

**UNIVERSIDAD DE SONORA**

**Departamento de Geología**

**Cartografía de los cerros Agualurca y  
la virgen, sur de**

**Hermosillo, Sonora, México.**

**Autor**

**GALARZA RIVERA, SALVADOR**

**Director**

**Dr, Vega Ricardo**

## **Agradecimientos**

Agradezco a mis padres, María y Salvador por su apoyo incondicional en todos estos años. Agradezco a mi hermano Omar por siempre brindarme gratos momentos y a mis familiares que de una u otra manera me ayudaron a cumplir este objetivo.

Agradezco infinitamente al Dr. Ricardo Vega por compartir su conocimiento y por todo el apoyo brindado para la realización de este trabajo, al Dr. Jesús Vidal y al Dr. Arturo Barrón por sus comentarios, opiniones y correcciones para la mejora de esta tesis.

Al Departamento de Geología, técnicos de laboratorio, administrativos y a cada uno de los maestros con los que tuve la oportunidad de llevar clase, por sus enseñanzas y por su esmero, son un gran ejemplo de vocación, además de a todos esos maestros ajenos al departamento, de los cuales me llevo grandes aprendizajes.

A mi segunda familia, mis amigos de la universidad por tantos momentos de alegría y diversión que hemos pasado y que me acompañaron durante todo este trayecto, Javier, Romario, Abraham, Viri, Fátima, Mariana, Román Jesús, Memo, Sofía, Ricardo, Melgarejo, Dulce, Jocelyn, Hervey, Luis, Demetrio, Lili, así como también a mis amigos fuera de la carrera, Elsa, Kate, José, Kevin, Gustavo, Ulises, Lalo, Chepe, Beto.

Finalmente, agradecer a Dios, por todo lo bueno y lo malo, el conocimiento adquirido, por permitirme estudiar lo que me apasiona y que cada día me permita seguir maravillándome con este mundo.

## Resumen

En el área de estudio, que incluye el rancho Las Víboras y el cerro de La Virgen, al sur de la ciudad de Hermosillo, aflora un conjunto de rocas metamórficas que pueden correlacionarse con las unidades descritas en los cerros de La Cementera y Palo Verde, cuyos yacimientos han sido explotados en épocas anteriores para la obtención de mármol y tungsteno.

El metamorfismo que afecta estas rocas es causado por la intrusión de un cuerpo granítico que, en contacto con protolitos, principalmente carbonatados, originó una aureola que produce la litología que actualmente se encuentra en la zona, la cual está compuesta de mármol, corneanas y cuarcitas. La mineralogía metamórfica presente consiste en calcosilicatos como Wollastonita, Diópsido e Idocrasa, variando en proporción a lo largo de la aureola. El cuerpo granítico conforma el mayor volumen de roca presente en esta área y geomorfológicamente forma una sierra con un rumbo NW – SE. El intrusivo granítico es cortado por diques lamprofídicos los cuales tienen un rumbo general NW - SE, además de encontrarse diques aplíticos.

Cerca del centro del área se encuentra una zona donde se desarrolló un skarn cuya mineralogía principal consta de granate, piroxeno y plagioclasa. El área ha sufrido dos eventos de deformación, uno de dominio dúctil evidenciado por pliegues y otro en un dominio frágil evidenciado por fallas de rumbo NW y NE.

# ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	4
<b>1.1 Objetivos</b>	5
<b>1.2 Metodología</b>	5
<b>2. GENERALIDADES</b>	7
<b>2.1 Localización y vías de acceso</b>	7
<b>2.2 Fisiografía y geomorfología</b>	8
<b>4. GEOLOGÍA LOCAL</b>	12
<b>4.1 Rocas metasedimentarias</b>	15
4.1.1 Mármol	15
4.1.2 Corneanas	20
4.1.3 Cuarzita	25
4.1.4 Skarn	26
4.2.1 Granito	30
4.2.2 Diques lamprófidos	34
<b>5. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL</b>	37
<b>5.1 Plegamiento</b>	37
<b>5.2 Fallamiento</b>	37

**6. CONCLUSIONES .....**

**43 7. REFERENCIAS**

..... 46

## **1. INTRODUCCIÓN**

Este trabajo se realizó con la finalidad de caracterizar la geología de un área de ~20 km<sup>2</sup> que comprende la zona del rancho Las Víboras, que se encuentra al sur de la ciudad de Hermosillo, ya que dicha zona al parecer no ha sido formalmente estudiada. Existen registros del área como la cartografía general realizada por el Servicio Geológico Mexicano en su carta Geológico - Minera H12 – D51 Estación Torres, escala 1:50,000, la cual abarca esta zona y en la que se reportan cuerpos mineralizados con presencia de Tungsteno, que se encuentran en formas de veta en los contactos entre el cuerpo intrusivo y las rocas carbonatadas. La misma mineralización se asocia con otros yacimientos tipo skarn en Hermosillo, como lo son los depósitos del Palo Verde y El Carnaval, ubicados al suroeste y sureste respectivamente, el mármol que se encuentra en estas zonas ha sido explotado y todavía se encuentra en proceso de explotación.

Se han realizado varios estudios en estas zonas para la determinación de los yacimientos y su posible explotación, por lo que el metamorfismo de contacto que ocurre en esas áreas está bien caracterizado, sin embargo, no se ha detallado este metamorfismo en la parte sur de la localidad, aunque se tiene conocimiento de ello, por lo que el objetivo de esta tesis es el de cartografiar a escala 1:20,000 las rocas presentes en los cerros Agualurca y de La Virgen,

además de un estudio petrográfico para determinar la mineralogía de las rocas, así como apoyarse en el análisis de varias estructuras para el entendimiento de la geología estructural del área.

El área está conformada por una unidad de rocas metamórficas las cuales varían entre mármol, corneanas, cuarcita y skarn, además de un intrusivo granítico, dichas unidades son intrusionadas por diques lamprofídicos. Esta configuración geológica es típica de la zona de Hermosillo y se presenta tanto en los cerros de La Cementera, como en el de La Campana y en el Palo Verde.

### **1.1 Objetivos**

El objetivo general de este trabajo es el de caracterizar, mediante cartografía y petrografía, las rocas que se encuentran en la porción Sur de la ciudad de Hermosillo, específicamente en los cerros de La Virgen y Agualurca.

Entre los objetivos específicos de este trabajo se encuentran:

- Realizar una cartografía a escala 1:20000
- Un análisis petrográfico para la determinación de la mineralogía presente en la zona.
- Un análisis estructural para el entendimiento de los procesos que afectaron la zona y enmarcarlo en el contexto geológico regional.

### **1.2 Metodología**

La Metodología de este trabajo consistió en una recopilación bibliográfica para conocer los antecedentes de estudios en la zona, un trabajo de campo en el área de estudio y un estudio petrográfico de muestras en lámina delgada. Se utilizaron imágenes satelitales tomadas de GoogleEarth y SASplanet que sirvieron de apoyo, así como también la carta topográfica de INEGI con clave H12D51a a escala 1:20,000 y la carta geológico-minera del SGM Estación Torres H12D51 escala 1:50,000.

Durante el trabajo de campo se realizaron varias secciones de manera perpendicular a la estratificación para apreciar las diferentes litologías existentes y tomar sus respectivas muestras, se describieron sus características, se midió el rumbo y echado de sus estratificaciones y también de estructuras como fallas y diques. Todas las mediciones se realizaron siguiendo la regla de la mano derecha y con la ayuda de GPS utilizando el datum NAD27 se obtuvieron las coordenadas para plasmarlas en el plano topográfico. Para el análisis petrográfico, se seleccionaron 15 muestras para la realización de láminas delgadas, las cuales posteriormente se observaron mediante el microscopio petrográfico MEIJI ML 9000 de la Universidad de Sonora. Para la digitalización de mapas y secciones se utilizó el software ArcMap, mientras que para el procesamiento de datos estructurales se utilizó Stereonet.



## 2. GENERALIDADES

### 2.1 Localización y vías de acceso

El área de estudio se encuentra en la parte central del estado de Sonora al sur de la ciudad de Hermosillo, aproximadamente en el kilómetro 6 sobre la carretera federal No. 15 Hermosillo – Guaymas, y está enmarcada en las coordenadas UTM 501000 – 506000 E y 3204000 – 3208000 N (Figura 1).

Para acceder a la zona se toma hacia el oeste un camino de terracería de unos 500 m hasta llegar a lo que se conoce como cerro de La Virgen. Para llegar al cerro de Las Víboras se toma el camino hacia el oriente que se encuentra a un costado de un depósito de diesel.



Figura 1. Localización del área de estudio

## 2.2 Fisiografía y geomorfología

Fisiográficamente el área de estudio se ubica dentro de la provincia fisiográfica de la Llanura Sonorense, en particular dentro de la subprovincia de Sierras y Llanuras Sonorenses (Figura 2) la cual comprende un área de 81, 661, 140 km<sup>2</sup> que abarca gran parte de la porción centro-oeste del estado (INEGI, 2000).

Esta subprovincia se compone principalmente de sierras bajas con una orientación Noroeste – Sureste separadas por extensas llanuras donde generalmente se depositaron depósitos aluviales como arenas y gravas.

Geomorfológicamente, en el área se observan rasgos que forman cerros con orientaciones N35°W como lo son el cerro Agualurca con una elevación máxima de 630 msnm y el cerro de La Virgen con una elevación de 407 msnm. Al occidente se encuentran el cerro Colorado alargado en dirección N20°W y el cerro El Yeso con una orientación N25°E. A estos cerros los separan valles rellenos por sedimentos no consolidados con elevaciones que oscilan entre 250 y 200 msnm. El valle que se ubica al oriente del cerro Agualurca posee una extensión de aproximadamente 4 Km y lo separa de la Sierra La Flojera, mientras que el valle que se ubica al occidente lo separa del cerro El Yeso y cuenta también con una anchura aproximada de 4 Km.



Figura 2. Provincias fisiográficas de Sonora, INEGI 2000.

### 3. GEOLOGÍA REGIONAL

Las rocas más antiguas que se encuentran en la región afloran en la sierra de Mazatán a unos 80 Km al E de Hermosillo, en donde se encuentra uno de los complejos de núcleo metamórfico más estudiado en Sonora. Dichas rocas corresponden a gneises, anfibolitas, micaesquistos, y cuarcitas, que, por su facies de anfibolita, se han correlacionado con el basamento proterozoico del terreno Caborca. Se ha reportado una edad de  $1475 \pm 29$  Ma (Vega-Granillo y Calmus, 2003) para un granito en la cima de la sierra.

Las rocas paleozoicas corresponden a secuencias sedimentarias que se ubican en áreas aledañas a la ciudad de Hermosillo. En la sierra Santa Teresa, situada unos 20 km al sureste de la ciudad, las secuencias están compuestas de lodolitas calcáreas, wackestone, packestone, calizas arenosas, limolitas, arenisca calcárea de grano fino e intercalaciones de conglomerado y calcarenita, algunas de estas secuencias contienen fósiles que indican un ambiente de depósito marino somero y edades que van del Misisípico Tardío al Pérmico Temprano (Stewart *et al.*, 1997). En dicha localidad, las unidades paleozoicas forman parte de un bloque que cabalga a rocas volcánicas mesozoicas (Stewart *et al.*, 1997).

