

UNIVERSIDAD DE SONORA

MAESTRIA EN CIENCIAS GEOLOGIA
"YACIMIENTOS MINERALES"

TESIS

**EVIDENCIAS DE DOS ETAPAS DE MINERALIZACIÓN DE ORO
MESOTERMAL EN LAS AREAS DE TAJITOS, JUÁREZ-SAN FRANCISCO,
EN LA REGION DE CABORCA, SONORA MÉXICO.**

Presentada para obtener el Título de:

MAESTRO EN CIENCIAS

Por:

Omar Noriega Martínez

Sinodales:

Dra. Diana M. Meza Figueroa
PDr. Efrén Pérez Segura
Dr. Víctor Valencia
Ing. Luis Felipe Novelo López
Dr. Lucas Hilario Ochoa Landín

Septiembre, 2006

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

AGRADECIMIENTOS

Mis agradecimientos a CONACYT y a la UNIVERSIDAD DE SONORA por otorgar mi beca para realizar mis estudios y por fomentar una cultura educativa de nivel a jóvenes con interés de superarse.

Un agradecimiento con respeto al personal docente del Departamento de Geología y Maestría en Ciencias Geología por su enseñanza académica y apoyo incondicional.

Mis respetos y sinceros agradecimientos a mis sinodales Dra. Diana M. Meza, PDr. Efrén Pérez Segura, Dr. Victor Valencia, Ing. Luis F. Novelo por sus valiosos comentarios y aportaciones respecto al manuscrito; se los agradezco enormemente.

A mi asesor y amigo Dr. Lucas Hilario Ochoa Landín, con mucho respeto le agradezco ante todo su amistad y la capacitación académica que me brindo en Licenciatura y ahora en Maestría; me quedo para siempre con su atinada enseñanza, pero sobre todo con la formación con ética que usted dignamente nos ha heredado. Gracias.

Agradezco con mucho respeto a la empresa Peñoles, en especial al Ing. Luis F. Novelo por ser mi guía profesional y sobre todo por su apoyo incondicional en varios aspectos de mi vida. Agradezco enormemente a los Ingenieros Carlos Díaz de León y Benito Noguez A. por su apoyo absoluto desde el inicio de mi tesis y por apoyarme en mi desarrollo profesional, gracias.

Con mucho respeto agradezco a la Universidad de Arizona, en especial a mis amigos PDr. Rafael del Rio Salas y Dr. Victor Valencia, quienes dirigidos por el Dr. Joaquín Ruiz me brindaron su valioso apoyo en los diversos estudios de geoquímica de mi tesis.

A todos mis amigos y compañeros de Exploración que laboran en la Unidad La Herradura, en especial a mi amigo y líder Ing. Martín López M, mis amigos Ramsés A. Tarazón P, Genaro Verdugo N y Alfonso Ornelas, les agradezco todo su apoyo, sobre todo gracias por su amistad.

A mis padres, no existen palabras para agradecerles su amor, respeto, su confianza en mi y sobre todo el apoyo incondicional que me han brindado en cada aspecto de mi vida, sin embargo les doy las gracias porque han sido y serán siempre mi ejemplo a seguir. A mis hermanos les agradezco su respeto y apoyo que me ha permitido culminar con esta etapa de mi vida.

A mi esposa hermosa María Cristina, mi fuerza, mi guía; te agradezco tu amor, dedicación y paciencia, sobre todo tu respeto e impulso que me permite continuar firmemente en cada proyecto de mi vida. Gracias por permitirme formar a tu lado una hermosa familia como la nuestra, GRACIAS.

CONTENIDO

	Página
RESUMEN	1
I. INTRODUCCION	2
I.1. Localización y vías de acceso	3
I.2. Fisiografía y Geomorfología	4
I.3. Metodología	4
II. MARCO GEOLOGICO-TECTONICO REGIONAL	7
II.1. Marco Geológico Regional	7
II.2. Marco Tectónico Regional del NW de México	13
III. GEOLOGIA DE LAS AREAS ESTUDIADAS	17
III.1 Tajitos	17
III.1.1. Complejo Metamórfico	17
III.1.2. Secuencia Volcanosedimentaria	24
III.1.3. Diorita	25
III.1.4. Leucogranitos	26
III.1.5. Lamprófidos	27
III.2. Depósito Juárez-San Francisco	30
III.2.1. Conjunto volcánico	30
III.2.2. Diorita	32
III.2.3. Arenisca	35
III.2.4. Dique andesítico	36
IV. Geología estructural y edad de la deformación	38
IV.1. Tajitos	38
IV.2. Juárez-San Francisco	43
V. Geotermometría y barometría	45
VI. Estudio geoquímico (Análisis químico mineral)	62
VI.1. Petrografía y composición de cloritas asociadas a las vetas vetas de cuarzo	62
VII. Geoquímica de oro	65
VIII. Estudio de microscopio de barrido electrónico	70
IX. Alteración hidrotermal	73
X. Discusión	74
XI. Edad de la mineralización	76
CONCLUSIONES	78
Referencias	80
Anexo. Tabla de calculo de T °C mediante Al IV en cloritas	85

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Plano de Localización	6
Figura 2. Plano geológico regional	12
Figura 3. Plano geológico de Tajitos	20
Figura 3.a. Secciones geológicas de Tajitos	21
Figura 3. Plano y sección geológica de Juárez-San Francisco	33
Figura 3.a. Sección geológica de Juárez-San Francisco	34
Figura 4. Diagrama del comportamiento estadístico de las temperaturas de homogenización (T_{htot}) de inclusiones fluidas de la veta TJ-2	51
Figura 5. Diagrama de distribución estadística de $ThCO_2$ de las inclusiones Trifásicas primarias de la muestra TJ-1	51
Figura 6. Diagrama de comportamiento estadístico de T_{htot} de la muestra TJ-1	52
Figura 7. Comportamiento estadístico de la T_{htot} de la muestra VT-1	55
Figura 8. Comportamiento estadístico de las $ThCO_2$ de las inclusiones trifásicas pertenecientes a la muestra VT-1	55
Figura 9. Diagrama discriminatorio de densidades de inclusiones fluidas	58
Figura 10. Diagrama discriminatorio de presiones (presión vs TH)	58
Figura 11. Diagrama discriminatorio de presiones (densidad vs TH)	59
Figura 12. Representación gráfica de las temperaturas de homogenización (T_{htot}) de la muestra TJ-2, depósito de tajitos	61
Figura 13. Diagrama discriminatorio Al (IV) vs temperatura de cristalización de cloritas	64
Figura 14. Diagrama de clasificación de Hey (1954) para cloritas del área Tajitos	64
Figura 15. Diagrama binario de Au vs Ag de los depósitos estudiados	67
Figura 16. Diagrama binario de Au vs Cu de los depósitos estudiados	67

FOTOGRAFIAS

	Página
Imagen 1. Vetas de cuarzo cortan a las rocas metamórficas de Tajitos	22
Imagen 2. Microfotografía de gneis con evidencia de hidrotermalismo	22
Imagen 3. Microfotografía de gneis granítico	23
Imagen 4. Fotografía ilustrando la petrografía de la diorita con luz polarizada	29
Imagen 5. Veta de cuarzo en contacto con dique lamprofidico (?)	29
Imagen 6. Fragmento de riolita dentro del aglomerado de Tajitos	37
Imagen 7. Pliegues en secuencia volcanosedimentaria	41
Imagen 8. Fragmento de riolita de secuencia volcanosedimentaria afectado por dos eventos de deformación	41
Imagen 9. Micropliegues en pórfido riolítico, indicando evento compresivo	42
Imagen 10. Distribución tridimensional de inclusiones fluidas trifásicas primarias (L+V+CO ₂) de la muestra TJ-2 del depósito Tajitos	49
Imagen 11. Plano de inclusiones bifásicas secundarias (L+V), muestra TJ-2 del depósito de Tajitos	49
Imagen 12. Microfotografía de oro con elementos asociados en estudio de barrido electrónico.	71
Imagen 13. Microfotografía donde se observa Ag, Al y Si asociado a Au de Tajitos	72

RESUMEN

La región noroeste del Estado de Sonora, se caracteriza por contener una serie de depósitos con mineralización de oro, considerada por varios autores como un cinturón metalogénico con orientación NW-SE que se extiende desde Santa Ana hasta Sonoyta, Sonora. Las dimensiones de los distintos depósitos pueden considerarse variadas, sin embargo, las características genéticas de algunos de ellos parecen ser similares, entre los que se encuentran Tajitos, Juárez- San Francisco entre otras.

La mineralización de oro en el área de Tajitos, Juárez-San Francisco se encuentra hospedada en rocas cristalinas, volcánicas de composición intermedia a félsica y volcanosedimentarias, de edad Jurásica, presentando moderada a fuerte deformación, con una marcada foliación NW-SE. La mineralización en esta área se presenta en forma de vetas de cuarzo de dos tipos: 1) vetas de cuarzo color verde pistache, deformadas e intercaladas dentro de la secuencia metamórfica y; 2) vetas cuarzo blanco lechoso que cortan a las rocas metamórficas. Generalmente las vetas son de alto ángulo con orientación preferencial NW50°- SE 60° con inclinación al S coincidiendo con fallas normales.

Estudios de inclusiones fluidas en las vetas de cuarzo deformadas de color verde pistache, indican temperaturas de homogenización (Th) de 350-400°C; para las vetas de cuarzo blanco indican Th de 300-340°C, con inclusiones bifásicas secundarias de <300°C en ambas vetas. El análisis barométrico determinado mediante las temperaturas de homogenización, indican una presión promedio de 1.2 Kbars para las vetas de cuarzo deformadas, correspondiendo a una profundidad de ~3.5 - 4 km de formación.

El estudio geoquímico con microsonda electrónica y geotermobarometría aplicado a cloritas asociada en rocas metamórficas, indica composición de ripidolita con temperaturas

del orden de 300-320°C; y el estudio de cloritas asociadas al evento hidrotermal de las vetas de cuarzo blanco lechoso dieron una composición de Pycnoclorita con temperaturas de 320-370° C.

Las videncias de campo, respaldadas con estudios geoquímicos sugieren una relación estrecha entre metamorfismo y mineralización de oro en las vetas deformadas; en cambio, las vetas de cuarzo blanco, que cortan a las vetas y rocas deformadas en el área de Tajitos, podrían corresponder a una etapa tardía de hidrotermalismo, posiblemente de edad Terciaria.

I. INTRODUCCION

La región noroeste del Estado de Sonora que constituye parte de la provincia fisiográfica del desierto sonorense, se caracteriza por contener una serie de depósitos con mineralización de oro, considerada por varios autores de formas distintas; por ejemplo, Silberman (1988) los denominó “yacimientos de oro estructuralmente controlados”; posteriormente se les denominó como depósitos formados por “vetas mesotermiales auríferas” por Albinson (1989) y recientemente, Pérez Segura (1993) los clasificó como “vetas mesotermiales y zonas de cizalla en terrenos ígneo-metamórficos”. De cualquier forma, esta porción aurífera del noroeste de México, es considerada como parte de un cinturón metalogenético con orientación NW-SE que se extiende desde la ciudad de Santa Ana hasta Sonoyta, Sonora. Mineralización de Au (Cu, Ag) como la presentan los depósitos de La Choya y La Herradura, que se encuentran hospedados en rocas metamórficas con facies anfíbolitas, gran parte de ellas de edad Precámbrica, han sido interpretados recientemente como yacimientos asociados a zonas de cizalla en ambientes

metamórficos netamente compresionales. Las dimensiones de los distintos depósitos pueden considerarse distintas, sin embargo las características genéticas de varios de ellos, a pesar de que no han sido profundamente estudiadas parecen presentar ciertas similitudes. El descubrimiento de varios de ellos ha elevado el interés de conocer más sobre cada uno de ellos, tratando de determinar la fuente o procedencia de la mineralización de Au, la edad de la mineralización, modo de emplazamiento del conjunto de vetas de cuarzo que preferentemente contienen los valores más altos de Au.

En este trabajo se hace un estudio geológico detallado, se determinan temperaturas y presiones de formación de fluidos mineralizantes, discutiéndose brevemente su ambiente de formación y por último, se estima aunque en forma relativa, la edad de la mineralización de las áreas Tajitos, Juárez y San Francisco y se mencionan brevemente El Asilo (Placer) y la Herradura (actualmente en operación).

I.1. Localización y vías de acceso

Las áreas de Tajitos, Juárez, San Francisco, El Asilo y La Herradura, se localizan en la porción noroeste del Estado de Sonora; las tres primeras pertenecen al municipio de Caborca y la última al de Puerto Peñasco. Su acceso a partir de la ciudad de Hermosillo, es por la carretera Federal México 15 (México-Nogales) hasta la ciudad de Santa Ana (recorrido de 169 Km por autopista de 4 carriles), donde se entronca la carretera Federal México 2 y por espacio de 112 km más se llega a la Ciudad de Caborca por la misma carretera Federal 2 y a 32 km rumbo a Sonoyta de la ciudad de Caborca se llega al ejido Tajitos, lugar de donde son visibles las antiguas obras mineras del depósito emplazado en el cerro con el mismo nombre. El área de Juárez se localiza a 8 km al suroeste Tajitos, al cual lo comunica a través de un camino de brecha y el área de San Francisco se ubica a 13 km

del mismo poblado de Tajitos, a través de la brecha que comunica a la mina Juárez. Por otro lado, La Herradura y El Asilo, se localizan a 120 km al NW de Caborca y 65 Km al NW del área Tajitos respectivamente, (Figura 1).

I.2. Fisiografía y Geomorfología

Las áreas de estudio se ubican en el noroeste del Estado de Sonora, formando parte de la provincia fisiográfica de Norte América denominada “Basin and Range” (Sierras y Valles) (Stewart, 1971); caracterizándose por la disposición discontinua y paralela de sierras angostas y amplios valles orientados en dirección NW-SE. Por otro lado, la carta fisiográfica citada por INEGI (1997), considera que las sierras que hospedan a los depósitos Tajitos, Juárez y San Francisco respectivamente pertenecen a la provincia fisiográfica denominada Llanura Sonorense dentro de la división de la subprovincia Sierras y Llanuras Sonorenses (Figura 1).

I.3. Metodología

Para la elaboración del presente trabajo, primeramente se realizó una recopilación y análisis bibliográfico de publicaciones y tesis de estudios realizados en toda esta región del NW de México. Los trabajos de cartografía, geoquímica y petrografía se centraron principalmente en el estudio de las áreas de Tajitos, Juárez y San Francisco; y solo se realizaron esporádicas visitas a las áreas de La Herradura y el Placer El Asilo, donde se recolectaron y analizaron algunas muestras por Au y algunos elementos traza.

Durante el desarrollo de mapeo a escala 1:2000 en cada área, se realizó una recopilación de muestras de roca para estudios petrográficos, inclusiones fluidas en

muestras de vetas de cuarzo, microsonda para estudios de geobarometría en cloritas en la roca hospedante y datos estructurales.

La caracterización petrográfica de las rocas y muestras de las distintas vetas se llevaron a cabo en el Laboratorio de Petrografía del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora y en el Laboratory of Fluid Inclusions of the United States Geological Survey (USGS) of Arizona, realizándose el estudio termobarométrico en distintas etapas de las vetas de cuarzo auríferas.

Se llevaron a cabo estudios geotermobarométricos, analizándose dos tipos de cloritas (hidrotermal y metamórfico), determinándose temperaturas de formación al analizar su composición estructural por medio de microsonda electrónica localizada en el Laboratory of Lunar and Planetary Sciences of the University of Arizona.

Además, se analizaron 3 muestras de Au, determinando la relación Re/Os, con el propósito de definir la edad y fuente de la mineralización de Au, en el Laboratory of Geochemistry of the University of Arizona. Las mismas muestras fueron analizadas por elementos mayores y platinoides por medio de microsonda electrónica, localizada en el Laboratory of Lunar and Planetary Sciences of the University of Arizona.

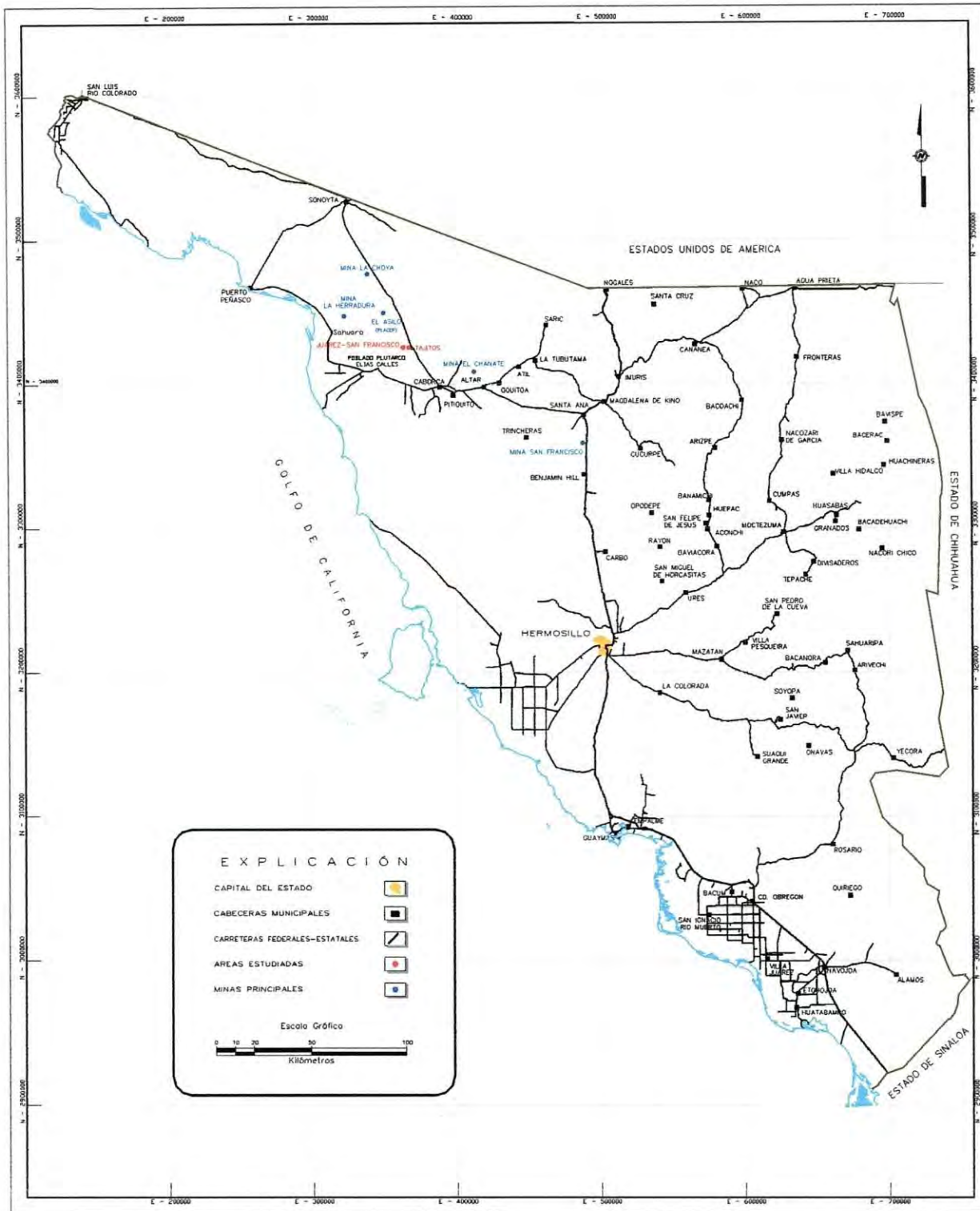


Figura 1. Plano de localización

II. MARCO GEOLÓGICO-TECTÓNICO REGIONAL

II.1. Marco Geológico Regional

En la porción noroeste del Estado de Sonora, las rocas más antiguas corresponden a un basamento cristalino constituido por ortogneises, esquistos, pegmatitas y localmente afloramientos de cuarcitas y clastos de rocas metamórficas conocido como Conjunto Aibó. Dataciones radiométricas por el método K/Ar (Damon et al., 1982) en rocas metamórficas indican una edad de 1750 Ma; y por otro lado, dataciones hechas en pegmatitas por el método U/Pb (Anderson et al., 1978; Anderson y Silver, 1981) indican edades de 1630 y 1675 Ma. Un granito tipo micrográfico del conjunto Aibó fechado en 1100 Ma (Anderson y Silver, 1981) corta a el complejo anteriormente descrito.

Es ampliamente documentado que el Conjunto Gamuza constituido por dolomías y cuarcitas constituye parte de la cobertura (dolomítica) que cubre estructuralmente al Conjunto Aibó, ha sido definido como del Precámbrico Superior, tomando en consideración la presencia de estromatolitos (Gamper y Longoria, 1979; Cevallos-F, 1981; Cevallos-F et. al., 1982; McMenamin et. al., 1983) y por la posición bajo el Cámbrico fosilífero (Arellano, 1946; Cooper y Arellano, 1946; Cooper et.al., 1954; Arellano, 1956; Cooper et.al., 1946; Livingston y Damon, 1968; Anderson et. al., 1978; Longoria et.al., 1978; Longoria, 1981; Longoria y González, 1981; González, 1981; Anderson y Silver, 1981; Stewart et al., 1984).

En la misma región se encuentra un basamento cristalino denominado Complejo Metamórfico Bámori (Longoria et al., 1978), constituido por rocas con metamorfismo de tipo regional, provenientes de rocas ígneas y sedimentarias cuya edad ha sido determinada en 1,700 Ma por (Anderson y Silver, 1981). El tipo de metamorfismo que prevalece en estas rocas cristalinas es de facie de esquistos verdes-anfibolitas, siendo las rocas más

comunes gneises y en menor proporción esquistos y anfíbolitas. Este complejo basal ha sido descrito principalmente en las cercanías del rancho Bámori, pero aflora en gran parte de la porción noroeste del Estado de Sonora, como ha sido documentado por Herrera-Urbina y Pérez Segura (1990) en las cercanías a Estación Llano; en la región de Quitovac (Caudillo y Oviedo, 1990), en las sierras La Toñita, San Antonio, San Francisco, al norte de Bahía San Jorge y cerca de la Sierra Santa Clara y en el suroeste de Arizona, sur-sureste de California en Estados Unidos.

El Paleozoico en el NW de México se depositó discordantemente encima de las rocas precámbricas y consiste principalmente en una secuencia carbonatada, constituida por dolomías del Cámbrico Inferior, de un ambiente de plataforma (Cooper et. al. 1956 y Stewart et. al. (1984) seguido de rocas Ordovícicas formadas por dolomías y cuarcitas localizadas a 25 Km al oeste de Caborca en el rancho Bisani. Hacia el NW de este último rancho se reportan afloramientos del Devónico Superior, constituido por rocas calcáreas y dolomías. El Pérmico Superior esta representado por la Formación Los Monos, cuyos afloramientos se localizan en el área El Antimonio a 50 Km al oeste de Caborca.

Regionalmente el Triásico se encuentra en discordancia sobre el Pérmico; en las áreas de El Antimonio y la Sierra del Álamo Muerto, donde se han reportado rocas de esta edad compuestas por pelitas e intercalaciones de rocas calcáreas con pequeños lentes de conglomerados.

Al norte-noroeste de la ciudad de Caborca en la Sierra El Álamo se han reportado rocas jurásicas, formadas de conglomerados y pelitas con horizontes calcáreos, lutitas con fósiles que indican una edad Liásico, (González-L y Jaques-Ayala., 1980). En la Sierra El Viejo aflora un serie detrítica, que aunque no hay registro de fósiles, sin embargo su edad ha sido asignada al Jurásico en base a facies y a consideraciones regionales, (Radelli,

1990); en cambio en Pozo de Serna, el Jurásico es representado esencialmente por una serie detrítica con horizontes de argilitas tobáceas y calizas oolíticas (Rangin, 1982).

En Estación Llano aflora una secuencia volcanosedimentaria llamada Grupo Coyotillo, presumiblemente de edad Jurásico Inferior Medio, Herrera y Pérez-Segura (1990).

Hacia el sur de Quitovac, en la porción norte y oeste de Sonoyta, (Caudillo y Oviedo, 1990), reportan un grupo de rocas constituido por ortogneises, cuarcitas, metareniscas, filitas y metaconglomerados intercalados con rocas metavolcánicas, a las cuales se les ha denominado como Complejo Metamórfico y asignado una edad de principios del Mesozoico; respecto a las rocas Jurásicas de esta área, presentan una variación composicional de dacitas a andesitas, filonitas, metaconglomerados, metadacitas, metareniscas, metariodacitas y tobas de cristales. Los mismos autores dividen esta secuencia en siete unidades litológicas basándose en aspectos texturales y composicionales; denominándolos como de origen volcanosedimentario con metamorfismo de bajo grado.

