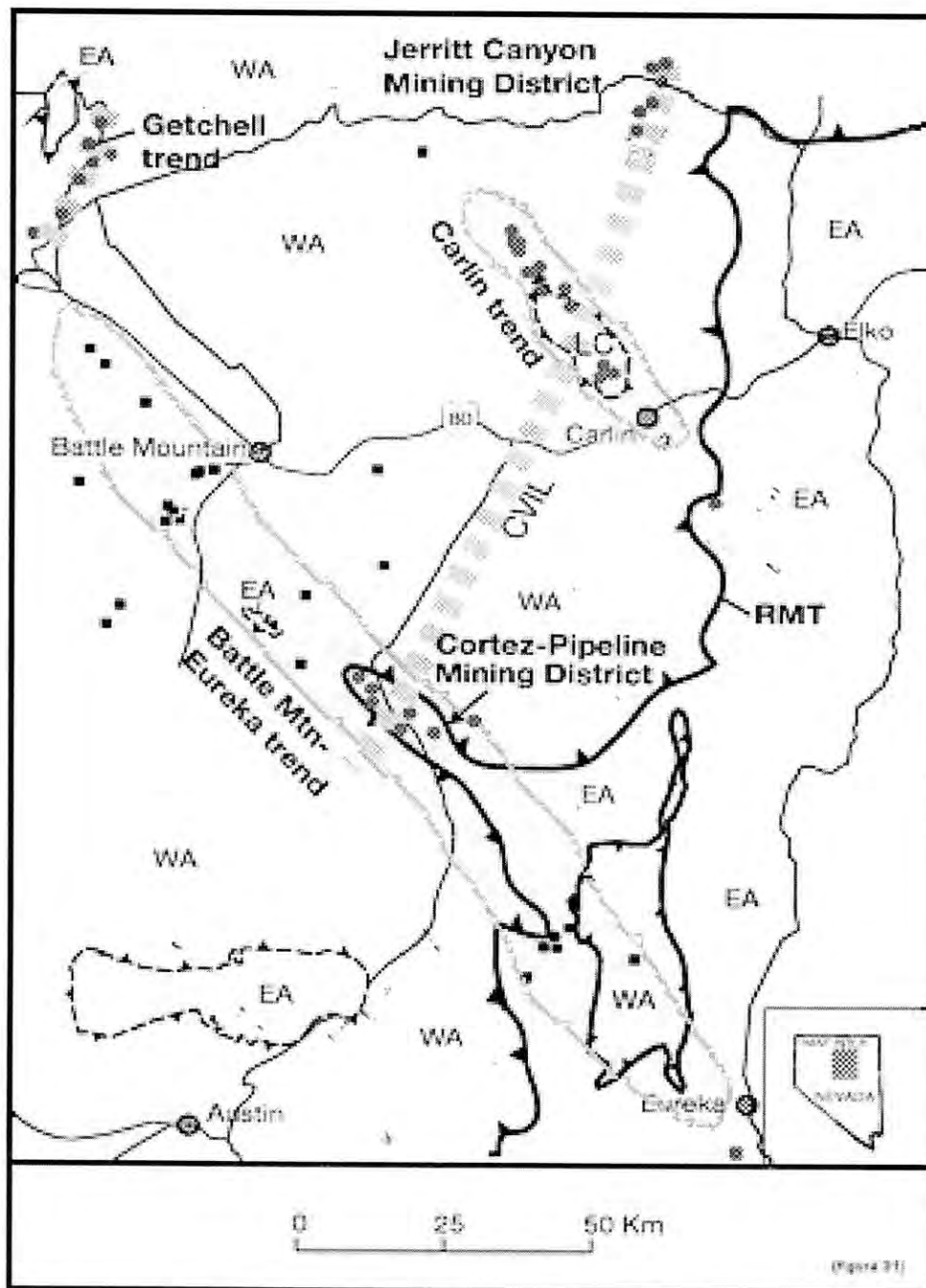


Fig. 31 - Mapa geológico esquemático que muestra la distribución de los depósitos de oro tipo Carlin, los principales "trenes" de mineralización y la localización del distrito minero del Canyon Jerritt en la Sierra Independence en el Norte de Nevada. Es importante anotar que el mapa muestra dos parejas de "trenes" de mineralización. El "tren" Carlin NW-SE (sombreado) se encuentra a lo largo de la ventana Lynn-Carlin (LC) donde varios depósitos de oro tipo Carlin están expuestos. Más al SW, aparece el "tren" Battle Mountain-Eureka (sombreado) paralelo al de Carlin. Otras ventanas en las cuales rocas del "Eastern Assemblage" (EA) aparecen debajo del cabalgamiento Robert Mountains (RTM) y por lo tanto abajo del "Western Assemblage" (WA) también exponen depósitos de oro. Otros yacimientos de oro ocurren en los "trenes" paralelos de Cortez-Pipeline a Jerritt Canyon y de Getchell, de rumbo NE-SW. [Mapa tomado de Armstrong et al., 2003; leyenda ligeramente modificada]

Las mineralizaciones se dispusieron siguiendo diferentes "trenes" (Fig. 31) y se emplazaron aprovechando todas las estructuras presentes y no solamente las estructuras estratigráficas como en el caso de los yacimientos sonorenses en estudio.

Los datos mineralógicos y geoquímicos disponibles son importantes para caracterizar estos depósitos de tipo Carlin, (Hofstra H. A. y Christensen O. D., 2002).

No existen trazas de ebullición. Este aspecto más el hecho de que se encuentra un espesor de hasta 1 km de rocas mineralizadas indican que la mineralización no ocurrió a poca profundidad, menos en la superficie. Las reconstrucciones geológicas y los datos de las inclusiones fluidas sugieren que los depósitos auríferos de tipo Carlin se formaron a profundidades de 2 a 5 km y a temperaturas de $\pm 200^{\circ}$ C, a partir de fluidos de salinidad baja, ricos en CO_2 y H_2S . Estos fluidos disolvieron los minerales carbonatados, argilitizaron los minerales silicatados y sulfurizaron los minerales ferrosos de las rocas encajonantes, que, cuando el enfriamiento fue suficiente, también fueron silicificadas.

