



**UNIVERSIDAD DE SONORA**

**División de Ciencias Exactas y Naturales**

**Departamento de Geología**

**GEOLOGIA Y MINERALIZACIÓN DEL  
YACIMIENTO DE CERRO COLORADO EN LA  
PROVINCIA DEL DESIERTO DE SONORA,  
MÉXICO.**

**TESIS**

**Que para obtener el Grado de:  
Maestro en Ciencias-Geología**



**P R E S E N T A:**

**GENARO VERA BRINGAS**

**Hermosillo, Sonora, Julio de 2014**

# 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, 18 junio 2014.


Dr. Rogelio Monreal Saavedra  
Coordinador de Programa  
Maestría en Ciencias – Geología  
PRESENTE

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

**GEOLOGÍA Y MINERALIZACIÓN DEL YACIMIENTO DE CERRO  
COLORADO EN LA PROVINCIA DEL DESIERTO DE SONORA, MÉXICO.**

Lo anterior con el objeto de que el alumno Genaro Vera Bringas pueda presentar su examen profesional, para la obtención de su título de la Maestría en Ciencias-Geología.

Atentamente,

  
Dr. Efrén Pérez Segura  
Director de Tesis





"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"

# UNIVERSIDAD DE SONORA

Departamento de Geología  
División de Ciencias Exactas y Naturales

Hermosillo, Sonora a 18 de junio de 2014

**Dr. Efrén Pérez Segura**  
Director de Tesis

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

**"GEOLOGÍA Y MINERALIZACIÓN DEL YACIMIENTO DE CERRO COLORADO EN LA PROVINCIA DEL DESIERTO DE SONORA, MÉXICO"**

Esto es con el fin de que el alumno: **VERA BRINGAS GENARO** pueda presentar su examen profesional, para la obtención del título de Grado. Asimismo le comunico que han sido asignados los siguientes sinodales:

<b>Dr. Lucas H. Ochoa Landín</b>	<b>Presidente</b>
<b>Dr. Jesús R. Vidal Solano</b>	<b>Secretario</b>
<b>M.C. Ricardo Amaya Martínez</b>	<b>Vocal</b>
<b>Dr. Efrén Pérez Segura</b>	<b>Vocal</b>

Sin otro en particular quedo de Usted

Atentamente

**Dr. Rogelio Monreal Saavedra**  
Coordinador de Programa  
Maestría en Ciencias-Geología



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

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



"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"

# UNIVERSIDAD DE SONORA

Departamento de Geología  
División de Ciencias Exactas y Naturales

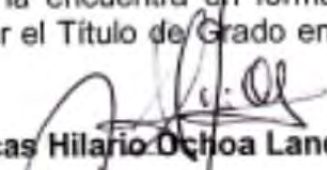
**NOMBRE DE LA TESIS:**

**"GEOLOGÍA Y MINERALIZACIÓN DEL YACIMIENTO DE CERRO COLORADO EN LA PROVINCIA DEL DESIERTO DE SONORA, MÉXICO"**

**NOMBRE DEL SUSTENTANTE:**

**GENARO VERA BRINGAS**

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

  
**Dr. Lucas Hilario Ochoa Landín**

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

  
**Dr. Jesús Roberto Vidal Solano**


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

  
**M.C. Ricardo Amaya Martínez**

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

  
**Dr. Efrén Pérez Segura**

**Atentamente**

  
**Dr. Rogelio Monreal Saavedra**  
Coordinador de Programa  
Maestría en Ciencias-Geología



EL SABER DE MIS HIJOS  
HARÁ MI GRANDEZA  
MAESTRÍA EN CIENCIAS  
GEOLOGÍA  
DEPTO. DE GEOLOGÍA

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico brindado a través de la beca para llevar a cabo los estudios de Maestría en Ciencias - Geología con número de registro 333513/231920 en el periodo de Agosto de 2009 – Agosto de 2011.

A Dios.

A mis padres Genaro y María Dolores, mis hermanos Rodrigo y Andrés, a mi tía Lidia.

