

# UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ciencias Exactas y Naturales

Departamento de Geología

USO DE SIG Y MAGNETOMETRÍA PARA LA INTERPRETACIÓN DE LINEAMIENTOS Y SU RELACIÓN CON LAS ZONAS MINERALIZADAS DE SAN FELIPE Y MINA WASHIGTON, MUNICIPIO DE HUÉPAC, SONORA

## TESIS

Que para obtener el Grado de:  
Geólogo

**P R E S E N T A:**  
**Acosta Graciano**  
**Joel David Orlando**



**Hermosillo, Sonora, Octubre del 2017**

# 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, 05 de septiembre de 2017.

**DRA. SILVIA MARTÍNEZ RETAMA**  
JEFA DEL DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA  
UNIVERSIDAD DE SONORA  
Presente.-

Por este conducto y de la manera más atenta, me permito someter a su consideración, para su aprobación el siguiente el tema de Tesis, intitulado:

**“USO DE SIG Y MAGNETOMETRÍA PARA LA INTERPRETACIÓN DE LINEAMIENTOS Y SU RELACIÓN CON LAS ZONAS MINERALIZADAS DE SAN FELIPE Y MINA WASHINGTON, MUNICIPIO DE HUÉPAC, SONORA”**

Esto es con el fin de que el alumno **JOEL DAVID ORLANDO ACOSTA GRACIANO** con Expediente No. **209208294**, pueda presentar su examen profesional, para la obtención de su título de Licenciatura en Geología.

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

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

  
M.C. Alma Patricia Sámano Tirado

**DIRECTORA DE TESIS**

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

Hermosillo, Sonora, 18 de septiembre, 2017

**M.C. ALMA PATRICIA SÁMANO TIRADO**  
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:

**“USO DE SIG Y MAGNETOMETRÍA PARA LA INTERPRETACIÓN DE  
LINEAMIENTOS Y SU RELACIÓN CON LAS ZONAS MINERALIZADAS DE  
SAN FELIPE Y MINA WASHINGTON, MUNICIPIO DE HUÉPAC, SONORA”**

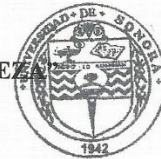
Esto es con el fin de que el alumno: **Joel David Orlando Acosta Graciano** con **Expediente No. 209208294**, pueda presentar su examen profesional, para la obtención de su título de Licenciatura en Geología. Así mismo les comunico que han sido asignados los siguientes Sinodales:

Presidente	<b>Dr. Francisco Javier Grijalva Noriega</b>
Secretario	<b>Dr. Lucas Hilario Ochoa Landin</b>
Vocal	<b>M.C. Alma Patricia Sámano Tirado</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”**

**DRA. SILVIA MARTÍNEZ RETAMA**  
JEFA 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:

**"USO DE SIG Y MAGNETOMETRÍA PARA LA INTERPRETACIÓN DE  
LINEAMIENTOS Y SU RELACIÓN CON LAS ZONAS MINERALIZADAS DE  
SAN FELIPE Y MINA WASHINGTON, MUNICIPIO DE HUÉPAC, SONORA"**

## NOMBRE DEL SUSTENTANTE:

**JOEL DAVID ORLANDO ACOSTA GRACIANO**

La 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. FRANCISCO JAVIER GRIJALVA NORIEGA**

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.

**M.C. ALMA PATRICIA SÁMANO TIRADO**

**ATENTAMENTE  
"EL SABER DE MIS HIJOS HARÁ MI GRANDEZA"**

**DRA. SILVIA MARTÍNEZ RETAMA  
JEFA DEL DEPARTAMENTO**

C.c.p. Archivo.

## **Dedicatoria**

*A mis Padres, Sabina y Emilio*

## **Agradecimientos**

Agradezco a mis sinodales que me ayudaron y colaboraron con la elaboración de este trabajo, porque cada uno de ellos tuvo el tiempo y dedicación para dar sus diferentes puntos de vista.

Un profundo agradecimiento a mi Mamá Académica Alma Patricia Sámano, siempre estuvo para apoyarme, siempre me regañó cuando sentía que era necesario, porque siempre me tomo en cuenta en sus proyectos y que me ayudaron a practicar y tener un poco más de experiencia.

A todos mis maestros que a muchos de ellos no pude aprovechar lo máximo de cada uno de ellos, pero yo sé que de todos aprendí un poco y que en un futuro me servirá de mucho.

Mi familia siempre estuvo para darme la mano, no puedo mencionar a cada uno de ellos, porque cada uno de ellos me dio un consejo, nunca me dieron la espalda y sé que fueron parte fundamental para culminar mis estudios. Un especial agradecimiento a mis papás, desde el momento en que tome la decisión de estudiar fuera de la ciudad, siempre me apoyaron y nunca me dejaron caer y a mi esposa e hija les agradezco por apoyarme y esperarme hasta que culminara mi estudios y aunque se notaba su desesperación, trataban de no mostrarlo.

Gracias a todos los que me permitieron cumplir este Sueño.

## Índice

Capítulo 1. RESUMEN .....	1
Capítulo 2.- INTRODUCCIÓN .....	3
2.1 Vías de Acceso y Localización.....	3
2.2. Antecedentes .....	4
Capítulo 3. FISIOGRAFÍA E HIDROGEOLOGÍA.....	6
3.1. Fisiografía .....	6
3.2. Hidrografía .....	8
Capítulo 4. METODOLOGÍA .....	10
4.1. Elaboración de mapa geológico.....	10
4.2. Interpretación de curvilineamientos y lineamientos.....	12
Capítulo 5. MARCO GEOLÓGICO Y TECTÓNICO .....	15
5.1. Marco Tectónico Regional .....	15
5.2. Geología Regional .....	17
5.3. Geología Local.....	20
5.3.1. MESOZOICO .....	20
5.3.2. TERCIARIO .....	24
5.3.3. CUATERNARIO.....	27
5.3.4 ROCAS IGNEAS INTRUSIVAS .....	28
5.4. Geología Estructural .....	35
5.4.1. Características estructurales “Distrito Minero San Felipe” .....	35
5.4.2. Características estructurales Distrito Minero Washington.....	37
5.5. Interpretación de Estructuras y Curvilineamientos .....	38
5.5.1. Distrito San Felipe.....	38
5.5.2. Distrito Minero Washington .....	42



Capítulo 6. GEOLOGÍA ECONOMICA .....	47
6.1. Antecedentes de los distritos .....	47
6.2. Distrito Minero San Felipe .....	48
6.3. Distrito Minero Washington .....	49
Capítulo 7. RESULTADOS Y CONCLUSIONES .....	54
Bibliografía .....	56

## Relación de Figuras

Figura 2. 1. Vías de acceso y localización del área de estudio. ....	3
Figura 3. 1. Mapa mostrando las distintas zonas Fisiográficas presentes en el Estado de Sonora.....	7
Figura 3. 2. Mapa de hidrogeología del área de estudio.....	8
Figura 4.1. Imagen de satélite mostrando las diferentes combinaciones de bandas RGB.....	11
Figura 4. 2. Imagen del área de estudio donde se observa cómo fueron delimitados los contactos geológicos a partir de imágenes satelitales.....	11
Figura 4. 3. Modelo Digital de Elevación con interpretación de lineamientos.....	13
Figuras 4. 4. Mapa aeromagnético y Modelo Digital de Elevación traslapadas del Distrito de Washington con interpretación de lineamientos.....	14
Figura 5. 1. Mapa Geológico del área de estudio.....	21
Figura 5. 2. Fotografía mirando al NE del área, donde se puede apreciar la Unidad Tpa R- TR cubriendo concordantemente a la unidad Ks A- TA.....	23
Figura 5. 3. Fotografía de un afloramiento al SW de la mina Washington de rocas volcánicas félsicas, donde se observa una falla normal entre la misma unidad.....	26
Figura 5. 4. Fotografía de Afloramiento de granodiorita sobre el Arroyo Las Cabecitas.....	29
Figura 5. 5. Fotografías y microfotografías mostrando los diferentes tipos de rocas ígneas que afloran en el Batolito de Aconchi.....	31
Figura 5. 6. Difracción de rayos X de Granodiorita para determinar el tipo de ferromagnesiano (clinocloro).....	32
Figura 5. 7. Microfotografías mostrando los diferentes tipos de Lamprófidos.....	33
Figura 5. 8. Difracción de rayos X de la muestra A Lamprófico Kersantita.....	34
Figura 5. 9. Difracción de rayos X de la muestra A Lamprófico Espersantita.....	34
Figura 5. 10. Mapa de Interpretación de estructuras a partir de imagen	

satelital.....	36
Figura 5. 11. Mapa aeromagnéticos de campo total con reducción al polo con interpretación estructural.....	39
Figura 5. 12. Imagen de satélite con los curvilineamientos, lineamientos en Distrito San Felipe.....	40
Figura 5. 13. Mapa aeromagnético, donde se muestran las minas San Rafa y Daniel.....	41
Figura 5. 14. Zona favorable al norte de la mina de San Rafa.....	42
Figura 5. 15. Imagen de satélite del Distrito Washington con interpretación de curvilineamientos y lineamientos.....	44
Figura 5. 16. Mapa aeromagnético del Distrito de Washington.....	45
Figura 5. 17. Zona favorable al este de la mina Washington .....	46
Figura 6. 1. Microfotografía de pórfido riolítico del Distrito de San Felipe.....	49
Figura 6. 2. Fotografía de la brecha Washington, donde se aprecia la presencia de sericita y oxidación.....	50
Figura 6. 3. Microfotografía de lámina delgada de la brecha de la mina Washington.....	52
Figura 6. 4. Microfotografía de lámina delgada donde se observan las diferentes alteraciones hidrotermales.....	52
Figura 6. 5. Microfotografía de lámina delgada de andesita porfídica.....	53

## Capítulo 1. RESUMEN

El área de estudio se encuentra al norte del estado de Sonora, a 156 kilómetros al NE de Hermosillo, Sonora, limitada por las coordenadas 560000, 596000 y 3290000, 3315000, cubriendo un área de 952 km<sup>2</sup>. La zona queda ubicada en la provincia de la Sierra Madre Occidental dentro de la subprovincia de Sierra y Valles del Norte. Las rocas más antiguas que afloran en el área tienen rangos de edad Cretácico Temprano al Reciente, representado por rocas sedimentarias, volcanosedimentarias, ígneas intrusiva y extrusivas. Las rocas más antiguas corresponden a una secuencia de calizas y areniscas marinas de estratificación fina del Cretácico inferior, a manera de techos colgantes en la mina Santa Rosa y sus alrededores. El Cretácico superior está representado por rocas volcanosedimentarias del Cretácico Tardío-Terciario Temprano, en esta época, se genera el emplazamiento de grandes cuerpos intrusivos que forman parte del Batolito de Sonora, compuesto de rocas intrusivas calcoalcalinas de composición granítica a cuarzodiorita, afectando a las unidades anteriores y aflora al oeste y este del área. Posteriormente tiene lugar otra intrusión a manera de pequeños stocks de pórfidos riolíticos y andesíticos. El Terciario inferior está compuesto por rocas volcanosedimentarias riodacíticas y riolíticas con alteración hidrotermal propilítica y fílica, de edad prebatolítica. En el Oligoceno-Mioceno la actividad volcánica se manifiesta como un conjunto de rocas volcánicas de composición félsica, representada por riolitas, tobas, aglomerados riolíticos que afloran en el norte y noreste del área, cubriendo discordantemente a las rocas volcánicas e intrusivas del Cretácico Superior-Terciario inferior. En el Mioceno se deposita la Formación Báucarit, un conglomerado polimíctico bien consolidado, con intercalaciones de areniscas, limos y arcillas, que hacia la cima contiene derrames de basaltos y tobas riolíticas. Durante el Mioceno-Plioceno se manifiesta actividad volcánica a manera de flujos basálticos que cubren discordantemente a la Formación Báucarit, a las rocas intrusivas y volcánicas. El Cuaternario está representado por potentes

depósitos de gravas, arenas, limos y arcillas pobremente consolidados, que rellenan las zonas topográficamente más bajas, formando extensos valles y finalmente el aluvión y suelos residuales que se depositan en las zonas bajas y cauces de ríos y arroyos.

El área estructuralmente está definida por dos sistemas principales de fracturas y fallas con rumbos NNW-SSE y NE-SW, asociadas a la etapa distensiva del Terciario. Estos lineamientos fueron analizados en imágenes de satélite así como los grandes curvilineamientos circulares y semicirculares, principalmente en el pórfido riolítico, en la andesita, toba andesítica y en el intrusivo.

Este trabajo tiene como principal objetivo la interpretación de imágenes satelitales para determinar las estructuras que se tienen en superficie como son los curvilineamientos y lineamientos originados por actividad magmática a profundidad, utilizando SIG y cartas aeromagnéticas de campo total del SGM para establecer la relación de las zonas mineras con las estructuras o curvilineamientos en los alrededores de Huépac, haciendo énfasis en los distritos mineros de Washington y San Felipe.

## Capítulo 2.- INTRODUCCIÓN

### 2.1 Vías de Acceso y Localización

El área de estudio se localiza a 156 kilómetros de la ciudad de Hermosillo, Sonora, y su acceso es tomando la carretera estatal No.14 hasta llegar al poblado de Mazocahui, donde se toma la desviación por la carretera estatal No. 89, hasta llegar al poblado de Huépac.

Los dos distritos mineros considerados en el presente trabajo se localizan en la porción central de estado de Sonora. El distrito minero Washington se encuentra en línea recta a 15 km al este del poblado de Huépac, y el distrito minero de San Felipe a 9 km al oeste de esta población (Figura 2.1). El primero se encuentra en el flanco noroeste de la Sierra Las Palomas, mientras que el segundo está ubicado en flanco noreste de la Sierra de Aconchí.

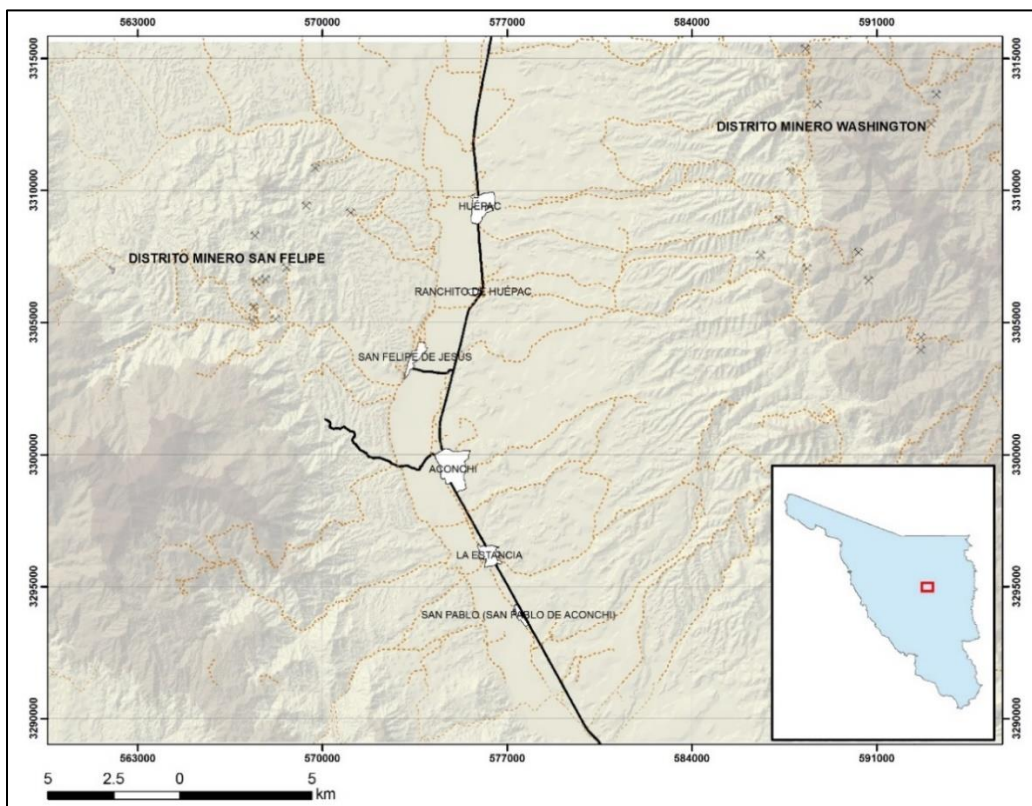


Figura 2. 1. Vías de acceso y localización del área de estudio.



## 2.2. Antecedentes

En el área de Huépac y sus alrededores se han realizado varios estudios geológicos en su mayoría haciendo referencia al aspecto minero. Roldán Quintana (1979), describe la zona mineralizada del distrito minero de San Felipe, y menciona las características geológicas, estructurales de las rocas volcánicas, sedimentarias e intrusivas; además, señala que los depósitos existentes en la zona son en su mayoría del tipo metasomático, con sulfuros de plomo y zinc. Domínguez (1979), en su trabajo en el distrito minero de la mina Washington enfoca su estudio sobre las brechas hidrotermales, haciendo énfasis en los tipos de alteración y mineralización. Simmons y Sawkins (1983), realizaron un estudio en donde caracterizaron la alteración hidrotermal y mineralización asociada, así como estudios de inclusiones fluidas de la brecha Washington localizada al este del Ranchito de Huépac. Chávez y García (1980), trataron de unir los aspectos geológicos y metalogenéticos de los diferentes depósitos que se encuentran a lo largo del oeste de la Sierra Madre Occidental. Mead et al. (1988) estudian la provincia de tungsteno del noroeste de México, determinando la relación temporal de esta provincia con otras provincias de la Cordillera, describiendo los depósitos de tungsteno del batolito de Aconchí. Damon et al. (1983) definieron el Batolito Larámide (90-40Ma) de Sonora, en el que incluyeron a todas las rocas intrusivas calcoalcalinas de esa edad, que se asocian a un arco magmático que fue transgrediendo hacia tierra adentro y que en esta zona aflora como el batolito de Aconchí. Bojórquez y Rosas (1989), elaboraron un plano geológico de la zona de Aconchi en el que se hace la interpretación de fallas y pliegues, entre otros datos estructurales, para posteriormente hacer un estudio a semidetalle de la geología regional de la carta de Aconchi. El Servicio Geológico Mexicano (1998), realiza la carta H12D13, Aconchí, donde se hace una descripción de los diferentes distritos mineros entre ellos el de Washington, identificando tres tipos de estructuras mineralizada. Zúñiga (2010), realizó una tesis de Maestría en la que hace la descripción geológica, geoquímica y metalogenética desde Moctezuma hasta Huépac, también hace una descripción de las minas que se

encuentran en el área mediante un estudio petrográfico para determinar el tipo de alteración hidrotermal asociado y la importancia económica del área.

## Capítulo 3. FISIOGRAFÍA E HIDROGEOLOGÍA

### 3.1. Fisiografía

El área se encuentra ubicada dentro de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Occidental, que incluye parte de la subprovincia de Sierras y Valles Paralelos (Sierras Alargadas), según Raisz (1964) e INEGI (2008). Esta subprovincia se caracteriza por tener sierras con un rumbo NNW-SSE con valles de relleno intermontanos, rellenos de aluvión, gravas, conglomerados, arenas, arcillas y derrames de basaltos (Figura 3.1).