También, se han considerado de edad paleozoica a las rocas que se ubican en los cerros de La Cementera, La Campana, El Molinito, Santa Gertrudis, La Morena, Tecoripita y sierra Los Leyva, los cuales se ubican al este y noreste de la ciudad de Hermosillo (Rodríguez-Castañeda, 1981). Estas rocas corresponden a secuencias sedimentarias que consisten en calizas con nódulos de pedernal, cuarcitas y calizas fosilíferas, que se encuentran en algunas localidades memorfoseadas.

Por otra parte, en el Rancho Las Norias, ubicado 30 km al este de Hermosillo, aflora una secuencia paleozoica compuesta de caliza, dolomía, caliza arenosa y pedernal, (Vega-Granillo y Araux-Sánchez, 1987) que abarca desde el Cámbrico hasta el Pérmico Medio (Page *et al.*, 2003). Al Noroeste de Hermosillo, afloran rocas del Ordovícico compuestas principalmente por estratos de caliza fosilífera con alternancia de lutitas en la base que indican un ambiente de sedimentación de plataforma marina y es estratigráficamente correlacionable con la secuencia del Ordovícico del rancho Las Norias.

El Mesozoico se encuentra representado por calizas, limolitas, microconglomerados y areniscas que afloran en la Sierra La Flojera, cerro Prieto y cerro Las Hilachas al SE de Hermosillo, que se les asigna una edad del Triásico Medio con base en fósiles de pelecípodos (Rodríguez-Castañeda, 1981). Más al sureste, en la sierra Santa Teresa, se encuentra expuesta una secuencia de edad Triásico Tardío - Jurásico Temprano compuesta de argilita, limolita, limolita cuarcítica, arenisca y caliza bioclástica consideradas como depositadas en un ambiente marino somero (Stewart *et al.*, 1997).

Así mismo, se tienen en la región afloramientos de rocas graníticas asociadas al cinturón orogénico Laramide, el cual se desarrolló durante el Cretácico Tardío – Paleógeno (Valencia-Moreno *et al.*, 2001), como respuesta a un cambio en el mecanismo de subducción de la placa Farallón debajo de la placa norteamericana, la cual redujo su ángulo de subducción y provocó una migración del arco magmático hacia el interior del continente (Coney y Reynolds, 1977).

En los alrededores de Hermosillo se han reportado edades de enfriamiento de  $60.51 \pm 0.33$  Ma. (Valencia-Moreno *et al.*, 2006) y de  $64.9 \pm 1.3$  Ma (Mead *et al.*, 1988) para estas rocas, las cuales son descritas como granodioritas de grano medio a grueso y afloran generalmente en sierras que poseen una dirección NW – SE.

El alargamiento de las sierras en dirección NW-SE, que predomina en el estado, se debe a la extensión producida durante el Cenozoico, que ha sido conocida como evento tectónico “*Basin and Range*”, que afectó principalmente lo que hoy es el oeste-suroeste de Estados Unidos y el Noroeste de México y que además originó la provincia fisiográfica conocida como Sierras y Valles Paralelos, que en Sonora está definida por una serie de estructuras de tipo horst y graben o por semigrábenes escalonados. Asociado a estas fallas normales, se formaron cuencas en las que se depositaron secuencias clásticas con intercalaciones volcánicas, a las que se les conoce como Formación Báucarit (King, 1939).

Asociado a la extensión y como producto de una fase de deformación, se pueden encontrar en Sonora zonas en donde afloran complejos de núcleo metamórfico, que se caracterizan por: el desarrollo de metamorfismo dinámico,

tener una morfología dómica y la presencia de rocas miloníticas, que se desarrollaron en zonas de cizalla de la parte dúctil de la corteza.

Un volcanismo que caracteriza el inicio de la apertura del golfo de California es la presencia de ignimbritas hiperalcalinas que se distribuyen por la costa y centro de Sonora, pero mayormente en el centro del estado. Estas unidades han arrojado edades de  $11.87 \pm 0.35$  Ma (Paz-Moreno, 1992) para la región de El Gavilán al E de Hermosillo y una edad de  $12.44 \pm 0.05$  Ma (Vidal-Solano *et al.*, 2005) para una muestra del cerro Las Cuevitas en la región de Hermosillo.

#### **4. GEOLOGÍA LOCAL**

En el área de estudio se identificaron varias litologías que se pueden agrupar en dos unidades principales, una definida por una secuencia metasedimentaria formada principalmente por mármol, cuarcita y corneanas. Dichas rocas aparecen a manera de techos colgantes, tal como en otras

localidades en Hermosillo. La otra unidad es un intrusivo granítico, que se presenta aflorando masivamente, formando altos topográficos importantes y en contacto intrusivo con las unidades metasedimentarias (Figura 3). Además, intrusionando a ambas unidades, se encuentran diques lamprofidicos los cuales generalmente tienen un rumbo NW.

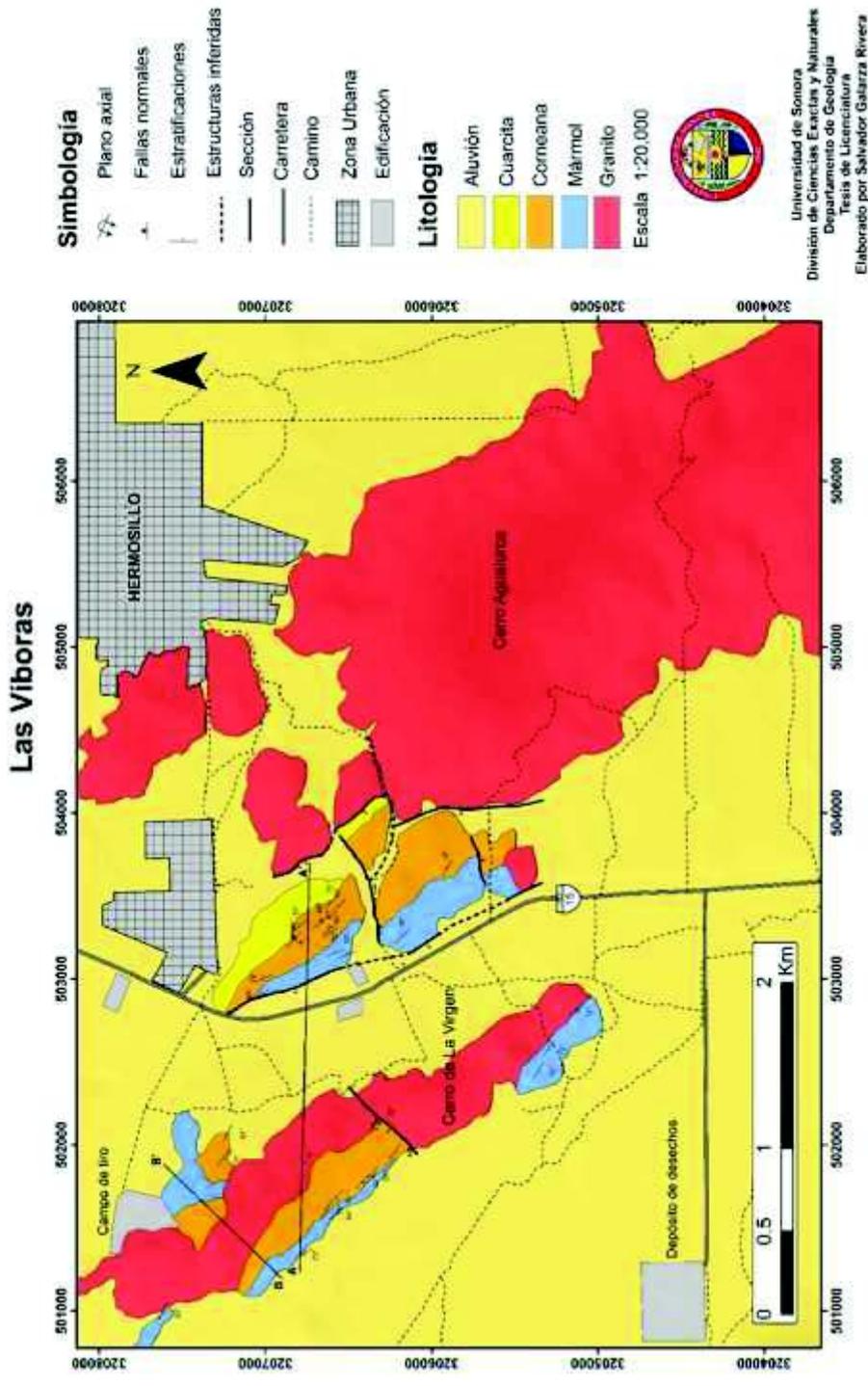


Figura 3. Mapa geológico del área Las Viboras.

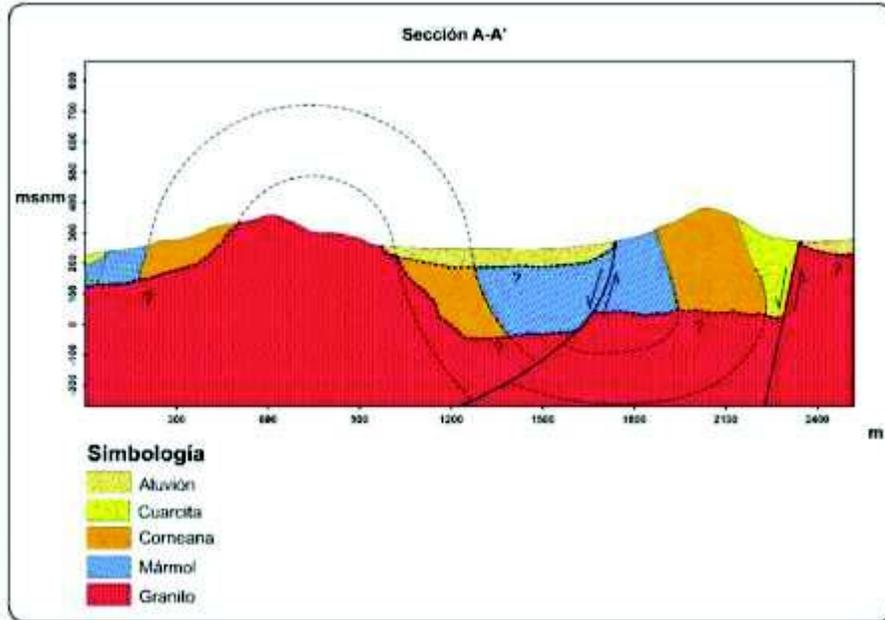


Figura 4. Sección A-A'

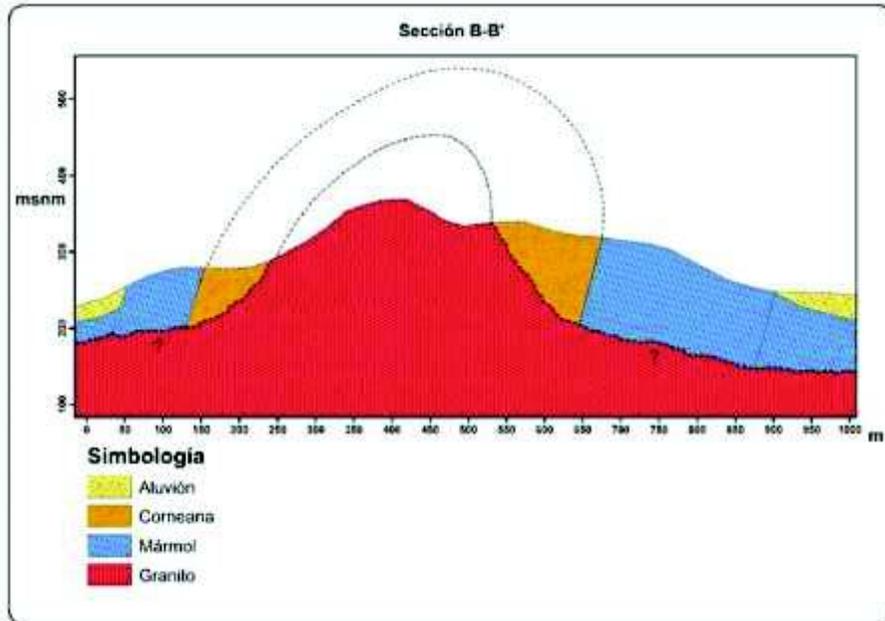


Figura 5. Sección B-B'

#### **4.1 Rocas metasedimentarias**

Estas afloran principalmente en la parte central y al oeste de la zona de estudio, más precisamente al noroeste del cerro Agualurca y al oeste y al norte del cerro de la Virgen.