A los maestros Efrén Pérez, Lucas Ochoa, Ricardo Amaya, Jesús Vidal, Francisco Paz, Rogelio Monreal, Patricia Sámano, Thierry Calmus, Saúl Herrera, Martín Valencia, Amabel Ortega.

A Nora, Aracely, Caty, Sergio, Silvia y Alejandra, Elsa.

A Jesé, Roger, Jovan, Ivonne, René, Alicia, Isaac, Darcy, Ojcar, Oscar, Judith, Iván, Tomás, Ángel, Alejandra, Sheila, Arturo, Uzi, Elia, Giancarlo, Jess, Karla.

A Carlos Pacheco, Jorge Ordoñez, Dante Juárez, Cesar Chaparro.

A Carlos Ortega - Obregón

## INDICE

	Pág.
I.- RESUMEN.....	1
II.- INTRODUCCION.....	2
III.- GENERALIDADES	3
III.1.- Localización y vías de acceso.....	3
III.2.- Antecedentes.....	4
III.3.- Metodología de trabajo.....	5
IV.- MARCO GEOLÓGICO Y TECTÓNICO DEL NW DE MEXICO.....	6
V.- GEOLOGÍA DEL ÁREA DE CERRO COLORADO.....	8
V.1.- Unidad Esquisto – Gneis .....	11
V.2.- Unidad Dolomía .....	22
V.4.- Unidad Riolita.....	29
V.4.1 Tajo Brecha Central .....	30
V.4.2 Tajo Obra X .....	33
V.4.3.- Edad de la Unidad Riolita .....	40
V.5.- Geología Estructural .....	42
VI.- MINERALIZACIÓN DE CERRO COLORADO.....	47
VI.1.- Mineralización de Cerro Colorado .....	47
VI.1.1.- Tajo Harris .....	49
VI.1.1.- Tajo Brecha Central .....	50
VI.1.1.- Tajo Obra X .....	51
VI.1.1.- Tajo Abejas .....	52
VI.1.1.- Tajo La Sorpresa .....	52
VI.2.- Mineralogía .....	52
VI.3.- Otras mineralizaciones en la región .....	55
VII.- DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....	57
VII.1.- Discusión.....	57
VII.2.- Conclusiones .....	59
VIII.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	61
ANEXOS .....	67

## RELACIÓN DE FIGURAS:

	Pág.
Figura 1.- Localización de mina Cerro Colorado .....	3
Figura 2.- Imagen satelital tomada de Google Earth .....	8
Figura 3.- Fotografía satelital de la mina Cerro Colorado .....	8
Figura 4.- Vista desde el comedor de la mina .....	9
Figura 5.- Plano geológico del área de estudio Cerro Colorado .....	10
Figura 6.- Fotografías de granito .....	11
Figura 7.- Microfotografía de granito .....	12
Figura 8.- Fotografías de granodiorita .....	13
Figura 9.- Fotografías de diorita .....	14
Figura 10.- Fotografías de granito gneis .....	14
Figura 11.- Microfotografías de granito gneis .....	15
Figura 12.- Fotografías de afloramiento de augen gneis .....	15
Figura 13.- Fotografías de gneis básico .....	16
Figura 14.- Gneis de granate .....	17
Figura 15.- Gneis de granate .....	18
Figura 16.- Fotografías de anfibolita .....	18
Figura 17.- Microfotografías de anfibolita .....	19
Figura 18.- Zona de contacto entre Unidad Esquisto y Unidad Riolita .....	20
Figura 19.- Foliación del esquisto .....	20
Figura 20.- Fotografías de esquisto .....	21
Figura 21.- Vista de Tajo Abejas.....	22
Figura 22.- Fotografías de dolomía .....	23
Figura 23.- Fotografías de dolomía en campo .....	23
Figura 24.- Fotografías de dolomía en campo .....	24
Figura 25.- Fotografías de cuarcita .....	25
Figura 26.- Fotografías de chert arenoso .....	26
Figura 27.- Fotografías de conglomerado dolomítico .....	27
Figura 28.- Contacto entre Unidad Riolita y Unidad Dolomía .....	28
Figura 29.- Fotografías de roca carbonatada .....	28