Au, As y otros elementos trazas en complejos sulfúricos fueron precipitados en forma de pirita a medida de que el H_2S se iba consumiendo por reacción con minerales de hierro, que es la razón por la cual generalmente el hierro no fue introducido en la paragénesis.

Durante una fase tardía de la mineralización, a medida de que el sistema se enfriaba y los fluidos mineralizantes se mezclaban con las aguas superficiales, precipitaron, finalmente, en fracturas abiertas y en los poros de las rocas permeables cuarzo, calcita, barita, oropimento, regalgar y estibina.

Cabe anotar que ninguno de estos caracteres se observa en los cuerpos mineralizados sonorenses que nos ocupan. Los datos sobre la fuente de los fluidos mineralizantes parecen a veces contradictorios, debido probablemente también a procesos supergénicos, incluyendo oxidaciones.

En varios distritos los depósitos se encuentran en correspondencia de, o cerca a, estructuras corticales profundas en las cuales coexisten y eventualmente se sobreponen depósitos de tipo (¿y edad?) diferente.

Desde un punto de vista geométrico o tipológico el término "yacimientos auríferos tipo Carlin" cubre en realidad un espectro muy vasto: desde yacimientos que han sido considerados como sedex, a yacimientos relacionados con rocas plutónicas hasta yacimientos epitermales en rocas sedimentarias.

Damos a continuación dos ejemplos extremos del espectro de yacimientos Carlin en el "tren" Carlin.

El "tren" Carlin de la Provincia del Great Basin es una estructura de unos 60 km de largo con varios depósitos de oro en rocas sedimentarias. En ella ya fueron producidas 750 T (24 millones de onzas troy) de oro y sus "reservas + recursos" siendo estimados en 3100 T (100 millones de onzas troy), las aportaciones más recientes habiendo sido las de una mineralización de alta ley (+6 gr/T) en rocas carbonatadas a una profundidad de 400 metros o más. El primer ejemplo, el *depósito de Hardie-Footwall*, será el de un depósito controlado estratigráficamente, el segundo, el depósito de Deep Star, el de un depósito controlado estructuralmente. Los datos aquí resumidos han sido tomados de Groves D. A. (2003).

9.2.1 El depósito de Hardie Footwall.

Este depósito, que se encuentra inmediatamente al Norte de la Mina Carlin, corresponde a una extensión a profundidad a lo largo del echado del depósito aurífero oxidado de Carlin. Ha sido descubierto (1993) a través de estudios de detalle estratigráficos y estructurales de los afloramientos del tajo East de Carlin y nuevos estudios de detalle de algunos barrenos profundos al Norte de la Mina Carlin. Con una ley de corte de 6 gr/T de Au, se estima que el depósito contiene 1.315.000 T de un mineral con 16 gr/T Au.

En planta, el depósito mide 500 m de largo y 100 a 250 m de ancho. En sección, el espesor de las zonas de mena va desde 6 hasta 25 m, encontrándose siempre en calizas dolomíticas, calizas arcillosas y más raramente en calcarenitas de los 100 m superiores de la Formación Roberts Mountains (Silúrico – Devónico).

La zona de alteración que acompaña la mineralización incluye: decalcificación (es decir, eliminación de la calcita), eventualmente silicificación de las calcarenitas, decarbonización (es decir, eliminación de todos los minerales carbonatados) en zonas auríferas cercanas de estructuras como fallas. *Esta zona de alteración es estratiforme.* Los valores altos de Au están asociados con rocas dolomíticas, menos comúnmente con rocas silicificadas y raramente con las rocas decarbonizadas. El depósito está afectado y a veces limitado por fallas normales de alto ángulo, que a veces controlan altos valores de oro dentro del esencialmente estratiforme sistema mineralizado. No se encuentran vetas ni brechas mineralizadas. Visualmente, las zonas con altos valores de Au no se distinguen de las estériles que las rodean. El contenido de sulfuros, en forma de arsenopirita, y carbón orgánico es en promedio de 1% (sulfuros) y de entre 0.5 y 1% (carbón) respectivamente. Las rocas intrusivas constituyen menos del 0.5 % de los depósitos de Carlin y de Hardie Footwall. Se trata de delgados diques de andesitas y latitas de diferentes orientaciones, que, como las fallas, a veces cortan y limitan, otras veces hacen subir la ley de las zonas auríferas.

Es claro por lo que precede que este depósito es epigenético, estratiforme y que ha sido controlado esencialmente por la estratigrafía.

9.2.2 Depósito Deep Star

Este depósito se encuentra en el otro extremo del espectro tipológico.

Hace parte de un conjunto de brechas con altos valores auríferos (Deep Star, Deep Post and Purple Vein) en la terminación Norte del "tren" Carlin, en proximidad de la intrusión granítica de Goldstrike.

El depósito de Deep Star está conectado por dos "inclines" con el tajo abierto de Génesis. En planta tiene apenas 75 m x 100 m. Se encuentra a la profundidad de 350 a 500 m, encontrándose entre ramales de alto ángulo de la falla Génesis.

El depósito consiste de una brecha de cuarzo-dolomía-kaolinita con sulfuros desarrollada en mármoles, rocas calcosilicatadas y un exoskarn entre lóbulos de una diorita propilitizada del complejo intrusivo de Goldstrike,

La mineralización aurífera corresponde a zonas de alteración con cuarzo, dolomías y arcilla, con un contenido de sulfuros, arsenopirita aurífera y marcasita, de hasta 18% en peso.

