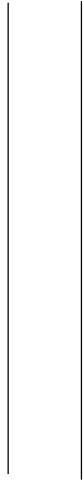


# Universidad de Sonora

División de Ciencias Exactas y Naturales  
Departamento de Geología

## CARACTERIZACIÓN GEOLOGICO-ESTRUCTURAL Y DE MINERALIZACIÓN DEL PROYECTO SAN JAVIER MUNICIPIO DE CABORCA, SONORA, MÉXICO.



**Tesis Profesional**  
Que para obtener el Título de  
**Geólogo**



Presentan:  
**Dulce Anahí Sepúlveda Castro**  
**Oscar Servel Burrola Grijalva**

*Hermosillo, Sonora, Enero del 2020*

# 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

Hermosillo, Sonora a 12 de noviembre del 2019

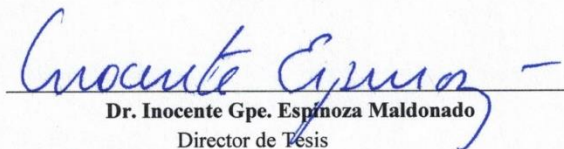
DR. FRANCISCO JAVIER GRIJALVA NORIEGA  
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA  
UNIVERSIDAD DE SONORA  
PRESENTE.-

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

*"Caracterización geológica-estructural y de mineralización del proyecto San Javier municipio de Caborca, Sonora, México"*

Esto con el fin de que los estudiantes: **DULCE ANAHI SEPULVEDA CASTRO** con **EXPEDIENTE NO. 213200754** y **OSCAR SERVEL BURROLA GRIJALVA** con **EXPEDIENTE NO. 212216996**, puedan presentar su examen profesional para la obtención de su título de Licenciatura en Geología.

Sin otro en particular y agradecimiento de antemano su atención al presente, quedamos de Usted.



**Dr. Inocente Gpe. Espinoza Maldonado**

Director de Tesis

Departamento de Geología  
Universidad de Sonora





"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"

# UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ciencias Exactas y Naturales  
Departamento de Geología

Hermosillo, Sonora, 12 de noviembre, 2019

**DR. INOCENTE GPE. ESPINOZA MALDONADO**  
DIRECTOR DE TESIS  
P R E S E N T E.-

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

**"CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-ESTRUCTURAL Y DE MINERALIZACIÓN DEL  
PROYECTO SAN JAVIER MUNICIPIO DE CABORCA, SONORA, MÉXICO".**

Esto es con el fin de que los alumnos: **Dulce Anahí Sepulveda Castro** con Expediente No. **213200754** y **Oscar Servel Burrola Grijalva** con Expediente No. **212216996**, puedan presentar su examen profesional, para la obtención de su título de Licenciatura en Geología. Así mismo le comunico que han sido asignados los siguientes Sinodales:

<b>Presidente</b>	<b>Dr. Ricardo Vega Granillo</b>
<b>Secretario</b>	<b>Dr. Lucas Hilario Ochoa Landín</b>
<b>Vocal</b>	<b>Dr. Inocente Gpe. Espinoza Maldonado</b>

Sin otro en particular y agradeciendo de antemano su atención al presente, quedo de Usted.

**A T E N T A M E N T E**  
**"EL SABER DE MIS HIJOS HARA MI GRANDEZA"**

**DR. FRANCISCO J. GRIJALVA NORIEGA**  
JEFE DEL DEPARTAMENTO.



El saber de mis hijos  
hará mi grandeza  
DEPARTAMENTO  
DE GEOLOGIA

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



"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"

# UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ciencias Exactas y Naturales  
Departamento de Geología

## NOMBRE DE LA TESIS:

**“CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-ESTRUCTURAL Y DE  
MINERALIZACIÓN DEL PROYECTO SAN JAVIER MUNICIPIO DE  
CABORCA, SONORA, MÉXICO”**

## NOMBRE DEL LOS SUSTENTANTES:

**DULCE ANAHI SEPULVEDA CASTRO  
OSCAR SERVEL BURROLA GRIJALVA**

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

**DR. RICARDO VEGA GRANILLO**

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

**DR. LUCAS HILARIO OCHOA LANDIN**

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

**DR. INOCENTE GPE. ESPINOZA MALDONADO**

**A T E N T A M E N T E  
“EL SABER DE MIS HIJOS HARÁ MI GRANDEZA”**

**DR. FRANCISCO J. GRIJALVA NORIEGA  
JEFE DEL DEPARTAMENTO**



El saber de mis hijos  
hará mi grandeza  
DEPARTAMENTO  
DE GEOLOGIA

C.c.p. Archivo.

## **DEDICATORIAS**

**De: Dulce Sepúlveda**

### **A mis padres**

*Agradezco el valioso apoyo que siempre me dan, por el esfuerzo, sus enseñanzas y confianza que siempre me han brindado, para ellos con mucho amor y respeto.*

### **A mis hermanas**

*A mis hermanas por siempre estar, por su amistad y compañía, lo cual ha sido muy importante para mí.*

### **A mi sobrina**

*Para ti Ana Luisa, gracias por hacerme una mejor persona, por hacer que cada día me esfuerce más para ser un buen ejemplo para ti, con mucho amor por ti.*

### **A la Universidad de Sonora**

*Porque me permitió forjarme como profesionalista y persona, lo cual me siento muy orgullosa y agradecida, con mucho respeto a mi Universidad.*

## **DEDICATORIAS**

**De Oscar Burrola**

### **A mis padres**

*Por su apoyo incondicional, por sus consejos y por llevarme por el camino correcto; a ellos que han sido un ejemplo en mi vida.*

### **A mis hermanos**

*Por sus muestras de cariño, por ayudarme con los recursos necesarios durante la carrera universitaria, además de ser inspiración para salir adelante en la vida.*

### **A mi Esposa e hijas**

*Por darme fortaleza, amor, cariño, apoyo, confianza y sobre todo por motivarme día con día a cumplir cada una de las metas durante todos estos años.*

### **A los docentes**

*Por sus aportes, observaciones, consejos y por transmitirme sus conocimientos durante la estancia en la universidad de sonora.*

### **A mis amigos**

*Por su desinteresada ayuda, por sus muestras de amistad y cariño, por los buenos momentos que convivimos. Gracias por todo, Mario, José, Ivonne, Lourdes, Enrique, Lupita Ángel, Miguel, Jacinto, Iván, Abelardo, entre muchos más.*

## **AGRADECIMIENTOS**

**De Dulce Sepúlveda**

### **AGRADECIMIENTO INSTITUCIONAL**

En primer lugar, agradezco al Departamento de exploración de Fresnillo PLC por permitirme desarrollar el proyecto de tesis dentro de uno de sus lotes, y su total apoyo para culminar la investigación. Agradezco especialmente al Ing. David Giles por su apoyo y sus facilidades brindadas para llevar a cabo este trabajo, de igual forma quiero agradecer al Ing. Luis Felipe Novelo por brindarnos la confianza y por permitirnos abordar de forma adecuada el desarrollo de esta investigación.

Quiero agradecer especialmente al Ing. Martin López Mendoza por sus enseñanzas desde mis prácticas profesionales, su valiosa ayuda durante el desarrollo del presente trabajo de Tesis, sus acertadas observaciones, recomendaciones y correcciones que permitieron abordar de forma adecuada el desarrollo de esta investigación, por su apoyo durante las visitas al área de estudio y por su valiosa amistad.

Agradezco al Ing. Bernardo Figueroa Ibarra por su apoyo durante las visitas al área de estudio, su tiempo y ayuda en la resolución de dudas de carácter geológico.

Quiero agradecer a los Ing. Alejandro Roque Chacón, Ing. Luis Heriberto Ramírez, Ing. Heriberto Borjas, Ing. Iván Pérez, Ing. Arturo Palomo y al Ing. Luis Fernando Velázquez por sus recomendaciones en este presente trabajo, por sus todas las facilidades brindadas durante mi estancia en Mina La Herradura y su amistad.

Agradezco al personal de Exploraciones Mineras Parreña S.A por todas las facilidades brindadas durante mi estancia en mina La Herradura.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Dr. Inocente Guadalupe Espinoza Maldonado por haberme brindado su ayuda en todo momento y poder trabajar con él en este proyecto, por haberme tenido la paciencia necesaria para orientarme, por todo su apoyo y su valiosa amistad.

Agradezco ampliamente la inmensa participación y orientación brindada al Dr. Lucas Hilario Ochoa Landín, por compartir sus conocimientos, sus experiencias, por su ayuda en la resolución de dudas a Petrografía y su dedicación durante el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Quiero agradecer al Dr. Ricardo Vega Granillo por el gran apoyo durante la visita al área de estudio, su ayuda en la resolución de dudas respecto a Geología Estructural, por su ayuda en la resolución de dudas a Petrografía, por su paciencia y dedicación en este proyecto.

Agradezco al profesor Dr. Francisco Paz Moreno por sus enseñanzas, su tiempo y ayuda en la resolución de dudas a Petrografía.



Agradezco al profesor Dr. Francisco Javier Grijalva Noriega de la Universidad de Sonora, por su tiempo y su apoyo durante toda la carrera, sus enseñanzas, sus experiencias y por su valiosa amistad.

Agradezco al Departamento de Geología de la Universidad de Sonora, por darme las facilidades de acceder a las instalaciones del laboratorio de Difracción de rayos X, especialmente al M.C Abraham Mendoza Córdova por el apoyo en la preparación de muestras, por llevar acabo análisis y por permitirme aprender sobre la operación de DRX.

Quiero agradecer al Departamento de Investigación Polímeros y Materiales por las facilidades brindadas para el uso del Microscopio Electrónico de Barrido, en especial al Dr. Francisco Brown por su tiempo, paciencia y esfuerzo durante la identificación de los minerales del área de estudio por medio del Microscopio Electrónico de Barrido.

### **AGRADECIMIENTO PERSONAL**

Agradezco infinitamente a mis padres por guiarme por un buen camino, por ser un gran ejemplo para mí, por enseñarme a no rendirme nunca, por todo el amor y cariño que siempre me brindan, simplemente gracias por siempre estar.

Quiero agradecer a toda mi familia la cual ha sido un ejemplo para mí, gracias por siempre mostrar su apoyo, su ayuda y su amor sin ustedes no lo hubiera podido lograr.

A mi abuela, por ser una segunda madre para mí, valoro todos los consejos que siempre me da, por su desinteresado apoyo, por su gran amor con mucho respeto y amor para usted.

Aprovecho este espacio para agradecer a mi compañero de tesis Oscar Servel Burrola Grijalva, por todo su apoyo, paciencia y dedicación durante esta investigación, gracias por compartir conmigo esta gran experiencia, por ayudarme en todo momento hasta en los tiempos más difíciles, pero sobre todo por tu gran amistad la cual es de las cosas más valiosas que me llevo de este trabajo.

Agradezco a mi amigo y compañero Simeí Saucedo por las visitas al área de estudio, por apoyarme en dudas de carácter geológico y por su valiosa amistad.

Quiero agradecer a mis amigas Diana Aguirre y Adilene Bustillos las cuales siempre han estado apoyándome tanto en la carrera como personalmente, a mis amigos Jocelyn Vega, Mariana Siqueiros, Román Silva, Romario Montijo, Abraham Ramos y Salvador Galarza por todo su apoyo durante la carrera y por su valiosa amistad.

Por último quiero agradecer a todas las personas que se prestaron apoyo incondicionalmente de alguna manera para realizar de esta tesis y por cuestión de espacio no he podido nombrarlos.

## **AGRADECIMIENTOS**

**De Oscar Burrola**

### **AGRADECIMIENTO PERSONAL**

En primera instancia les agradezco a mis padres por ayudarme incondicionalmente a llegar al punto en el que estoy, por forjarme como una persona de valores, responsable y de buenos principios, por sus enseñanzas y por todo el apoyo que siempre se me brinda. Gracias al esfuerzo y a los consejos que recibía de ellos he logrado importantes objetivos como culminar la carrera universitaria.

A cada uno de mis hermanos por el apoyo que día con día recibía, siempre estuvieron a mi lado brindándome ayuda económica y moralmente para seguir aprendiendo y seguir superándome. Esto se los debo a ellos y a sus muestras de cariño y apoyo incondicional.

A mi esposa e hijas ya que son el principal motor para hacer frente a los obstáculos y retos que se me presentan en la vida siendo para mí el hecho de culminar la carrera universitaria uno de los más importantes que he afrontado; les agradezco infinitamente por ser quienes me fortalecieron en algunos momentos de flaqueza, por todo el apoyo constante en este trayecto profesional y en mi vida. Les dedico este logro esperando que sirva de ejemplo para los retos que se encuentren en el recorrido de su propia vida.

A mi compañera de tesis Dulce Anahí Sepúlveda Castro, por tu desinteresada ayuda, por el apoyo incondicional y sobre todo por la motivación que siempre se mantuvo intacta. Tus esfuerzos durante la realización de este proyecto fueron impresionantes dignos de admirar, en verdad eres una gran persona y una excelente compañera, pero sobre todo una gran amiga.

Quiero expresarles todo mi agradecimiento a mis compañeros de trabajo por sus aportes al enriquecimiento profesional con sus observaciones, sus consejos y su siempre disponibilidad a las ideas surgidas durante el trabajo de tesis.

Y un gentil agradecimiento a todos los que han sido participes directa o indirectamente a la realización de nuestro trabajo de tesis de licenciatura.

### **AGRADECIMIENTO INSTITUCIONAL**

Aprovechando el espacio para agradecer Ing. Luis Felipe Novelo y al Ing. José Aurelio Laguna por alentarme a iniciar la carrera de Geología, por depositar su confianza, por sus palabras de motivación y por siempre estar al pendiente de mi carrera como profesional.

Además, quiero agradecer enormemente a Ing. Martín López Mendoza por permitirme formar parte de la brigada, por su paciencia, consejos y por cada

observación, me siento privilegiado por el apoyo que siempre me ha brindado y por transmitirme sus valiosos conocimientos.

Agradezco al Dr. Inocente Guadalupe Espinoza Maldonado por depositar su confianza en nosotros, por asesorarnos y motivarnos así mismo agradecer su paciencia y los consejos, pero sobre todo por estar al pendiente del progreso de esta tesis.

De igual manera agradecer al Dr. Ricardo Vega Granillo por su orientación y el apoyo durante la realización de este trabajo, por ayudarnos y tomarse el tiempo para despejar dudas en la visita de campo tanto estructural como geológicamente. También a los maestros Dr. Francisco Paz Moreno y Dr. Lucas Hilario Ochoa Landín por despejar dudas y compartirnos su conocimiento al momento de la resolución de petrología de láminas delgadas.

Aprovechando quiero expresar mi agradecimiento al profesor Dr. Francisco Grijalva Noriega por su ayuda incondicional, sus observaciones y correcciones en el transcurso de mi carrera universitaria; muchas gracias por sus consejos, por la confianza hacia mí y por su amistad.

Finalmente quiero agradecer a todas las personas que nos apoyaron incondicionalmente y que de alguna manera participaron en la realización de este trabajo.

## Índice

<b>INTRODUCCION</b> .....	1
<b>1.0 Generalidades</b> .....	2
<b>1.1 Localización y vías de acceso</b> .....	2
<b>1.2 Fisiografía</b> .....	3
<b>1.3 Objetivo</b> .....	4
<b>1.4 Metodología de trabajo</b> .....	6
<b>2.0 Geología regional</b> .....	7
<b>2.1 Precámbrico</b> .....	7
<b>2.1.1 Paleoproterozoico</b> .....	8
<b>2.1.2 Mesoproterozoico</b> .....	9
<b>2.2 Paleozoico</b> .....	10
<b>2.3 Mesozoico</b> .....	11
<b>2.3.1 Triásico</b> .....	12
<b>2.3.2 Jurásico</b> .....	12
<b>2.4 Cenozoico</b> .....	14
<b>3.0 Tectónica regional</b> .....	14
<b>3.1 Precámbrico</b> .....	14
<b>3.2 Paleozoico</b> .....	15
<b>3.3 Mesozoico</b> .....	15
<b>3.3.1 Jurásico</b> .....	15
<b>3.3.2 Cretácico</b> .....	16
<b>4.0 Geología local de San Javier</b> .....	17
<b>4.1 Unidad Volcánica San Javier -1 (UVSJ-1)</b> .....	19
<b>Miembro volcánico San Javier (MVSJ-1a)</b> .....	19
<b>4.1.2 Miembro Volcánico San Javier-1b (MVSJ-1b)</b> .....	22
<b>4.1.3 Unidad Miembro Volcánico San Javier-1c (MVSJ-1c)</b> .....	23
<b>4.1.4 Miembro Volcánico San Javier-1d (MVSJ-1d)</b> .....	25
<b>4.2 Unidad Volcánica San Javier-2 (UVSJ-2)</b> .....	27
<b>4.2.1 Miembro Volcánico San Javier-2a (MVSJ-2a)</b> .....	27
<b>4.2.2 Miembro Volcánico San Javier-2b (MVSJ-2b)</b> .....	30
<b>4.3 Unidad Volcánica San Javier-3 (UVSJ-3)</b> .....	31

4.3.1 Miembro Volcánico San Javier-3a (MVSJ-3a)	32
4.3.1 Miembro Volcánico San Javier-3b (MVSJ-3b)	33
4.5 Metamórfica San Javier (MSJ-1) Gneis San Javier	33
4.6 Metamórfica San Javier (MSSJ-1)	36
4.7 Intrusivos de San Javier	37
Granodiorita San Javier	37
5.0 Geología Estructural	40
5.1 Análisis Estructural de San Javier	40
6.0 Mineralogía y Alteración en superficie de San Javier	48
6.1 Mineralogía en barrenos de San Javier	59
7.0 Métodos Analíticos	60
7.1 Introducción	60
7.2 Petrografía	60
7.3 Microscopio electrónico de barrido (SEM – EDS)	60
7.3.1 Principios teóricos	61
7.3.2 Procedimiento	62
7.4 Difracción de Rayos X (XRD)	64
7.4.1 Principios teóricos	64
7.4.2 Procedimiento	65
8.1 Microscopio electrónico de barrido (SEM)	66
8.2 Difracción de Rayos X (XRD)	69
8.3 Estudio mineragráfico	75
9.0 Discusiones y recomendaciones	80
10.0 Conclusiones	83
BIBLIOGRAFIA	85
ANEXO A:	90
Análisis Petrográfico del área de estudio	90
ANEXO B:	98
Características Vetas del área de estudio en muestra de mano	98
ANEXO C:	102
Tabla de Clasificación de vetillas Gustafson Hunt	102

## RESUMEN

El proyecto San Javier se localiza en la margen oeste de la Sierra San Luisito dentro de lo que se conoce como *Cinturón de Oro Orogénico Caborca* (COOC, Izaguirre y otros, 2012), el más importante de México y donde existen minas que en la actualidad están entre las más importantes en producción de oro, se tiene por ejemplo la Mina La Herradura, que hace al proyecto San Javier por su cercanía y su entorno geológico, una área estratégica y foco de exploración importante que podría resultar en una nueva zona minera.

Como resultado de los trabajos de campo, petrografía óptica convencional y utilización de técnicas analíticas, así como análisis estructural se determinaron 6 unidades litológicas cartografiadas en el área de estudio, 4 volcánicas y 2 metamórficas, su clasificación fue basada en el contenido mineralógico, en relaciones de campo, de corte y edades relativas, esto debido a que se carece de edades absolutas y no se dispone de relaciones geocronológicas y cronoestratigráficas bien definidas. La asociación volcánica está constituida por flujos volcánicos de composición riolítica, las cuales se dividen en cuatro unidades cada una con su subdivisión, dichas unidades presentan un color de tonalidades grisáceas a verdes, afectadas por una fuerte silicificación y sericitización, además de alteración tipo fílica; las rocas de composición andesítica presentan un color verde de una textura porfídica con fenocristales de plagioclasas, feldespatos alcalinos, cuarzo, biotita, esta unidad se encuentra en contacto con casi todas las unidades y sus fragmentos forman parte de tobas identificadas en el área de estudio; además en la zona central de esta unidad se encuentra una brecha de cuarzo-turmalina; la roca en muestra de mano está compuesta por fragmentos de roca angulosos > 2 m de diámetro, de rocas volcánicas principalmente de riolita con texturas variables (afaníticas y porfídicas) sostenidos en una matriz vítrea oscura (turmalina) en algunas zonas y en otras su matriz es de cuarzo; la secuencia compuesta por Dacita en superficie presenta una coloración morada, con ciertas variaciones texturales donde principalmente se observa una textura ligeramente porfídica con fenocristales de plagioclasas y feldespatos alterados a arcillas, anfíboles, “books” de biotita además de bandas de epidota. Todas las unidades antes mencionadas presentan

un grado de deformación incipiente. También se identificaron rocas piroclásticas al sur del área de estudio, dichas unidades se ordenaron en base de láminas delgadas las cuales se clasificaron como Toba lapilli ignimbrítica de composición riolítica poco soldada y Toba lapilli de oleada piroclástica de composición andesítica.

La asociación metamórfica está integrada por dos unidades mapeables: MSJ-1 y MSSJ-2. La unidad MSJ-1 se caracteriza por Augen-gneis de feldespato potásico la cual presenta una textura en bandas, con megacristales de feldespatos potásicos con tamaños variables que van de 1cm hasta 10cm, ocasionalmente deformados y orientados en forma paralela al rumbo de la foliación. Los megacristales de feldespato son acompañados de moscovita y biotita en hojuelas orientadas en sentido de la foliación y por último la unidad MSJ-2 se caracteriza por paquetes variados de metareniscas y metaconglomerados principalmente; se observa aflorando en la porción centro-norte del área. Se presenta con débil foliación e inclinaciones variables. En superficie se presenta con una coloración grisácea, con clastos sub-angulosos a sub-redondeados, en una matriz de grano medio a grueso en los metaconglomerados y una gradación normal de grano, con zonas bien estratificadas variando de areniscas de grano fino a medio en metaareniscas.

Los resultados del análisis estructural muestran que las unidades litológicas antes descritas se encuentran afectadas por dos grupos de fallas normales. El más representativo con tendencia regional NW-SE, en donde en estas estructuras funcionaron como conductos que permitieron el ascenso de los fluidos mineralizantes, los cuales se encuentran distribuidos en la mayoría del área. Por este grupo de fallas se identificaron las zonas con mayor predominancia a vetas de cuarzo las cuales sin duda son las estructuras más importantes caracterizadas en este estudio.

## INTRODUCCION

La exploración y explotación minera han sido un factor importante para el desarrollo económico del estado de Sonora lo cual lo coloca en 1er lugar en la producción minera de México. Por esto, las empresas mineras han tenido interés en explorar nuevos blancos o posibles yacimientos minerales, realizando un trabajo detallado de mapeo litológico, estructural, alteración y de mineralización para determinar potencial y, en su caso, descubrir y determinar el tipo de yacimiento.

El proyecto San Javier se localiza a 30 km al ESE de la mina La Herradura, a 120 km de la ciudad de Caborca y 401 km de Hermosillo capital del Estado de Sonora. Cercanas a San Javier se tiene las zonas mineras como son: La Herradura, La Choya, Tajitos, Nochebuena, Soledad-Dipolos y Cerro Colorado, así como los prospectos Carina y Cerro Prieto, lo que hace al proyecto San Javier por su entorno geológico, una área estratégica y foco de exploración importante que pudiera resultar en una nueva zona minera. La zona mineralizada más importante en la región es La Herradura, la cual fue descubierta en 1991 por la empresa Peñoles (Compañía Minera La Parreña S. A. filial). Es un depósito de oro de baja ley (Au promedio 0.80 g/t) pero de gran volumen de clase mundial con reservas de poco más de 7.5 millones de onzas (Romero-Valle *et al.*, 2017).

La sistemática en exploración en los proyectos de yacimientos minerales involucra la combinación y manejo de datos generados a través de ciencia básica y técnicas de exploración, entre las que se tienen: mapeo geológico, datos geoquímicos (suelos, roca, arroyo, plantas, etc.), geofísicos (terrestres y aéreos), procesamiento de datos multiespectrales, utilización de instrumentos portátiles de exploración (espectroscopia Raman e infrarroja, difractor portátil, etc.). Cada uno de estos datos caracteriza un tipo de información relevante para el depósito mineral motivo de estudio. Como en cualquier proyecto de exploración, el proyecto San Javier se ha involucrado la integración de datos de mapas 2D (litológico, estructural, geoquímico, de alteraciones y de zonas mineralizadas) y datos 3D producto de logeo de barrenos (geológico, estructural, geoquímico, etc.) para



generar mapas de áreas de interés económico y para determinar la continuidad y ampliación de reservas de la Mina la Herradura.

Durante la exploración en el proyecto San Javier, surgió el interés para la realización de una investigación de Tesis de Licenciatura en Geología, contando con el apoyo logístico de la compañía Operaciones Fresnillo S.A. de C.V. de la oficina de exploración Hermosillo. Con ese propósito se realizaron las siguientes actividades: 1) Cartografía geológica a detalle, 2) Simultáneamente muestreo superficial, 3) Análisis Estructural y 4) Caracterización de roca/estructuras a base de barrenación de diamante.

En este estudio se realizó la caracterización mineralógica y geológico-estructural de las diferentes unidades mapeables del área de estudio, para esto se realizó la clasificación de secciones delgadas, determinando su textura, mineralización y alteración, estableciendo así asociaciones mineralógicas. En aquellos casos donde la petrografía fue insuficiente, se utilizaron técnicas analíticas como Espectroscopía Raman, Difracción de Rayos X (DRX) y Microscopía Electrónica de Barrido (SEM). También en este estudio se desarrolló un mapeo geológico-estructural a escala 1:5000, diferenciando la litología, datos estructurales y zonas de interés económico específicamente las características de vetas de cuarzo. Además, se elaborará un análisis estructural donde los datos se interpretarán en los programas Stereonet y FaultKin. Es importante mencionar que no existen trabajos previos publicados en esta zona, este estudio servirá como base para futuros trabajos a realizar en esta área.

## **1.0 Generalidades**

### **1.1 Localización y vías de acceso**

El área de estudio se localiza en la porción Noroeste del Estado Sonora aproximadamente a 30 kilómetros al ESE de la Mina La Herradura. Su acceso es a partir de la ciudad de Hermosillo, por la carretera Federal México 15 (México-Nogales), llegando al poblado de Santa Ana se toma la carretera Federal México 2, hasta llegar a la ciudad de Caborca, donde se transita la carretera estatal No.18

Caborca-Puerto Peñasco y la altura del Kilómetro 104 en el ejido El Sahuaro el acceso es por un camino de tercercía en buenas condiciones recorriendo 19 kilómetros pasando por el entronque de la Mina La Herradura hasta llegar al ejido Juan Álvarez. Posteriormente a partir de este último punto se continúa por el camino de terracería hacia el este recorriendo 22 kilómetros hasta llegar a la zona del área de estudio. (Fig. 1.0).

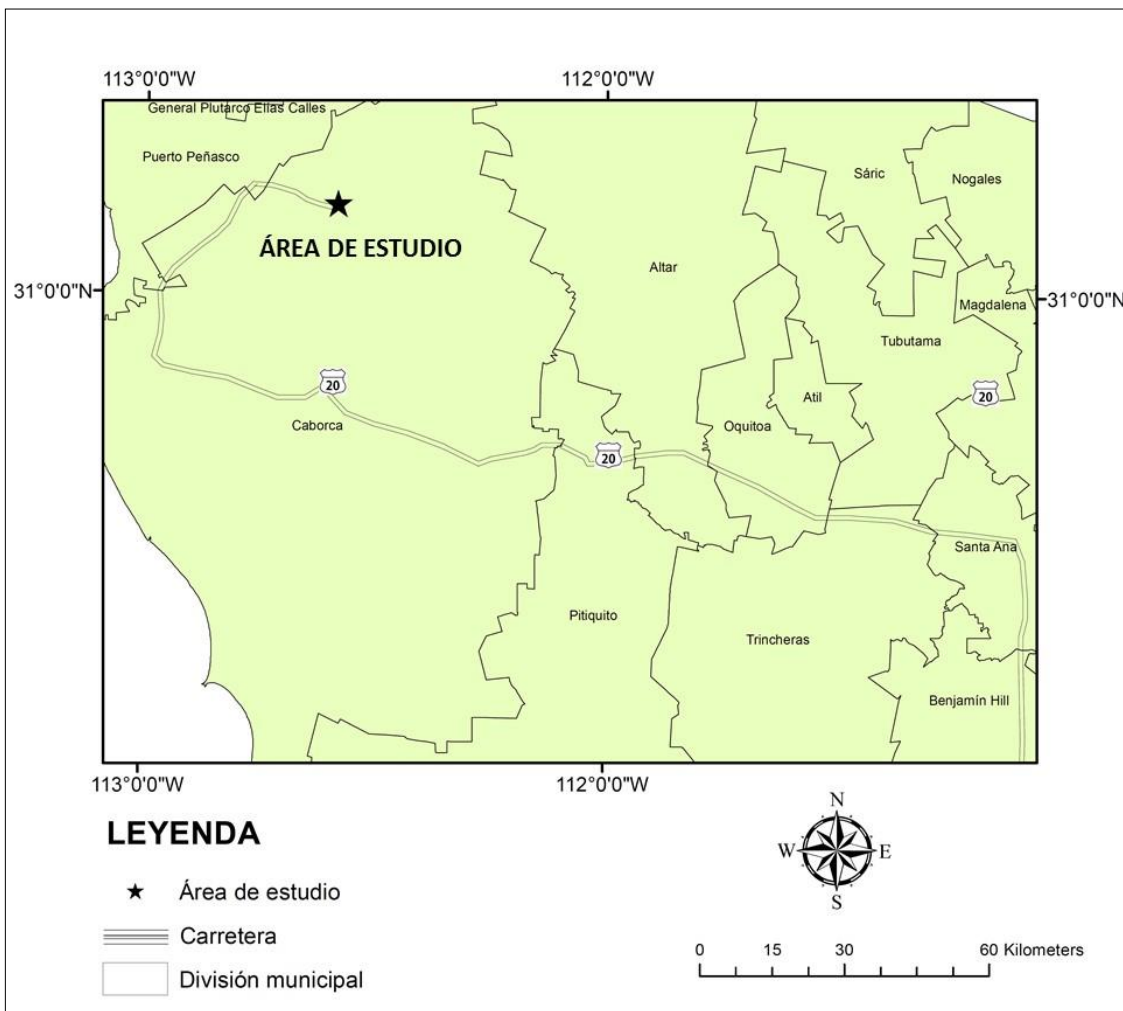


Fig. 1.0.- Mapa de localización del área de estudio San Javier, Municipio de Caborca, Sonora, México.

## 1.2 Fisiografía

El estado de Sonora está dividido en cuatro provincias fisiográficas, denominadas como: provincia Sierra Madre Occidental, provincia Llanura

Sonorense, provincia de Sierras y Llanuras del Norte y la provincia de la Llanura costera del Pacífico. La provincia fisiográfica de Llanura Sonorense comprende más del 50% de la superficie del estado, y la cual se divide en tres subprovincias: Desierto de Altar, Sierras y Llanuras sonorenses y Sierra del Pinacate.

El área de estudio se encuentra dentro de la subprovincia de Sierras y Llanuras Sonorenses (Fig. 1.1) la cual de las tres subprovincias es la más extensa, caracterizándose principalmente por la presencia de sierras aisladas, alargadas y angostas con un relieve generalmente accidentado, las cuales se encuentran limitadas por extensas llanuras desérticas a semidesérticas y en donde los pequeños afluentes en temporadas de lluvias, descargan sobre estas planicies sin llegar al mar formando pequeñas llanuras de inundación.

### **1.3 Objetivo**

El objetivo general de este trabajo es caracterizar el área de estudio respecto a las unidades geológicas-estructural que la conforman. Determinar el tipo mineralización tanto en muestra de mano como en lámina delgada de las unidades litológicas. Establecer tipos de contactos entre cada unidad, también se buscará analizar e interpretar rasgos estructurales mediante datos tomados en campo de fracturas, foliaciones, vetillas de cuarzo, estrías y planos de fallas, utilizando los programas de Stereonet y FaultKin.

El objetivo principal es caracterizar la asociación de minerales metálicos y de alteración para entender el comportamiento estructural del área determinando la tipología del depósito mineral, así como identificar zonas de interés económico en el área de estudio.

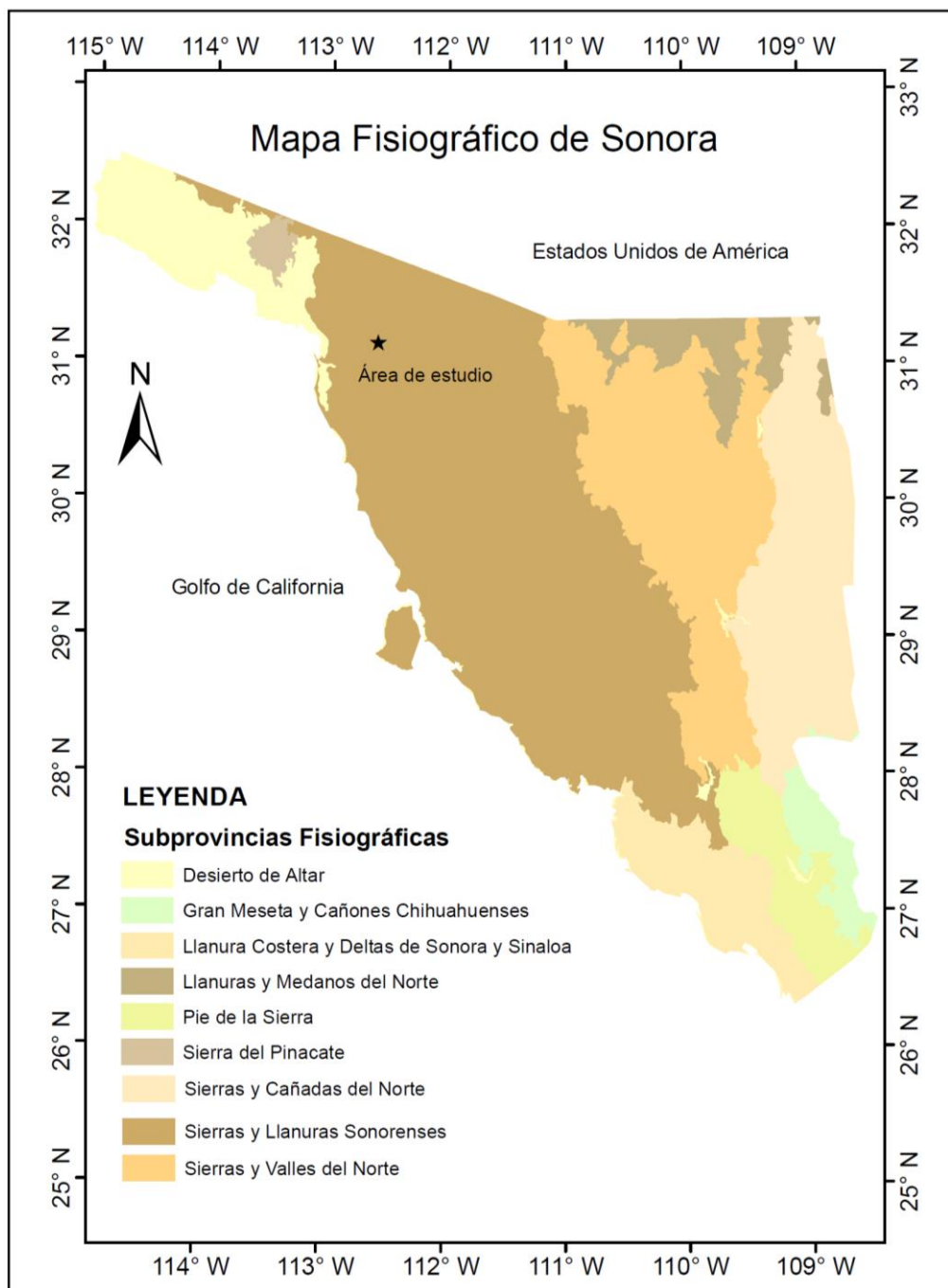


Fig. 1.1.- Ubicación del área de estudio dentro de la subprovincia fisiográfica de Sierras y Llanuras Sonorenses.