Figura 30.- Contactos de la Unidad Riolita con otras unidades de roca .....	29
Figura 31.- Riolita masiva, fuertemente silicificada .....	30
Figura 32.- Fotografías de riolita en Tajo Brecha Central .....	31
Figura 33.- Fotografías de roca riolita .....	32
Figura 34.- Fotografías de muestras de mano.....	33
Figura 35.- Microfotografías de riolita .....	34
Figura 36.- Fotografías de riolita como brecha volcánica .....	35
Figura 37.- Fotografías de riolita como brecha volcánica .....	36
Figura 38.- Riolita como brecha volcánica.....	36
Figura 39.- Microfotografías de Unidad Riolita.....	37
Figura 40.- Riolita como brecha volcánica.....	38
Figura 41.- Riolita como brecha volcánica.....	39
Figura 42.- Riolita con bandeamiento .....	40
Figura 43.- Diagramas de Concordia .....	41
Figura 44.- Diagrama de Elementos de Tierras Raras .....	41
Figura 45.- Sección estructural .....	42
Figura 46.- Diagramas estereográficos .....	43
Figura 47.- Fotografías de pliegues .....	44
Figura 48.- Fotografías de fallas .....	45
Figura 49.- Fotografías de fallas .....	46
Figura 50.- Oxidación y argilización de roca riolita .....	47
Figura 51.- Oxidación y argilización de roca riolita .....	48
Figura 52.- Roca riolita en Tajo Harris .....	49
Figura 53.- Postsilicificación en roca riolita .....	50
Figura 54.- Roca riolita en Tajo Brecha Central .....	50
Figura 55.- Roca riolita en Tajo Obra X .....	51
Figura 56.- Secciones pulidas de roca riolita .....	53
Figura 57.- Secciones pulidas de roca riolita .....	54
Figura 58.- Ubicación de zonas mineralizadas cercanas a Cerro Colorado .....	55

## I.- RESUMEN

La zona mineralizada Cerro Colorado, objeto del presente estudio, se encuentra dentro de la provincia de Sierras Sepultadas, en la subprovincia del Desierto de Sonora, dentro del terreno tectono-estratigráfico Caborca (1.78 – 1.69 Ga), aproximadamente a 30 km hacia el sur de la traza hipotética de la Megacizalla Sonora – Mohave. El área se caracteriza por tener una topografía muy suave de cerros y lomas con una orientación NW18SE donde ocurren las siguientes litologías:

A) Una unidad metamórfica, consistente de esquistos y gneises, correlacionable con rocas precámbricas de la región. Esta unidad que aflora de manera alargada, en dirección N – S a S15E por más de 5 km, con un ancho promedio aproximado de 520 m. La litología incluye una gran variedad de rocas como esquistos, gneis básico, gneis de granate, granito gneis y anfibolitas.

B) Una Unidad de Dolomías y cuarcitas correlacionables con rocas del Neoproterozoico. Esta unidad se conoce a nivel regional así como en el centro de Sonora.

C) Una Unidad de Riolita representada por un cuerpo volcánico o subvolcánico el cual aflora en la parte central del área. La morfología aparente es la de un domo de forma ligeramente alargada. Este cuerpo con un desnivel menor a 1000 m aflora 650 m en dirección N – S y 1400 m en dirección E – W. Estructuralmente se encuentra afectado por fallas y fracturas con rumbo NW, SE y E-W, que buzcan hacia el SW o el NE, al igual que las estructuras mineralizadas con hematita y pirita. La mineralización económica se da en este paquete de roca, bajo cinco cuerpos que se han explotado como tajos en la mina. Los resultados geocronológicos bajo la técnica de U-Pb en zircones arrojan una edad de 90-99 Ma y que contiene zircones precámbricos heredados.

La mineralización está muy relacionada al control estructural que ejercen las fallas y fracturas, tipo stockwork, que se encuentran. En la Unidad Riolita se encuentra pirita diseminada, incrementándose un poco en las cercanías a las fallas principales, esta Unidad Riolita se caracteriza por mostrar una alteración silíceo de moderada a fuerte, y una argilización débil hidrotermal en las zonas de fisura y fracturas en la roca, acentuándose principalmente en las zonas de brecha.