Algo de carbón aparece en forma de grafito.

Las masas de brecha se interpretan como productos de disolución y reemplazamiento de mármoles, rocas calcosilicatadas y skarn. Al techo del depósito aurífero ocurren pirita, dolomía y siderita, pero no Au.

Una deformación penetrativa por cizalla y una fracturación muy avanzada de los fragmentos de las rocas que lo contienen y constituyen atestiguan que *el depósito aurífero tuvo esencialmente un control estructural.*

De nuevo conviene apotar que son características que no hemos encontrado en los depósitos sonorenses objeto del presente estudio.

9.3 GÉNESIS DE LOS DEPÓSITOS DE TIPO CARLIN DE NEVADA, USA

Para completar la comparación entre los depósitos sonorenses aquí estudiados y los depósitos de tipo Carlin de Nevada, USA, conviene preguntarse y tratar de elucidar la génesis de estos últimos.

Ya hemos visto que los depósitos Carlin de Nevada, USA son epigenéticos e hidrotermales. Hemos visto también que se emplazaron, bajo controles estratigráficos y/o estructurales, después de la estructuración definitiva

durante el ciclo Oregoniano ("Mesocretácico") de los cuerpos alóctonos (Napas Robert Mountain y Napa del Overthrust Belt) que lo contienen.

Langstaff (2001) estableció lo siguiente: (a) las profundidades hidrostática y litostática estimada para los depósitos tipo Carlin son de 8 a 14 km y de 3.5 a 5.5 km respectivamente; y (b) temperaturas de 175 a 250 °C, como las determinadas para estos depósitos, se encuentran hoy día en el Great Basin a una profundidad de 6 a 10 km. Entonces, si la génesis de los depósitos tipo Carlin depende esencialmente de los parámetros presión y temperatura, el flujo de calor necesario no puede ser explicado por el emplazamiento de plutones félsicos locales. Pero un flujo de calor puede ser explicado por la subida de un penacho astenosférico con una consiguiente acreción magmática subcortical e intrusiones máficas en la corteza media.

Este concepto es importante porque permite poner en toda su luz una interpretación geológica moderna según la cual el área de Carlin se encuentra exactamente en el codo, que se produjo en el Eoceno-Oligoceno (43-34 Ma), en la trayectoria del punto caliente (hotspot) del Yellowstone (Figs. 32 y 33).



Figura 32.- Trayectoria del Hotspot de yellowstone

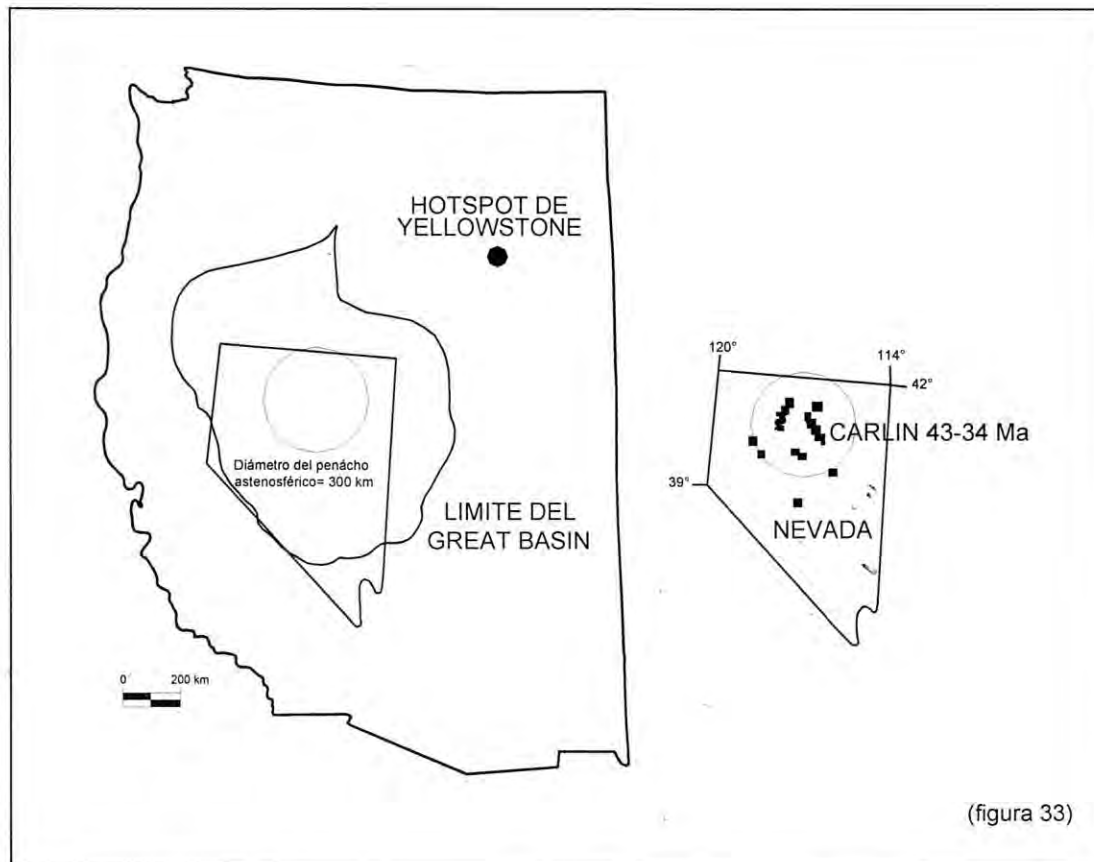


Figura 33.- Diámetro del penacho astenosférico donde se encuentran los Depósitos Tipo Carlin.