En el área de Tajitos (Pérez-Segura y Calmus-T., 1991) dividen la secuencia jurásica en dos conjuntos litoestratigráficos:

- a) Un conjunto volcanosedimentario que consta de dos unidades: la superior, constituida por tobas ácidas, ignimbritas, lutitas, areniscas y microconglomerados ricos en material volcánico; la inferior, con cuarzo libre y feldespatosódico-potásico, el cual está muy deformado.
- b) Un conjunto diorítico-andesítico con facies intrusivas de gabro.

En Tajitos (Castillo-Rivas, 1992) en un reporte interno, describe una secuencia de gneises y esquistos fuertemente deformada, la cual ocurre en pequeños afloramientos, señalándola como la unidad mas antigua del Jurásico Inferior (?).

Hacia el sureste en la Sierra La Gloria y el Cerro La Basura, se reportan unidades volcánicas y volcanoclásticas con capas carbonatadas, a las cuales se les asigna tentativamente una edad Jurásico, (Corona, 1980).

El Cretácico inferior de la región de Caborca, esta constituido principalmente de secuencias terrígenas con porciones menores de carbonatos (González-León y Jacques-Ayala, 1990). En la sierra El Chanate (NW de Caborca), Jacques-Ayala (1986), asigna el nombre de Grupo El Chanate a una serie principalmente detrítica, con algunos niveles volcánicos y carbonatados. Posteriormente Jacques-Ayala y Potter (1987), describen las formaciones superiores, denominando a la mas antigua de ellas como Fm. Arroyo Sásabe; la cual a la vez la divide en tres miembros, el inferior y el superior son depósitos de ambientes de planicies de mareas y fluviales (lodolitas y lutitas rojas) y el miembro medio está constituido por calizas fosilíferas y lutitas. Sobreyaciendo al Grupo El Chanate, se tiene el Complejo Volcánico El Charro, constituido por derrames andesíticos, brechas volcánicas y rocas volcanosedimentarias graduando lateralmente a un ambiente sedimentario (Jacques-Ayala y Potter, 1987). La edad de este grupo tentativamente se asigna al Cretácico tardío y unidades semejantes son descritas en los cerros el Puerto, El Amol y Cabeza Colgada, hacia el este de Altar y el oeste en los cerros El Batamote y el Álamo.

En la Sierra La Gloria y Cerro La Basura, al N-NW de Caborca, Corona (1980) reporta afloramientos de lutitas, areniscas y conglomerados con diques, sills, aglomerados y brechas volcánicas, intrusionadas por un pórfido de feldespatos. Generalmente, estas rocas

no están deformadas, por lo que es difícil asignarle una edad Jurásico y sí parecerían corresponder a rocas del Cretácico Inferior-Terciario.

En el área de Quitovac, al norte de Tajitos, aflora una unidad ígnea intrusiva descrita con textura fanerítica equigranular, que varía en composición de granito a cuarzomonzonita, en conjunto con cuerpos intrusivos hiperalcalinos, a los que Caudillo-Sosa y Oviedo-Lucero (1990), les asignaron una edad Cretácico a Terciario, ya que, en algunas localidades, los cuerpos afectan a las rocas precámbricas y mesozoicas y en otras zonas se encuentran cubiertos por rocas piroclásticas terciarias.

Hacia el oeste de Sonoyta se reportan afloramientos de rocas piroclásticas que varían en composición de andesítica a riolítica, asociados a derrames y eventos piroclásticos, con la presencia de más de 400 cráteres que constituyen parte del escudo volcánico de El Pinacate, cuya edificación basáltica se atribuye a una intensa actividad freatomagmética ocurrida durante el Pleistoceno; lo mismo sucede en la Sierra La Gloria y Cerro La Basura donde se tienden conglomerados de color rojo y rocas volcánicas reportados como de edad Terciario.

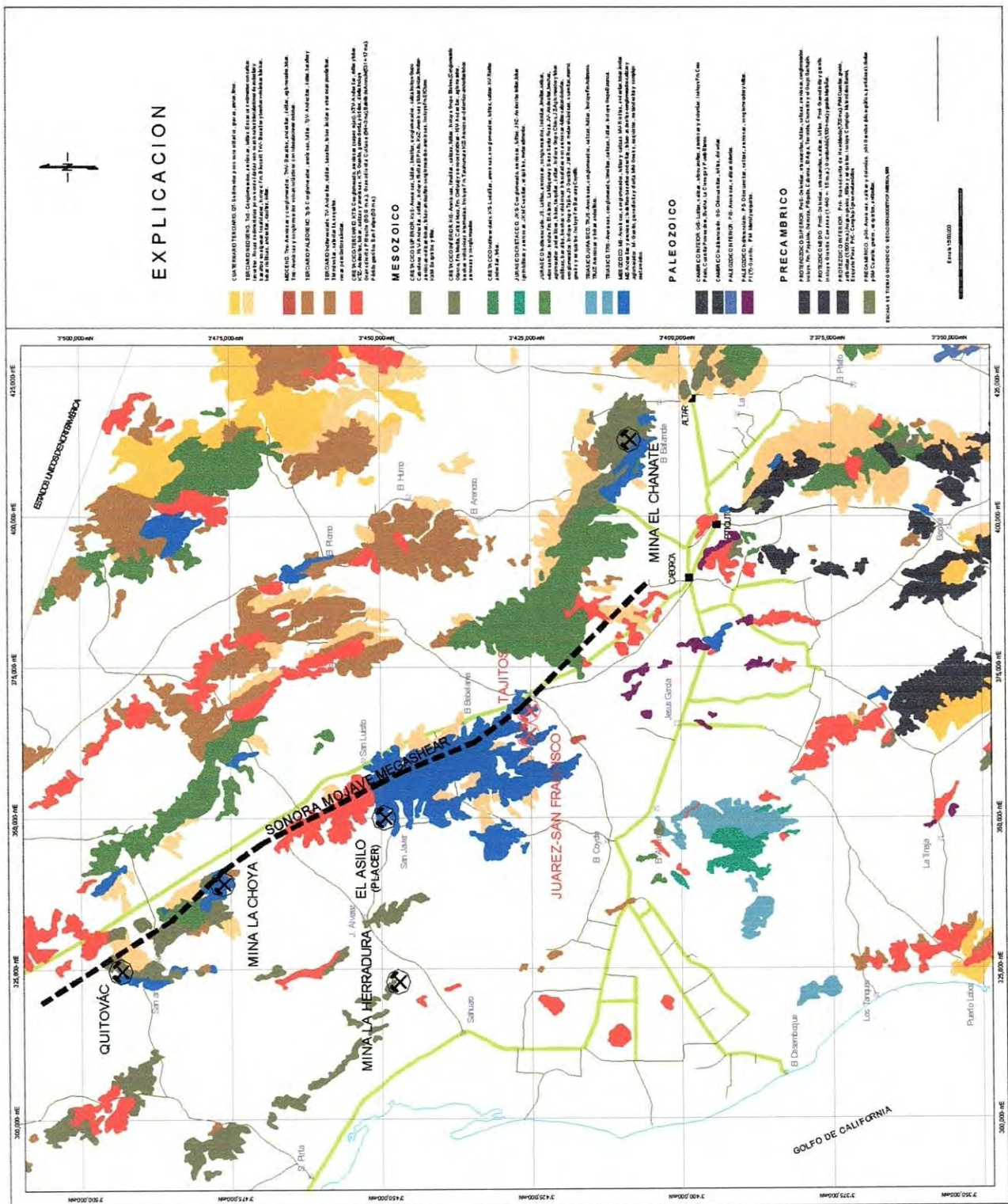


Figura 2. Plano geológico regional del NW del estado de Sonora

II.2. Marco Tectónico Regional del NW de México

El ambiente tectónico-estructural para el NW del Estado no ha sido definido en forma precisa; sin embargo, se han especulado algunas hipótesis y consideraciones a nivel regional. Se estima que el evento más antiguo en la entidad, es el que dio origen a las rocas con metamorfismo regional a mediados del Proterozoico. En el SW de Norte América y NW de México, se considera que las rocas metamórficas pertenecen a un cinturón constituido por rocas volcánicas, sedimentarias e ígneas (plutónicas) que han sido deformadas durante el Proterozoico Temprano, calculado en 1600 a 1800 Ma (Livingston and Damon, 1968; Silver, 1978). Existe un acuerdo general en que los eventos orogénicos que los formaron involucran a procesos de subducción y magmatismo de arco dada la asociación litotectónica de rocas volcánicas calciocalíneas y plutones graníticos de los protolitos metamórficos (Anderson, 1980), con emergencia de materiales crustales del manto dentro de regiones sin corteza Arqueana (Dickinson, 1989).

Se considera que batolitos graníticos del Proterozoico medio, se emplazaron en la corteza metamórfica alrededor de 1430 Ma (Anderson y Silver, 1981); estos representan la prolongación de un cinturón con rocas graníticas que sigue el borde sureste de Norteamérica y según Anderson y Silver (1981), otros cuerpos graníticos fueron emplazados también en el basamento cristalino alrededor de 1100 Ma.

En un período no definido de levantamiento y erosión, las rocas del basamento cristalino fueron expuestas en superficie y sobre ellas se inicio el depósito de una potente secuencia de mas de 3,300 metros de espesor, de rocas clásticas y carbonatadas de tipo miogeoclinal. Estas secuencias de rocas depositadas en ambiente de aguas someras que van del Proterozoico Tardío al Cámbrico Medio, son litológicamente similares a rocas contemporáneas del sur de Nevada y sureste de California. Al parecer este período de

deposición continuó hasta el Pérmico debido a la presencia de afloramientos aislados aunque parciales (?) de todos los períodos del Paleozoico.

La formación Monos y la Formación Antimonio correspondientes al Pérmico-Triásico del NW de México, han sido considerados como terrenos alóctonos adheridos y atrapados entre bloques originalmente distintos (González y Stanley, 1993). El movimiento de estos terrenos podrían estar relacionados al deslizamiento de bloques a lo largo de megacizalladuras desplazando fragmentos continentales del noroeste hacia el sureste, como fue propuesto por Anderson y Silver (1981) y discutidos por Stewart et al.,(1984).

La secuencia Jurásica en la región de Quitovac, ha sido afectada por metamorfismo de bajo grado (facies de esquistos verdes-anfibolitas), con deformaciones que van de foliaciones de baja intensidad a fallas de cabalgamiento entre unidades Jurásicas y Precámbricas y cuya edad tentativa para estas deformaciones ha sido manejada del Jurásico Medio al Tardío o Cretácico Temprano (Caudillo-Sosa y Oviedo-Lucero 1990); sin embargo Haxel et al (1980) le han asignado a la deformación y metamorfismo una edad del Cretácico Tardío y Terciario Inferior.

Se ha comprobado una fase tectónica compresiva durante el Cretácico Tardío al Terciario Temprano productora de cabalgaduras con tendencia al este-noreste, plegamientos y un metamorfismo regional asociado (Rangin, 1982; Haxel et al, 1984). Esta serie de cabalgamientos hacia el este (incluyendo secuencias del Cretácico Inferior), cabalgando al Cretácico Superior y aunado a movimientos de bloques transcurrentes previos, pudieron cubrir cualquier traza de una megacizalladura anterior (megashear Sonora-Mojave ?). Esta fase compresiva tiene distribuciones muy amplias, desde ser reconocida en el SW de Arizona (Dickinson, 1989), en gran parte de la porción centro y NE del Estado de Sonora (Vega et al, 1991; Rangin, 1982). Esta fase deformacional, ha sido

considerada por varios autores, como la más intensa que ha afectado el SW de Arizona y NW de México desde el Proterozoico Temprano y ha sido referido como Orogenia Laramide. Durante esta fase, la deformación es acompañada por un evento magmático de grandes dimensiones y durante el cual se emplazaron numerosos cuerpos plutónicos que constituyen el batolito Laramide de Sonora y por secuencias volcánicas asociadas. Estudios de edades isotópicas en rocas volcánicas y plutónicas reportadas en el Estado de Arizona, han establecido que el magmatismo tuvo inicio hace 75 a 80 Ma (Cretácico Tardío) y terminó alrededor de 55 Ma (Eoceno Medio); en Sonora este período se considera un poco mas amplio (de 40 a 90 Ma). La composición de este complejo granítico es principalmente calciocalina de composición andesítica a riolítica con plutones graníticos emplazados a profundidad y cuya característica es referida a provincias de un margen de arco continental.

Posterior al magmatismo con afinidad de arco, se produjeron intrusiones aisladas de granitos peraluminosos, en Arizona durante el periodo del Eoceno Temprano a Medio (alrededor de 55 a 45 Ma) y en Sonora en un periodo poco mayor (hasta el Oligoceno). Esos magmas peraluminosos fueron producidos por fusión cortical (Farmer y De Paolo, 1984), tal vez cuando la deshidratación de los materiales en subducción permitió la hidratación de la corteza Proterozoica (Reynolds y Keith, 1982) o simplemente debido a que el engrosamiento cortical durante la deformación Laramide promovió la fusión en una raíz cortical profunda (Haxel y otros, 1984). Los resultados han reflejado un cambio gradual de las edades del magmatismo laramídico, siendo más antiguos al occidente y más jóvenes al oriente y la cual ha sido atribuida al aplanamiento progresivo del ángulo de la placa en subducción, el cual causó que la zona donde la placa subducida toca la astenósfera (produciendo fusión parcial) migrara hacia el este (Coney y Reynolds, 1977; Keith, 1978).

Durante el fin del Eoceno y hasta el Oligoceno, se produjo un magmatismo de arco en toda el área de los estados de Sonora y Arizona, edificando el macizo de la Sierra Madre Occidental y cuyo evento fue acompañado o sucedido por una deformación extensional general; ambos eventos han sido atribuidos al incremento del ángulo de la placa en subducción bajo el bloque continental, produciendo una inversión de la influencia que se ejercía durante el evento laramídico (Dickinson, 1989). La migración del magmatismo al oriente fue reemplazada por una migración al occidente o más bien una ampliación del área de magmatismo y la deformación compresiva fue seguida de una deformación distensiva.

La evolución de la tectónica distensiva empezó mientras el volcanismo Oligoceno-Mioceno estaba activo y continuó aproximadamente hasta el Mioceno Medio (15 Ma), durante esta fase tectónica se produjo un adelgazamiento cortical muy importante convirtiendo las zonas anteriormente elevadas en zonas deprimidas.

Durante el Mioceno Medio y Tardío inició un fallamiento normal que produjo la provincia denominada "Basin and Range", cuya etapa extensiva es considerada como contemporánea con el sistema transforme de San Andrés a lo largo del margen continental. Este sistema inició según investigaciones hace unos 14 a 17 Ma (Humphreys y Weldon, 1991; Lille y Ness, 1991), produciendo un total de 450 a 600 Km de desplazamiento lateral derecho, creando el Golfo de California en los últimos 4 Ma. La distensión fue acompañada por centros aislados de vulcanismo basáltico, el cual se atribuye al levantamiento del manto bajo de la región extendida (Dickinson y Znyder, 1979). En la región del golfo, un sistema de dorsales que crean corteza oceánica inició hace unos 3.5 Ma (Lille y Ness, 1991).

III. GEOLOGIA DE LAS AREAS ESTUDIADAS

Las áreas de Tajitos y Juárez-San Francisco, aunque relativamente cercanas entre si (~8 km entre ellas), presentan características geológicas-estructurales que deben ser descritas por separado. En el área de Tajitos las rocas presentan una mayor deformación y metamorfismo que las otras áreas. De la misma forma, el mapeo 1:2,000 sugiere un escenario estructural mas complejo en el área de Tajitos.

El reconocimiento de las distintas unidades que constituyen al área de Tajitos, se basó en su composición, geología estructural, características petrológicas y petrográficas a escala 1:2000 y son descritas en orden geocronológico de la mas antigua a la mas reciente.

III.1 Tajitos

III.1.1. Complejo Metamórfico

El complejo metamórfico corresponde a un conjunto de rocas que se localizan en la parte central del área (Figura 2), y se componen generalmente por un paragneis, esquistos y localmente cuarcitas. Se encuentra en contacto estructural con las unidades de composición diorítica, riolítica y volcanosedimentaria y son cortadas por las vetas de cuarzo con mineralización de oro con orientación preferencial NW-SE (Imagen 1).

Aunque las rocas de esta unidad se observan deformadas y fuertemente tectonizadas, en su conjunto parecen corresponder a una secuencia estratigráfica compuesta en su base por cuarcitas de color café claro, de grano fino, finamente bandeados, con una lineación preponderante NWW-SEE en sus cristales, coincidiendo con una foliación penetrativa N85°W y alcanzando no más de 60m de espesor. En sección delgada presenta textura granoblástica, con cristales idiomorfos de cuarzo que desarrollan puntos triples

entre si, con presencia de sericita y óxidos, concentrados principalmente en planos de fracturas.

La unidad constituida por cuarcitas subyace a una roca color verde de textura laminar, con delgadas bandas de color blanco < 0.5 cm de ancho, con pequeños fenoblastos de feldespato dándole una apariencia de augen-gneis. En sección delgada la presencia de epidota tipo (zoicita) puede alcanzar ~50% del volumen total, derivado muy probablemente de la alteración de plagioclasas; contiene ~30% de granate tipo (andradita) presente tanto en porfidoblastos como en microporfidoblastos. La matriz esta compuesta por pequeños cristales de epidota y cuarzo distribuidos en forma dispersa, con vetillas (evento hidrotermal) constituidas por cuarzo-clorita-epidota-sericita y óxidos de Fe que cortan tanto a la matriz como a los porfidoblastos (Imagen 2), con un 2-3% de FeOx asociados. Se observa un evento tardío constituido por vetillas de calcita que corta a la roca en su totalidad.

Directamente encima de los augen-gneis, descansa una unidad definida como arenisca de cuarzo, la cual puede alcanzar entre 60-80 m de espesor, es de color gris-claro y se compone de una alternancia de arenisca de cuarzo, graduando en tamaños en algunas partes hasta ser conglomeratica. Esta secuencia de cuarcitas, augen-gneís y areniscas de cuarzo se encuentra en contacto con una roca de color claro, de grano grueso y textura gráfica con cristales de feldespato y cuarzo entrelazados, los cuales le dan una composición granítica; regularmente se encuentra deformado, definiéndosele como un gneís granítico con textura gráfica (Imagen 3).

Esta secuencia es cortada por un dique de color verde oscuro, textura ofítica granular gruesa, compuesto de mega cristales subhedrales de hornblenda (aproximadamente 1 cm de largo) con cristales de plagioclasa intersticiales. Este dique de aproximadamente 10

m de ancho se emplazó dentro de la secuencia de cuarcitas y augen-gnéis, aparentemente siguiendo la foliación casi E-W que presentan estas rocas. Se extiende por no más de 100m, en esta dirección y termina justo en el contacto estructural, entre las unidades volcanosedimentarias y diorítica. Este dique, al que se le ha denominado informalmente como lamprofidico, engloba fragmentos de cuarcita desarrollando en su contacto superior con los augen-gneis una zona de cizalla de aproximadamente 2 m de ancho, la cual corta tanto al dique como a la secuencia de cuarcita y augen-gneis.

Por sus características texturales y petrológicas, esta unidad podría corresponder a una secuencia volcanosedimentaria compuesta por alternancia de sedimentos terrígenos y rocas volcánicas y aunque la relación estratigráfica que guarda esta secuencia volcanosedimentaria con la roca granítica, no se observa claramente, dado la profunda deformación que presentan, se estima que podrían estar descansando en discordancia encima de las rocas graníticas.

La edad de esta secuencia volcanosedimentaria de 150-200 metros de espesor no se tiene determinada, pero su disposición y composición recuerdan a las secuencias Jurásicas descritas en el norte y oeste de Sonoyta por Caudillo y Oviedo (1990) y una secuencia muy similar es mencionada por Corona (1980) al NE de Tajitos.

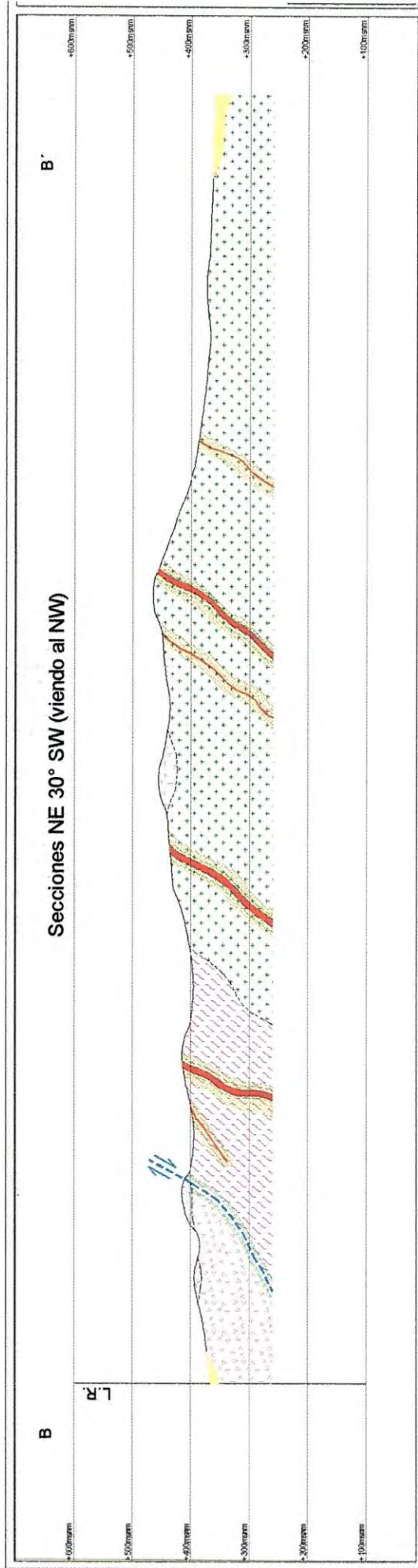
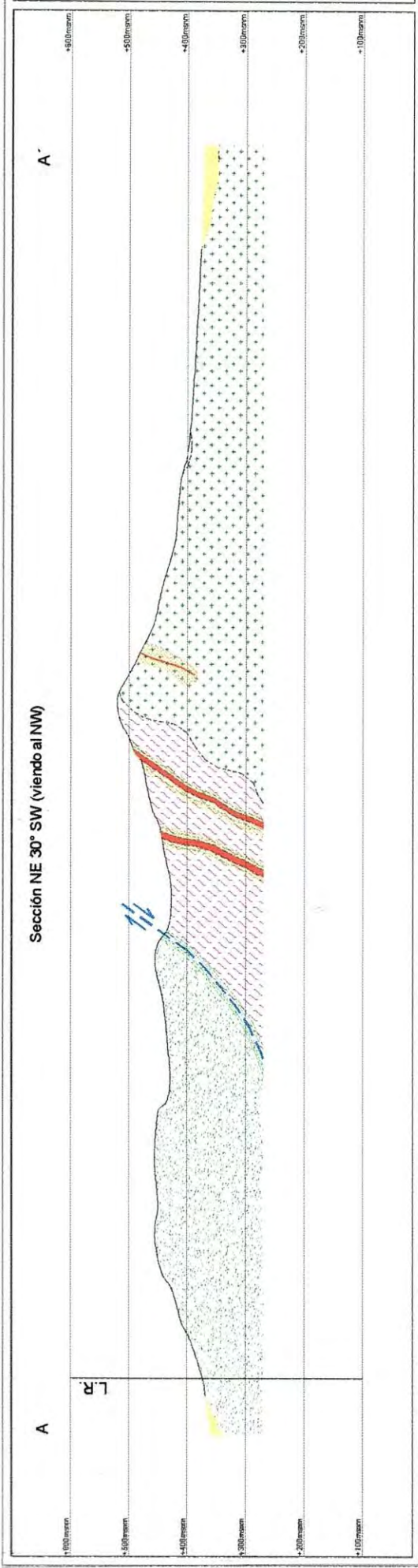


Figura 4. Secciones geológicas del depósito de Tajitos.