#### **1.4 Metodología de trabajo**

El método de trabajo que se realizó en este estudio consta de 3 fases las cuales son:

1) Trabajo de campo: Se realizaron visitas, distribuidas en varios días, durante los recorridos se identificaron las unidades litológicas; se tomaron medidas en estructuras, contactos y se identificaron zonas mineralizadas. En total se recolectaron 147 muestras obteniendo un duplicado de cada una; etiquetándose con los códigos SJV-001 hasta SJV-147.

2) Trabajo de gabinete: Durante esta fase se recopiló la siguiente información geológica regional de:

Carta geológico-minera San Luisito H12-A45 del SGM escala 1:5,000.

Carta geofísica magnética de campo total San Luisito H12-A45 del SGM escala 1:50,000.

Bibliografías de artículos del Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Servicio Geológico Mexicano (SGM).

Se integró y digitalizo datos obtenidos en campo durante el mapeo litológico, estructural y de alteración.

3) Trabajo de laboratorio: De las 147 muestras recolectadas 31 se hicieron lámina delgada que ayudaron en identificación de sulfuros, 4 en lámina delgada sin cubreobjetos y 2 muestras en briqueta que fueron analizadas por microscopio electrónico de barrido (SEM), 9 para estudio con Difracción de rayos X (DRX).

## **2.0 Geología regional**

San Javier está localizado al NW de Sonora dentro del terreno Caborca en cual limita al sur con el Terreno Cortés y al norte con el cratón de Norteamérica; la región representa un bloque del cratón de Norteamérica desplazado hacia el sureste a lo largo de la megacizalla Mojave-Sonora en el Jurásico Tardío (Anderson y Silver, 1979). Las unidades del área de estudio se encuentran dentro de lo que se denomina como “Terreno Caborca” particularmente dentro del “Cinturón Orogénico Caborca” (COOC, Izaguirre y otros, 2012). Las unidades litológicas que están expuestas en el área de San Javier corresponden al Jurásico Medio según el Servicio Geológico Mexicano (SGM) en la carta Geológico-Minero San Luisito H12-A25 1:50000, el SGM describe una secuencia riolítica y andesítica, además de un bloque de Gneis-Esquisto del Precámbrico. A continuación, se dará una descripción general de la litología conocida a los alrededores de San Javier, iniciando de las más antiguas a las más recientes.

### **2.1 Precámbrico**

El escenario e historia geológica del NW de Sonora son muy complejos debido a los distintos eventos tectónicos en el área. Los primeros estudios de dataciones radiométricas sobre el basamento Paleoproterozoico del NW de Sonora, fueron realizados por Damon et al. (1961, 1962) mediante los métodos de K-Ar y Rb-Sr, los resultados fueron la base para proponer que el basamento proterozoico del SW de USA podría extenderse hasta Sonora, específicamente en las zonas aledañas a la ciudad de Caborca y al sur del poblado de Pitiquito concretamente en los alrededores del Rancho Bámuri. El basamento precámbrico cristalino en el NW de México fue estudiado e identificado por primera vez por Cooper y Arellano (1946) quienes reconocieron una fauna del Cámbrico Medio en la secuencia sedimentaria de la región de Caborca sobre un basamento metamórfico. Damon et al. (1962) hicieron los primeros estudios de fechamientos radiométricos (K-Ar) en el basamento Paleoproterozoico, donde se identificaron también en la región presencia de magmatismo de edad Grenvilleana (aproximadamente 1.1 Ga).

### **2.1.1 Paleoproterozoico**

Anderson y Silver (1969) definieron al Complejo Metamórfico Bámori como una asociación de rocas metamórficas Paleoproterozoicas (ca.1.8 Ga) principalmente gneises, esquistos y anfibolitas, donde el protolito en su mayoría son rocas volcanosedimentarias metamorfizadas en el grado de esquistos verdes y anfibolitas (ca. 1.65 Ga), intrusionada por cuerpos riodacíticos y dioríticos de hornblenda cuya edad es de  $1750 \pm 20$  Ma, así como por el granito Aibó descrito por Cooper y Arellano et al., (1946), de 1100 Ma fechado por (Anderson y Silver et al.,1979).

Paragneis Cerro Prieto, esta localidad se encuentra en la porción final de la sierra Blanca, forma parte del Proyecto Carina localizado a 12km al este de la Mina La Herradura. Esta unidad es posiblemente paleoproterozoica por correlación regional, únicamente aflora al este de Cerro Prieto. La roca es un paragneis es de color verde oscuro que lo distingue de la unidad de orto-augen gneis Cerro Prieto-Carina. Tiene escasa foliación con orientaciones NW-SE y echado hacia el NE; el paragneis es cortado por la unidad de orto-augen gneis paleoproterozoico Cerro Prieto-Carina por relación de campo se infiere que su edad mínima es la del intrusivo Cerro Prieto-Carina. Este paragneis también está afectado por diques de composición diabásica de colores verde oscuro y de grano fino. En sección delgada mineralógicamente está compuesto por cuarzo, moscovita, epidota y un 2% de minerales opacos bastante diseminados y oxidados. Texturalmente el cuarzo tiene bordes de corrosión y presenta una extinción ondulante. Presenta una matriz fina de moscovita bien enmascarada por el reemplazamiento por clorita y epidota. (Izaguirre-Pompa et al., 2009).

Orto-augen gneis Cerro Prieto-Carina. Esta unidad paleoproterozoica de  $1692 \pm 8$  Ma, caracterizado mediante las técnicas de  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  constituida por un orto-augen gneis que aflora en la zona central de Cerro Prieto-Carina y en lomeríos bajos del sur de Sierrita Blanca; La roca tiene un color verde a gris oscuro, en

sección delgada se identificó que se encuentra mineralógicamente compuesto por Pl+Kfs+Qtz+B y minerales accesorios como Ms+Ap+Zrn; la foliación del ortogneis presenta una orientación NW35°SE con echados al SW y al NE; el orto-augen gneis es cabalgado por la unidad metariolítica Carina, sus indicadores cinemáticos (principalmente pórfidoclastos de feldespato) indican una vergencia hacia el NE. (Izaguirre-Pompa et al., 2009).

### **2.1.2 Mesoproterozoico**

Metagranito La Prieta. Esta unidad mesoproterozoica aflora en diversas puntos de la región que de manera casi contemporánea, se relaciona a los afloramientos de la anortosita Sierra Prieta (ubicada al NW de la unidad La Herradura) ; una segunda ocurrencia está en la porción sur de Cerro Prieto-Carina con edad (media ponderada) de  $1062 \pm 13$  Ma, realizados por  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  y por último, localidad localizada al sur de Sierrita Blanca(localizada al NE de la mina La Herradura) con edad (media ponderada) de  $1093 \pm 16$  Ma, por el método  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ . En su porción norte esta unidad fechada en  $\sim 1.1$  Ga por Enríquez-Castillo (2008). La coloración de estos afloramientos es generalmente café oscuro a verde oscuro; la unidad metagranítica está moderadamente deformada presenta foliaciones de rumbo NW-SE con echados al SW; en la localidad de la Sierrita Blanca la unidad fue intrusionada por el granito cretácico Sierrita Blanca y en la zona Cerro Prieto-Carina está cabalgando a la secuencia metariolítica Carina del jurásico Medio en dirección de NW40°SE con vergencia al NE (estimada por indicadores cinemáticos); al igual que la unidad anortosítica Sierra Prieta, estos metagranitos intrusionan a la cuarcita que aflora en Sierra Prieta como lo reportan Izaguirre Pompa e Iriondo (2007); en la Sierrita Blanca y Cerro Prieto esta unidad fue cortada por diques de composición basáltica con coloraciones verde oscuro y de grano fino, con grosores que van de varios decímetros alcanzando dimensiones de metros presentan orientaciones NE-SW y EW. Los metagranitos La Prieta su mineralogía está constituida por feldespato alcalino, plagioclasa, cuarzo, biotita y moscovita, los minerales accesorios opacos, apatito, fluorita y zircón. La textura de este granito es equigranular, pero cabe destacar que los feldespatos alcalinos, mayormente



microclina, presentan una textura micrográfica ya que se observan intercrecimientos de cuarzo en forma cuneiforme. (Izaguirre-Pompa et al., 2009).

Anortosita Sierra Prieta. Esta unidad mesoproterozoica está compuesta por rocas anortosíticas. Sin embargo, el contenido de plagioclasa de estas rocas en diversas zonas disminuye por debajo del 90%, convirtiéndose en noritas y grabro-anortositas, esta unidad se encuentra exclusivamente en el área de Sierra Prieta, con afloramientos principalmente de color verde oscuro, muy distintivo, en ocasiones se tornan blancos como resultado de la alteración de las plagioclasas. , la orientación de los afloramientos es NW-SE, conformando una gran extensión en la zona norte de Sierra Prieta disminuyendo paulatinamente en volumen hacia el sur; la anortosita intrusión a la unidad de cuarcitas mesoproterozoicas Sierra Prieta en forma de sills, la deformación de esta unidad es intensa; la orientación promedio de la foliación es NW55°SE con buzamiento preferencial hacia el NE. La composición mineralógica de la anortosita está constituida básicamente de plagioclasa y en menor grado de ferromagnesianos, principalmente piroxeno, la plagioclasa y los ferromagnesianos presentan un fuerte pseudomorfismo a moscovita, clorita y epidota, además de albitización de la plagioclasa. Con base a 15 mediciones de ángulos de extinción en plagioclasa, se determinó con el método de Michel-Lévy, composiciones de bitownita-anortita, sin embargo, no se pudieron hacer mediciones en plagioclasas debido a su grado de alteración. (Izaguirre-Pompa et al., 2009).

## **2.2 Paleozoico**

Son numerosos los estudios enfocados sobre la geología del Paleozoico específicamente del Cámbrico de la región de Caborca. Los primeros autores que lo desarrollaron fueron Cooper y Arellano en 1946. Cooper y colaboradores en 1956 definieron y describieron seis formaciones que llamaron de la más antigua a la más joven las cuales son: Puerto Blanco, Proveedora, Buelna, Cerro Prieto, Arroyos y El Tren. Brunner 1975 reportó rocas de edad Devónica en los cerros Murciélagos. Estas rocas afloran de forma dispersa en la región, como en: Cerros Proveedora,

Buelna, Los Arrojos, Los Difuntos, Lista Blanca, Cañedo, Cerro Prieto, Cerro San Clemente, Cerro Calaveras, en el extremo meridional de la Sierra del Viejo, en el Cerro de la Berruga al sur de los Cerros de la Ciénega.

Al oeste del área de estudio afloran rocas presumiblemente de edad paleozoica, constituidas mayormente por calizas, cuarcitas, pedernal y, en menor proporción lutitas, constituyendo el Cerro La Ventana y a un conjunto de seis afloramientos más pequeños que se localizan al norte del mismo. El color de los afloramientos es de un gris claro a un gris azulado con algunas coloraciones rojizas a lo largo de las capas. El espesor de esta unidad puede llegar hasta 300m. Esta secuencia está compuesta mayormente por rocas carbonatadas fosilíferas, con crinoides y braquiópodos recristalizados, presumiblemente Paleozoicos (Misisípico, Pensilvánico y Pérmico; Poole et al., 2004). Los niveles más detríticos (cuarcitas) están compuestos principalmente de una mineralogía de cuarzo, fragmentos de cuarzo, opacos y moscovitas, principalmente ubicada a lo largo de planos de foliación; la unidad esta deformada presentando pliegues isoclinales, cuyos ejes están orientados NW-SE; en las cercanías del afloramiento más grande, al norte del Cerro la Ventana, existe un paquete de lutitas y margas con un cizallamiento de hasta 15 metros de espesor con textura de filitas de grado de metamorfismo de esquistos verdes (Izaguirre-Pompa et al., 2007).

### **2.3 Mesozoico**

Los primeros trabajos de estratigrafía del NW de Sonora fueron publicados por Merriam (1972) y Merriam y Eells (1979); mientras que la estratigrafía y la correlación de la secuencia sedimentaria del Neoproterozoico y Paleozoico fue realizada por Stewart et al., (1984) y Cooper y Arellano (1946). La geología general del Jurásico distingue dos regiones el norte de Sonora, la región de Caborca-Hermosillo y la región sur-centro de Sonora. Estas provincias se han incorporado en la literatura moderna dentro del modelo de terrenos tectonoestratigráficos,

correspondiendo respectivamente a los terrenos Norteamérica, Caborca (o Seri) y Cortés (Campa y Coney, 1983; Sedlock et al., 1993).

### **2.3.1 Triásico**

En la Sierra Los Tanques al NW de Sonora, específicamente a 15 km al SW de Sonoyta y a 100 km al NW de Puerto Peñasco, aflora un intrusivo granítico que varía de granodiorita a cuarzomonzonita, con porcentajes menores a monzogranitos, monzodioritas, cuarzosienitas. Estas rocas fueron datadas por Arvizu e Iriando (2015) como Permo-Triásicas, las cuales intrusionan la unidad metamórfica Paleoproterozoica de gneises cuarzo-feldespático bandeados. También se observan cuerpos graníticos hospedados en su mayoría siguiendo la foliación del gneis, en menor proporción se encuentran cortando en forma diagonal la foliación, se pueden observar xenolitos o enclaves del gneis cuarzo-feldespático dentro de los cuerpos granítico, en el sector noroeste donde aflora la unidad granítica las foliaciones son de rumbo casi E-W entre NW-80° a 85° NE con buzamientos entre 30° a 60° con dirección preferencial SW; en la porción sureste de la Sierra Los Tanques se encuentra la mayor extensión de afloramientos de granitoides permo-triásicos; las foliaciones de las rocas tienen rumbos NW-SE con echados hacia el SW, también existe un patrón de foliación diferente con rumbos casi N-S, variando 5°- 10° NW con echados entre 45°- 65° hacia el E-NE, la foliación de las rocas de basamento paleoproterozoico presentes en la zona tienen un paralelismo a la foliación del granitoide (Izaguirre-Pompa et al., 2009).

### **2.3.2 Jurásico**

En las áreas de Cerro Prieto-Carina y La Herradura, se puede observar una colada de riolita metamorfizadas, la cual denominada localmente Metariolita. La roca presenta textura porfídica resaltando los ojos de cuarzo dentro de una matriz volcánica, la roca fue descrita por Izaguirre-Pompa y otros (2007) ubicándola en el Jurásico Medio. La metariolítica está compuesta de cuarzo, feldespato y plagioclasas con minerales accesorios como circón y apatito, sostenidos en una

matriz muy fina de cuarzo-feldespatos contiene planos de foliación en donde la muscovita es abundante, los afloramientos tienen una orientación preferencial NW-SE. En el área Mina La Herradura la metariolita presenta intensa deformación la cual se encuentra ubicada al NE del tajo Valles, específicamente al extremo NW de la falla Victoria, actualmente está parcialmente cubierta por patios de lixiviación (comunicación personal con Ing. Martín López Mendoza). En la zona Cerro Prieto-Carina la metariolita también presenta una fuerte deformación con foliaciones orientadas principalmente NW25°–55°SE está cabalgando a la unidad gnéica Cerro Prieto-Carina. Este cabalgamiento tiene una orientación NW25°SE con una vergencia hacia el NE (determinada a partir de indicadores cinemáticos en el afloramiento y por sección delgada). La estructura de cabalgadura ha sido cortada bruscamente por una falla normal de bajo ángulo NW65°SE (falla lítrica), que divide en dos bloques al ortho-augen gneis Cerro Prieto-Carina y a la Metariolita Carina (Izaguirre-Pompa et al., 2007). En la zona de mina Herradura, en áreas de Cerro Prieto-Carina y al sur de Sierrita Blanca se puede observar otra colada volcánica deformada, a la que se le denomina meta-andesita, la unidad presenta textura porfídica variando a glomeroporfídica con fenocristales de plagioclasas y piroxenos alterados a epidota-clorita-sericita, con débil deformación y foliación orientada al NW-SE. En Cerro Prieto-Carina aflora una unidad denominada Granito Carina, sin deformación e intrusionada por las unidades antes descritas, la roca presenta textura equigranular de tamaño medio, la mineralogía de esta roca consiste de feldespatos, plagioclasas, cuarzo, con minerales menores como hornblenda, biotita y titanita accesorios apatito y circón.

La unidad Granito los Indios aflora al norte de la Mina Herradura, estos afloramientos son generalmente se orientan NW-SE (Basin and Range), las foliaciones se encuentran orientadas NW55°SE; la cual se intensifica a lo largo de zonas de cizalla; esta unidad se encuentra cubierta por aluvión, lo cual no permite definir claramente el contacto geológico con unidades más antiguas además tiene una variación mineralógica importante la cual está constituida por feldespatos, plagioclasas y cuarzo, en menor proporción biotita, hornblenda y titanita; las texturas

de este granito son equigranulares, de grano fino a medio (Izaguirre-Pompa et al., 2009).

## **2.4 Cenozoico**

Rocas presumiblemente de edad Cenozoica consisten principalmente de rocas intrusivas, volcánicas y sedimentos no consolidados. Al NW de la Mina la Herradura aflora la unidad denominada andesita basáltica, la cual se encuentra orientada en una dirección NW-SE. Esta unidad presenta un grado alto de vesiculación con un relleno principalmente de calcita, así mismo la mineralogía consiste principalmente de fenocristales de olivino incluidos en una matriz oscura principalmente de plagioclasas, en un arreglo de textura porfídica. La distribución de esta unidad es muy espaciada y se encuentran cubiertos por sedimento aluviales recientes.

Cubriendo todas a las unidades anteriores se tienen de aluvión Cuaternario, los cuales engloban depósitos de coluvión, aluvión y eólicos que son generalmente horizontes compuestos por gravas, arenas, limos y arcillas, llenando las cuencas locales así mismo formando ocasionalmente grandes acumulaciones en las desembocaduras de los arroyos o simplemente conforman dunas de arena.

## **3.0 Tectónica regional**

### **3.1 Precámbrico**

Los eventos tectónicos en el NW del Estado de Sonora no han sido definidos de manera precisa en la región cercana donde se encuentra el área de estudio, sin embargo, se puede relacionar una secuencia de eventos a nivel regional con base en descripciones en áreas cercanas más amplias. El evento más antiguo registrado en la región es el que dio origen a las rocas metamórficas Meso Proterozoicas. Las rocas metamórficas del NW de Sonora, SW y S de Arizona posiblemente derivan de un protolito constituido por rocas volcánicas, sedimentarias y rocas plutónicas que fueron deformadas durante el Proterozoico Temprano; las rocas sedimentarias y plutónicas deformadas durante el Proterozoico Temprano, su registro es de 1800 a 1600 Ma (Livingston and Damon et al., 1985; Silver et al., 1978).

Intrusionando al basamento Precámbrico (1.8 Ga) se emplazaron rocas graníticas de edades cercanas a los 1.4 Ga (Anderson y Silver, 1981); también se encuentran las intrusiones graníticas y gabroicas-anortositicas de 1.1 Ga. Según los autores Anderson y Silver especifican que no se observaron en el campo las relaciones de corte o contacto por intrusión de los intrusivos de 1.4 y 1.1 Ga. (Anderson y Silver, 1981).

### **3.2 Paleozoico**

En un período no definido de levantamiento y erosión, las rocas del basamento cristalino fueron expuestas en superficie y sobre ellas se depositó una secuencia de más de 3,300 metros de espesor, en un miogeoclinal de aguas someras donde se conformaron rocas clásticas y carbonatadas (Stewart et al., 1990); estas secuencias fueron depositadas en lugar del Proterozoico Tardío al Cámbrico Medio y son litológicamente similares a rocas contemporáneas del sur de Nevada y sureste de California. Se tienen registros en donde al parecer este período de depositación miogeoclinal continuó hasta el Pérmico; además en estos artículos también se mencionan que existen evidencias en afloramientos aislados, donde se encuentran todos los periodos del Paleozoico de forma parcial.

### **3.3 Mesozoico**

#### **3.3.1 Jurásico**

En la región de Quitovac ubicada a 40 km al norte de la mina La Herradura, se tiene registrada una secuencia jurásica que fue afectada por metamorfismos de bajo grado; los elementos estructurales más importantes de esta zona son cabalgaduras y pliegues asociados, foliación y lineación; las rocas más antiguas autóctonas son volcánicas y sedimentarias jurásicas, mientras que las rocas cristalinas proterozoicas que afloran en los bloques de techo forman parte del bloque Caborca; las rocas volcánicas y volcanoclásticas jurásicas que forman el bloque de piso se encuentran foliadas, plegadas y afectadas por fallas. La dacita presenta una textura (fábrica) milonítica, la riodacita y la arenisca están foliadas, mientras que la toba se observa menos deformada, presentando un aspecto masivo,

aunque en los contactos se ve generalmente foliada (Connors et al., 1989; Caudillo-Sosa y Oviedo-Lucero, 1990; Caudillo-Sosa et al., 1991). Campbell y Anderson (1998, 2003) con base en estudios estructurales realizados en la zona Los Tanques, ubicada al oeste de Sonoyta, propusieron una deformación posiblemente triásica y jurásica, que consiste en ultramilonitas con una foliación general vertical NW-SE con espesores entre 1 a 3 km, es un segmento de la hipotética traza de la MSM. También, Caudillo-Sosa et al., (1996) propusieron un evento jurásico de transpresión asociado a la MSM que afectó rocas del basamento proterozoico y rocas del arco volcánico jurásico en la zona de Quitovac. Estos autores argumentaron que los granitoides cretácicos no estaban afectados por la zona de deformación transpersiva, sin embargo, estudios más recientes de Iriondo (2001) e Iriondo et al., (2005) sugieren que los intrusivos en Quitovac, fechados por U-Pb en zircones sugiere una edad aproximadamente de 75 Ma, también fueron afectados por la deformación dúctil presente en las rocas Proterozoicas y Jurásicas. Estos autores también sugieren que la deformación principal en Quitovac es de edad larámide y no Jurásica.

### **3.3.2 Cretácico**

Durante el Cretácico Tardío y el Terciario temprano, el norte de México ocurrió un evento compresivo, esta deformación es conocida como la orogenia Larámide. Este evento compresivo provocó un engrosamiento de la corteza el cual fue producto de cabalgaduras, así como también emplazamientos de importantes volúmenes de rocas magmáticas. A este evento compresivo se le relaciona comúnmente con los cinturones de pliegues y de cabalgaduras del noroeste de México principalmente en los estados de Chihuahua, Coahuila y Nuevo León, también se le atribuye al magmatismo del noroeste del país (Sonora, Baja California, Sinaloa) y durante el cual se emplazaron una gran cantidad de cuerpos plutónicos que dan lugar al batolito laramídico de Sonora. Estudios de edades isotópicas en rocas volcánicas e intrusivas reportadas en Arizona, han determinado que el magmatismo tuvo inicio hace 75 a 80 Ma (Cretácico Tardío) terminando alrededor de 55 Ma (Eoceno Medio); en Sonora este período se considera un poco más amplio

entre 40 a 90 Ma. el evento magmático es de tipo intrusivo-volcánico de una característica calccalcalina, la componente volcánica varía de andesita a riolita y el plutónico a profundidad es principalmente granítico cuya característica es referida a provincias de un margen de arco continental. Los autores mencionan la dificultad poder observar e identificar las estructuras laramídicas en Sonora debido a la presencia de un magmatismo extenso y la superposición de la fase extensional Cenozoica. De manera general, con base en análisis de la deformación observada en Sonora y Arizona, incluyendo la meseta de Colorado, la dirección de acortamiento principal durante la orogenia Larámide es NE-SW (Sosson y Bouroz et al., 1989). Se reconocen, en la meseta de Colorado y en el sureste de Arizona, dos direcciones equivalentes de compresión entre el Cretácico Tardío y el Paleógeno: la primera N65°E y la segunda N75°W. La segunda fase reactiva fallas jurásicas e incluso más antiguas, orientadas NW-SE, que originalmente tuvieron un desplazamiento lateral izquierdo. En la región de Quitovac, Iriondo et al. (2005) reportan que el cinturón laramídico se caracteriza por cabalgaduras que colocaron el basamento precámbrico, rocas volcánicas del arco jurásico y granitoides del bloque Caborca, sobre el autóctono relativo correspondiente al Cratón Norteamericano. Los espectros de edades Ar/Ar, obtenidos en muscovita asociada al metamorfismo dinámico, indican que la deformación se llevó a cabo entre 61 y 39 Ma, considerando el valor menor como la edad mínima del cabalgamiento (Calmus, Vega-Granillo, Lugo-Zazueta et al., 2011).

#### **4.0 Geología local de San Javier**

Con base en el trabajo de campo y apoyo petrográfico se han identificado seis unidades litológicas con sus respectivas subdivisiones en el área de San Javier. Es importante mencionar que no existen trabajos previos cercanos al área de estudio, por lo tanto, no se cuenta con información de dataciones radiométricas en las unidades rocosas que ayuden a realizar correlaciones de campo en base de sus edades respectivas. Las rocas que componen el área de estudio corresponden en su mayoría a rocas que han sufrido algún grado de metamorfismo y deformación. Sin embargo, la unidad de rocas metamórficas se puede correlacionar con la unidad



precámbrica estudiada en el proyecto Carina ubicado a 28 km al Oeste de San Javier. Cubriendo en la mayor parte del área de estudio se encuentra una secuencia volcánica formada por derrames y eventos piroclásticos; además, de una secuencia de metasedimentos compuestos principalmente de metaconglomerados y metalutitas.

En este capítulo se describen a detalle las distintas unidades que afloran en el área de estudio.

### **Secuencia Volcánica**

La secuencia volcánica tiene una amplia distribución en el área, es la roca encajonante de stocks mineralizados ubicados al SE del proyecto San Javier. El intenso fracturamiento de esta unidad, favoreció el emplazamiento de vetas de cuarzo en planos de fallas y fracturas, acompañadas de oxidación de hematita-goethita, y varios tipos de alteración como: la fílica, propilítica, argilización y silicificación, las cuales se presentan con intensidades que varían de débil hasta penetrativa.

Debido a la variaciones texturales y mineralógicas presentes en esta secuencia se dividió en cuatro unidades para su mejor comprensión y manejo de la siguiente forma: UNIDAD VOLCÁNICA SAN JAVIER-1 (UVSJ-1) que a su vez fue subdividida en cuatro miembros, Miembro Volcánico San Javier-1a, (MVSJ-1a), Miembro Volcánico San Javier-1b (MVSJ-1b), Miembro Volcánico San Javier-1c (MVSJ1-c) y Miembro Volcánico San Javier-1d (MVSJ-1d), UNIDAD VOLCÁNICA SAN JAVIER-2 (UVSJ-2), subdividida en tres miembros Miembro Volcánico San Javier-2a, (MVSJ-2a), Miembro Volcánico San Javier-2b (MVSJ-2b) y Miembro Volcánico San Javier-2c (MVSJ2-c), UNIDAD VOLCÁNICA SAN JAVIER-3 (UVSJ-3) subdividida en 2 miembros, Miembro Volcánico San Javier-3a, (MVSJ-3a) y Miembro Volcánico San Javier-3b (MVSJ-3b).

Con el análisis petrográfico de 32 muestras colectadas de roca fresca y alterada se detectó que la alteración cuarzo-sericita, se encuentra presente en la

totalidad de los especímenes colectados, infiriendo que la roca in situ presenta variación de alteración que va de débil a intensa; los minerales que definen a este tipo de alteración son: sericita, cuarzo, epidota, clorita y minerales opacos como se observan en las siguientes fotografías de cada unidad.

#### **4.1 Unidad Volcánica San Javier -1 (UVSJ-1)**

Esta unidad ha sido subdividida en, MVSJ-1a, MVSJ-1b, MVSJ-1c y MVSJ-1d. Esta unidad aflora en un 50 % del área de estudio su distribución se encuentra principalmente al noroeste, sureste y centro-oeste del área de estudio.

##### **Miembro volcánico San Javier (MVSJ-1a)**

El MVSJ-1a consiste en un paquete de flujos volcánicos de composición riolítica. La roca que compone esta secuencia presenta tonalidades blancas y en ocasiones rojizas, es de textura porfídica con fenocristales de cuarzo de <2 mm en tamaño, plagioclasas >1 mm y feldespato potásico >1 mm, regularmente alterados en la parte SE del área; también se observa pirita, pirita oxidada dejando oquedades por lixiviación de pirita (*boxwork*) y fluorita. La roca es afectada por una moderada silicificación, con una débil a moderada oxidación de hematita-goethita y alteración tipo fílica.

En sección delgada, se observa preferencialmente una textura porfídica con fenocristales subhedrales de cuarzo>feldespato alcalino>plagioclasas y como minerales de alteración de moscovita>epidota>clorita y como minerales accesorios se tiene la presencia de circón, rutilo y esfena (esto debido al contenido de titanio), rodeados en una matriz recristalizada de cuarzo y biotita muy fina la cual es posiblemente metosomática que se comporta con una cierta foliación muy incipiente. Los fenocristales de cuarzo presentan extinción ondulante el cual nos permite reconocer que la roca fue afectada por una deformación. Los fenocristales de plagioclasas y feldespato alcalino están siendo afectados por alteración sericítica. La asociación de cuarzo, epidota y clorita nos indica la presencia de alteración propilítica. Por su textura y composición mineralógica de esta unidad se

clasifica como metariolita porfídica de cuarzo. (Fig. 4.1.0) y (Fig. 4.1). Es importante mencionar que este miembro puede ser considerada en las rocas metamórficas; sin embargo, en este trabajo se agregó en la unidad volcánica debido a que su grado de metamorfismo es muy bajo.

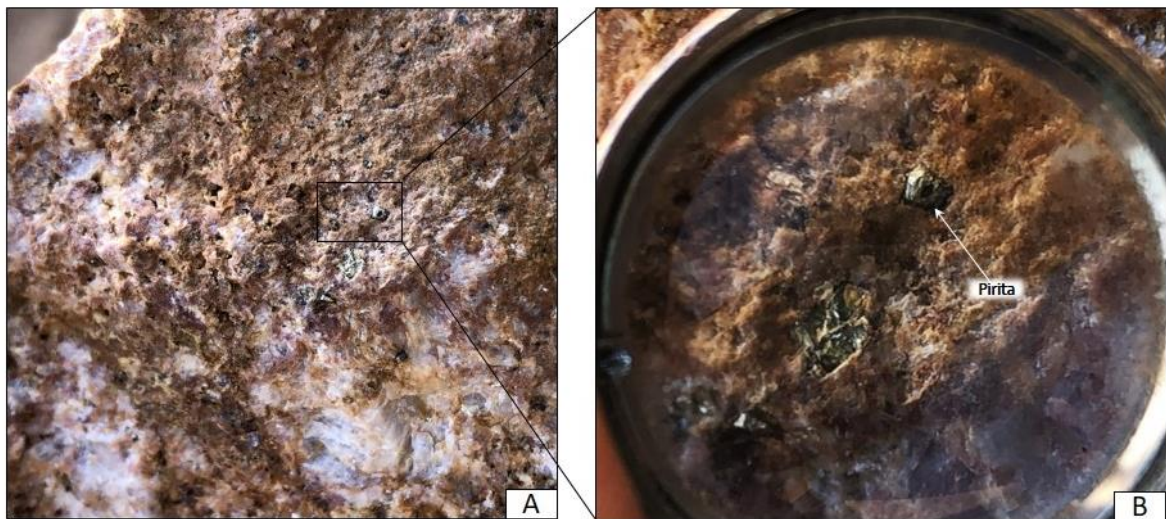


Fig. 4.1.0.- Fotografías de MVSJ-1a A) Muestra de mano de metariolita porfídica afectada por débil oxidación tipo hematita, con presencia de pirita fresca, pirita oxidada y débil sericita. B) Acercamiento de la fotografía A donde se observa pirita fresca.