La morfología del área tiene grandes contrastes, desde una morfología suave de grandes planicies, a una muy disectada con montañas y laderas. La topografía varía de 100 a 2000 msnm, siendo el punto más alto en la Sierra de Aconchi. El relieve accidentado es un reflejo de la geología constituida principalmente por rocas ígneas intrusivas y volcánicas, caracterizadas por una serie de sierras y lomeríos paralelos, con orientación norte-sur, separadas por valles. Se considera que las formas del relieve topográfico son el producto de bloques levantados, que constituyen una serie de grabens orientados de norte a noroeste, originados por fallas regionales.

Algunas sierras sobresalen topográficamente como son: la Sierra Aconchi, La Verde, Las Palomas y La Morita. En la parte central del área existe un amplio valle entre 10-12 kilómetros de ancho con orientación prácticamente N-S, que corresponde al valle del Río Sonora y es conocido como el graben de Aconchi.

Morfológicamente se puede decir que el área se encuentra en una etapa de juventud y madurez temprana, representada por bloques levantados con una orientación norte-noroeste.

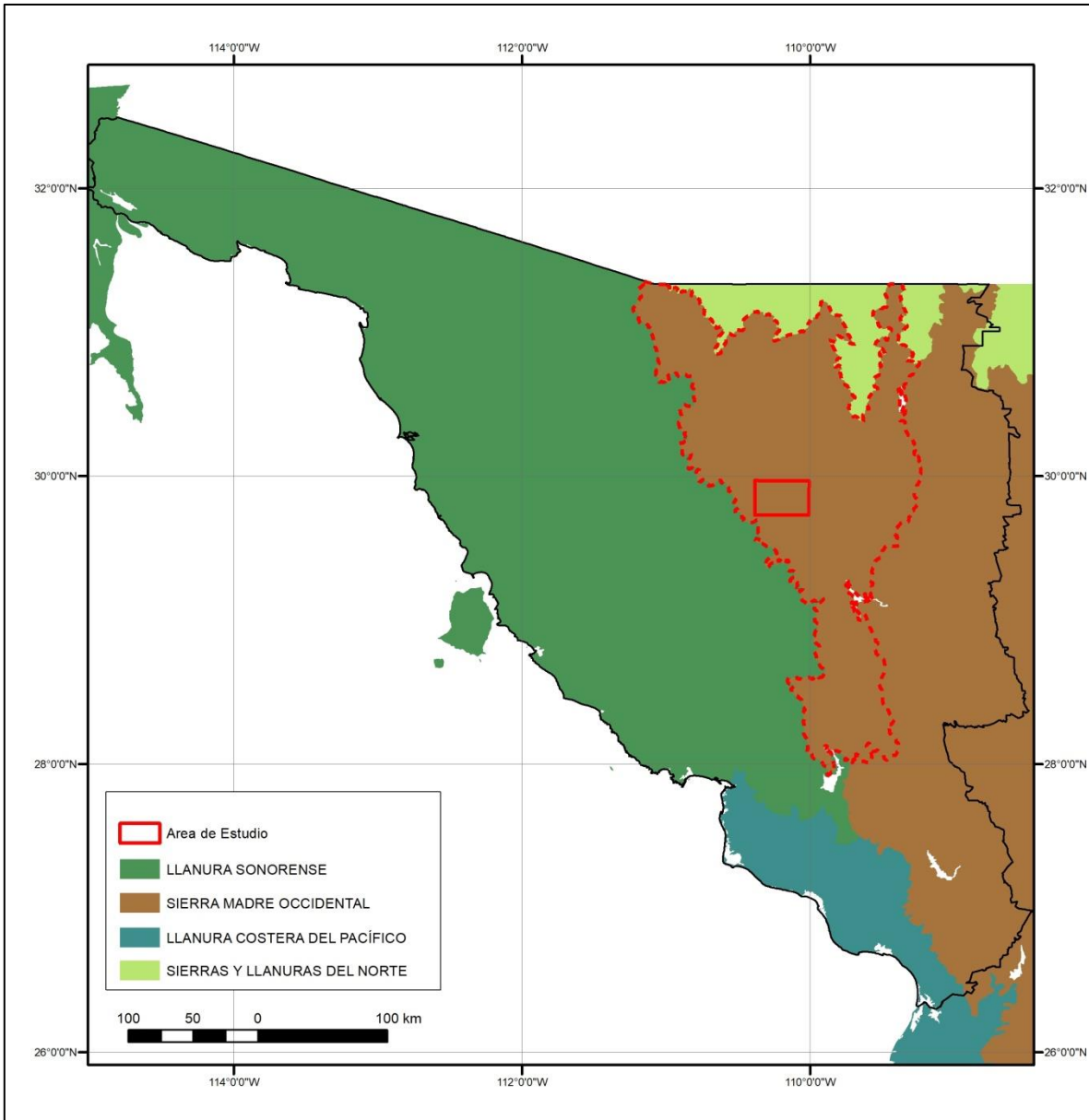


Figura 3. 1 Mapa mostrando las distintas zonas Fisiográficas presentes en el Estado de Sonora (INEGI 2008), y en líneas punteada se observa la subprovincia de Sierras y Valles Paralelos

### 3.2. Hidrografía

El área de estudio se localiza en la vertiente del Pacífico y su principal cuenca hidrográfica es el Río Sonora (Figura 3.2), que nace en la sierra de Cananea con una orientación norte-sur hasta el poblado de Mazocahui, donde cambia bruscamente su rumbo hacia el suroeste, hasta desembocar en la presa Rodolfo Félix Valdés “El Molinito”, esta presa controla las avenidas de las partes altas, para después ser drenadas hacia la presa Abelardo L. Rodríguez, el río tiene una longitud de 294 km, y en este punto se le une el Río San Miguel por su margen derecha.

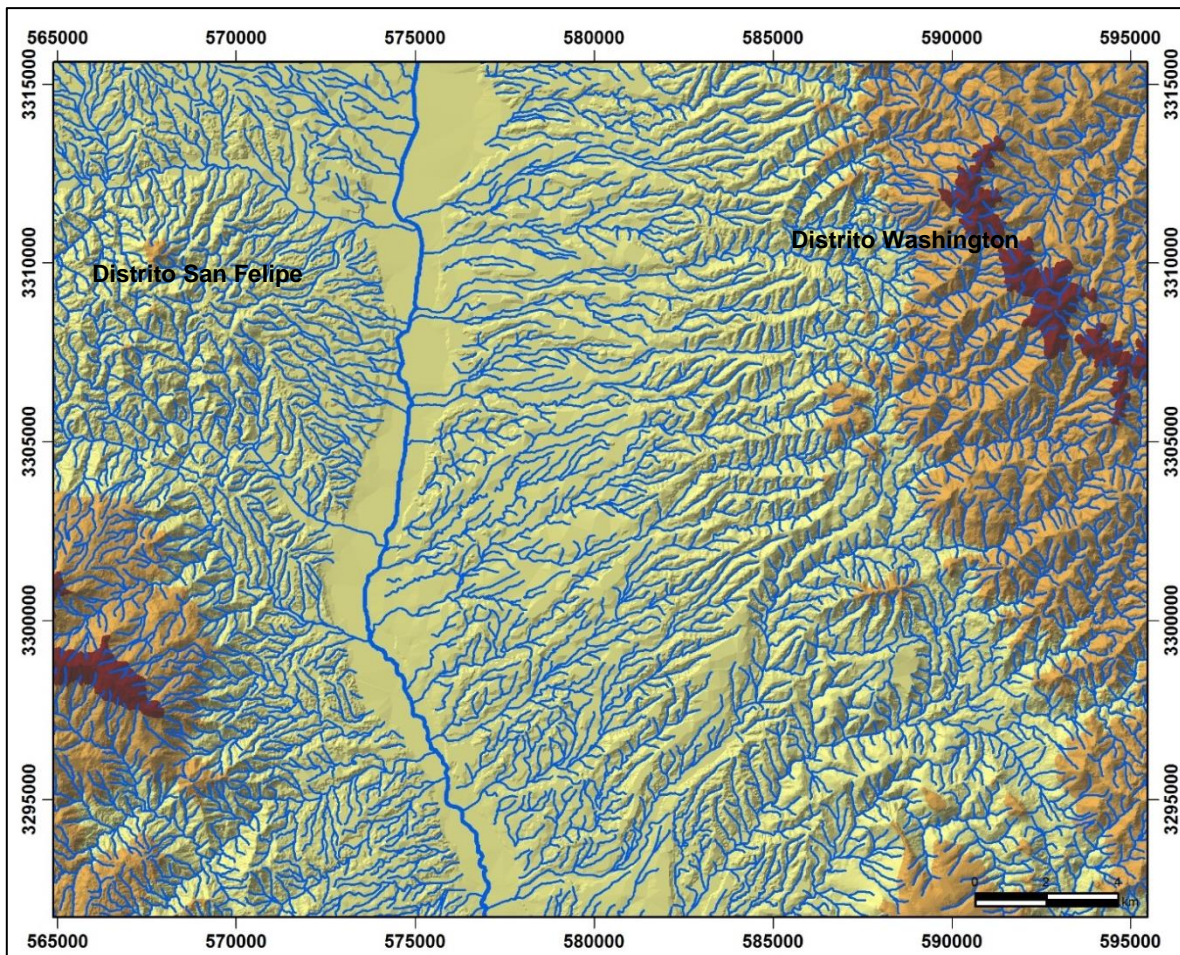


Figura 3. 2. Mapa de hidrogeología del área de estudio, donde se observa la cuenca del Río Sonora.

El Río Sonora ocupa el tercer lugar en la región en cuanto a extensión de cuenca y magnitud de aportaciones, éstas se almacenan en las presas Rodolfo Félix Valdés “El Molinito” y Abelardo L. Rodríguez, donde se tiene un área de captación de 21,197.08 Km<sup>2</sup>. La topografía de la cuenca es accidentada, salvo en su parte baja y en la confluencia del Río Zanjón. La parte alta de la cuenca se tiene una fuerte presencia de prospectos y proyectos mineros, así como algunas minas en producción, donde las más grande de todas ellas se localizan al norte, al inicio de la cuenca en la zona de Cananea, donde se extrae cobre principalmente; los yacimientos se prolongan hacia el sur a lo largo de la Sierra de Aconchi y Sierra Las Palomas donde existen yacimientos de oro, plata, cobre y zinc.



## **Capítulo 4. METODOLOGÍA**

En este estudio nos documentamos y basamos muchas de nuestras observaciones con datos publicados del SGM de cartas geológicas-mineras que se encuentran dentro del área de estudio, donde a partir de realizar un análisis visual y digital de las imágenes de satélite, se van resaltando las características morfológicas y espectrales de los diversos tipos de roca, para posteriormente marcar lineamientos profundos, secundarios, curvilineamientos, contactos geológicos y relaciones estructurales.

### **4.1. Elaboración de mapa geológico**

El mapa geológico se realizó tomando como base la carta geológico-minera de Aconchí, Sonora H12-D13 del SGM escala 1:50,000 e imágenes satelitales en las que se utilizaron la combinación de las bandas multiespectrales RGB (Figura 4.1), para resaltar ciertas características de la roca como son, el tono, vegetación, textura, drenaje, rasgos morfológicas y propiedades de las rocas como son resistencia y cubierta de material superficial; para posteriormente delimitar, marcar y agrupar las que presentan características similares delimitando 12 unidades, que se definieron con observaciones de campo y la carta geológica-minera (Figura 4.2).



Figura 4.1. Imagen de satélite que ilustra tres diferentes combinaciones de las bandas RGB, donde se observa como cada banda resalta características específicas. a) banda con filtro de color rojo resaltando la vegetación, b) banda con filtro de color verde características morfológicas c) banda con filtro azul observando diferentes falsos colores, delimita los diversos tipos de rocas.

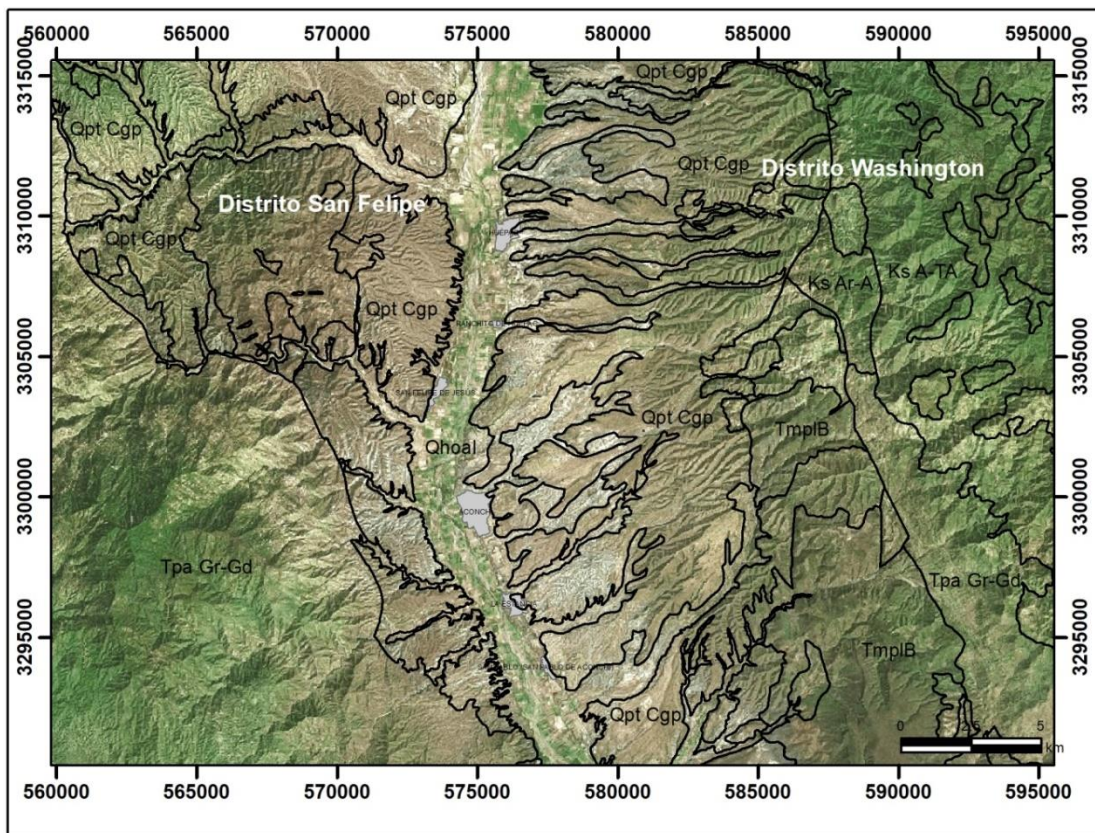


Figura 4.2. Imagen del área de estudio con los contactos geológicos que se delimitaron a partir de imágenes satelitales google.

## **4.2. Interpretación de curvilineamientos y lineamientos**

La interpretación estructural se realizó utilizando el Modelo Digital de Elevación (MDE), creado a partir de curvas de nivel cada 5 metros para una mayor resolución del modelo, imágenes satélites SAS Planet (Google earth) de alta resolución y descargadas a un SIG (ArcGis), se marcaron curvilineamientos, lineamientos profundos y lineamientos secundarios. Los lineamientos profundos son estructuras claras, bien definidas y generalmente se extienden por varios kilómetros, en cambio los lineamientos secundarios presentan características morfológicas más suaves, su traza es difusa y de poca distancia (Figura 4.3). Después de haber determinado las estructuras (curvilineamientos), se utilizó el mapa aeromagnético de campo total con reducción al polo del SGM, para hacer un traslape con el Modelo Digital de Elevación y con las estructuras interpretadas, todo esto con la finalidad de demostrar y confirmar la concordancia de la presencia de altos magnéticos, con los curvilineamientos y obras mineras (Figuras 4.4 y 5.11).



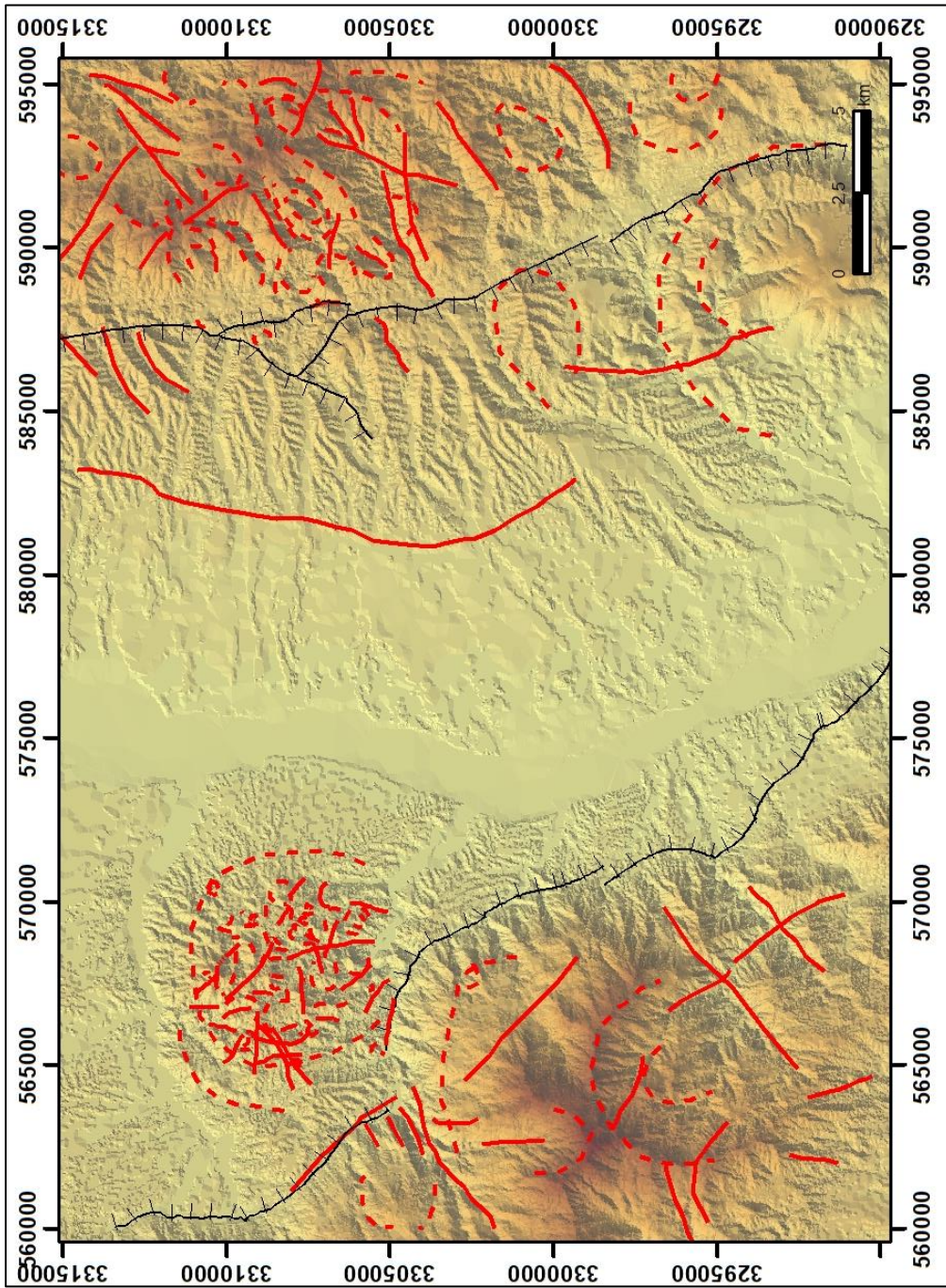


Figura 4.3. Modelo Digital de Elevación con la interpretación de curvilineamientos (línea discontinua) y lineamientos (línea sólida), al noroeste del área, se observa la mayor cantidad de estructuras.