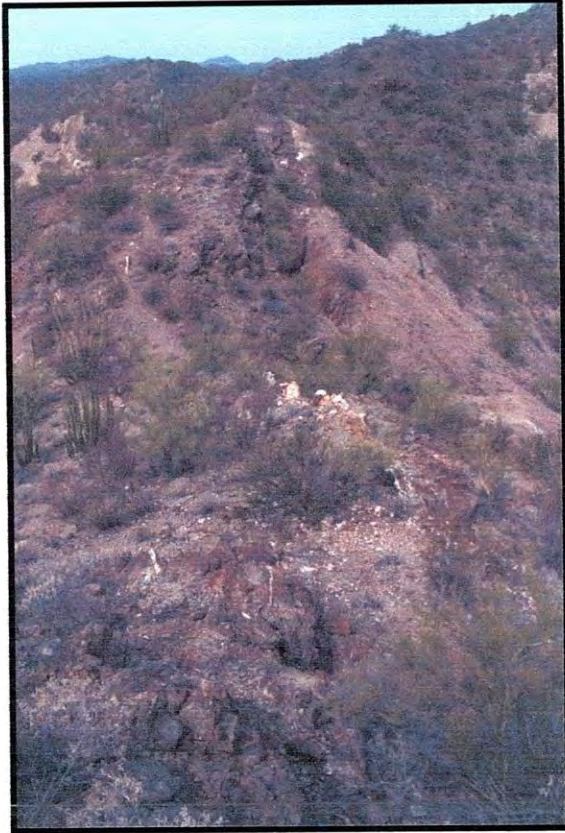


Imagen 1. Fotografía mirando al N-NW donde se observa como las vetas de cuarzo con orientación NW-SE cortan a las rocas metamórficas de facies esquistos verdes-anfibolitas.



Imagen 2. Microfotografía en luz natural de gneiss granítico constituido por cristales de cuarzo-feldespato deformados; nótese la vetilla de cuarzo-clorita-epidota que corta a la roca, indicando evento hidrotermal posterior a la deformación.

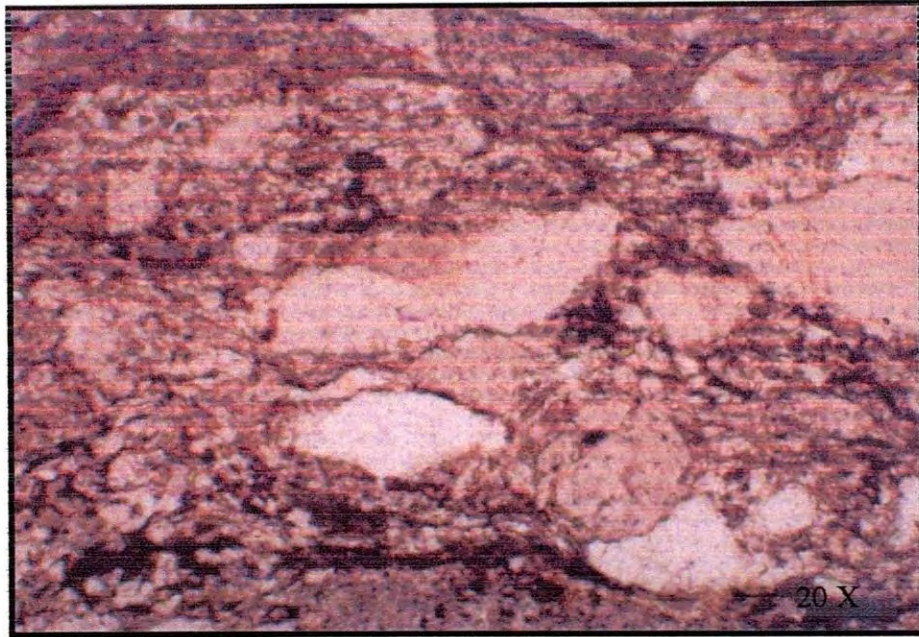


Imagen 3. Fotomicrografía a luz natural de gneiss granítico de textura gráfica, principalmente formado por cristales de cuarzo-feldespato entrelazados y deformados.

III.1.2. Secuencia volcanosedimentaria

Este conjunto de rocas tiene una amplia distribución en el área de Tajitos y puede ser dividido informalmente en dos miembros fácilmente diferenciables en el campo. En su parte inferior se compone de un paquete de riolitas porfídicas de aproximadamente 100 metros de espesor, ampliamente distribuidos en las partes bajas del área Tajitos. Se caracteriza por contener fenocristales de cuarzo parcialmente quebrados de 1-4 mm en tamaño y aproximadamente el 10% del volumen total de la roca, que en conjunto con el contenido de feldespato (1-2 %), se encuentran sostenidos en una matriz fina color crema. En sección delgada, la riolita presenta una asociación mineralógica que consiste de cuarzo feldespato (sódico/potásico-plagioclasa) y en menor proporción minerales ferromagnesianos con textura microgranuda porfiroide, con un 25% de fenocristales subautomorfos de cuarzo con extinción ondulante sostenidos en una matriz holocristalina de cuarzo y sericita (40-50%). Existe un 10% de plagioclasa original, que presenta cristales subhédricos con centros alterados a sericita (20%) y calcita (2%). Existe sustitución de porfidocristales antiguos de feldespato, estimado en 15% del contenido original y de los cuales casi el 95% son cristales reemplazados por cuarzo y sericita. En general se reconoce un patrón de alteración dominante en esta roca, constituido por cuarzo-sericita y en menor cantidad calcita-epidota. La sericita se encuentra reemplazando en ocasiones a minerales como plagioclasas y feldespato potásico, así como alojada en fracturas y planos de foliación. Se observa un 5% de calcita en vetillas que cortan al conjunto mineralógico descrito y se identifica un 2% de turmalina en formas de fibras radiales asociadas a vetillas de sericita y cuarzo microgranular hidrotermal. Este conjunto litológico se encuentra en contacto estructural con el complejo metamórfico y rocas dioríticas; aunque en algunas partes parece que estas últimas las intrusionan, sin embargo hacia el este del área, (Figura

2) ambas litologías (riolita porfídica y diorita) se encuentran en contacto estructural por una falla de cabalgamiento de rumbo NW 70° que coloca a las rocas máficas sobre el pórfido riolítico. Regularmente cerca del contacto con las demás unidades, estas rocas riolíticas, las dioritas y el conjunto metamórfico presentan fuerte foliación.

Sobreyaciendo a este miembro riolítico, se deposita una secuencia de más de 250 metros de espesor, compuesta en su base de un conglomerado formado por fragmentos de riolitas o tobas riolíticas subredondeados, de los cuales algunos alcanzan entre 30-40 cm de diámetro, decreciendo su tamaño hacia su parte superior y pasando a una alternancia de tobas félsicas, lutitas, areniscas y microconglomerados ricos en material volcánico. El nivel de las tobas es félsico, con horizontes microconglomeráticos de arena y arcilla, de origen tobáceo y constituidos por granos de cuarzo y fragmentos de rocas volcánicas félsicas e intermedias incluidos en una matriz microlítica y arcillosa; se caracteriza por una alternancia de tobas félsicas, lutitas, areniscas y microconglomerados ricos en material volcánico.

Esta secuencia se encuentra fuertemente deformada, pero acentuándose aún más hacia la zona de contacto con las unidades del complejo metamórfico y diorítico.

La presencia de rocas conglomeráticas con fragmentos riolíticos subredondeados encima de la riolita, indica un contacto discordante entre estas dos unidades y la carencia de fragmentos dioríticos sugiere un dominio completamente distinto a la de la unidad diorítica.

III.1.3. Diorita

Estas rocas se encuentran en la parte centro-oriental del área cartografiada (Figura 2) y en partes parece intrusionar al conjunto litológico descrito anteriormente. Megascópicamente es una roca de color verde con textura granular fina-hipidiomórfica con

cristales subhedrales de feldespatos en un 25-30% del volumen de la roca, con minerales de hornblenda (~10%) intercrecidos; no se observa cuarzo modal y se tiene una serie de pequeñas fracturas rellenas con epidota que la cruzan en distintas direcciones. Esta unidad regularmente presenta zonas con fuerte foliación con dirección preferente N50-60°W y 40° de inclinación al SE, donde se tiene un fuerte incremento de clorita y epidota. Asociado a esta zona de fuerte foliación, se tiene una serie de vetas de cuarzo color blanco-lechoso con actitud casi vertical, con zonas de brecha al bajo, sugiriendo movimientos posteriores a las intrusiones de las vetas de cuarzo. Es muy probable que la presencia de vetillas de clorita + epidota en esta unidad halla sido aportada por este evento hidrotermal, asociación que se incrementa conforme se acerca a esta estructura. En sección delgada presenta textura porfídica, constituida por cristales de plagioclasa alterados débilmente a epidota férrica; existe un alto contenido de minerales ferromagnesianos, que en un 80% han sido reemplazados a cloritas. En los planos de contacto de los cristales existe presencia de cuarzo (secundario) y agregados de anfíboles en cristales automorfos y subautomorfos; se reconocen dos tipos de anfíboles, uno de tipo hornblenda y otro del tipo actinolita. La diorita es parcialmente cortada por las vetas mineralizadas de cuarzo, provocando un metamorfismo-hidrotermalismo dominante de cuarzo-sericita y reducida presencia de turmalina, lo cual disminuye gradualmente a alteración propilítica conforme se aleja de las vetas (Imagen 4).

III.1.4. Leucogranitos

Se localizan en la parte NW del área Tajitos, intrusionan a los distintos conjuntos litológicos descritos anteriormente y debido a su reducido tamaño, no son incluidos en la Figura 2. En muestra de mano son de un color gris-claro, presentan una textura granular

débilmente porfídica, con ojos de cuarzo de 1-2 mm en tamaño (1-2% en volumen), intercrecidos entre cristales de feldespato, cuarzo y menor biotita. Generalmente se presentan en forma de diques, con direcciones que varían de NW-SE a NNW-ESE y claramente cortan a la diorita. Estos diques pueden continuarse por escasos 100 metros y adelgazándose hasta desaparecer. En sección delgada presentan textura fanerítica, constituida por un 85% de cristales de cuarzo subhédricos equigranulares y plagioclasas de tipo albita, las cuales están parcialmente alteradas a cuarzo-sericita-clorita (<2%). Los diques de granito claramente cortan a la foliación en el cuerpo diorítico pero son cortados por vetillas de cuarzo (1-2 cm), lo cual podría sugerir emplazamiento de ellos post foliación pero pre-mineralización. La matriz es de composición félsica de forma holocristalina y microgranuda. La edad contemplada para este tipo de roca es Terciario (Eoceno), comparándolos con cuerpos muy similares descritos en Estación Llano, fechados con sericita-muscovita en 41 Ma. (Pérez-Segura et. al. 1991).

III.1.5. Lamprófidos

Únicamente un solo cuerpo intrusivo con características lamprófidas se observó en el área Tajitos asociado directamente con las vetas mineralizadas y siguiendo el mismo rumbo general NW-SE (Imagen 5). El dique lamprófido es de color verde, de 0.90 - 1 metro de ancho y parece estar emplazado sobre las mismas estructuras WNW-ESE que alojan a las vetas de cuarzo blanco-lechoso, pero con la variante de ser más antiguo que estas, ya que se observa que un delgado halo de alteración o de calentamiento sobrepuesto, es causado por el emplazamiento posterior de una veta de cuarzo blanco lechoso. Además, algunos hilillos de cuarzo penetran dentro del dique confirmando esta observación.

En muestra de mano presenta abundantes cristales de plagioclasa (tipo albita) en un 70% y minerales ferromagnesianos (biotita y hornblenda). Existe la presencia de sulfuros, los cuales pueden considerarse directamente asociados a la introducción de las vetas con mineralización.

Un dique de características texturales, composicionales y estructurales similares al descrito en Tajitos, fue datado en el yacimiento de San Francisco en 26-27 Ma (Pérez et al, 1991), si se considera una edad similar para estos diques, solo por correlación litológica, se podría asignar una edad tentativa del Terciario para estas vetas de cuarzo lechoso con oro en el área de Tajitos.

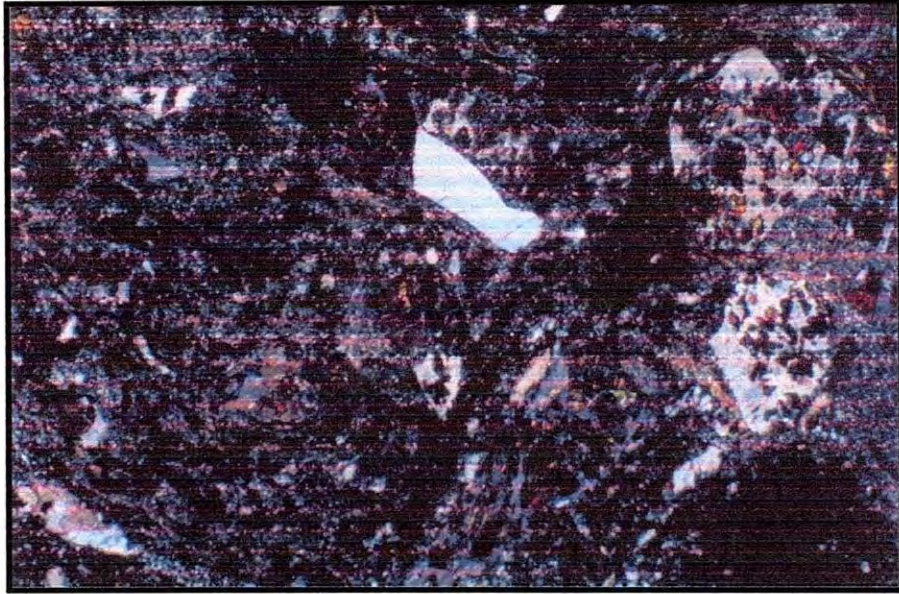


Imagen 4. Microfotografía con luz polarizada de la diorita; presenta textura pegmatítica, formada por cristales de plagioclasas alterados débilmente a epidota férrica; presencia de ferromagnesianos en su mayoría reemplazados a cloritas.

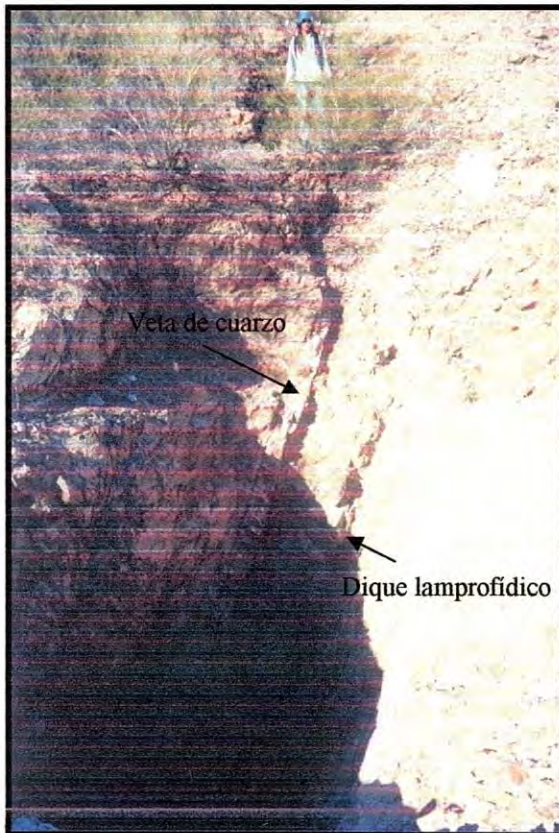


Imagen 5. Imagen que ilustra el contacto entre las vetas de cuarzo mineralizadas y los diques lamprofidicos; la orientación estructural de ambas rocas es similar.

III.2. Juárez - San Francisco

De la misma forma que en Tajitos, Juárez-San Francisco fue cartografiada a escala 1:2,000 abarcando una superficie de 2 x 3 km². Dentro de esta área se observó un conjunto volcánico constituido por flujos de riolita-dacita, seguido por aglomerados de la misma composición y culminando con un paquete de tobas riolíticas hacia su parte superior. Este conjunto volcánico está suprayacido en algunas localidades aisladas por una secuencia de sedimentos clásticos, en aparente concordancia. Todas estas rocas han sido intrusionadas por un cuerpo de composición diorítico.

El área en general ha sido deformada y seccionada por varias estructuras, algunas de ellas, con claras evidencias de estar mineralizadas.

A continuación se presentan las distintas unidades que constituyen el área de Juárez-San Francisco, considerando su composición, geología estructural y características petrográficas descritas en orden geocronológico de la más antigua a la más reciente.

III.2.1. Conjunto Volcánico

Este grupo está compuesto por tres unidades de rocas, riolitas-riodacitas, aglomerado y tobas riolíticas. La primera de ellas, corresponde a la unidad más antigua y tiene una gran distribución en la parte centro y sur del área (Figura 3). Las riolitas-riodacitas se distinguen por presentar un color gris claro, con textura de flujo con dirección ENE-WSW, desarrollando bandas de aproximadamente 2 mm de ancho conteniendo cristales de cuarzo y en escasa proporción feldespatos de aproximadamente 2 mm en tamaño sostenidos dentro del flujo; estos flujos están cortados esporádicamente por vetillas de cuarzo que varían de 0.05 cm hasta 2 cm de ancho, las cuales parecen asociarse a las vetas de cuarzo con mineralización de oro.

Suprayaciendo a la unidad descrita, se encuentra un horizonte de rocas brechadas, que por sus características puede ser clasificado como un aglomerado; aflora en la parte sureste y sur del área de mapeo (Figura 3) y está compuesto de fragmentos subredondeados de riolita-riodacita de la unidad anterior cuyo diámetro alcanza los 10 cm (Imagen 6), los cuales, son similares a la roca descrita como el miembro inferior de este conjunto volcánico y son sostenidos por una matriz vítrea de composición félsica. Se caracteriza por contener mayor presencia de fragmentos de rocas en su base, lo cual decrece gradualmente hacia la cima, mostrándose mas fluidal, con una lineación en dirección NW80°SE.

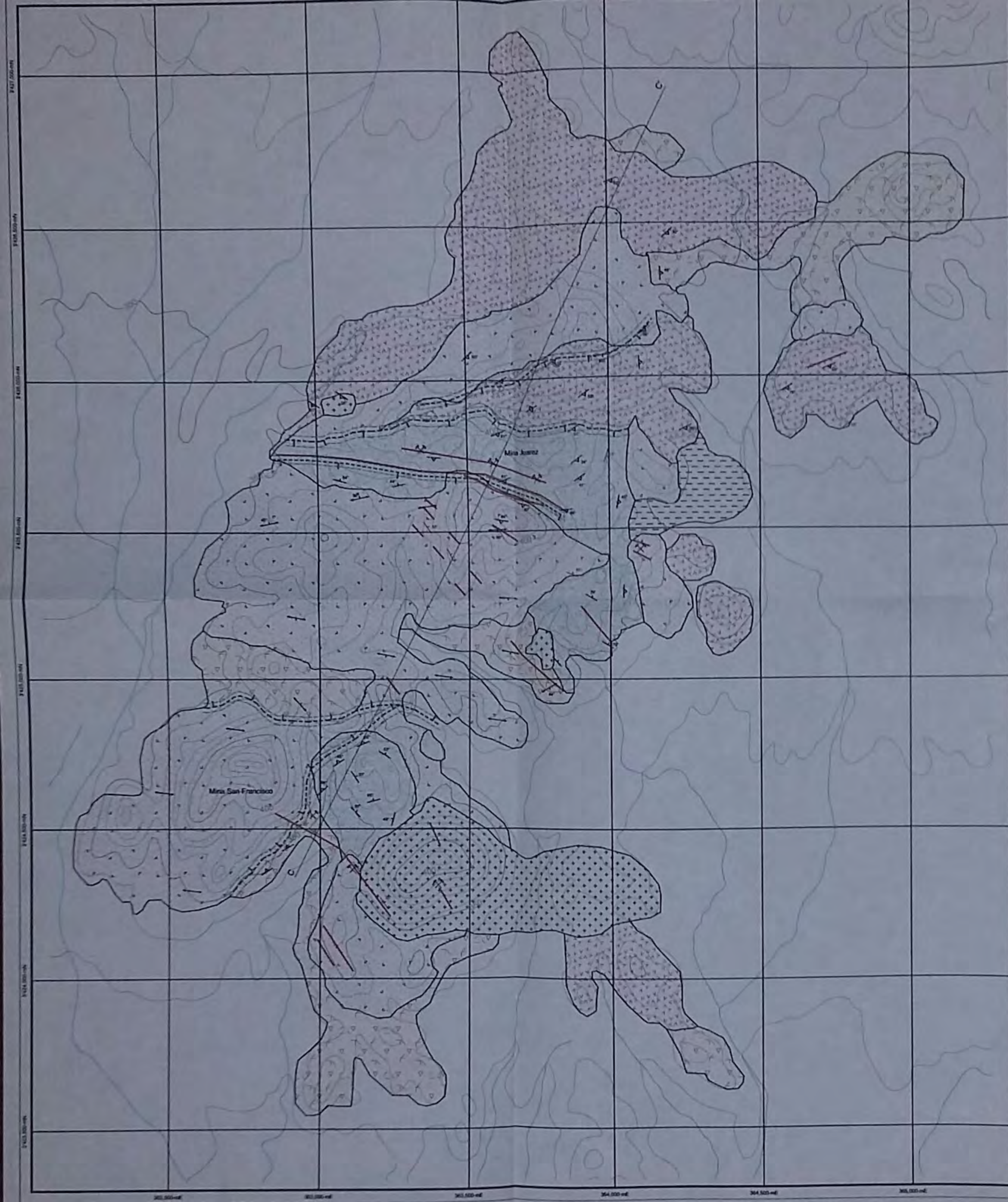
La tercera unidad de roca lo conforma una toba riolítica, que aflora en la parte norte y este del área y se caracteriza por contener (3%) de fenocristales de cuarzo subredondeados a angulosos de hasta 3 mm; no presenta dirección de flujo, y sus fenocristales son sostenidos en una matriz vitrocrystalina de composición ácida, formada esencialmente por microcristales de cuarzo y feldespatos. Aunque solo se tiene una relación estratigráfica entre la unidad de riolitas-dacitas y aglomerados volcánicos en la parte sur de esta área y no se observa claramente una relación con las tobas riolíticas, su distribución geográfica hace pensar que estas unidades podrían corresponder a distintos eventos volcánicos que componen una secuencia de mas de 250 metros de espesor, los cuales pudieron haber sido depositados en intervalos de tiempo muy cortos.

Como una observación adicional este conjunto volcánico, dada la textura y composición de sus componentes, bien podría ser correlacionado con el paquete de rocas volcánicas de composición riolítica que aflora en el área de Tajitos, la cual presenta un alto grado de metamorfismo y deformación al compararlos con el conjunto volcánico que aflora en el área de Juárez-San Francisco.






Su apariencia porfídica y su composición, parecen relacionarse con las rocas riolíticas metamorfoseadas observadas en el área de Tajitos, distinguiéndose esta solo por un grado mayor de metamorfismo que la del área Juárez.

III.2.2. Diorita











Este tipo de roca aflora en la parte centro-sur del área Juárez-San Francisco. Se extiende en una dirección E-W; lo cual podría indicar intrusiones controladas por estructuras en esta dirección, megascópicamente es de color verde olivo, constituida principalmente por cristales de plagioclasa, hornblenda y biotita que varían de 0.5 mm hasta 2 mm en tamaño, dando en ocasiones el aspecto de una microdiorita, lo cual parece tener correspondencia textural y composicional con aquella que aflora a 5 Km al este es el área de Tajitos. Generalmente, en distintos lugares, está intrusionando a las rocas riolíticas del conjunto volcánico descrito anteriormente y es cortada por una estructura orientada en una dirección NW80°SE, que se extiende por más de 1 Km, la cual es denominada “falla Juárez” (Figura 3). Esta estructura limita el contacto de la diorita con las rocas del conjunto volcánico en el área de Juárez y se caracteriza por imprimirle una fuerte foliación a la roca, generando un alto contenido de sericita y clorita en la diorita, lo cual decrece gradualmente hacia los bordes. Esta estructura genera un segundo patrón de fracturamiento de menor intensidad con una dirección 65° NE-SW e inclinación casi vertical, semejando a estructuras tipo Riedel. El cuerpo de diorita es cortado por la veta principal a la cual se lo conoce como “veta Juárez”, la cual presenta un rumbo perpendicular a la dirección de la foliación que presenta la diorita, lo que podría indicar que la introducción de la veta se produjo aprovechando la debilidad entre ambas ocasionada por la falla Juárez.