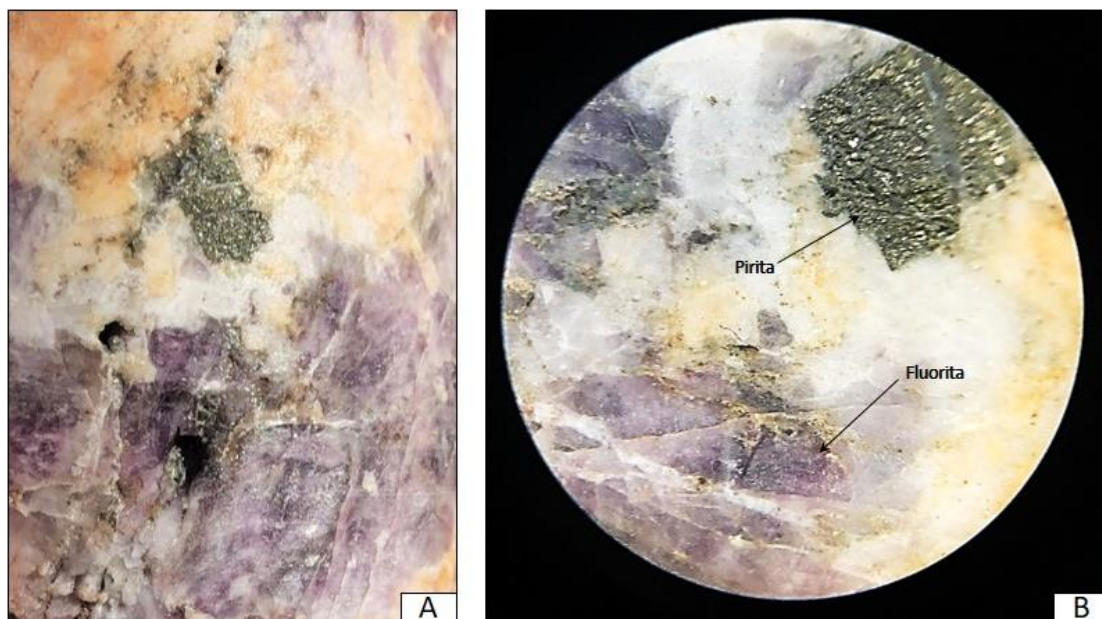


Fig. 4.1.0.1.- Fotografías de MVSJ-1a A) Muestra de mano con presencia de pirita fresca, feldespato potásico y fluorita. B) Acercamiento de la fotografía A donde se observa pirita fresca y fluorita.

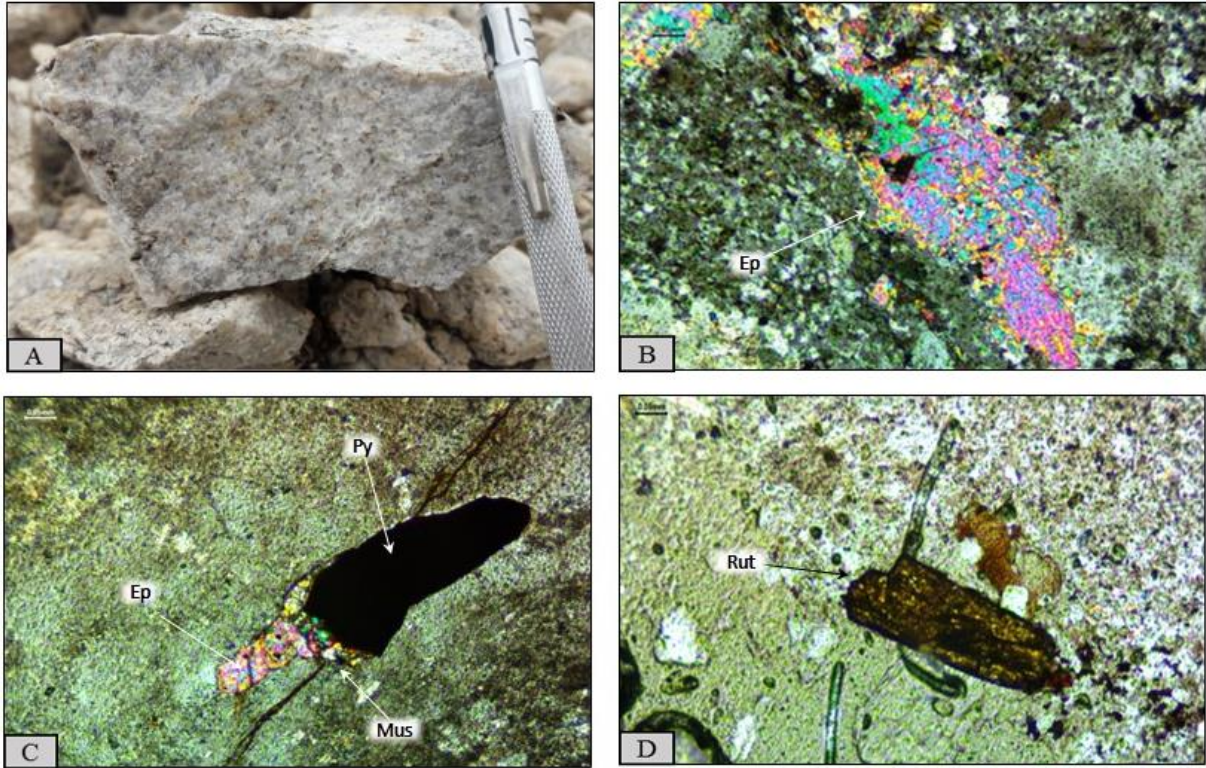


Fig. 4.1.- Fotografías y microfotografías de muestras del MVSJ-1a recolectadas en diferentes puntos del área SE de San Javier. A) Ejemplar de mano donde se observa débil a moderada silicificación además de ojos de cuarzo, inmersos en una matriz fina recrystalizada, B) sección delgada de la muestra SJV-025, vista en NX, con aumento de 10X, donde se puede observar fenocristales de epidota (Ep) y clorita rodeado por una matriz recrystalizada de cuarzo y biotita muy fina que muestra cierta orientación preferente que define una foliación incipiente, C) sección delgada de la muestra SJV-020, en NX con aumento de 10X, donde se puede observar porfidoblasto de epidota (Ep), muscovita (mus) y pirita (Py) rodeado de una matriz recrystalizada de cuarzo, D) sección delgada de la muestra SJV-043, en NX, con aumento de 10X, en donde se puede observar rutilo sostenidos en una matriz de cuarzo.

El MVSJ-1a está alterada a cuarzo-, cortada por vetas-fallas de cuarzo de 3 metros de espesor en promedio las cuales se describirán a detalle en los capítulos de Geología Estructural y Mineralización.

#### **4.1.2 Miembro Volcánico San Javier-1b (MVSJ-1b)**

En la Zona SE del proyecto, se tiene la presencia de vetillas tipo stockwork, cortando a la roca encajonante MVSJ-1b que compone esta secuencia. En muestra de mano es de color gris oscuro con tonalidades verdosas, textura porfídica con fenocristales de cuarzo>plagioclasas>feldespato con pirita fina oxidada y moderada alteración cuarzo-sericita. En sección delgada su textura es porfídica con fenocristales subhedrales de cuarzo>plagioclasas y como minerales secundarios se observa epidota>moscovita>biotita muy fina>clorita, sostenidos en una matriz recristalizada de cuarzo. Los fenocristales de plagioclasas presentan alteración sericítica; además la roca es afectada por una intensa silicificación y alteración propilítica; los fenocristales de cuarzo presentan extinción ondulante y la biotita presenta una cierta orientación incipiente. Por su textura y composición litológica de esta unidad se clasifica como riolita porfídica. (Fig. 4.1.1) y (Fig. 4.1.1.2).

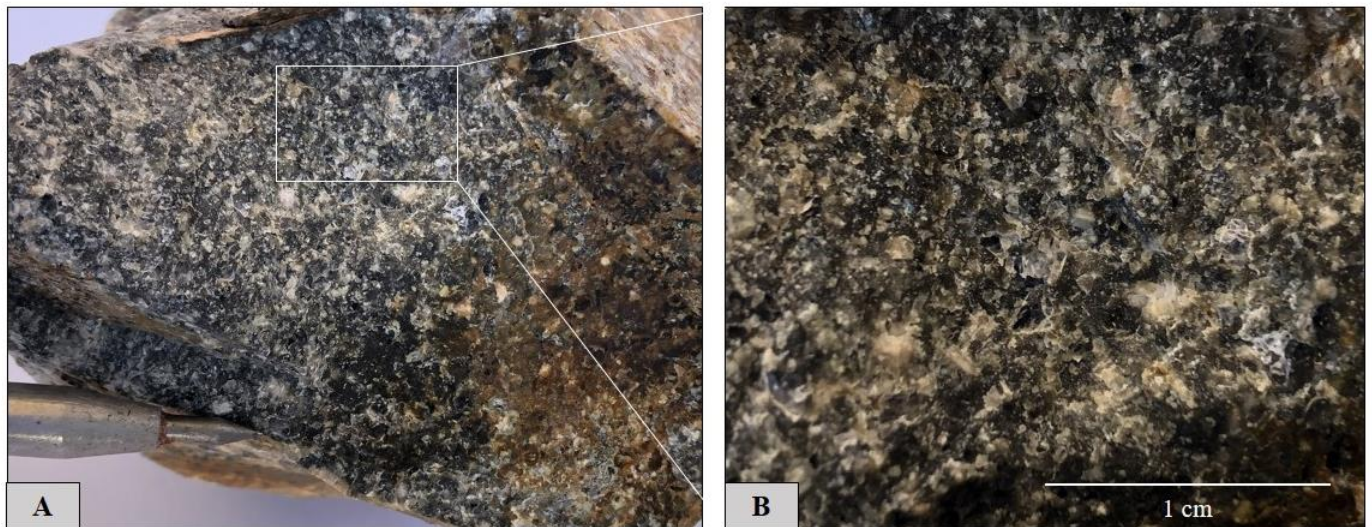


Fig. 4.1.1.- Fotografías y acercamiento del MVSJ-1b. A) Ejemplar de riolita porfídica de color gris oscuro. B) Acercamiento donde se aprecia su composición representada por fenocristales de cuarzo, feldespato potásico y plagioclasas.

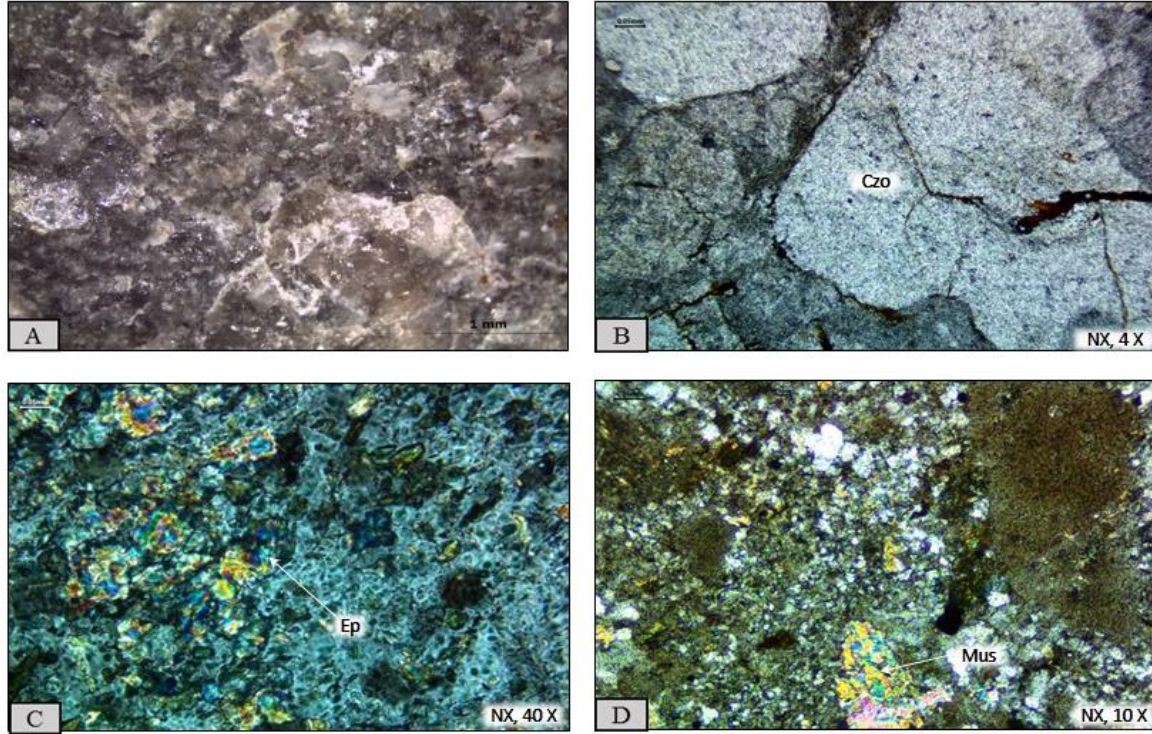


Fig. 4.1.1.2.- Fotografía y microfotografías de la muestras MVSJ-1b. A) Ejemplar de mano donde se observa ojos de cuarzo además de pirita oxidada, B) En sección delgada de la muestra SJV-052, en LN, con aumento de 4X, se observan fenocristales de cuarzo (czo) con golfo de corrosión, en una matriz recrystalizada de cuarzo, C) En sección delgada de la muestra SJV-041, en NX, con aumento de 40X, donde se puede observar porfidoblastos de epidota (Ep) muy fina, D) En sección delgada de la muestra SJV-041, en NX, con aumento de 10X, en donde se muestra porfidoblastos de muscovita (Mus), en una matriz recrystalizada de cuarzo.

MVSJ-1b es la roca encajonante presentando una zona de stockwork localizado al SE del área de estudio. Esta roca es cortada por una serie de vetillas de cuarzo posiblemente tipo "A" y tipo "B" (según clasificación de vetillas Gustafson y Hunt, 1975), las cuales se describirán a detalle más adelante.

#### 4.1.3 Unidad Miembro Volcánico San Javier-1c (MVSJ-1c)

Las rocas que comprenden este miembro se localizan al SE y NE del área de estudio, y en superficie presenta un color blanco en partes variando a gris y ocasionalmente con tonalidades rojizas. Presenta una textura porfídica con fenocristales mayores a 1mm compuestos de cuarzo>plagioclasas>feldespato

potásico, contiene pirita oxidada y alteración cuarzo-sericita; en sección delgada presenta textura porfídica con fenocristales subhedrales de cuarzo>plagioclasas>feldespato alcalino y como minerales de alteración y secundarios presenta moscovita>epidota>clorita>biotita, rodeados una matriz recristalizada de cuarzo, los fenocristales de cuarzo tienen extinción ondulante, también presenta una foliación incipiente, aunque aquí se observa menos clara. Las plagioclasas y los feldespatos alcalinos presentan alteración sericítica, por lo cual no fue posible clasificarlas. La asociación de cuarzo, epidota y clorita nos indica la presencia de alteración propilítica. Por su textura y composición litológica este miembro se clasifica como riolita fluidal. (Fig. 4.2).

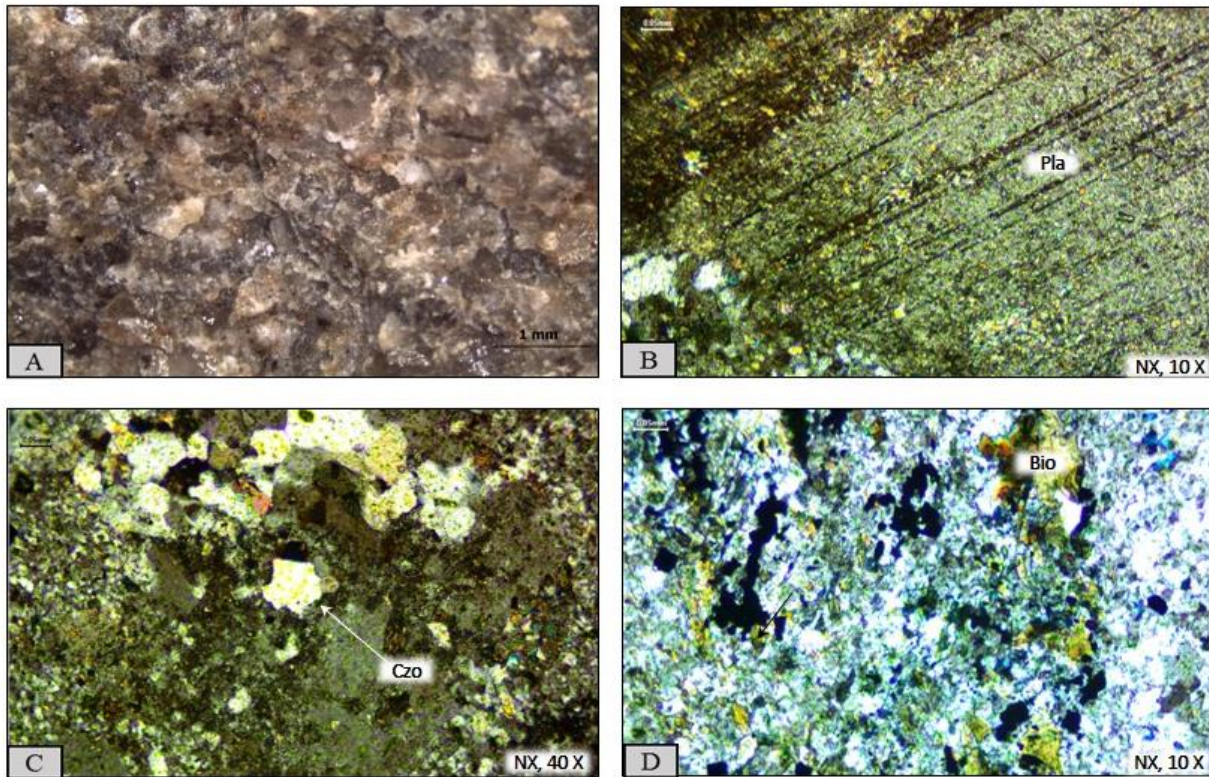


Fig. 4.2.- Fotografías y microfotografías de muestras del MSJ-1c. A) Muestra de mano donde se observa ojos de cuarzo, B) sección delgada de la muestra SJV-020, en NX, con aumento de 10X, en donde se puede observar fenocristales plagioclasas con alteración sericita, C) sección delgada de la muestra SJV-025, vista en NX, con aumento de 40X, donde se observa la matriz recristalizada, D) sección delgada de la muestra SJV-025, con NX, con aumento de 10X, donde se observa biotita muy fina hidrotermal.

Este miembro es cortado por veta-fallas que también son descritas en los siguientes capítulos.

#### **4.1.4 Miembro Volcánico San Javier-1d (MVSJ-1d)**

Aflora principalmente en la parte oeste-central-sur del área de estudio. Esta unidad ha sido afectada por un bajo grado de deformación, apreciable en campo y en sección delgada (en terreno es posible determinar la deformación debido a que algunas zonas presentan cizallamiento moderado). La roca es de un color gris claro-blanco con fenocristales >2mm de cuarzo, plagioclasas >1mm, feldespato potásico >1mm, afectados por alteración sericítica, presentan oquedades por lixiviación (*boxwork*) de pirita >5mm de diámetro; en sección delgada tiene una textura porfídica con fenocristales subhedrales de cuarzo>plagioclasas y como minerales de alteración y secundarios presenta moscovita>biotita muy fina>clorita, sostenidos en una matriz recristalizada de cuarzo; las plagioclasas presentan alteración sericítica, los cristales de cuarzo presentan extinción ondulante que es un indicador de deformación, la biotita presenta lineamiento incipiente. Por su textura y composición mineralógica este miembro se clasifica como metariolita fluidal. (Fig. 4.3.0). Es importante mencionar esta unidad puede ser considerada en la unidad metamórfica, sin embargo en este trabajo se agregó en la unidad volcánica debido a que su grado de metamorfismo es muy bajo.





Fig. 4.3.0.- Fotografía de Metariolita fluidal afectada por fuerte silicificación e incipiente cizallamiento. Mineralógicamente está compuesta por fenocristales de cuarzo, feldespato y plagioclasas además de pirita fresca diseminada.

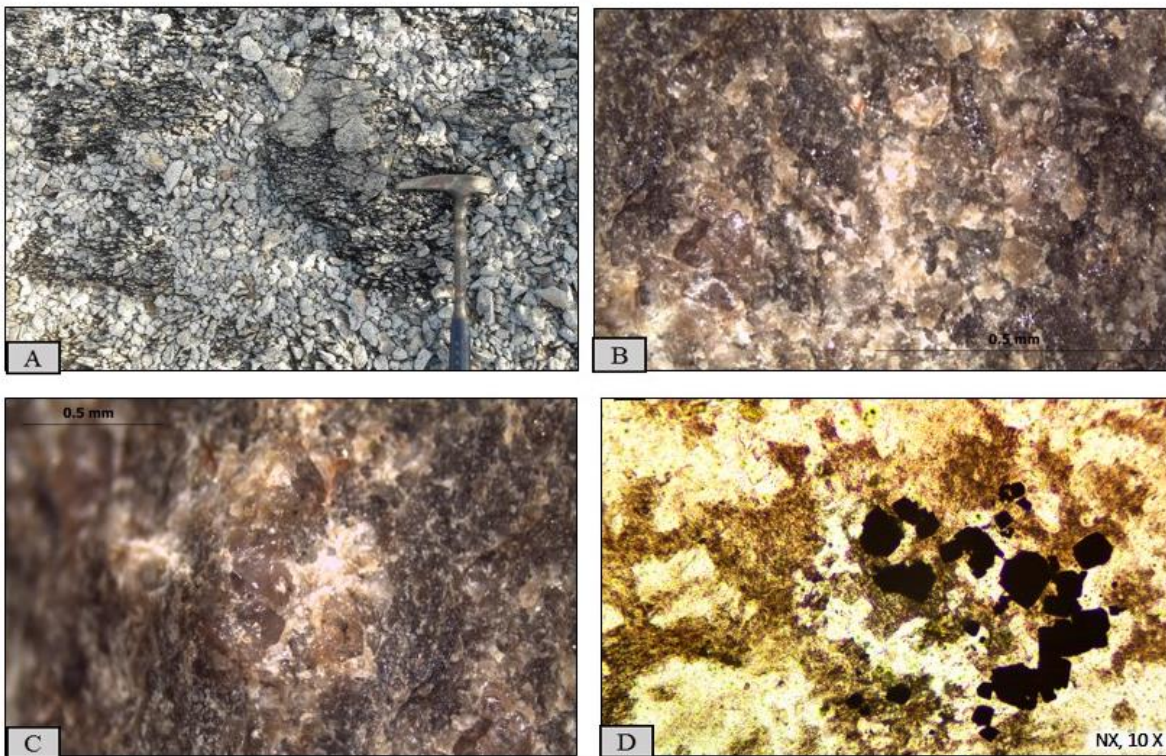


Fig. 4.3.- Fotografías y microfotografías del S del San Javier. A) Afloramiento del MVSJ-1c donde se puede observar un clivaje incipiente que se atribuye a cizallamiento

impuesto en la unidad, B) Muestra de mano de riolita donde se puede observar fenocristales de ojos de cuarzo, feldespato potásico y plagioclasas las cuales están siendo alteradas por sericita, C) Acercamiento de la misma muestra anterior para resaltar los fenocristales de cuarzo y feldespatos potásicos los cuales ya están completamente alterados por agilización, D) Microfotografía de la muestra SJV-025, vista en LN, con aumento de 10X, donde se puede observar fenocristales de cuarzo clorita y esfena (como alteración), también se puede observar oxidación tipo hematita los cuales están reemplazando a los fenocristales.

#### **4.2 Unidad Volcánica San Javier-2 (UVSJ-2)**

Esta unidad ha sido subdividida en, MVSJ-2a y MVSJ-2b. Esta unidad aflora en un 15 % del área de estudio su distribución se encuentra principalmente al N y centro-oeste de la zona.

##### **4.2.1 Miembro Volcánico San Javier-2a (MVSJ-2a)**

La roca que constituye el MVSJ-2a se trata de una andesita con textura porfídica con fenocristales de plagioclasas>feldespato alcalino>cuarzo>biotita. La roca es afectada por un moderado fracturamiento debido al emplazamiento de vetas de cuarzo, presenta pirita oxidada >1mm y oquedades por lixiviación (*boxwork*) de pirita>1cm de diámetro. En sección delgada muestra una textura porfídica con fenocristales subhedrales de plagioclasas>feldespato alcalino, además de minerales de alteración y secundarios: turmalina>biotita>epidota, rodeados por una matriz de plagioclasas muy fina la cual toda la roca está siendo afectada por alteración sericítica. Por su textura y composición litológica de esta unidad se clasifica como andesita hipocristalina porfídica de plagioclasas.



Fig. 4.4.0.- Fotografías del MVSJ-2a en donde se puede observar muestra de mano correspondiente a andesita hipocristalina porfídica de plagioclasas además se aprecia cubos de pirita oxidada. Py=pirita.

La MVSJ-2a es afectada por una zona de falla lo que provocó el brechamiento de la misma. Esta brecha de falla aflora en la zona centro del área de estudio abarcando un 5% de esta. La roca en muestra de mano está compuesta por fragmentos de roca angulosos > 2 cm de diámetro, de rocas volcánicas principalmente de riolita y andesita con texturas variables (afaníticas y porfídicas) sostenidos en una matriz oscura en algunas zonas y en otras su matriz es de cuarzo blanco. En sección delgada presenta una textura porfídica compuesta por cristales subhedrales angulosos de cuarzo (70%) sostenidos en una matriz cristalina muy fina la cual presenta fenocristales de cuarzo>turmalina>actinolita>albita>biotita>esfena>calcita>rutilo (rodeado con

anillos de esfena)>apatito>circón. Por su textura y composición mineralógica de esta unidad se clasifica como brecha de falla con cuarzo-turmalina. (Fig. 4.4 y 4.5).



Fig. 4.4.- Brecha cuarzo-turmalina con fragmentos de riolita subangulosos de hasta 8 cm de espesor.

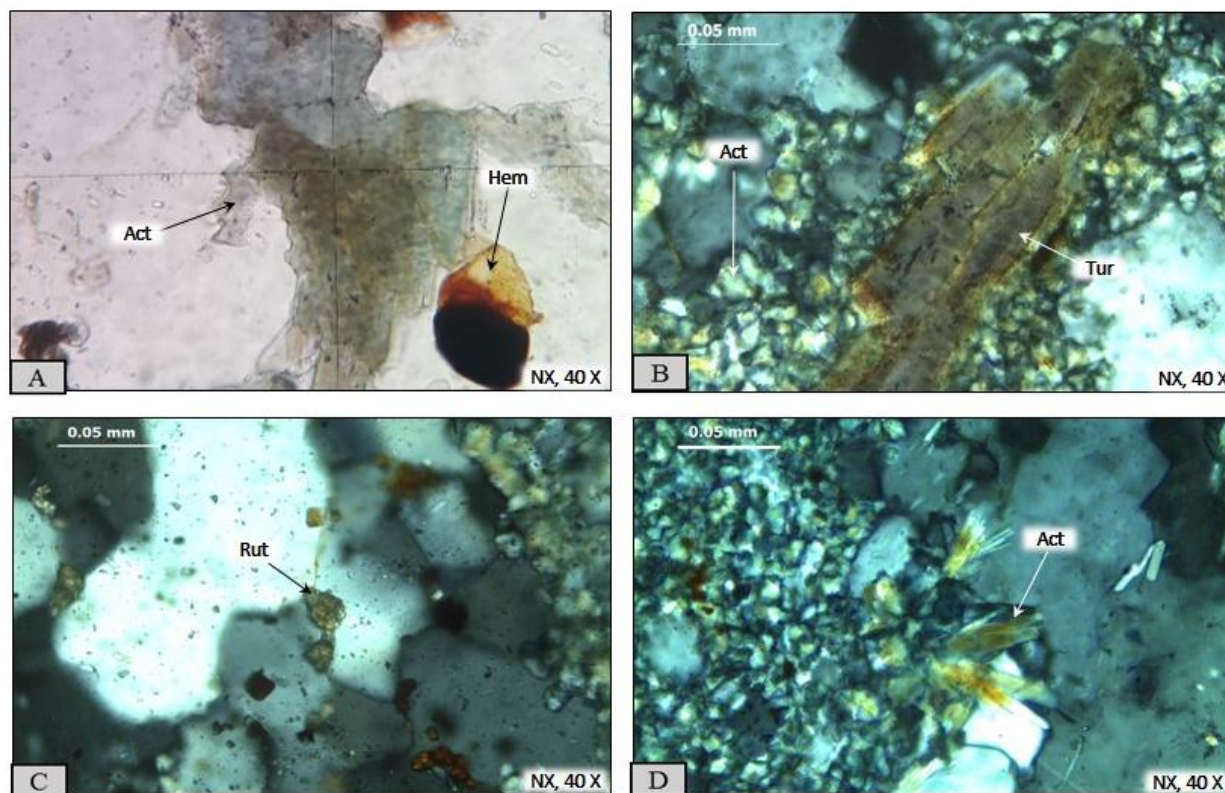


Fig. 4.5.- Microfotografías de la muestra SJV-02-4 ubicada al centro de San Javier. A) Microfotografía en sección delgada en LP, con un aumento de 40X, donde se observa fenocristal de actinolita (Act), sostenido en una matriz recristalizada de cuarzo, además se observa óxidos de hierro como hematita (Hem), B) Microfotografía en la cual se observa fenocristales de turmalina (Tur) en LP, con un aumento de 40X, sostenidos en una matriz de cuarzo y actinolita (Act), C) Microfotografía en la cual se observa rutilo (Rut) en LP, con aumento de 40X, sostenidos en una matriz de cuarzo y actinolita, D) Microfotografía en la cual se observa pequeños cristales de actinolita (Act) en LP, con un aumento de 40X, sostenidos en una matriz de cuarzo y actinolita.

#### **4.2.2 Miembro Volcánico San Javier-2b (MVSJ-2b)**

El MVSJ-2b se localiza al W del área de estudio al N del rancho San Javier, en superficie la unidad VSJ-2b presenta una coloración morada, con ciertas variaciones texturales y a diferencia de la unidad VSJ-2a que presenta una textura porfídica con fenocristales >1mm, esta unidad (VSJ-2b) presenta una textura

ligeramente porfídica y fenocristales <1mm, que corresponden a plagioclasas y feldespatos alterados a arcillas, anfíboles <1mm, con láminas (*books*) de biotita hasta 5mm de espesor y en ocasiones se observan bandas de epidota; en sección delgada también su textura es ligeramente porfídica con fenocristales subhedrales de grano grueso de plagioclasas>feldespato alcalino>hornblenda>moscovita>cuarzo, los cuales están rodeados por una matriz microcristalina con plagioclasas. En la muestra se puede observar vetillas de cuarzo y hornblenda; la roca es afectada por alteración sericítica siendo más intensa en las plagioclasas; también presenta pirita oxidada. Por su textura y composición mineralógica esta unidad se clasifica como dacita porfídica de plagioclasas.

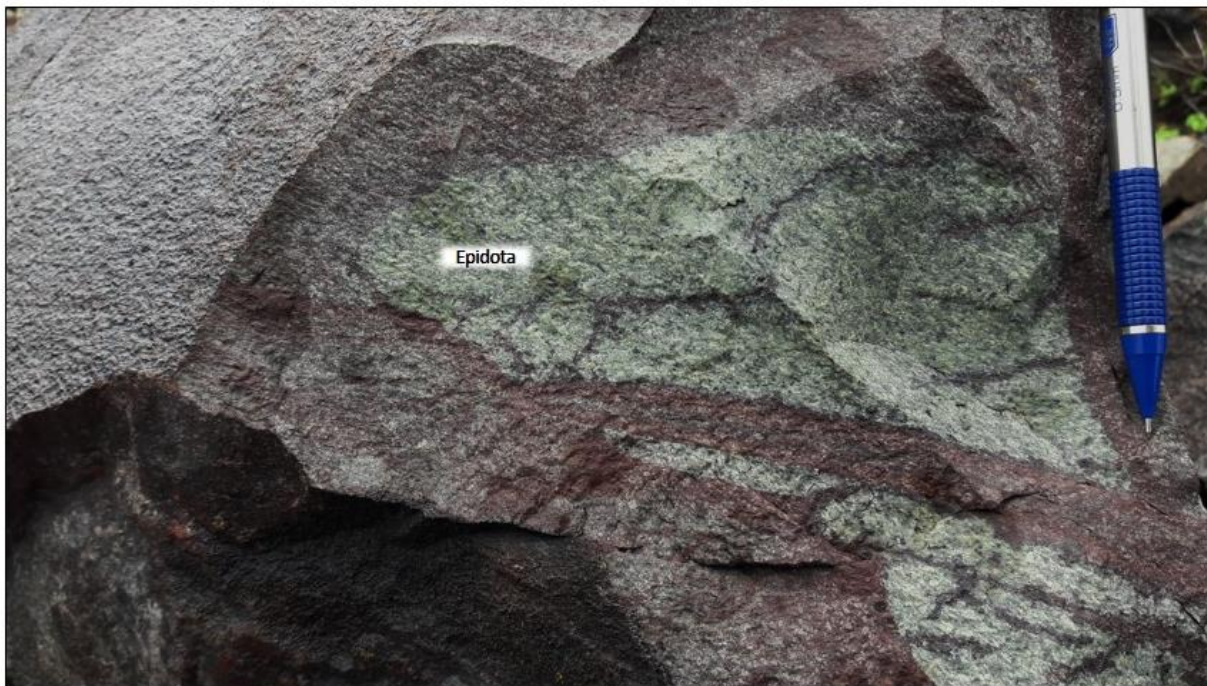


Fig. 4.5.1.- Fotografía de muestra de mano de dacita porfídica con parches de epidota.

### **4.3 Unidad Volcánica San Javier-3 (UVSJ-3)**

Esta unidad cubre un 5% de la superficie del área y se subdividió en dos miembros, MVSJ-3a y MVSJ-3b.

#### **4.3.1 Miembro Volcánico San Javier-3a (MVSJ-3a)**

La roca MVSJ-3a es de color morado contiene cristales de cuarzo>feldespato>plagioclasas y como minerales de alteración presenta calcita; presenta fragmentos de roca de composición riolítica, débil oxidación en fracturas; en sección delgada presenta cristales anhedrales de cuarzo>feldespato alcalino>plagioclasas y como minerales de alteración y secundarios presenta clorita>calcita>moscovita rodeados por matriz vítrea recristalizada, la muestra está siendo afectada principalmente por alteración sericítica. También se encuentran algunas vetillas de cuarzo muy fino. Se alcanzan a ver flamas con esferulita de desvitrificación las cuales están siendo rellenadas por cuarzo y calcita. Por su textura y composición mineralógica de esta unidad se clasifica como toba lapilli ignimbrítica de composición riolítica poco soldada. (Fig. 4.6).