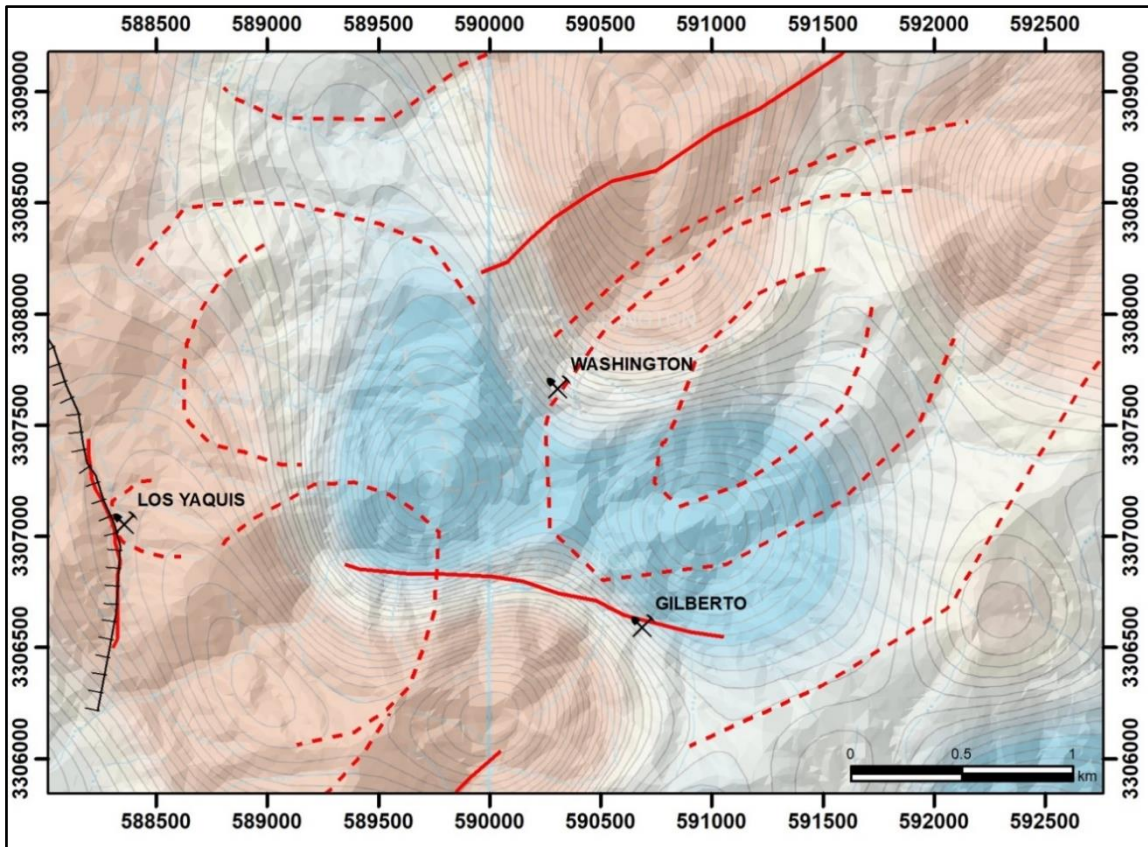


Figura 4.4. Mapa aeromagnético con el Modelo Digital de Elevación, donde se aprecia el traslape de curvilineamientos, lineamientos y zonas mineras, determinando las estructuras que se encuentran dentro de altos o bajos magnéticos. La mina Los Yaquis se localiza en un alto magnético, mientras que las minas Washington y Gilberto en un límite bipolar magnético.

## Capítulo 5. MARCO GEOLÓGICO Y TECTÓNICO

### 5.1. Marco Tectónico Regional

En la región del NW de Sonora se presentan diferentes estilos de deformación, los cuales marcan diferentes movimientos de la corteza en ciertas épocas. Durante el Jurásico Tardío y Cretácico Temprano en Sonora, parecen haber sido caracterizadas por la deformación compresional del post-arco a lo largo de la costa con una dirección NW en el noroeste de México y sur de Norte América. (Dickinson, 1981). En este capítulo se describe de manera general los eventos que dieron lugar a las unidades litológicas del norte del estado.

En el Mesozoico durante el Cretácico Temprano (Neocomiano – Aptiano) al oeste del área se encontraba el arco magmático Alisitos –Telolapán asociado a la subducción de la placa Farallón, la cual se encontraba subduciendo a un bloque continental (Rangin, 1982), probablemente separado del cratón norteamericano por una cuenca tras arco semejante a la cuenca Arperos en el centro del país, entre el terreno Guerrero y el mismo cratón (Tardy et al., 1994). Al este de la cuenca tras arco, la cuenca sedimentaria Chihuahua-Bisbee, relacionada con transgresiones marinas que provenía del Golfo de México donde se depositó el grupo Bisbee (Bilodeau 1983). Las rocas del Cretácico Inferior (Grupo Bisbee) que afloran en diferentes lugares del centro norte y noreste del estado de Sonora, fueron depositadas en ambientes marinos someros y fluvio-transicionales, y registran una evolución estructural en la región (Rodríguez-Castañeda. 1997). Estas rocas del Cretácico inferior, fueron descritas al norte del área estudiada por González-León (1978) y propone que el estilo de deformación está relacionado a tres tipos de eventos: compresional, domo y extensión. Para el noroeste de Sonora, Rangin (1977) sugiere para las rocas del Cretácico Temprano (Albiano - Cenomaniano) sufrieron una deformación de plegamiento, la cual se explica por medio de deslizamientos, y que ha sido ampliamente estudiada y confirmada en Sonora por Taliaferro (1933), Rangin (1977), González-León (1978) y Pubellier (1987), los que sugieren que esta



deformación compresiva representa un evento muy importante a nivel regional reconocida como la “Orogenia Mesocretácica” (Rangin, 1977).

En la etapa tardía del Cretácico Temprano en la cuenca Chihuahua-Bisbee, la transgresión marina se caracteriza por depósitos carbonatados en un ambiente de plataforma somera, estas rocas calizas contienen fósiles de *Orbitolina Texana sp.*, indicadores del Aptiano-Albiano. La regresión marina se inicia al final del Albiano, relacionado con el cierre de la cuenca tras-arco y la colisión del arco magmático Alisitos- Teloloapan con el continente (Rangin 1977).

En el Cretácico Tardío-Terciario Temprano, después de la colisión del arco Alisitos con el cratón norteamericano, sigue la subducción de la placa Farallón (Fries, 1962). Un nuevo arco magmático se desarrolla dentro del continente, lo que da lugar a los grandes cuerpos intrusivos en Sonora y un volcanismo andesítico que dio origen a la Formación Tarahumara (Wilson y Rocha, 1946). En la sierra Madre Occidental esta unidad se conoce como el Grupo Volcánico Inferior propuesto por McDowell y Clabaugh (1979). En el arco magmático se forman pequeñas cuencas lacustres aisladas, en las que se depositan horizontes calcáreos conformados por calizas, areniscas calcáreas y lutitas, intercaladas con el volcanismo andesítico. El emplazamiento de los grandes cuerpos intrusivos batolíticos de composición granítica- granodiorítica (Roldan, 1979) y las intrusiones posteriores de pequeños stocks de pórfidos andesíticos de Rancho Viejo y del pórfido riolítico de San Felipe, produjeron efectos importantes en la mineralización del área estudiada.

Entre los límites del Cretácico Tardío y el Terciario, se produce una fase de compresión regional, asociada a un cambio de las condiciones cinemáticas de la subducción, o la migración hacia el norte del bloque continental British Columbia (Baja BC) a lo largo del margen (Maxson and Tikoff, 1996).

En el Paleógeno–Neógeno, en especial en el Eoceno, las condiciones geodinámicas cambian, originando un volcanismo calcoalcalino de composición más félsica, posiblemente causado por una disminución de la velocidad de la subducción, este volcanismo es muy extenso en el Oligoceno expuesto a lo largo

de la Sierra Madre Occidental y corresponde al Supergrupo Volcánico Superior (McDowell y Clabaugh 1979).

Durante el Mioceno–Pleistoceno, coexiste un magmatismo calcoalcalino asociado a la subducción, que termina alrededor de 12 Ma. y un magmatismo máfico alcalino de tipo fisurar asociado a la extensión regional “ Basin and Range” (Cochemé, 1985).

Durante el Mioceno Temprano, se inició un episodio de fallamiento extensional, el cual continua hasta la fecha, originando la morfología actual del estado de Sonora, caracterizado por una serie de sierras y valles paralelos (*Basin and Range*). Dentro de estos valles se depositaron sedimentos clásticos continentales de origen fluvial y lacustre, con intercalaciones de volcanismo basáltico en niveles inferiores, que forman espesores de varios cientos de metros y que son conocidos con el nombre de Formación Báucarit. Un último evento de volcanismo dentro de los valles de Sonora ocurrió desde el Plioceno hasta el reciente, formando extensas mesetas de basalto. Los basaltos se encuentran intercalados con sedimentos lacustres en los alrededores de la población de Moctezuma.

## **5.2. Geología Regional**

En el área de estudio afloran rocas de edades del Cretácico Tardío al Holoceno, representadas por rocas sedimentarias, volcanosedimentarias y rocas ígneas extrusivas e intrusivas. Las rocas más antiguas corresponden a una secuencia de calizas y areniscas de estratificación media a fina del Cretácico inferior, de edad Aptiano-Albiano basada en la presencia de fósiles *Orbitolina texana* (Mead, et al, 1988) las cuales afloran como techos colgantes. En el Cretácico Temprano la Placa Farallón se subduce bajo la placa de Norteamérica generando un arco magmático, generando los batolitos peninsulares entre 140 y 105 Ma (Silver y Chappell, 1988). Para el Cretácico Tardío, el arco magmático migró hacia el este debido a un descenso en la inclinación del ángulo de subducción (Damon *et al.*, 1983a),

migrando la actividad magmática hacia el este del estado, el fin del magmatismo está marcado por un descenso en la convergencia de placas y el cambio del arco volcánico hacia el oeste, formando una cuenca tras arco (Damon et al, 1981). Este periodo se caracteriza por la intensa compresión, volcanismo, deformación y plutonismo en el oeste de Norteamérica. La deformación producida por una intensa compresión durante este periodo es conocida como Orogenia Laramie, y se manifiesta en las rocas sedimentarias del Paleozoico-Mesozoico. La actividad volcánica de este arco está representada por rocas de composición andesítica a dacítica, con algunos horizontes calcáreos, a esta secuencia volcánica a volcanoclástica se le nombra Formación Tarahumara. En el poblado de Huépac 12.5 kilómetros al noreste, dentro de esta última unidad se han reportado capas de pedernal con plantas fósiles acuáticas de agua dulce de Haloragaceae (subclase: Rosidae), *Tarahumara sophiae* del Cretácico Tardío, Campaniano-Maesstrichtiano (Hernández-Castillo y Cevallos-Ferriz, 1999) y diatomeas no marinas, fósiles que indican una edad de 70 Ma (Chacón-Baca, et al., 2002). También se han reportado microfósiles asociados con estromatolitos de esta misma edad (Campesi-Beraldi, et al., 2004).

La actividad ígnea durante esta época está constituida por grandes cuerpos batolíticos que afloran en los estados de Baja California, Sonora y Sinaloa, de composición granítica a granodiorítica, variando a cuarzodiorita y cuarzomonzodiorita. El periodo de intrusión de estos cuerpos presenta un rango de 90-40 Ma y son de gran importancia económica debido a su asociación con los depósitos de pórfidos cupríferos en Sonora (Sillitoe 1976), los cuales pertenecen a una de las provincias más importantes de pórfidos de Cu en el mundo. Recientemente ha sido fechada la mineralización relacionada a los pórfidos cupríferos más importantes de Sonora y Sinaloa por el métodos Re-Os en molibdenitas, estableciendo un rango de edad entre 50-61 Ma (Paleoceno–Eoceno Temprano) para la mineralización primaria (Barra et al., 2005; Del Rio-Salas 2017, entre otros). En la parte central de Sonora, en la sierra de Aconchi, se encuentra el cuerpo intrusivo aflorante más grande del estado con un área mayor a los 1000 km<sup>2</sup>, con un rumbo norte-noroeste, formando un bloque limitado por fallas normales,

esta sierra considerada de al menos dos pulsos magmáticos, uno laramídico (51.9-69.6 Ma) y otro del Terciario medio (36 Ma) (Roldán Quintana 1991). El Batolito de Aconchí que corresponde al pulso más joven, es de composición granítica peraluminosa, con la presencia de muscovita primaria y granate rojo, el cual tiene una edad K-Ar de  $35.96 \pm 0.70$  (Roldán Quintana, 1991). El intrusivo San Felipe de composición félsica que produjo la mineralización en el distrito del mismo nombre, que se encuentra en el borde noreste del batolito de Aconchí, y tiene una edad de  $50.47 \pm 1.6$  Ma (Roldán Quintana, 1979). Para el Terciario se reactiva la actividad ígnea con el volcanismo dominado por tobas y flujos de composición riodacítica de la unidad superior de la provincia de la Sierra Madre Occidental; esta unidad se encuentra confinada al intervalo de 34 - 27 Ma, sin embargo, la actividad persistió hasta los 23 Ma (McDowell y Clabaugh, 1979). Esta gran acumulación de volcanismo de composición félsica aflora al norte-noreste del área y se encuentra poco afectada por la tectónica extensional.

Para el Terciario medio se desarrolla en la región una tectónica extensional, generando una morfología de sierras y valles paralelos (*Basin and Range*) como zonas de extensión con fallas normales delimitando las sierras y cuencas de graben y medio-graben rellenas por areniscas y conglomerados policmíticos poco consolidados (Formación Báucarit), en algunos lugares hacia la parte superior, con flujos volcánicos de composición máfica (basalto – andesita) intercalados.

El Cuaternario está representado por potentes depósitos de conglomerados polimíticos pobremente consolidados del Pleistoceno, que rellenan depresiones formando extensos valles. El aluvión del Holoceno está depositado a lo largo cauces de ríos y arroyos, muchos de ellos dominados por fallas.

### **5.3. Geología Local**

Para la elaboración del mapa Geológico y descripción de las unidades se utilizó la nomenclatura del Servicio Geológico Mexicano por considerarla la más idónea para este trabajo.

#### **5.3.1. MESOZOICO**

##### **5.3.1.1. Cretácico Inferior**

Las rocas más antiguas que afloran en el área de estudio (Figuro 5.1) corresponden a una secuencia marina del Cretácico inferior, constituida por calizas y areniscas de estratificación media a fina, que aflora como techos colgantes en los alrededores de la Mina Santa Rosa.

##### **Calizas-Areniscas (Ki Cz-Ar)**

Esta unidad está representada por caliza fosilífera de color gris claro a café amarillento, que intemperiza a gris claro, compuesta de una matriz muy fina con abundantes fósiles de *Orbitolina Texana sp*, fósil índice del Aptiano-Albiano, y algunas intercalaciones areno-arcillosas. La textura de la matriz y la presencia de foraminíferos bentónicos, sugiere un ambiente marino somero nerítico de plataforma, de baja energía. En el pórfido riolítico de San Felipe, el techo colgante que aflora de esta unidad, tiene un espesor máximo de 50 metros en donde produce pequeños cuerpos de skarn de Ag, Pb, Zn, Cu, asociados a metasomatismo de metamorfismo de contacto. Esta unidad puede ser correlacionable con la Formación Caliza Mural del Grupo Bisbee, definido en el noreste de Sonora.

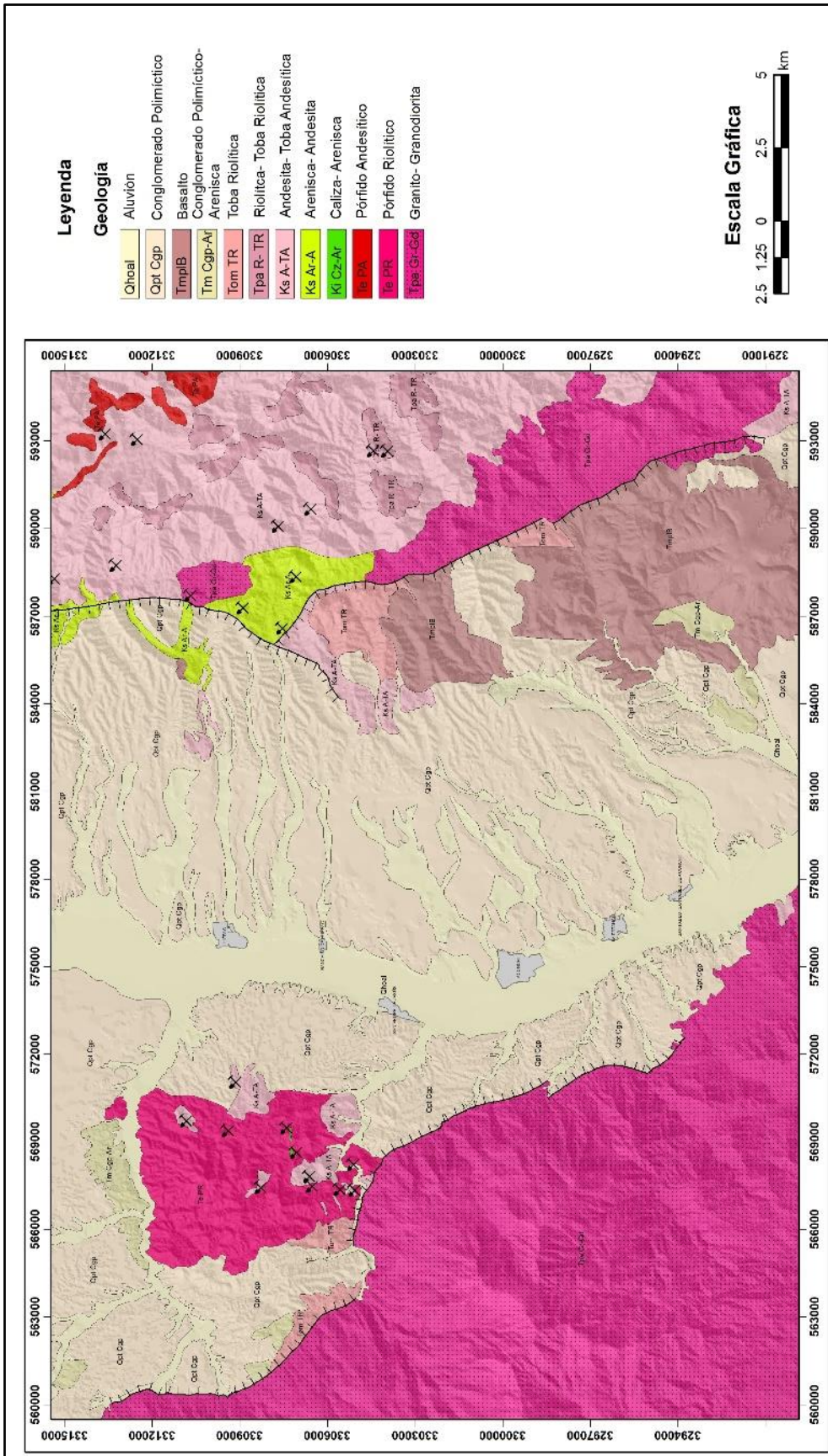


Figura 5. 1. Mapa Geológico del área de estudio.