Como se observa en la Fig. 33 en el área de Carlin ha sido reconocido para este penacho un diámetro de 300 km, dentro del cual se encuentran todos los depósitos de tipo Carlin. Un punto caliente puede perfectamente ser equiparado a una subida astenosférica, un penacho que subió desde el límite núcleo-manto, una región que se considera como anormalmente rica en Au y en elementos moderadamente siderófilos asociados con los depósitos auríferos. Esta del punto caliente de Yellowstone es la única hipótesis genética que da razón de todos los hechos observados.

Hay que anotar que nada parecido se encuentra en correspondencia de los depósitos sonorenses aquí estudiados. Por lo tanto no es posible, ni útil, aplicar los conocimientos adquiridos en el estudio de los yacimientos tipo Carlin de Nevada, USA, a la interpretación de dichos yacimientos sonorenses.

9.4 COMPARACIÓN CON LOS DEPÓSITOS DEL DISTRITO MINERO DE MACMILLAN PASS, YUKON, CANADÁ

El área del Macmillan Pass es un distrito minero localizado en la parte Este del Yukon, Canadá, 400 km al noreste de Whitehorse, aproximadamente 10 km desde el borde de los Northwest Territories y 220 km al noreste de Ross River por el Camino de Canol (Fig. 34).

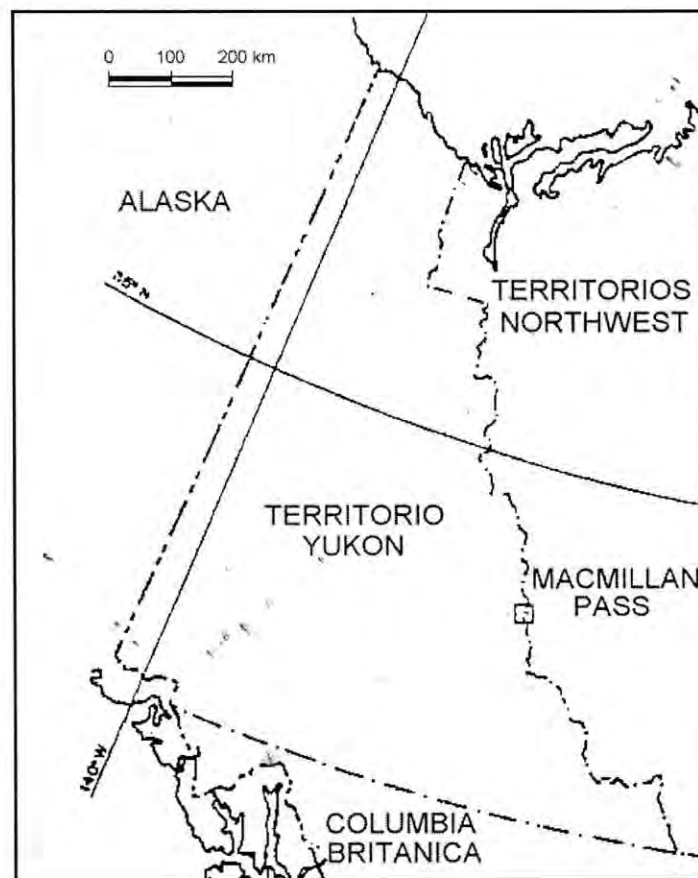


Figura. 34.- Localización del Distrito Minero Macmillan Pass en el Territorio Yukon, Canadá.

Indicaremos a continuación las características más significativas de los principales depósitos del Distrito:

Los datos que aquí presentamos sobre estos depósitos han sido resumidos de una compilación elaborada para el Servicio Geológico de Canadá por *Abbott and Turner, MINFILE (1997)*.

El distrito de Macmillan Pass contiene, además de 13 depósitos de barita estratiforme, los depósitos estratiformes de Zn-Pb-Ba hospedados en rocas sedimentarias de Tom, Jason y Boundary Creek, de los cuales los dos primeros presentan las características típicas de las mineralizaciones de tipo SEDEX.

Los depósitos de Tom y Jason son de tamaño mediano.

9.4.1 El depósito Tom consiste en efecto de tres cuerpos mineralizados estratificados (Tom East, Tom West and Tom Southeast) de Pb-Zn-Ag – barita. Los tres cuerpos se interpretan como depositados en un graben estrecho que contenía dos sub-cuencas separadas por un horst (que sucesivamente se volvió un anticlinal). Este depósito tiene recursos de 15.7 Mt con un promedio de 7% Zn, 4.61% Pb, 49.1 gr/Ton de Ag y reservas de 9.3 Mt con 69.4 g/Ton Ag, 7.55 Pb and 6.2% Zn usando una ley de corte de 7% Pb-Zn combinados, con una recuperación del 90% y un factor de dilución (dilution factor) del 15%.

9.4.2 El depósito Jason, que se encuentra a unos 5 km al Noreste del depósito de Tom, es un depósito estratiforme de Pb-Zn-Ba que consiste de dos lentes estratiformes de galena, esfalerite y pirita. Estudios detallados han mostrado que este depósito ocurre en el mismo nivel estratigráfico que el de Tom.

9.4.3 El depósito de Boundary Creek, que se encuentra a unos 15 km al Noroeste del depósito de Jason, se considera todavía como un prospecto. Se trata de un depósito de gran volumen y baja ley de Zinc, al cual faltan muchas de las características de las mineralizaciones SEDEX.

Se formó al mismo tiempo que los depósitos Tom y Jason, pero en un ambiente mucho más volcánico y de más intenso tectonismo que aquellos.

Se caracteriza por una intensa alteración hidrotermal; la presencia de abundantes tobas básicas, la resedimentación de abundantes tobas básicas, una importante resedimentación en conexión con fallas sindeposicionales del Devónico Tardío, y la ausencia de sulfuros laminares. Los productos de alteración son una silicificación, vetas de sulfuros de reemplazamiento, carbonatos de hierro, cuarzo y algo de sericita.

Se entiende que en este caso los metales precipitaron abajo del piso marino y no sobre este piso como en los casos anteriores.