Esta argilización se incrementa en las zonas de falla principales, donde se observan minerales arcillosos y sericitita, lo cual se interpreta como zonas de permeabilidad secundaria favorables para la circulación de fluidos hidrotermales. Estas zonas son muy específicas y se encuentran asociadas a fuerte silicificación, marcándose principalmente en el Tajo “Harris”.

Una secuencia paragenética de los minerales puede ser:

- 1) Cuarzo y carbonato;
- 2) Pirita + arsenopirita;
- 3) Esfalerita;
- 4) Galena;
- 5) Pirita tardía

Finalmente los resultados de este trabajo muestran que la mineralización en el Cerro Colorado está muy relacionada al control estructural que ejercen las fallas y las múltiples fracturas de tipo stockwork.

## **II.- INTRODUCCION**

En el Noroeste de México y, particularmente en el estado de Sonora, existen una serie de yacimientos que han sido catalogados como de tipo Oro Orogénico (Pérez-Segura, 1993 y 1996; Ochoa-Landín et al, 2011). Los más importantes corresponden a los llamados: La Choya, San Francisco, Tajitos, El Chanate, Campo Juárez, Noche Buena, Sierra Pinta y La Herradura. La última es la mina de oro más importante de Sonora con recursos superiores a más de 6 millones de onzas de Au. Las zonas mineralizadas se encuentran formando un cinturón alargado en una dirección NW – SE que, desde su extremo SE en la Mina San Francisco hasta la porción noroccidental en la Herradura mide más de 190 km en línea recta, introduciéndose dentro de los estados de Arizona y Nevada de los Estados Unidos de Norteamérica.

El yacimiento de Cerro Colorado se incluye dentro de este cinturón en su lado suroeste y su tipología se discute desde hace mucho tiempo. En el depósito se ha desarrollado una mina con recursos cercanos a 300,000 oz Au, su asociación a domos riolíticos, la fuerte presencia de depósitos de placer, de los cuales se desconoce su fuente y su ubicación geográfica, hacen de éste yacimiento un objeto importante para definir su tipología.

El objetivo de este estudio es el de realizar una caracterización geológica-estructural del yacimiento, con el propósito de definir si este depósito corresponde al grupo de yacimientos minerales tipo Oro Orogénico definidos en esta región del NW de México. Para su estudio se determinó hacer una serie de trabajos que incluyen la cartografía a detalle del yacimiento, un análisis estructural del mismo, así como estudios geoquímicos donde se incluye el fechamiento de la roca que hospeda la mineralización de oro. Estos resultados permite hacer una comparación con los yacimientos de este tipo que afloran en gran parte de esta región de Sonora.

### III.- GENERALIDADES

#### III. 1.- Localización y vía de acceso

La mina Cerro Colorado, se encuentra localizada dentro del municipio Trincheras, estado de Sonora, al sureste de la ciudad de Caborca y a 150 km en línea recta al NW de la ciudad de Hermosillo (Figura 1). Las coordenadas UTM NAD 27 de la mina corresponden a 12420852 E y 3344394 N. Al área se puede acceder por un camino de 40 km sin pavimento pero en buen estado, que sale de la cabecera municipal de Trincheras. El poblado de Trincheras cuenta con alrededor de 5 000 habitantes.