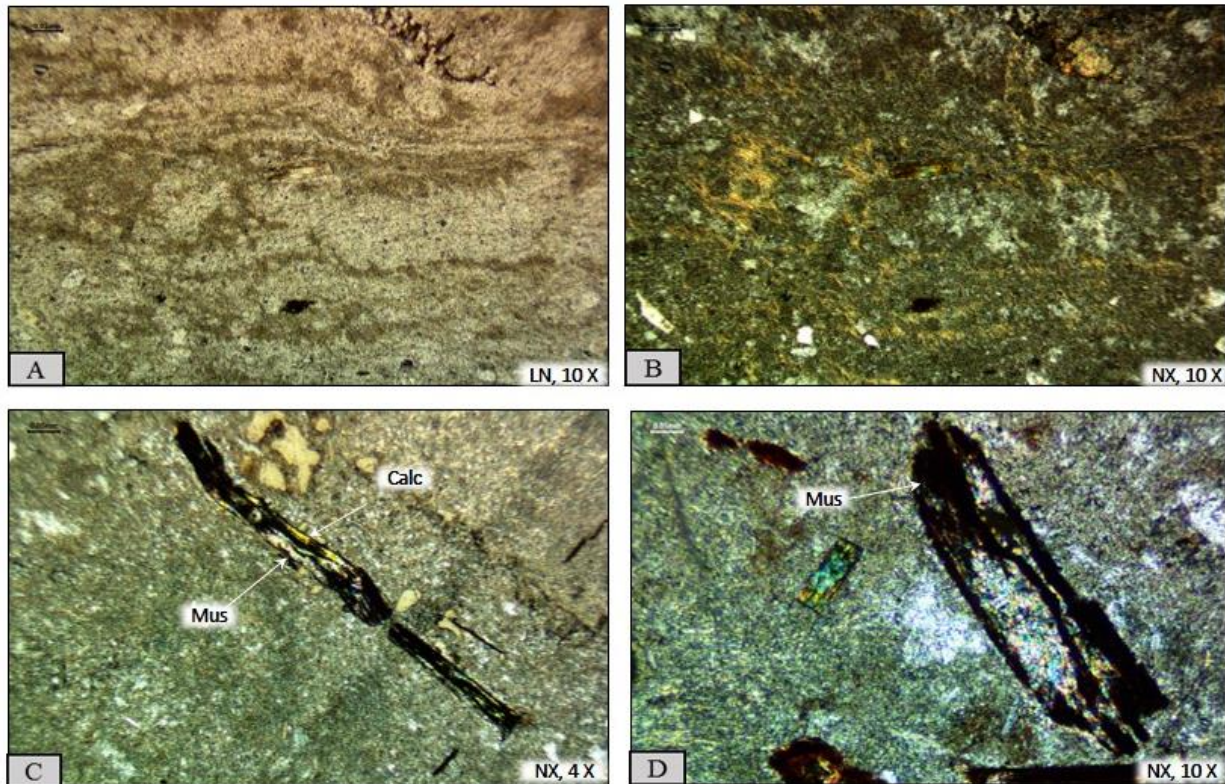


Fig. 4.6 - Microfotografías de láminas delgadas de la muestra SJV-008, A) Microfotografía observándose en LN con aumento de 10X, la cual se pueden observar flamas

de desvitrificación las cuales están siendo remplazadas por calcita, B) Microfotografía de la misma foto A) pero vista en LN con aumento de 10X, en la cual se observan flamas desvitrificadas las cuales están siendo rellenadas por calcita, las cuales siguen una orientación, C) Microfotografía vista en NX, con aumento de 4X, en donde se puede observar moscovita siendo remplazada por calcita D) Microfotografía vista con aumento de 10X, donde se muestra la misma mineralogía del inciso C) con un mayor aumento.

#### **4.3.1 Miembro Volcánico San Javier-3b (MVSJ-3b)**

En superficie el MVSJ-3b muestra un color gris-verde con cristales de plagioclasas, feldespatos y en muy poca proporción cuarzo; en sección delgada contiene cristales de plagioclasas>feldespato alcalino>cuarzo y como minerales secundarios moscovita>biotita, estando esta última oxidada, toda la muestra está siendo afectada por alteración sericítica. Por su textura y composición mineralógica este miembro se clasificó como toba lapilli de oleada piroclástica de composición andesítica.

#### **Rocas Metamórficas**

Estas rocas se ubican en la zona norte y centro del área de interés, se trata de un Augen gneis de feldespato potásico (Ortogneis clasificado con características observadas en campo) y de metasedimentos, que corresponden al precámbrico, se asigna esta edad debido a la similitud con rocas que afloran en el proyecto Carina y en la mina Herradura; de manera informal se clasificó como Metamórfica San Javier-1 (MSJ-1) y Meta-Sedimentario San Javier-2 (MSSJ-2).

#### **4.5 Metamórfica San Javier (MSJ-1) Gneis San Javier**

Esta unidad aflora en la zona centro-norte del área y presenta una textura bandeada y porfidoblástica, con megacristales de feldespatos potásicos con tamaños variables que van de 1 cm hasta 10 cm deformados y orientados a rumbo de la foliación. Están acompañados de moscovita y biotita en hojuelas presenta alteración sericítica asociada con clorita, calcita y epidota. En base a la mineralogía y textura, esta roca se ha definido en campo como gneis augen de feldespato potásico; en lámina delgada corresponde a la muestra SVJ-01 (anexo A) donde se



observa textura foliada con presencia de porfidoblastos subhedrales de cuarzo, feldespatos potásico, biotita y plagioclasas. En base al análisis petrográfico, textura y composición mineralógica esta roca se clasifica como gneis augen de feldespato potásico. (Fig. 4.7 y 4.8).

La muestra SJV-01 presenta alteración sericítica, además algunos de los cristales de cuarzo presentan o asemejan una textura micrográfica (esto en algunas otras muestras donde se alcanza a observar la textura original del protolito es decir sin deformación).

Se observa que la foliación del gneis está localmente plegada, además la unidad es cortada por fallas a lo largo de las cuales se emplazaron vetas de cuarzo. Además, se aprecian diferentes eventos estructurales en donde se presentan vetas de interés económico, las cuales se tratan de veta-falla de cuarzo descrita con más detalle en el capítulo 6.

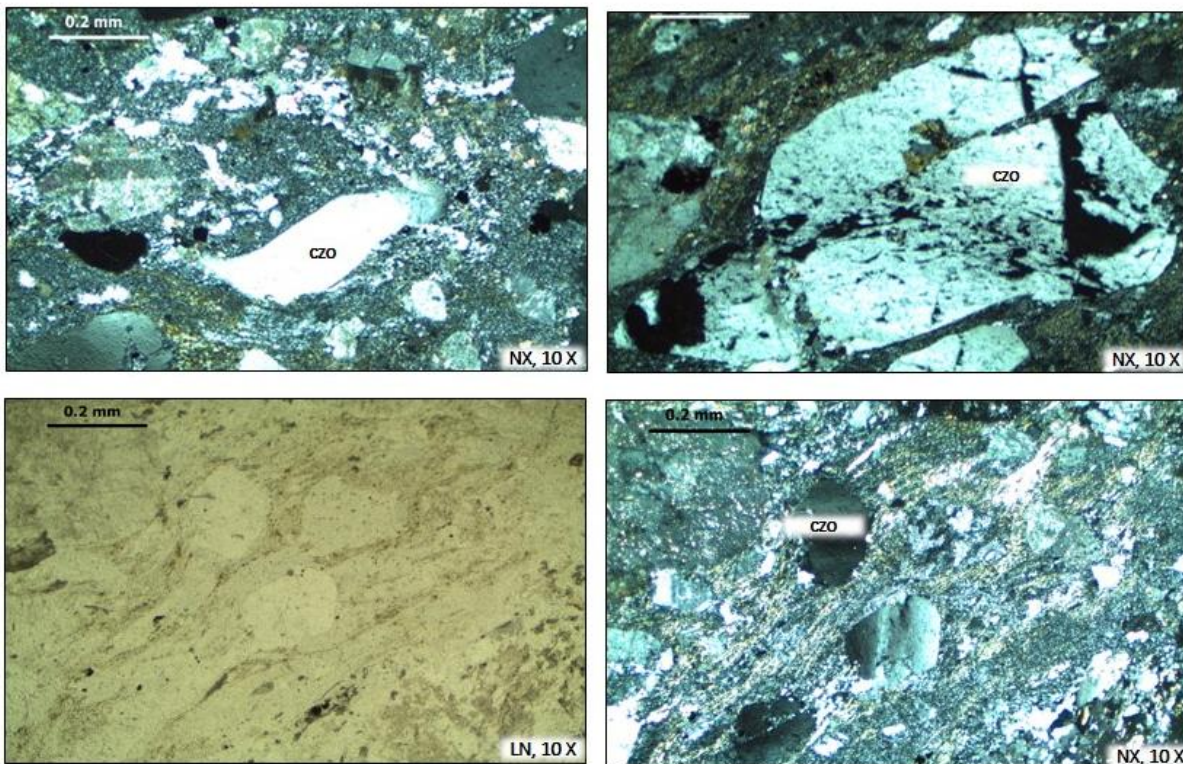


Fig. 4.7.- Microfotografías de láminas delgadas de la muestra SJV-001, A) y B) Microfotografía vista en LN y LP con aumento de 10X, la cual podemos observar cristal de cuarzo el cual se encuentra afectado por deformación expresando rasgos cinemáticos en donde representa el sentido de la deformación indicando que el movimiento es dextral, además de alteración de sericita a los bordes, C) y D) Microfotografía vista en LN y LP con aumento de 10X, en la cual se observa un cristales de cuarzo con sombras de presión hacia los bordes, además se observa extensión ondulante el cual nos indica que el cristal fue afectado por una deformación.

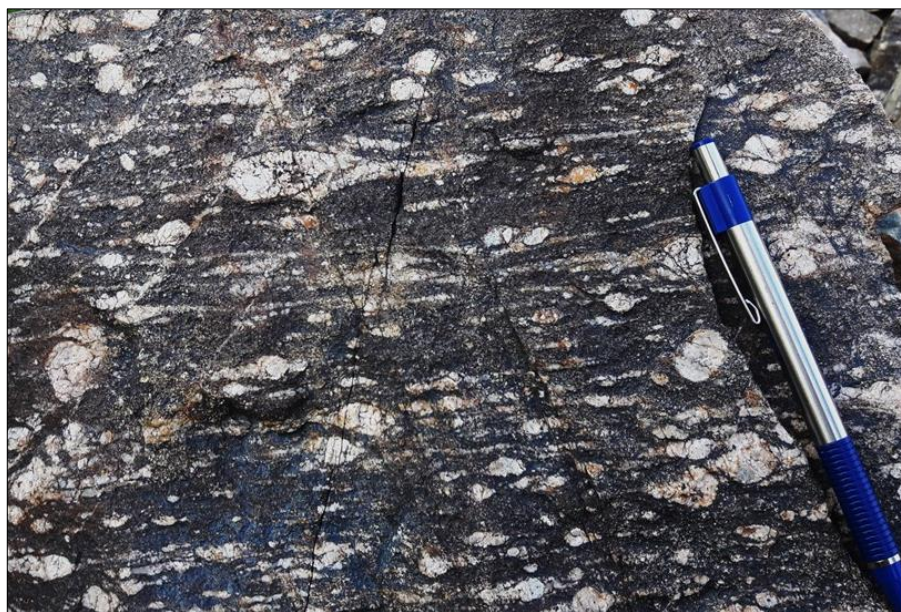


Fig. 4.7.1.- Ejemplar de campo de MSJ-1 de cual se trata de un gneis augen de feldespato potásico, en donde sus porfidoblastos presentan están siendo afectados por deformación lo cual su textura se está convirtiendo en milonítica.



Fig. 4.7.2.- Ejemplar de campo (MSJ-1), donde se puede observar gneis augen con cierta deformación.

#### **4.6 Metamórfica San Javier (MSSJ-1)**

##### **Metasedimentos**

Esta unidad está constituida por una secuencia de metareniscas y metaconglomerados, pizarras principalmente; aflora en la porción centro-norte del área. Se presenta con débil foliación e inclinaciones variables; en los metaconglomerados se aprecia gradación normal de los clastos que se presentan de sub-angulosos a sub-redondeados, contenidos en una matriz de grano medio; en zonas aisladas de la meta-arenisca hay pequeñas áreas donde se observa tramos de arenisca bien estratificada que van de grano medio a fino.



Fig. 4.7.3.- Ejemplar de campo (MSSJ-1), donde se puede observar metasedimento (metaconglomerado) con cierta deformación.

#### **4.7 Intrusivos de San Javier**

##### **Granodiorita San Javier**

Esta litología fue identificada en núcleos de barrenación a diamante, ya que no se fue posible observarla en superficie. Granodiorita de textura porfídica presentando una fuerte silicificación, alteración de sericita en donde es penetrativa además de alteración de clorita. Mineralógicamente está compuesta de pirita diseminada, magnetita en parches y calcita en hilillos irregulares. En planos de fractura se observa óxidos de fierro como hematita, goethita, jarosita ocasional y óxidos de cobre (tenorita). Con ayuda de la clasificación de vetillas Gustafson y Hunt (1975) (tabla 6.0.1), se pudo identificar que está es cortada por una serie de vetillas de cuarzo posiblemente tipo “A” de hasta 20 cm de espesor con presencia de pirita

+ calcopirita + galena + esfalerita en tonalidades amarillas + sericita + débil fluorita + wulfenita? + trazas de molibdeno y magnetita esporádica + feldespato potásico dentro de la estructura y en halo de alteración. Además de vetillas de cuarzo tipo “B” de hasta 9 cm de espesor donde se aprecia pirita + calcopirita débil + bornita? + clorita + calcita en hilillos + molibdenita hacia los bordes de la estructura. También se observan vetillas de cuarzo tipo “D” de hasta 3.5 cm de espesor con presencia de pirita + esfalerita con tonalidades amarillas + fluorita débil + hilillos de arcillas verdes + sericita hacia los bordes y feldespato potásico dentro de la veta y en su halo de alteración.

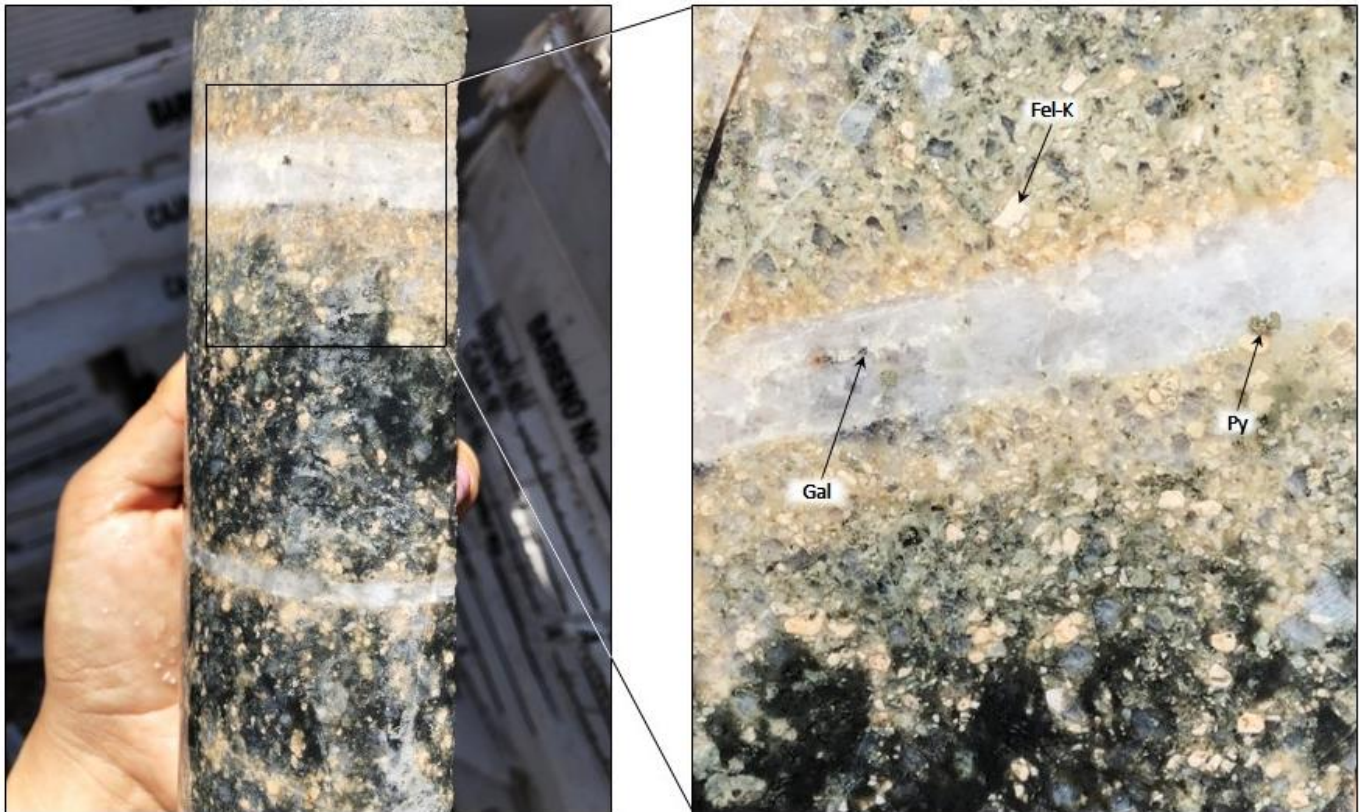


Fig. 4.8.- Ejemplar de granodiorita porfídica con fenocristales de cuarzo, feldespato potásico, afectada por vetilla de cuarzo cristalino con presencia de pirita fresca, galena y feldespato potásico dentro y a los bordes, además de halo de silicificación. Gal =galena, Feld K=feldespato potásico, Py=pirita.



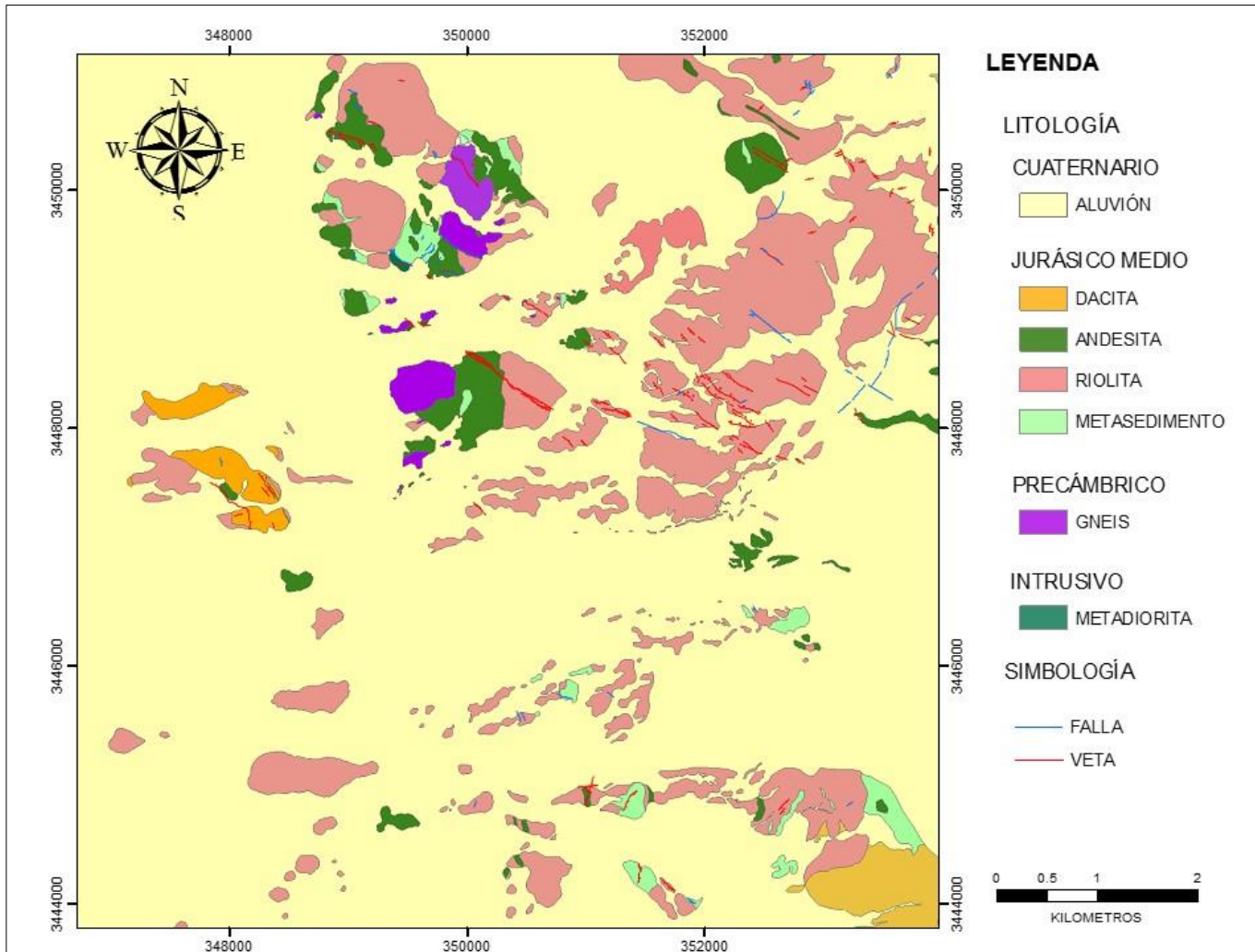


Fig. 4.9.1.- Mapeo geológico-estructural escala 1:5000 del área de estudio.

## **5.0 Geología Estructural**

### **5.1 Análisis Estructural de San Javier**

En el proyecto San Javier se presentan una serie de estructuras principalmente del tipo vetas de cuarzo con tendencia regional NW-SE, además de una serie de fallas NE-SW las cuales son más recientes que el grupo de fallas NW-SE ya que están cortando a estas y por último se identifica fallas más locales con tendencia N-S que delimitan la topografía de esta zona, cortan y deforman regularmente a las unidades antes descritas.



Fig. 5.0. Fotografías de toma de datos estructurales de vetas de cuarzo, además de observaciones de campo de estas mismas estructuras.



Otros de los rasgos más característicos del área de estudio y con mayor presencia es la foliación, siendo definida por el metamorfismo dinámico, posteriormente volviéndose penetrativa por la afectación y ocurrencia de cizallamiento paralelo a la misma generando una foliación secundaria sobre impuesta a la primaria. La tendencia general de dicha foliación confirma una orientación NW-SE, distinguiendo varios buzamientos unos al NE y otros al SW.

En el área de estudio pudieron estudiarse numerosas estructuras que corresponden a fallas. Estas fallas corresponden a planos o superficies en su mayoría con estrías de falla, en algunas se produce fracturamiento o trituración. Estas estructuras sirvieron con conductos para el emplazamiento de fluidos hidrotermales formando vetas de cuarzo y en algunas ocasiones estas son cortadas y desplazadas. En otras se produjeron brechas de falla con fragmentos de cuarzo y roca encajonante.

Dentro de las estructuras de comportamiento frágil se estudiaron las fallas que afectan a estas unidades, correspondiendo a fallas normales, donde se midieron 56 datos estructurales, el primer grupo de fallas normales es el más numeroso, presenta actitud preferencial  $115^{\circ}$  y buzamiento  $66^{\circ}$  SW, el segundo grupo de fallas corresponde a las estructuras NE-SW donde se midieron 8 datos estructurales con una actitud preferencial de  $35^{\circ}$  y un buzamiento de  $60^{\circ}$  SE, el tercer y último grupo corresponde a estructuras con un buzamiento de bajo ángulo donde se midieron 10 datos estructurales con una actitud de  $180^{\circ}$  y buzamiento  $15^{\circ}$ W. Los grupos de fallas normales F1 funcionaron como conductos que permitieron el ascenso de los fluidos mineralizados, en la mayoría del área de estudio asociado con este grupo de fallas se identificaron las zonas con mayor predominancia a vetas y a vetillas de cuarzo.

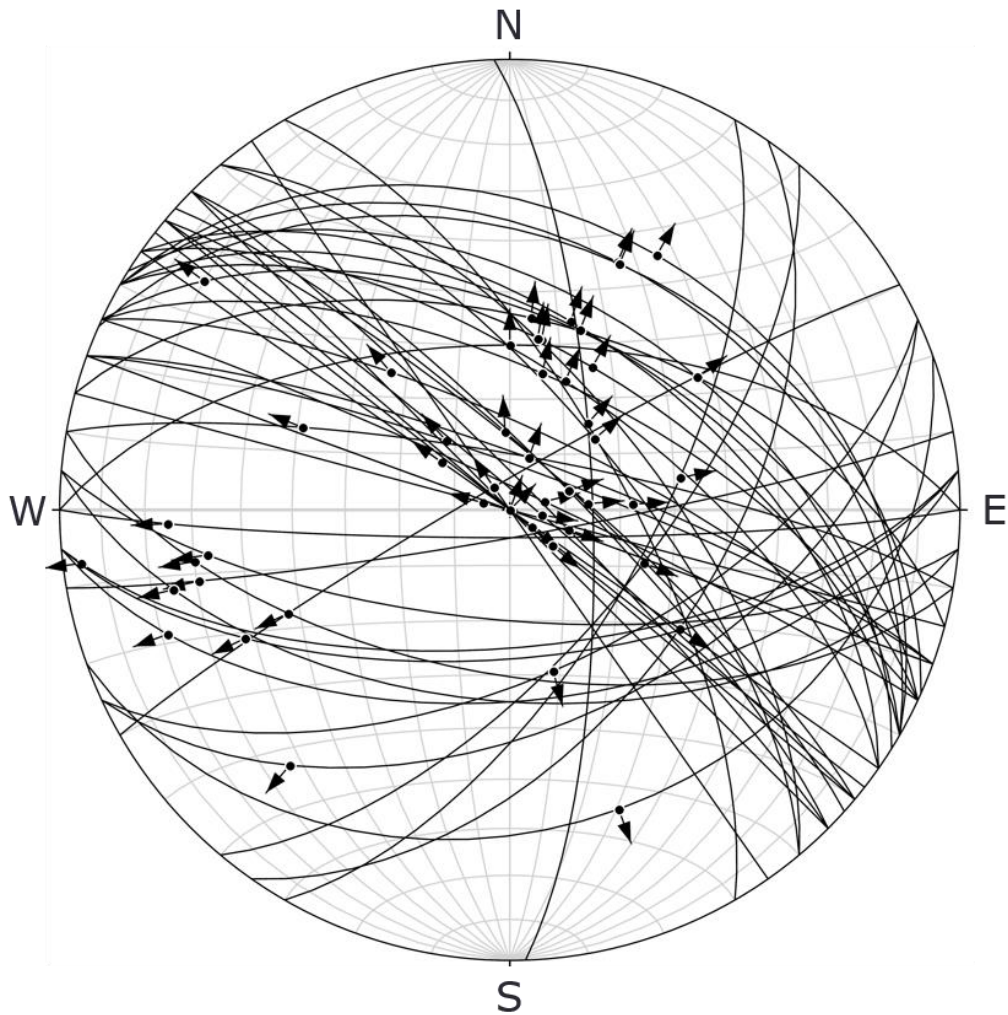


Fig. 5.1 Fotografías Distribución estereográfica de las estrías de falla en vetas de cuarzo donde existe dos familias de fallas, uno en el cual el bloque de techo se está deslizando hacia el NE y el otro se está deslizando hacia el SW-W.

En el anterior diagrama se puede observar lo siguiente:

- a) Fallas casi verticales NW 35° a NW 75°
- b) Fallas entre NW 60° y SW 70° que buzan hacia el NE entre 30 y 70 aprox.  
Y que buzan al SW-SE.
- c) Una falla N-S que buza al E

- d) Fallas entre NE 30° y SE 80° que buzan hacia el SE principalmente.
- e) Algunas fallas de rumbo NW-SE tienen movimientos casi al echado hacia el NE 30° (aprox).
- f) Algunas fallas NW-SE tienen movimiento hacia el E y el W lo que sugiere una reactivación de las fallas por una extensión E-W (sin embargo, no hay casi fallas con rumbo N-S que se hubieran generado por dicha extensión).

Se interpreta que el primer evento de deformación (D1) produjo una familia de fallas normales (F1) con rumbo NW-SE, las cuales se extienden varios metros, donde en ocasiones se ven interrumpidas por fallas (F2) con rumbo NE-SW, además del grupo de familias de fallas de bajo ángulo N-S (F3), las cuales son producto de un evento de fallamiento posterior y que estas (F2 y F3) no fueron remplazadas por cuarzo como el grupo de familia de fallas (F1). Las estructuras no mineralizadas se presentan con mayor frecuencia en zona centro y zona SE del área, las cuales se han encontrado de forma muy local, debido a esto no se puede apreciar con facilidad como la familia de fallas (F1) (Fig.5.5), de acuerdo con observaciones en campo se identificaron en la unidad volcánica.



Fig.5.2 Zona de falla con presencia de tectoglifos en donde al deslizar la mano sobre el plano de falla se pudo percibir obstrucciones al movimiento, esto nos indica que el bloque sobre el plano se deslizó hacia abajo por lo que se trata de una falla normal.

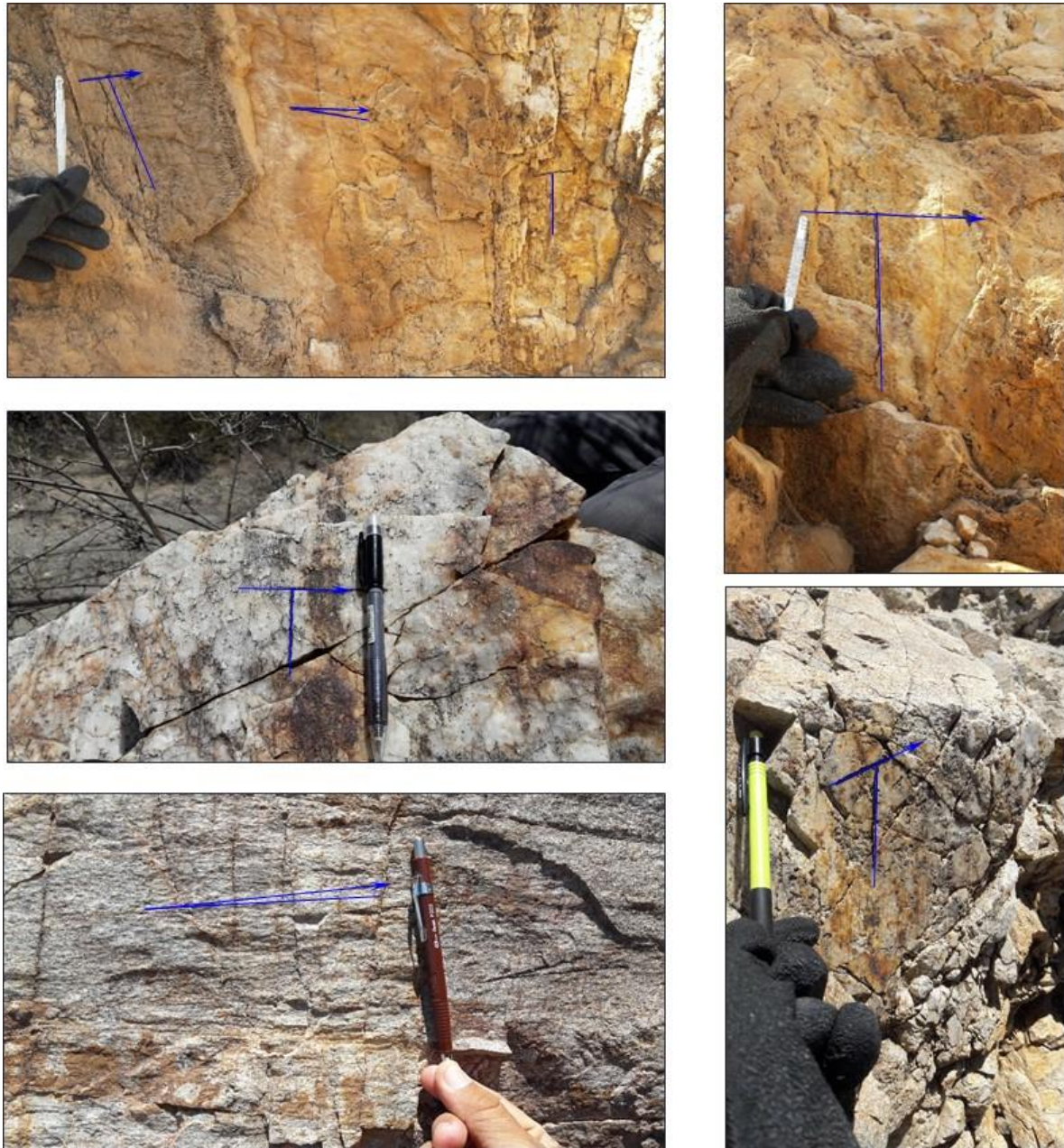


Fig. 5.3 Fotografías de afloramiento donde se muestran fallas con estrías en vetas evidencia de campo en donde se muestra estrías de falla en vetas de cuarzo y rocas encajonantes (zona central del área de estudio) en las cuales se pueden observar dos sistemas

uno subparalelo al echado y otro a rumbo de la estructura, a veces, ambos en el mismo plano de falla (a).