El depósito está relacionado con una falla sinsedimentaria que muestra una fuerte zoneación vertical y textural. A profundidad ocurre una brecha. Esa falla sindeposicional determinó la localización de erupciones basálticas y el conducto de los fluidos hidrotermales.

La mineralización está interpretada como una variante epigenética del tipo SEDEX.

El depósito tiene recursos de 14.1Mt con 7.09% Pb, 6.57% Zn y 79.9 gr/T de Ag.

Los depósitos de Macmillan Pass están hospedados en rocas carbonatadas y siliciclásticas del Devónico al Mississípico (Grupo Earn) de la Cuenca Selwyn que incluye una secuencia de basaltos alcalinos.

Las facies siliciclásticas son conglomerados y areniscas turbidíticas con guijarros de pedernal, limolitas (mudstone) carbonosas con pedernales que contienen radiolarios, areniscas de cuarzo micaceas, limolitas y lutitas de origen marino de aguas poco profundas.

Los basaltos e intrusiones relacionadas son del Devónico y ocurren principalmente en la base del Grupo Earn, pudiendo estar interestratificados con sus miembros clásticos gruesos. Estos basaltos contienen lentes de calizas en las cuales se han encontrado Conodontos del Devónico Medio. La actividad basáltica ha sido en parte anterior y en parte contemporánea de la formación de

los depósitos de Zn-Pb y está espacialmente asociada con ellos, indicando así un vínculo entre los depósitos estratiformes hospedados en los sedimentos y los procesos ígneos. A través de todo el distrito, excepto en el depósito Boundary Creek donde están completamente sideritizadas, las rocas volcánicas son carbonatizadas.

Las formaciones del Grupo Earn presentan un metamorfismo de bajo grado, un plegamiento y fallamiento sencillos, producto de una deformación Mesozoica (Jurásico y Cretácico).

Gracias a esto, las relaciones litológicas, estructurales y texturales entre los diferentes rasgos característicos del depósito de salmueras metalíferas en un ambiente sedimentario exhalativo han sido preservadas.

La distribución de las rocas volcánicas, de las rocas clásticas gruesas y de las brechas sedimentarias así como el desarrollo de los puntos de salida y las facies de mena distales, las texturas y los zoneamientos han sido controlados por un fallamiento sinsedimentario.

Las texturas sedimentarias y los rasgos de deformación de sedimentos blandos son preservados. Las venas de sulfuros masivos y las marcas de la alteración debida al flujo de fluidos a través de puntos de salida complejos son centrados en las fallas sindeposicionales, que de hecho permiten definir. La mineralización gradúa lateralmente a mena finamente estratiforme. La mena es zoneada, tanto en distribución de facies como en contenido de metal.

Las rocas que contienen los depósitos hacen parte del Cinturón Plegado Macmillan (Macmillan Fold Belt), de orientación Oeste, mientras que el grano estructural regional es de orientación Noroeste.

Se admite que dicho Cinturón Plegado corresponde a una zona de fallas profundas del Devónico en la cual ocurrieron cambios de facies en el Grupo Earn y que reaccionó de manera propia a la deformación Mesozoica.

Con base en contrastes estratigráficos y de estilo tectónico el Cinturón en cuestión ha sido dividido en tres bloques estructurales: *Bloque Norte*, *Bloque Central* y *Bloque Sur*. Para nosotros, el más importante es el **Bloque Central** que contiene las mineralizaciones que nos interesan.

El **Bloque Central** se interpreta como un graben (cuenca de segundo orden) Devónico, que fue rellenada primero por depósitos turbidíticos gruesos y conglomerados con guijarros de pedernal y sucesivamente por espesos depósitos de lodolitas carbonaceas, con pedernal y barita.

Los sedimentos son considerablemente mas espesos en el graben mismo y gradúan lateralmente a facies más delgadas en los horsts que lo delimitan al Norte y al Sur. Donde fallas secundarias sindeposicionales de rumbo Norte interactuaron con las de rumbo Este que limitan el graben nacieron localmente *cuencas pull apart*, que son *cuencas de tercer orden*. Este fallamiento sindeposicional complejo produjo lo siguiente: (a) dio origen a sedimentos muy gruesos y a que de los escarpes se liberaran coladas de barro; (b) determinó la localización de los centros volcánicos del Devónico y consiguientemente, (c) de los conductos hidrotermales que depositaron los metales.

Durante el Jurásico Tardío-Cretácico ocurrieron tres fases de plegamiento y fallamiento, con la segunda de las cuales están asociadas también fallas de empuje de bajo ángulo. El Bloque Central ha sido afectado entonces por pliegues abiertos y fallas normales, mientras que pliegues cerrados y cabalgamientos son evidentes en los Bloques Norte y Sur. La estructura de las áreas mineralizadas es además complicada por la deformación sindeposicional.

En el Bloque Central, se encuentran *tres áreas de depósitos de sulfuros* asociadas con sus cuencas pull apart (cuencas de tercer orden) a lo largo de una corrida o "tren" de 16 km, donde los espesores de los sedimentos aumentan significativamente.

Sulfuros masivos, vetas, y alteraciones hidrotermales marcan el flujo de fluidos a través de respiraderos complejos que están centrados en, y ayuda a

definir, fallas sindeposicionales. La mineralización es zoneada tanto en la distribución de las facies como en el contenido metálico. La mineralización masiva y brechada gradúa lateralmente a menas finamente estratificadas. Las facies proximales de respiradero son generalmente de leyes más altas, consisten de galena, esfalerita y barita que pueden ocurrir junto con pirita, pirrotita, arsenopirita, calcopirita y tetrahedrita, además de carbonatos de hierro y de bario. Abundante siderita en los conglomerados con guijarros de pedernal en las cercanías de los depósitos de sulfuros sugiere que el conglomerado actuó como un acuífero para los fluidos hidrotermales.