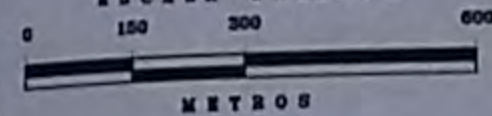
EXPLICACION

- 
 Riolitas fluviales con lentora de fango con escaso contenido de basalto.
- 
 Agregado compuesto por fragmentos de riolitas fluviales cementados en una matriz vítrea de composición básica.
- 
 Toba de cenizas de composición volcánica con fragmentos de cenizas en una matriz vitresolavica.
- 
 Conjunto volcánico de tipo andesítico-dalínico deformado de grano fino a medio.
- 
 Arenitas de grano fino bien cementadas con lentes de conglomerados laterales.

SIMBOLOGIA

- 
 Falla normal
- 
 Frenado y efecto de raspa
- 
 Vetas de cuarzo
- 
 Foliación
- 
 Lineación
- 
 Camarón de brecha
- 
 Arroyo
- 
 Contacto
- 
 Ocas mineras
- 
 Zona de foliación antigua

ESCALA GRAFICA



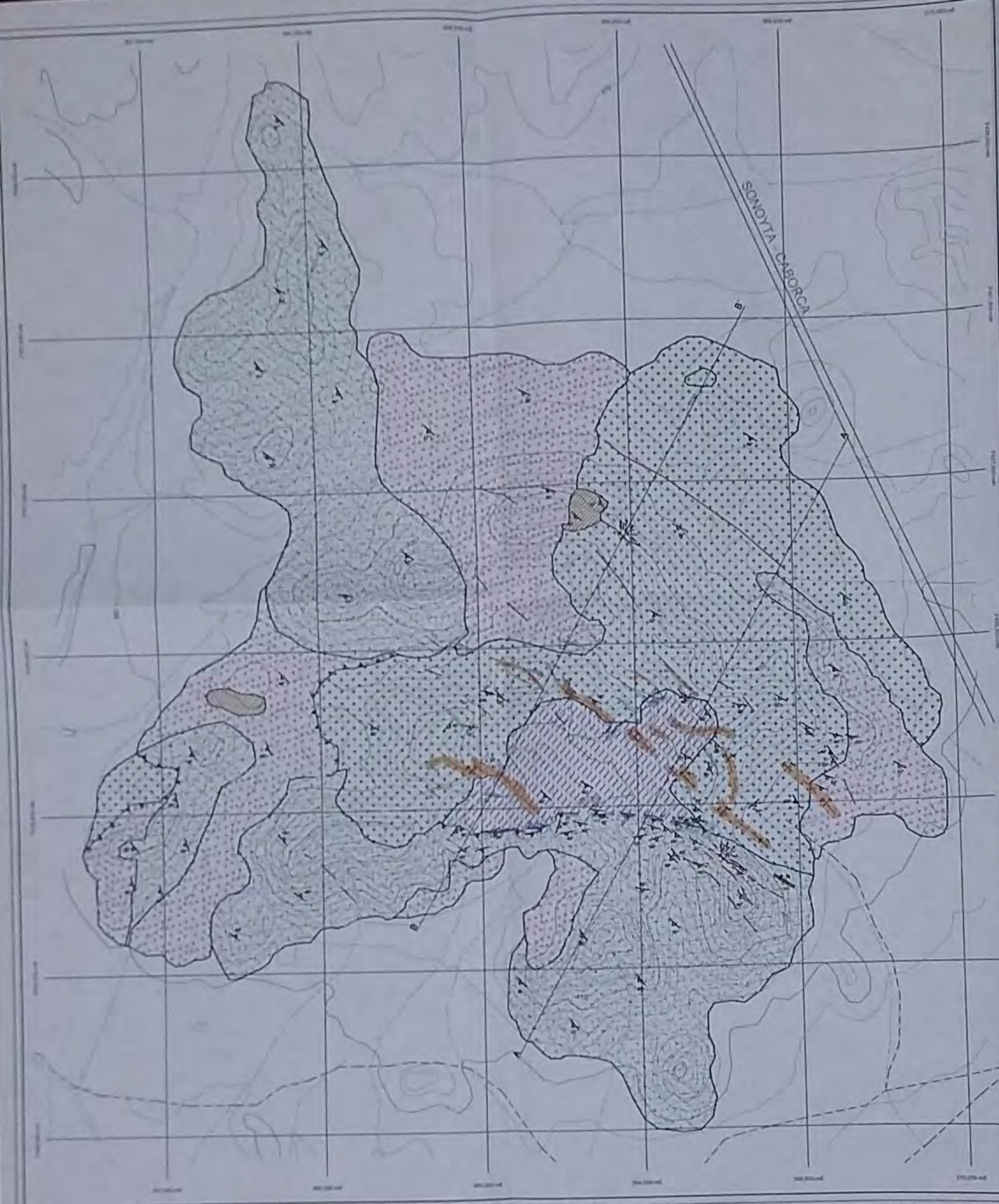
UNIVERSIDAD DE SONORA
FACULTAD DE CIENCIAS-GEOLOGIA

PLANO GEOLOGICO
AREA JUAREZ-SAN FRANCISCO

TESIS

ESTUDIOS DE DOS ETAPAS DE MINERALIZACION DE ORO
MODERNA EN EL SU DEL ESTADO DE SONORA

Alumno:	DR. JUAN CARLOS GARCIA	Fecha:	15/05/2008
Asesor:	DR. JUAN CARLOS GARCIA	Titulo:	Geología



EXPLICACION

- Unidad metamórfica. Conjunto de rocas no diferenciadas con metamorfismo de bajo grado (esquistos verdes) desarrollando estructura gneísa en algunas zonas.
- Porfido ricitico (cuarzofero) y totas riciticas de textura porfirica fuertemente clivadas.
- Conjunto volcánico detrítico-arenolítico débilmente deformado de grano medio a fino con facies intrusivas de pegmatita de diorita y cuarcitas.
- Secuencia volcanosedimentaria. Conjunto de rocas silíceas compuestas por ricitos porfiricos con intercalaciones de areniscas de grano fino y conglomerados hacia la cima.

ALTERACIONES

- Zona de alteración

SIMBOLOGIA

- Cabalgadura
- Falla de rumbo
- Vetas de cuarzo
- Dique lamprofídico
- Foliación
- Caminos de brecha
- Arroyos
- Carrera Caborca - Sonoyta
- Contactos
- Otras mineras

ESCALA GRAFICA



UNIVERSIDAD DE SONORA
 MAESTRIA EN CIENCIAS-GEOLOGIA

PLANO GEOLOGICO
 AREA TAJITOS

TESIS
 EVIDENCIAS DE DOS ETAPAS DE MINERALIZACION DE SMO
 MINERAL EN EL NV DEL ESTADO DE SONORA.

ALUMNO	FECHA
DR. JUAN CARLOS GARCIA	15/05/2018
PROF. DR. JUAN CARLOS GARCIA	15/05/2018

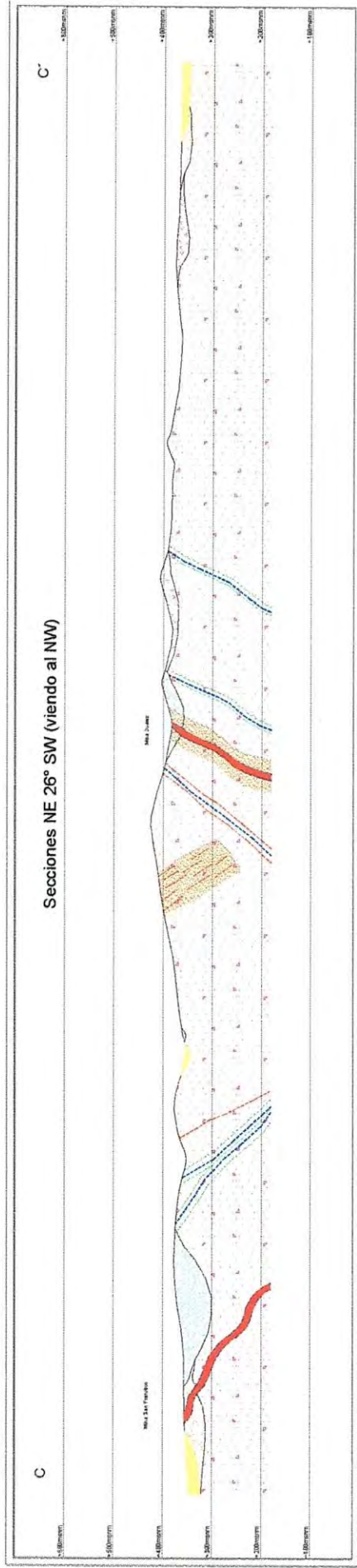


Figura 6. Sección geológica de los depósitos Juárez-San Francisco

III.2.3. Arenisca

De esta forma se le ha denominado a un conjunto de rocas que afloran en la región centro-sureste del área de Juárez (Figura 3), entre los carros San Francisco y Juárez, se observa una secuencia compuesta de areniscas de cuarzo-feldespato de grano fino finamente estratificados, en partes aparentando corresponder a areniscas sucias tipo wackas y otras veces con horizontes de conglomerados intercalados.

Su distribución en el área de San Francisco-Juárez es muy errática y se muestra como secuencias fragmentadas o dislocadas tectónicamente encima del conjunto volcánico. Generalmente están muy destrozadas, en partes dan la apariencia de estar invertidas y los contactos con las unidades que la rodean están ocultos o pasan desapercibidos.

Parte de esta secuencia clástica-terrigena parece mejor conservada en el centro del área al este-centro del área Juárez. Se tiene una secuencia de aproximadamente 200 metros de espesor, bien estratificada con direcciones NW70° y echados muy verticales del orden de 70° al NE. Por la disposición de sus capas, esta secuencia parece estar invertida, conformada en su base por un conglomerado con fragmentos de riolita (conjunto volcánico) subredondeados a redondeados de aproximadamente 1 cm de diámetro, sostenidos entre ellos y en parte presentando una matriz con estructura gradacional del mismo material que los fragmentos en (~10%) del volumen de la roca. Este conglomerado pasa a una secuencia conformada por areniscas de grano fino de cuarzo-feldespato color claro, finamente bandeada, con cristales diminutos de magnetita (~1 mm) diseminados en la roca en ± 3% en volumen de ella. Hacia la parte superior de esta secuencia y por más de 80 metros de espesor se tiene una arenisca de cuarzo-feldespato, de grano fino, bandeada, finamente estratificada con delgados horizontes (2 mm) conteniendo magnetita hasta en un 15% de volumen, burdamente semejando un "Iron Formation".

En el área de San Francisco (Figura 3), esta secuencia parece encontrarse dentro de una zona de fuerte fracturamiento producto de zonas de cizalla, que puede alcanzar los 100 metros de ancho, provocando que este tipo de sedimentos se encuentren movidos, fuertemente fracturados y en partes brechados. Cerca de la zona de contacto, se encuentran fragmentos subredondeados a subangulosos de riolitas que llegan a medir hasta 15 cm de longitud, los cuales están incrustados en los sedimentos, lo cual indica que la secuencia sedimentaria es posterior al conjunto volcánico. Los sedimentos presentan una estratificación con una variante relativa, siendo generalmente de $60^{\circ}/50^{\circ}$ a 70° NE, lo cual es uniforme tanto en la arenisca con magnetita, como en la que no lo presenta este material férrico. Importante es mencionar, que en lo personal no se tiene el conocimiento de que algún afloramiento de este tipo de roca este reportado en algún trabajo previo en esta región del estado de Sonora, lo cual podría ser de interés económico para la región por su elevado contenido de magnetita y cantidad de material, para lo cual sería necesario un estudio económico a detalle.

III.2.4. Dique andesítico

Se presenta cerca de la zona por donde cruza la estructura denominada “falla Juárez” a una distancia aproximada de 30 m hacia el NW; el espesor varía de 0.70 m a 1 m, la dirección de la estructura es de 80° NW-SE, es decir, perpendicular a la estructura de la falla y rumbo de la veta mineralizada principal denominada “veta Juárez”. Es de color verde y megascópicamente esta formada por plagioclasas, clorita, epidota, biotita. Este tipo de roca pudiera corresponder a un remanente del intrusivo principal de composición diorítico.



Imagen 6. Ilustra fragmentos de riolita incrustados en una matriz vítrea de composición ácida formando el aglomerado de la unidad intermedia del conjunto volcánico del área Juárez - San Francisco.

IV. Geología estructural y edad de la deformación

Las áreas de Tajitos y Juárez-San Francisco, representan zonas aisladas con una topografía relativamente suave, ligeramente orientadas en dirección NW-SE, alcanzando una elevación de hasta 480 msnm y rodeadas por extensos valles y se ubican dentro de una región estructuralmente compleja, donde afloran rocas metamórficas de edad Jurásico-Cretácico, algunas de ellas caracterizadas por un alto grado de deformación.

Las áreas de estudio que incluye a Tajitos y Juárez-San Francisco, aunque tienen similitudes litológicas, presentan un fuerte contraste en la intensidad y grado de deformación. Es claro que en Tajitos, las rocas han sido sujetas a un grado de deformación mayor que las de su contraparte en el área de Juárez-San Francisco, llegando a dificultar el reconocimiento total de las rocas en ciertas zonas; sin embargo, los datos estructurales tomados en ambas localidades, ilustran grandes similitudes, lo que podría indicar un mismo evento deformacional en ambas áreas.

Para su estudio y una mejor descripción de su escenario estructural, se hace una descripción por separado de ambas áreas.

IV.1. Tajitos

Aunque la deformación en algunos lugares de esta área ha sido intensa, se logra ver que gran parte de la secuencia corresponde a rocas volcánicas intercaladas con sedimentos clásticos (volcanosedimentos, Pérez et al 1991), las cuales sobreyacen estructuralmente a rocas metamórficas de bajo grado (esquistos verdes) y son intrusionados por un conjunto diorítico-andesítico.

Todas las unidades que afloran en esta área presentan una consistente foliación que varía entre NW40°-60°SE e inclinación de 30-50° al SW. En el caso concreto del conjunto

diorítico-andesítico y probablemente debido a su consistencia física, generalmente no presenta una clara deformación y solo se observa una penetrativa foliación en las cercanías del conjunto de vetas de cuarzo con dirección preferencial N60°-65°W y 60°-75° al SW de inclinación, generándose una clara presencia de clorita + epidota ± pirita, decreciendo gradualmente al alejarnos de ellas.

En la parte centro-este de esta área (Figura 2), se observa como este conjunto diorítico-andesítico intrusión a la secuencia de rocas metamórficas (complejo metamórfico) que la sobreyacen y, aunque el contacto es poco visible en superficie, se logra detectar en ciertos lugares un claro incremento en la intensidad de la foliación cerca del contacto. Estas rocas del complejo metamórfico son afectadas por una fuerte foliación N50-60°W y 45-55° al oeste con cierta presencia de vetillas de cuarzo-turmalina distribuidas indistintamente que cortan claramente a la foliación y que parecen correlacionarse con la etapa de mineralización de oro.

De todas las unidades que afloran en esta área de Tajitos, sin duda la que muestra una mayor deformación, muy probablemente debido a su consistencia sedimentaria, es la secuencia de rocas volcanosedimentarias. Este conjunto de rocas se encuentra en contacto estructural con el complejo diorítico-andesítico y es afectado profundamente por un patrón de foliación N-40-60°W y micropliegues (tipo Kink) con dirección de sus ejes NW-55°SE inclinados 35-40° al NW con vergencia dominante al NE (Imagen 7).

La disposición de estos tipos de pliegues en este conjunto de rocas y su intensificación cerca al contacto con el complejo diorítico-andesítico, señalan esfuerzos direccionales y compresionales en una dirección SW-NE, con características muy similares a las observadas en el contacto entre el complejo metamórfico y conjunto diorítico-andesítico señalado líneas arriba. Esta misma dirección de esfuerzos es observado dentro de

este conjunto volcanosedimentario pero incluidos en horizontes conglomeráticos en clastos riolíticos, donde fracturas extensionales milimétricas unidireccionales NW40-50°SE, parecen corresponder a estructuras tipo Riedel, relacionados a esfuerzos compresionales SW-NE (Imagen 8).

Por otro lado, las riolitas correspondientes a la parte inferior volcanosedimentaria, es afectada por patrones de foliación y fracturamiento que van de fuerte, moderada a débil. Un sistema ortogonal con dirección preferencial NW30-50°SE y SW45-60°NE es generado dentro de esta unidad e incrementado hacia los bordes cerca al contacto con el conjunto diorítico-andesítico. Un contacto estructural por cabalgamiento de esta unidad con el conjunto diorítico es evidente por la presencia de una profunda foliación y micropliegues con dirección de sus ejes NW55-65°SE, indican una dirección de esfuerzo en un sentido NE, como es evidente dentro de la unidad volcanosedimentaria.(Imagen 9).

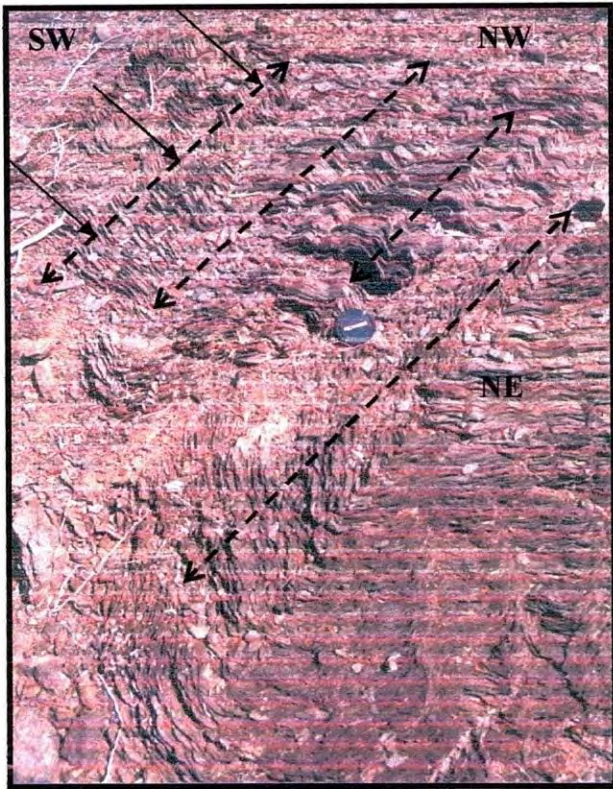


Imagen 7. Fotografía de la secuencia volcánoclastica con eje de pliegue en dirección NW-SE, lo que puede indicar un esfuerzo compresivo del SW al NE.

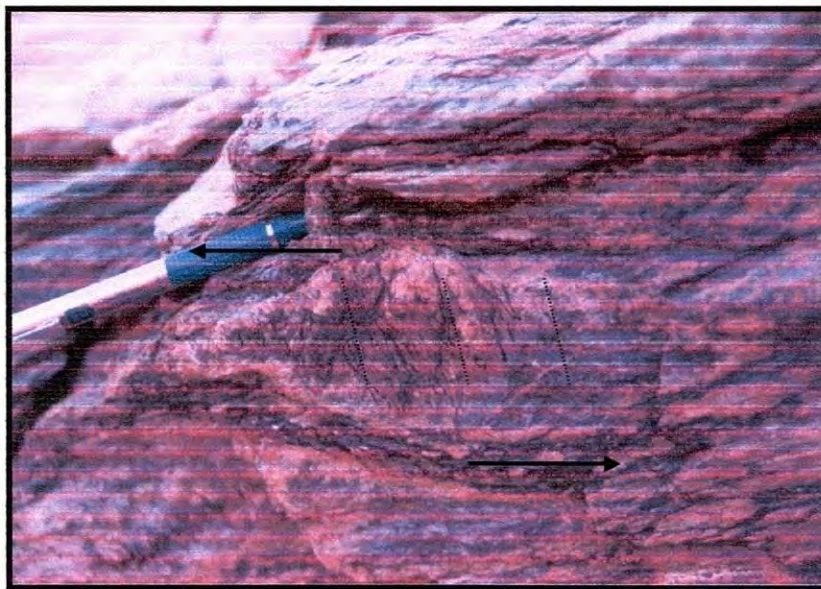


Imagen 8. Fotografía mirando hacia el Sureste; Ilustra a un fragmento de riolita de la secuencia volcansedimentaria afectado por dos eventos deformacionales, asemejándose en conjunto al sistema Riedel (?).



Imagen 9. Esta foto ilustra ejes de micro-pliegues en dirección 55° - 65° NW-SE en el pórfido riolítico. Evidencia aludida a un evento compresivo en dirección SW-NE.
(← →) Rumbo del eje de pliegue; (→ ←) Dirección de esfuerzo compresivo.

IV.2. Juárez-San Francisco

En esta área al parecer se presentan las mismas unidades que afloran en Tajitos a 5 Km al E-SE (Figura 1), con un grado de deformación evidentemente menor, permitiendo observar texturas y estructuras primarias en estas rocas que aún pueden ser comparadas en algunas partes con el conjunto que aflora en Tajitos.

La diorita que aflora en la parte central y sur de esta área, bien puede ser correlacionable con el conjunto diorítico-andesítico en Tajitos. Esta diorita claramente intrusión a una secuencia volcanosedimentaria conformada por tobas riolíticas en su base y una secuencia de sedimentos clásticos que la sobreyacen, que hacen recordar la secuencia volcanosedimentaria en Tajitos.

La diorita se presenta masiva, no deformada, si acaso una débil propilitización general en ella; sin embargo, la secuencia volcanosedimentaria señala una débil foliación con dirección NW-SE, incrementándose ligeramente hacia el NE del área. Aunque no es muy claro, en el sur del área (San Francisco) se tiene una serie de vetas de cuarzo, las cuales fueron emplazadas en una zona de cizalla con dirección NW40-60°SE y echados de 20-40° NE. Esta zona puede alcanzar más de 50m de espesor y ha fragmentado la unidad volcanosedimentaria, dejándola como bloques desordenados encima de ella. Hacia el norte en el área Juárez, las vetas de cuarzo guardan una dirección preferencial NW60-70° SE y echados casi verticales al SW, las cuales fueron emplazadas en estructuras en esta dirección que ponen en contacto la diorita con la parte inferior de la secuencia volcanosedimentaria.

El conjunto de evidencias en lo que respecta a relaciones temporales, dirección de esfuerzos y litología involucrada, parece indicar que los eventos que actuaron en esta área corresponden en mayor grado a esfuerzos dirigidos del SW al NE, los cuales parecen hacerse mas pronunciados en el área de Tajitos, presentando a la roca profundamente

deformada y cabalgando unidades entre si. Se desconoce porqué existe un decrecimiento en deformación hacia el área de Juárez-San Francisco, pero se conoce que el área fuertemente deformada, donde se localiza Tajitos, se extiende hacia el norte, presentando una deformación muy similar.

Por otro lado, las vetas de cuarzo presentes en el área de Tajitos y Juárez-San Francisco, claramente se emplazan en zonas de cizalla y en parte cortan la foliación existente en la roca, otras veces, como sucede en Juárez, se notan una serie de vetillas de cuarzo acomodadas de forma escalonada, dando la impresión de emplazarse en fracturas extensionales tipo "Riedel". Sin embargo, aunque no es muy claro dada la poca exposición superficial en el área de Tajitos, se tiene una etapa de mineralización de oro, asociada a vetas de cuarzo predeformación, las cuales solo en lugares muy restringidos se pudo observar como han sido plegadas durante la deformación que sufrió esta zona.

Con esto en mente y tratando de correlacionar la litología existente en el área, la cual parece corresponder a secuencias volcanosedimentarias Jurásicas, se puede para esta zona asumir una deformación probablemente Cretácica (Laramide) para estas rocas, como ha sido asumido por Meza (1992); para el área de Tajitos y para otras áreas en el norte, en Quitovac por Caudillo-Sosa y Oviedo-Lucero, (1990).

Importante en este sentido y como punto crucial en este estudio es el de considerar dos etapas de mineralización de oro, la primera predeformación y la segunda tardía post-deformación.

En la siguiente sección, se lleva a cabo una serie de estudios geotermobarométricos en ambos tipos de vetas y se hace un análisis químico con valores obtenidos por microsonda electrónica.