##### **4.1.1 Mármol**

Esta unidad está formada principalmente por mármoles de estratos gruesos a masivos (Figura 6), con tamaño de grano variable de medio a grueso, con los que se intercalan escasos estratos delgados de corneanas y cuarcita. Esta unidad aflora en la falda occidental de cerros de baja elevación ubicados al oriente de la carretera federal 15, así como en las partes inferiores en el flanco oeste del cerro de La Virgen. Por su geomorfología formando lomeríos que ocupan las partes bajas se interpreta que estas rocas son relativamente más fáciles de erosionar que las otras unidades metasedimentarias.

Debido a que esta es la unidad que se encuentra en la parte más baja y que su base es cubierta por sedimentos recientes, se desconoce qué rocas se encuentran en su parte inferior. En todos los afloramientos el mármol subyace paralelamente a la unidad de Corneanas, menos en las partes cercanas al cerro de la Virgen en donde el mármol aflora sobreyaciendo a la corneana, por lo que se interpreta como un contacto concordante o bien una discordancia paralela. Esta relación geológica puede apreciarse en la sección A – A' (Figura 4). Además, el mármol es intrusionado por el cuerpo granítico, relación que se aprecia mejor en el cerro de la Virgen, aunque también localmente en los cerros ubicados al oriente de la carretera (Figura 8). Asimismo, la unidad de mármol es cortada por el conjunto de diques lamprofídicos y cubierta en discordancia angular por un conglomerado de grandes fragmentos y sedimentos recientes (Figura 39).

En campo se observa que en la unidad donde aflora el mármol, además de contar con variaciones en el grosor de los estratos y en el tamaño de grano, consta también de variaciones en su mineralogía. La roca presenta un color blanco a gris, también presenta un color pardo a rojizo en algunas partes, intemperismo kárstico y presenta en algunos afloramientos horizontes de vesuvianita. Estos estratos, tienen una actitud con un rumbo hacia el NW y un

echado que va de 65° a 70° hacia el NE en la zona central del área, mientras que, en el cerro de la Virgen, estos estratos se encuentran buzando hacia el SW y se encuentran aflorando en forma de crestones en las partes inferiores, un rasgo geomorfológico característico en el área (Figura 7). Esta unidad representa la base de la secuencia y tiene un espesor aproximado de 123 m en la zona al NW del cerro Agualurca.



Figura 6. Estratos Masivos de mármol con nódulos de cuarcita (originalmente pedernal), vista hacia el NE.



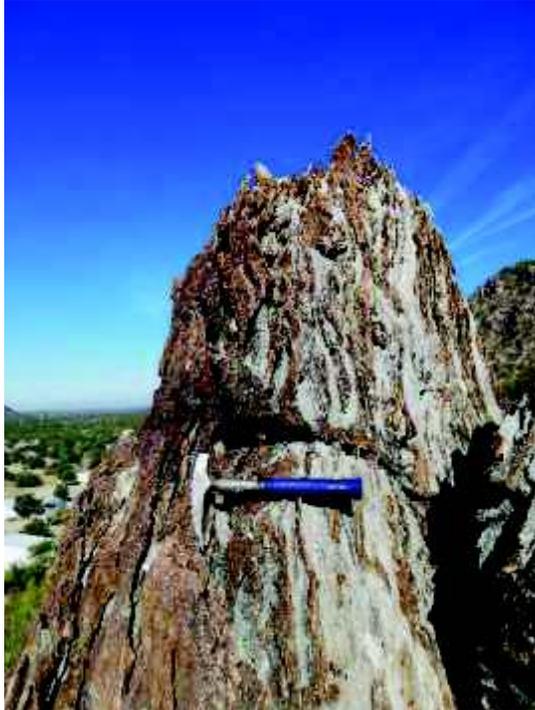


Figura7. Se observa la estratificación relicta que posee el mármol junto con laminaciones y bandas arenosas, aflora en forma de crestones, vista al NW .

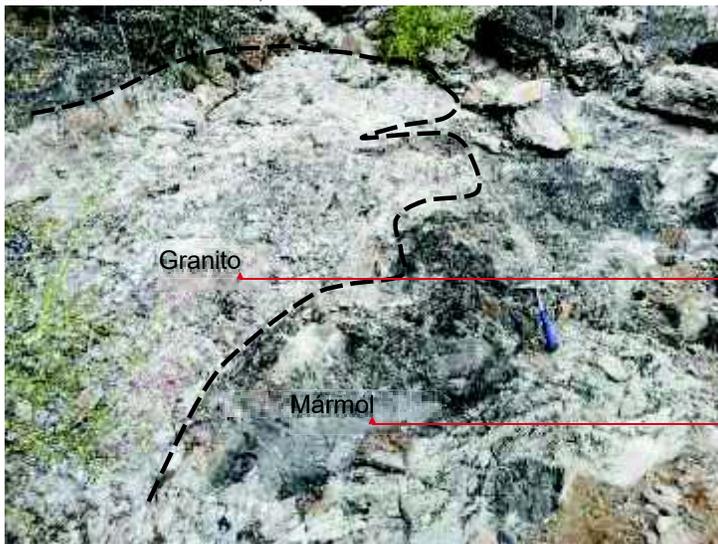


Figura 8. Se observa el contacto entre granito y mármol, vista al NE.

**Con formato:** Fuente: (Predeterminada) Arial, 12 pto, Color de fuente: Texto 1, Contorno de texto, Sombra

**Con formato:** Fuente: (Predeterminada) Arial, 12 pto, Color de fuente: Texto 1, Contorno de texto, Sombra

Petrográficamente, estas rocas muestran una textura granoblástica y desarrollan generalmente la misma mineralogía, con variaciones en su proporción, con cristales euhedrales a subhedrales de calcita, así como cristales anhedrales de diópsida y wollastonita (Figuras 9, 10, 11).

#### Muestra CV-2

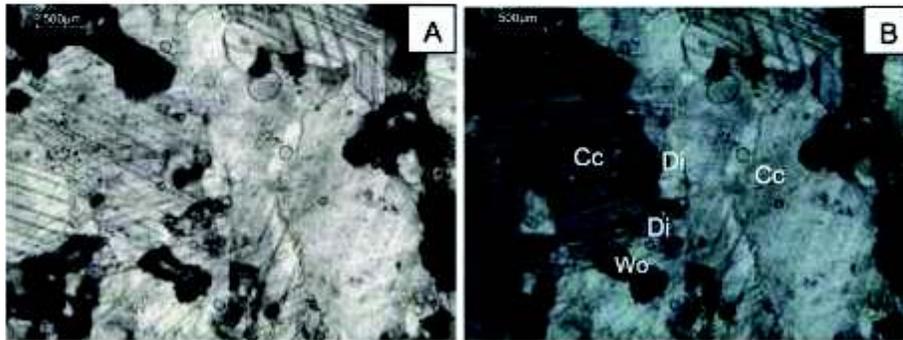


Figura 9. Fotomicrografías de una sección delgada en luz natural (A) y luz polarizada (B), donde se observa que la roca presenta una textura granoblástica con cristales subhedrales de calcita (Cc), wollastonita (Wo) y diópsida (Di).

#### Muestra CV – 40

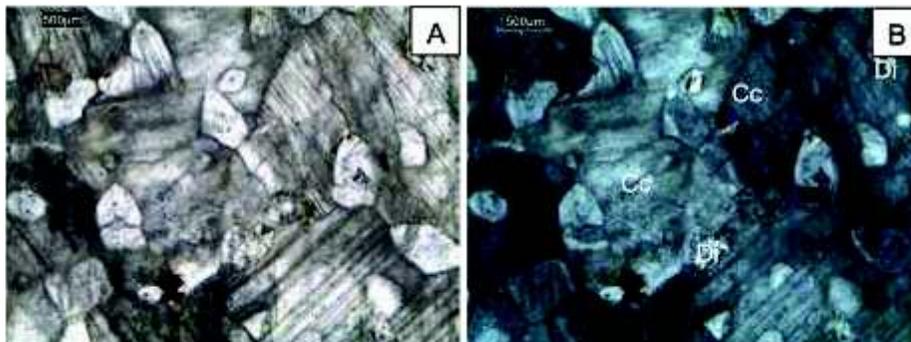


Figura 10. Fotomicrografías de una sección delgada en luz natural (A) y luz polarizada (B), en las que se observa una textura granoblástica con cristales subhedrales de calcita (Cc) y diópsida (Di).

Muestra CV-48

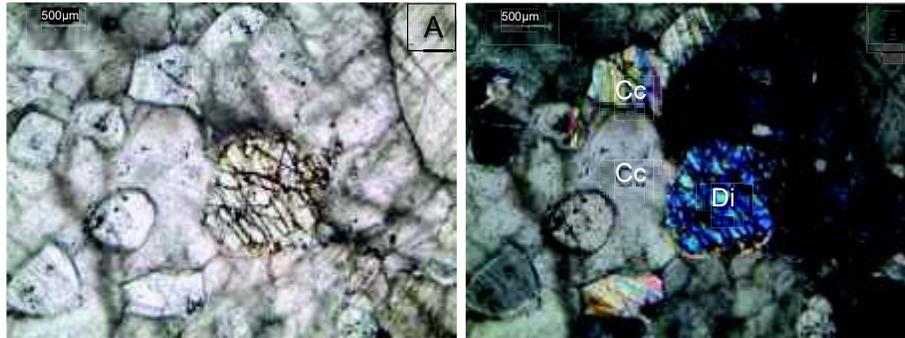


Figura 11. Fotomicrografías de una sección delgada en luz natural (A) y luz polarizada (B), donde se aprecia la textura granoblástica con cristales subhedrales de calcita (Cc) y diópsida (Di).