### 5.3.1.2. Cretácico Superior

El Cretácico superior está representado por las unidades litológicas Ks Ar-A y Ks A-Ta, que afloran en la porción este y centro del área (Figura 5.1). La unidad inferior Ks Ar-A es una secuencia volcanosedimentaria constituida por areniscas carbonatadas, intercaladas con andesitas, calizas y lutitas. Al este de Huépac, se observan lentes de pedernal de agua dulce con fósiles recristalizados de microfósiles de plantas acuáticas Haloragaceae, *Tarahumara sophiae*, y diatomeas no marinas con edades entre los 70 Ma. La unidad superior Ks A-Ta, consiste de una alternancia de andesitas y tobas andesíticas, que gradúan hacia la cima a riodacitas y dacitas. Esta unidad es una de las más extensas y es equivalente a la parte media-superior de la Formación Tarahumara (Wilson y Rocha, 1946).

#### **Areniscas-Andesitas (Ks Ar-A)**

Esta unidad aflora principalmente en la porción NE del área en las inmediaciones de la Mina Washington (Figura 5.1), generalmente en zonas topográficamente bajas y en zonas con pendientes suaves, su contacto es discordante con las calizas del cretácico inferior y sobreyace concordantemente con la unidad Ks A-Ta. Consiste de una alternancia de areniscas carbonatadas y tobáceas, lutitas con pedernal negro, lodolitas e intercalaciones de horizontes de calizas grises y calizas con fierro de color rojizo. Estas rocas sedimentarias se encuentran intercaladas con rocas volcánicas de composición andesítica con intensa alteración potásica y traquiandesítica con alteración potásica. Su ambiente de depósito es lacustre en cuencas endorreicas pequeñas, asociadas con depresiones originadas durante la evolución del arco magmático del Cretácico Superior

En la unidad Ks Ar –A se localizan varios prospectos y zonas de alteración con intensa oxidación, silicificación y argilización, como el prospecto minero La Parcita que es una zona de brechas de cuarzo-turmalina en rocas andesíticas-dacíticas con fuerte silicificación y mineralización de Cu, Ag y Pb.



## Andesitas-Tobas andesíticas (Ks A-TA)

Esta unidad se encuentra ampliamente distribuida, y aflora en la porción central del área en los alrededores de las minas Santa Rosa, La Ventana, La Plomosa, Artemisa y San Felipe, siendo la segunda con mayor extensión. Es concordante con la unidad Ks Ar-A y es sobreyacida concordantemente por las rocas volcánicas félsicas de la unidad Tpa R-TR (Figura 5.2). Se compone de una alternancia de tobas de flujo, tobas líticas, tobas cristalinas, brechas, flujos y aglomerados andesíticos pseudoestratificados. En superficie, esta unidad es de color gris oscuro a claro, con intemperismo gris claro, y su ambiente de depósito es continental. Dentro de esta secuencia se tienen prospectos mineros como son Santa Rosa, La Ventana, San Felipe, La Plomosa, La Colorada y Washington, siendo la mineralización de Au, Pb, Ag, Mb, Zn y Cu, la cual se encuentra en una brecha “pipe” con alteración potásica, propilítica y cuarzo-sericita.



Figura 5. 2. Fotografía mirando al NE del área, donde se puede apreciar Unidad Tpa R- TR cubriendo concordantemente a la unidad Ks A- TA.



### 5.3.2. TERCIARIO

En el Paleoceno se producen rocas volcánicas félsicas Tpa R-TR de composición riolítica, tobas riolíticas y riódacíticas, que afloran formando mesetas con escarpes al este del área y como pequeños cuerpos alargados, con alteración hidrotermal fílica-propilítica, por lo que se le asigna una edad prebatolítica.

Para el Paleoceno-Eoceno se produce el emplazamiento de grandes cuerpos intrusivos Tpa Gr-Gd (67 a 55 Ma) que forman el batolito de Sonora, constituido por rocas intrusivas calcoalcalinas de composición granítica- granodiorítica, y que en el área estudiada afloran en la porción sur y centro con una orientación NW-SE (Figura 5.1). Dentro de esta unidad se incluyen cuerpos pegmatíticos que afloran como diques y otros cuerpos intrusivos pequeños en la Sierra de Aconchi. El intrusivo granítico presenta una textura hipidiomórfica granular con cuarzo, perfitina, plagioclasa (andesina), biotita, hornblenda, sericita y clorita.

El contacto de la Tpa Gr-Gd con los conglomerados poco consolidados del pleistoceno son por fallas normales. Este evento magmático es el más antiguo en el área y afecta a todas las unidades anteriores. Un evento intrusivo más joven se presenta en el distrito minero de San Felipe, donde tiene lugar la intrusión de un pórfido riolítico (Te PR), fechado en 51 Ma (Damon et al, 1983). Posterior a este evento se tiene conocimiento de la intrusión de cuerpos magmáticos a manera de troncos o stocks de un granito peraluminoso de muscovita y biotita fechado en 36 Ma (Damon y Roldán 1974), que se emplaza dentro de las rocas batolíticas, y que altera a las rocas volcánicas y volcanosedimentarias del Cretácico Superior-Terciario inferior.

En el Oligoceno-Mioceno se presenta la actividad volcánica félsica de la unidad Tom-TR, constituida por tobas riolíticas y aglomerados riolíticos que cubren discordantemente las rocas volcánicas e intrusivas del Cretácico Superior-Terciario (Tpa R-TR y Tpa Gr-Gd). Las riolitas petrográficamente contienen abundante vidrio, feldespato potásico alterado a sericita, cuarzo en general corroído, poca biotita y algunos fragmentos de líticos.

El Mioceno está representado por una unidad constituida de conglomerado polimíctico bien consolidado de color café claro a café amarillento, con fragmentos subredondeados a angulosos, e intercalación de areniscas, limos y arcillas, llamada Formación Báucarit (Tm Cgp-Ar). En algunas regiones, hacia la parte superior de la formación se presentan derrames de basalto interestratificados con los conglomerados. Esta unidad cubre discordantemente los derrames riolíticos y está cubierta discordantemente por las unidades clásticas más recientes. El espesor de la Formación Báucarit se estima alrededor de 250 m, y es correlacionable con el Conglomerado Gila de Arizona.

En el Mioceno-Plioceno (Tmpl B) se reactiva la actividad volcánica presentándose potentes flujos de composición basáltica, que cubren discordantemente a la Formación Báucarit y a rocas intrusivas y volcánicas. Esta unidad litológica aflora en la parte este del área estudiada.

### **Riolitas-Tobas Riolíticas (Tpa R-TR)**

Es una unidad compuesta por derrames riolíticos, tobas líticas, tobas riolíticas y aglomerados riolíticos a riolíticos, y que es correlacionable con la parte superior de la Formación Tarahumara, su espesor se estima en 300 m aproximadamente, sobreyace concordantemente a la unidad Ks A-Ta, y es cubierta discordantemente por la unidad Tom TR del Oligoceno.

Las tobas riolíticas presentan una textura porfídica con matriz microcristalina, que intemperiza a un color blanco ligeramente naranja (Figura 5.3). La textura y composición de las rocas sugieren una intensa actividad volcánica félsica del arco magmático con intrusiones de pequeños cuerpos porfídicos y diques riolíticos que cortan, alteran y mineralizan a las unidades volcanosedimentarias de la unidad Ks Ar-A.

Esta unidad de rocas volcánicas félsicas aloja cuerpos mineralizados como son: la Bombita, La Bonita y La Sonorense de Cu, Pb, Zn, los cuales están asociados a zonas de fracturamiento intenso con rumbo N40°E y N15°W.

### **Tobas Riolíticas (Tom TR)**

Esta unidad está constituida por flujos de riolitas porfídicas, riolitas fluidales, tobas félsicas soldadas y aglomerados, cubren discordantemente a la unidad Tpa R-TR y a las rocas intrusivas de composición granítico-granodiorítico (Tpa Gr-Gd). Estas rocas se formaron probablemente en las últimas etapas magmáticas asociadas a la subducción de la placa Farallón (Mac Dowell y Clabaugh, 1981), y no presenta interés económico por ser postbatolítica.



Figura 5. 3. Fotografía de un afloramiento al SW de la mina Washington de rocas volcánicas félsicas de la unidad Tpa R- TR, donde se observa una falla normal entre la misma unidad.

### **Conglomerado polimíctico-Areniscas (Tm Cgp-Ar)**

Esta unidad es conocida como Formación Báucarit (King, 1939) y está representada por una secuencia de conglomerado y arenisca bien consolidados con horizontes

volcánicos interestratificados, se encuentra distribuida al noroeste y sureste de área estudiada, depositándose zonas topográficamente bajas. La formación Báucarit está constituida por horizontes de areniscas, conglomerados y hacia la parte superior por rocas volcánicas interestratificadas de composición basáltica. Los conglomerados son polimíctico mal clasificados de color café claro a amarillento, con tonos gris oscuro, sus clastos son subredondeados a angulosos, de rocas volcánicas y hacia la cima se tienen de composición granítica a granodiorítica con locales clastos de rocas sedimentarias y metamórficas. Esta formación se estima que tiene un espesor aproximado entre 100 y 120 metros y sobreyacen discordantemente a las rocas volcánicas del Cretácico-Terciario (Tom TR, Ks Ar-A y Tpa Gr-Gd).

El ambiente corresponde a sedimentos depositados en depresiones alargadas, con rumbo prácticamente norte-sur o noroeste-sureste, originadas durante la distensión terciaria.

Esta formación puede presentar interés económico para depósitos de placer, no metálicos, como es el yacimiento de calcita óptica que se encuentra al este del Ranchito de Huépac.

### **Basaltos (Tmpl B)**

Consisten de una serie de flujos de basaltos (Mioceno-Plioceno) de color café oscuro a rojizo, gris oscuro a negro. Petrográficamente se clasificó como basalto de olivino, con textura microlítica fluidal y vesicular, con vesículas parcialmente rellenas de zeolitas, y con olivino alterado a iddingsita. Su espesor se estima mayor de 400 metros.

Los derrames de basalto cubren discordantemente a la Formación Báucarit y a las rocas intrusivas del Terciario (Tpa Gr-Gd).

### **5.3.3. CUATERNARIO**

Durante el Pleistoceno se deposita potentes espesores de unidades sedimentarias no consolidadas (Qpt-Cgp), son de color claro con gravas angulares a subangulares

de fragmentos de rocas intrusivas, volcánicas y cuarzo, que rellenan depresiones y valles que presentan un drenaje dendrítico, combinado con subangular con arroyos largos y poco sinuosos.

Finalmente en el Holoceno (Qhoal) se tienen depósitos de arenas, gravas y arcillas, que se depositan a lo largo del Río Sonora, rellinando las partes más bajas de los valles.

### **Gravas-Arenas (Qpt cgp)**

Está constituida por un conjunto de gravas mal consolidadas y mal clasificadas, la litología consiste de fragmentos de andesitas, basaltos y rocas intrusivas, que cubren discordantemente a todas las rocas preexistentes. Morfológicamente tienden a formar cordones alargados, con un tono en fotografía aérea de color rosa marrón claro. Estos sedimentos clásticos son depósitos de pie de monte, mostrando un drenaje trenzado característico, se encuentra ampliamente distribuida a los lados de la cuenca del río Sonora, donde la pendiente disminuye y la carga aumenta.

### **Aluvión Qhoal**

Constituye el depósito más joven, consistente de arena, gravas y arcillas, de diferente tamaño, su afloramiento se localiza en el valle del río Sonora, rellinando cauces de arroyos, ríos y zonas topográficas bajas.

## **5.3.4 ROCAS IGNEAS INTRUSIVAS**

### **5.3.4.1. CRETÁCICO SUPERIOR-PALEOCENO**

#### **Granito-Granodiorita (Tpa Gr-Gd)**

Esta unidad está ampliamente distribuida en el área, en los cerros Navinanchi, El Chimal, Los Yaquis que forman parte de la Sierra de Aconchi y hacia la porción este con un rumbo NW-SE. Su litología son rocas intrusivas de composición granítico-granodiorítica, de color gris claro a gris rosáceo (Figura 5.4), con una textura equigranular fanerítica, compuesta de plagioclasas de composición oligoclasa-



andesina, cuarzo y feldespato potásico, en una matriz de cuarzo, feldespatos, biotita y hornblenda, como accesorios está la piritita y esfena. Petrográficamente se clasificó como granodiorita de biotita, variando a cuarzomonzonita (Figura 5.5). Estas rocas son intrusionadas por diques aplíticos, pegmatíticos y lamprofídicos (Figura 5.7). El intrusivo Tpa Gr-Gd intrusiona a la unidad volcanosedimentaria del Cretácico Superior-Terciario Inferior, desarrollando zonas con silicificación y oxidación. Esta unidad es cubierta discordantemente por las tobas riolíticas terciarias, la Formación Báucarit y los basaltos del Mioceno-Pleisoceno. El origen de esta unidad de rocas calcoalcalinas se considera relacionada con el magmatismo producto de la subducción de la placa Farallón bajo la placa de Norteamérica



Figura 5. 4. Fotografía de Afloramiento de granodiorita aflorando sobre el Arroyo Las Cabecitas.

a fines del Cretácico e inicios del Terciario (Damon et al., 1964). La edad de este intrusivo tiene un rango de 69-51 Ma (Roldán-Quintana 1991), y es correlacionable con los cuerpos batolíticos de esta edad que afloran ampliamente en Sonora.

### **Pórfido Andesítico (Te-PA)**

Esta unidad aflora en la porción noreste del área, a manera de stocks en El Fresnal, La Bellota y Puerto San José. Es una roca intrusiva hipabisal de color gris claro a verdoso con tonos amarillentos, petrográficamente se clasificó como andesita porfídica, presenta una textura porfídica con fenocristales de plagioclasas y hornblenda, en una matriz microcristalina de plagioclasas de composición andesina y minerales ferromagnesianos (hornblenda y biotita), con alteración a clorita y hematita. Esta unidad intrusiona a la unidad volcanosedimentaria de Cretácico Superior-Terciario Inferior (Ks A-Ta), produciendo zonas de alteración propilitica y silicificación en los contactos, existen algunos prospectos mineros de Cu, Ag y Pb. El origen de estos pórfidos andesíticos, según Damon et al. (1964), fue en la etapa final del magmatismo calcoalcalino asociado a la subducción de la placa Farallón durante el Cretácico Tardío- Terciario Temprano.

### **Pórfido Riolítico (Te PR)**

Esta unidad está expuesta en la porción noroeste, en San Felipe, Hueverachi, La Ventana, La Mendocilla y La Colorada. Corresponde a una roca de color rosa amarillento, textura porfídica compuesta de fenocristales de cuarzo, plagioclasas, (andesina), feldespato potásico, biotita y hornblenda, rodeados de cuarzo microcristalino, con una matriz microcristalina (55%) de cuarzo y feldespato potásico, presentando principalmente silicificación y propilitización. Esta roca es importante porque intrusiona y mineraliza a las rocas del Cretácico superior-Terciario Inferior y a pequeños techos colgantes del Cretácico Inferior, dando lugar al distrito de San Felipe, donde se localizan minas de Pb, Cu, Zn. Su origen hipabisal corresponde a una etapa tardía del magmatismo asociado a la zona de subducción de la placa Farallón, se le asigna una edad del Eoceno medio



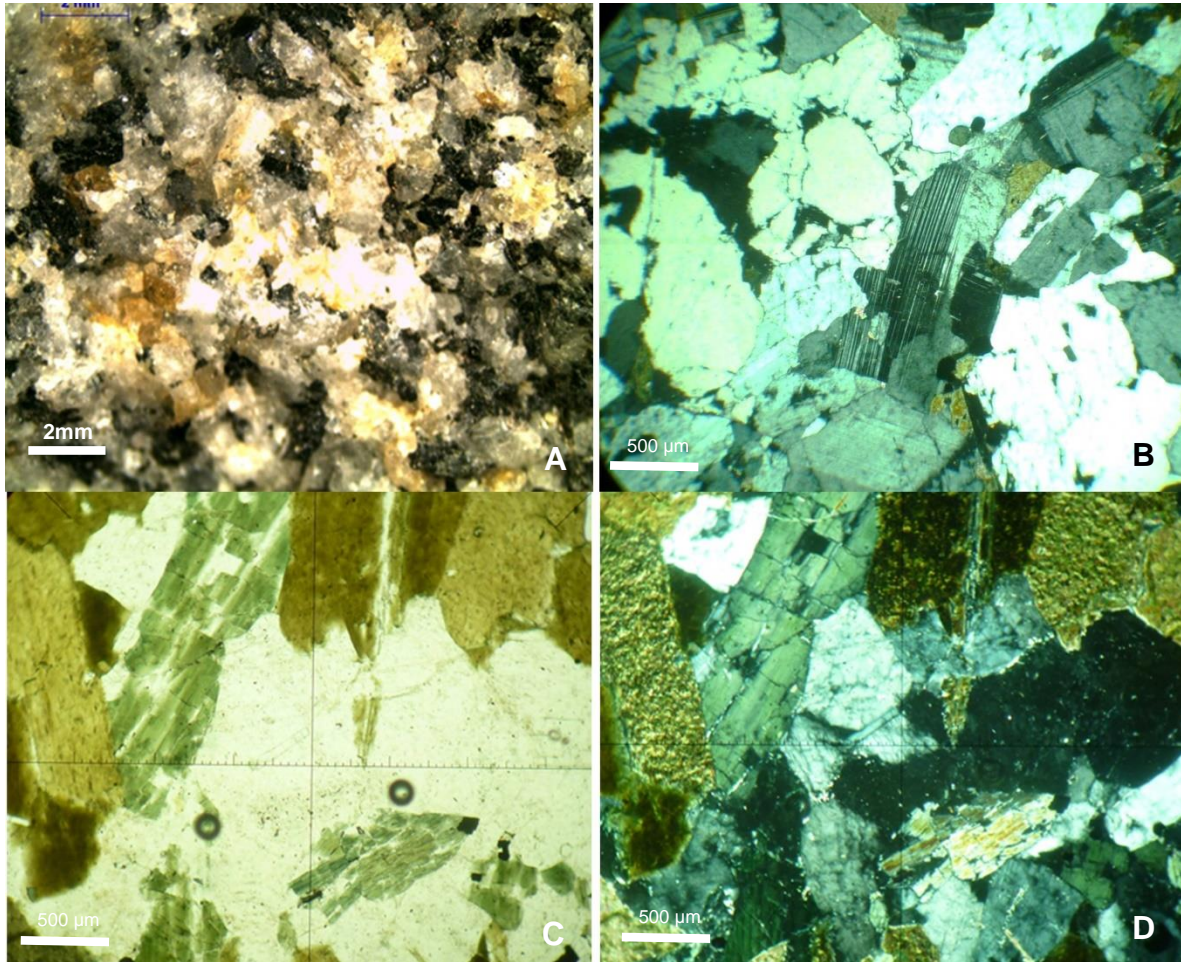


Figura 5. 5. Fotografías y microfotografías mostrando los diferentes tipos de rocas ígneas que afloran en el Batolito de Aconchi. En A, se aprecia en muestra de mano la textura de grano grueso en Granodiorita, con fenocristales de cuarzo, plagioclasa y minerales ferromagnesianos. En B microfotografía de A, tomada con 4X y NX, se observa textura hipidiomórfica granular, cuarzo 25% (0.25-0.7mm), plagioclasas 40% de composición andesina (0.65mm), feldespato potásico 20%, con pocos minerales ferromagnesianos hornblenda y biotita (0.20 mm). Microfotografías C y D, Granodiorita con textura holocrystalina, tomada en LN y 4X, en la parte central se observa cuarzo, feldespato potásico, plagioclasas de composición intermedia (andesina-labradorita), laminillas de biotita (café) y clinocloro (verde). Microfotografía D, misma roca tomada con NX, donde se puede apreciar la diferencia entre biotita (café dorado) y clinocloro por su color de interferencia (Figura 4.6), su tamaño varía de 2.5 a 4 mm de longitud.