V. Geotermometría y barometría

El estudio de inclusiones fluidas, en las áreas de Tajitos (TJ- 2 y TJ-1) y Juárez (VT-1), se efectuaron en dos tipos de vetas que afloran a niveles similares pero en tiempos diferentes; por un lado, vetas de color verde pistache que se encuentran deformadas dentro de un complejo metamórfico de bajo grado, compuesto de volcanosedimentos, y otro tipo de vetas analizadas corresponden a las de cuarzo blanco (lechoso), consideradas como post-deformación, las cuales cortan claramente a la foliación existente en el área de estudio.

Los estudios de inclusiones fluidas se realizaron en el Laboratorio de Petrografía del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora, en donde se obtuvieron mediciones de T_{tot} y posteriormente en el Laboratorio del USGS de Arizona donde se obtuvieron resultados de T_{fhCO_2} , T_{fhH_2O} , T_{hCO_2} , y T_{htot} .

En el presente análisis se ilustran los resultados obtenidos a partir del estudio de 39 mediciones de T_{mCO_2} , 59 de T_{mH_2O} , 39 de T_{hCO_2} , y 223 de T_{htot} , las cuales pertenecen a inclusiones trifásicas (primarias) de CO_2 , inclusiones bifásicas (primarias) e inclusiones bifásicas (secundarias).

El estudio de las inclusiones fluidas consistió en lo siguiente:

- 1) Descripción megascópica y microscópica (petrografía) de las muestras.
- 2) Descripción petrográfica y fotografías a temperatura ambiente de las inclusiones analizadas.
- 3) Mediciones de las siguientes temperaturas: T_{fhCO_2} , T_{fhH_2O} , T_{hCO_2} , y T_{htot} .
- 4) Análisis e interpretación de los resultados obtenidos a partir de la petrografía y de las distintas mediciones de temperaturas, esencialmente de inclusiones fluidas.

Algunas muestras se tomaron en forma indistinta en las vetas que afloran en las áreas de Tajitos-San Francisco, pero dada su constitución fuertemente blanquecina (lechosa) por efecto de una fuerte presencia de micro-inclusiones, solo tres de ellas fueron consideradas aceptables para llevar a cabo estudios de geotermometría a partir de estudio de inclusiones fluidas.

Las muestras Tj-2 y Tj-1 fueron tomadas en el área de Tajitos. La primera de ellas esta constituida por cristales de cuarzo que reflejan un color gris claro con tonos verde pistache, deformación definida por planos de fracturas y vetillas de color rojo claro, constituidas principalmente por cuarzo + óxidos de Fe y microcristales euhedrales de pirita (< 0.5 mm). Como mineral accesorio se tiene la presencia aislada de sulfuros, básicamente de pirita totalmente oxidada (< 2 %) en forma subhedral a euhedral, cuyos tamaños varían de 1 a 3 mm. Microscópicamente los cristales de cuarzo presentan deformación con extinción ondulante, regularmente orientada paralela a la veta. La muestra Tj-1 se caracteriza por ser de color blanco (cuarzo lechoso), con notable desarrollo hacia la parte central de la veta, de cristales de cuarzo de aspecto cristalino, lo cual disminuye hasta en un 100% hacia los bordes de la misma veta, regularmente acompañado de turmalina (< 1%) como mineral accesorio.

Una sola muestra, la VT-1, fue tomada en el área de Juárez, la cual esta constituida por cristales de cuarzo con tonos verde pistache, deformación definida por planos de fracturas de color rojo claro rellenas por cuarzo + óxidos de Fe y microcristales de pirita (< 0.5 mm), presencia de cristales aislados de pirita, similar en apariencia y mineralogía a la muestra Tj-2 en el área de Tajitos.

Microtermometría de inclusiones fluidas

Durante el estudio petrográfico de las inclusiones fluidas se reconocieron inclusiones trifásicas en las vetas de Tajitos y Juárez, las cuales consisten de H₂O líquido, CO₂ líquido y CO₂ vapor. Generalmente se encuentran en forma aislada, reflejando un origen primario, sin estar asociadas a patrones de fracturamientos o alineación que de otra forma indicarían eventos tardíos o secundarios, y asociadas principalmente a cristales de cuarzo de mayores dimensiones y ligeramente más claros que el resto de la masa silícea. Regularmente su forma es irregular, con una ligera tendencia elongada, con dimensiones que varían desde 15 μ hasta 25 μ .

También se observaron inclusiones bifásicas, en las muestras Tj-1, Tj-2 y VT-1, las cuales consisten de H₂O vapor y H₂O líquido; localizadas tanto en macro como en micro cristales de cuarzo. Su distribución es global, representando tanto a inclusiones primarias como a secundarias, en especial estas últimas siendo controladas por planos de fracturas: sus formas son muy variables, habiendo desde euhedrales a anhedrales, algunas de las cuales ya presentan decrepitación y con tamaños que varían desde 7 μ hasta 25 μ .

Importante es mencionar la presencia de inclusiones fluidas con evidencias de estrangulamiento (necking down) tanto en las de tipo trifásicas como en las bifásicas de origen primario y secundario, algunas de ellas atribuidas muy probablemente a esfuerzos de deformación dúctil claramente notables en las vetas analizadas.

Para el presente estudio se sigue la clasificación de Roedder (1984) en las que se incluyen inclusiones primarias, desarrolladas con una distribución generalmente tridimensional en forma aislada; representadas por inclusiones tipo trifásicas (L+V+CO₂) y bifásicas (L+V) (Imagen 10); son de mayor tamaño que las inclusiones secundarias, comúnmente superiores a 15 μ y generalmente incluidas en los cristales de cuarzo claro y de

mayores dimensiones; sus formas se clasifican como variadas, es decir, euhedrales, subhedrales y anhedrales. Inclusiones secundarias caracterizadas por una distribución que forman grupos alineados, que son controlados por fracturas. Consisten principalmente por inclusiones bifásicas donde predomina el líquido (Imagen 11); sus tamaños generalmente son menores que los presentados por las inclusiones primarias, variando entre 5μ hasta 15μ . Resalta la presencia de dos eventos que dieron origen a las inclusiones secundarias y cuyos resultados de T_{htot} son prácticamente similares.

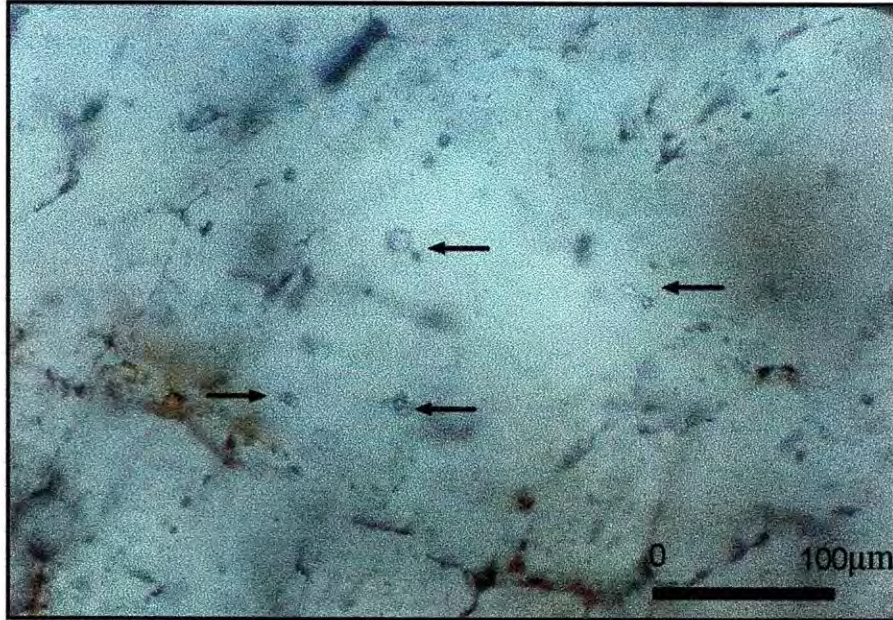


Imagen 10. Distribución tridimensional de inclusiones fluidas trifásicas primarias (L+V+CO₂); muestra TJ-2, área Tajitos.

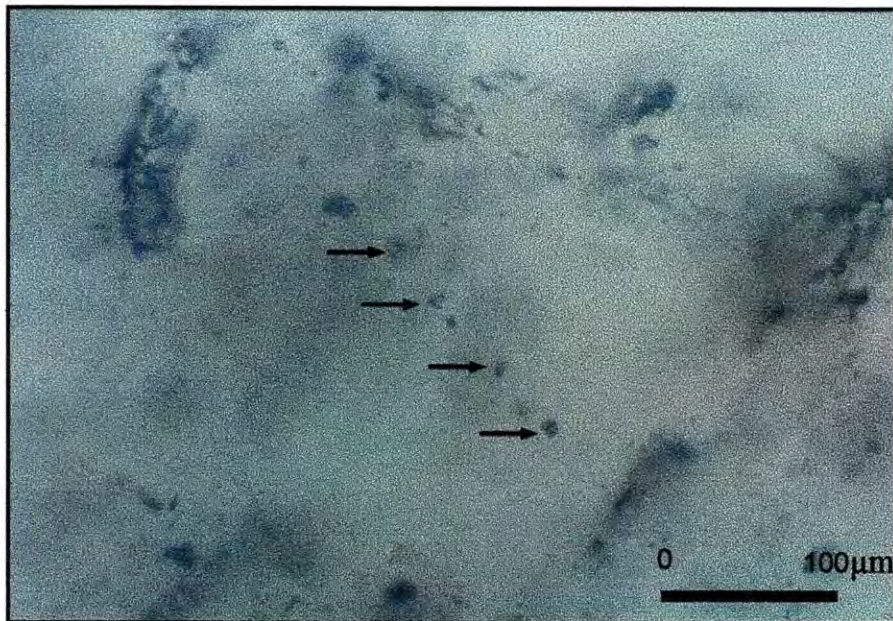


Imagen 11. Plano de inclusiones bifásicas secundarias (L+V); muestra Tj-1, veta no deformada, deposito Tajitos.

Estudio termométrico

Tajitos

Se analizaron dos muestras; una descrita como Tj-2, que representa a las vetas deformadas de color verde pistache y la muestra Tj-1 representando a las vetas blancas de cuarzo lechoso (no deformadas). Para la muestra Tj-2 se analizaron inclusiones trifásicas (L+V+CO₂) (P), bifásicas (L+V) (P) y bifásicas (L+V) (S); El rango de la Thtot del total de las inclusiones analizadas varía de 200°C hasta 400°C, haciéndose notar 3 grupos distintos de inclusiones y restringidos claramente por rangos determinados de temperatura. El primer grupo corresponde a inclusiones con menor temperatura (220-280°C) representando a inclusiones bifásicas (L+V) secundarias, con un promedio de 250 °C. El segundo grupo de inclusiones consisten principalmente de inclusiones bifásicas primarias (L+V), tienen un comportamiento uniforme, con un limitado rango de temperaturas que varía de 300°C a 340°C. Por último se tiene un tercer grupo representado por inclusiones trifásicas (L+V+CO₂), con un rango de temperaturas superior a las inclusiones bifásicas primarias y secundarias, con temperaturas que van de 350°C a 370°C y escasamente a inclusiones que alcanzan los 400°C de Thtot. (Figura 4).

Los valores representados en la Figura 5, muestran la distribución de la ThCO₂ de las inclusiones trifásicas primarias correspondiente al tercer grupo de inclusiones descritas líneas arriba. Importante es mencionar que en total se obtuvieron 17 datos, lo cual podría ser una cantidad poco representativa, sin embargo el comportamiento observado en la gráfica puede considerarse como aceptable, debido a la notable tendencia a homogenizar en un rango de temperatura restringido, no menor de 29°C y no mayor de 31.5 °C y cuya concentración principal se presenta entre los 30-30.5°C.

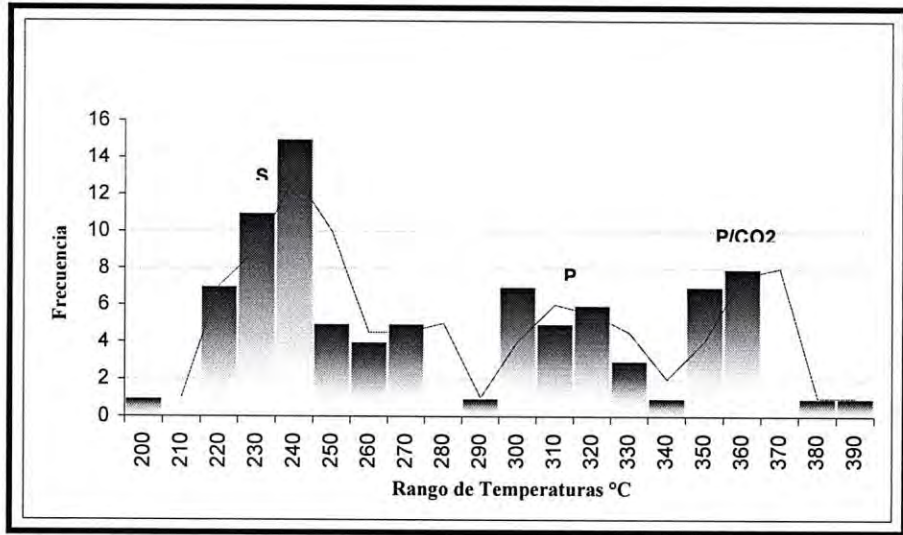


Figura 4. Diagrama que muestra el comportamiento estadístico de las temperaturas de homogenización (T_{htot}) de las inclusiones fluidas de la veta Tj-2.

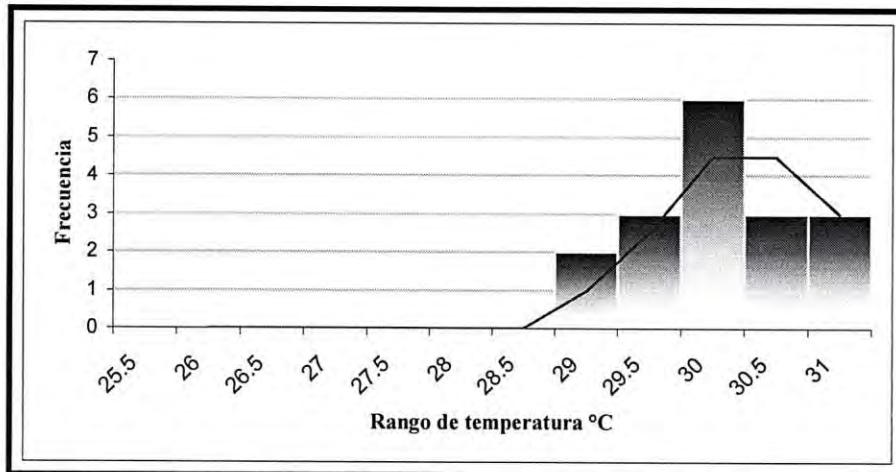


Figura 5. Diagrama que representa la distribución estadística de T_{hCO_2} de las inclusiones trifásicas primarias de la muestra Tj-1.

Para la muestra Tj-1, representativa de las vetas post-deformación, se observaron y analizaron solo dos tipos de inclusiones que fueron bifásicas (P) y bifásicas (S) con un rango de temperatura que varía de 120°C hasta los 400 °C (Figura 6). La distribución de las temperaturas en forma general se considera uniforme, sin embargo, es notoria la presencia de dos grupos de inclusiones en particular; un primer grupo restringido por el rango de temperatura de 140–170°C, con una mediana de 154.5°C y que petrográficamente representan a las inclusiones de tipo bifásicas secundarias; y un segundo grupo de inclusiones que se limita a rangos de temperaturas entre los 300°C y 350°C y una mediana de 335.8°C y las cuales fueron descritas petrográficamente como inclusiones bifásicas primarias (L+V).

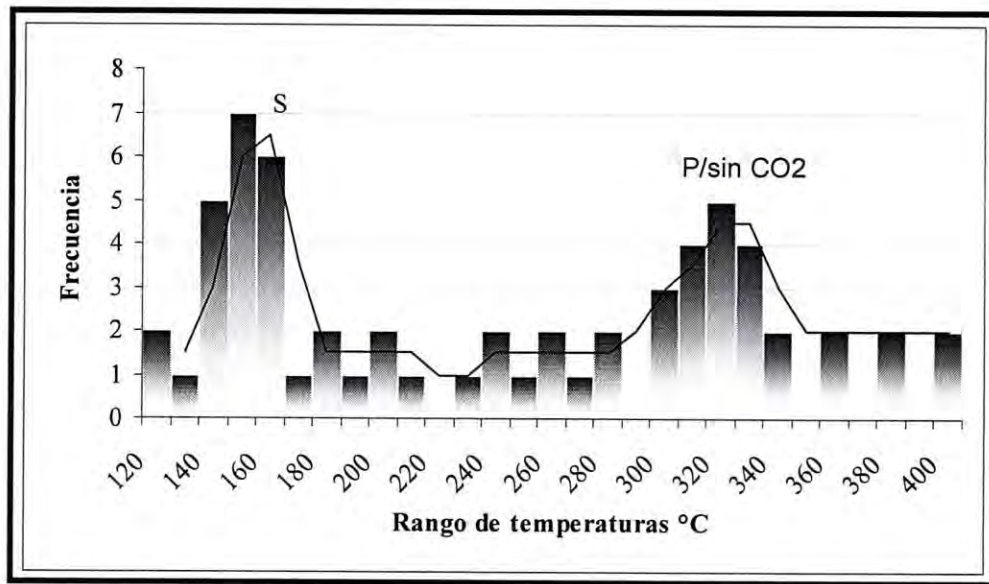


Figura 6. Diagrama del comportamiento estadístico de la Thtot de la muestra Tj-1

Tabla 1. Temperaturas de homogenización °C en las vetas de Tajitos

Vetas de cuarzo deformadas			
Muestra	Tipo de inclusión	Th °C	Mediciones
TJ-2	S (L+V)	200	1
TJ-2	S (L+V)	210	0
TJ-2	S (L+V)	220	1
TJ-2	S (L+V)	230	17
TJ-2	S (L+V)	240	15
TJ-2	S (L+V)	250	5
TJ-2	S (L+V)	260	4
TJ-2	S (L+V)	270	5
TJ-2	S (L+V)	280	0
TJ-2	S (L+V)	290	1
TJ-2	P (L+V)	300	7
TJ-2	P (L+V)	310	5
TJ-2	P (L+V)	320	6
TJ-2	P (L+V)	330	3
TJ-2	P (L+V+CO2)	350	7
TJ-2	P (L+V+CO2)	360	8
TJ-2	P (L+V+CO2)	370	0
TJ-2	P (L+V+CO2)	380	1
TJ-2	P (L+V+CO2)	390	1
Vetas de cuarzo no deformadas			
Muestra	Tipo de inclusión	Th °C	Mediciones
TJ-1	S (L+V)	130	1
TJ-1	S (L+V)	140	5
TJ-1	S (L+V)	150	7
TJ-1	S (L+V)	160	6
TJ-1	S (L+V)	170	1
TJ-1	S (L+V)	180	2
TJ-1	S (L+V)	190	1
TJ-1	S (L+V)	200	2
TJ-1	S (L+V)	210	1
TJ-1	S (L+V)	220	0
TJ-1	S (L+V)	230	1
TJ-1	S (L+V)	240	2
TJ-1	S (L+V)	250	1
TJ-1	S (L+V)	260	2
TJ-1	S (L+V)	270	1
TJ-1	S (L+V)	280	2
TJ-1	P (L+V)	290	0
TJ-1	P (L+V)	300	3
TJ-1	P (L+V)	310	4
TJ-1	P (L+V)	320	5
TJ-1	P (L+V)	330	4
TJ-1	P (L+V)	340	2
TJ-1	P (L+V)	350	0
TJ-1	P (L+V)	360	2
TJ-1	P (L+V)	370	0
TJ-1	P (L+V)	380	2
TJ-1	P (L+V)	390	0
TJ-1	P (L+V)	400	2

Juárez-San Francisco

Para esta área solo se analizó una muestra (VT-1), la cual es representativa del tipo de vetas que han sido minadas en esta área y cuyas características megascópicas y microscópicas son muy similares a la muestra Tj-2 correspondiente al área de Tajitos, es decir, vetas deformadas, de color verde pistache y predeformación.

Petrográficamente en esta muestra resaltan 3 tipos de inclusiones fluidas, descritas como trifásicas primarias (L+V+CO₂), bifásicas primarias (L+V) y bifásicas secundarias (L+V). Los resultados obtenidos son muy similares a los de la muestra Tj-2 del depósito Tajitos, obteniéndose tres grupos de inclusiones que dominan el comportamiento general de la veta; el grupo de menor temperatura corresponde a inclusiones bifásicas secundarias (L+V), que se restringen a rangos de temperaturas de 230°C a 260°C; el segundo grupo representa a inclusiones bifásicas primarias (L+V), limitado a temperaturas del orden de 290°C a 310°C; el grupo de las inclusiones trifásicas primarias (L+V+CO₂) representan a las inclusiones de mayor grado de temperaturas (330°C a 370°C), ver Figura 7.

Los resultados de ThCO₂ de las inclusiones trifásicas primarias, permitió determinar los parámetros barométricos a los que estuvieron involucrados los fluidos durante la formación de las vetas auríferas; en total se analizaron 20 datos, de los cuales se obtuvo un promedio de 30.1°C de ThCO₂, Figura 8.

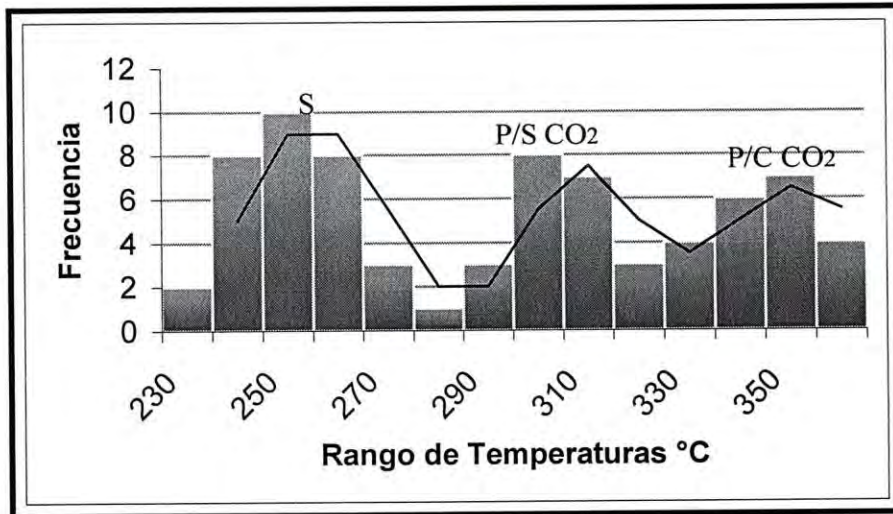


Figura 7. Comportamiento estadístico de la Thtot de la muestra VT-1. Nótese la presencia de tres grupos de inclusiones fluidas; secundarias bifásicas (L+V), primarias bifásicas (L+V) y primarias trifásicas (L+V+CO₂), muy similar en comportamiento a la muestra Tj-2, Figura 4.

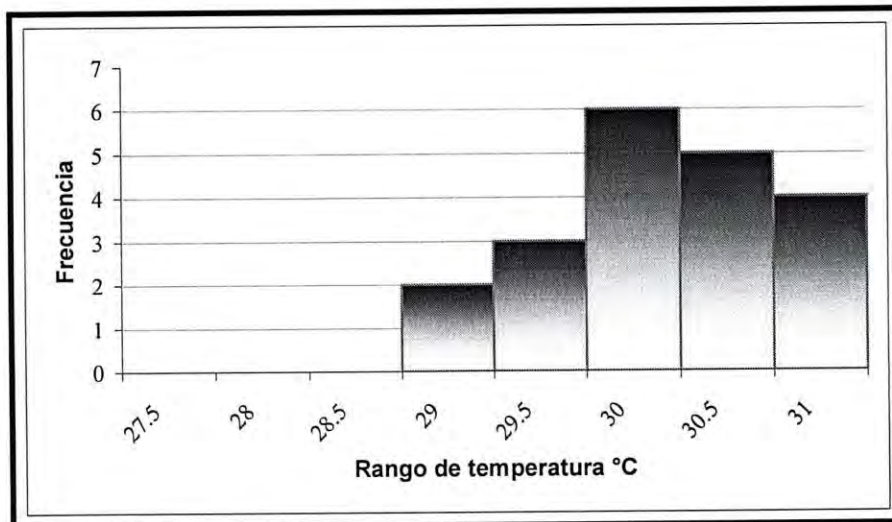


Figura 8. Comportamiento estadístico de las ThCO₂ de las inclusiones Trifásicas pertenecientes a la muestra VT-1.