*De los depósitos sonorenses que motivaron el presente trabajo los depósitos argentíferos de San Cristóbal - Noche Buena - Mina del Río e Hidalgo-Las Prietas son bastante parecidos a los de Macmillan Pass por su **contenido mineralógico** (galena, esfalerita y barita que ocurren junto con pirita, pirrotita, arsenopirita, calcopirita y tetrahedrita con contenidos de Ag).*

Habiendo podido establecer este parecido, conviene examinar con más precisión la geometría de los cuerpos mineralizados del Macmillan Pass para seguir comparando con ellos los de Sonora tema del presente estudio.

El **depósito Tom** consta de tres cuerpos mineralizados o zonas: **Tom West zone, Tom East zone y Tom Southeast zone.**

El cuerpo mineralizado (o zona) **Tom West** es un cuerpo concordante tabular de 1000 m de largo, de hasta 40 m de espesor, que se desarrolla por 360 m (de los cuales 300 m con mineralización económica) en el sentido del echado hasta terminar en un respiradero complejo. A partir del respiradero el cuerpo presenta una zonación mineralógica y de contenido metalífero muy marcada. Sus minerales principales son: pirita, pirrotita, galena argentífera, esfalerita, calcopirita, arsenopirita y tetrahedrita.

El cuerpo mineralizado (o zona) **Tom East** es una capa afectada por un pliegue anticlinal con barita, esfalerita y galena argentífera. Mientras que el cuerpo mineralizado (o zona) **Tom Southeast** es un cuerpo concordante

tabular de 400 m de largo, de un espesor de entre 0.5 hasta 6 m, que se extiende por un mínimo de 350 m según el echado.

El **depósito Jason** consiste de:

- (a) dos lentes de galena, esfalerita y pirita estratiformes que se encuentran en dos diferentes niveles clásticos de la secuencia estratigráfica local, afectadas junto con esta última por un pliegue sinclinal: son las **zonas o cuerpos mineralizados South y Main**; de estas dos lentes, que juntas las dos lentes totalizan 9 Mt de un mineral con 9.4% Pb, 5.2 % Zn y 119 gr/T Ag, la superior se encuentra en ambas alas de dicho sinclinal mientras que la inferior solo ocurre en su ala meridional;
- (b) del **cuerpo mineralizado o zona End** que es un depósito epigenético de poco volumen (0.54 Mt) y alta ley (Pb 10.3%, Zn 2.78 % y 80 gr/T Ag).

10.0 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Ya sea hablemos del depósito Tom o del depósito Jason las dimensiones y las actitudes de los cuerpos mineralizados, son perfectamente compatibles, además que por su contenido mineralógico, con los datos geométricos que se pudieron deducir para los cuerpos mineralizados argentíferos sonorenses considerados en el presente estudio.

En realidad, analizando la situación se llega fácilmente a la conclusión de que las diferencias entre los **yacimientos considerados del Yukon (Macmillan Pass) y de Sonora Central** está esencialmente en el grado de deformación de las secuencias que los contienen: plegamiento blando de las secuencias del Yukon, aplastamiento (esquistosidad) y grandes cizallas que dieron lugar a napas de las secuencias sonorenses.

En el caso del Yukon están conservados todos los términos del sistema hidrotermal en ambiente sedimentario – o SEDEX (sedimentario-exalativo) –

desde los términos inferiores netamente epigenéticos, que cortan las capas que los contienen, hasta los términos superiores, sedimentarios o singenéticos interestratificados concordantemente en las rocas encajonantes.

De los yacimientos de Sonora, solamente en el caso del *Au de la Napa San Antonio* es posible, interpretando los datos de campo, postular una relación entre el Au epigenético de la estructuras cortantes que afectan la Cuarcita Soporoba y los depósitos estratiformes singenéticos de La Montaña de Oro y de El Gallo de Oro.

En todos los otros casos solamente los términos concordantes singenéticos han sido conservados habiendo perdido, debido a las cizallas y a los traslados tectónicos consiguientes, toda relación con los términos epigenéticos.

Entonces, y esto es lo importante, aparece claramente una similitud fundamental entre los yacimientos SEDEX del Macmillan Pass, Yukon con los argentíferos, que hemos llamado "yacimientos hidrotermales en ambiente sedimentario" (Pelissonnier, 1995), de Sonora, como ya lo sugería la ocurrencia en ambos grupos de depósitos estratiformes de barita.

A partir de esta conclusión es posible avanzar en una interpretación genética para los yacimientos sonorenses en cuestión, incluyendo en ellos por analogía a los yacimientos auríferos.

Se ha visto, por un lado, que los depósitos del Macmillan Pass, Yukon, están relacionados con un magmatismo alcalino, es decir con un magmatismo ligado a una distensión, que llevó al nacimiento de cuencas profundas.

Se ha visto, por otro lado, que los yacimientos sonorenses considerados también se encuentran en rocas de cuencas marinas por lo menos en parte profundas, como lo indican, por ejemplo, sus grandes espesores de pedernales.

Así, también si no se ha encontrado en el área considerada ninguna roca ígnea asociada con las mineralizaciones estudiadas, parece permitido suponer que dichas mineralizaciones están asociadas con un magmatismo básico

profundo del cual algunos afloramientos parecen existir, sin embargo, a unos 15 Km al ESE (Rodríguez, Torres., com. pers.).

Si son correctas, de estas conclusiones es posible deducir por lo menos, las dos importantes consideraciones que siguen.

(1) En las mineralizaciones sonorenses consideradas existe una zoneografía tiempo-espacial, ligada probablemente, por un lado, a la evolución del magmatismo que las generó y/o, por el otro lado, a la situación paleogeográfica del contenido de las diferentes napas actuales. Esta zoneografía tiempo-espacial se manifiesta claramente en las dos etapas de la mineralización: una primera etapa aurífera, seguida por una etapa argentífera.