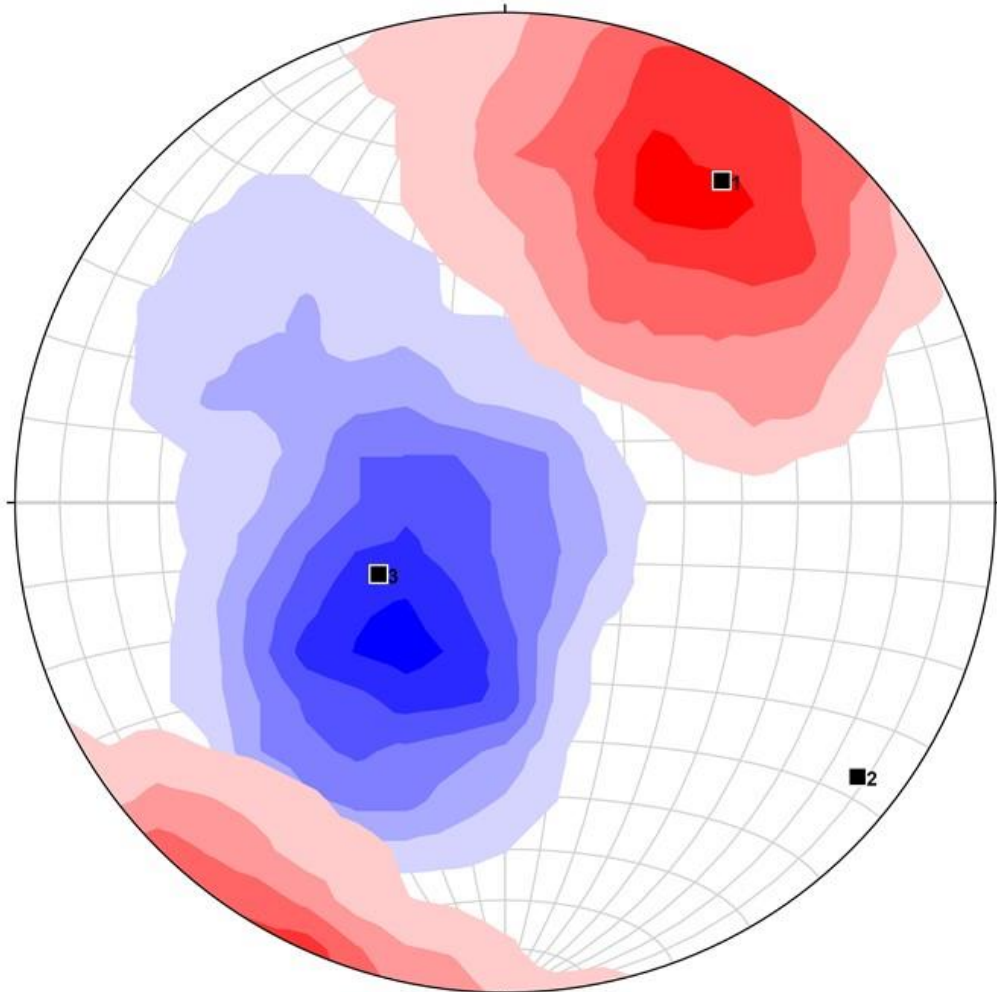


Fig.5.4 Estereograma generado con datos estructurales de veta de cuarzo. Con evidencias de campo se interpreta en gabinete una rotación del todo el sistema (unidades rocosas) de  $24^\circ$  dada la presencia de un sistema conjugado de fallas como se muestra en los diagramas y fotografía.

Se observa que los ejes de acortamiento (azules) y el esfuerzo principal ( $\sigma_1=3$ ) están cerca del centro y los ejes de extensión (rojo) tienen una dirección NE-SW. El esfuerzo menor ( $\sigma_3=1$ ) está tiene una dirección  $NE35^\circ$  e inclinación  $72^\circ$ . También se puede decir que el hecho de que el esfuerzo mayor esté fuera del centro sugiere

una rotación de la región de unos 24° hacia el SW 60°. Esta rotación también provoca que el esfuerzo menor no esté en el círculo externo.

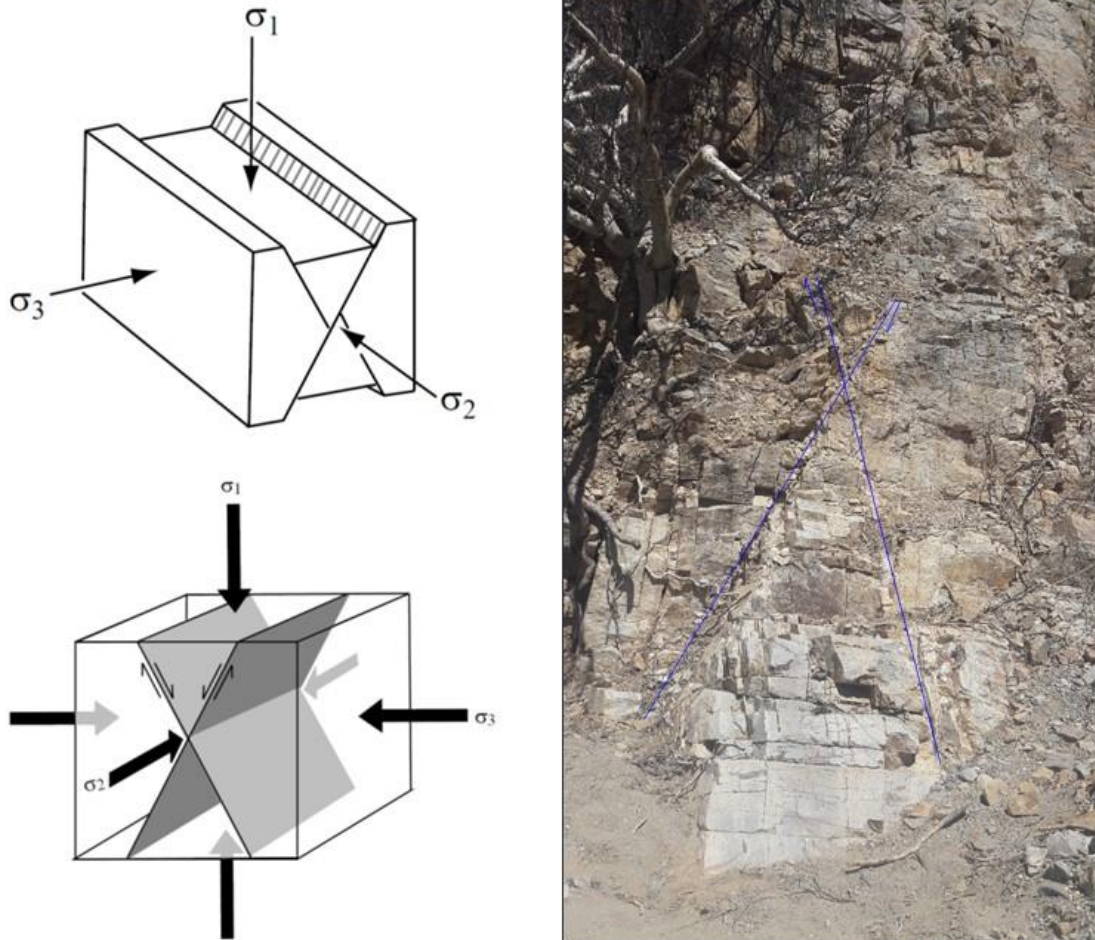


Fig.5.5 Diagramas y fotografía donde se muestra la presencia de un sistema conjugado de fallas, se observa una rotación de 30° donde este movimiento originalmente se trataba de una falla normal paso a verse como una falla inversa.



Fig.5.6 A) Veta de cuarzo que se emplazó a lo largo de una falla normal (F1) con rumbo NW-SE, las cuales tienen varios metros de espesor y decenas de metros de largo, B) Falla de bajo ángulo N-S (F3), (línea discontinua azul) la cual es producto de un evento de fallamiento posterior y a lo largo de ellas no se emplazaron vetas de cuarzo como el grupo de familia de fallas (F1), sus medidas son : Al alto de la estructura 175/21°, al bajo de la estructura 185/15° con presencia de fuerte argilización a los bordes, la roca encajonante se trata de metariolita porfídica fuertemente silicificada. Nótese el fuerte fracturamiento asociado a la falla.

## **6.0 Mineralogía y Alteración en superficie de San Javier**

Como resultado del análisis estructural, se puede decir que las estructuras más importantes identificadas en el área de estudio corresponden a fallas normales donde se han emplazado vetas de cuarzo, denominadas en este estudio como vetas-fallas, las cuales se describen en detalle en el Anexo B. A continuación, se describirá la mineralogía de vetas en el área de estudio: La UVSJ-1 está siendo cortada por una serie de vetas de 3 metros de espesor en promedio, en donde en la zona central es cuarzo de aspecto lechoso y en los bordes se puede observar un moderado brechamiento cohesivo con fragmentos de cuarzo de hasta 5 cm de espesor y en partes semejando estructuras tipo “crackel brecha”, con una débil oxidación tipo goethita en fracturas. Todo lo anterior indica que después del emplazamiento de las vetas las fallas se volvieron a activar e incluso fueron cortadas por fallas más jóvenes. Se midieron datos obtenidos de estrías en la veta presentando un “rake” promedio de 85°, con una actitud de 120/80° SW. En la zona norte del área de estudio, las vetas que cortan a esta unidad presentan cuarzo lechoso con oxidación moderada tipo hematita-goethita en fracturas, con algunas oquedades tipo “*boxwork*” por efecto de lixiviación de pirita en cristales menores a 3 cm, acompañado de óxidos de manganeso; a los bordes presenta brechamiento con fragmentos de cuarzo de 5-10 cm de diámetro, las vetas alcanzan un espesor de 3 m y su actitud general es de 95/55° SW, las estrías a diferencia de las vetas de la zona centro están a rumbo de la estructura donde el “rake” que se obtuvo fue de 140°. Esta unidad está siendo cortada por una serie de vetillas de cuarzo posiblemente tipo “A” y tipo “B” (según clasificación de vetillas Gustafson y Hunt, 1975, (Anexo C). A continuación, se describirán las características estructurales (promedio) y mineralógicas: 130/70° Vetilla posiblemente tipo “B” (Fig. 6.1) de hasta 8 cm de ancho conteniendo cuarzo semi-cristalino con presencia de pirita oxidada, escasos silicatos de Cu, hematita y calcita a los bordes. 215/75° Vetilla posiblemente tipo “A” de hasta 10 cm de espesor de cuarzo lechoso con presencia de escasa pirita oxidada, sericita, calcita y feldespato potásico dentro y en halo de alteración. (Fig. 6.0, 6.1 y 6.2).





Fig. 6.0.- Fotografías de una zona de stockwork en la parte SE del área de estudio, constituido por una serie de vetillas de cuarzo posiblemente tipo “A” y tipo “B” (según clasificación de vetillas Gustafson y Hunt, 1975). A) Vetilla posiblemente tipo “A” de hasta 10 cm de espesor de cuarzo lechoso con pirita oxidada, sericita, calcita y feldespato potásico dentro y en halo de alteración, B) Vetilla tipo “B” de hasta 8 cm de espesor de cuarzo semi-cristalino con presencia de pirita oxidada, sericita y calcita en los bordes.



Fig. 6.1 A) Vetilla de cuarzo con halo de sericita y tenorita con mayor distribución en las orillas dentro de la roca encajonante, B) Vetilla de cuarzo de 3 cm de ancho con presencia de calcopirita parcial a totalmente oxidada, con pequeños cristales de malaquita cercanos a los cristales oxidados de sulfuros y tenorita mayormente distribuida en las orillas o fuera de la vetilla. Vetilla de cuarzo lechoso con halo de alteración de feldespato potásico, D) Acercamiento de la misma donde se observa cristales pirita de 2-5mm en tamaño, parcial a totalmente oxidada y acompañada de menor presencia de sericita y calcita, con un halo de feldespato potásico de 2-4mm. Además se observa alteración tipo fílica en la roca encajonante, ubicada en la zona SE.



Fig. 6.2 A) Vetilla de cuarzo lechoso posiblemente tipo “A” con presencia de sericita gruesa> pirita oxidada gruesa> feldespato potásico dentro y en el halo, además se observa alteración tipo fílica en la roca encajonante, ubicada en la zona SE.

La UVSJ-1 también está siendo cortada por una serie de vetas de cuarzo lechoso de hasta 4m de ancho, conteniendo dentro de ellas zonas de cuarzo semi-cristalino de aspecto masivo donde se tiene la presencia de sulfuros (calcopirita?) parcial a totalmente oxidados y débil presencia de goethita en fracturas. Estas serie de vetas regularmente presentan un fuerte fracturamiento y brechamiento a los bordes con fragmentos de cuarzo de 5 cm de espesor, con algunos cristales de malaquita, (Fig. 6.1B) también presenta estrías de falla donde su dato estructural con un "rake" de 60°, pirita oxidada y su actitud es de 115/50° SW.

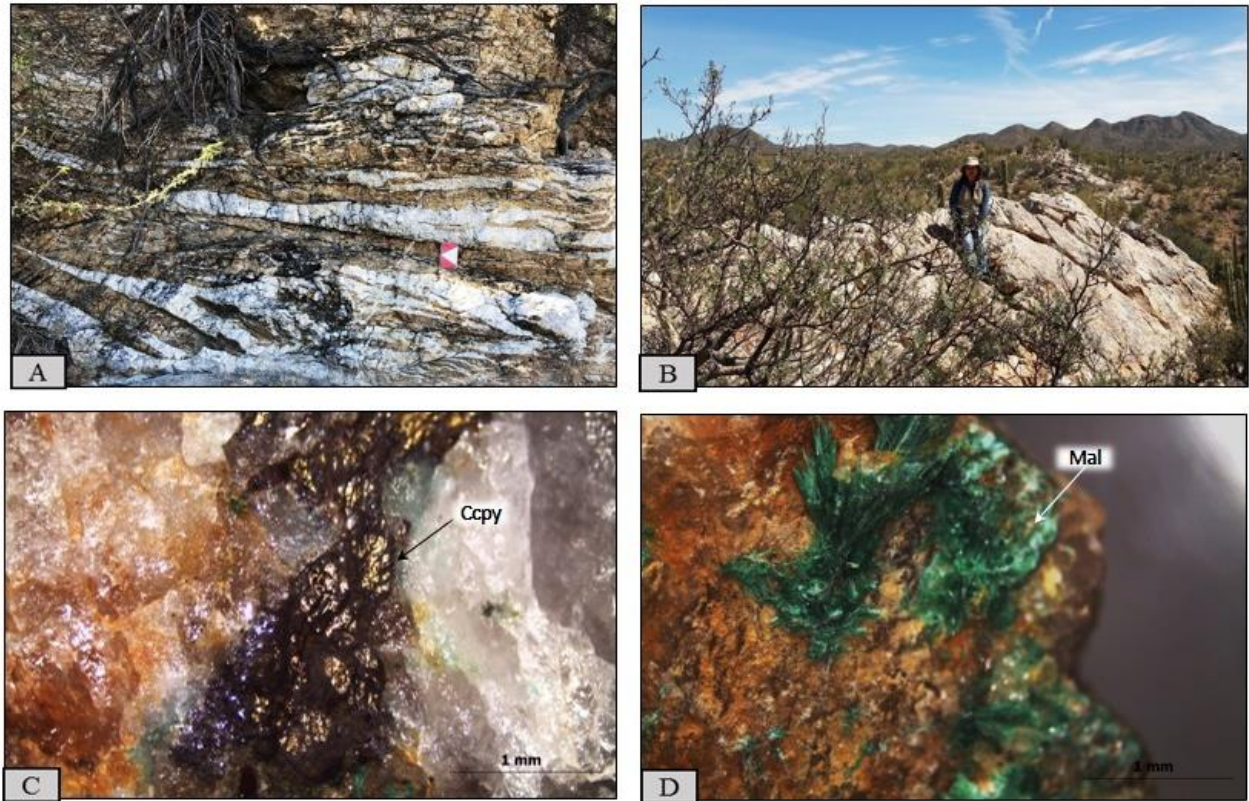


Fig. 6.3.- Fotografías de diferentes vetas en la zona SE del San Javier. A) Vetillas de cuarzo lechoso subparalelas con oxidación de hematita en fracturas, B) Veta-falla de cuarzo lechoso ubicada al SE del proyecto, C) fotografía de la muestra SJV-035 presenta sulfuros de cobre principalmente calcopirita, D) fotografía de la muestra SJV-036 la cual corresponde a una veta de cuarzo con carbonatos de cobre principalmente, malaquita.

Al igual que en las unidades anteriores, la UVSJ-1b es afectada por vetas de espesor de hasta 4 m, donde la zona norte (al S de Esperanza) esta estructura presenta cuarzo lechoso de aspecto masivo acompañado con algunas hojuelas de moscovita, pirita oxidada o quedades por lixiviación (*boxwork*) de pirita, goethita en planos de fractura y vetillas de cuarzo. Presenta fuerte fracturamiento asociado a brechamiento dentro, al igual que a los bordes con fragmentos de la roca encajonante > 10 cm de diámetro, la estructura presenta estrías de falla donde se obtuvo una rake de  $80^\circ$  y una actitud de  $140/65^\circ$  SW. Los bordes de la venta presentan una argilización (Fig. 6.5C).



Fig.6.5 Fotografías de veta de cuarzo de la zona norte, al sur de Esperanza. A) Veta de cuarzo lechoso con oxidación tipo goethita en fracturas con actitud de  $140/65^{\circ}\text{SW}$ ; B) Plano de fractura donde se pueden observar claramente estrías de falla (flechas rojas) donde el racke que se obtuvo fue de 80; C) Brechamiento a los bordes y dentro de la estructura de fragmentos subangulosos  $> 10$  cm de diámetro de la roca encajonante la cual se trata de una riolita, presenta moderada oxidación tipo goethita-hematita en fracturas y alteración sericítica, D) Veta de cuarzo de aspecto lechoso y masivo.

Al Oeste del San Javier se identificaron obras mineras donde aflora veta de cuarzo de tonalidades grisáceas con presencia de carbonatos de cobre (malaquita), escasos carbonatos de hierro (ankerita-siderita), pirita oxidada, wulfenita (Fig. 6.6), óxidos de fierro (hematita) en planos de fractura y dentro de la estructura. Se tiene un fuerte fracturamiento al alto y al bajo de esta estructura, con fragmentos de cuarzo de hasta 10 cm de diámetro y se observan vetillas de cuarzo en la roca de hasta 4 cm de espesor con presencia de carbonatos de hierro. La roca encajonante

se clasificó como una andesita porfídica con fenocristales de plagioclasas, escaso cuarzo y escasa sericita en planos de fractura.

En la UMSJ-1 se observan diferentes eventos estructurales en donde se presentan vetas de interés económico, las cuales se tratan de vetas de cuarzo grisáceo con un espesor de 1.10 m y una actitud de  $95^{\circ}/80^{\circ}$ , vetas de cuarzo lechoso con fuerte fracturamiento a los bordes y con espesores de 2 m aproximadamente, con una actitud de  $315^{\circ}/75^{\circ}$  con buzamiento al NE y, finalmente, vetillas de cuarzo lechoso <30 cm con actitud y buzamiento variables.

Las características mineralógicas de los eventos estructurales están representadas por turmalina>moscovita>epidota (Fig. 6.7) en veta de cuarzo lechoso y presencia de oxidación de hematita + goethita en fracturas, carbonatos de hierro, oquedades por lixiviación (*boxwork*) de pirita y pirita oxidada en veta-falla.

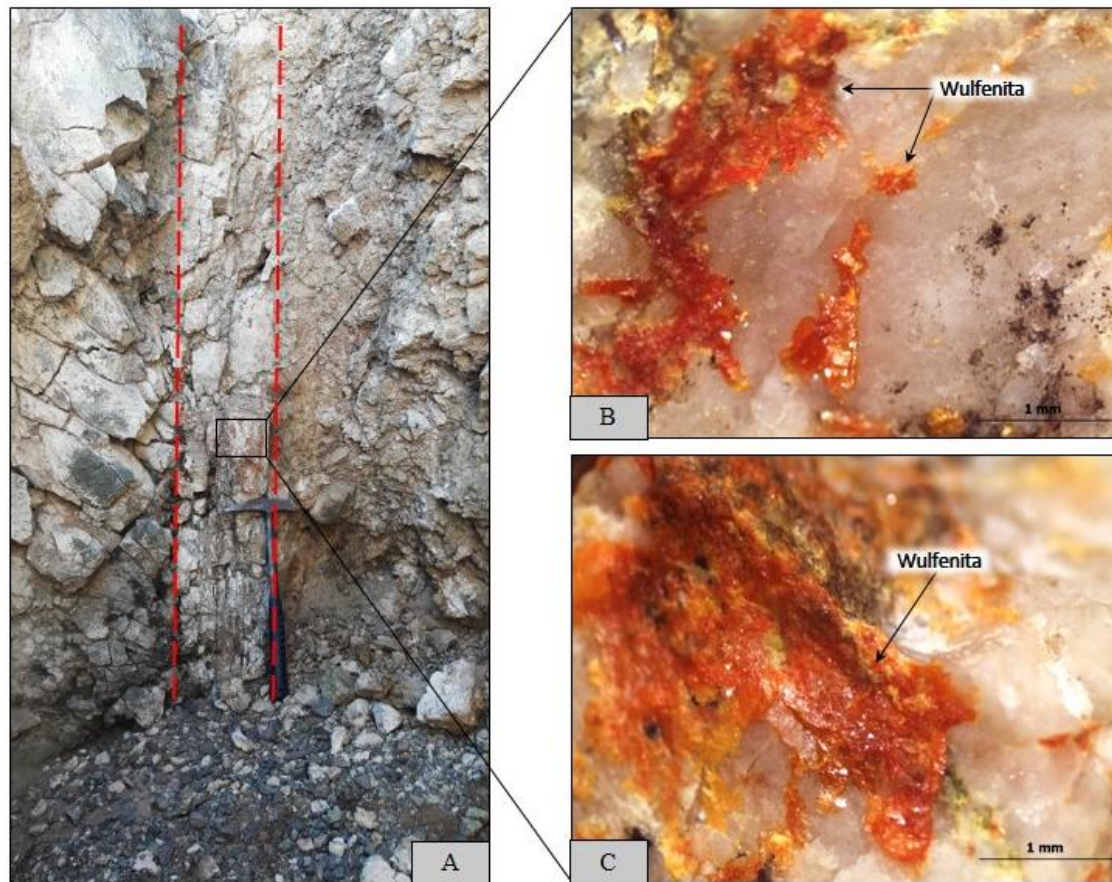


Fig. 6.6.- Fotografía de obra minera en Tres Señores y fotografías de la muestra SJ B-1 la cual se obtuvo de una veta de cuarzo gris con presencia de carbonatos de cobre (malaquita), escasos carbonatos de hierro, pirita oxidada, wulfenita (fotografías del acercamiento de la estructura), óxidos de hierro (hematita) en planos de fractura y dentro de la estructura, fracturamiento fuerte asociado a brechamiento al alto y al bajo, con fragmentos de cuarzo de hasta 10 cm de espesor y vetillas de cuarzo de hasta 4 cm de espesor con presencia de carbonatos de hierro. La roca encajonante se identificó como una andesita porfídica con fenocristales de plagioclasas, cuarzo y escasa sericita en planos de fractura.

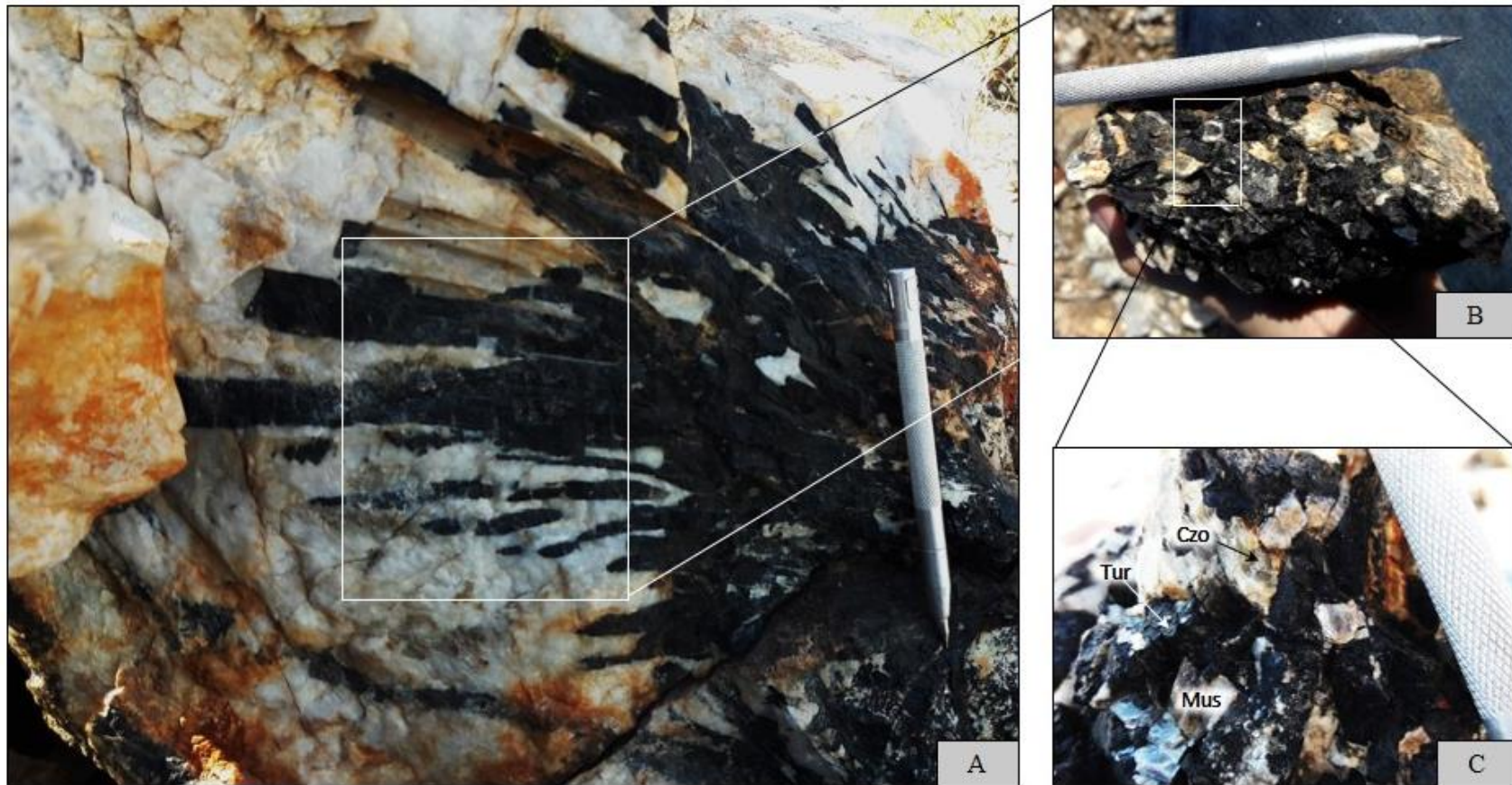


Fig. 6.7.- Fotografías de veta de cuarzo de la zona norte, en Esperanza. A) Veta de cuarzo lechoso con turmalina>moscovita>óxidos de hierro en planos de fractura>epidota. B) Acercamiento de veta de cuarzo donde se puede observar turmalina masiva C) Muestra de veta de cuarzo donde se observa turmalina masiva y moscovita gruesa. Qzo= cuarzo, Tur= turmalina y Mus= muscovita.



### **Alteración en San Javier**

Es posible distinguir en el área de estudio dos zonas de interés con presencia de mixtos y sulfuros. La zona caracterizada como mixtos presenta de los siguientes minerales: hematita, goethita, jarosita, óxidos de manganeso, magnetita, tenorita, pirita oxidada y calcopirita oxidada, en zona de sulfuros se observa: pirita fresca, galena, esfalerita, calcopirita y trazas de bornita, los cuales fueron distinguidos en descripción física de muestra de mano, afloramientos y por medio de métodos analíticos como microscopio electrónico de barrido (SEM) y difracción de rayos X (DRX).

La alteración hidrotermal se hace presente en los respaldos de vetas/vetillas generando halos de alteración en la roca encajonante con espesores de hasta 20 cm aproximadamente. En la parte central del proyecto se localizan varias zonas en las cuales se observan bandas < 10 cm de turmalina, asociando silicificación y en algunos se presenta en brechas tectónicas con fragmentos de riolita y andesita. Al SE del área de estudio se hace presente una alteración hidrotermal en las unidades volcánicas donde presenta una asociación mineralógica en vetillas de cuarzo con débil pirita oxidada y fuerte sericita; además, en esta zona la roca es afectada por una fuerte silicificación ocultando totalmente la textura original de la roca.

La alteración propilítica afecta principalmente a las rocas del MVSJ-2a y MVSJ-2b y algunas de las unidades volcánicas las cuales presentan clorita + epidota + cuarzo principalmente ya sea en forma de bandas de hasta 5 cm de espesor o masivamente afectado de manera selectiva la matriz de la roca.

En lo que respecta a la cloritización, se observa principalmente en los ferromagnesianos presentes en el augen gneis con una débil a incipiente cloritización.



Fig. 6.8 Microfotografía de la muestra SJV-006 donde se puede observar cristales de cuarzo con bordes de corrosión ocasionados por fuerte alteración sericita y biotita metasomática; la roca presenta una fuerte silicificación en matriz e intensa alteración de sericita afectado principalmente a feldespato, plagioclasa y biotita. Qzo=cuarzo, Bio=biotita.

## **6.1 Mineralogía en barrenos de San Javier**

Se llevó a cabo una revisión de 6 barrenos dados en esta área de San Javier, lo cual nos permitió identificar la mineralización en esta zona. La mineralización se observa hospedada principalmente en cuerpos granodioríticos silicificados de textura porfídica con presencia de pirita diseminada, esporádica galena, magnetita en parches y clorita. Esta litología es cortada por una serie de vetillas de cuarzo de hasta 20 cm de espesor con presencia de pirita + calcopirita + galena + esfalerita + sericita + fluorita ocasional + wulfenita? + trazas de molibdeno y magnetita esporádica con feldespato potásico dentro de la estructura y en forma de halo de alteración en algunas de ellas. Además, estas vetillas son cortadas por un evento de vetillas de hasta 9 cm de espesor, formadas de pirita + calcopirita ocasional + bornita? + clorita + calcita en hilillos + molibdenita hacia los bordes de la estructura. Por último, se tiene una etapa de vetillas de cuarzo de hasta 3.5 cm de espesor con presencia de pirita + esfalerita amarilla + fluorita ocasional + hilillos de arcillas verdes + sericita hacia los bordes y feldespato potásico dentro de la veta y en su halo de alteración.

Para la clasificación de la mineralogía que no fue posible identificar en muestra de mano o en lámina delgada se utilizó la ayuda de análisis minerográfico SEM, microscopia Raman y Difracción de Rayos X, con el fin de definir mejor la mineralogía dominante en San Javier. Para el estudio minerográfico se seleccionaron 5 muestras las cuales todas fueron tomadas de barrenos, 2 muestras en lámina delgada sin cubreobjetos tomadas de superficie y 2 muestras en briqueta fueron seleccionadas para su estudio en el microscopio electrónico de barrido (SEM) y 9 muestras para su estudio de difracción de rayos X (DRX). Los resultados se presentarán en detalle en el siguiente capítulo.

## **7.0 Métodos Analíticos**

### **7.1 Introducción**

Uno de los objetivos de utilizar técnicas analíticas en el presente estudio es obtener información acerca de características mineralógicas que no se alcanzan a apreciar en muestra de mano. La obtención de dicha información es con ayuda de técnicas como difracción de rayos-X (XRD), microscopía electrónica de barrido (SEM-EDS), además de estudios petrográficos y minerográficos, esto con la finalidad de conocer información acerca de la roca encajonante de vetas de cuarzo, cuya intensa silicificación borro toda evidencia de la textura original en las rocas alteradas. Estas técnicas son de gran importancia, ya que al integrar la información generada, son una herramienta que nos permite una mejor comprensión del ambiente geológico del área de estudio.

### **7.2 Petrografía**

El estudio petrográfico se realizó en el departamento de Geología en la Universidad de Sonora con el microscopio marca AmScope cuenta con luz polarizada 4X-60X modelo PZ300T-3M el cual se utilizó también para la toma de fotografías con cámara digital instalada en el mismo modelo MU900, en el Anexo A se muestra la tabla con las descripciones de las láminas delgadas.

Para el estudio para muestras de mano se realizó en el Departamento de Geología en la Universidad de Sonora con el microscopio estereoscópico marca Leica EZ4 para formación con iluminación LED integrada mismo que sirvió para las tomas de fotografías con cámara digital instalada en el mismo, modelo EZ4 HD.

### **7.3 Microscopio electrónico de barrido (SEM – EDS)**

El fundamento del SEM “Scanning Electron Microscopy” radica en que los electrones emitidos por un cátodo de tungsteno pasan a través de una columna en la que se ha hecho un vacío de alrededor de  $10^{-7}$  Torr. Esta técnica es muy útil para caracterizar materiales a una microescala con muy buena resolución, en el cual el rango de aumentos que tiene va desde los 60X hasta los 1, 000,000X, el límite de resolución es de 0.8 nanómetros.

### **7.3.1 Principios teóricos**

Todos los microscopios electrónicos de barrido constan de un cañón electrónico en una columna de alto vacío, del orden de 10<sup>-5</sup> mm de Hg, en la cual se genera un haz de electrones de alta energía (0.1kV – 30 kV). Este haz es colimado por una serie de lentes electrónicas y focalizado sobre la muestra analizada. Los detectores registran las señales originadas por la interacción entre el haz de electrones y la muestra, que son procesadas y visualizadas en el sistema final de observación (pantalla de computadora), en donde los resultados son trabajados en el programa BRUKER. El cañón electrónico es el primer componente de la columna del microscopio y es el que produce el haz de electrones. Consta de un filamento emisor de electrones que son luego acelerados por un ánodo polarizado positivamente a una tensión variable entre unos 0.1 kV y 30 kV. El haz es luego colimado por una serie de lentes electrónicas y pequeñas aperturas hasta que es focalizado sobre la superficie de la muestra. Resulta intuitivo que el diámetro de este haz de electrones es uno de los factores que determina la resolución final de la imagen. Un sistema de bobinas desvía este haz de tal manera que una zona de la superficie de la muestra es continuamente explorada (scanning) y las señales resultantes son registradas por los detectores.

La parte final de la columna del microscopio electrónico es la cámara con cierre de vacío que contiene la platina donde se coloca la muestra. Un conjunto de controles externos permite desplazar esta platina según los tres ejes xyz y variar su orientación según dos ejes de rotación. En esta cámara se colocan los detectores para registrar las distintas señales emitidas por la muestra (Echlin P., 2009).

Las muestras del presente estudio se analizaron en el laboratorio del Departamento de Polímeros y Materiales en la Universidad de Sonora, se utilizó el microscopio electrónico de barrido, modelo JSM-5410LV equipado con un sistema EDS (Energy Dispersion Spectroscopy), marca Jeol (Fig. 7.0) a cargo del Dr. Francisco Brown Bojórquez.



Fig. 7.0 Microscopio electrónico de barrido JEOL JSM-5410LV del Departamento de Investigación Polímeros y Materiales de la Universidad de Sonora.

### **7.3.2 Procedimiento**

El objetivo de este análisis fue identificar las fases minerales y composicionales, en especial en aquellos casos en donde se tenía duda en la identificación de la fase mineral mediante la técnica de petrografía.

El microscopio electrónico de barrido fue operado con el aumento de 30X, a 20 kV de aceleración con el detector para EDS (Energy Dispersive Spectroscopy), para la preparación de las muestras primero fueron cortadas y se realizaron secciones pulidas, las cuales se colocaron en el porta muestras del microscopio, no fue necesario recubrir la sección pulido con un material conductor para poder ser analizadas, ya que la muestra contenía minerales metálicos.