Tabla 2. Temperatura de homogenización °C en las vetas de Juarez-Sn Fco.			
Muestra	Tipo de inclusión	Th °C	Mediciones
VT-1	S (L+V)	200	0
VT-1	S (L+V)	210	0
VT-1	S (L+V)	220	0
VT-1	S (L+V)	230	2
VT-1	S (L+V)	240	8
VT-1	S (L+V)	250	10
VT-1	S (L+V)	260	8
VT-1	S (L+V)	270	3
VT-1	S (L+V)	280	1
VT-1	S (L+V)	290	3
VT-1	P (L+V)	290	3
VT-1	P (L+V)	300	8
VT-1	P (L+V)	310	7
VT-1	P (L+V)	320	3
VT-1	P (L+V)	330	4
VT-1	P (L+V+CO2)	340	6
VT-1	P (L+V+CO2)	350	7
VT-1	P (L+V+CO2)	360	4

Estudio termobarométrico

Mediante los resultados obtenidos de la ThCO_2 del conjunto de inclusiones trifásicas primarias ($\text{L}+\text{V}+\text{CO}_2$) en las muestras Tj-2 y VT-1, se determinaron las condiciones de presión expuestas por los fluidos en las vetas con mineralización de oro durante su formación, obteniéndose a partir de la temperatura (ThCO_2) del total de inclusiones medidas en cada muestra (Tj-2 de 30.5°C y VT-1 de 30.1°C). Utilizando la Figura 9 de Valakovich and Altunin (1968), se obtienen las densidades de $0.54\text{gr}/\text{cm}^3$ para la muestra Tj-2 y de $0.56\text{gr}/\text{cm}^3$ en la muestra VT-1. Estos valores se pueden graficar en los diagramas discriminatorios de presiones, obteniéndose variaciones que van de 950 bars a 1100 bars para la muestra Tj-2 que representa una profundidad de 3.3 km a 3.8 km y presiones de 1000 a 1100 bars, que implica profundidades de 3.5 km a 3.8 km para la muestra VT-1, (Figuras 10 y 11).

Los resultados de las presiones de la muestra Tj-2 correspondiente al área de Tajitos y VT-1 del depósito de Juárez, corresponde a depósitos formados en condiciones mesotermales.

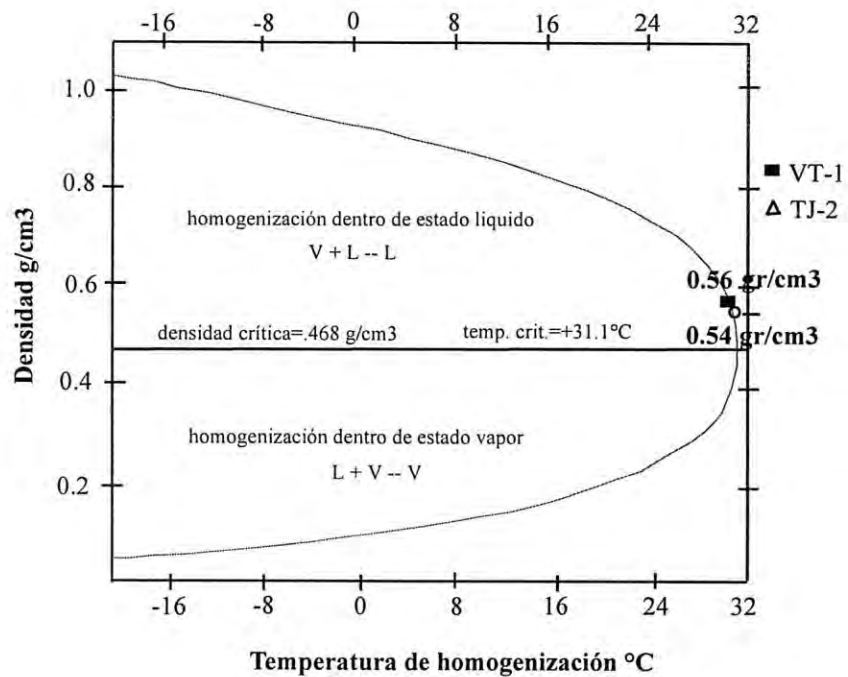


Figura 9. Diagrama discriminatorio de densidades de inclusiones fluidas; (after Valakovich and Altunin, 1968). Nótese la cercanía de las muestras TJ-1 y VT-1.

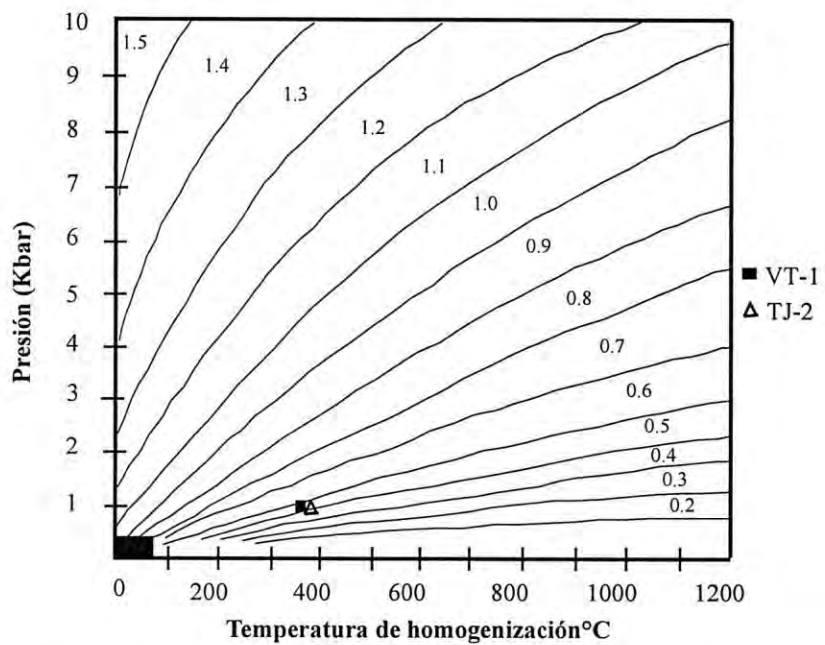


Figura 10. Diagrama de P-T para un sistema CO₂; (Bergman, 1982, Shmonov and Skmulovich, 1974, Kennedy, 1954). Nótese la cercana disposición de las muestras VT-1 y Tj-2.

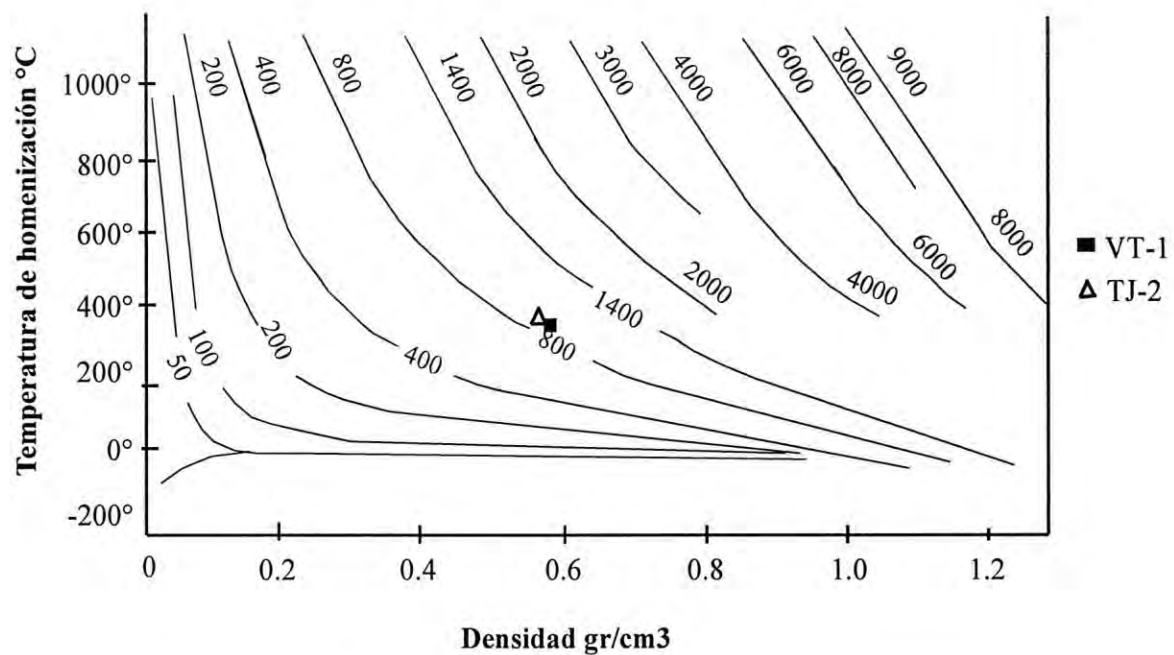


Figura 11. Diagrama discriminatorio de presiones, basado en datos experimentales por Kennedy, Shmonov y Shmulovich, 1974, Kerrick y Jacobs, 1981; al igual que en la Figura 7, los datos ploteados se encuentran prácticamente en contacto, reflejando resultados muy similares.

Conclusiones del análisis termobarométrico-petrográfico

Los datos obtenidos al enfriar y calentar inclusiones de las tres diferentes muestras de cuarzo en las áreas de Tajitos y Juárez-San Francisco, nos permiten hacer una serie de observaciones que ayudan a entender un poco los medios y procesos formacionales para este tipo de estructuras con mineralización de oro.

Se tienen al parecer dos etapas distintas de mineralización de oro, las cuales parecen relacionarse a procesos pre-deformacionales (Tj-2 y VT-1) y post deformación (Tj-1). Las primeras dos muestras presentan inclusiones trifásicas (L+V+CO₂) con tres etapas de población de inclusiones (Figura 12) que permiten establecer condiciones mesotermiales de formación con temperaturas mayores a 350°C y profundidades de formación del orden de 3.5 Km, a diferencia de las vetas de cuarzo con inclusiones del tipo (L+V) y temperaturas de homogenización del orden de 225°C, sin inclusiones con CO₂. Todo esto parece indicar dos tipos diferentes de fluidos, lo cual es apoyado por observaciones de campo. Por otro lado, la deformación del cuarzo presente en las muestras Tj-2 y Tj-1, aparentemente solo se puede dar a temperaturas arriba de 300°C como ha sido indicado por Passchier and Trow, (1996), para depósitos formados bajo estas condiciones.

Las profundidades de formación del orden de 3 Km, parecen ser consistentes con facies metamórficas del tipo esquistos verdes observadas en esta área.

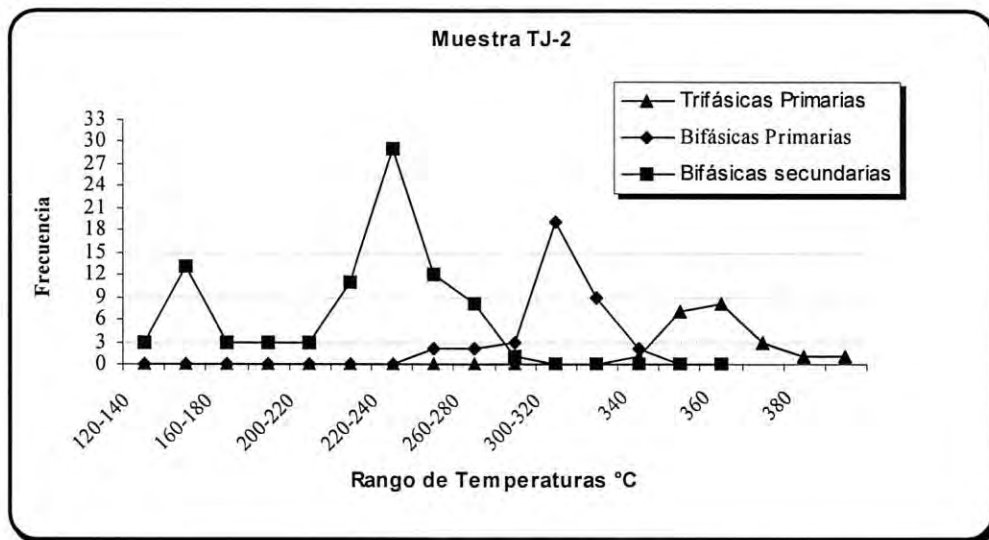


Figura 12. Representación gráfica de las temperaturas de homogenización (Th_{tot}) de la muestra Tj-2, área Tajitos. Nótese la presencia de 3 eventos hidrotermales.

VI. ESTUDIO GEOQUIMICO (Análisis químico mineral)

VI.1. Análisis geoquímico y petrográfico de cloritas asociadas a las vetas de cuarzo

Durante nuestro reconocimiento geológico y mayormente en el área de Tajitos, se observaron al parecer dos etapas generacionales de clorita. Una de ellas asociada a la etapa de metamorfismo y deformación y la segunda relacionada en espacio y tiempo a las vetas de cuarzo post-deformación. La primera de ellas, se encuentra asociada a la facie metamórfica mineral que reconoce a estas como esquistos verdes-anfibolitas. Generalmente se encuentra deformada y paralela a la deformación de los minerales que la encajonan. En cambio la segunda se presenta en vetillas de pocos milímetros, regularmente cerca de las vetas de cuarzo post-deformación.

Con esto en mente se trató de determinar las temperaturas de cristalización de los dos tipos de cloritas y compararlas con las temperaturas obtenidas de las vetas de cuarzo por el método de inclusiones fluidas y poder determinar diferencias en sus etapas de deformación. Para el estudio de cloritas las muestras fueron separadas y preparadas en el laboratorio de petrografía de la Universidad de Sonora y analizada por Microsonda Electrónica en el Laboratorio de Ciencias Planetarias de la Universidad de Arizona.

El análisis mineral de microsonda electrónica se elaboro utilizando un equipo CAMECA SX-50, en el Lunar and Planetary Laboratory, Department of Planetary Sciences, University of Arizona, Tucson Arizona, usando las siguientes condiciones: corriente de 20 nA y un voltaje de aceleración de 15 kV. El tiempo de conteo para todos los elementos fue de 15 segundos. Los minerales utilizados como estándares fueron los siguientes: minerales naturales (albita: Na; feldespato potásico: K; diopsida; Si, Mg y Ca; Al; rodonita: Mn; rutilo: Ti; fayalita: Fe; cromita: Cr). Bajo esas condiciones, el contenido inferior a 0.1% están considerados debajo del límite de detección.

Considerando que en un estudio de cloritas, la participación de Al^{IV} refleja la temperatura de cristalización en sistemas hidrotermales (Cathelineau y Nieva, 1985; Cathelineau, 1988) y que también es aplicable en el caso de terrenos de metamorfismo de bajo grado (Bevins et al., 1991), se considera el presente diagrama (Figura 13), para discriminar temperaturas de cristalización de cloritas que constituyen a las rocas analizadas del área central del depósito de Tajitos.

Observaciones de campo aunado a la interpretación petrográfica y geoquímica, define la presencia de dos tipos de cloritas (hidrotermales y metamórficas) como se observa en la Figura 13. Las temperaturas de cristalización de las cloritas clasificadas petrográficamente como metamórficas varía de 300°C a 320°C y se distinguen por ser principalmente de tipo ripidolita y en menor proporción de tipo Pycnoclonte (figura 14); por otro lado, las temperaturas de las cloritas hidrotermales varían de 320°C a 370°C y son constituidas por el mismo tipo de cloritas mencionadas anteriormente, sin embargo, la mayor proporción corresponde a las de tipo pycnoclorita. Del mismo modo, para las cloritas hidrotermales se nota un claro incremento en Fe con respecto aquellas de origen metamórfico como se nota en la Figura 14.

Los resultados obtenidos en el presente capítulo, permite establecer la similitud que presentan las temperaturas de cristalización de las cloritas descritas petrográficamente como hidrotermales y las temperaturas de homogenización de las inclusiones fluidas primarias de las vetas de cuarzo con mineralización de oro, cuyos resultados, avalan la posibilidad de que el evento productor de la alteración hidrotermal en la roca encajonante sea el mismo evento que dio origen a los fluidos hidrotermales productores de las inclusiones fluidas analizadas.

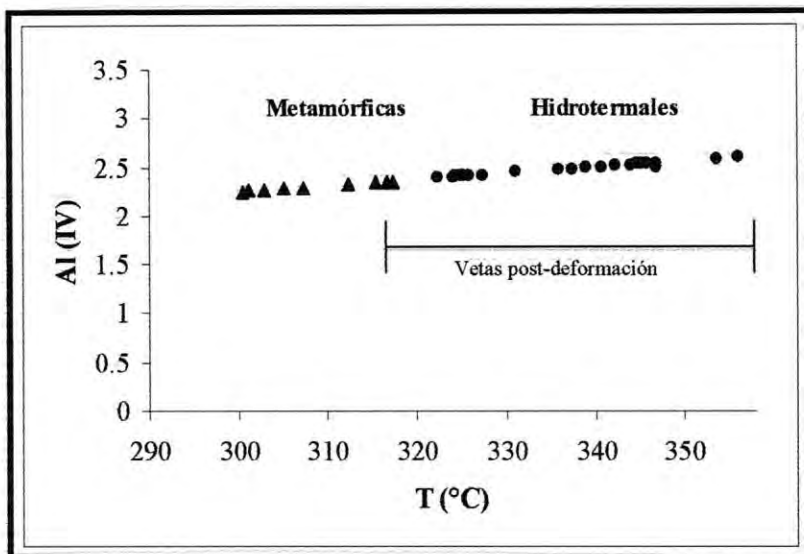


Figura 13. Diagrama discriminatorio Al(IV) vs temperaturas de cristalización de cloritas; Nótese la distinción de las cloritas metamórficas (▲) e hidrotermales (●); (Cathelineau 1988).

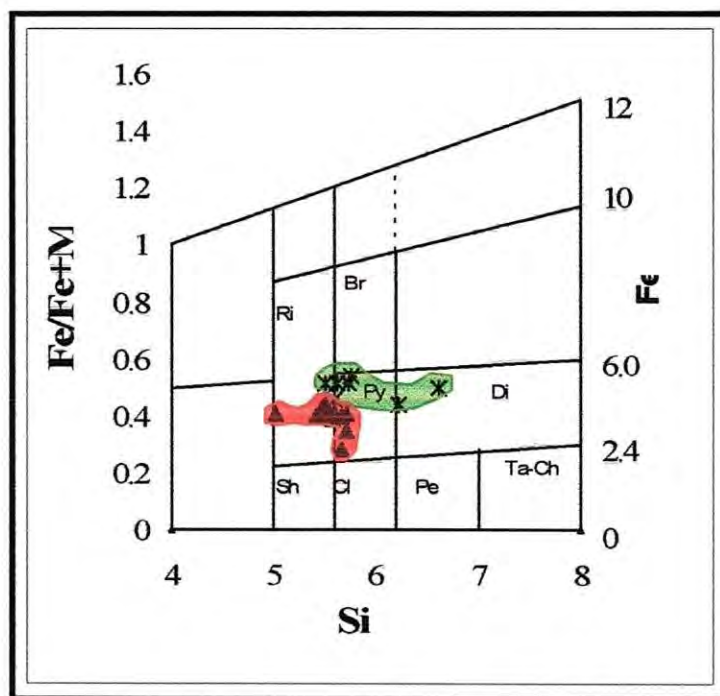


Figura 14. Diagrama de clasificación de Hey (1954) para cloritas; nótese los dos campos de cloritas. Cloritas metamórficas (▲), cloritas hidrotermales (×). Ri = Ripidolita, Br = brunswigita, Py = Pycnoclorita, Di = diabanita, Sh = shericlorita, Cl = clinocloro, Pe = penina, Ch = chamosita

VII. Geoquímica de oro

Con el firme propósito de conocer la edad de la mineralización de oro en estas áreas, se mandaron datar dos muestras de oro al laboratorio de Geoquímica de la Universidad de Arizona por el método Re/Os aplicado con magníficos resultados en depósitos de oro orogénicos Paleoproterozoicos en el sur de Africa en la región de Witwatersrand. Aprovechando esta ocasión, se mandaron también una muestra de la mina La Herradura del Grupo Peñoles, yacimiento definido como de origen mesotermal y actualmente en explotación con mas de 3 millones de onzas y 1 gr/t de Au (Romero-Valle, 2005) y otra mas de un depósito de placer denominado El Asilo, localizado a 75 km al norte de Tajitos (Figura 1). Desafortunadamente la relación detectada de Re/Os fue muy baja en base a los límites de detección que exige este método para un resultado de edad confiable, además de las complicaciones para reunir la cantidad de muestra apropiada para ser analizada. De cualquier forma la pequeña cantidad de Au recuperado (~ 2 gr de Au) fue utilizado para ser analizado por minerales del tipo platinoídes en mineral de oro de los depósitos de Tajitos, Juárez, La Herradura y el placer El Asilo, cuyos resultados se obtuvieron en % en peso (Figura 17), manteniéndose sus concentraciones mas o menos constantes, solo con pequeñas variaciones, las cuales parecen mostrar rasgos significativos.

Se graficaron de manera comparativa los elementos de “Au vs Ag” (Figura 15) y “Au vs Cu” (Figura 16) para las áreas estudiadas, con el objetivo de observar similitudes o diferencias entre ellas.

Los datos indican que el metal de Au en cada área, presenta concentraciones variables de los distintos elementos que se le asocian, tales como el cobre y plata principalmente y de igual forma en las distintas muestras separándose en áreas claramente identificadas.

Como se observa en las gráficas, la muestra del placer El Asilo, presenta mayor enriquecido en oro con respecto a la plata, probablemente debido a que los procesos de lixiviación en los que estuvo expuesto el metal, provocó la separación de “impurezas” o contenido de otros elementos asociados al metal (Au), aunado a la movilidad y poder de oxidación de Ag y Cu en condiciones oxidantes. Sus concentraciones en Au varían de 90.5 a 94 (%), en Ag de 6 a 7 (%) y Cu (x 100) de 2 – 11(%).

Por otro lado, se observa una similitud en las concentraciones porcentuales de los elementos Au, respecto a Ag y Cu en las áreas de Tajitos y Juárez, lo cual sugiere condiciones de depositación del mineral similares producido por una misma fuente u origen para ambas localidades, lo cual es apoyado por la disposición espacial, temporal y estructural de las vetas de cuarzo mineralizadas, tipo de alteración, asociación mineralógica, entre otras. El promedio porcentual de oro de los puntos analizados en estas regiones, varía de 90-92 (%), siendo la Ag el segundo elemento de importancia en contenido con un promedio de 7.5-8.5 (%) y por último la presencia de Cu (x 100) de 3 a 10.5.

El análisis de la muestra del yacimiento “La Herradura”, indica que las concentraciones de oro con respecto a la plata y el cobre son menores en relación al resto de las áreas estudiadas, su contenido en Au varía de 84 a 90 %, el contenido de Ag es proporcionalmente mayor al de las otras áreas.

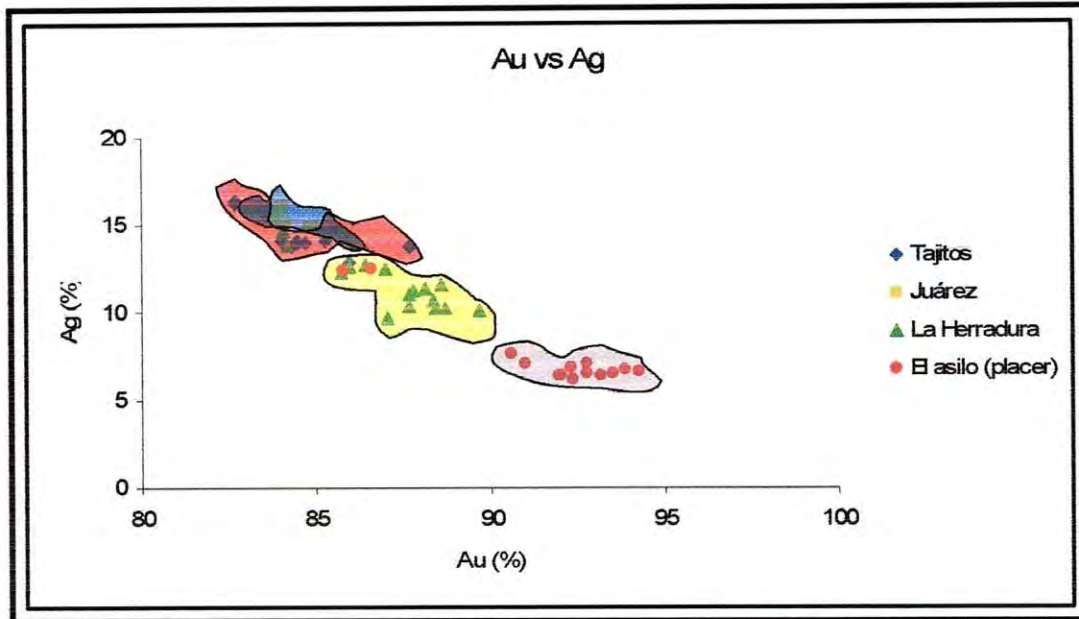


Figura 15. Diagrama comparativo de concentraciones (wt %) de Au vs Ag de los depósitos estudiados.