Modelo geológico de las mineralizaciones de Sonora central (Fig. 35).

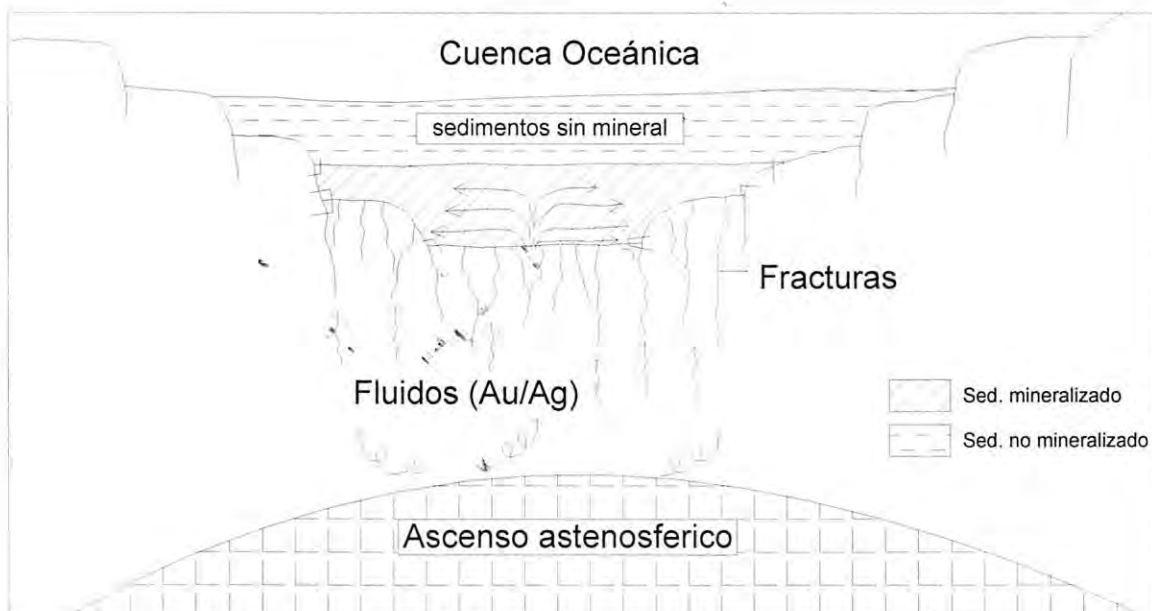


Figura 35.- Modelo geológico esquemático de las mineralizaciones de Sonora central.

(2) El volumen de los cuerpos mineralizados sonorenses aquí considerados puede ser importante. Lo sugiere el hecho de que el tonelaje promedio de los yacimientos hidrotermales en ambiente sedimentario, o yacimientos SEDEX, del mundo es de 15 Mt (con el 10% de los depósitos con un volumen en exceso de 130 Mt) con unas leyes promedio, para los

argentíferos, de 2.8% Pb, 5.6% Zn y 30 gr/T de Ag. Se trata de un volumen ampliamente posible en el marco geológico reconocido; y, por los datos colectados, de leyes en realidad mínimas para los cuerpos considerados.

¿Cuánto de este posible volumen mineralizado habrá sobrevivido a la abrasión tectónica relacionada con el traslado de las napas? y ¿cual parte de este posible volumen presenta una morfología que permita una explotación industrial dentro de términos aceptables de dilución?

Estas preguntas podrán ser contestadas solamente después de efectuar una campaña de Geofísica seguida de una campaña de barreñación.

Bibliografía

- Abbott y Turner, MINFILE (1997), YTG Yukon Mineral Property Update, (2001). Turner (1990), Goodfellow and Rhodes, (1990), Bailes et al (1983), McClay and Bidwell (1983), con contribuciones de Rhodes, D. and Stroshein, R. (com. pers.). Yukon Geological Survey-Macmillan Pass, y son disponibles en:
http://www.geology.gov.yk.ca/metallogeny/Selwyn/macpass_text.html
http://www.geology.gov.yk.ca/metallogeny/selwyn/macpass_ind_deposits.html
- Alencaster de Cserna, G., 1961, Estratigrafía del Triásico Superior de la parte Central del Estado de Sonora, *Paleont. Mexicana, Instituto de Geología, UNAM.*, parte 1, 18 p.
- Anderson, G.M., 1975, Precipitation of Mississippi – Type Ores. *Econ. Geol.*, 70: p 937-942.
- Araux Sánchez, E., Vega Granillo, R., 1985, Geología y yacimientos minerales de La Sierra La Campanería, Municipio de Bacanora, Sonora Central. Tesis Profesional, *Depto. de Geol., UniSon.*, Hermosillo, Sonora, México, 159 p.
- Barrera Moreno, E., Domínguez-Perla, J.E., 1987, Geología de la Carta Tonichi H12D65, porción central del Estado de Sonora, con énfasis en el Paleozoico, Tesis profesional, *Depto. de Geol., UniSon.*, Hermosillo, Sonora, México, 50 p.
- Calles Montijo, R., 1999, Evolución tectonosedimentaria de las cuencas terciarias: Porción Sur Cuenca de Ures y Punta de Agua, Sonora Central, México, Tesis Maestría, *Depto. de Geol., UniSon.*, Hermosillo, Sonora, México., p. 63-95.
- Clark, K. F., Damon, P., Islas L. J., 1981, Geology and Mineral Deposits of Southern Sonora and the Sonora Sierra Madre Occidental, *Geological Society of America, Cordilleran Section*, Estación Regional del Noroeste, *Instituto de Geología, UNAM.*, Hermosillo, Sonora, México, p. 367-426.
- Cochemé J. J., 1985, Le Magmatisme Cénozoïque dans Le-Nord-Ouest du Mexique cartographic de la région de Yecora-Maicoba-Mulatos Illustration magmatique de la fin d'un régime en subduction et du passage a un régime distensit., *Thèse doctorat Déat, Univ. D'aix-Marseille*, p. 209.