#### 4.1.2 Corneanas

La unidad que corresponde a corneanas o rocas calcosilicatadas aflora principalmente en lo que corresponde al centro de la zona de estudio y en la parte Oeste del cerro de la Virgen. Los estratos de esta unidad varían de gruesos a masivos y se encuentra en la parte media de los cerros al oriente de la carretera y en las partes bajas y en la cima del cerro de la Virgen (Figuras 13 y 14). Tienen un rumbo preferencial de  $320^\circ$  y un buzamiento hacia el NE de  $67^\circ$ , esto en la parte central del área, mientras que en la zona del cerro de la virgen los estratos se encuentran buzando hacia el SW con un ángulo de  $84^\circ$  y mantienen el mismo rumbo.

En la parte central de la secuencia esta unidad sobreyace paralelamente al mármol y se encuentra por debajo de una unidad conformada por cuarcitas también en contacto concordante o paralelo. Por su parte en el cerro de La Virgen esta unidad se encuentra subyaciendo al mármol, el cual ocupa las partes más bajas del cerro y se encuentra en contacto intrusivo con el granito (Figura 12). Un rasgo geomorfológico que la caracteriza es que aparece aflorando en forma de crestones en la cima (Figura 13), así como en sus partes bajas lo cual indica resistencia a la erosión (Figura 14).

En campo las rocas muestran un tamaño de grano que varía de mediano a grueso, y muestran un color verdoso a blanco, en muestra de mano se observan minerales como wollastonita, diópsido e idocrasa, además de vetilleos de epidota. Esta unidad posee un espesor aproximado de 115 m en el centro del área de estudio y un espesor de 350 m en el cerro de la Virgen.



Figura 12. Granito en contacto intrusivo con las corneanas, vista hacia el NE

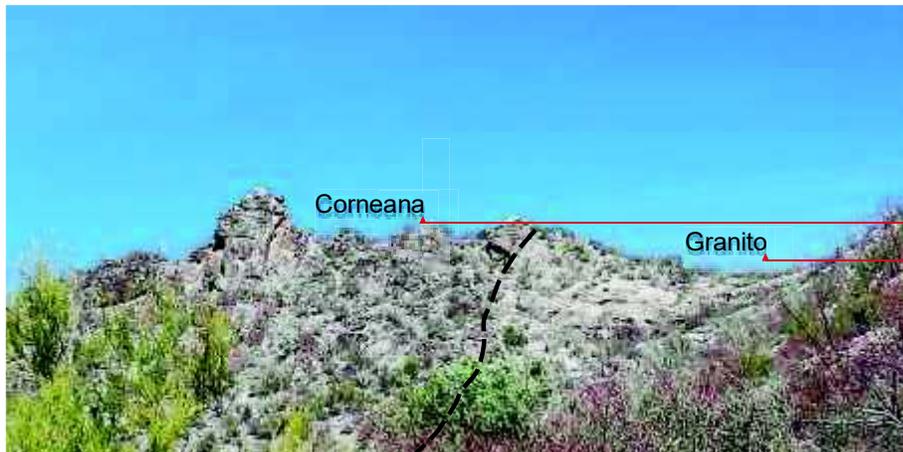


Figura 13. Se aprecia el contacto entre las corneanas y el granito, en donde se puede ver como los metasedimentos sobresalen geomorfológicamente en forma de crestones en la cima del cerro La Virgen, vista hacia el NE.

**Con formato:** Fuente: (Predeterminada) Arial, 36 pto, Color de fuente: Texto 1, Revisar la ortografía y la gramática, Contorno de texto, Sombra

**Con formato:** Contorno de texto, Sombra



Figura 14. Estratos de corneana aflorando en forma de crestones, vista hacia el NW.

Petrográficamente en estas rocas se observan variaciones tanto en su textura como en su mineralogía. Las rocas muestran una fábrica que va de granoblástica (Figura 15) a decusada (Figuras 16, 17) y contienen cristales que van de subhedrales a anhedrales de minerales como wollastonita, diópsida, calcita, cuarzo, vesuvianita, esfena, plagioclasa y granate, además varían las proporciones de cuarzo y calcita incluso llegando a encontrarse juntos en la misma muestra por lo que alguno de estos minerales debería ser secundario ya que no pueden coexistir en presencia de wollastonita. En algunas muestras los cristales muestran lineaciones que siguen los planos de foliación, tal como se observa en las muestras CV – 36 (Figura 15) y CV – 50 (Figura 18).

Muestra CV – 36

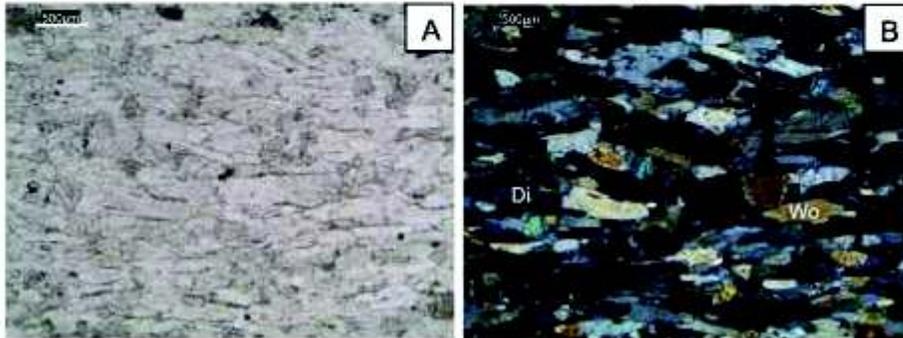


Figura 15. Fotomicrografías de una sección delgada en luz natural (A) y luz polarizada (B) de Corneana de Wollastonita. Se puede observar una fábrica granoblástica, en la cual se pueden observar cristales alineados de wollastonita (Wo) y diópsida (Di), los cuales siguen planos de foliación.

Muestra CV – 38

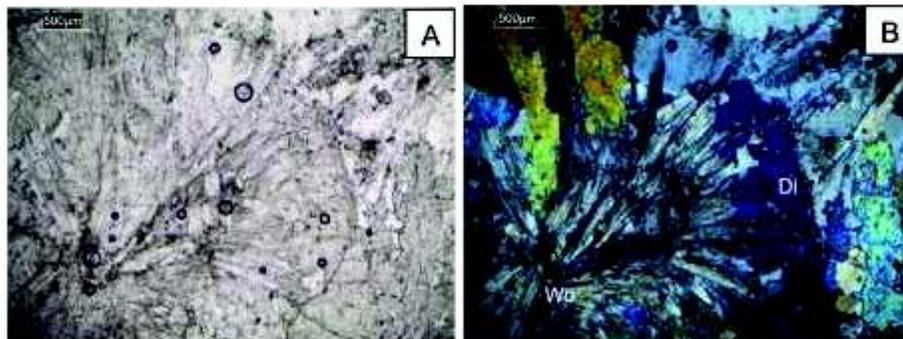


Figura 16. Fotomicrografías de una sección delgada en luz natural (A) y luz polarizada (B) de Corneana de piroxeno. Se muestra una fábrica decusada con cristales de diópsida (Di) y de wollastonita (Wo). Este último mineral se observa de forma fibrorradial.

Con formato: Sin espaciado, Sangría: Izquierda: 1,25 cm, Interlineado: sencillo

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial, 10 pto

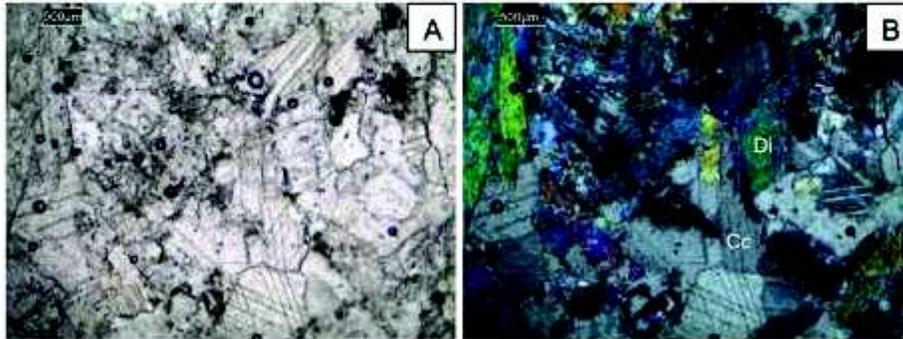


Figura 17. Fotomicrografías de una sección delgada en luz natural (A) y luz polarizada (B) de la muestra CV – 38, se observa una fábrica granoblástica con cristales subhedrales de calcita (Cc) y diopsida (Di) en contacto.

Muestra CV – 50

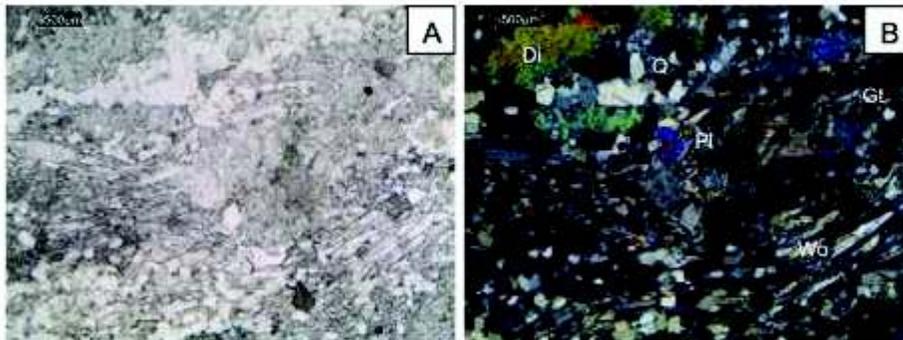


Figura 18. Fotomicrografías de una sección delgada en luz natural (A) y luz polarizada (B) de corneana de piroxeno, en donde se muestra una textura granoblástica y se muestran cristales anhedrales de diópsido (Di), así como cristales subhedrales de wollastonita (Wo), cuarzo (Q), granate poikiloblástico (Gt) y plagioclasa (Pl).

- Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial, 10 pto

#### 4.1.3 Cuarcita

Esta unidad, que representa la parte superior de la secuencia metasedimentaria, aflora únicamente al NW del cerro Agualurca. Sus estratos presentan básicamente las mismas actitudes que las unidades anteriores, un rumbo de  $321^\circ$  NW con un buzamiento promedio de  $66^\circ$  hacia el NE.

Las cuarcitas son de grano fino con un color gris oscuro en superficie fresca mientras que en superficie intemperizada muestra un color pardo a rojizo y presentan laminaciones. Estos estratos afloran en forma masiva (Figura 20) desde la parte media hasta la cima, en donde los estratos aparecen en forma de crestones (Figura 19). Este rasgo morfológico es característico en el área de los cerros al oriente de la carretera. Esta unidad sobreyace en contacto concordante a la unidad compuesta por corneanas y se ha calculado un espesor aproximado de 128 m para esta parte de la unidad.

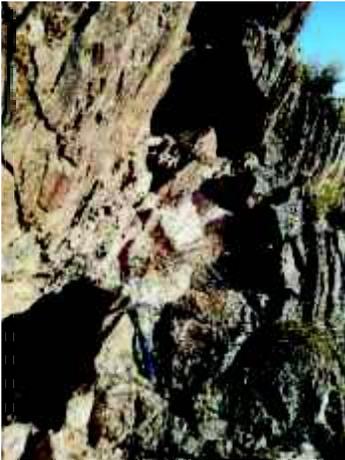


Figura 19. Se puede apreciar los estratos de cuarcita aflorando en forma de crestones, vista al SE.