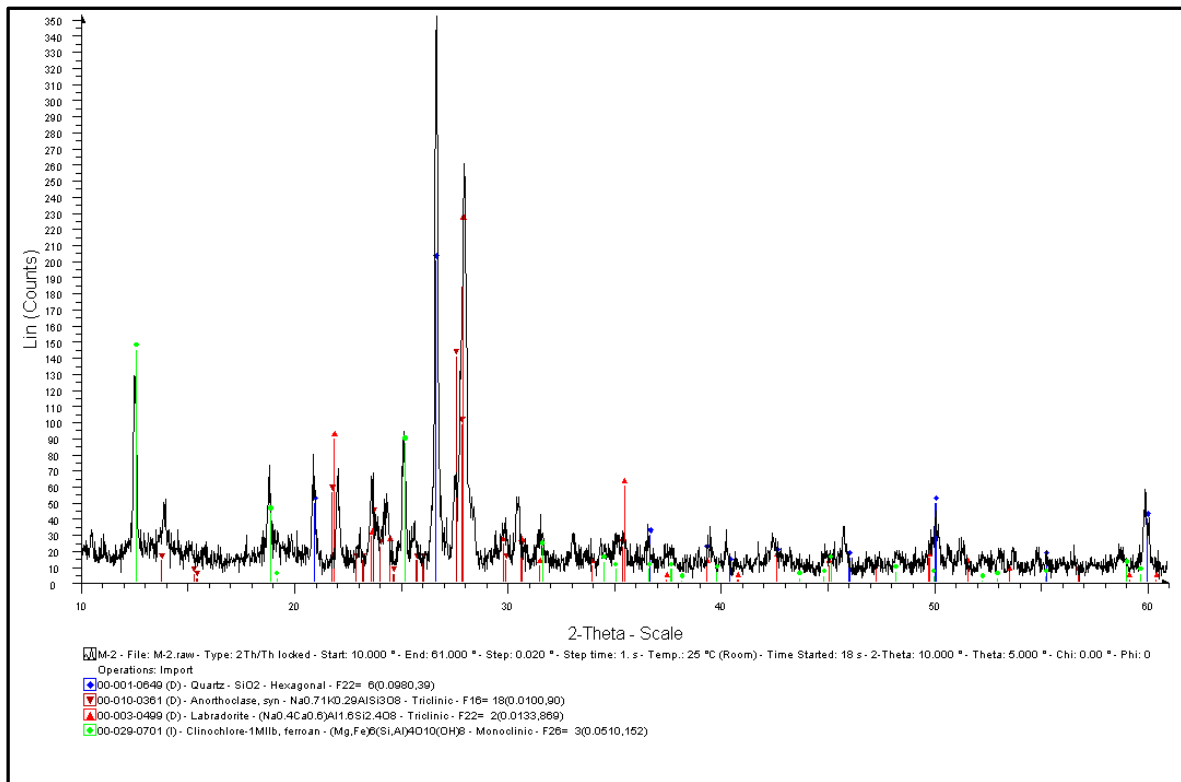


Figura 5. 6. Espectro de análisis de Difracción de rayos X de la microfotografía C de Granodiorita para determinar el tipo de ferromagnesiano (clinocllore).

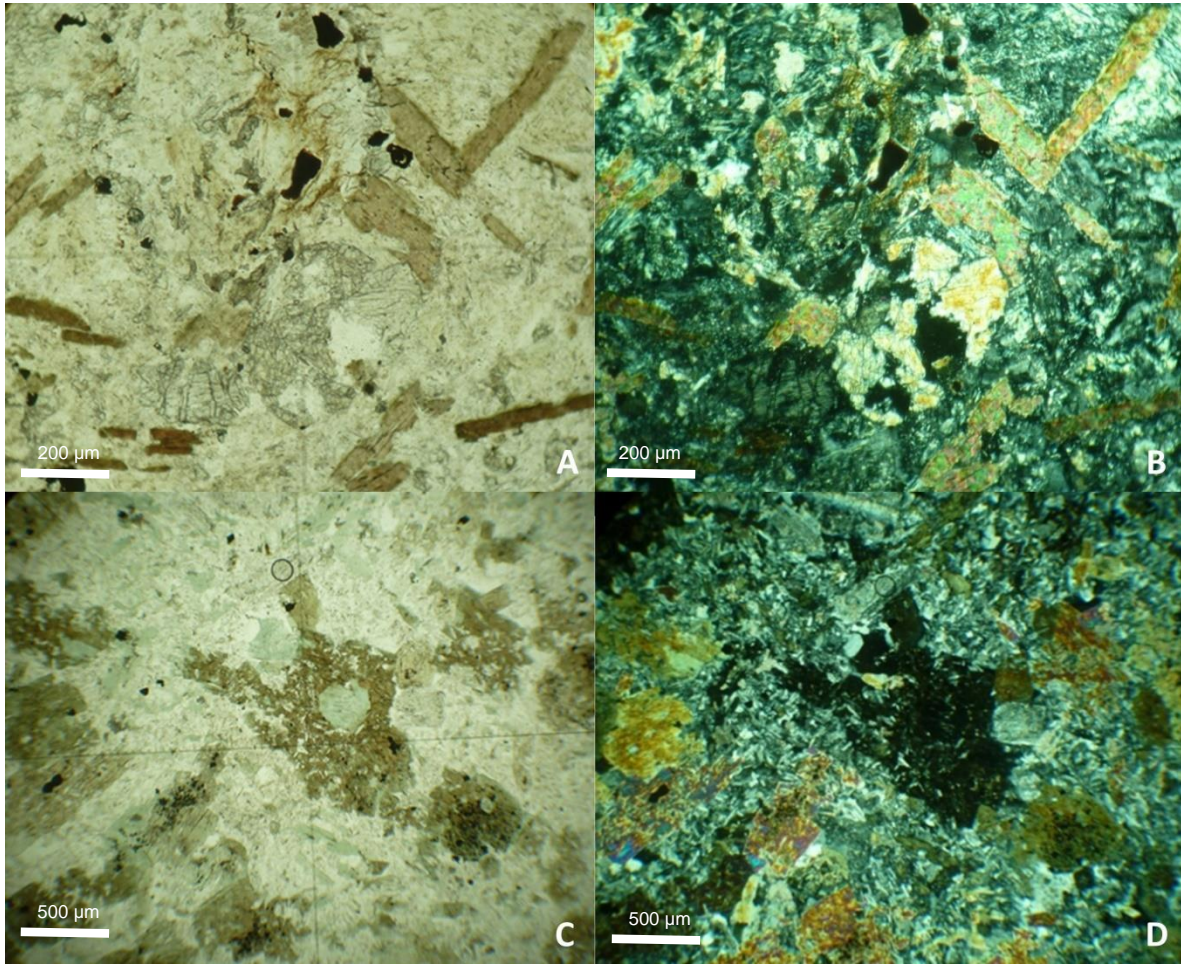


Figura 5. 7. A, B Lampróido Kersantita, tomado con 10X, textura panidiomórfica granular, cristal euhedral de augita en el centro, cristales alargados de flogopita (café pálido) la presencia de este mineral se confirmó con difracción de rayos X (Figura 4.8) y biotita. Figura B, misma lamina con NX. Figuras C y D Lampróido Espesartita, tomado con 4X y LN, se observa una matriz afieltrada de andesina, cuarzo y hornblenda acicular variedad pargasita identificada con difracción de rayos X (Figura 4.9), en la Figura D tomada con NX, se observan fenocristales de hornblenda y relictos de augita completamente alterados a clorita.

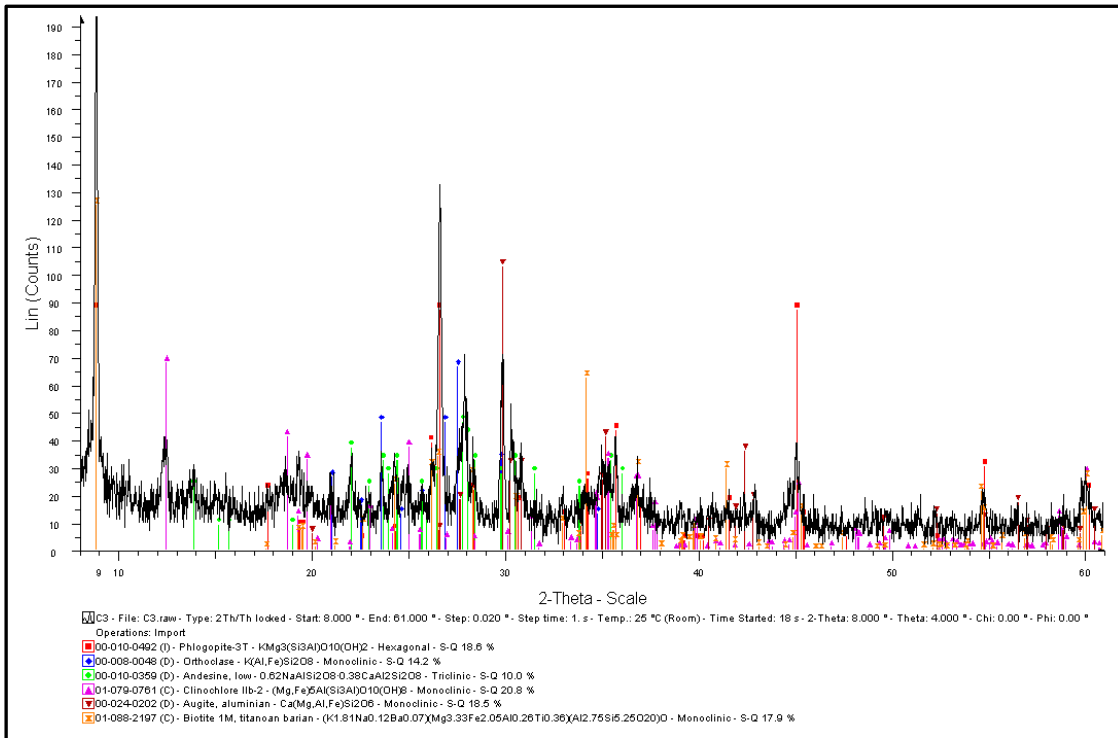


Figura 5. 8. Espectro de análisis de Difracción de rayos X de la muestra A Lampréfido Kersantita.

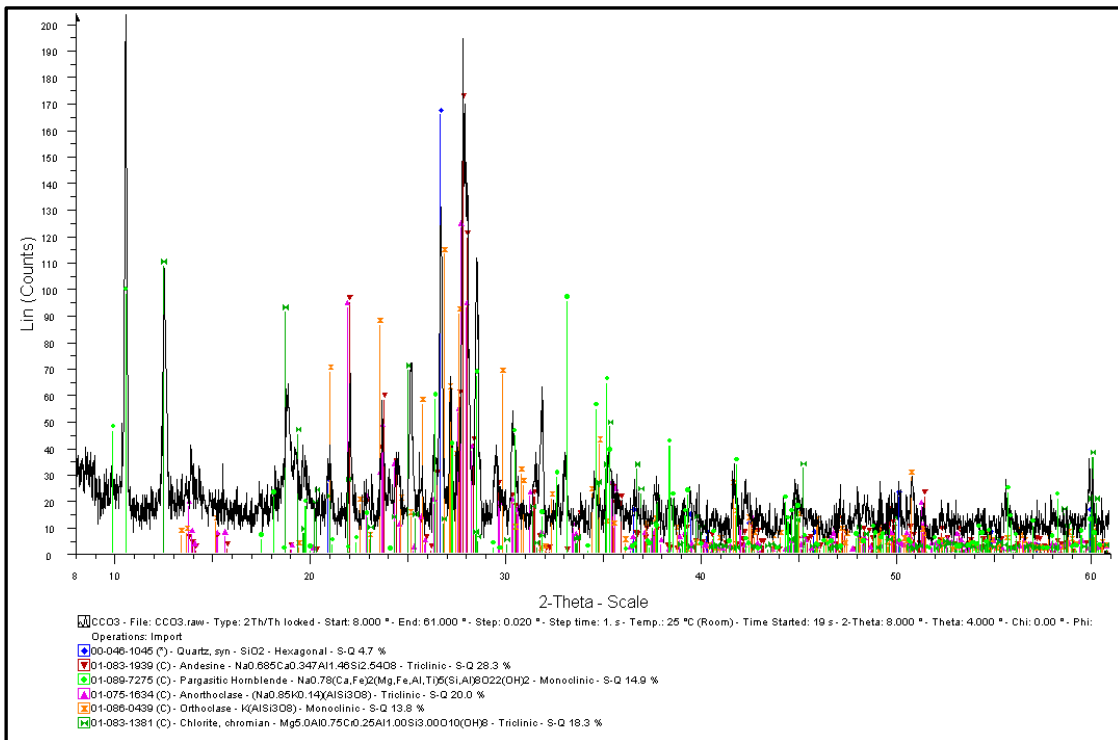


Figura 5. 9. Espectro de análisis de Difracción de rayos X de la muestra C Lampréfido Espersantita.

## **5.4. Geología Estructural**

Las características estructurales del área están marcadas por dos sistemas principales de fallas, definidos en base a interpretación de imágenes satelitales, definiendo sus rumbos NNW-SSE y NE-SW, asociadas a una etapa distensiva del Terciario, a la que están asociadas los sistemas de fallas normales y bloques basculados de rocas intrusivas, sedimentarias y volcánicas. Dentro del área muchos de los contactos son por falla sobre todo con las rocas del Cretácico Superior-Terciario, las cuales presentan rumbos N30°W y los contactos con el Neógeno-Cuaternario son también contacto por falla con rumbo prácticamente N-S (Figura 5.10).

El emplazamiento de los grandes cuerpos intrusivos batolíticos, posiblemente hayan enmascarado rasgos estructurales en las rocas cretácicas del área; estos grandes cuerpos intrusivos, desarrollaron curvilineamientos semicirculares los cuales favorecieron la movilización de soluciones mineralizantes que produjeron zonas prospectivas de gran interés en Sonora.

### **5.4.1. Características estructurales “Distrito Minero San Felipe”**

El distrito minero de San Felipe, presenta tres sistemas de fallas principalmente NE-SW, NW-SE y E-W. Las estructuras presentes en este distrito, son posteriores al batolito de Aconchí y anteriores al depósito de la Formación Báucarit que se encuentran al NE del área de estudio. Estas mismas producen fallas NE-SW que son cortadas por grandes fallas NW-SE y en menor proporción por fallas con un rumbo N-S. Las estructuras que presentan un mayor interés económico son los lineamientos con rumbo prácticamente E-W, por ser las que controlan el emplazamiento de la mineralización, esta característica se observa principalmente en las minas de San Felipe, La Ventana y La Mendocilla.



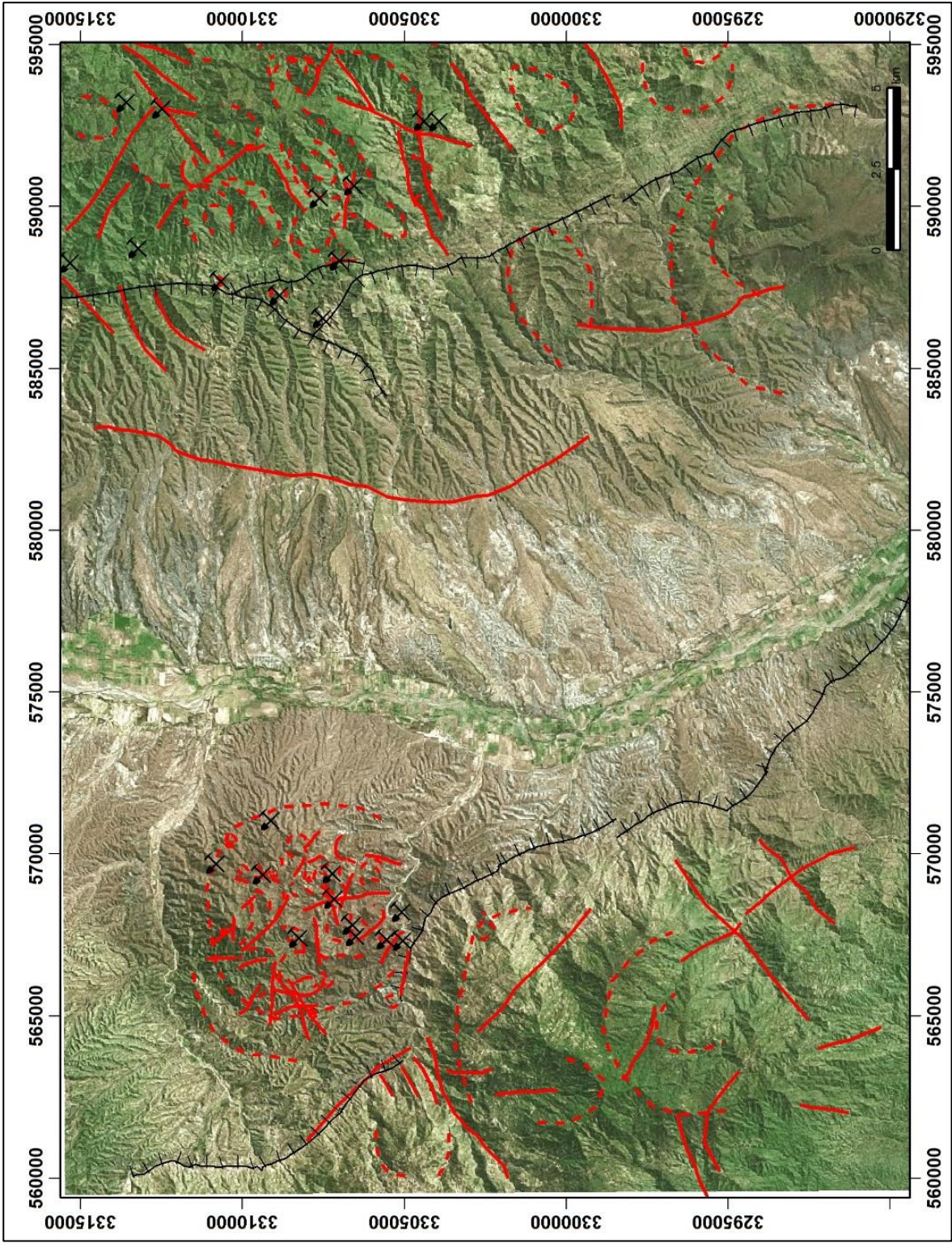


Figura 5. 10. Mapa de Interpretación de estructuras a partir de imagen satelital.

La mina de Santa Rosa perteneciente al Distrito de San Felipe, es una de las obras mineras más pequeñas y su principal estructura mineralizada es un lineamiento con dirección NW-SE, buzando hacia el NE; mientras que en las minas Plomosa, Artemisa y Las Lamas, su principal estructura responsable de la mineralización es NE-SW, como se observa en el noroeste de la figura 5.10.