También se analizaron las muestras en un segundo laboratorio, laboratorio de posgrado de nanotecnología del Departamento de Física, se utilizó el microscopio electrónico de barrido, modelo JSM-7800F el cual cuenta con un sistema EDS marca Jeol (Fig. 7.1) a cargo del Dr. Roberto Corriolo.



Fig. 7.1 Microscopio electrónico de barrido JEOL JSM-7800F del Departamento de Física, laboratorio de posgrado de nanotecnología de la Universidad de Sonora.

El objetivo de este análisis además de identificar las fases minerales y composicionales, también se realizó un mapeo de elementos de cada muestra en el cual se pudo obtener a color, esta es una diferencia al microscopio electrónico de barrido del Departamento de Polímeros y Materiales.

El microscopio electrónico de barrido fue operado con un aumento de 70X a 15 kV de aceleración, con el detector para EDS (Energy Dispersive Spectroscopy), el proceso fue exactamente el mismo que para el análisis anterior.

#### **7.4 Difracción de Rayos X (XRD)**

Los rayos X son radiación electromagnética de la misma naturaleza que la luz, pero de la longitud de onda mucho más corta, fueron descubiertos en 1895 por el físico alemán Röntgen y recibieron ese nombre porque se desconocía su naturaleza en ese momento. La unidad de medida en la región de los rayos X es el angstrom (Å), igual a  $10^{-10}$  m y los rayos X usados en difracción tienen longitudes de onda en el rango 0.5-2.5 Å mientras que la longitud de onda de la luz visible está en el orden de 6000 Å (Pecharsky y Zavalij, 2005).

##### **7.4.1 Principios teóricos**

Los rayos X se producen cuando una partícula cargada eléctricamente con suficiente energía cinética es frenada rápidamente. Los electrones son las partículas utilizadas habitualmente y la radiación se obtiene en un dispositivo conocido como tubo de rayos X. La Difracción de Rayos X es una técnica no destructiva, la cual es muy utilizada para la caracterización e identificación de fases mineralógicas. El fundamento en el que se basa esta técnica es en la interferencia de los rayos X al incidir con la muestra a analizar y su respectiva red cristalina, debido a que los rayos X presentan una longitud de onda similar al espaciado interplanar de las estructuras cristalinas.

Los rayos X son generados en un tubo donde los electrones de alta energía que proceden de un filamento calentado bombardean a un ánodo de metal (principalmente de Cu o Co), como resultado obtenemos dos tipos de radiación 1) Radiación blanca, 2) Radiación característica con las siguientes características:

Radiación característica: Cuando el voltaje de un tubo de rayos X supera cierto valor crítico, aparecen picos estrechos y agudos a ciertas longitudes de onda superpuestos sobre el espectro continuo. Dado que son picos estrechos y que la longitud de onda depende del metal usado como blanco se denominan líneas características. Estas líneas se agrupan en conjuntos denominados K, L, M, etc.



Radiación blanca: se trata de una banda continua de radiación, producto de la transformación de energía cinética en rayos X, de los electrones del filamento que se desaceleran al golpear el ánodo.

Las muestras del presente estudio fueron analizadas en el laboratorio de Rayos X en el Departamento de Geología en la Universidad de Sonora, se utilizó el difractómetro de rayos X de polvos de la marca Bruker, modelo D8 ADVANCE (Fig. 7.2).

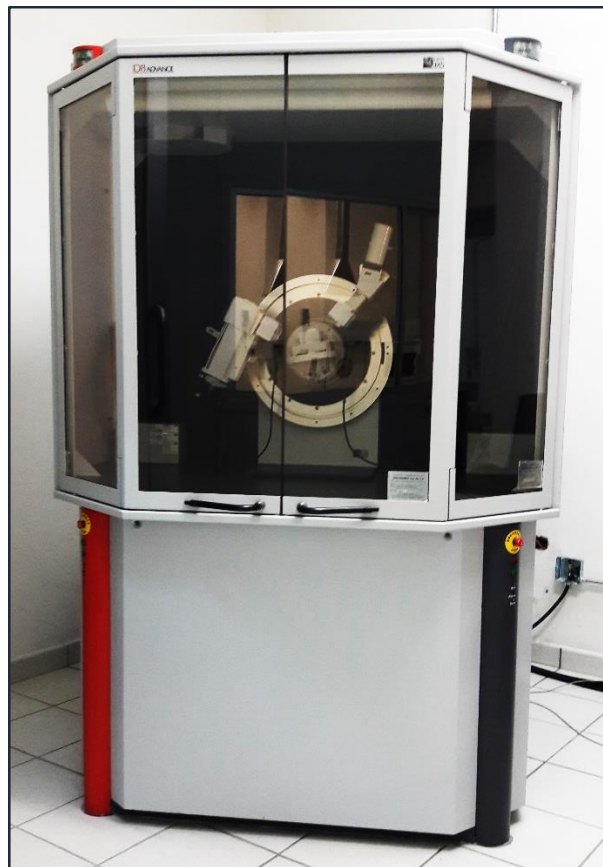


Fig. 7.2 Difractómetro de rayos X de polvos de la marca Bruker, modelo D8 Advance del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora.

#### **7.4.2 Procedimiento**

De las 147 muestras recolectadas para el análisis por Difracción de rayos X se seleccionaron 9 muestras representativas del área de estudio, para validar la información de dicho análisis. Para la preparación de las muestras se llevó a cabo en el Laboratorio de Preparación de Muestras del Departamento de Geología de la

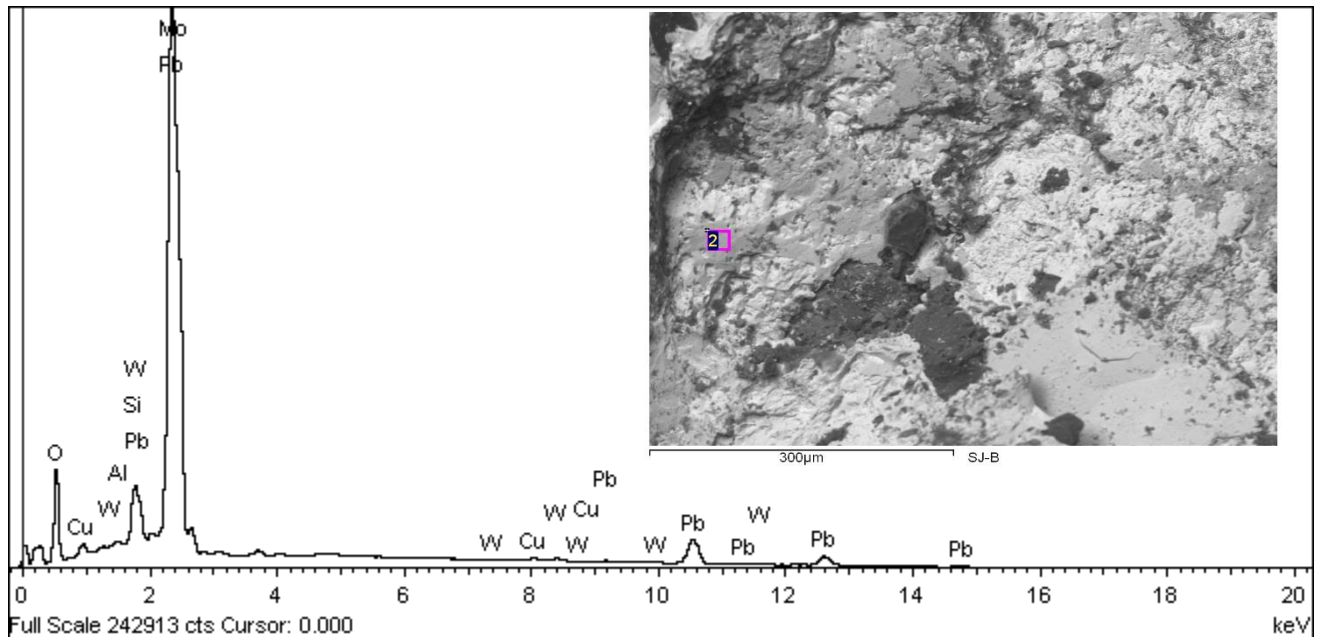
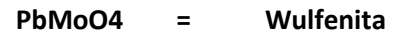
Universidad de Sonora a cargo del M.C. Abraham Mendoza Córdoba. El proceso de preparación de las muestras fue su reducción de granulometría, en donde fueron trituradas a tamaño de gravilla. Posteriormente se pulverizo las 9 muestras, por separado en la pulverizadora de anillos marca Herzog.

## Resultados de Estudios Analíticos

### 8.1 Microscopio electrónico de barrido (SEM)

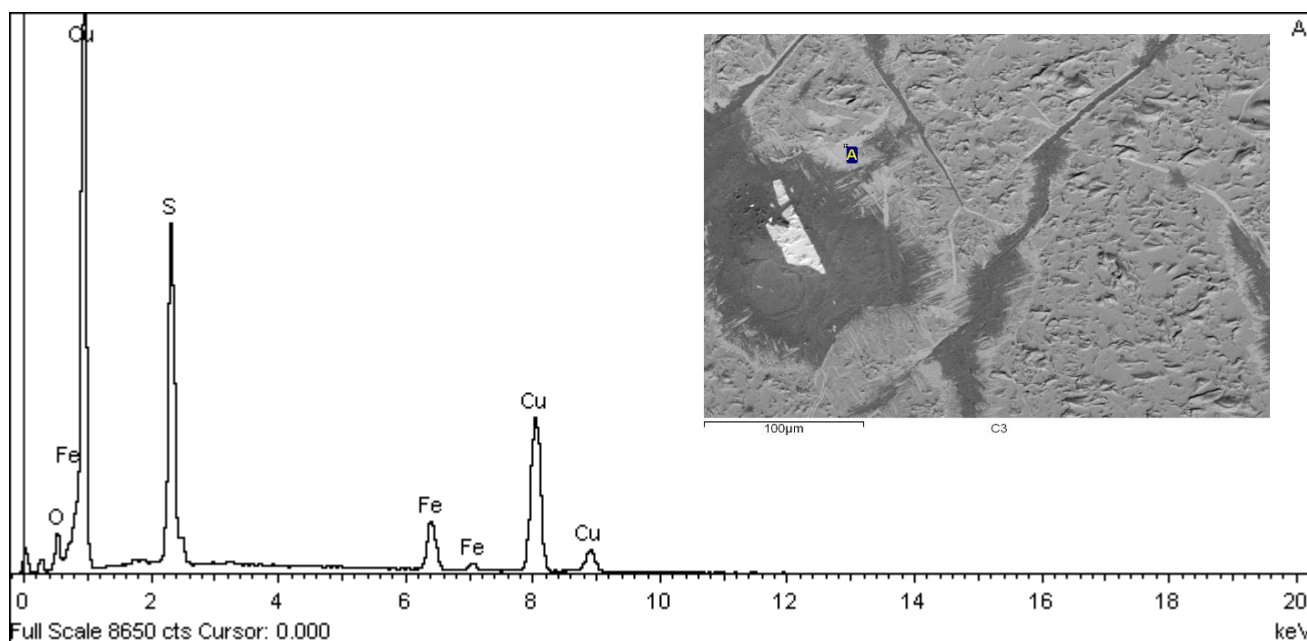
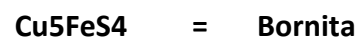
En este capítulo se integrará los resultados obtenidos del método analítico de Microscopio electrónico de barrido (SEM) donde se mostrará tablas con los datos necesarios para obtener la fórmula de cada mineral, así como también se agrega microfotografías de los cristales analizados con sus respectivo EDS.

ELEMENTO	PESO ATOMICO	% PESO	PROPORCION ATOMICA	COHEFICIENTE	
Pb	207.2	55	0.265444015	1.018880309	1
Mo	95.96	25	0.260525219	1	1
O	16	20	1.25	4.798	4



8.1 Microfotografía mostrando el cristal de Wulfenita analizado en el recuadro rosa en la muestra SJ-B-2, se anexa el espectro y composición química en la tabla inferior de la fotografía.

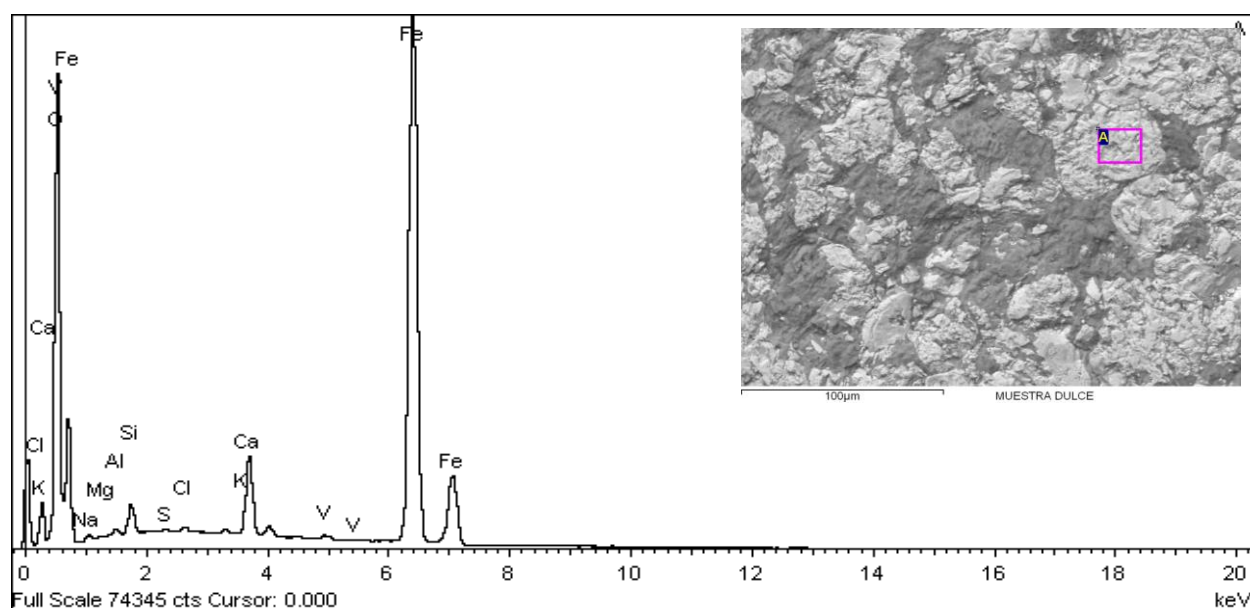
ELEMENTO	PESO ATOMICO	% PESO	PROPORCION ATOMICA	COHEFICIENTE	
Cu	63.54	66	1.03871577	5.801227573	5
Fe	55.85	10	0.17905103	1	1
S	32.06	24	0.748596382	4.180910792	4



8.2 Microfotografía mostrando el cristal de Bornita analizado en el punto A en la muestra SJ-C-3, se anexa el espectro y composición química en la tabla inferior de la fotografía.

ELEMENTO	PESO ATOMICO	% PESO	PROPORCION ATOMICA	COHEFICIENTE
Fe	56	49.23	0.879107143	1
O	16	50.76	3.1725	3.608775137

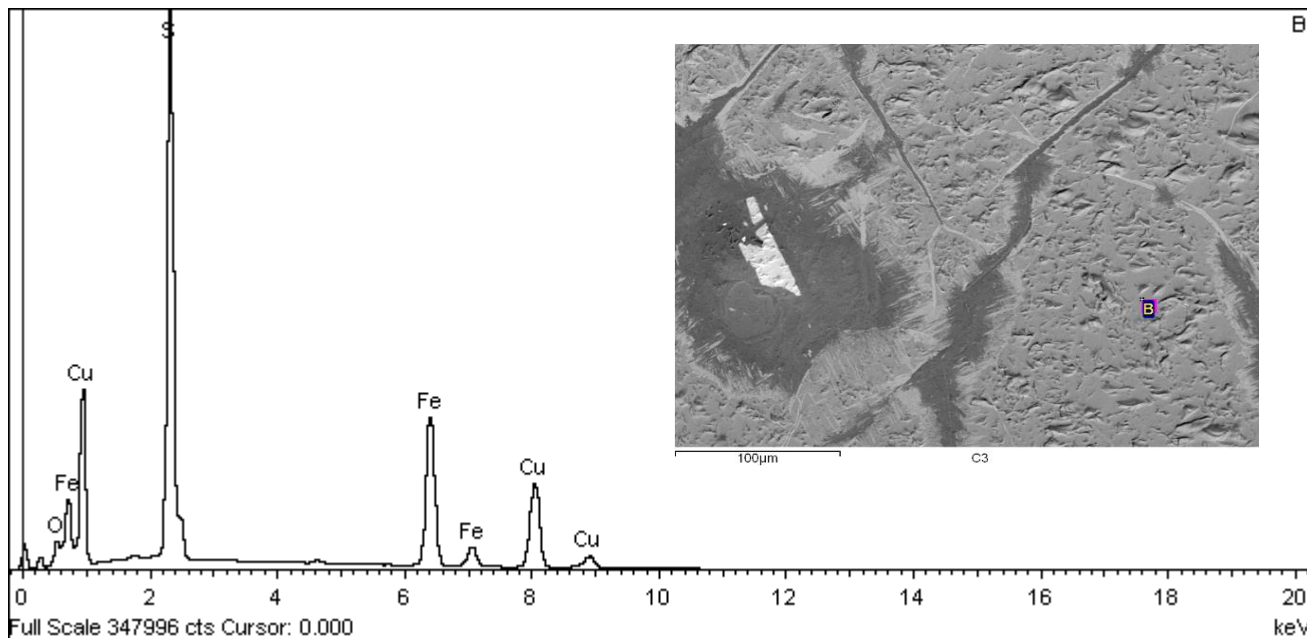
**FeO3** Hematita



8.3 Microfotografía mostrando el cristal de Hematita analizado en el recuadro rosa A en la muestra SJ-D-1, se anexa el espectro y composición química en la tabla inferior de la fotografía.

ELEMENTO	PESO ATOMICO	% PESO	PROPORCION ATOMICA	COHEFICIENTE
Cu	63.54	34	0.535096003	1
Fe	55.85	31	0.555058192	1.037305809
S	32.06	35	1.091703057	2.04020036

**CuFeS2 = Calcopirita**



8.4 Microfotografía mostrando el cristal de Calcopirita analizado en el punto B en la muestra SJ-C-4, se anexa el espectro y composición química en la tabla inferior de la fotografía.

## 8.2 Difracción de Rayos X (XRD)

En la tabla 8.2 se presentan los minerales identificados en el análisis mediante la técnica de difracción de rayos X y los difractogramas son presentados desde la Fig. 9.2 hasta la Fig. 9. Los minerales fueron identificados basándose en la posición (2 theta) de los picos de difracción de mayor intensidad de cada mineral.

Tabla 8.2 Resultados de minerales identificados en muestras de San Javier mediante análisis de difracción de rayos X (XRD).

Clave de la Muestra	Minerales Identificados
SJV-02	Cuarzo, Albita, Titanomagnetita, Cristobalita, Turmalina (Schorl).
SJV-02-1	Cuarzo, Albita, Titanomagnetita, Cristobalita, Turmalina (Schorl).
SJV-020	Cuarzo, Oligoclasa, Microclina.
SJV-025	Cuarzo, Oligoclasa, Ortoclasa, Annite.
SJV-036	Cuarzo, Calcita, Goethita.
SJV-037	Cuarzo, Albita, Ortoclasa, Annite.
SJV-041	Cuarzo, Oligoclasa, Ortoclasa, Annite.
SJV-043	Cuarzo, Albita, Ortoclasa, Annite.
SJV-052	Cuarzo, Oligoclasa, Muscovita, Ortoclasa.

(Coupled TwoTheta/Theta)

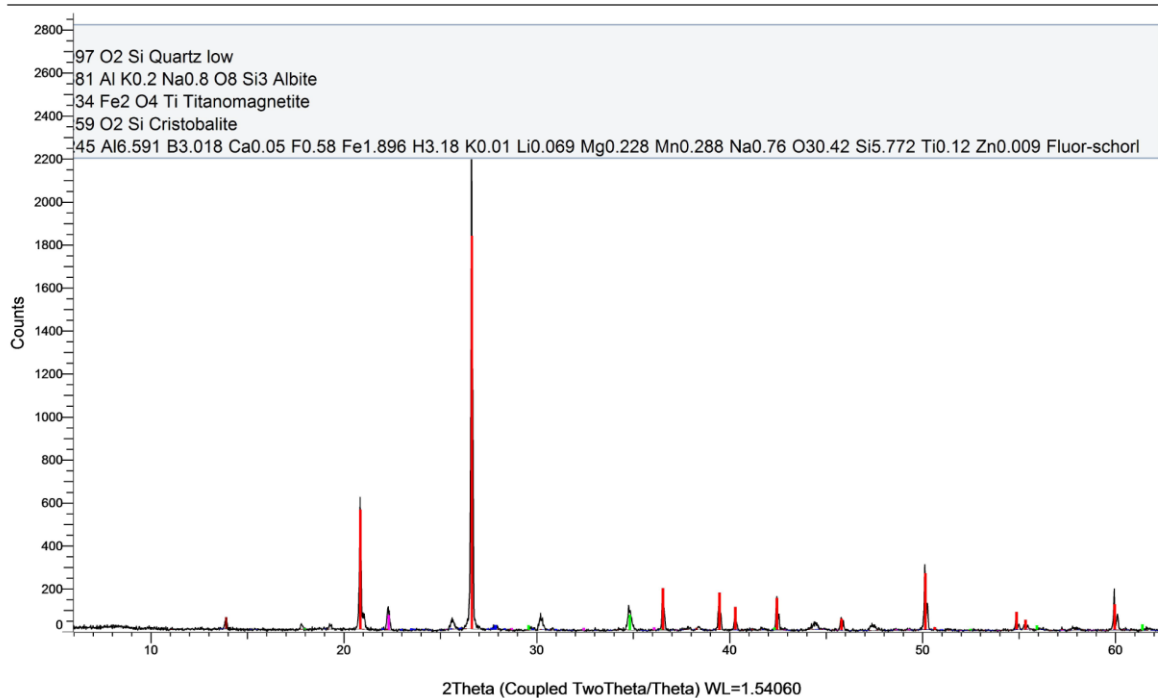


Fig. 8.2.1 Difractograma XRD de la muestra XRD de la muestra SJV-02, la cual se recolecto en superficie.

(Coupled TwoTheta/Theta)

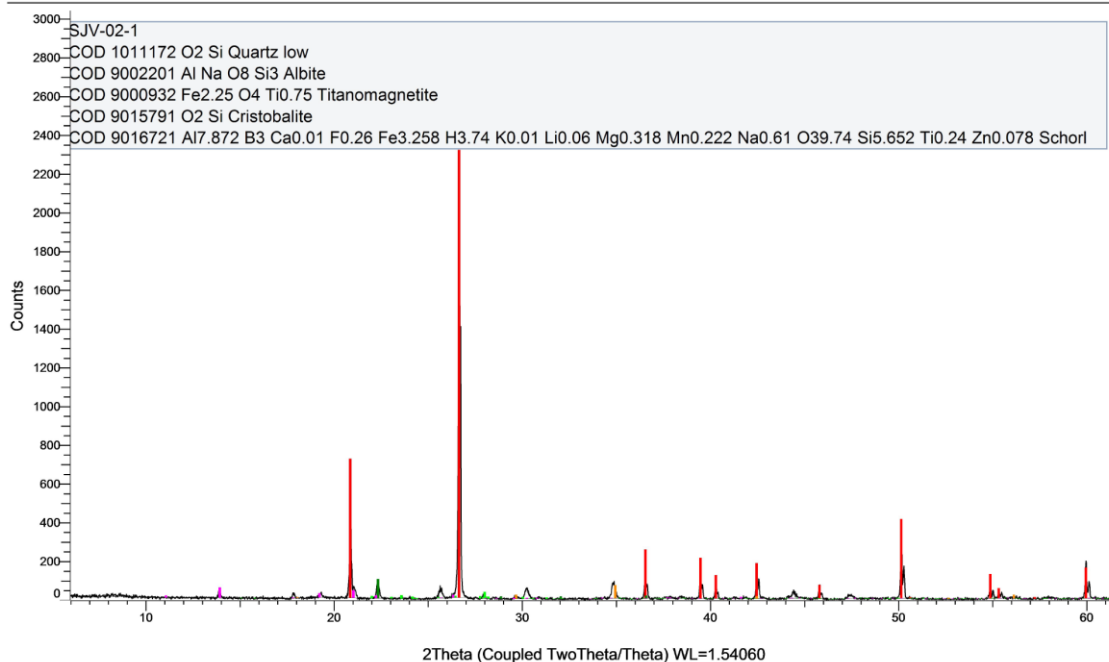


Fig. 8.2.2 Difractograma XRD de la muestra XRD de la muestra SJV-02, la cual se recolecto en superficie.

(Coupled TwoTheta/Theta)

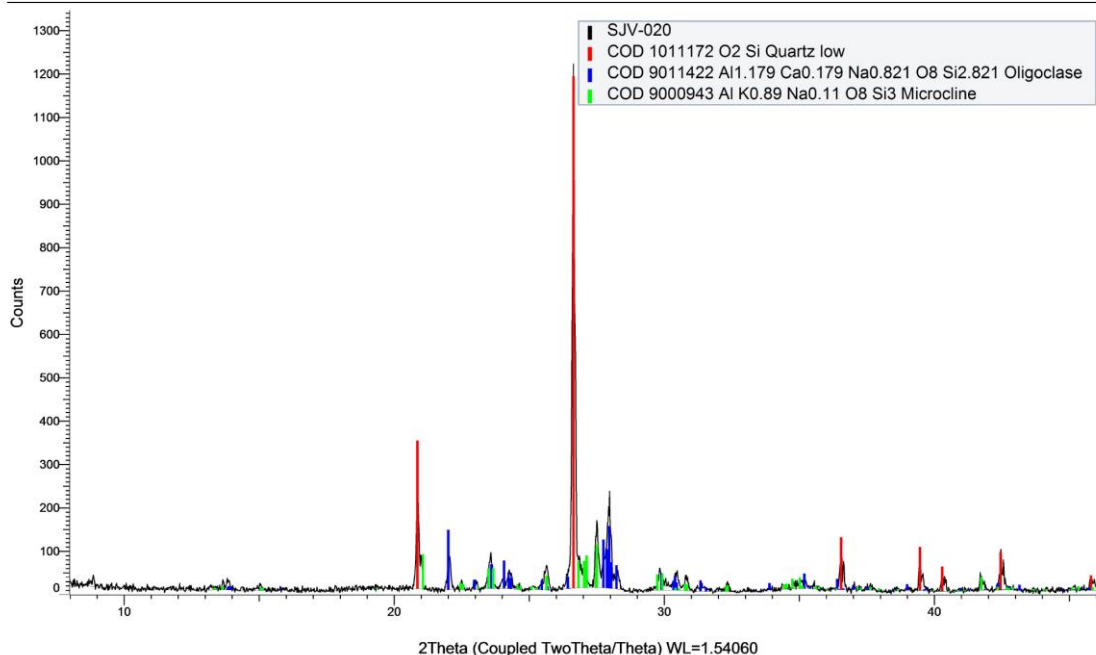


Fig. 8.2.3 Difractograma XRD de la muestra XRD de la muestra SJV-020, la cual se recolecto en superficie.

(Coupled TwoTheta/Theta)

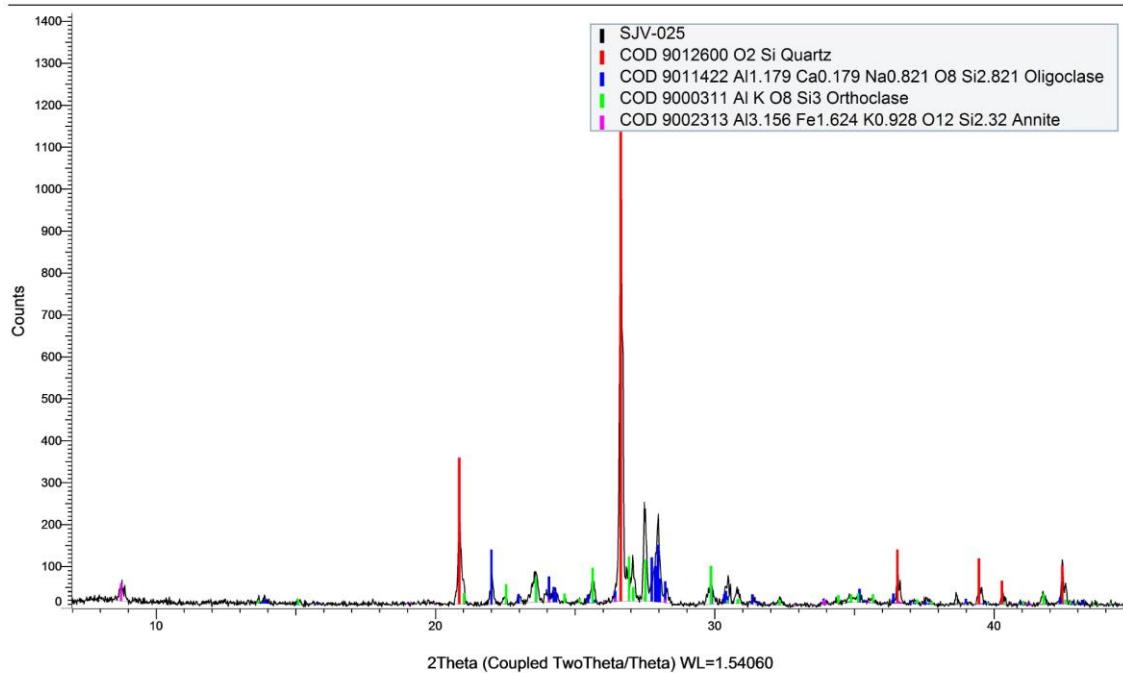


Fig. 8.2.4 Difractograma XRD de la muestra XRD de la muestra SJV-025, la cual se recolecto en superficie.

(Coupled TwoTheta/Theta)

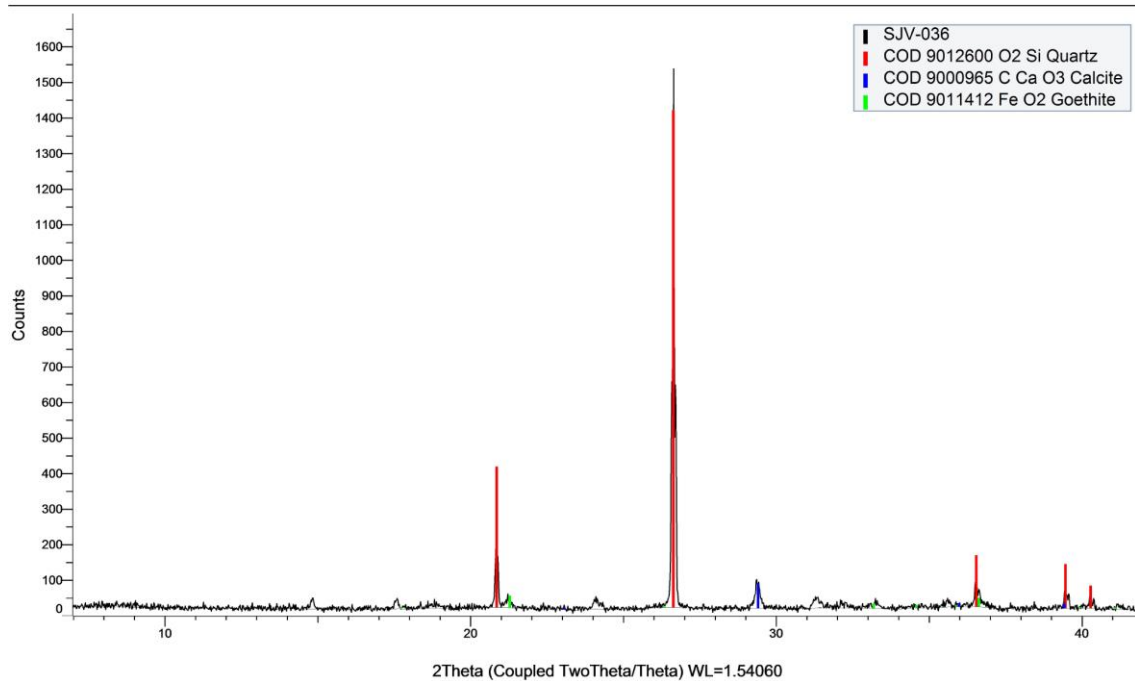


Fig. 8.2.5 Difractograma XRD de la muestra XRD de la muestra SJV-036, la cual se recolecto en superficie.



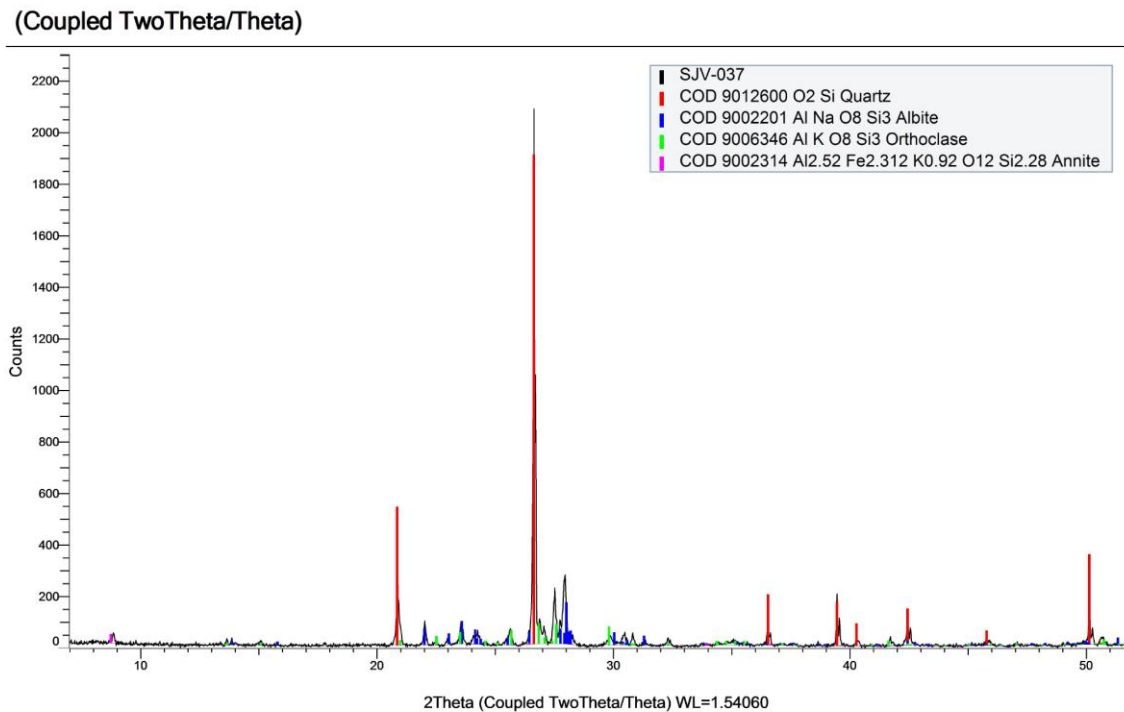


Fig. 8.2.6 Difractograma XRD de la muestra XRD de la muestra SJV-037, la cual se recolecto en superficie.