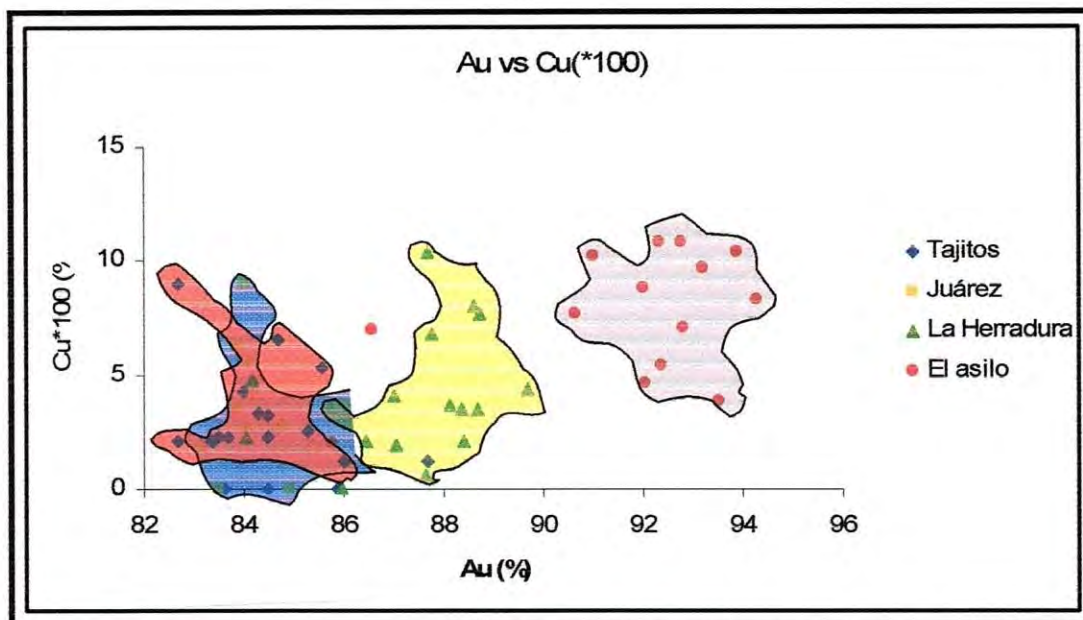


Figura 16. Diagrama comparativo de concentraciones (wt %) de Au vs Cu de los depósitos estudiados.

Tabla 3. Tabla de concentración (wt %) de elementos asociados al Au de los depósitos estudiados.

El Asilo

Fe (*)	Ni (*)	Cu (*)	S (*)	Ag	Au	Bi (*)	Ir (*)	Te (*)	Re (*)	Os	Total
0.023	0	0.083	0.022	6.621	94.29	0	0.053	0.001	0	0	101.093
0.017	0	0.104	0.007	6.667	93.881	0	0.047	0.016	0	0	100.739
0	0.018	0.088	0.025	6.364	91.98	0	0.038	0.006	0.007	0	98.526
0.008	0.013	0.097	0.013	6.379	93.2	0	0.055	0.013	0	0	99.778
0	0.015	0.054	0.015	6.085	92.358	0	0.029	0.015	0.001	0	98.572
0.016		0.038	0.022	6.424	93.533	0	0.034	0.01	0	0	100.077
0	0.006	0.071	0.013	6.451	92.792	0	0.031	0.013	0	0	99.377
0	0.033	0.046	0.022	6.378	92.049	0	0.042	0.011	0	0	98.581
0.007	0	0.108	0.019	7.024	92.757	0.003	0.046	0.008	0	0	99.972
0.021	0	0.108	0.006	6.861	92.326	0.016	0.082	0.014	0.007	0	99.441
	0	0.102	0.01	7.079	90.993	0	0.032	0.014	0	0	98.23
0.018	0.019	0.077	0.003	7.63	90.629	0.014	0.037	0.013	0	0	98.44
0	0	0.07	0.026	12.515	86.573	0	0.054	0.028	0.001	0	99.267
0	0	0.02	0.035	12.344	85.764	0.056	0.042	0.019	0.005	0	98.285

La Herradura

0.027	0	0.08	0.033	11.566	88.581	0	0.015	0.018	0	0	100.32
0.035	0.004	0.006	0.005	11.028	87.654	0	0.015	0.02	0	0	98.767
0	0	0.044	0.006	10.158	89.685	0.002	0.027	0.017	0.002	0	99.941
0	0	0.035	0	10.247	88.689	0	0.029	0.018	0	0	99.018
0	0	0.019	0.012	9.701	87.049	0	0.056	0.024	0	0	96.861
0.002	0	0.048	0.024	13.918	84.179	0.027	0.055	0.019	0	0	98.272
0	0	0.023	0	14.622	84.048	0.045	0.063	0.025	0	0	98.826
0.008	0	0.037	0.009	11.369	88.111	0.017	0.019	0.015	0	0	99.585
0	0.005	0.068	0.014	11.241	87.777	0	0.041	0.01	0	0	99.156
0.003	0	0.104	0.043	10.374	87.68	0	0.038	0.014	0	0	98.256
0.007	0.04	0.021	0.019	10.245	88.419	0	0.041	0.012	0	0	98.804
0.038	0	0.077	0.035	10.185	88.71	0	0.014	0.014	0	0	99.073
0.006	0	0.035	0.011	10.702	88.355	0.019	0.022	0.02	0.004	0	99.174
0.004	0.021	0	0.023	12.664	85.958	0.012	0.006	0.013	0.004	0	98.705
0.015	0.015	0.036	0.045	12.258	85.706	0.028	0.035	0.013	0	0	98.151
0	0.025	0.041	0.015	12.541	87.004	0	0.057	0.019	0	0	99.702
0	0	0.021	0.026	12.761	86.432	0.012	0.014	0.021	0.003	0	99.29

Tajitos

Fe (*)	Ni (*)	Cu (*)	S (*)	Ag	Au	Bi (*)	Ir (*)	Te (*)	Re (*)	Os	Total
0		0.053	0	14.876	85.546	0	0.0348	0.0198	0	0	100.5296
0.023	0.0025	0.065	0.023	13.989	84.678	0	0.024	0.0214	0	0	98.8259
0.0018	0.043	0.023	0.034	14.092	84.467	0	0.017	0.01892	0.0024	0	98.69912
0	0.0012	0.043	0	14.098	83.987	0	0.043	0.03132	0.0031	0	98.20662
0.002	0.005	0.012	0.03	12.896	85.985	0.023	0.0342	0.01243	0	0	98.99963
0.007	0	0.023	0.017	15.972	83.687	0.021	0.0542	0.021	0	0	99.8022
0	0	0.021	0.012	16.376	82.699	0	0.0521	0.0154	0	0	99.1755
0	0.025	0	0.009	14.027	85.898	0	0.0192	0.0321	0.0021	0	100.0124
0	0.031	0	0.03	13.965	84.465	0.017	0.002	0.0143	0	0	98.5243
0.023	0.0012	0.023	0.023	15.382	83.498	0.015	0.0076	0.0112	0	0	98.984
0.007	0.0023	0.012	0.034	13.792	87.687	0.021	0.027	0.0163	0	0	101.5986
0.0054	0.0017	0.025	0.002	14.098	85.265	0	0.062	0.0132	0.0031	0	99.4754
0.024	0.0034	0.033	0.012	13.792	84.276	0	0.0176	0.0184	0.002	0	98.1784
0.015	0.0043	0.032	0.018	14.092	84.469	0	0.04	0.012	0.00132	0	98.68362
0.018	0.0021	0.09	0.023	16.238	82.689	0.034	0.0262	0.033	0.002	0	99.1553
0.04	0	0	0.021	15.798	83.589	0.0213	0.0092	0.0284	0	0	99.5069
0.004	0	0.021	0	16.109	83.354	0.032	0.043	0.023	0	0	99.586

Juárez

Fe (*)	Ni (*)	Cu (*)	S (*)	Ag	Au	Bi (*)	Ir (*)	Te (*)	Re (*)	Os	Total
0	0	0.057	0	16.032	84.089	0	0.0437	0.01796	0	0	100.23966
0.031	0	0.028	0.013	14.908	84.809	0	0.031	0.013	0	0	99.833
0.023	0.039	0.035	0.032	15.028	83.899	0.024	0.0076	0.0201	0	0	99.1077
0.0043	0.0018	0.018	0.017	15.901	83.128	0.021	0.0218	0.0192	0.0012	0	99.1333
0	0.0041	0.037	0.021	13.901	85.999	0	0.00897	0.0183	0.0022	0	99.99157
0	0.0027	0.026	0.031	16.002	84.021	0.0182	0.075	0.0218	0.0021	0	100.1998
0.04	0	0.09	0.008	15.042	83.983	0.031	0.054	0.0162	0.002	0	99.2662
0.005	0	0	0.018	15.089	83.465	0	0.043	0.0173	0.0015	0	98.6388
0.007	0.0024	0	0.017	14.909	84.908	0	0.001	0.0231	0.0014	0	99.8689
0.038	0.0012	0.041	0	15.079	84.19	0.0281	0.008	0.0231	0.002	0	99.4104
0	0	0.063	0.028	15.098	83.892	0.032	0.031	0.02912	0.0011	0	99.17422
0.017	0	0.061	0.031	15.629	83.909	0.014	0.05	0.013	0.003	0	99.727

V.3. Estudio de Microscopio de Barrido Electrónico

Tres muestras del área Tajitos fueron analizadas en el Departamento de Polímeros de la Universidad de Sonora, utilizando un Microscopio de Barrido Electrónico de marca JOEL, modelo 5410LV, equipado con EDS (Energy Dispersive Spectroscopy), lo cual respalda la asociación de Ag, Cu y Au en estas muestras aportado por el análisis de microsonda electrónica.

En una de las muestras (Tajitos 1) los resultados indican que la presencia de Au se establece como el elemento mayoritario, depositado en placas microscópicas en zonas de contacto entre los cristales de cuarzo y una fuerte asociación de Ag como elemento de segundo orden; se observa una concentración muy baja de Si (2.33 %) que posiblemente sea un reflejo del cuarzo que envuelve al oro, presencia casi nula de Al (0.67%) localizado principalmente en los bordes de las placas de oro (Imagen 12) y menor contenido de zinc.

Tabla de concentraciones (%) de elementos analizados (muestra: Tajitos 1):

<u>Elemento</u>	<u>Porcentaje (%)</u>
Au -----	84.79 %
Ag -----	12.20 %
Si -----	2.33 %
Al -----	<u>0.67</u> %
	99.99 %

En otra muestra analizada en esta área (Tajitos 2), se muestra la fuerte relación del Au con respecto a la Ag, Al y Si, este último tal vez influenciado por efecto de impureza del mineral, como se ve en la “Imagen 13”.

Imagen 12. Fotomicrografías de Au con respecto a otros elementos

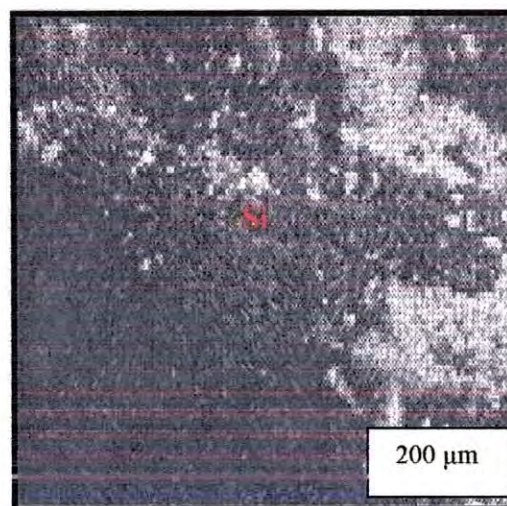
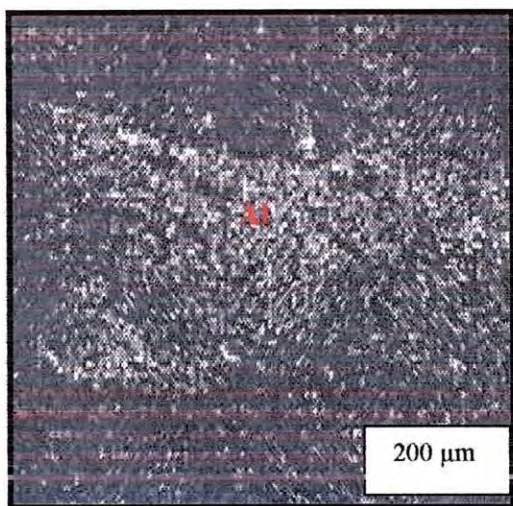
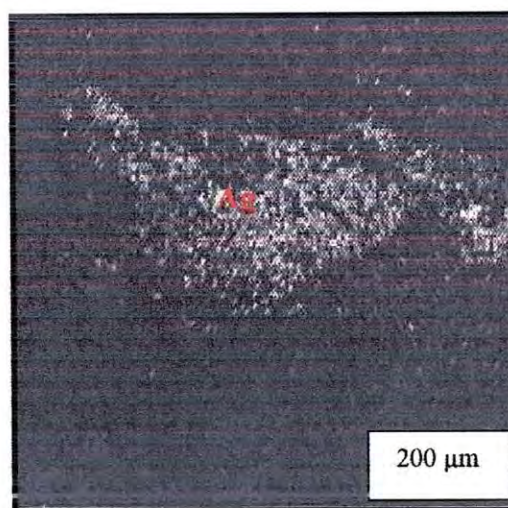
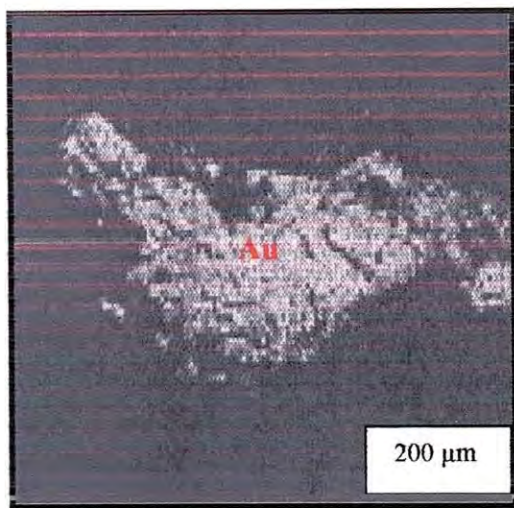
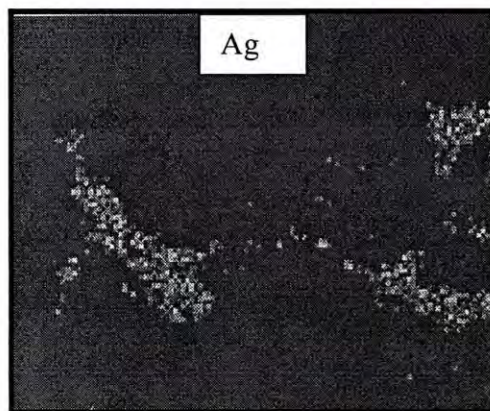
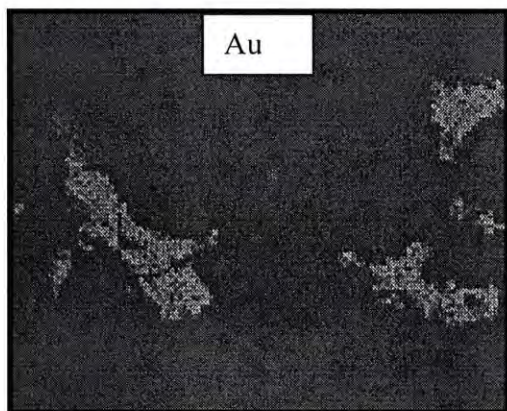


Imagen 13. Fotomicrofotografías de Au con respecto a otros elementos



IX. Alteración Hidrotermal

Como se ha mencionado anteriormente, las vetas con mineralización de oro intrusionan a varios conjuntos litológicos en el área de Tajitos y con ello provocando diversos tipos de alteración hidrotermal en la roca encajonante.

Respecto al conjunto volcánico de carácter diorítico, se observa una alteración de cuarzo-sericita presente en la matriz de la roca, enriquecimiento discreto en sulfuros con desarrollos de cristales de pirita y por último un evento hidrotermal con aporte de turmalina en forma de fibras y cristales de pistachita; de manera general se considera una alteración dominante de cuarzo-sericita y lo cual cambia hacia los bordes de contacto a una alteración propilítica por la relación mineralógica de cuarzo-sericita-epidota-calcita e incremento de sulfuros.

Las rocas de firma metamórfico también son intrusionadas por las vetas de cuarzo mineralizadas, provocando una alteración caracterizada principalmente por la presencia de cuarzo, clorita (tipo ripidolita) y epidota, localizadas a lo largo de vetillas de cuarzo de 0.2 a 2 cm de espesor que intrusionan a la roca. Es característico que ésta alteración se encuentra únicamente en los límites del contacto entre la roca encajonante y las vetas de cuarzo; en las zonas lejanas al contacto, la roca metamórfica conserva su característica de metamorfismo de bajo grado (esquistos verdes); la alteración mencionada anteriormente provocada por la intrusión de las vetas, se localiza en las zonas de cizalla o fracturamiento presentes en la roca encajonante (metamórfica), lo cual afirma la hipótesis de que la alteración y la foliación en esta roca son producto de la intrusión de las vetas.

En relación a la roca riolítica y secuencia volcanosedimentaria, la intrusión de las vetas de cuarzo no produce cambios de alteración significativos, sin embargo es apreciable un fracturamiento orientado paralelo a la dirección de las vetas.

X. Discusión

Los depósitos de oro de la provincia fisiográfica del desierto de Sonora, han sido clasificados por diversos autores de varias formas; por ejemplo, Silberman et al. (1988) los denomina como “yacimientos de oro controlados estructuralmente”; por su parte Albinson (1989), los describe en su clasificación como “vetas mesotermales auríferas”; y mas recientemente Pérez Segura (1993) los como “vetas mesotermales y zonas de cizalla en terrenos ígneos metamórficos. Entre los yacimientos más importantes que han sido incluidos se encuentran: El Cajón de Amarillas, Tajitos, La Choya, Quitovac, San Francisco (Estación Llano) El Tiro y Sierra Pinta (Pérez Segura, 1993); por su parte Silberman et al. (1987) incluye dentro de su clasificación depósitos estructuralmente controlados a Banco de Oro, Basura, La Ciénega, Lluvia de oro y Estación Llano. Por otro lado, Silberman et. al. (1987) reconocen que muchos de los prospectos de Au en Sonora encajonados en gneises y controlados estructuralmente son similares a depósitos de Au analizados y minados en el sureste de California, de los cuales la mayoría de estos yacimientos están asociados con estructuras de bajo ángulo, aunque ciertos patrones y rocas encajonantes son variantes.

Para el área de Tajitos y Juárez-San Francisco, los estudios de termometría, barometría y composición de los fluidos realizados en las vetas de cuarzo con mineralización de oro, permiten establecer que se formaron bajo condiciones de origen mesotermal. En particular, el análisis termométrico indica temperaturas de homogenización del orden de 320-360°C que coincide con el rango de temperaturas establecido de 250-350°C para los depósitos mesotermales; el resultado barométrico indica presiones de 0.950 Kbars a 1.1 Kbars que representa profundidades que pueden variar de 3.5 a 4 km, que también es indicativo de un ambiente mesotermal. Por otro lado, las características típicas de vetas de cuarzo lechoso con estructura bandeada, mineralogía de cuarzo, carbonatos,

pirita y clorita, acompañados de turmalina, presencia de cloritización, hidratación y piritización en la roca encajonante, relación Au/Ag mayor a 1, apreciables en las áreas del presente estudio, son algunas de las cualidades consideradas para clasificar a estos depósitos como de origen mesotermal (Touray, 1987). Si se considera la presencia de CO₂ en los fluidos hidrotermales, tal como se aprecia en el estudio de inclusiones fluidas, acompañados de procesos de ebullición, pudieran ser de fundamental importancia para la precipitación de mineralización de Au, como es mencionado por Touray (1987).

Por otro lado, son depósitos estructuralmente controlados, en los cuales las vetas de cuarzo parecen incluirse en zonas de cizalla. Sin embargo, las vetas consideradas como pre o contemporáneas con el metamorfismo no coinciden con el rango de temperaturas obtenidas en las cloritas metamórficas como se observa en la Figura 13, sugiriendo una posible no-relación con el evento deformacional.

Sin embargo, los datos de campo para estas estructuras sugieren una relación estrecha con zonas de cizalla, pues claramente se observa como ellas son incluidas dentro de estas estructuras como se observa en el área de San Francisco al sur de Juárez, donde vetas de cuarzo en forma de boudinage se alinean dentro de una zona fuertemente deformada (Figura 3). Es muy probable que los datos de temperatura obtenidos a partir de estudios geotermométricos en cloritas metamórficas señalen un rango de temperatura que no corresponde al pico o evento más alto del metamorfismo en esta región. Esta reflexión conlleva a pensar que aunque la Th de la clorita metamórfica no coincide con el evento máximo de metamorfismo, no significa que la mineralización de Au no tenga relación con el metamorfismo como es respaldada por presencia de CO₂ en las inclusiones y solo un estudio a detalle de evolución de metamorfismo en esta región podría arrojar datos confiables sobre esta hipótesis.

Con esta idea se concluye y parece que estos depósitos en estas áreas de Tajitos y Juárez-San Francisco, parecen corresponder a depósitos mesotermales de oro ó oro orogénico estructuralmente controlado.

XI. Edad de la Mineralización

A nivel regional se han citado distintas edades para depósitos de características similares a Tajitos, Juárez y San Francisco. En el área de Sierra Pinta, se realizó una datación por el método $^{40}\text{Ar}/^{40}\text{K}$ en muscovita asociada a las vetas de cuarzo con mineralización de oro, obteniéndose una edad de 54.8 ± 1.4 Ma (Araux Sánchez, 2000). En el yacimiento de Estación Llano se reporta una edad de 41 Ma por el método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, cuyo análisis se realizó en sericita asociada a las vetas hidrotermales (Pérez y Cheilletz, 1991). Para el yacimiento de Tajitos también existe una datación en sericita asociada a las vetas de cuarzo, obteniéndose como resultado 49.2 ± 2 Ma por el método K/Ar (Pérez Segura, 1993). Se ha considerado que la disminución de edades en los yacimientos analizados de poniente a oriente de esta región, corresponde con la variación de dataciones realizada en el granito de dos micas característico de la región, lo cual podría indicar una asociación directa entre ellos.

Como se ha mencionado anteriormente, el área de Tajitos se conforma de dos tipos de vetas, una de ellas plegada y de color verde pistache y la segunda constituida de cuarzo lechoso (sin plegamiento); conclusiones de laboratorio y observaciones de campo nos permiten proponer que las vetas de cuarzo plegadas son mas antiguas y de origen distinto a las vetas de cuarzo lechoso (?).

La presencia y los análisis termobarométricos de CO_2 en las vetas plegadas, indican una relación en la formación de estas vetas con un evento de metamorfismo, cuyas

características en el área indican una estrecha relación con la mineralización Laramídica de la región; en relación a la edad de las vetas plegadas, puede atribuirse al inicio del Terciario (Paleoceno-Eoceno), lo cual corresponde con las fechas de 49.2 Ma para este tipo de vetas de Tajitos.