Figura 20. Afloramiento en forma masiva de cuarcitas, se aprecian líneas de fracturas, vista al NE.

#### 4.1.4 Skarn

En trabajos anteriores se han detectado varios depósitos de skarn cerca del rancho Las Víboras en donde ocurre la presencia de scheelita (Wiese y Cárdenas, 1945) cuyo valor radica en su explotación para la obtención de Tungsteno, los prospectos en la zona son la Luz Azul, La Leonora, El Camino, Josefina, Los Andes y Carmelita (Figura 24).

Sin embargo, en la cartografía realizada en este trabajo solamente se encontró una pequeña zona en donde aflora el skarn cerca del contacto con el intrusivo, en el centro del área. Son rocas de grano medio compuestas principalmente de granate y piroxeno, de un color pardo a verdoso, aflora en pequeños lentes en contacto con los estratos de corneana cerca del prospecto Los Andes (Figura 24).

Otros depósitos de este tipo han sido descritos al N del área en los cerros Lujan y Tecoripa (Figura 24) cuyos prospectos son los más importantes en la zona, ya que es aquí donde más cuerpos han sido explotados para la obtención de Tungsteno.

Petrográficamente estas rocas muestran una textura granoblástica con cristales subhedrales de piroxeno, granate y plagioclasa, presentando también cristales de cuarzo en menor cantidad.

Muestra CV – 28 A

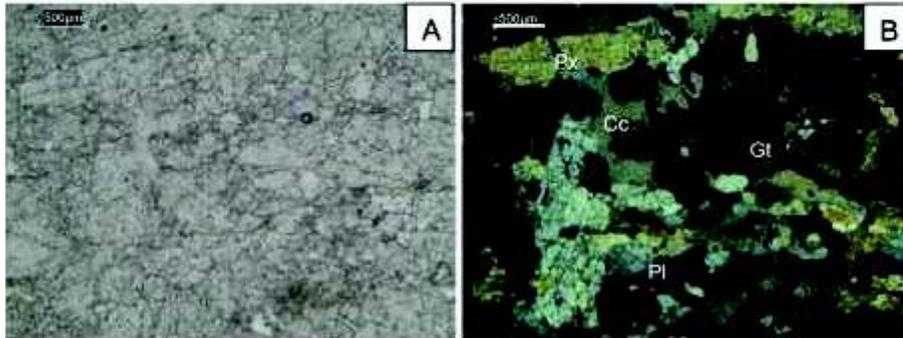


Figura 21. Fotomicrografías de una sección delgada en luz natural (A) y luz polarizada (B) de Skarn. Esta muestra presenta una textura granoblástica con cristales subhedrales de granate (Gt), piroxeno (Px), plagioclasa y calcita (Cc).

Muestra CV – 28

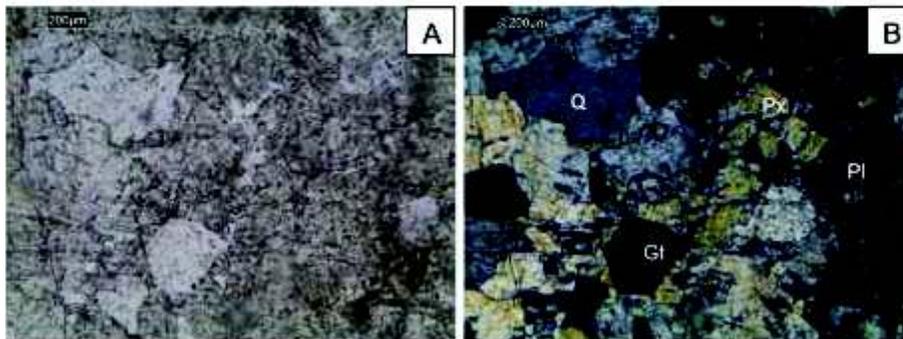
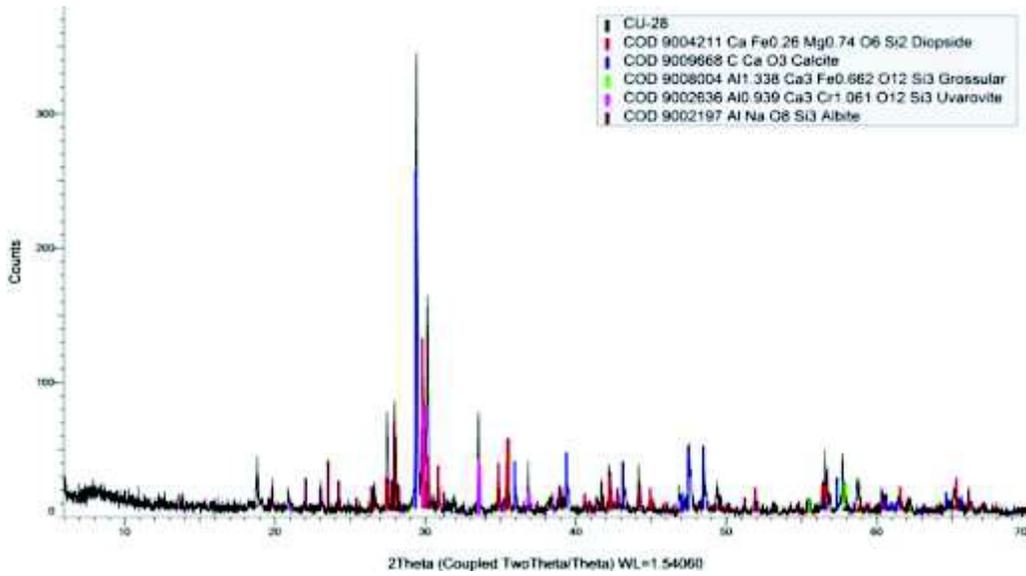


Figura 22. Fotomicrografías de una sección delgada en luz natural (A) y luz polarizada (B) de Skarn. Se muestra básicamente la misma mineralogía que en la figura anterior, incluso se observa un cristal ehedral de granate (Gt), aunque esta muestra tiene cuarzo (Q).





Difractograma de la muestra CV-28 donde se tiene la presencia de diópsida, calcita, albite y granate donde este último bien definido, varía entre grosularia y uvarovita.

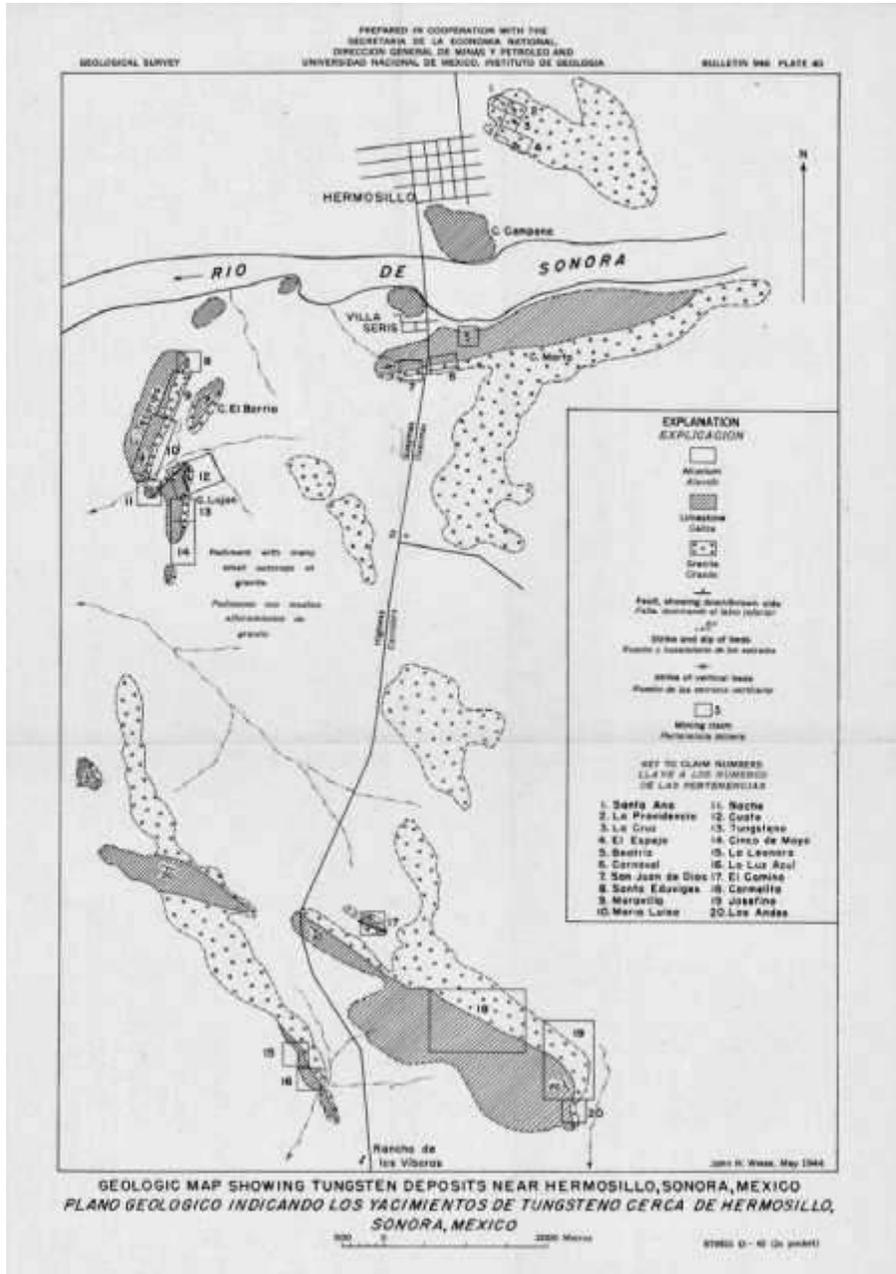


Figura 24. Mapa geológico que muestra los depósitos de tungsteno cerca de Hermosillo, Sonora (Wiese y Cárdenas, 1945).

## **4.2 Rocas ígneas**

### **4.2.1 Granito**

Este intrusivo corresponde a la unidad de mayor extensión en el área abarcando casi toda la porción Este de la zona de estudio. Aflora también al Oeste en el cerro de La Virgen formando sierras con morfologías altas, que presentan una dirección NW- SE. Los contactos entre el intrusivo y las rocas metamórficas aparecen en forma recta en ocasiones y en otras de forma ondulosa (Figuras 8, 12 y 13). La roca presenta un tamaño de grano que varía de mediano a grueso, presentando un tamaño de grano menor cerca del contacto con la roca encajonante. La mineralogía corresponde a cuarzo, plagioclasa, biotita y feldespato alcalino.

Esta unidad, al igual que las rocas metamórficas del área, es intrusionada por diques lamprofídicos (Figura 25), siendo más notoria la presencia de éstos en la unidad granítica. Además de diques lamprofídicos, en algunas zonas se aprecian granitos porfiricos de feldespato con intrusiones de diques aplíticos (Figura 26).