#### **5.4.2. Características estructurales Distrito Minero Washington**

El distrito esta principalmente asociado a brechas hidrotermales que presenta tres sistemas principales de fallas con rumbo N-S, NW-SE y NE-SW. En la porción NE de la mina Washington se encuentra aflorando un cuerpo granodiorítico que intrusión a las unidades Ks A-TA y Ks Ar-A, a las cuales deforma y produce fallas normales con rumbos N-S y NE-SW. Además, se tienen lineamientos con rumbo ligeramente hacia el NW en las minas de Washington y Gilberto. Las rocas volcanosedimentarias que se tienen en este distrito se encuentran principalmente alineadas NW-SE con buzamientos hacia SW, aunque en algunos afloramientos se puede presentar cambios en su rumbo, produciendo lineamientos NE-SW con buzamientos NW. Estos afloramientos no son continuos, y se encuentran acuñándose en las rocas volcánicas de Ks A-TA (Figura 5.1).

#### **5.4.3. Características estructurales Batolito de Aconchí**

Este cuerpo batolítico se encuentra en contacto por falla normal de una gran extensión con rumbo NW-SE, cortado por fallas y fracturas más pequeñas con rumbos N20°-40°W y N-S donde se emplazan diques pegmatíticos, andesíticos y aplíticos. Al norte se encuentra en contacto por falla normal, con las unidades Tom TR, Te PR y Ks A- TA y hacia el E, también se presenta una falla normal en el contacto con el conglomerado polimíctico (Qpt Cgp). Este cuerpo intrusivo presenta una serie de fallas y fracturas, principalmente NW-SE con buzamientos hacia el NE o SW, al igual que una serie de lineamientos con rumbos preferenciales NW-SE,



desplazados por estructuras NE-SW. Las vetas de importancia económica se encuentran en lineamientos orientados NW-SE como en la mina La Guija Blanca (cuarzo y oro).

## **5.5. Interpretación de Estructuras y Curvilineamientos**

La interpretación de estructuras se hizo utilizando principalmente el programa ArcGis a partir de interpretación de imágenes satelitales SAS Planet (Google Earth), Modelos Digital de Elevación y mapas aeromagnéticos de reducción al polo (SGM, 2011), donde se tomaron en cuenta los rasgos estructurales, geológicos y magnéticos más relevantes. En el área de estudio se reconocieron lineamientos profundos y secundarios, así como curvilineamientos. Los lineamientos profundos con rumbos principalmente NW- SE y lineamientos secundarios con rumbos predominantes NE-SW.

Las estructuras semicirculares y curvilineamientos se encuentran bien definidos en los distritos mineros, por lo que estas zonas son atribuibles a cuerpos intrusivos de forma cómica que se manifiestan en superficie o en el interior de la corteza, la mayoría de estas estructuras son intersectadas por lineamientos regionales NW-SE, NE-SW y E-W. (Figura 5.11).

### **5.5.1. Distrito San Felipe**

En el Distrito Minero de San Felipe, las estructuras semicirculares tienen un diámetro de 0.2 a 6 kilómetros con lineamientos principalmente NE-SW que intersectan a estas estructuras (Figura 5.12). En el mapa aeromagnético de campo total con reducción al polo, se identificaron en la parte central-noreste los altos magnéticos más representativos de esta zona, estos se localizan en el Pórfido Riolítico (Te PR). Los dos altos magnéticos, coinciden con dos curvilineamientos donde se encuentran las minas San Rafa y Daniel. La mina San Rafa se localiza en una estructura elíptica de aproximadamente 0.3 km y la mina Daniel coincide

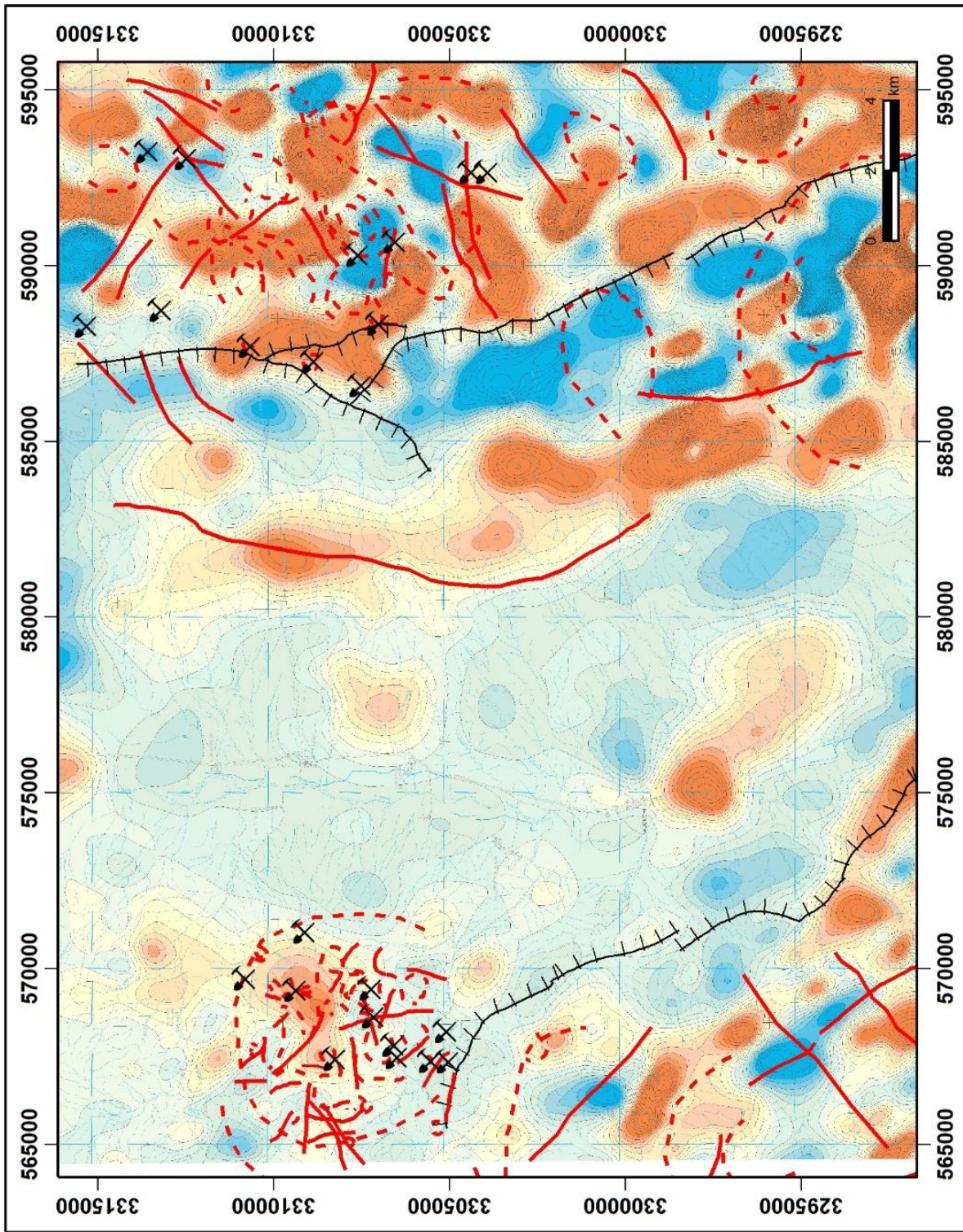


Figura 5. 11. Mapa aeromagnéticos de campo total con reducción al polo con los lineamientos y curvilineamientos del área (Modificado de SGM 2011.)



con el alto magnético de mayor tamaño, una estructura semicircular externa de 1 km y otra interna más pequeña de 0.25 km, siendo la mineralización principal de cobre, plomo y zinc, en algunas zonas se presenta oro y plata. La mina San Felipe presenta un curvilineamiento de 0.22 km de diámetro dentro del pórfido riolítico. La mina Plomosa limita con el borde E del curvilineamiento de mayor tamaño 6 km de diámetro, en andesitas y tobas andesíticas con una mineralización de Pb, Zn y Cu (Figura 5.13 y Figura 5.14).

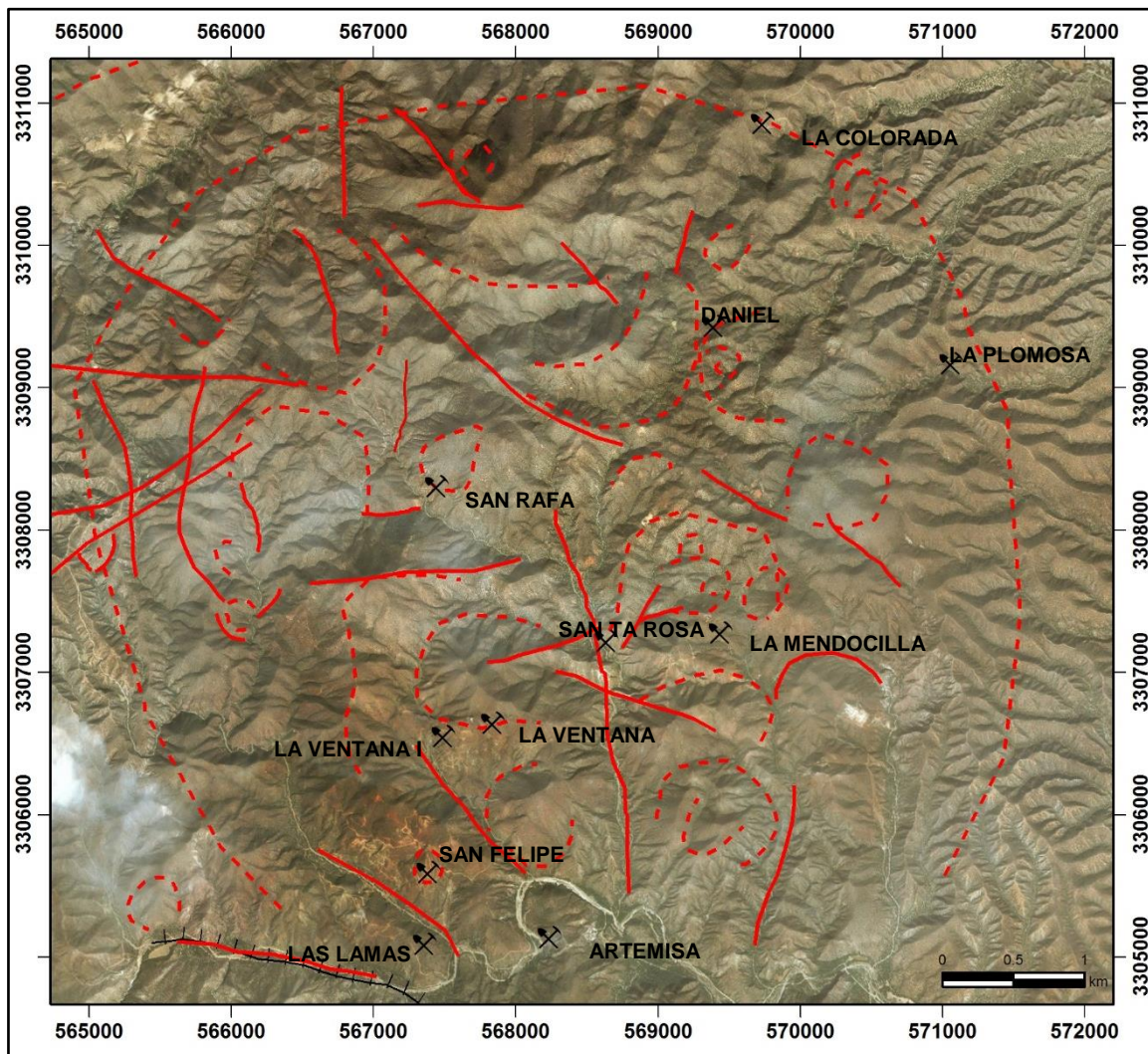


Figura 5. 12. Imagen de satélite con los curvilineamientos, lineamientos y minas del Distrito de San Felipe.

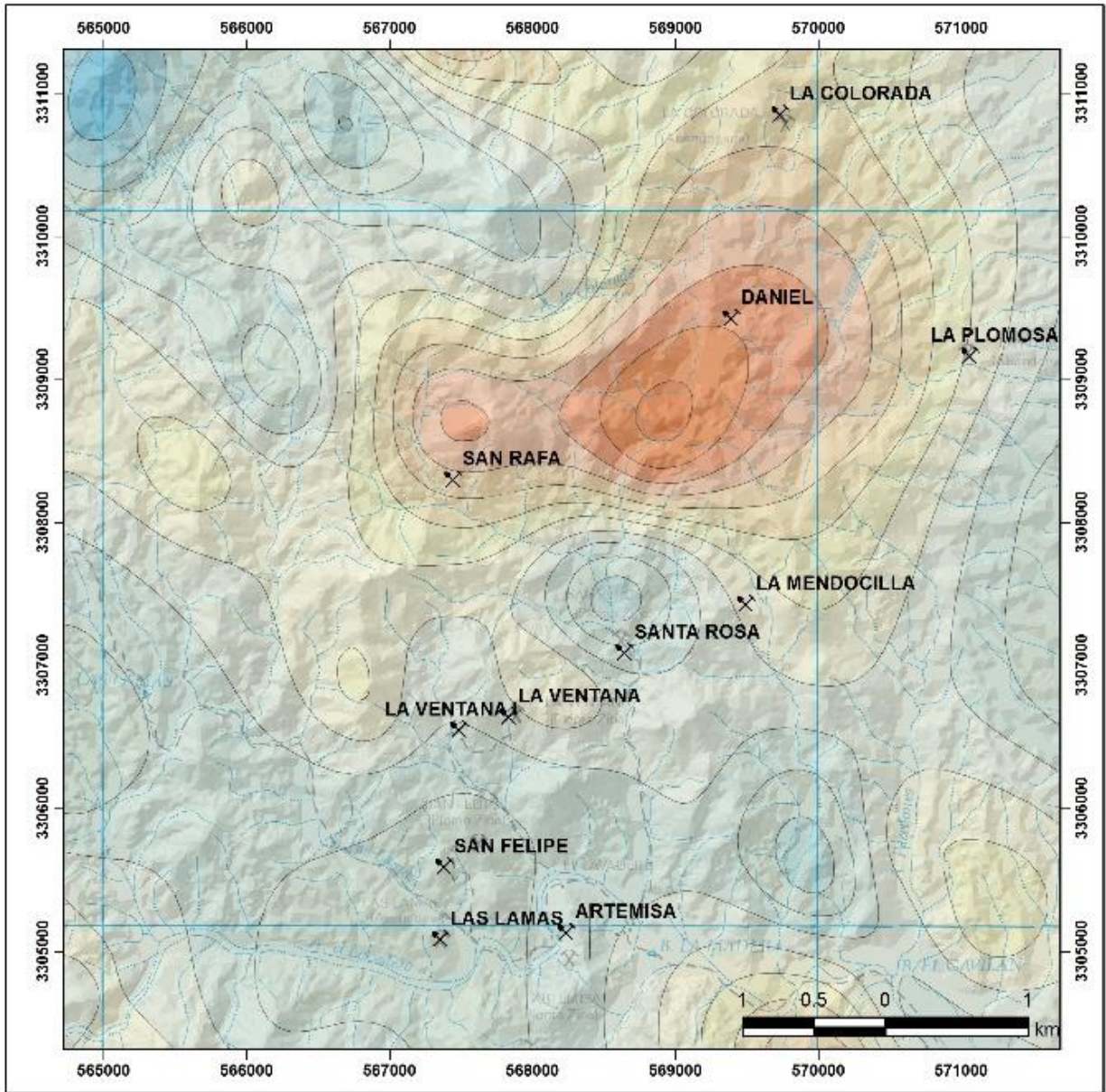


Figura 5. 13. Mapa aeromagnético, donde se muestran las minas San Rafa y Daniel, que se encuentran dentro de altos magnéticos (rojo).



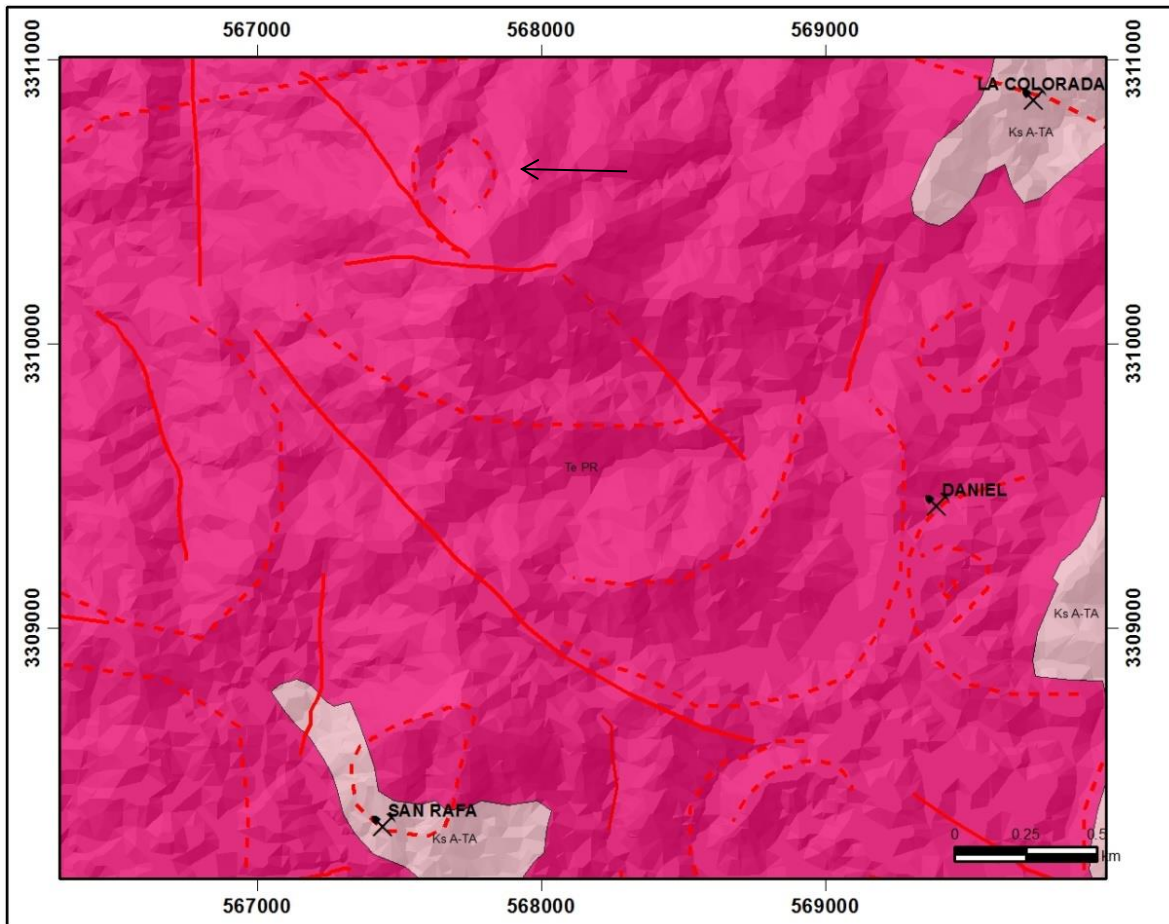


Figura 5. 14. Distrito de San Felipe, al norte de la mina San Rafa, se observan una serie de curvilineamientos y lineamientos, probables zonas favorables (indicado con flecha) para la prospección en la unidad Te PR.