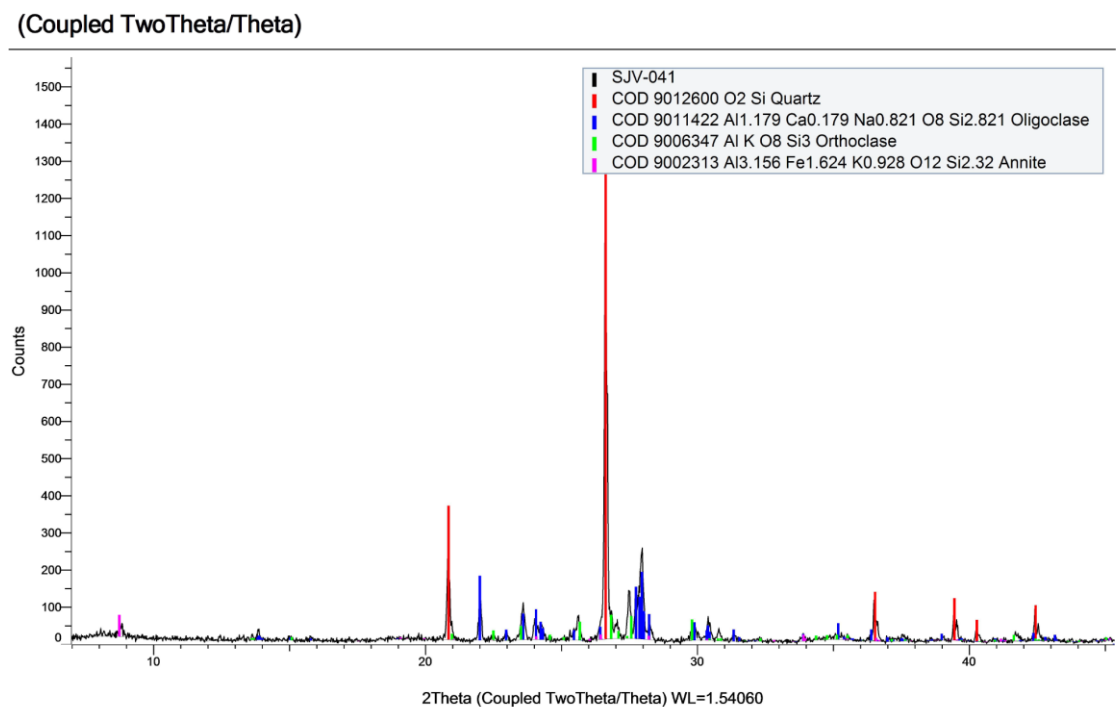


Fig. 8.2.7 Difractograma XRD de la muestra XRD de la muestra SJV-041, la cual se recolecto en superficie.

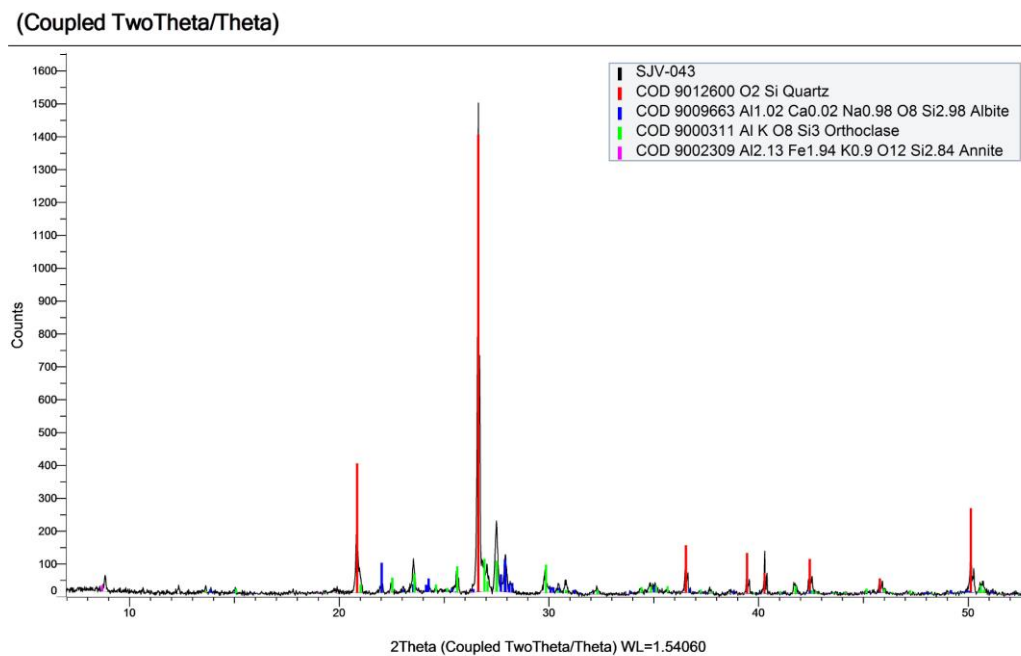


Fig. 8.2.8 Difractograma XRD de la muestra XRD de la muestra SJV-043, la cual se recolecto en superficie.

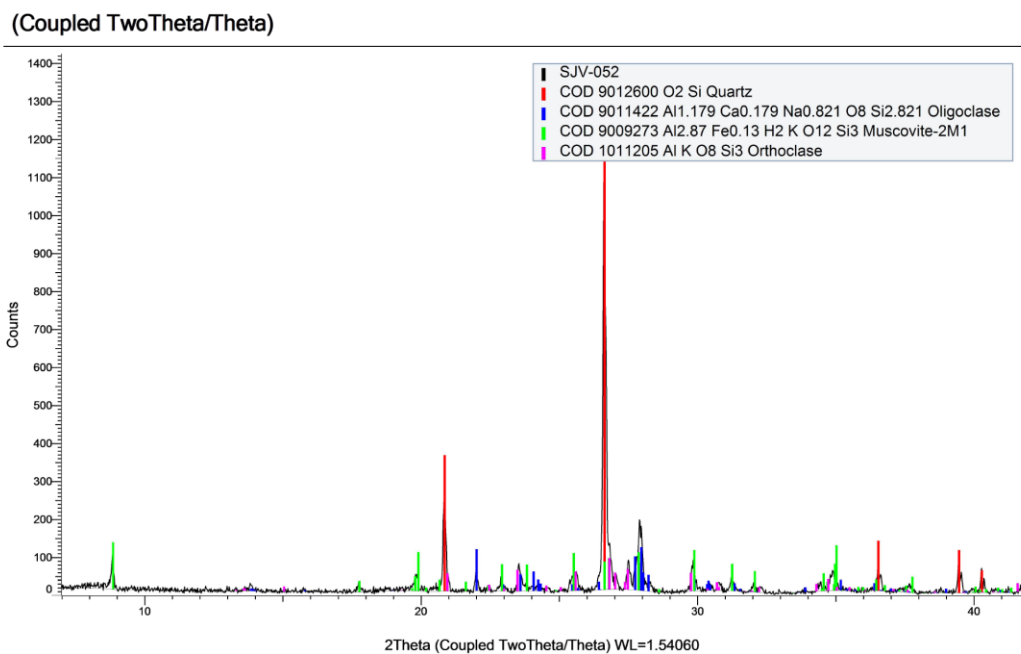


Fig. 8.2.9 Difractograma XRD de la muestra XRD de la muestra SJV-052, la cual se recolecto en superficie.

### 8.3 Estudio minerográfico

Para el estudio minerográfico se seleccionaron 5 muestras las cuales todas fueron tomadas del barreno (DSJ-052-2, DSJ-052-3, DSJ-052-4 y DSJ-052-5), 2 muestras en lamina delgada sin cubreobjetos tomadas de superficie, (SJV-006 Y SJV-034). A continuación, se explicarán los resultados obtenidos.

#### Muestra: DSJ-052-2

La roca al microscopio presenta una textura porfídica con fenocristales subhedrales de cuarzo>feldespato potásico>plagioclasas, como minerales secundarios se observa biotita metosomática>apatito. La roca es afectada por una biotización muy fina, alteración potásica y silicificación fuerte en la matriz. Además, se observa un pequeño porcentaje de sulfuros principalmente pirita <1%. (Fig.8.3).

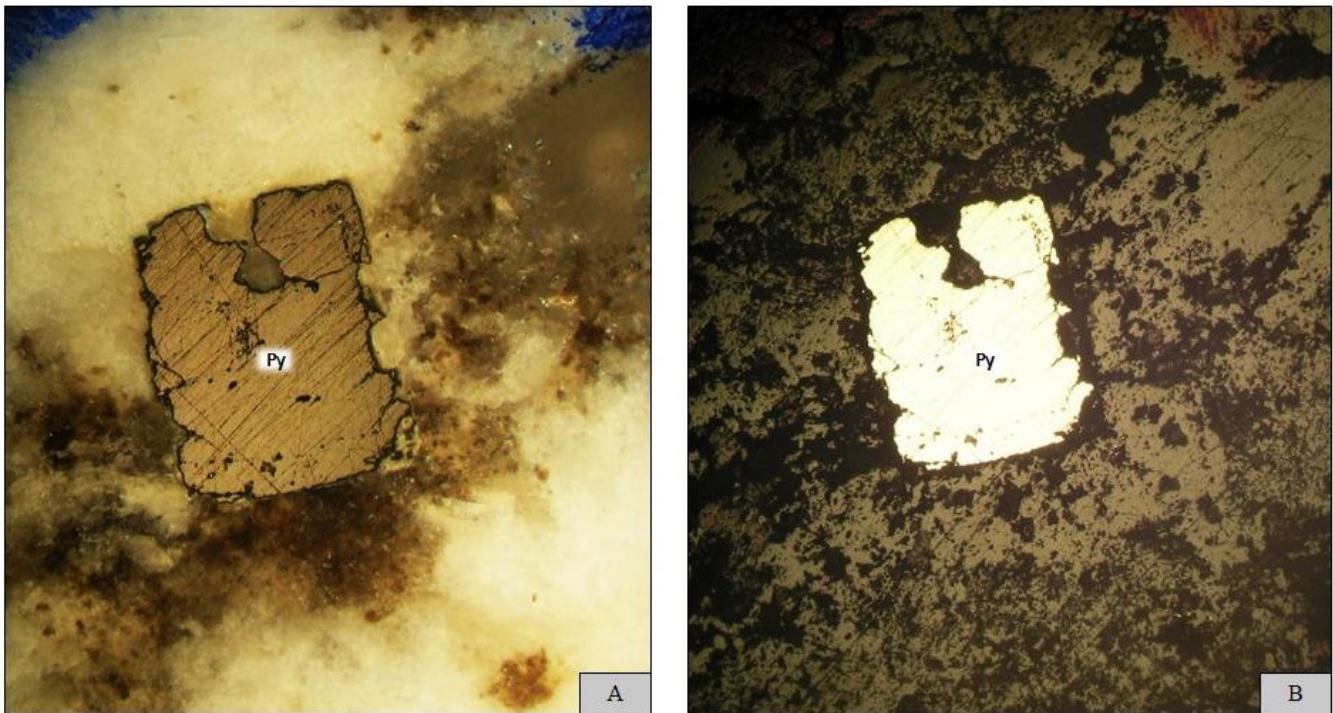


Fig. 8.3. Microfotografías de la muestra DSJ-052-2, A) escasos cristales anhedrales de pirita (<1%) diseminados en una matriz silicificada. B) Mismo cristal de py visto en luz polarizada. (Py=pirita).

**Muestra: DSJ-052-3**

La roca al microscopio presenta fenocristales subhedrales de cuarzo>feldespato potásico>plagioclasas. La roca es afectada por una silicificación muy fuerte, esta silicificación hidrotermal está asimilando paralelamente a los cristales, además esta misma silicificación está afectado totalmente a la textura de esta roca. Se observa también una alteración cuarzo-sericita. Además, se observa un pequeño porcentaje de sulfuros principalmente pirita <1% y <0.5 % de calcopirita. (Fig.8.3.2).

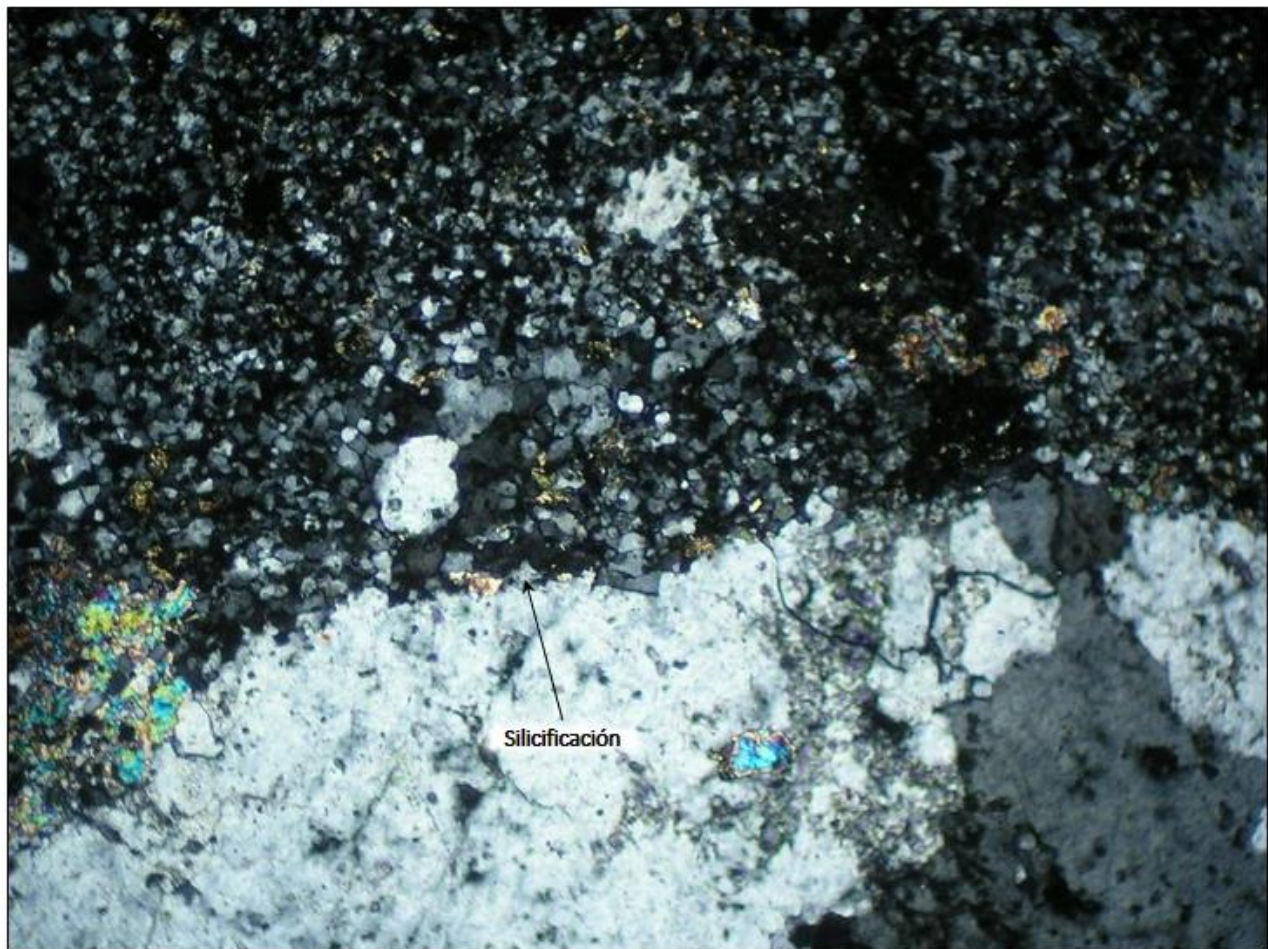


Fig. 8.3.1 Microfotografías de la muestra DSJ-052-3, donde se observa una fuerte silicificación + débil sericitización hidrotermal la cual está asimilando a los cristales de cuarzo (flecha negra), por lo que no es posible apreciar la textura original de la roca.

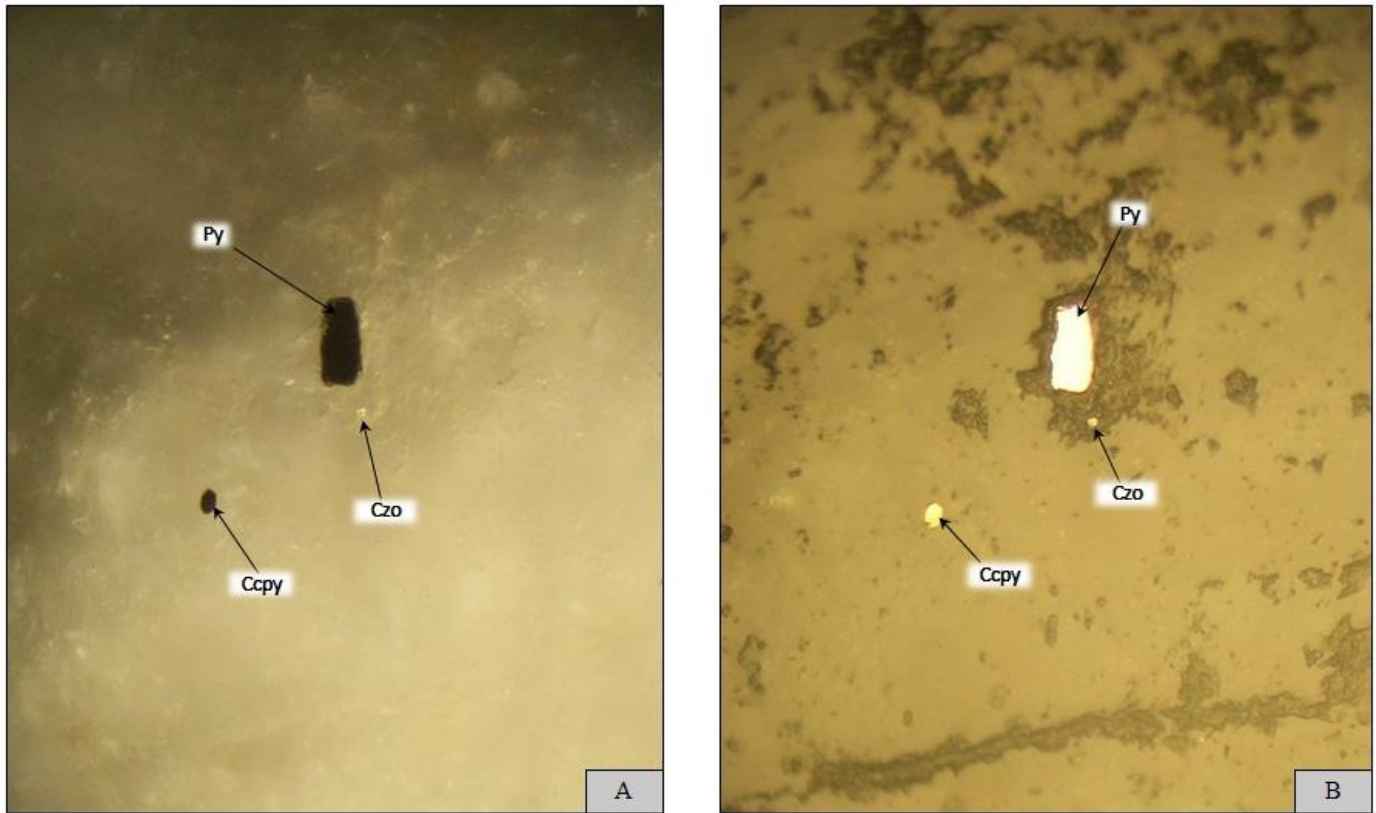


Fig. 8.3.2 Microfotografías de la muestra recolectadas en el barreno DSJ-052 vista en luz natural y luz reflejada, donde se observa escaso cristales de py > 1% ccpy >0.5% y cristales subhedrales de cuarzo. Py=pirita, ccpy=calcopirita y czo=cuarzo.

#### **Muestra: DSJ-052-4**

La roca presenta una textura porfídica con fenocristales subhedrales de cuarzo>feldespato potásico>plagioclasas. También se observa vetillas feldespato potásica-cuarzo las cuales están cortando a la fuerte silicificación que está afectado a esta roca. Además, la roca es afectada por fuerte sericitización y débil biotización en la zona silicificada. (Fig. 8.3.3). Por último, se observa un pequeño porcentaje de sulfuros principalmente esfalerita <1%. (Fig.8.3.4).

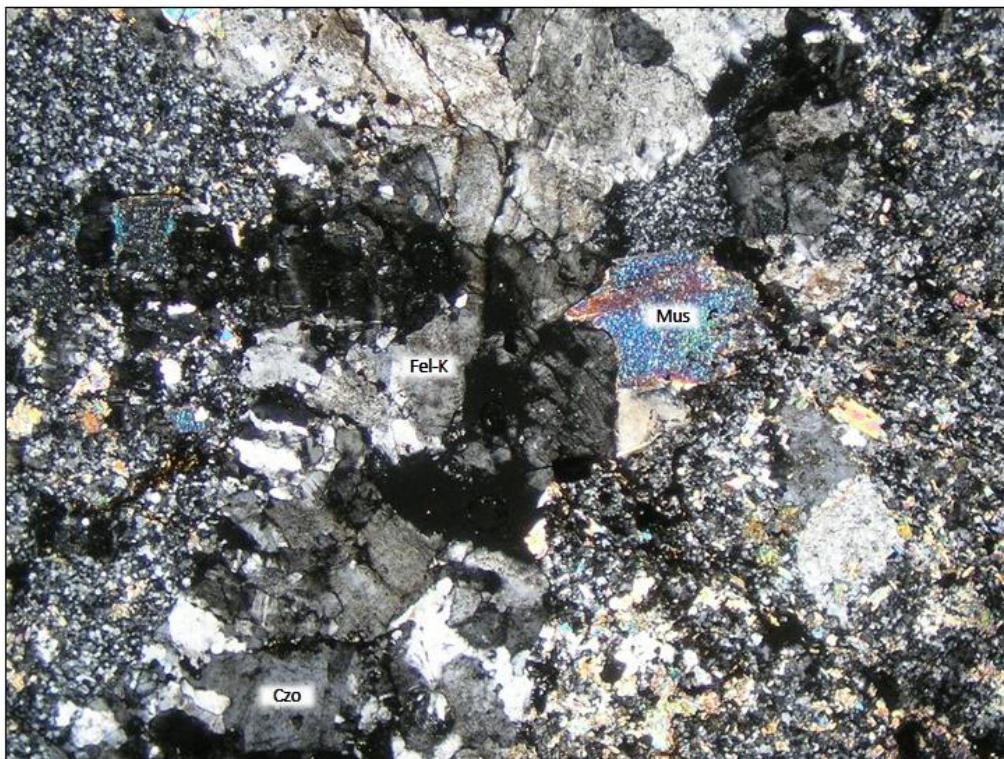


Fig. 8.3.3 Microfotografías de la muestra recolectadas en el barriero DSJ-052, se puede observar un aumento en la alteración de sericita, además de puede apreciar una fuerte silicificación afectando a la roca.

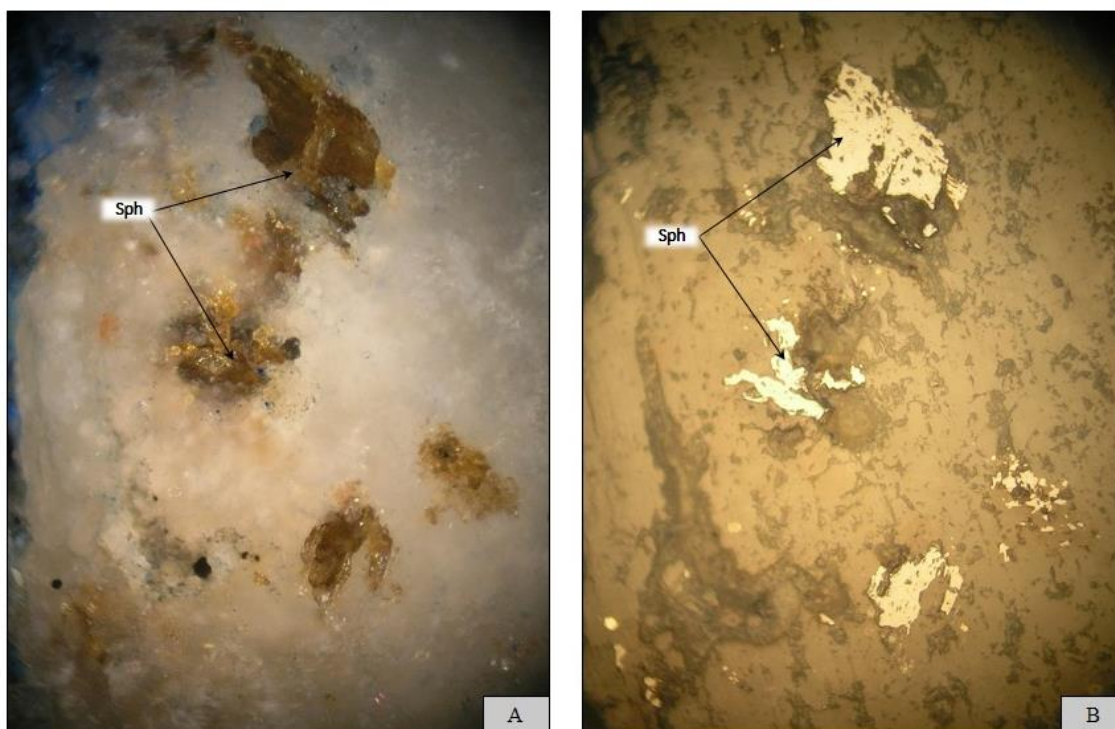


Fig. 8.3.4 Microfotografías de la muestra recolectadas en el barreno DSJ-052 donde se puede observar cristales de esfalerita < 1%. Sph= esfalerita.

### **Muestra: DSJ-052-5**

La roca al microscopio presenta una textura porfídica con fenocristales subhedrales de cuarzo>feldespato potásico>plagioclasas. (Fig. 8.3.5) La roca es afectada por alteración de sílice asociado a una feldespatización. Se identificaron diferentes eventos en esta muestra los cuales se describirán del más joven al más antiguo a base las relaciones mineralógicas observadas es este estudio:

- 1.- Biotización débil
- 2.- Cuarzo + Feldespato potásico, la cual destruyo totalmente la textura original.
- 3.- Vetillas de Feldespato potásico < vetillas de cuarzo cortada por las primeras vetillas.
- 4.- Sericita.
- 5.- Calcita (evento muy tardío).

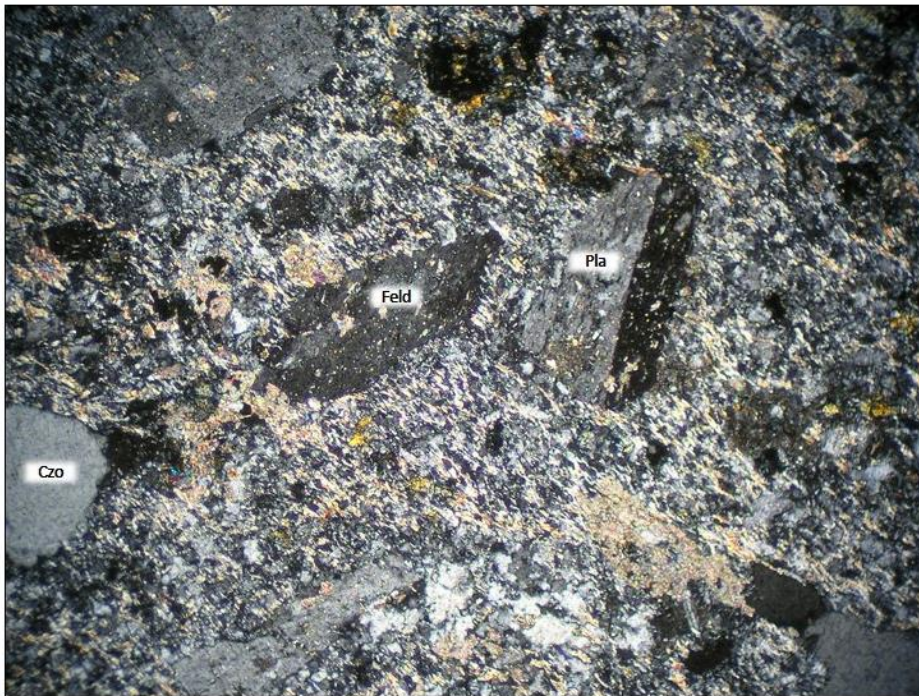


Fig. 8.3.5 Microfotografías de la muestra DSJ-052-5 donde se puede observar débil alteración de sericita, afectando principalmente a plagioclasas y a feldespatos, además de silicificación fuerte.

## **9.0 Discusiones y recomendaciones**

Debido a que el área de estudio se encuentra dentro del cinturón orogénico *Cinturón de Oro Orogénico Caborca* (COOC) el más importante de México y donde existen minas que en la actualidad están entre las más importantes en producción de oro, por ejemplo Mina La Herradura, Noche buena, Dipolos-soledad, Cerro Colorado y algunos proyectos de interés como son Carina y Cerro Prieto cercanos a la mina La Herradura; por lo tanto es importante relacionar similitudes mineralógicas, estructurales y de alteración en San Javier, respecto a las demás minas/proyectos cercanos ya conocidos.

A lo que respecta en las similitudes de mina La Herradura se han encontrado que ambas áreas, el basamento se trata de un gneis cuarzo feldespático de biotita. Sin embargo, la variante para San Javier es la textura, ya que está representada por grandes porfidoblastos de feldespato potásico (augen gneis), las cuales no se observan en La Herradura, sin embargo, se han encontrado bloques (relictos) de augen gneis en la unidad (comunicación personal con Ing. Martín López). Es importante mencionar, que localmente se han encontrado en San Javier el gneis cuarzo feldespato con una textura foliada bien desarrollada, sin la textura porfidoblástica presente en La Herradura, con una débil presencia de óxidos debido a la lixiviación de pirita presenta; se encuentra en contacto con (UVSJ-1) es decir con Metariolita porfídica de cuarzo.

En La Herradura y en Carina el contacto entre rocas jurásicas y el basamento Precámbrico está representado por fallas inversas. En San Javier también se presentan en contacto tectónico entre la unidad precámbrica y jurásica; sin embargo, en este lugar no se puede determinar si el contacto es por falla normal o falla tipo cabalgadura, debido que en el área de estudio los contactos no son muy claros ya que en la mayoría de los casos estos corresponden a subafloramientos.



En mina La Herradura la carbonatación está constituida por vetillas de siderita-ankerita. En Carina disminuye el contenido de vetillas de siderita ankerita y aumentan las vetillas de calcita con respecto a La Herradura. Es común encontrar vetillas de calcita post-mineralización (tardías) distribuida en ambas áreas, asociada principalmente a gneis de biotita, metasedimentos y zonas de esquisto. En la zona de San Javier la presencia de carbonatos de hierro es débil, presentándose con mayor intensidad al NE del rancho San Javier, en donde está se tiene la presencia de siderita-ankerita en vetillas/vetas de cuarzo.

La alteración de sericita en La Herradura está afectando a gneis cuarzo feldespático relacionada a las zonas mineralizadas y representada por la paragénesis mineral de cuarzo-pirita-sericita. En Cerro Prieto la presencia de sericita está representada en planos de foliación, la cual se puede observar que aumenta en zonas cizalla y conforme se acerca a la traza de la cabalgadura, siendo la secuencia jurásica la más afectada y en menor proporción las rocas del Precámbrico, esta alteración este asociado a eventos metamórficos de tipo dinámico generado por las formaciones orogénicas. En San Javier la alteración de sericita se hace presente en los respaldos de vetas/vetillas generando halos de remplazamiento en la roca encajonante con espesores de hasta 20 cm aproximadamente.

En el área de estudio la alteración propilítica está constituida por clorita-epidota-calcita. Ocurre asociada a dacita, andesita, metariolita porfídica y en menor proporción a augen gneis en donde se encuentra en contacto con las demás unidades anteriormente mencionadas. Regularmente, esta alteración se observa como clorita reemplazando a biotita o en hilillos irregulares de hasta 3 cm de espesor asociada a epidota con, calcita dentro de la roca o en vetillas. En La Herradura esta alteración está afectando a gneis de biotita, esquistos verdes, pegmatita, metasedimentos y en menor proporción en el gneis cuarzo feldespático; se manifiesta como clorita alterando a biotita y en los bordes de los feldespatos, como epidota en fracturas y calcita en forma de vetillas.

Las similitudes en la mina Noche buena y Cerro colorado es en la roca encajonante de mineralización a lo que en este trabajo corresponde a la UVSJ-1 (Metariolita porfídica) la cual presenta mayor alteración de sericita, oxidación tipo hematita y fuerte silicificación en donde por sus características la roca sufrió mayor afectación por cizallamiento por lo cual posiblemente se cree que hacía zona de NE del área de estudio cumpla condiciones favorables para ser un buen receptor de fluidos mineralizantes.

Aunque no es conclusivo y considerando las asociaciones mineralógicas de alteración y mineralización metálica más evidentes encontradas en el área de estudio específicamente en la zona SE, parecerían estar relacionada a sistemas magmático hidrotermal tipo pórfido de cobre, las cuales se caracterizan por la presencia de sulfuros (calcopirita y bornita), silicatos (crisocola), carbonatos de cobre (malaquita) y óxidos de cobre (tenorita), además de alteración propilítica, alteración tipo fílica, y silicificación. El cual, por su ubicación geográfica y temporal, podría estar relacionado al arco magmático de >70 Ma, descrito por Barra y Valencia (2006), en el NW de Sonora.