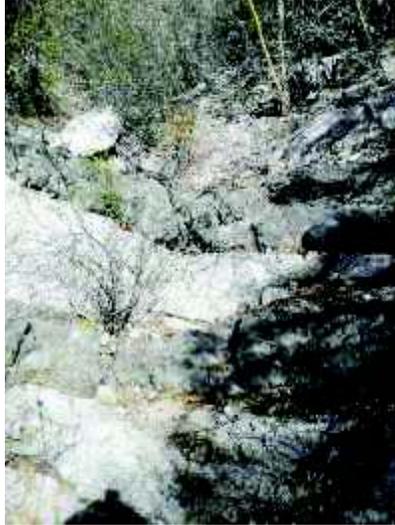


Figura 25. Intrusión de diques lamprofidicos (de color gris verdoso) con una dirección NW, vista al NE.



Figura 26. A la izquierda se observa un granito porfirico de feldespato, mientras que en la fotografía de la derecha se observa la intrusión de diques aplíticos que cortan al granito.

En el estudio petrográfico, estas rocas muestran una mineralogía similar, la cual está compuesta de cuarzo, plagioclasa tipo albita, microclina, feldespato alcalino, los cuales muestran una alteración sericítica, biotita con alteración a clorita, esfena y óxidos Fe – Ti (Figuras 27, 28, 29).

Muestra CV – 14

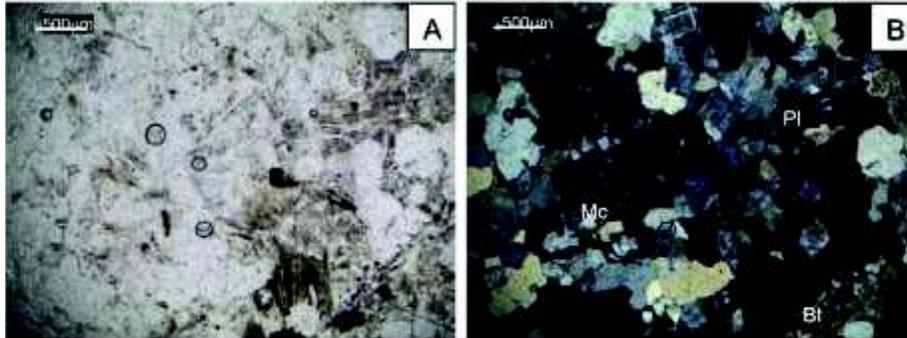


Figura 27. Fotomicrografías de una sección delgada en luz natural (A) y luz polarizada (B) de granodiorita, donde se muestra la mineralogía del granito compuesta de cuarzo (Q), plagioclasa (Pl) y microclina (Mc), se observa la biotita (Bt) con alteración a clorita.

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial, 10 pto

Muestra CV – 51

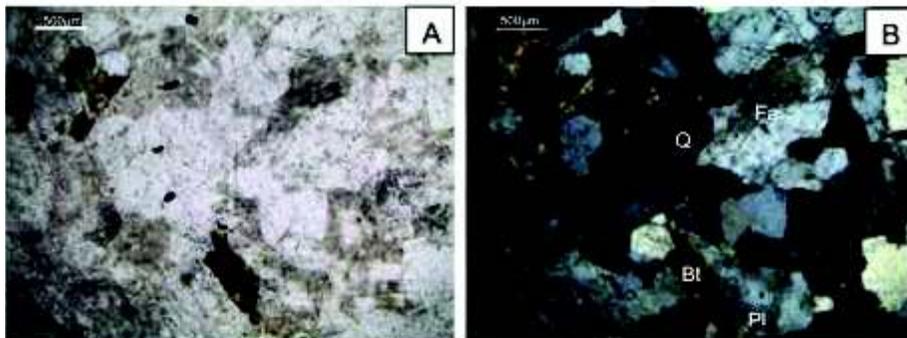


Figura 28. Fotomicrografías de una sección delgada en luz natural (A) y luz polarizada (B) de sienogranito, donde se observa una textura porfírica con fenocristales de feldespato alcalino (Fa), además de biotita (Bt) alterándose a clorita.

### Muestra CV – 61

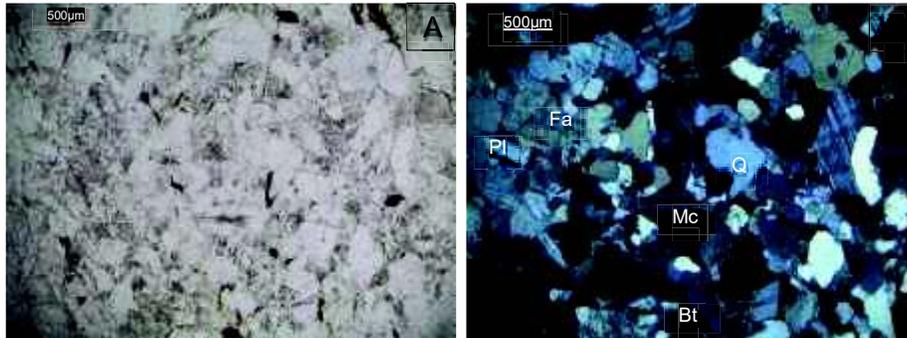


Figura 29. Fotomicrografías de una sección delgada en luz natural (A) y luz polarizada (B) de monzogranito, donde se observa un grano más fino que en la muestra anterior y una menor proporción de biotita (Bt).

Según el diagrama modal QAPF para la clasificación de rocas plutónicas (Streckeisen, 1976; Le Maitre, et al., 2002), se observa que, las rocas descritas varían en composición, ubicándose en los campos que corresponden a granito y granodiorita (Figura 30). Para graficar las muestras en el diagrama, se realiza un cálculo modal en cada sección delgada, con el fin de obtener los valores porcentuales de cuarzo, feldespato alcalino y plagioclasa, por último, se normalizan para que la suma total de éstos sea de 100%. Una vez normalizados los datos, se obtiene que, los valores de la muestra CV – 51 corresponden a un 37.5% de cuarzo, 12.5% de plagioclasa y 50% de feldespato alcalino, por lo que se clasifica como sienogranito, la muestra CV – 61 contiene un 42.1% de cuarzo, 21.05% de plagioclasa y 36.84% de feldespato alcalino, ubicándose en el campo de monzogranito. Por último, la muestra CV – 14 contiene un 52.63% de cuarzo, 36.84% de plagioclasa y 10.52% de feldespato alcalino, por lo que se clasifica como granodiorita.

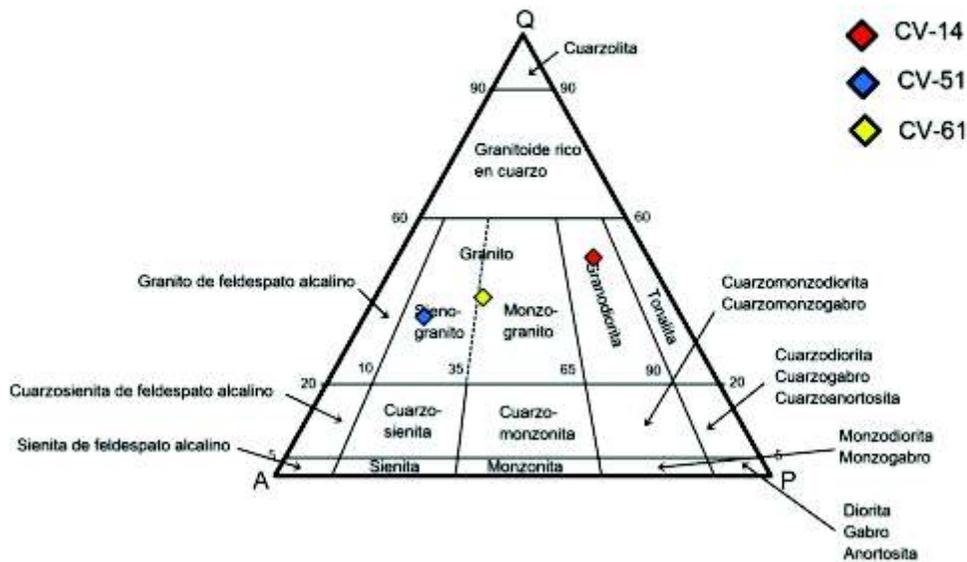


Figura 30. Diagrama modal QAPF para rocas plutónicas (Streckeisen, 1976), que muestra la clasificación de las muestras graníticas recolectadas en el área de Las Viboras.

#### 4.2.2 Diques lamprófidos

Estos diques están intrusionando ambas unidades y normalmente se encuentran en el área con una actitud de  $320^\circ$  con un buzamiento de  $35^\circ$  hacia el NE, estos diques también se observan en la región de Hermosillo y sus alrededores, formando un enjambre. En el área estos diques generalmente tienen una orientación al NW y tienden a ser paralelos a las fallas formadas por la extensión *Basin and Range*, ya que encuentran en ellas un plano de debilidad en el cual alojarse (Figura 31). Estos diques son más notorios en la unidad granítica, aunque se ven esporádicamente intrusionando a las rocas metamórficas y a ciertas estructuras.

Las rocas en muestra de mano son de grano medio, de un color verde claro a verde oscuro. Presentan una textura porfírica con cristales de hornblenda en una matriz compuesta de plagioclasa con cristales secundarios de cuarzo y epidota. Estas

Con formato: Sin espaciado, Sangría: Izquierda: 1.25 cm, Primera línea: 0 cm, Interlineado: sencillo

rocas varían en el tamaño de grano y en la cantidad de matriz que alojan los cristales de anfíbol.



Figura 31. Dique lamprofídico en contacto con granito, vista al NE.

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial, 10 pto

En lámina delgada, estas rocas son porfíricas, con fenocristales de anfíbol y plagioclasa en una matriz microcristalina, en la cual se observan cristales de cuarzo y plagioclasa, algunas plagioclasas muestran alteración sericítica, también se observan cristales de epidota y óxidos Fe- Ti (Figuras 32, 33).

Muestra CV – 16

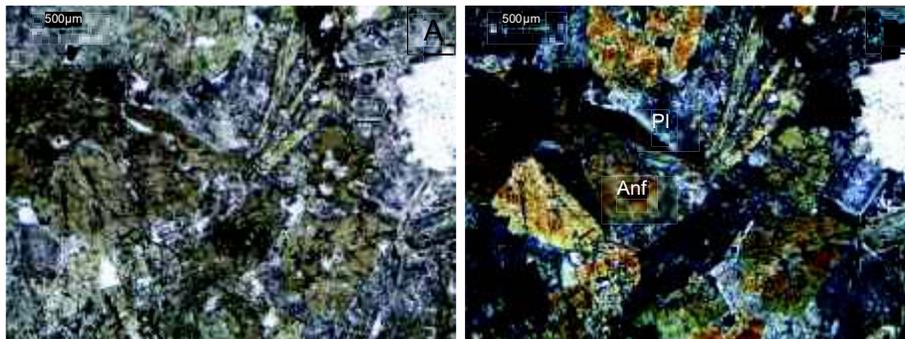


Figura 32. Fotomicrografías de una sección delgada en luz natural (A) y luz polarizada (B) de lamprófidio, donde se muestran claramente fenocristales de anfíbol (Anf) y plagioclasa (Pl).