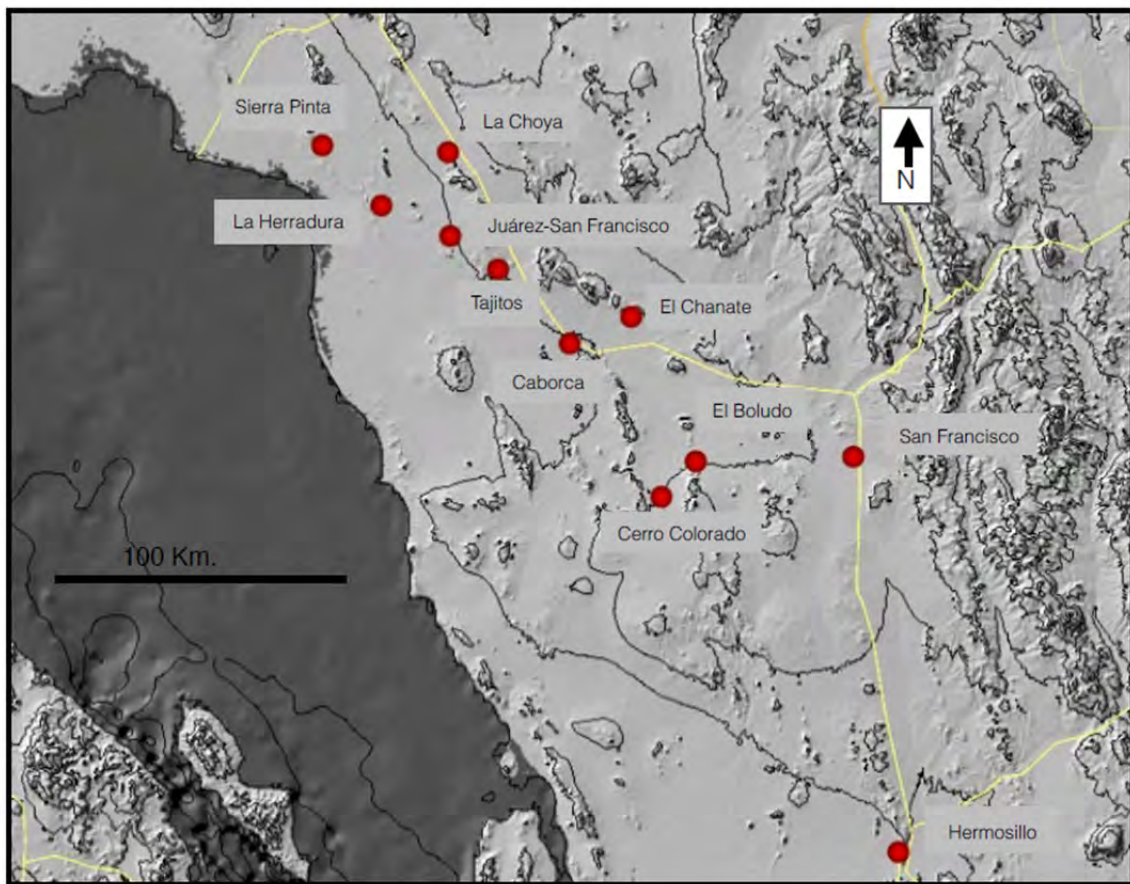


Figura 1.- Localización de mina Cerro Colorado, mapa topográfico del NW de México. Las líneas amarillas representan las carreteras federales y los puntos rojos las minas y proyectos más importantes, las ciudades de Hermosillo y Caborca se han colocado como referencia.

Fisiográficamente se encuentra dentro de la provincia de Sierras Sepultadas, en la subprovincia del Desierto de Sonora (CRM, 1994). Desde el punto de vista tectono–estratigráfico el área mineralizada se encuentra completamente dentro del terreno Caborca (1.78 – 1.69 Ga), aproximadamente a 30 km hacia el sur de la traza hipotética de la Megacizalla Sonora – Mohave, que divide al terreno Caborca del terreno Norteamérica (Anderson y Silver, 1978).

### III.2.- Antecedentes

Desde finales de 1800 hasta 1920 se reporta un periodo de explotación de oro en el lugar, basándose en producción a pequeña escala en áreas de placer y obras mineras de poca magnitud. Desde entonces la actividad minera fue intermitente, hasta el desarrollo formal de la mina a partir del año 2003.

En 1904 se efectuó exploración en el área de Cerro Colorado efectuándose 1350 m de túneles y tiros en una zona de brecha que seguía estructuras de fallas. Las leyes reportadas iban de 10 – 15 g de Au por tonelada. Esta mina terminó de operar en 1911. Desde esa fecha no se realizaron trabajos mineros importantes, sino hasta 1970, por parte de la compañía Tormex, la cual exploró y barrenó ésta brecha, calculando 1 millón de toneladas de reservas, con una ley de 2.6 g/t Au y estimando reservas probables de 3.5 millones de toneladas con leyes similares a las calculadas.