- Damon, P. E., Shafiqullah, M., Roldán, J., Cocheme, J.J., 1983, El Batolito Laramide de México., A. C., Mem. Guadalajara, p. 63-95.
- Dórame-Navarro, M. A., 2003, Orogenias Nevadiana y Oregoniana en el Noroeste de México, Tesis de Maestría, *Depto, de Geol., UniSon.*, Hermosillo, Sonora, México, 154 p.
- García Cortez, J. A., 2003. Geología y yacimientos minerales de la Carta Tecoripa, Escala: 1:250,000; Estado de Sonora y Chihuahua, Tesis Profesional, *Depto. de Geol., UniSon.*, Hermosillo, Sonora, México, 50 p.
- Groves, David A., 2003. End Members of the deposit spectrum on the Carlin Trend: examples from recent discoveries, *Ministry of Energy & Mines* [http://www.em.gov.bc.ca/Mining/Geosurv/MetallicMinerals/depmodel/3-ausk.HTM.](http://www.em.gov.bc.ca/Mining/Geosurv/MetallicMinerals/depmodel/3-ausk.HTM), *B.C. Geological Survey, Newmont Exploration Limited*, p. 2.
- Himanga, J. C., 1977, Geology of the Sierra Chiltepin, Sonora, Mexico. M. S. Th., Northern Arizona University.
- Hofstra H. A., Christensen D. O., 2002, What is a Carlin-type Ore Body? Taken from: Comparison of Carlin-type Au Deposits in the United States, China, and Indonesia: Implications for genetic models and exploration, USGS, p. 1-3.
<http://www.caledonresources.com/project/information/usgsreport>
- Ketner, K., 1986, Eureka Quartzite in Mexico – tectonic implications: *Geology*, vol. 14, p. 1027-1030.
- King, S., 1999, Mineral Systems in the Tecoripa Quadrangle (H12-12), *MagmaChem Exploration Inc.*, Bellevue, WA.
- McDowell, F. W., Roldán-Quintana, J. & Amaya-Martínez, R., González, C., 1994, The Tarahumara Formation, a neglected component of the Laramide magmatic arc in Sonora, GEOS, *Unión Geofísica Mexicana*. Bol. Epoca II, vol, 14, núm. 5, p 76-77.
- Navarro Herrera, A. G., 2003, Introducción a las mineralizaciones del Valle del Río Yaqui (Napa Soyopa y San Antonio) en el área Rebeico-Soyopa-San Antonio, Tesis de Licenciatura, *Depto, de Geol., UniSon.*, Hermosillo, Sonora, México, 54 p.
- Pelissonnier, H., 1995, Les Gisements Minéraux Hydrothermaux en Contexte Sédimentaire, *Bulletin de la Société belge de Géologie*. T. 104 (3-4), p. 199-244.

- Pérez Ramos, O., 2001, Bioestratigrafía del Pérmico en Sonora y consideraciones Paleogeográficas, Tesis Doctoral, *Postgrado Ciencias de la Tierra, UNAM.*, México D. F., 173 p.
- Radelli, L., Menicucci, S., Mesnier, H. Ph., Araux, E., Calmus, T., Amaya M., R., Barrera M., E., Domínguez P., E., Navarro M., L., Soto C. L., 1987, Allochthonous Paleozoic bodies of Central Sonora, *Bol. Depto. de Geol., UniSon.*, vol. 4, núm. 1 y 2, p. 1-15.
- Radelli, L., Desmons, J. & Castro-I, T., 1993. The rotation of Laurenita and the Nevadian Orogeny of NW México and SW USA., *Bol. Depto de Geol., UniSon*, vol. 4, núm. 1, p. 63-110.
- Radelli, L., 1998, El arco magmático de Sonora y sus mineralizaciones, *III Seminario Minero 2000, A.I.M.M.G.M.A.C.*, p. 81-96.
- Roure, F., 1984, Une coupe géologique de Golconda Au Pacifique (Oregon, Nord-Ouest du Nevada, Nord de la Californie): Evolution Mésozoïque et Cénozoïque de la Marge Ouest-Américaine, Tesis Doctoral, *Académie de Paris, Université Pierre et Marie Curie*, Paris Francia, 131 p.
- Soto Contreras, L. A., Navarro-Martínez, L. A., 1987, Geología de la Carta Tecoripa H12D64, porción Este Central del Estado de Sonora, nuevas contribuciones al Paleozoico, Tesis profesional, *Depto de Geol., UniSon.*, Hermosillo, Sonora, México., 73 p.
- Sverjensky, Dimitri A., 1986, Genesis of Mississippi Valley-Type lead-zinc deposits., *Department of Earth and Planetary Sciences, The Johns Hopkins University, Baltimore, Maryland.*, p. 177-197.
- Valenzuela-Rentería, M., 2003, Sistema Riedel en evolución tectónica terciaria de Sonora, México., Tesis Maestría, *Depto. de Geol., UniSon.*, Hermosillo, Sonora, México. 105 p.
- Vega R., 1996, La Sierra de Mazatán, Sonora, México: Geología y Análisis Estructural de un Complejo Metamórfico en la parte Sur de la provincia de "Basin and Range". Tesis de Maestría, *Depto. de Geol. UniSon*, Hermosillo, Sonora, México., 128 p.
- Vega R^a., Calmus, T^b., 2003, Mazatan metamorphic core complex (Sonora, Mexico): Structures along the detachment fault and its exhumation evolution., *Journal of South America Earth Siences.*, *Depto. Geol., UniSon, Instituto de Geología, Estación Regional del Noroeste, UNAM*, p. 193-204.