Muestra CV – 18

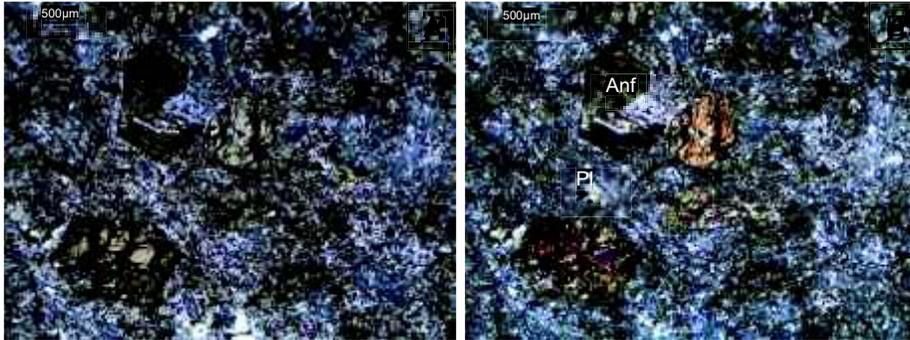


Figura 33. Fotomicrografías de una sección delgada en luz natural (A) y luz polarizada (B) de lamprófito, donde se observa una mayor cantidad de matriz en comparación a la muestra anterior.

**Con formato:** Fuente: (Predeterminada) Arial, 10 pto

**Con formato:** Fuente: (Predeterminada) Arial, 10 pto

**Con formato:** Fuente: (Predeterminada) Arial, 10 pto

**Con formato:** Sangría: Primera línea: 1.25 cm

## 5. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

### 5.1 Plegamiento

Las rocas del área se ven afectadas por varios eventos de deformación. Al igual que en el cerro La Cementera en Hermosillo, donde han sido reportados y cartografiados pliegues (Gonzalez-Sandoval, 2005), aquí también se encuentra una deformación de tipo dúctil (Figura 5). En el área solo se encontraron evidencias de plegamiento en el cerro de La Virgen, se trata de un pliegue isoclinal a subisoclinal (Figura 34) con sus flancos buzando hacia el SW con un echado de 53° en su flanco E y un echado de 65° en su flanco W con un rumbo SE, en el núcleo del pliegue se encuentran micropliegues subisoclinales (Figuras 35, 36). El estereograma para el plano axial y su polo, indican un esfuerzo de compresión en dirección N14°E (Figura 37), aunque no se sabría con certeza que esta fuera la dirección original del esfuerzo ya que la actitud de estos estratos podría atribuirse a rotaciones producidas por fallas normales lístricas.

### 5.2 Fallamiento

Las estructuras mayores en el área corresponden a fallas de tipo normal. Estas fallas producen que el cerro Agualurca se haya levantado como un horst de granito. Se interpretan esta y otras fallas similares, aunque no afloran bien porque son cubiertas por sedimentos aluviales. La deformación en el área se manifiesta en forma de fallas normales, lo que indicaría que en esa zona el principal evento de deformación es extensional.

De acuerdo con los datos obtenidos en campo sobre las estratificaciones de las unidades, se tiene que los rumbos de los estratos varían de 310° a 340° con echados de 80° a 45° (regla de la mano derecha) en la zona del cerro Agualurca; mientras que en el cerro de La Virgen los rumbos van de 117° a 146° y los echados varían entre 85° a 60° (Figura 38). Los datos estructurales de estratificación y los de fallamiento se analizaron con el programa Stereonet (Allmendinger *et al.*, 2012; Cardozo y Allmendinger, 2013), en el cual se introdujeron los datos de un total de 28 mediciones de planos de estratificación y 10 mediciones de planos de falla.

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial



Figura 34. Pliegue isoclinal en el cerro de La Virgen, vista al NW.

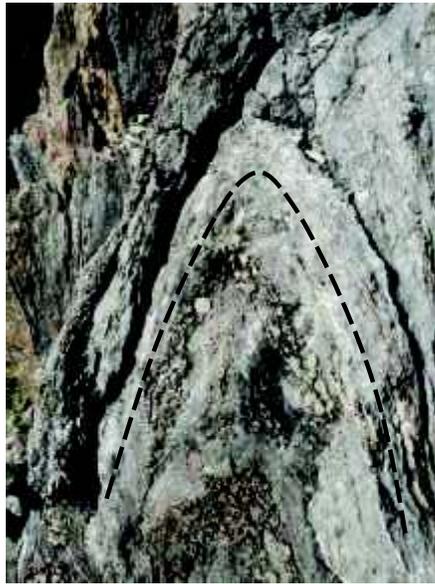


Figura 35. Núcleo del pliegue, vista al NW.



Figura 36. Micropliegues subsoclinales que se encuentran en el núcleo del pliegue.

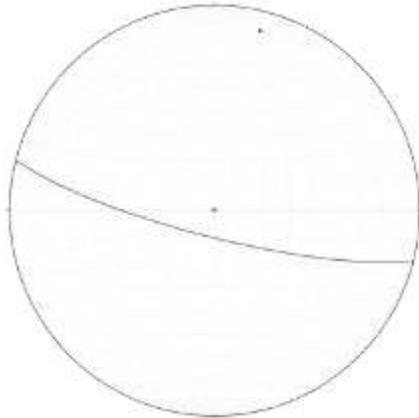


Figura 37. Estereograma que indica el plano axial y su proyección al polo para el pliegue isoclinal que se encuentra en el cerro de La Virgen.

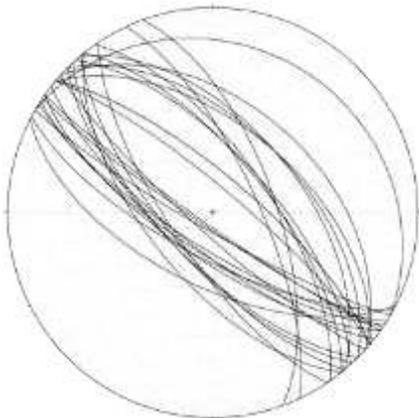


Figura 38. Estereograma que muestra las actitudes de los estratos relictos que muestran las rocas metamórficas, siguiendo la RMD.

Debido a que las capas tienen el mismo orden estratigráfico, tanto en el cerro Agualurca como en el cerro de La Virgen y sus rumbos son similares pero se inclinan en sentidos opuestos, se interpreta la existencia de una estructura que separó ambos bloques, esta estructura se considera como una falla lítrica con rumbo NW que rotó los estratos del cerro de La Virgen aproximadamente  $30^\circ$  hacia el este con respecto a los de la parte norte del cerro Agualurca (Figura 4).

Esta estructura, la cual se refleja en campo mediante un fracturamiento muy intenso del mármol y por la presencia de una brecha sedimentaria con grandes clastos, se observa en un corte cerca de la carretera (Figura 39). Dicha brecha, que se interpreta como brecha de pie de falla, es cortada por diques lamprofídicos los cuales han sido fechados en la región de Hermosillo entre 25 y 21 Ma (Orozco-Garza *et al.*, 2013). Entonces esta brecha se podría asociar a la fase temprana del evento distensivo *Basin & Range*, la cual está definida, alrededor de 27 Ma (e.g. Grijalva-Noriega *et al.*, 1998; Calmus *et al.*, 2011).

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial



Figura 39. Fotografía de una brecha de falla, la cual se ubica a un costado de la carretera federal No. 15.

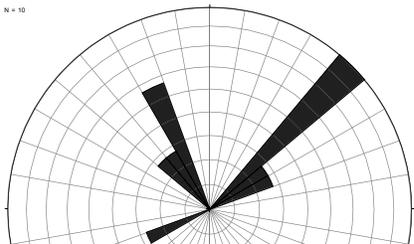
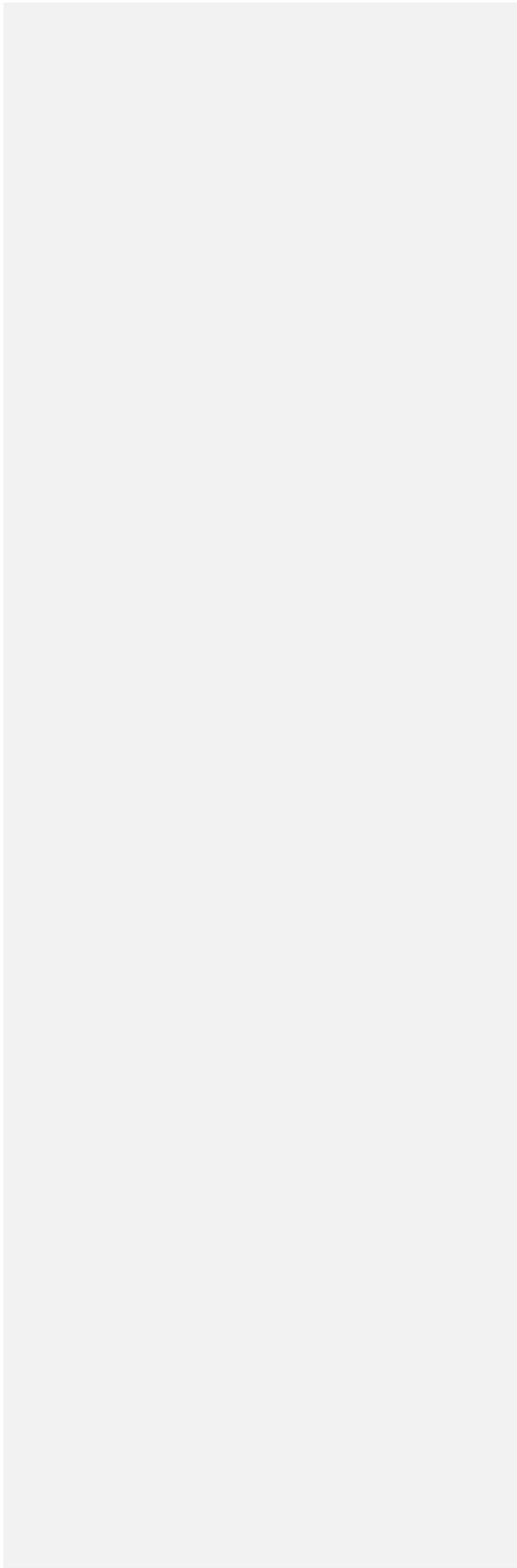
En el área se encontraron 2 familias de fallas, la familia de la que se midieron más datos tiene rumbos entre  $040^{\circ}$  y  $060^{\circ}$  con echados al SE y NW entre  $54^{\circ}$  y  $77^{\circ}$ . La otra familia es más o menos perpendicular a la anterior y presenta rumbos entre  $310^{\circ}$  y  $335^{\circ}$  con echados al NE de  $13^{\circ}$  a  $70^{\circ}$  (Figuras 40, 41). Algunas de las fallas medidas presentaron estrías y tectoglifos en forma de escalones (Figura 42) lo que permitió establecer el sentido y dirección de movimiento de los bloques.

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial, 12 pto

Con formato: Fuente: (Predeterminada) Arial, 12 pto



4  
5

(n=10).

Figura 41. Estereograma que muestra las actitudes de las fallas en la zona.