En 1983–1984, la compañía BP Minerals, realizó una exploración del área con trabajos de superficie y muestreo de las obras existentes, así como un muestreo geoquímico, barrenación a diamante y circulación inversa, pero no se definió el potencial calculado o estimado y se desistió del lugar.

Posteriormente, en 1989–1990, la compañía Fresnillo exploró el área, definiendo un recurso de 8 millones de toneladas con una ley de 2.0 g/t, este potencial detectado fue de 525 000 onzas, siendo insuficiente para los objetivos de la empresa, en ese momento.

En 1995 Laramide Resources adquirió los derechos y propiedades, evaluando la información generada hasta entonces, en la que se detectaron 5 cuerpos: Brecha Harris, Brecha Central, Obra X, Abejas y Sorpresa (Clarke, 1998). Además de anomalías biogeoquímicas, y se empezó posteriormente un programa de exploración con barrenación de circulación inversa para un total de 10 645 m de barrenación, ubicados en éstas últimas zonas mineralizadas.

En 2003, la compañía Minera Secotec, S.A. de C.V., (Granmin), inició sus operaciones de producción de la mina.

### III.3.- Metodología de trabajo

Para la elaboración de este trabajo, se realizó un estudio bibliográfico de la región, así como de la cartografía realizada previamente.

Este trabajo se centra principalmente en el área del yacimiento Cerro Colorado. Se efectuó trabajo de campo con el fin de realizar cartografía geológica y estructural y tomar muestras para estudios petrográficos, minerográficos y fechamientos. Todo el trabajo de laboratorio, salvo los fechamientos, se realizó en la Universidad de Sonora.

Se realizó una datación por el método de U-Pb en zircones, en el laboratorio del Centro de Geociencias de la UNAM campus Juriquilla, Qro., a cargo del Dr. Luigi Solari.

Con toda la información recabada se hizo la descripción sistemática de las unidades geológicas, se sintetizó la información y se efectuó el manuscrito de este documento.

## **IV.- MARCO GEOLOGICO DE LA PROVINCIA DEL DESIERTO DE SONORA.**

En la provincia del Desierto de Sonora se encuentran algunas de las rocas más antiguas de México. También en esta provincia se ubican los principales yacimientos catalogados como de oro orogénico en México.

Las rocas metamórficas del Precámbrico que afloran en el noroeste de Sonora, son uno de los rasgos más característicos de esta región. Según Anderson y Silver (1979), estas rocas metamórficas conforman dos cinturones orogénicos y magmáticos con orientación NE – SW, truncados y yuxtapuestos por la acción de una zona de corrimiento lateral izquierdo (megacizalla) que actuó en dirección NW- SE durante el Jurásico. Estos cinturones orogénicos forman parte de los terrenos precámbricos de orientación similar que se encuentran en la porción suroeste del Cratón Norteamericano. Anderson y Silver (1978) obtuvieron datos radiométricos de éstas secuencias, y mencionaron básicamente tres períodos que involucran metamorfismo, magmatismo y deformación: uno entre los 1650 y 1660 Ma, otro entre los 1410 y 1440 Ma, y uno más hacia 1100 Ma.

De una manera más específica, para el primer período Iriondo y Premo (2010) detallan el basamento paleoproterozoico del área Quitovac y establecen dos bloques de basamento

paleoproterozoico: el bloque Caborca y bloque Norte América. Las rocas del bloque Caborca son similares a las de la provincia Yavapai en Estados Unidos, con edades de cristalización de ~1693 – 1777 Ma.; mientras que las rocas del bloque Norte América tienen características similares a las de la provincia Mazatzal, con edades de cristalización de ~1656 – 1714 Ma.

Otras áreas donde se reportan rocas del mismo período son, al sur de Caborca (Cerro Rajón),  $1699 \pm 2$  Ma. (Farmer et al, 2005),  $1703 \pm 12$  (Premo, 2003) y  $1748 \pm 1$  Ma. en el complejo metamórfico Bámori (Farmer et al., 2005). También en la Sierrita Prieta en Trincheras se reportan edades de 1727 – 1733 Ma. (Soto-Verdugo, 2006); de 1676–1712 Ma en los cerros San Luisito, para un basamento ígneo – metamórfico tipo Yavapai (Gutierrez-Coronado et al., 2008). Así mismo, gneises bandeados en la zona de Canteras, Puerto Peñasco (conocida antes como Seven Hills) tienen edades de cristalización U–Pb en circones de 1725 – 1764 Ma (Arvizu et al., 2008, 2009) y se consideran como rocas de basamento de tipo Yavapai.