Los resultados de las vetas de cuarzo lechoso indican ausencia de CO₂ y temperaturas de homogenización inferiores a las vetas plegadas, lo cual indica que su fuente pudiera considerarse de origen hidrotermal o de un evento tardío del metamorfismo que origino a las vetas plegadas; las relaciones espaciales de campo permiten observar que las vetas no plegadas cortan a las rocas metamórficas y a las vetas plegadas, lo cual fortalece la hipótesis de que su intrusión fue posterior ó tardía y posiblemente del Terciario Medio (Oligoceno). Otra característica de campo que fortalece que el emplazamiento del segundo evento de mineralización fue posterior y posiblemente del Terciario Medio (?), es un contacto estructural en dirección NW56°/64°SW entre un dique de color verde de características lamproffídicas (?) y una veta de cuarzo lechoso; la veta es posterior al dique y su intrusión produjo una alteración en el dique, además de penetración de vetillas de cuarzo de 0.5-2 cm en sentido perpendicular a la estructura. La similitud espacial, textural y composicional entre un dique datado en San Francisco y el de Tajitos, nos permite suponer que pertenecen a un mismo evento; si consideramos que la edad de este dique es de 26-27 Ma (Pérez et al, 1991), por consecuencia la edad de la veta de cuarzo lechoso que esta en contacto con el dique es posterior, y la cual coincide con la edad considerada para el segundo evento de mineralización (Terciario medio).

CONCLUSIONES

- Las características estructurales, mineralógicas y parámetros de emplazamiento que presentan los depósitos de Tajitos y Juárez-San Francisco permiten definirlos como depósitos Orogénicos o en zonas de cizalla (“shear-zone”), ampliamente descritos al Sur de California y el caso de la mina La Herradura en el estado de Sonora.

- Se identificaron dos etapas de mineralización de oro para el depósito Tajitos:
 - a) La mas antigua, se define por un sistema de vetas de cuarzo plegadas; su disposición estructural y espacial permiten asociarlas con el emplazamiento de mineralización de Au Larámide, ampliamente descrito en la región del desierto de Sonora.
 - b) Al sistema de mineralización mas joven, se le asigna una edad Terciario (Oligoceno) o mas joven en base a la relación con un dique lamprofídico de características muy similares datado en 27 Ma.

- El estudio termobarométrico, la química mineral y la forma del emplazamiento de la mineralización en las áreas de Tajitos y Juárez-San Francisco permiten relacionarlos a un mismo evento mineralizante, a diferencia de la mina La Herradura cuyas características litológicas y estructurales indican un nivel de emplazamiento más profundo.

- La presencia de inclusiones primarias trifásicas (L+V+CO₂) en fase líquido vapor, nos indica un emplazamiento profundo para los fluidos mineralizantes, probablemente de la parte superior del manto o inferior de la corteza.

- Se define una firma de carácter metamórfico para las vetas de cuarzo deformadas en el depósito Tajitos, definido por la presencia de CO₂ y la fuerte deformación penetrativa en los cristales de cuarzo y vetas.

- Se asume la presencia de un evento compresivo de SW a NE, provocando un cabalgamiento hacia el NE del conjunto riolítico y secuencia volcanosedimentaria sobre la unidad metamórfica y la microdiorita.

- El tipo de alteración hidrotermal es controlado por el carácter litológico de los diversos conjuntos de rocas que encajonan a las vetas mineralizadas.

REFERENCIAS

- Albinson, T. F. 1989. Vetas Mesotermales auríferas del sector norte del Estado de Sonora. Memorias XVII. Convención Nacional de la AIMMGE, A.C. 19-40.
- Anderson. T.H. EEl. JH and Silver. L.T, 1978. Rocas precámbricas y paleozoicas de la región de Caborca, Sonora, México. In Roldan Q.J and Salas G.A. (editors). Libro guía Primer Simposio sobre la geología y potencial minero en el Estado de Sonora, Inst Geol. UNAM, Hermosillo, Sonora, México.
- Anderson, P. 1980. Proterozoic convergent plate tectonics: 25th International Geological Congress Proceedings, v. 1, p. 73.
- Anderson and Silver L.T. 1981. An overview of Precambrian rocks in Sonora. Revista, Instituto de Geología, UNAM. V.5, No. 2, p.p. 131-139.
- Anderson, T.H., and V.A. Schmidt, 1983. The evolution of Middle America and the Gulf of México-Caribbean Sea region during Mesozoic time, Geol. Soc. Am. Bull., 94, 941-966,
- Araux Sánchez E. 2000. Geología y Yacimientos Minerales de la sierra pinta, Municipio de Puerto Peñasco, Sonora; Universidad de Sonora. Tesis Maestría.
- Arellano, A. R. V. 1946. Noticias geológicas del Distrito de Altar, Sonora. Soc. Geol. Mex. Bol. 12, p.p. 53-58.
- Bevins R.E., Robinson D., and Rowbotham G., 1991. Compositional variations in mafic phyllosilicates from regional low-grade metabasites and application of the chlorite geothermometer. Journal of Metamorphic geology, 9, p. 711-721.
- Cathelineau M., Nieva D., 1985. A chlorite solid solution geothermometer. The los Azufres (México); geothermal system. Contrib. Mineral Petrol., vol. 91; P. 235-244.
- Cathelineau M., 1988; Cation site occupancy in chorites and illites as a function of temperature. Clay Miner., vol. 23. P. 471-485.
- Castillo-Rivas. J. 1992. Reporte global del servicio social. Estudio Geológico Area Tajitos, Sonora. Reporte interno Dpto. de Geología Universidad de Sonora. Responsable del proyecto: Efrén Pérez-Segura, 1992.
- Caudillo-Sosa. G. y Oviedo-Lucero, L.F., 1990. Geología del área de Quitovac, Municipio de Puerto Peñasco, Sonora. Tesis Licenciatura Departamento de Geología, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, 1990.

- Cevallos-F. S, 1981. Observaciones sobre los estromatolitos del Precámbrico tardío de las capas Gamuza de la región de Caborca. UNAM. Tesis
- Cevallos-Ferriz. S. Salcido-Reyna A. Pelayo-Ledesma A. 1982. El registro fósil del Precámbrico. AEGUS. Notas Geológicas. Hermosillo, México. No. 2, p.p. 2-6.
- Coney, P.J. and Reynolds, S.J. 1977. Cordilleran Benioff zones: nature, v. 270, p. 403-406.
- Cooper G.S. Arellano A.R.Y. Jonson J.H. Okulitch V.J. Stoyanow a. and Lochman C. 1954. Geología y paleontología de la región de Caborca, UNAM. Inst. de Geol, Vol 58.
- Cooper, G. A., and Arellano, A.R.V. 1946, Stratigraphy near Caborca, northwest Sonora, Mexico: American Association of Petroleum Geologist, v. 30, No. 4. p. 606-611.
- Cooper G. A. Arellano A. R. V. Jonson J. H., Okulitch V. J., Stoyanow A. and Lochman 1956. Geología y Paleontología de la región de Caborca norponiente de Sonora. Congr. Geol. Intern., XX, México, p 13, 239, p. 2.
- Corona. F. 1980. Reconnaissance Geology of Sierra La Gloria and Cerro Basura. Northwestern Sonora, México, Thesis. University of Pittsburg. Faculty of Arts and Sciences. 232 pags.
- Damon, E. P. Livingston, D. E., Giletti, B. J. 1962. Extension of the older Precambrian of the southwest into Sonora, Mexico., Geol. Soc. Amer. Special paper 68, p. 158-159.
- Dickinson, W.R. and Sinder, W.S. 1979. Geometry of subducted slabs related to San Andreas transform: Journal of Geology, v. 87, p. 609-627.
- Dickinson, W.R. 1989. Tectonic setting of Arizona through geologic time in Jenney, J.P. and Reynolds, S.J. Geological evolution of Arizona: Tucson, Arizona Geol. Soc. Digest. 17, p. 1-16.
- Farmer, G.L. y De Paolo, D.J., 1984, Origin of Mesozoic and Terciary granite in the western United States and implications for pre-Mesozoic crustal structure: 2. Nd and Sr isotopic studies of unmineralized and Cu and Mo mineralized granite in the Precambrian craton: Journal of Geophysical Research, v. 89, 9. 10, 141-10, 160.
- Gamper, M. A. Longoria, J. F. 1979. Sobre la ocurrencia de estromatolitos en la secuencia precámbrica del cuadrángulo Pitiquito-La Primavera NW de Sonora, Bol. Dep. de Geología. Uni-Son, Hermosillo, Sonora, 1, p.p. 95-104.
- González-Leon, C. and Jacques-Ayala. C. 1980. Paleogeografía del Cretácico temprano en Sonora. Actas de la facultad de Ciencias de la Tierra UANL. Linares 4. pag. 125-152, Oct. 1990, Linares, México.

- González M.A. 1981. Cerros Gamuza y el Arpa. In. Longoria J., (editor). Regional geology of northwest Sonora. Geol. Soc. Amer. Cordilleran Section, Annual Meeting, Hermosillo, Sonora, México, Proceedings.
- González-Leon, C. and Jaques-Ayala. C. Paleogeografía del Cretácico temprano en Sonora. Actas de la Facultad de Ciencias de la Tierra. UANL. Linares 4. p. 125-152, 5 figs, Oct. 1990, Linares, México.
- González, L.C., Stanley, G.D. Jr., 1993. The Antimonio terrane of western Sonora and its paleogeographic significance, in Gonzalez, L.C. and Vega, G.L, eds. III simposio de la geología de Sonora y áreas adyacentes. Inst. de Geol. UNAM, UNISON. Pp. 41-43.
- Haxel, G.H., Wrigley, J.E., May. D.J. y Tosdal, R.M., 1984. Reconnaissance geology of the Mesozoic and lower Cenozoic rocks of the southern Papago Indian Reservation, Arizona: a preliminary report, in Jenney, J.P., and Stone, C. eds., Studies in western Arizona: Arizona Geol. Soc. Digest, v. 12, p. 17-29.
- Hey, M. H. 1954. A new review of the chlorites. Mineralogical Magazine, Vol. 30, P. 277-292.
- Herrera-Urbina. Saúl y Pérez-Segura Efrén, 1990. Facies de metamorfismo en las secuencias de las inmediaciones del Poblado de Estación Llano, Sonora. Bol. Depto. Geol. Uni-Son, 1990. Vol. 1 y 2; pag; 7-28.
- Humphreys, E.D. and Weldon, R.J. 1991. Kinematics constraints on the rifting of Baja California. In. V V. F. Frizzell, ed. Geology of the Baja California Peninsula: SEPM, v. 39, P. 217-229.
- INEGI, 1997. Carta Fisiográfica escala 1:1000,000.
- Jacques-Ayala.C 1986. Las rocas cretácicas del área de Caborca-Altar y sus deformaciones. (In) Simposio nuevas Aportaciones a la Geología de Sonora CETEN. Inst. Geología UNAM, Hermosillo, Sonora, México. Pag; 56-58.
- Jacques-Ayala C. and Potter, P.E. 1987. Stratigraphy and Paleogeography of Lower Cretaceous rocks, Sierra El Chanate, Northwest, Sonora, México. (In) Dickinson W.R. and Klute. M.A. (Eds) Mesozoic rocks of Southern Arizona and adjacent areas. Arizona Geol. Soc. Digest. Pag; 203-214.
- Keith, S:B;, 1978. Paleosubduction geometries inferred from Cretaceous and Tertiary magmatic patterns in southwestern North America: Geology, v. 6. P. 516-576.
- Kerrick, J. and Wyman, D. 1990. Geodynamic setting of mesothermal gold deposits an association with accretionary tectonic. Geology, v. 18, p. 882-885.

- Livingston D.E. and Damon P.E. 1968. The ages of stratified Precambrian sequences in central Arizona and northern, Sonora. *Canad. J. Earth Sc.* Pag; 451-464.
- Longoria J.F., Gonzalez M.A., Mendoza J.J., Pérez V.A. 1978. Consideraciones estructurales en el Cuadrángulo Pitiquito-La Primavera, NW Sonora., *Bol. Depto Geol. Uni-Son, Hermosillo, Sonora, México*, 1, pp. 119-144.
- Longoria J.F. 1981. Geologia features of northwest Sonora. (In) Longoria J.F. (editor): *Regional Geology of northwest Sonora. Geol. Soc. Amer. Cordilleran section, Annual Meeting. Hermosillo, Sonora, Proceedings*; pag: 1-48.
- Longoria J.F. And Gonzales M.A. 1981. Description of the localities to be visited during the Geol. Soc. of Amer. Field excursion n. 4.- In: Longoria J.F. (editor), *Regional geology of northwest Sonora, Geol. Soc. Amer., Cordilleran Section, Ann. Meeting, Hermosillo, Sonora, Proceedings*, pp. 49-64.
- Lylle, M., and Ness, G.E. 1991. The opening of the southern Gulf of California. In Dauphin, J.P. and Simoneit, R.T. eds. *The Gulf and Peninsular Province of the Californias. AAPG Memoir 47*, pp. 403-423.
- Mcmenamin, M.A.S., Awramik, S.M. And Stewart, J.H. 1983. The Precambrian transition problem in western North America: part II, Early Cambrian skeletonized fauna and associated fossils from Sonora, México. *Geology*. Pags: 227-230.
- Meza-Figueroa D.M. Estudio Metalogenético de los Yacimientos de Oro Tajitos, Sonora. Universidad De Sonora; Julio de 1993, Hermosillo, Sonora.
- Passchier, C.W. and Trouw, R.A.J. 1996. *Microtectonics*. Verlaag.
- Pérez-Segura, E. y Calmus, T. 1991. Características y significado metalogenético del Yacimiento de Oro de Tajitos, Estado de Sonora. Convención sobre la Evolución Geológica de México. Primer Congreso Mexicano de Mineralogía. Pachuca, Hidalgo.
- Pérez S. E. 1993. Los yacimientos de oro y plata de Sonora, México y sus relaciones con la geología regional. En Delgado-Argote L.A. y Barajas, M. Eds. *Contribuciones a la tectónica del occidente de México. Unión Geofísica Mexicana. Monografía No. 1*. Pp. 147-174.
- Pérez-Segura, E., Cheilletz, A. 1991. Mineralization and age of the San Francisco gold deposit, northern Sonora, México. Society for Mining, metallurgy and exploration. Inc. 120 th. AIME Annual meeting. Denver Colorado.
- Radelli L. 1990. La chaine Nevadienne (Gilienne) et ses deformations Cretacees au NW du Mexique (Nappes d'origine dondwanienne de Caborca et du Sonora Central). *Geologie Alpine*. T. 66, (1990), p. 57-100.

- Rangin, C. 1982. Contribution a l'étude du système Cordilléraín du Nord-ouest du Mexique. These d'Etat, Paris., Francia. 588 p.
- Reynolds, S.J. and Keith, S.B., 1982. Geochemistry and mineral potential of peraluminous granitoids: Arizona Bureau of Geology and Mineral Technology Field Notes, v. 12, no. 4, p. 4-6.
- Romero, V. J. Geología y métodos de exploración, mina La Herradura, Municipio de Caborca, 2005.
- Roedder, E. Fluid Inclusions. Review in Mineralogy; Volume 12.
- Silver, L. T. 1978. Precambrian formations and Precambrian history in Cochise: New México Geol. Soc. 29th Field Conference Guidebook, p. 157-163.
- Silberman, L.M., Giles, D.A., Wenrich, K.J. and Morre-Hall A., 1987. Geochemistry of gneiss hosted gold deposits in northwestern Sonora, Mexico (abs.) Am. Inst. Mining Metall. Petroleoum Engineers, Ann. Meeting, 116th Denver, Colorado, Feb. 23-27, 1987. Abstracts with programs, p. 30.
- Silberman, L.M. 1988. Characteristics of Gold Deposits in Northern Sonora, México: A preliminary report. Economic Geology. Vol. 83, 1988, Pag: 1966-1974.
- Stewart, J. H, 1971. Basin and Range structure: a system of horsts and grabens produced by deep-seated extension: Geological Society of America Bulletin, v. 82, p. 1019-1044.
- Stewart J.H., McMenamin, M.A.S., Morales Ramírez, J.M. 1984. Upper Proterozoic and Cambrian rocks in the Caborca Region, Sonora, México. Physical stratigraphy, biostratigraphy, paleocurrent studies, and regional relations. U.S. Geol.. Survey Prof. Paper 1309. 36 p.
- Touray, J.C. 1987. Transport et depot de l'or dans les fluids de la croute continentale l'apport des etudes d'inclusions fluids. Chron. Rech. Min. No. 488, pp. 43-53.
- Vega, G.R., Pérez, S.F., Chaparro, M.M. 1991. Mantos de corrimiento y cabalgaduras imbrincadas en Sonora central. Bol. Dpto. Geol.. UNISON. V. 8, No. 2, p. 37-46.

Mineral	Clorita																	
	TJ-32	TJ-32	TJ-32	TJ-32	TJ-32	TJ-32	TJ-32	TJ-32	TJ-32	TJ-32	TJ-32	TJ-27	TJ-27	TJ-27	TJ-27	TJ-27	TJ-27	TJ-27
Muestra	50 (*)	51 (*)	52 (*)	53 (*)	55 (*)	58 (*)	59 (*)	64 (*)	65 (*)	A (*)	C (**)	D (**)	E (**)	F (*)	G (**)	I (*)		
Analisis	27.80	26.36	27.19	26.88	28.98	25.32	28.06	27.33	27.53	26.662	27.8407	32.0914	27.3508	26.5443	30.5661	26.602		
SiO2	21.52	21.52	20.45	20.48	23.83	27.68	20.07	20.29	20.85	20.1394	21.889	19.8201	20.5702	20.8083	18.7922	20.2735		
Al2O3	0.05	0.05	0.05	0.05	0.02	0.05	0.05	0.05	0.06	0.0317	0.0684	0.0751	0.0484	0.0534	0.0984	0.0234		
TiO2	20.53	21.01	21.59	21.32	14.26	19.88	16.83	20.87	21.53	23.9723	28.351	20.9828	25.709	27.3107	22.4761	26.8578		
FeO	17.69	17.54	18.12	17.68	20.62	16.45	19.86	17.77	18.74	16.196	12.5781	11.9796	0.277	0.2658	0.0714	0.0392		
MgO	0.07	0.09	0.06	0.07	0.41	0.16	0.11	0.07	0.03	0.0728	0.1105	0.1252	0.0668	0.1549	0.1898	0.1201		
CaO	0.04	0.04	0.11	0.09	0.14	0.05	0.06	0.17	0.10	0.2931	0	0.0555	0	0.0219	0.0044	0		
MnO	0.00	0.00	0.05	0.05	0.04	0.04	0.02	0.00	0.00	0	0.0555	0	0.0219	0.0044	0	0.0058		
Cr2O3	0.05	0.02	0.01	0.05	0.11	0.03	0.03	0.05	0.03	0.0404	0.0418	0.6872	0.1537	0.0337	0.0728	0.0687		
Na2O	0.05	0.02	0.01	0.05	0.11	0.03	0.03	0.05	0.03	0.0404	0.0418	0.6872	0.1537	0.0337	0.0728	0.0687		
Total	91.50	86.63	87.63	86.66	88.37	89.66	87.19	86.60	88.87	87.41	89.06	85.96	87.74	89.65	88.40	88.03		
Meat Si	0.46264	0.43868	0.45249	0.44733	0.48228	0.42137	0.46897	0.45482	0.45815	0.44377	0.46332	0.53406	0.45516	0.44174	0.50867	0.44270		
Meat Al	0.49668	0.42213	0.40114	0.40173	0.46744	0.54296	0.39368	0.39800	0.40878	0.39505	0.42936	0.39878	0.40350	0.40817	0.36862	0.39768		
Meat Ti	0.00063	0.00063	0.00063	0.00063	0.00025	0.00063	0.00063	0.00063	0.00075	0.00040	0.00086	0.00094	0.00061	0.00067	0.00123	0.00029		
Meat Fe	0.28673	0.29241	0.30049	0.29673	0.19847	0.27669	0.26347	0.29047	0.29965	0.33364	0.36675	0.29218	0.35781	0.38011	0.31282	0.37380		
Meat Mg	0.43885	0.43513	0.44852	0.43860	0.51154	0.40809	0.49268	0.44083	0.46490	0.40179	0.31203	0.29719	0.33386	0.36296	0.39885	0.34836		
Meat Ca	0.00125	0.00160	0.00107	0.00125	0.00731	0.00285	0.00196	0.00125	0.00053	0.00130	0.00197	0.00494	0.00474	0.00127	0.00394	0.00070		
Meat Mn	0.00056	0.00056	0.00155	0.00127	0.00197	0.00070	0.00085	0.00240	0.00141	0.00413	0.00176	0.00080	0.00029	0.00066	0.00076	0.00169		
Meat Cr	0.00000	0.00000	0.00066	0.00032	0.00355	0.00097	0.00097	0.00161	0.00097	0.00130	0.00135	0.02153	0.00486	0.00109	0.00235	0.00222		
Meat Na	0.00161	0.00065	0.00032	0.00161	0.00355	0.00097	0.00097	0.00161	0.00097	0.00130	0.00135	0.02153	0.00486	0.00109	0.00235	0.00222		
MOxy	2.39726	2.24783	2.26171	2.23794	2.38727	2.34803	2.28554	2.24364	2.29825	2.22241	2.25668	2.25903	2.21839	2.24471	2.29129	2.20828		
Coeff	11.68001	12.48982	12.38004	12.51150	11.72885	11.92489	12.25092	12.47974	12.18320	12.58981	12.40760	12.39470	12.62176	12.47375	12.22019	12.67966		
Si	5.404	5.479	5.602	5.587	5.657	5.025	5.721	5.676	5.982	5.591	5.749	6.619	5.745	5.510	6.216	5.613		
Al	5.790	5.272	4.966	5.026	5.483	6.475	4.823	4.967	4.983	4.977	5.327	4.819	5.093	5.091	4.505	5.042		
Ti	0.007	0.008	0.008	0.008	0.003	0.007	0.008	0.008	0.009	0.005	0.011	0.012	0.008	0.008	0.015	0.004		
Fe	3.337	3.652	3.720	3.713	2.328	3.299	3.228	3.625	3.651	4.204	4.550	3.621	4.516	4.741	3.823	4.740		
Mg	5.126	5.435	5.555	5.488	6.000	4.866	6.036	5.501	5.664	5.062	3.872	3.684	4.215	4.527	4.886	4.417		
Ca	0.015	0.020	0.013	0.016	0.086	0.034	0.024	0.016	0.007	0.016	0.024	0.061	0.060	0.016	0.048	0.009		
Mn	0.007	0.007	0.019	0.016	0.023	0.008	0.010	0.030	0.017	0.052	0.022	0.010	0.028	0.033	0.009	0.021		
Cr	0.000	0.000	0.008	0.007	0.000	0.006	0.003	0.000	0.000	0.000	0.009	0.000	0.004	0.001	0.000	0.001		
Na	0.019	0.008	0.004	0.020	0.042	0.012	0.012	0.020	0.012	0.016	0.017	0.267	0.063	0.014	0.029	0.028		
Total	19.704	19.881	19.905	19.889	19.820	19.733	19.864	19.843	19.824	19.924	19.581	19.093	19.730	19.942	19.531	19.875		
XFe	39.481	40.238	40.188	40.456	28.153	40.467	34.916	39.916	39.305	45.672	54.150	49.643	51.876	51.329	43.954	51.875		
(XAl ⁺)	2.596	2.521	2.398	2.403	2.343	2.975	2.279	2.324	2.418	2.409	2.251	1.381	2.255	2.490	1.784	2.387		
AlIV	2.596	2.521	2.398	2.403	2.343	2.975	2.279	2.324	2.418	2.409	2.251	1.381	2.255	2.490	1.784	2.387		
AlVI	3.193	2.751	2.568	2.623	3.139	3.499	2.544	2.643	2.564	2.968	3.076	3.438	2.838	2.802	2.721	2.656		
Fe/(Fe+Mg)	0.39434286	0.40192119	0.4006477	0.40333207	0.27963203	0.40405622	0.34843153	0.39719176	0.39193304	0.45367168	0.54030436	0.49574842	0.51724231	0.51154011	0.43893846	0.51761974		
% Chl	0.92	1.01	1.03	1.01	0.86	0.93	1.00	0.99	1.04	1.03	0.96	0.57	0.81	1.04	0.83	1.01		
T (°C)	356	344	324	325	315	417	305	312	327	326	301	160	301	339	225	322		

Clasificación petrográfica de cloritas

(*) Hidrotermales
 (***) Metamórficas

Ris T. 1528