### 5.5.2. Distrito Minero Washington

En el Distrito Minero de Washington, las obras mineras se encuentran alojadas dentro de una roca andesítica brechada, las estructuras semicirculares se observan bien definidas y claras. Las minas Washington y Gilberto se localizan en la parte exterior de una estructura con una orientación NE-SW y un diámetro aproximado de 3 kilómetros (Figura 5.15). Con ayuda del mapa aeromagnético de campo total con reducción al polo, se puede apreciar que existe una diferencia bien marcada de los altos magnéticos con respecto a los bajos, siendo los primeros donde se observan lineamientos profundos y las principales estructuras semicirculares,

siendo estas, zonas muy favorables para alojar mineralización a partir de flujos hidrotermales (Figura 5.16 y Figura 5.17). Uno de los altos magnéticos localizado en la porción oeste del distrito, coincide con los lineamientos profundos y dentro de la unidad Ks Ar-A donde se encuentran las minas El Saucito, Las Parcitas y Los Yaquis; La mina El Saucito se localiza en la parte central de una estructura semicircular con un diámetro de 0.2 km. La mina Las Parcitas está dentro de un curvilineamiento prácticamente circular de 0.47 km de diámetro y la intersección de los lineamientos N-S y N15°E. La mina Los Yaquis en un curvilineamiento elíptico pequeño de aproximadamente 0.38 km de diámetro y la intersección de los lineamientos N-S y NE-SW. Las Minas La Bonita y La Sonorense se encuentran entre los límites de un alto magnético, delimitadas por lineamientos N70°E y N15°E. La mina El Carrizo, se sitúa en un alto magnético y la intersección de un lineamiento N15°W, que cambia a N45°W, los principales minerales que se explotaban eran cobre, plata, plomo y oro. La principal obra minera de este distrito es la mina Washington, se localiza en el límite oeste de dos estructuras semicirculares concéntricas, siendo la externa de 2.3 km y la interna de 1.2 km de diámetro dentro de la unidad Ks A-TA, con una mineralización de Cu.



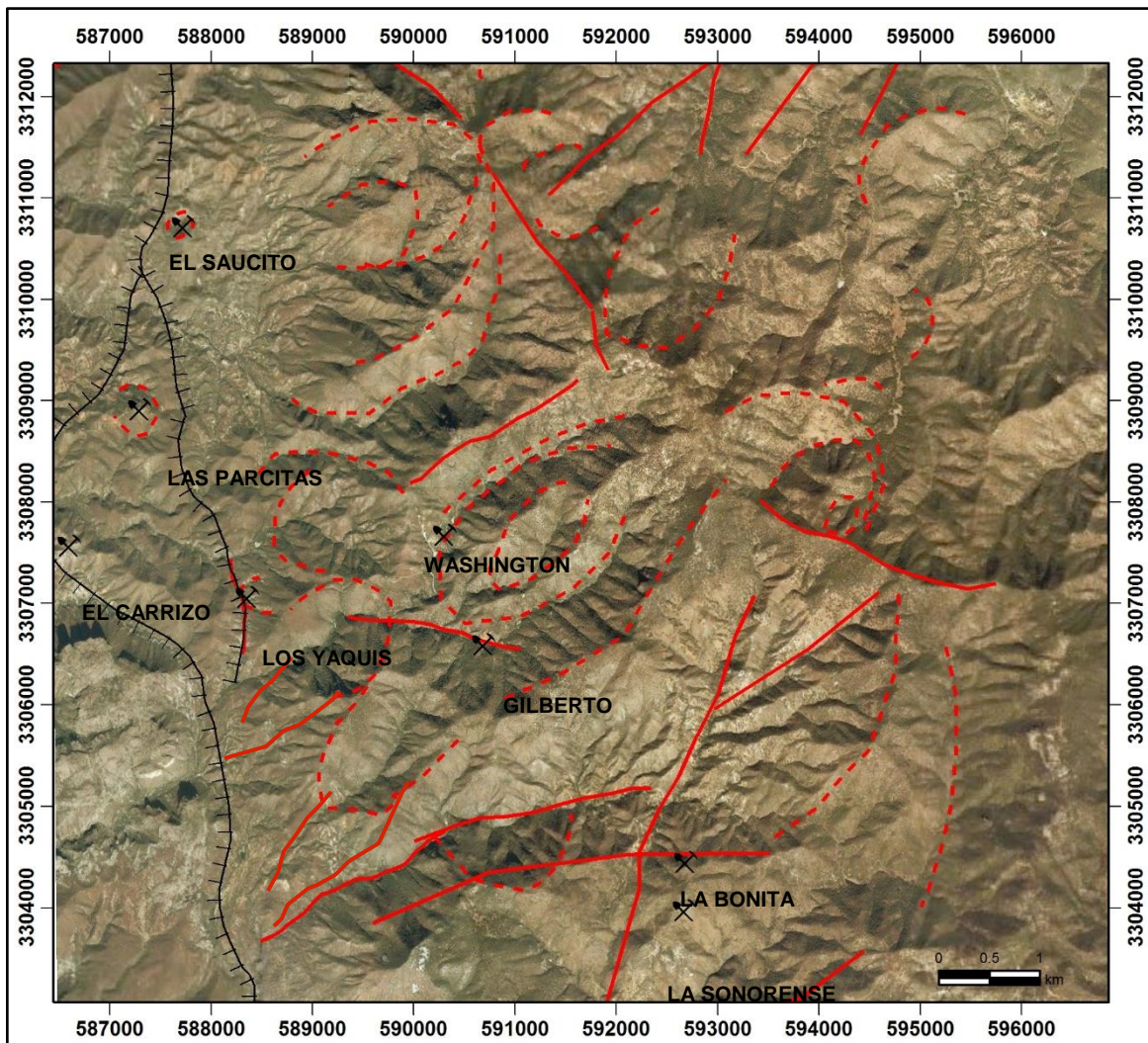


Figura 5. 15. Imagen de satélite del Distrito Washington, donde se muestran los lineamientos y curvilineamientos y las zonas de minas.



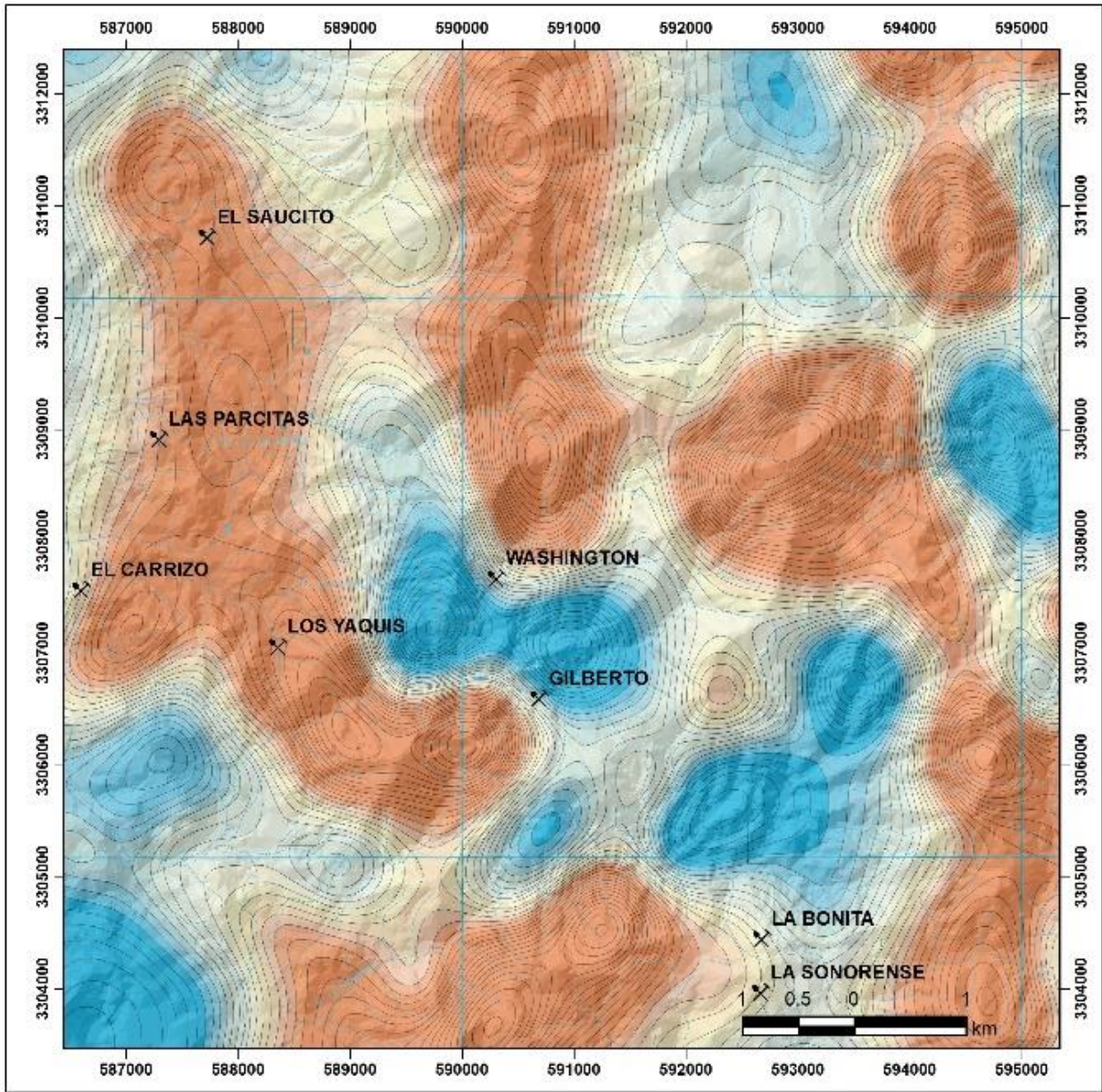


Figura 5. 16. Mapa aeromagnético, con las minas que se encuentran dentro de los altos magnéticos (rojo), como son: Los Yaquis, El Saucito y las Parcitas. La mina Washington en el límite de un alto y bajo magnético.

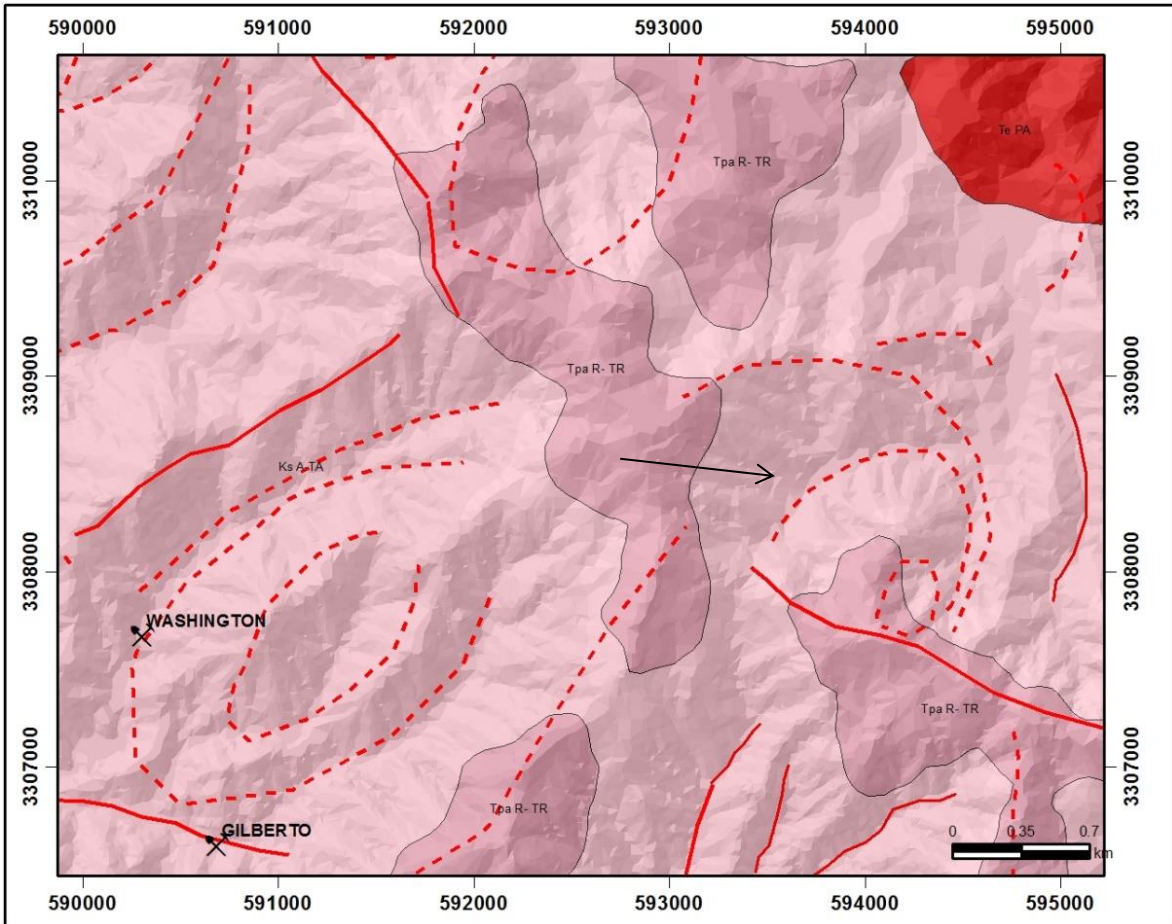


Figura 5. 17. Zona favorable (indicado con flecha) al este de la mina Washington entre las unidad de Ks A-TA y Tpa R-TR.

## **Capítulo 6. GEOLOGÍA ECONOMICA**

En el área estudiada se localizan zonas mineralizadas y con alteración, en las rocas intrusivas y extrusivas del Terciario, así como en rocas carbonatadas del Cretácico Inferior, en las cuales se alojan gran cantidad de prospectos mineros. Las rocas prebatolíticas del Cretácico y la secuencia volcanosedimentaria de Cretácico Superior- Paleógeno, están cortadas por el batolito granodiorítico y pequeños stocks, los cuales produjeron fracturas y fallas en las unidades anteriores, preparando la zona para dar paso a los fluidos y soluciones hidrotermales formando zonas con mineralización y amplias zonas de alteración. La mineralización en la región son tipo pórfido de cobre, skarns y reemplazamiento, desarrollando yacimientos tipo: vetas, mantos y brechas.

En este trabajo se describen los distritos mineros de San Felipe y Mina Washington.

### **6.1. Antecedentes de los distritos**

Desde hace varias décadas, el distrito minero de San Felipe ha sido trabajado por varias compañías. En la década de los 70's la empresa Minera La Serrana, SA de CV, realizó una etapa de explotación de minado subterráneo en las obras mineras Las Lamas, San Felipe, La Ventana, Artemisa, Santa Rosa, El Lavadero, Mendocilla, La Colorada y La Plomosa; así como en otras pequeñas obras circundantes. En el año de 1973, se explotaron 500 ton/turno con un promedio de 500 gr/ton de Ag, 1% Cu, 30% Pb, y 1% de Zn. Existe una planta inactiva de flotación y de beneficio, con una capacidad aproximada de 250 ton/turno.

Durante la década de los 70's, hasta mediados de los 80's, la compañía Minera Trans- Río, SA de CV, realizó actividades de extracción en la mina Washington. Explotaron zonas de brechas y vetas, con minado subterráneo y rebajes. Actualmente los distritos se encuentran inactivos, la mayoría están protegidos por Minera Frisco.

## 6.2. Distrito Minero San Felipe

La mineralización se encuentra en rocas volcánicas andesíticas del Cretácico Superior y pequeños techos colgantes en el Pórfido Granítico de la secuencia sedimentaria del Cretácico Inferior donde la mineralización es emplazada, como es el caso de la mina Santa Rosa. La mineralización se desarrolló en zonas de contacto y vetas brechoides, así como en zonas de fuerte vetilleo o stockwork de alteración, con vetillas de cuarzo-sericita en el pórfido.

En el distrito se identificaron dos estructuras mineralizadas: la más abundante son vetas y una de tipo skarn (Santa Rosa). Las estructuras de tipo veta son cuerpos tabulares de cuarzo con sulfuros, principalmente de plomo y zinc y valores económicos de oro y plata. Las longitudes de las vetas son variadas, con espesores que van desde 0.60 hasta 1.20 m. La mayoría de estas estructuras presentan rumbos principales N80°E, con echados casi verticales y algunas otras con rumbo N15°E con echados al NW.

Las vetas de cuarzo presentan minerales primarios de óxidos de fierro con sulfuros diseminados asociados como pirita, calcopirita, galena, esfalerita y minerales secundarios tales como hematita, goethita, limonita, covelita, malaquita, azurita y calcita. En la mina Las Lamas se tiene una estructura vertical con halos de alteración propilítica y fílica.

Las alteraciones que se observan en las minas Las Lamas, Artemisa, El Lavadero, y La Mendocilla, son del tipo propilítica y fílica observándose en los bordes de las estructuras mineralizadas, representadas por un vetilleo de cuarzo, epidota, clorita, pirita, calcopirita y cuarzo-sericita-clorita, con óxidos de fierro, hematita, manganeso y óxidos de cobre.

En base a estudios mineragráficos Chávez (1978), estableció que la paragénesis mineralógica es calcopirita, blenda, galena, pirita. El cuerpo original se produce a partir de las soluciones hidrotermales aportadas por el pórfido riolítico (Figura 6.1), las rocas andesíticas encajonantes fueron previamente preparadas con un intenso fracturamiento que sirvió, para que las soluciones mineralizantes se depositaran.



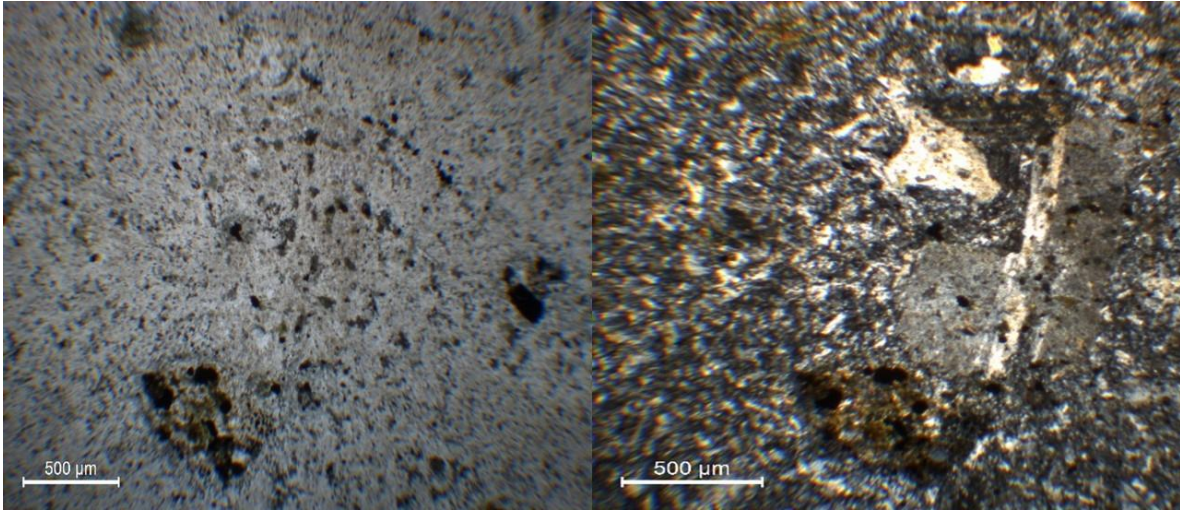


Figura 6. 1. Microfotografía de pórfido riolítico con fenocristales de plagioclasa (oligoclasa) de 0.9mm en una matriz de cuarzo y feldespato, se observa la alteración de epidota y clorita.