Las recomendaciones que se hacen para futuros trabajos en San Javier en base a la importancia de encontrar el contacto entre rocas precámbricas y rocas jurásicas (o más jóvenes) característico de la región en depósitos orogénicos, se propone hacer un análisis estructural a más detalle del área de estudio, en especial al NE del rancho de San Javier específicamente en Esperanza debido a que se ha encontrado en contacto estas dos unidades aunque como ya se mencionó anteriormente no fue posible determinar el tipo de contacto entre estas dos unidades, debido a que se encuentra cubierto o simplemente son subafloramientos, sin embargo hay una zona identificada donde se puede obtener esta información la cual corresponde a un tiro vertical en la zona de Esperanza. En este contacto el gneis presenta algunas diferencias al Augen gneis común identificado en toda el área de estudio, en las cuales se observó la pérdida de textura porfidoblástica y su

textura es caracterizada por foliación penetrativa bien desarrollada, además de presentar alteración de sericita y pirita oxidada, este se encuentra en contacto con Metariolita porfídica de cuarzo la cual es afectada fuerte silicificación, oxidación de fierro tipo hematita producto de lixiviación de pirita en su matriz + moderada alteración de sericita; mineralógicamente está compuesta por pirita fresca y oxidada, *boxwork* de pirita con Au? además de vetillas <1 cm de espesor de cuarzo semicristalino + fluorita. Debido a estas características, de la misma forma es recomendable tratar de definir de manera más confiable los tipos de alteración, con sus características de tiempo y espacio, que permita su asociación con aguan fuente magmática.

Para ampliar el conocimiento del proyecto se recomienda realizar estudios de inclusiones fluidas e isótopos estables, para definir claramente el tipo de depósito.

## **10.0 Conclusiones**

En área de San Javier presenta características muy complejas tanto estructural como en alteración. La intensa silicificación en las diferentes unidades, en especial en la unidad meta-volcánica en donde es muy difícil determinar la mineralogía original de la roca ya que dicha silicificación ha borrado por completo su textura, a esto aumentado la alteración fílica presente en esta unidad. La disposición de esta alteración en rocas encajonante (Metariolita) de stockwork mineralizado con vetillas de cuarzo posiblemente tipo "A", "B" y "D", sumando la mineralogía relacionada a yacimiento tipo pórfido de cobre se puede determinar que a mayor profundidad se podría encontrar un yacimiento de interés económico.

Los elementos estructurales más importantes corresponden a los sistemas de vetas de cuarzo, donde se han generado con orientaciones NW-SE, se pudo observar que al NE del rancho de San Javier estas vetas presentan características similares a las vetas de La Mina Herradura, sin embargo el tipo de cuarzo es diferente.

Las vetas al SE del área de estudio presentan mineralogía con sulfuros, carbonatos y silicatos de cobre y fuerte alteración de cuarzo, dentro de la estructura y en los bordes es decir en la roca encajonante.

Con el análisis estructural así como por las evidencias de campo se determinó que hubo una rotación del todo el sistema (unidades rocosas) de 24° hacia el SW 60°, dada la presencia de un sistema conjugado de fallas.

El área de estudio presenta características litológicas, estructurales y alteraciones similares a los diferentes depósitos de la región por lo tanto es importante no descartar la posibilidad de descubrir un depósito tipo orogénico específicamente al NE y zona centro del área de estudio.

Con la información bibliográfica consultada se determinó que los yacimientos dentro del *Cinturón de Oro Orogénico Caborca* (COOC) se encuentran alojados en cualquier tipo de roca de edad pre-laramídica, es decir antes de la orogenia larámide, sin embargo, si existe una compleja relación en este tipo de yacimientos entre rocas precámbricas y rocas jurásicas específicamente en el contacto de estas unidades. Además, se determinó que existe un factor muy importante para que los fluidos ricos en minerales económicos se emplazaran en la roca encajonante el cual consiste en eventos donde se llevó a cabo procesos supergénéticos para el enriquecimiento de dichos fluidos mineralizantes, además de un intenso fracturamiento existente en la roca y en las zonas de contacto de estas unidades.

## **BIBLIOGRAFIA**

- Anderson, J.L.; Wooden, J.L.; y Bender, E.E., 1993, Mojave Province of southern California and vicinity, *in* Van Schmus, W.R., et al., eds., Transcontinental Proterozoic provinces, *in* Reed, J.C., Jr.; Bickford, M.E.; Houston, R.S.; Link, P.K.; Rankin, D.W.; Sims, P.K.; y Van Schmus, W.R., eds., Precambrian—conterminous U.S.: Boulder, Colo., Geological Society of America, The Geology of North America C-2, p. 176–188.
- Anderson, T.H., y Silver, L.T., 1978, The nature and extent of Precambrian rocks in Sonora, México, *in* Roldán-Quintana, Jaime, y Salas, G.A., eds., Resúmenes, Primer Simposio sobre la Geología y Potencial Minero en el Estado de Sonora: Hermosillo, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, p. 9–10 (resumen).
- Anderson, T.H., y Silver, L.T., 1979, The role of the Mojave-Sonora megashear in the tectonic evolution of northern Sonora, *in* Anderson, T.H., y Roldán-Quintana, Jaime, eds., Geology of northern Sonora: Geological Society of America Field Trip Guidebook 7, p. 59–68.
- Anderson, T.H.; Eells, J.L.; y Silver, L.T., 1979, Precambrian and Paleozoic rocks of the Caborca region, Sonora, Mexico, *in* Anderson, T.H., y Roldán-Quintana, Jaime, eds., Geology of northern Sonora: Geological Society of America Annual Meeting Guidebook, trip 27, p. 1–22.
- Arvizu-Gutiérrez, H.E., 2008, El basamento paleoproterozoico Yavapai-Mazatzal en los alrededores de la Sierra Pinta, NW Sonora—su importancia para el entendimiento del magmatismo pérmico y el inicio del margen continental activo de Norte América: Linares, Universidad Autónoma de Nuevo León, tesis de licenciatura, 181 p. (inérita).
- Arvizu, H.E.; Iriondo, Alexander; Izaguirre, Aldo; Chávez-Cabello, Gabriel; Kamenov, G.D.; Foster, D.A.; Lozano-Santa Cruz, Rufino; y Solís-Pichardo, Gabriela, 2009, Gneises bandeados paleoproterozoicos (~1.76–1.73 Ga) de la Zona Canteras-Puerto Peñasco—una nueva ocurrencia de rocas de basamento tipo Yavapai en el NW de Sonora, México: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, v. 61, núm. 3, p. 375–402.

- Araux Sánchez E. 2000. Geología y Yacimientos Minerales de la sierra pinta, Municipio de Puerto Peñasco, Sonora; Universidad de Sonora. Tesis Maestría.
- Bickford, M.E., y Hill, B.M., 2007, Does the arc accretion model adequately explain the Paleoproterozoic evolution of southern Laurentia? —an expanded interpretation: *Geology*, v. 35, núm. 2, p. 167–170.
- Campbell, P.L., and Anderson, T.H., 2003, Structure and kinematics along a segment of the Mojave-Sonora megashear: A strike-slip fault that truncates the Jurassic continental magmatic arc of southwestern North America: *Tectonics*, v. 22, no. 6, p. 16-1–16-21.
- Castiñeiras, P.; Iriondo, Alexander; Dórame-Navarro, M.; Premo, W.R.; y Kunk, M.J., 2004a, Metamorphic evolution of the Bámuri Complex (Sonora, NW Mexico) —new insights from field and petrographic data: *Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra*, 4, Juriquilla, Querétaro, Libro de Resúmenes, p. 49 (resumen).
- Castiñeiras, P.; Iriondo, Alexander; Wooden, J.L.; Dórame-Navarro, M.; y Premo, W.R., 2004b, Detrital zircon U-Pb SHRIMP geochronology of Proterozoic quartzites from the Bámuri Complex, NW Sonora, Mexico—evidence for a Mojave connection: *IV Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra*, Juriquilla, Querétaro, Libro de Resúmenes, p. 215 (resumen).
- Castiñeiras, P.; Budahn, J.R.; Iriondo, Alexander; y Dórame-Navarro, M.A., 2005a, Geochemical characteristics of Proterozoic metasedimentary rocks from Bámuri and La Tortuga complexes, Mojave crustal province (NW Sonora, Mexico): *Actas INAGEQ*, v. 11, núm. 1, p. 110 (resumen).
- Cooper, G.A., y Arellano, A.R.V., 1946, Stratigraphy near Caborca, northwest Sonora, Mexico: *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 30, p. 606–611.
- Damon, P.E.; Livingston, D.E.; y Giletti, B.J., 1961, Extension of the older Precambrian of the southwest into Sonora, Mexico: *Geological Society of America Abstracts with Programs*, v. 68, p. 158–159 (resumen).
- Damon, P.E.; Livingston, D.E., Mauger, R.L., Giletti, B.J., y Pantoja- Alor, Jerjes, 1962, Edad del Precámbrico “Anterior” y de otras rocas del zócalo de la región de Caborca-Altar de la parte noroccidental del estado de Sonora: *Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín* 64, p. 11–44.

- González-León, C.M., 1980, La Formación Antimonio (Triásico Superior- Jurásico Inferior) en la Sierra del Álamo, Estado de Sonora: Revista Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, 4, 13-18.
- 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.
- Gustafson, L.B. and Hunt, J.P., 1975. The porphyry copper deposit at El Salvador. Chile. *Economic Geology*, 70: 857-912.
- Iriondo, A., 2001, Proterozoic basements and their Laramide juxtaposition in northwestern Sonora, Mexico: Tectonic constraints on the southwestern margin of Laurentia [Ph.D. thesis]: Boulder, Colorado, University of Colorado, 222 p.
- Iriondo, A., Kamenov, G.D., Foster, D.A., 2008, The Sierra Los Tanques ~1.1 Ga Granite in NW Sonora: Another example of Mesoproterozoic plutonism along the Mexican Yavapai province: Geological Society of America, 2008 Joint meeting, Abstract with Programs, 145, 144 p.
- Iriondo, A., Martínez-Torres, L.M., Kunk, M.J., Atkinson, W.W., Jr., Premo, W.R., McIntosh W.C., 2005, Northward Laramide thrusting in the Quitovac region, northwestern Sonora, Mexico: Implications for the juxtaposition of Paleoproterozoic basement blocks and the Mojave-Sonora megashear hypothesis, *en* Anderson, T.H., Nourse, J.A., McKee, J.W., Steiner, M.B., eds., *The Mojave- Sonora megashear hypothesis: Development, assessment, and alternatives: Geological Society of America Special Paper 393*, 631–669.
- Iriondo, A., Premo, W.R., Martínez-Torres, L.M., Budahn, J.R., Atkinson, Jr., W.W., Siems, D.F., Guarás-González, B., 2004, Isotopic, geochemical and temporal characterization of Precambrian basement rocks in the Quitovac region, northwestern Sonora, Mexico: Its implications for the tectonic reconstruction of southwestern North America: *Geological Society of America Bulletin*, 116 (1/2), 154–170.
- Izaguirre-Pompa, A., 2006, Estudio petrológico y geocronológico del volcanismo orogénico intermedio-ácido de edad Oligo-Mioceno del Norte de Caborca, Sonora, México: Tesis de Licenciatura, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, 84 p.

- Izaguirre-Pompa, A., Iriondo, A., 2007, Mesoproterozoic (~1.2 Ga) quartzite and intruding anorthosite (~1.08 Ga) from Sierra Prieta, NW Sonora: Mexican additions to the Precambrian history of SW Laurentia: Ores and Orogenesis, Program with Abstracts, Arizona Geological Society Ores and Orogenesis Symposium, Tucson, Arizona, September 24-30, 147 p.
- Izaguirre-Pompa, A., 2009, El basamento paleoproterozoico (~1.71–1.68 Ga) Yavapai en el área Mina La Herradura en el NW de Sonora: Sus implicaciones para el desarrollo del arco magmático continental Mesozoico-Cenozoico del NW de México: Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, 52-55 p.
- Jacques-Ayala, C., Barth, A.P., Jacobson, C.E., Roldán-Quintana, J., 2008, Tectonically transported Laramide granitoids in the Caborca area, *en* Valencia-Moreno, M., Vega-Granillo, E.L., eds., Primer congreso sobre la evolución geológica y ecológica del Noroeste de México, Hermosillo, Sonora, México, 141 p.
- 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.
- Longoria J.F., González 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.
- Molina-Garza, R.S., Iriondo, A., 2005, La megacizalla Mojave-Sonora: la hipótesis, la controversia y el estado actual de conocimiento del problema, *en* Alaniz-Álvarez, S.A., Nieto-Samaniego, A.F., eds., Volumen Centenario SGM—Grandes Fronteras Tectónicas de México: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 57(1), 1–26.
- Ornelas-Macías, A., Verdugo-Noriega, G., 2009, Caracterización geológica estructural y de mineralización en el área Karina, municipio de Caborca, Sonora, México: Tesis de Licenciatura, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, 110 p.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM), 2002, Carta geológica-minera escala 1:50,000, H12-A45, San Luisito.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM), 2001, Carta magnética de campo total escala 1:50,000, H12-A45, San Luisito.



Silver, L.T., and Anderson, T.H., 1974, Possible left-lateral early to middle Mesozoic truncation of the southwestern North American craton: Geological Society of America Abstracts with Programs, v. 6, p. 955.

**ANEXO A:**  
**Análisis Petrográfico del área de estudio**

<b>MUESTRA</b>	<b>UBICACION</b>	<b>TEXTURA</b>	<b>MINERALOGIA</b>	<b>ALTERACION</b>	<b>CLASIFICACION</b>	<b>OBSERVACIONES</b>	<b>ESTUDIO</b>
SJV-02-4	349786mE 3448086mN	Poiquilitica- Porfídica	Fenocristales de Cuarzo, Actinolita Turmalina, Albita Biotita, Esfena Calcita, Rutilo Apatito y Circón	Débil-moderada sericita	Brecha de cuarzo- turmalina	Los fenocristales de Rutilo de rodeado con anillos de esfena	Petrográfico, Espectroscopi a Raman y Difracción de RX
SJV-034	350482mE 3447321mN	Porfídica	Fenocristales de Cuarzo, plagioclasas y feldespato alcalino sostenidos en una matriz recristalizada de cuarzo	Moderada sericita, débil hematita	Riolita porfídica de cuarzo	Macroscópicamente se observan carbonatos de cobre y matriz blanca argilización?	Petrográfico
SJV-025	350738mE 3447364mN	Porfídica	Fenocristales subhedrales de ojos de cuarzo, feldespato alcalino, plagioclasas, moscovita, epidota, clorita y circón	Moderada sericita, débil alt. propilítica	Metariolita fluidal de cuarzo	Los fenocristales de cuarzo presentan extinción ondulante el cual nos permite reconocer que la roca fue afectada por una deformación	Petrográfico Difracción de RX
SJV-020	350746mE 3447841mN	Porfídica	Fenocristales subhedrales de cuarzo, plagioclasas, feldespato alcalino moscovita, epidota, clorita, biotita, sostenidos en una matriz recristalizada de cuarzo	Débil sericita, débil alt. propilítica	Metariolita fluidal	Se observa una incipiente foliación débil	Petrográfico Difracción de RX

<b>MUESTRA</b>	<b>UBICACION</b>	<b>TEXTURA</b>	<b>MINERALOGIA</b>	<b>ALTERACION</b>	<b>CLASIFICACION</b>	<b>OBSERVACIONES</b>	<b>ESTUDIO</b>
SJV-043	351943mE 3448313mN	Porfídica	Fenocristales subhedrales de cuarzo, feldespato potásico, plagioclasas, biotita, rutilo, pirita	Débil-Moderada Sericita	Riolita fluidal		Petrográfico Difracción de RX
SJV-041	350299mE 3447347mN	Porfídica	Fenocristales subhedrales de cuarzo, plagioclasas, epidota, moscovita, biotita muy fina, clorita, los cuales están sostenidos en una matriz recristalizada de cuarzo	Débil-Moderada Sericita Débil Alt. Propilítica	Riolita porfídica	Los fenocristales de cuarzo presentan extinción ondulante y la biotita presenta una cierta lineación incipiente	Petrográfico Difracción de RX
SJV-07-2	349986mE 3450302mN	Porfídica	Fenocristales subhedrales de cuarzo, plagioclasas, feldespato, microclina, biotita, epidota, clorita, esfena sostenidos en una matriz recristalizada de cuarzo y biotita muy fina	Moderada Alt. Sericita	Metamonzogranito de grano grueso porfídico de cuarzo	Presenta vetillas de cuarzo con epidota	Petrográfico
SJV-037	350062mE 3447242mN	Porfídica	Fenocristales de cuarzo, feldespato alcalino, plagioclasas, epidota, clorita y moscovita en una matriz recristalizada de cuarzo	Moderada Alt. Sericítica Débil Alt. Propilítica	Riolita porfídica de cuarzo	Los fenocristales de cuarzo presentan golfos de corrosión y extinción ondulante	Petrográfico Difracción de RX

<b>MUESTRA</b>	<b>UBICACION</b>	<b>TEXTURA</b>	<b>MINERALOGIA</b>	<b>ALTERACION</b>	<b>CLASIFICACION</b>	<b>OBSERVACIONES</b>	<b>ESTUDIO</b>
SJV-008	348482mE 3448007mN		Presenta cristales anhedrales de cuarzo, feldespato alcalino, plagioclasas, moscovita, clorita y calcita	Débil Alt. Sericita	Toba lapilli ignimbrítica de composición riolítica poco soldada.	Los cristales de moscovita están siendo afectados por un halo de calcita y de oxidación tipo hematita	Petrográfico
DSJ-026-1	348211.06mE 3447372.76m N	Porfídica	Fenocristales subhedrales de grano grueso de plagioclasas, feldespato alcalino, hornblenda, muscovita, cuarzo, en una matriz microcristalina de plagioclasas	Débil Alt. Sericita	Dacita porfídica de plagioclasas	En la muestra se puede observar vetilleo de cuarzo y hornblenda	Petrográfico
DSJ-023-1	349502.52mE 3449380.64m N	Porfídica	Fenocristales subhedrales de cuarzo, feldespato alcalino, plagioclasas, hornblenda y biotita	Débil-Moderada Alt. Sericita	Granodiorita de grano grueso de hornblenda y biotita	Los fenocristales presentan golfos de corrosión	Petrográfico
DSJ-024-3	348121.47mE 3447367.38m N	Porfídica	Feldespato alcalino, Muscovita, plagioclasas, rutilo, piritita	Moderada Alt. Sericítica	Traquita hipocristalina porfídica de feldespato alcalino	La alt. sericítica está afectando los fenocristales de Feldespato alcalino	Petrográfico
DSJ-024-1	348121.47mE 3447367.38m N	Porfídica	Fenocristales subhedrales de cuarzo, plagioclasas, feldespato alcalino, biotita, clorita	Fuerte Alt. Sericita	Riolita Porfídica	Los cristales de cuarzo presentan golfos de corrosión	Petrográfico

<b>MUESTRA</b>	<b>UBICACION</b>	<b>TEXTURA</b>	<b>MINERALOGIA</b>	<b>ALTERACION</b>	<b>CLASIFICACION</b>	<b>OBSERVACIONES</b>	<b>ESTUDIO</b>
DJS-024-2	348121.47mE 3447367.38m N	Porfídica	Cuarzo, plagioclasas, feldespato alcalino, muscovita, turmalina, calcita	Fuerte Alt. Sericítica	Riolita Fluidal	La matriz se encuentra recristalizada	Petrográfico
SJV-003	348496mE 3447602mN	Porfídica	Fenocristales cuarzo, feldespato potásico, plagioclasas, piritita, óxidos de fierro (hematita)	Débil sericita	Riolita porfídica	Los fenocristales de cuarzo presentan bordes corroídos	Petrográfico
SJV-004	348052mE 3447747mN	Porfídica	Fenocristales euhedrales- subhedrales de plagioclasas, feldespato alcalino, cuarzo, óxidos de fierro (hematita)	Débil sericita Moderada Cloritización	Andesita porfídica		Petrográfico
SJV-005	347563mE 3447658mN	Porfídica	Fenocristales subhedrales de cuarzo, feldespato potásico, óxidos de fierro (hematita)	Débil Alt. Sericítica	Riolita porfídica	Los fenocristales de cuarzo presentan bordes corroídos y con golfos corroídos.	Petrográfico

<b>MUESTRA</b>	<b>UBICACION</b>	<b>TEXTURA</b>	<b>MINERALOGIA</b>	<b>ALTERACION</b>	<b>CLASIFICACION</b>	<b>OBSERVACIONES</b>	<b>ESTUDIO</b>
SJV-125	348255mE 3447641mN	Porfídica	Fenocristales subhedrales de plagioclasas, feldespato alcalino, turmalina	Moderada Alt. Sericítica	Andesita hipocristalina porfídica de plagioclasas	Los fenocristales están siendo sostenidos en una matriz de plagioclasas muy fina	Petrográfico
SJV-075	348048mE 3447516mN		Cristales de plagioclasas, feldespato alcalino, muscovita, biotita, cuarzo	Moderada Alt. Sericita	Toba lapilli de oleada piroclástica de composición andesítica	Los cristales están siendo afectados por oxidación tipo hematita. En muestra de mano presenta cloritización.	Petrográfico
SJV-120	351868mE 3447230mN	Porfídica	Fenocristales de cuarzo recristalizado, muscovita, plagioclasas, feldespato alcalino	Débil Alt. Sericítica	Riolita porfídica	Los fenocristales de cuarzo el cual presenta extinción ondulante con golfos de corrosión	Petrográfico
SJV-001	349886mE 3450246mN	Fábrica granoblástica inequigranular	Porfidoblastos subhedrales de cuarzo, feldespato potásico, biotita, plagioclasas	Débil Alt. Sericítica	Augen-gneis de feldespato potásico	Algunos de los cristales de cuarzo presentan o se asemejan a la textura micrográfica. Cortando de manera unidireccional a algunos de los cristales se encuentran vetillas tardías de cuarzo	Petrográfico

<b>MUESTRA</b>	<b>UBICACION</b>	<b>TEXTURA</b>	<b>MINERALOGIA</b>	<b>ALTERACION</b>	<b>CLASIFICACION</b>	<b>OBSERVACIONES</b>	<b>ESTUDIO</b>
SJV- 006	347983mE 3447261mN	Dimensional seriada- Porfídica	Fenocristales de cuarzo, plagioclasas, feldespato potásico, óxidos de fierro (hematita)	Débil Alt. Sericita	Riolita porfídica	Presenta textura dimensional seriada para los cristales subhedrales-anhedrales de plagioclasas y una textura porfídica para los demás fenocristales	Petrográfico
SJV-007-1	347876mE 3447740mN	Textura porfídica y textura coronítica a los bordes de los fenocristales de cuarzo	Fenocristales subhedrales de plagioclasas, cuarzo, feldespato potásico y piritita, se encuentran en una matriz muy fina de microcristales de plagioclasas	Débil Alt. Sericítica	Augen-gneis de feldespato potásico	Fenocristales de cuarzo presentan inclusiones fluidas de color amarillo lo que puede indicar salinidad producto del hidrotermalismo.	Petrográfico
SJV-009	350980mE 3448000mN	Porfídica	Fenocristales de cuarzo, feldespato alcalino, plagioclasas,	Débil Alt. Sericítica Débil-Moderada Esfenitización	Riolita porfídica de cuarzo	La matriz se encuentra recristalizada y los fenocristales de cuarzo presentan golfos de corrosión	Petrográfico
SJV-032	350407mE 3447520mN	Porfídica	Fenocristales subhedrales de cuarzo, feldespato alcalino, plagioclasas, en menor proporción presenta moscovita y piritita sostenidos en una matriz recristalizada de cuarzo.	Fuerte silicificación	Riolita porfídica de cuarzo	Los fenocristales de cuarzo presentan golfos de corrosión	Petrográfico



SJV-052	352385mE 3448543mN	Porfídica	Fenocristales subhedrales de cuarzo, plagioclasas, feldespato alcalino, pirita, hematita, los cuales están sostenidos en una matriz recristalizada de cuarzo.	Fuerte silicificación, alteración Sericítica y alteración potásica?	Riolita porfídica de cuarzo	Los fenocristales de cuarzo presentan golfos de corrosión	Petrográfico
SJV-081	348344mE 3444160mN	Porfídica	Fenocristales subhedrales de cuarzo plagioclasas, feldespato alcalino, hematita, pirita, sostenidos en una matriz microcristalina de cuarzo y plagioclasas.	Fuerte silicificación, alteración Sericítica.	Metariolita porfídica de plagioclasas de tamaño de grano grueso.	Los fenocristales de cuarzo presentan golfos de corrosión al centro y a los bordes los cuales están siendo afectados por esfenitización.	Petrográfico
SJV-077	347701mE 3444011mN	Porfídica	Fenocristales subhedrales de cuarzo, plagioclasas, feldespato alcalino, muscovita, pirita, hematita, sostenidos en una matriz microcristalina de cuarzo.	Alteración Sericítica.	Riolita porfídica	Se observa vetilleo de cuarzo los cuales tanto como los de la matriz como el vetilleo presenta extinción ondulante y golfos de corrosión.	Petrográfico

## **ANEXO B:**

### **Características Vetas del área de estudio en muestra de mano**

UBICACION	ACTITUD Y RACKE	MINERALOGIA	ALTERACION DE LA VETA	ROCA ENCAJONANTE	ALTERACION DE LA ROCA ENCAJONATE	ESPESOR DE LA VETA	OBSERVACIONES
351198mE 3448673mN	150/62SW	Veta de cuarzo lechoso, carbonatos de cobre (malaquita), clorita	Oxidación tipo goethita en fracturas	Riolita porfídica matriz gris-verde presenta fenocristales de cuarzo, plagioclasas, feldespatos	Alteración moderada clorita, débil oxidación	4 m	Presenta fuerte brechamiento dentro y a los bordes de la estructura con fragmentos de cuarzo de > 5 cm. así como también presentan fuerte brechamiento crackel a los bordes de la veta.
350340mE 3449091mN	140/65SW 80°	Veta de cuarzo lechoso-rosado, muscovita, pirita oxidada, box work de pirita	Oxidación tipo goethita en fracturas y en vetillas de cuarzo. Presentando moderada argilización a los bordes de la veta.	Riolita porfídica matriz blanca con ojos de cuarzo feldespato potásico, plagioclasas, biotita, muscovita pirita oxidada	Moderada-Fuerte Sericita, Fuerte oxidación tipo hematita y goethita en fracturas	4 m	Presentado débil brechamiento tipo crackel dentro de la estructura y moderado brechamiento tipo crackel a los bordes con fragmentos de la roca encajonante de >10 cm de diámetro. La veta presenta estrías de falla.
350492mE 3449079mN	135/50NE	Veta de cuarzo lechoso, box work de pirita	Oxidación tipo goethita en fracturas, cloritizada	Riolita porfídica matriz blanca con ojos de cuarzo, feldespato, pirita oxidada	Débil Sericita, Moderada oxidación tipo goethita	3 m	Presentando moderado brechamiento tipo crackel a los bordes dentro de la veta con fragmentos de cuarzo >5cm de diámetro, y fuerte brechamiento tipo crackel a los bordes.

<b>UBICACION</b>	<b>ACTITUD Y RACKE</b>	<b>MINERALOGIA</b>	<b>ALTERACION DE LA VETA</b>	<b>ROCA ENCAJONANTE</b>	<b>ALTERACION DE LA ROCA ENCAJONANTE</b>	<b>ESPESOR DE LA VETA</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
351277mE 3446837mN	285/40SW	Veta de cuarzo presentando carbonatos de cobre (malaquita) y calcopirita	Débil oxidación tipo goethita en fracturas	Riolita silicificada con ojos de cuarzo, feldespatos y plagioclasas	Débil hematita en fracturas	15 cm	Presenta zonas brechadas con fragmentos de cuarzo dentro de la estructura
351479mE 3446881mN	305/55SW	Veta de cuarzo presentando malaquita y calcopirita	Débil oxidación tipo goethita en fracturas	Riolita de matriz gris, con ojos de cuarzo		25 cm	
351681mE 3446928mN	210/55SW	Veta de cuarzo con malaquita, calcopirita y galena	Débil oxidación tipo hematita en fracturas	Cuarzomonzonita con más del 50% de cuarzo	Vetillas de epidota y hematita	15 cm	Débil brechamiento a los bordes
350442mE 3447480mN	325/72SW	Veta de cuarzo lechoso con carbonatos de cobre malaquita, crisocola, calcopirita	Débil oxidación tipo hematita en fracturas	Riolita matriz blanca con fenocristales de cuarzo, feldespato, plagioclasas, malaquita y crisocola	Oxidación tipo hematita en fracturas	20 cm	Fracturamiento débil a los bordes de la veta
352342mE 3448138mN	115/58 SW	Veta de cuarzo lechoso con malaquita, box work de pirita y pirita oxidada	Débil-moderada oxidación tipo goethita en fracturas	Riolita porfídica con fenocristales de cuarzo, feldespato, plagioclasas, pirita oxidada	Débil oxidación tipo goethita en fracturas	3 m	Presenta brechamiento tipo crackel a los bordes con fragmentos de cuarzo mayores a 10 cm



**ANEXO C:**  
**Tabla de Clasificación de vetillas Gustafson Hunt**

Tipo de vetilla	Forma	Tamaño	Mineralogía	Alteración	Temporalidad y Observaciones
<b>Tipo "A"</b>	Irregulares, discontinuas y segmentadas	1 – 25 mm	Vetillas tempranas de cuarzo (50-95%), con feldespato-K, anhidrita, calcopirita y bornita	Halos de alteración potásica (bt-Kfeld), pero poco distinguibles de la fuerte alteración potásica pervasiva de las rocas	Están cortadas por todos los otros tipos de vetillas. Incluyen diseminación de Cpy-Bo-trazas de Mo. Formadas en roca dúctil. Vetillas tipo "A" corresponden a etapa tardía-magmática. Estructuras asignadas a esta etapa forman parte de las zonas de alteración potásica. Se estima que su emplazamiento se produjo en un ambiente semidúctil, evidenciado por su forma sinuosa, mediante un proceso de metasomatismo potásico a temperaturas entre 800°C y 600°C.
<b>Tipo "B"</b>	Continuas, planares, con caras paralelas y con bandeamiento	5-50 mm (hasta 10 cm)	Cuarzo-anhidrita-sulfuros (sin feldespato-K)	No presentan halos de alteración, aunque en algunos casos hay halos en los que la roca está blanqueada	El cuarzo es relativamente de grano grueso en cristales elongados perpendicularmente a las paredes. La presencia de molibdenita-calcopirita son características, con trazas de bornita y escasa piritita. De régimen frágil a dúctil con temperaturas cercanas a 400°C. Se asume que rellenan fracturas producidas por pérdida de volumen en un sistema que se enfría. Forman parte del evento principal de deposición de molibdenita.
<b>Tipo "D"</b>	Continuas con orientación preferencial, aunque ocasionalmente son irregulares o siguen un patrón curvo	1-75 mm (hasta 20 cm)	Están constituidas por sulfuros y sulfatos (anhidrita) con menor contenido de cuarzo y ocasional carbonato (dolomita), presenta formas cristalinas. Entre los sulfuros domina la piritita, con calcopirita, bornita, enargita, tenantita, esfalerita y galena	Presentan halos de alteración sericitica o de sericita-clorita, algunas con una parte externa de caolinita-calcita	Cortan a las vetillas de cuarzo A y B, La anhidrita forma masas cristalinas y comúnmente está bandeada con los sulfuros, pueden presentar molibdenita. Vetillas tipo D corresponden a la etapa hidrotermal principal. Con temperaturas menores a 400°C, asociadas a la alteración sericita-clorita, posteriormente a la filica, y finalmente a la clorítica retrógrada sobre las biotitas de alteración.
<b>Tipo "E"</b>	Continuas con orientación preferencial	1-75 mm (hasta 20 cm)	Vetilla muy similar al tipo D, pero con presencia de carbonatos como ankerita y siderita	Halo cuarzo-sericita con carbonatos	Piritita dominante frente a sulfuros de baja temperatura, presencia de enargita, tetraedrita y tenantita. Vetillas tipo E son asociadas a una etapa hidrotermal tardía, caracterizada por la alta sulfidización, fuerte hidrólisis presentando valores

					anómalos de Pb, Zn y As (galena, esfalerita y sulfosales).
<b>Tipo “M”</b>	Generalmente continuas y sinuosas		Vetillas de magnetita, actinolita, calcopirita, cuarzo	Se asocian a alteración calco-sódica	Vetillas tipo “M” corresponden a etapa tardía-magmática. Estructuras asignadas a esta etapa forman parte de las zonas de alteración potásica. Se estima que su emplazamiento se produjo en un ambiente semidúctil, evidenciado por su forma sinuosa, mediante un proceso de metasomatismo potásico a temperaturas entre 800°C y 600°C.
<b>Tipo “EB”</b>	Irregulares	Espesor menor a 10 mm	Constituidas por biotita ± cuarzo, con variable albita, feldespato potásico, actinolita, apatito, andalusita, corindón, cordierita, ilmenita, esfena, bornita, calcopirita y pirita	Con o sin halo de biotita y algo de albita	Vetillas tipo “EB” corresponden a etapa tardía-magmática. Estructuras asignadas a esta etapa forman parte de las zonas de alteración potásica. Se estima que su emplazamiento se produjo en un ambiente semidúctil, evidenciado por su forma sinuosa, mediante un proceso de metasomatismo potásico a temperaturas entre 800°C y 600°C.
<b>Tipo “EBT”</b>	Sinuosas	Espesor mayor a 10 mm	Vetilla con relleno granular de cuarzo, anhidrita, feldespato potásico y sulfuros (bornita y calcopirita)	Halo bien definido entre 2 – 5 mm de biotita con menores cantidades de feldespato potásico, cuarzo y sericita	Vetillas tipo “EBT” corresponden a etapa tardía-magmática. Estructuras asignadas a esta etapa forman parte de las zonas de alteración potásica. Se estima que su emplazamiento se produjo en un ambiente semidúctil, evidenciado por su forma sinuosa, mediante un proceso de metasomatismo potásico a temperaturas entre 800°C y 600°C.

Tabla de Clasificación de vetillas de Gustafson y Hunt 1975, resumida del artículo: Gustafson y Hunt (1975), *Economic Geology*, V. 70, N°5, pp. 857-912. (bt-Kfeld) = biotita-feldespato potásico, (feldespato-K) = feldespato potásico, (Cpy-Bo) = calcopirita-bornita, (Mo) = molibdeno.