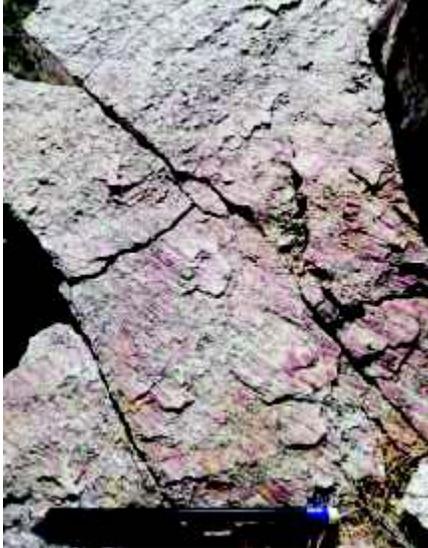


Figura 42. Estrías de falla y tectoglifos que indican el sentido y dirección movimiento de bloques. En este caso se aprecia un movimiento oblicuo-normal (bloque de piso hacia arriba).

## 6. CONCLUSIONES

De acuerdo con el trabajo de cartografía realizado en el área del rancho Las Víboras se obtuvieron las siguientes conclusiones:

En el área se encontraron litologías producto del metamorfismo de contacto, que afecta a rocas sedimentarias, principalmente carbonatadas y que se pueden observar en otras localidades en Hermosillo.

Se distinguieron dos unidades litológicas principales, una unidad metasedimentaria, caracterizada por un metamorfismo de contacto, en la que se distinguen mármol, corneana, cuarcita, y una unidad granítica. El mármol se caracteriza por poseer un tamaño de grano que va de fino a medio y por desarrollar en algunas zonas piroxenos, mientras que la mineralogía principal de las rocas corneanas se compone de minerales calcosilicatados como lo son diópsido, wollastonita e idocrasa, además de granate, lo que indicaría una facies de corneana de piroxeno para estas rocas. Estas rocas podrían correlacionarse con los afloramientos de rocas carbonatadas que se encuentran más al norte del área Las Víboras, en los cerros de La Cementera, La Campana y Tecoripa, a las cuales, se le asignan una edad del Paleozoico (Rodríguez-Castañeda, 1981). Además, se correlacionarían con las rocas del área del Palo Verde, también al norte, donde afloran corneanas calcosilicatadas y cuerpos de skarn con mineralización, de donde se obtiene Tungsteno (Mendoza-Córdova, 2005).

Por su parte, la cuarcita tiende a aflorar en forma de crestones que sobresalen en la cima y sus estratos tienen una posición casi vertical. Éstas podrían correlacionarse con distintos afloramientos reportados en otras localidades cercanas a Hermosillo. Se han reportado cuarcitas al NE de la ciudad de Hermosillo al sur del cerro El Molinito y al oriente de la ciudad en la sierra Los Leyva, a las que se le asignan una edad del paleozoico (Rodríguez-Castañeda, 1981). También afloran cuarcitas al NW de Hermosillo, a las que, por su contenido fosilífero, se le asignan una edad del Ordovícico (Ávila-Ángulo, 1987). Así mismo, se encuentran cuarcitas en los cerros de La Cementera y La Campana, a las que le asignan una edad del Jurásico (González-Sandoval, 2005).

El granito tiene variaciones en su textura y composición que se pueden apreciar a escala mesoscópica, como lo son el tamaño de grano y la cantidad de biotita. Además, se encuentran diques de lampróvido y aplíticos que cortan tanto al granito como a las rocas metasedimentarias. Este cuerpo intrusivo se asocia

con otros afloramientos de este tipo que se encuentran dentro y en las inmediaciones de la ciudad de Hermosillo, producto de la orogenia Laramide. De los cuales, se han reportado edades de  $60.51 \pm 0.33$  Ma (Valencia – Moreno et al., 2006). Mientras que, para los diques de lamprófidio en la región de Hermosillo, se han obtenido edades entre 25 y  $21 \pm 1$  Ma (Orozco-Garza et al., 2013).

Estructuralmente en la zona se distinguen 2 tipos de deformación, una de tipo dúctil que afecta a los metasedimentos, esta deformación es evidente en el cerro de La Virgen, en la que se presentan pliegues de tipo isoclinal con un aparente esfuerzo de compresión en dirección N14°E. En el área del cerro Agualurca no se evidenció tal deformación, pero se infiere la existencia de un sinclinal que muestra el flanco E del pliegue, cuyos estratos fueron rotados por fallas de tipo lístricas hacia el W.

La deformación de tipo frágil se evidencia por la presencia de fallas de tipo normal, de las cuales se tienen dos familias principales, una con dirección NW-SE y la otra con un rumbo NE-SW, además de la presencia de estructuras principales que corresponderían a fallas NW-SE las cuales no pudieron observarse directamente, pero controlan la orientación principal de los cerros y los valles típicos de la región la región fisiográfica de Sierras y Valles paralelos.

Se encontró una pequeña zona de skarn cerca del contacto con el granito, cuya mineralogía se definió por medio de petrografía conteniendo principalmente granate, piroxeno y plagioclasa y que, por medio de difracción de rayos x, se reconocieron granate tipo grosularita – uvarovita, diópsido y plagioclasa tipo albita. Según trabajos previos en la zona, se reportan cuerpos de skarn con mineralización de Tungsteno (Wiese y Cárdenas, 1945), cuyos prospectos no fueron considerados para su explotación.

Por último y como recomendaciones, para constreñir la edad de la secuencia metasedimentaria, se propone realizar estudios de dataciones de circones detríticos sobre todo en las cuarcitas. Mientras que para una mejor definición de las condiciones de metamorfismo se plantea como posibilidad realizar estudios de termobarometría para conocer de manera apropiada las condiciones de temperatura y presión en las que ocurrió este metamorfismo de contacto, así como realizar cartografía en el área al Suroeste la localidad. Dichos estudios, pudieran realizarse en las rocas magmáticas para definir la presión, y en rocas calcosilicatadas con granate-piroxeno para definir la temperatura de metamorfismo.

## 7. REFERENCIAS

- Allmendinger, R. W., Cardozo, N., and Fisher, D., 2012. Structural geology algorithms: Vectors and tensors in structural geology: Cambridge University Press.
- Ávila-Ángulo, R., 1987. Consideraciones geológicas y estratigráficas de la porción NW de Hermosillo: México: Hermosillo, Son., Universidad de Sonora, Departamento de Geología (tesis de licenciatura).
- Calmus, T., Vega-Granillo, R., & Lugo-Zazueta, R., 2011. Evolución geológica de Sonora durante el Cretácico Tardío y el Cenozoico. Boletín del Instituto de Geología de la UNAM, 118, 227-266.
- Cardozo, N., & Allmendinger, R.W., 2013. Spherical projections with OSXStereonet:  
Computers & Geosciences, v. 51, p.  
193 – 205, doi:10.1016/j.cageo.2012.07.021.

- Coney, P. J., & Reynolds, S. J., 1977. Cordilleran benioff zones. *Nature*, 270(5636), 403.
- Gonzalez-Sandoval, J. R., 2005. Carta geohidrológica de la ciudad de Hermosillo, Sonora, México (tesis de maestría). Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México.
- Grijalva-Noriega, F. J., & Roldán-Quintana, J., 1998. An overview of the Cenozoic tectonic and magmatic evolution of Sonora, northwestern Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 15(2), 4.
- INEGI. 2000. Síntesis de información geográfica del estado de Sonora. Aguascalientes, Ags. México: Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.
- King, R. E., 1939. Geological reconnaissance in northern Sierra Madre occidental of Mexico. *Bulletin of the Geological Society of America*, 50(11), 1625-1722.
- Le Maitre, R., Streckeisen, A., Zanettin, B., Le Bas, M., Bonin, B., & Bateman, P. (Eds.). (2002). *Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mead, R. D., Kesler, S. E., Foland, K. A., & Jones, L. M., 1988. Relationship of Sonoran tungsten mineralization to the metallogenic evolution of Mexico. *Economic Geology*, 83(8), 1943-1965.
- Mendoza-Córdova, A., 2005. Caracterización química y mineralógica del Skarn Palo Verde en Hermosillo, Son.: México: Hermosillo, Son., Universidad de Sonora, Departamento de Geología (tesis de maestría).
- Orozco-Garza, A., Dostal, J., Keppie, J. D., & Paz-Moreno, F. A., 2013. Mid-Tertiary (25–21 Ma) lamprophyres in NW Mexico derived from subduction-modified subcontinental lithospheric mantle in an extensional backarc environment following steepening of the Benioff zone. *Tectonophysics*, 590, 59-71.
- Page, W. R., Harris, A. G., Poole, F. G., & Repetski, J. E., 2003. Reinterpretation of the stratigraphy and structure of the Rancho Las Norias area, central Sonora, Mexico. *Journal of South American Earth Sciences*, 16(6), 523-540.

- Paz-Moreno, F. A., 1992. Le volcanisme mio-plio-quadernaire de l'Etat du Sonora (nord-ouest du Mexique): Évolution spatiale et chronologique. Implications pétrogénétiques (Ph. D. thèse): Marseille, France, Université Aix-Marseille III.
- Rodríguez-Castañeda, J. L., 1981. Notas sobre la geología del área de Hermosillo. Sonora: Revista del Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma De México, 5, 30-36.
- Stewart, J. H., Amaya-Martínez, R., Stamm, R. G., Wardlaw, B. R., Stanley, G. D., & Stevens, C.H., 1997. Stratigraphy and regional significance of Mississippian to Jurassic rocks in Sierra Santa Teresa, Sonora, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 14(2), 115-135.
- Streckeisen, A., 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth Science Reviews. International Magazine for Geo-Scientists*. Amsterdam. Vol. 12, p. 1 - 33.
- Valencia-Moreno, M., Iriondo, A., & González-Leon, C., 2006. Temporal constraints on the eastward migration of the Late Cretaceous–early Tertiary magmatic arc of NW Mexico based on new <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar hornblende geochronology of granitic rocks. *Journal of South American Earth Sciences*, 22(1-2), 22-38.
- Valencia-Moreno, M., Ruiz, J., Barton, M. D., Patchett, P. J., Zürcher, L., Hodkinson, D. G., & Roldán-Quintana, J., 2001. A chemical and isotopic study of the Laramide granitic belt of northwestern Mexico: Identification of the southern edge of the North American Precambrian basement. *Geological Society of America Bulletin*, 113(11), 1409-1422.
- Vega-Granillo, R., & Araux-Sánchez, E., 1987. Estratigrafía del Paleozoico en el área del Rancho Las Norias. Sonora central: Universidad de Sonora, Departamento de Geología, Boletín, 4(1-2), 616-631.
- Vega-Granillo, R., & Calmus, T., 2003. Mazatan metamorphic core complex (Sonora, Mexico): structures along the detachment fault and its exhumation evolution. *Journal of South American Earth Sciences*, 16(4), 193-204.
- Vidal-Solano, J., Paz-Moreno, F. A., Iriondo, A., Demant, A., & Cochemé, J. J., 2005. Middle Miocene peralkaline ignimbrites in the Hermosillo region (Sonora, Mexico): Geodynamic implications. *Comptes Rendus Geoscience*, 337(16), 1421-1430.

Wiese, J. H., & Cárdenas, S. 1945. Tungsten deposits of the southern part of Sonora, Mexico (No. 946-D). US Govt. Print. Off.