### 6.3. Distrito Minero Washington

El distrito se encuentra representado por rocas sedimentarias, areniscas y calizas, con intercalaciones de andesita afectadas por el intrusivo granítico- granodiorítico y un stock andesítico, cuyo emplazamiento generó zonas mineralizadas, que consisten de estructuras brechoides, vetas o mantos.

Se identificaron tres tipos de estructuras mineralizadas: brechas asociadas a fallas (Figura 6.2), vetas manteadas y vetas.



Figura 6. 2. Fotografía de la brecha Washington, donde se aprecia la presencia de sericita y oxidación (color rojizo).

Las brechas asociadas a fallas son estructuras tabulares, formada por fragmentos de rocas andesíticas con una matriz de cuarzo-turmalina con dimensiones y profundidad variable. Las vetas manteadas, son delgadas con un espesor de aproximado de 40 cm, en la mina La Sonorense las vetas tienen espesores de 10 cm y no se conoce su geometría hacia abajo, en donde puede existir la posibilidad de que se unan, estas estructuras tienen minerales de óxido de fierro y sulfuros. Por ultimo las de tipo veta son estructuras tabulares con espesores de hasta 50 cm con rumbo preferencial NNE y echados prácticamente verticales.

Mineralógicamente este yacimiento está formado por fragmentos de rocas volcánicas cementadas en una matriz de cuarzo- turmalina, que contiene pirita, galena, calcopirita, molibdenita, wolframio y óxidos de hierro; hematita, goethita y jarosita.

Domínguez (1979) en un estudio que realizó en el distrito de Washington menciona que la alteración hidrotermal más importante, la constituyen brechas de colapso con casquetes de cuarzo-turmalina como cementante, y en menor proporción sericita y caolín. Fuera de las estructuras brechadas, dentro de los flujos es notable la alteración propilítica con epidotización (Figuras 6.3 y 6.4), cloritización y en menor proporción silificación en calizas.

Las alteraciones que se observan en los bordes de las brechas es un intenso vetilleo en forma de stockwork con alteración propilítica-potásica. En los mantos y vetas, la alteración observada es un intenso vetilleo irregular de cuarzo muy fino, con óxidos de hierro, pirita, calcopirita, galena, etc.

Las brechas se formaron en la cúpula de los intrusivos, a partir del aporte de soluciones hidrotermales y mineralizantes que se originaron dentro del mismo intrusivo calcoalcalino y de los stocks andesíticos posteriores, previa preparación estructural de rocas sedimentarias y andesíticas encajonantes (Figura 6.5). La supresión de los fluidos litostáticos de las rocas encajonantes, provoca brechamiento y colapso a lo largo de las zonas de ascenso y circulación de los fluidos hacia el aparato volcánico superficial. Las vetas y los mantos se formaron a partir de relleno de fallas y fracturas y/o de planos de estratificación.



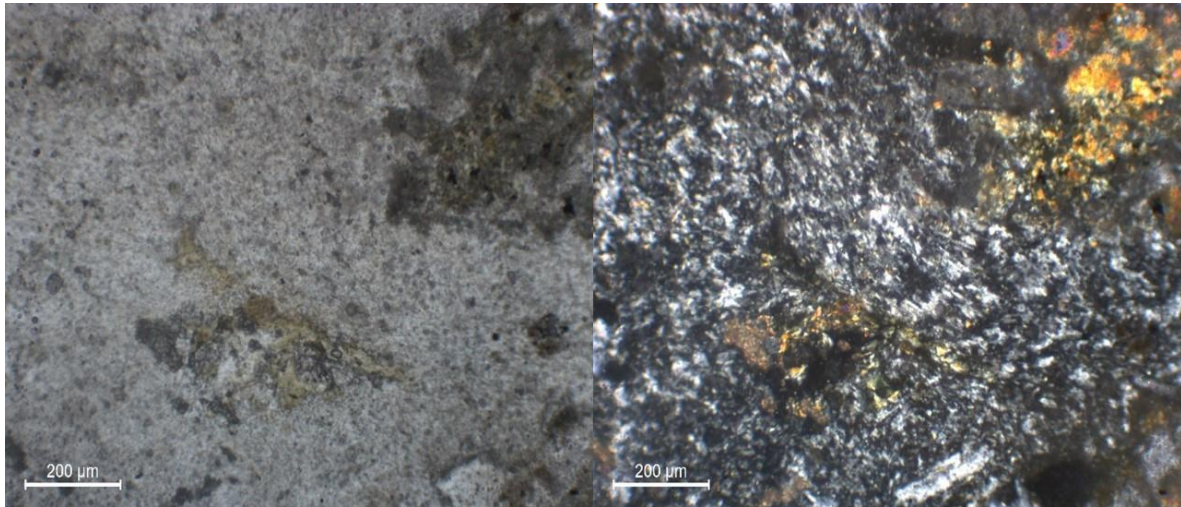


Figura 6. 3. Microfotografía de la mina Washington, lado izquierdo luz natural, lado derecho nicoles cruzados, matriz de cuarzo y feldespato, alteración de los ferromagnesianos a epidota.

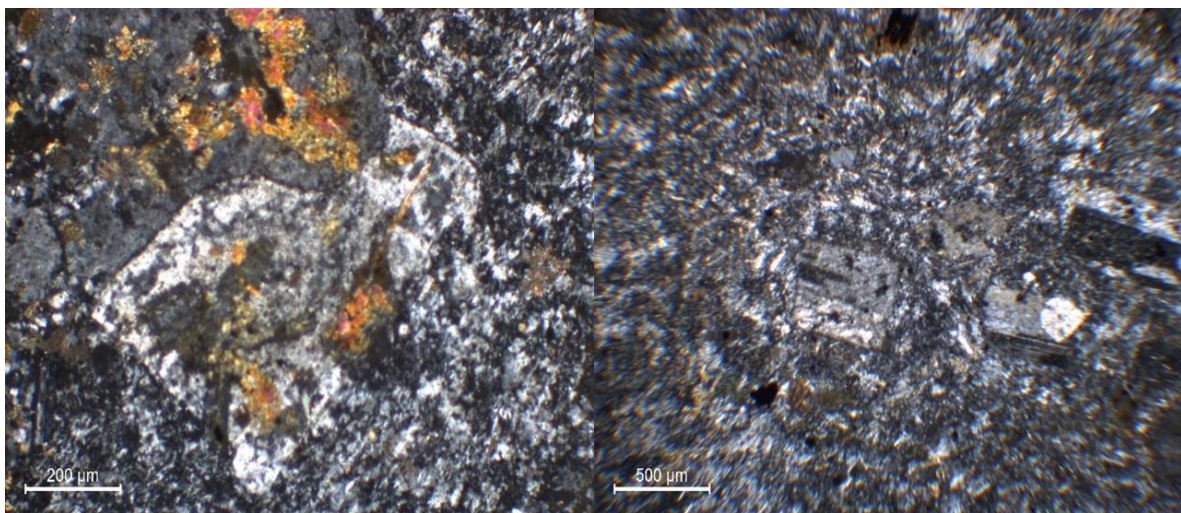


Figura 6. 4. Microfotografía mina Washington, lado izquierdo se observan fenocristales de plagioclasas con fuerte alteración propilítica, marcada por la presencia de epidota, sericita y clorita. Lado derecho fenocristales de plagioclasas en una matriz de grano fino de cuarzo y feldespato con fuerte alteración sericítica.

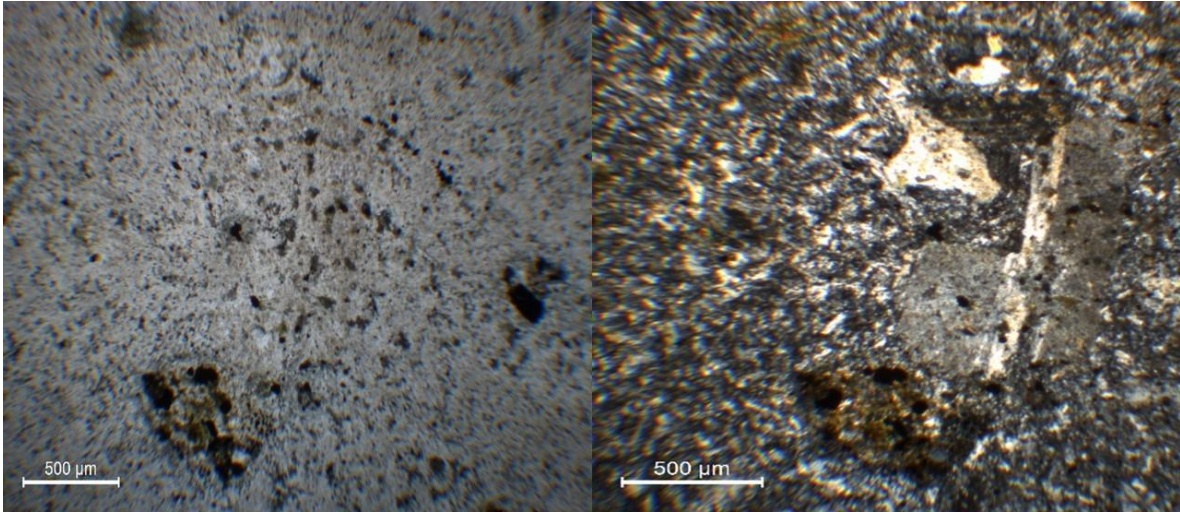


Figura 6. 5. Microfotografía de andesita porfídica (TpaPA) lado izquierdo LN, derecho NX. Se observan fenocristales de plagioclasa tabular, euhedral de composición andesina de 0.6 mm en una matriz de cuarzo y feldespato, relictos de hornblenda alterados a epidota y clorita.



## Capítulo 7. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Se realizó un mapa geológico a escala 1:50,000 del área de Huépac, Sonora.

Utilizando el programa ArcGis, imágenes satelitales google de dominio público y apoyándose en el modelo de elevación, se interpretaron los rasgos morfológicos y estructurales del área, como son; ríos y arroyos con tendencia de un rumbo definido, fracturas, fallas y observando las imágenes a distintas escalas, se marcaron lineamientos y curvilineamientos en la imagen (Figura 5.10) y posteriormente se hizo una comparación con el mapa aeromagnético (SGM 2011), observando la relación de los altos magnéticos con la zona de curvilineamientos, para confirmar la presencia de intrusiones que dieron origen a dichas estructuras, posteriormente se realizó un mapa (Figura 5.11).

Las zonas más recomendadas para la prospección se encuentran dentro de las rocas volcanosedimentarias, volcánicas y porfídicas de las unidades Ks A- Ar, Ks A- TA, Te PR y Te R- TR.

En la unidad Te Gr-Gd de la sierra de Aconchí afloran una serie de diques de composición diorítica, lamprofídicos, pegmatíticos y aplíticos. Esta unidad es propicia para la exploración debido a las zonas de alteración que presenta.

Las zonas de alteración fílica y propilitica son viables de reconocer en los distritos de San Felipe y Washington, las vetillas que presentan esta alteración tienen una orientación NE-SW, E-W y N-S.

La mayoría de las obras mineras, se encuentran dentro de la unidad Ks A-TA, debido a que esta zona está asociada a una intensa alteración, oxidación y silicificación, por lo que se considera la unidad más importante para la exploración.

Los intrusivos son los principales responsables de la mineralización, ya que fracturan y aportan gran cantidad de fluidos hidrotermales que enriquecen a las rocas intrusionadas.

La alteración presente en el Distrito Washington, consiste de una alteración propilítica en la roca encajonante y en la zona de la brecha de una alteración sericítica.

Las características estructurales más sobresalientes en el Distrito de San Felipe son fallas normales con rumbo NW-SE, las cuales probablemente estén activas (Roldan-Quintana, 1979), además de las estructuras que se encuentran E-W que contienen mineralización

En el distrito de San Felipe se tienen dos tipos de mineralización, la primera de ella es de contacto como en la mina de Santa Rosa y la segunda son depósitos mesotermales que se encuentran en la mina de San Felipe.

En ambos distritos se encuentran estructuras muy importantes que pueden alojar mineralización.

## **Bibliografía**

- Baca, E., Beraldi-Campesi, H., Cevallos-Ferris, S. R. S., Knoll, A. H., Golubic, S., 2002, 70 Ma nonmarine diatoms from northern Mexico: *Geology*, 30, p. 279-281.
- Barra, F. Ruiz, J. Valencia, V. A. Ochoa-Landin, L. Chesley, J. T. Zürcher, L, 2005, Laramide porphyry Cu-Mo mineralization in northern México: Age constraints from Re. Os Geochronology in molybdenite: *Economic Geology*, 100, p. 1605-1616.
- Bilodeau W. L., and Linberg, F. A., 1983, Early Cretaceous tectonics and sedimentation in southern Arizona, southwestern New Mexico and northern Sonora, Mexico: *S.E.P.M.*, p. 173-188.
- Bojórquez-Ochoa, J.A., y Rosas-Haro, J.A., 1988, Geología de la Hoja de Aconchi H12D13, Municipio de Aconchi, Sonora, México: Hermosillo, Sonora, Universidad de Sonora, tesis de licenciatura, 92 p.
- Campesi-Beraldi, H., Cevallos-Ferriz, S. R. S., Chacon-Baca E., 2004; Microfossil algae associated with Cretaceous stromatolites in the Tarahumara Formation, Sonora, Mexico, *Cretaceous Research*, 25, p. 249-265.
- Chávez, J. M. y García, 1980, Geology and ore deposits of the Aconchi and Arizpe área central, Sonora, Mexico: Comisión Federal de Electricidad, Memorias Tomo I.
- Cocheme, J. J., 1985, Le magmatismo Cénozoïque dans le norouest de Mexique Cartographie de la région Yecora- Maicoba- Mulatos. Illustration magmatique de la fin a un régime distensit; These de Doctorat e sciences Université d'e Aix- Mersille, France.

Damon, P. E., Bikerman, M., 1964, Potassium- Argon dating post Laramide plutonics and volcanic rocks within the Basin and Range province of southeastern Arizona and adjacent áreas: XXIII Institute Geology Congress New Delhi.

Damon, P. E., 1981, Geochronological studies within the Sierra Madre Occidental Mexico: Geological Society of America, Abstracts with Programs, Cordilleran Section, Hermosillo, Sonora, México, p. 51.

Damon, P. E., Shafiqullah, M., Clark, K. F., 1983, Geochronology of the porphyry copper deposits and related mineralization of Mexico: Canadian Journal of Earth Sciences, 20, p. 1052-1071.

Fries, C., 1962, Reseña de la geología del Estado de Sonora con énfasis en el Paleozoico: Boletín de la Sociedad Mexicana de Geólogos Petroleros, v. 14, p. 257-273.

González, L., 1978, Geología del área de Arizpe, Sonora, centro septentrional: Hermosillo, Universidad de Sonora; Tesis profesional, p 66.

Hernández-Castillo, G., Cevallos-Ferriz, S. R. S., 1999, Cretaceous Huépac Chert Locality of Sonora, México: American Journal of Botany, v. 86, n 12, p. 1717-1734.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA.

2008. Fisiografía de México escala 1:1000000

King, C., 1939. Geological reconnaissance in northern Sierra Madre Occidental, of México: Geological Society of America, v. 50, p 1726-1722.

Domínguez, L. E., 1979. Evaluación geológica de las brechas circundantes a la mina Washington en Huépac, Sonora: Archivo de SIPSA, p. 66

- Maxson, J., Tikoff, B., 1996, Hit- and- run collision model for the Laramide Orogeny: Western United States, *Geology*, v.24, p. 968-972.
- McDowell F. W., Clabaugh, S. E., 1979, Ignimbrites of the Sierra Madre Occidental and their relation to the tectonic history of western Mexico, *in*: Chapin, C. E., Elston, W. E., (Eds.), *Ash-Flow Tuffs: The Geological Society of America, Special Paper 180*, 113-124
- McDowell F. W., Clabaugh S. E., 1981, The igneous history of the Sierra Madre Occidental and its relation to the tectonic evolution of Western Mexico: *Universidad Nacional Autónoma de México: Instituto de Geología Revista*, 5, 195-206.
- Mead, D. M., Kesler, S. E., Foland, K. A., Jones, L. M., 1988, Relationship of Sonora tungsten mineralization to the Metallogenic Evolution of México: *Economic Geology*, 83, 1943-1965.
- Pubellier, M., 1987, Relations entre domaines cordillerain et mésogéen au nord du Mexique, étude géologique de la vallée de Sahuaripa, Sonora: Université de Paris VI, tesis doctoral, 219 p.
- Raisz, E., 1964, Landforms of Mexico. Morphological map prepared for the geography Branch of the office of naval research: Cambridge Mass, USA, escala 1:3,000,000.
- Rangin, C., 1982. Contribution a l'étude géologique du système cordilleran du Nord-ouest du Mexique: These de Doctorat d Etat é Sciences Naturalls, Université, Paris VI, France, p 253.



Roldán Quintana, J., 1979, Geología y yacimientos minerales del distrito de San Felipe, Sonora: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, 3, 2, 97-115

Roldán Quintana, J., 1991, Geology and Chemical composition of the Jaralito and Aconchi Batholiths in east-central Sonora, México, *in*: Perez-Segura., E., Jaques.Ayala., C., (eds.): Studies of Sonoran Geology, Geological Society of America Special Paper,254, 69-80.

Rangin, C., 1977. Sobre la presencia del Jurásico superior con amonitas en Sonora septentrional: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, 1, 44-47.

SERVICIO GEOLÓGICO MEXICANO, 1998; Carta Geológico-Minera Aconchi H12-D13, Sonora.

Simmons, S. F., Sawkins, F. J., 1983, Mineralogic and fluid inclusion studies of the Washington Cu-Mo-W-Bearing breccias pipe, Sonora, Mexico: Economic Geology. 78, 521-526.

Taliaferro, N.L. 1933. An Occurrence of Upper Cretaceous Sediments in Northern Sonora México: Journal Geol. Vol. 41 No. 91 p. 12-37

Tardy, M., Lapierre, H., Freyder, C., Coulon, C., Gill, J., Mercier de Lépinay, B., Beck, C., Martinez- Reyes, J., Talavera, M., Ortiz, E., Stein, G., Bourdier, J., Yta, M., 1994, The Guerrero Greater Antilles and the western Cordillera of Colombia a late Mesozoic intra- oceanic arc accreted to cratonal America during the Cretaceous, Tectonophysics, v. 230, p. 49-73.

Sillitoe, R. H., 1976, A reconnaissance of the Mexican copper belt: Transactions, Section B of the Institution of Mining and Metallurgy, 85, 169-190 p.

Silver, L. T., Chappell, B. W., 1988, The Peninsular Ranges Batholiths: An insight in the evolution of the Cordilleran batholiths of southwestern North America: Transaction of the Royal Society of Edinburgh, Earth Science, 79, p. 105-121.

Wilson, I. F., Rocha, V. S., 1946, Los Yacimientos de Carbón de la región de Santa Clara, Municipio de San Javier, Estado de Sonora: Comité Directivo para la Investigación de los Recursos Minerales de México, 9, 108 p.

Zúñiga-Hernández, L. G., 2010, Estudio Geológico, Geoquímico y metalogenético del cuadrángulo Huépac Moctezuma, centro-noreste de Sonora, México: Tesis de Maestría, Universidad de Sonora, 117 p.