Las rocas relacionadas al pulso granítico hacia los 1100 Ma son más abundantes que las de 1400 Ma y afloran en diversas partes de Sonora, como en el rancho Aibó, al sur de Caborca, donde estas rocas fueron fechadas por U-Pb en circones en  $1091 \pm 54$  Ma. (Anderson y Silver, 1977); por Iriondo et al. (2003) en  $1079 \pm 18$  Ma y por Farmer et al. (2005) en  $1075 \pm 1$  Ma. Otras edades similares son las de los granitos de Campo Bustamante en Quitovac, fechados por U-Pb en circones con 1112 – 1126 Ma (Iriondo et al., 2004); en Sierra Prieta, al NW de Mina La Herradura, el granito La Prieta fue fechado por U-Pb de circones en 1080 – 1086 Ma (Izaguirre–Pompa, 2007); en Sierrita Blanca, al norte de la Mina La Herradura, el granito Murrieta arroja edades de 1098 – 1108 Ma (Enriquez–Castillo, 2008) y, en Sierra Los Tanques, cerca de Sonoyta, el granito Los Tanques da edad de  $1081 \pm 5$  Ma (Iriondo et al., 2004).

Las rocas sedimentarias del Neoproterozoico y Paleozoico del área de estudio han sido estudiadas y reconocidas por Cooper y Arellano (1946), Eells (1972), Longoria y González (1981), Sour-Tovar (2007), entre otros. Stewart et al. (1984) considera en su trabajo estratigráfico del Precámbrico y Cámbrico de la región de Caborca, que la secuencia paleozoica se compone de las formaciones llamadas, de la más antigua a la más joven: La Ciénega, Puerto Blanco, Proveedora, Buelna, Cerro Prieto, Arrojos y El Tren. Donde el autor considera a la Formación La Ciénega (constituida por 178 m de espesor de dolomía, dolomía arenosa, caliza, cuarcita y greenstone) como la base del Cámbrico para la región.

En el noroeste de Sonora, durante el Mesozoico y más específicamente en el Triásico-Jurásico, se depositó una capa gruesa de sedimentos conocida como Formación Antimonio, de unos 3 a 4 kms de espesor (Gonzalez-Leon, 1980). Posteriormente, en el Jurásico se desarrolló un importante arco volcano-sedimentario, con dirección general NW – SE, y representado por numerosos afloramientos de rocas volcánicas y volcanoclásticas de composición andesítica. En el Jurásico Superior y Cretácico Inferior se depositaron los sedimentos de unidades equivalentes al Grupo Bisbee como las Formaciones: Cerro de Oro, El Represo, Arroyo Sasabe y otras descritas por González-León y Lucas (1995). Para el período laramídico (Cretácico Superior-Terciario inferior) se encuentran abundantes cuerpos plutónicos y rocas volcánicas, como parte de la interacción del arco magmático laramídico, ampliamente documentado por varios autores (Damon et al., 1983; Valencia-Moreno, 2001).

En el Terciario (Mioceno) parece cesar la actividad de la zona convergente situada al oeste, y se inicia el desarrollo del Golfo de California (Till et al., 2006) que es acompañado en las regiones aledañas de Sonora y Sinaloa por una tectónica distensiva de horst y grabens (McPhee, 1990), que actúa hasta el Cuaternario y es la causante de la distribución orográfica actual, principalmente en el desierto sonorenses.



## V.- GEOLOGIA DEL AREA CERRO COLORADO

El área comprendida alrededor de la zona mineralizada Cerro Colorado se caracteriza por tener una topografía muy suave, con una altura promedio de 540 msnm. El área de Cerro Colorado tiene una morfología abrupta, característica de una estructura dómica, con una altura de 215 m, ubicado a 755 msnm.

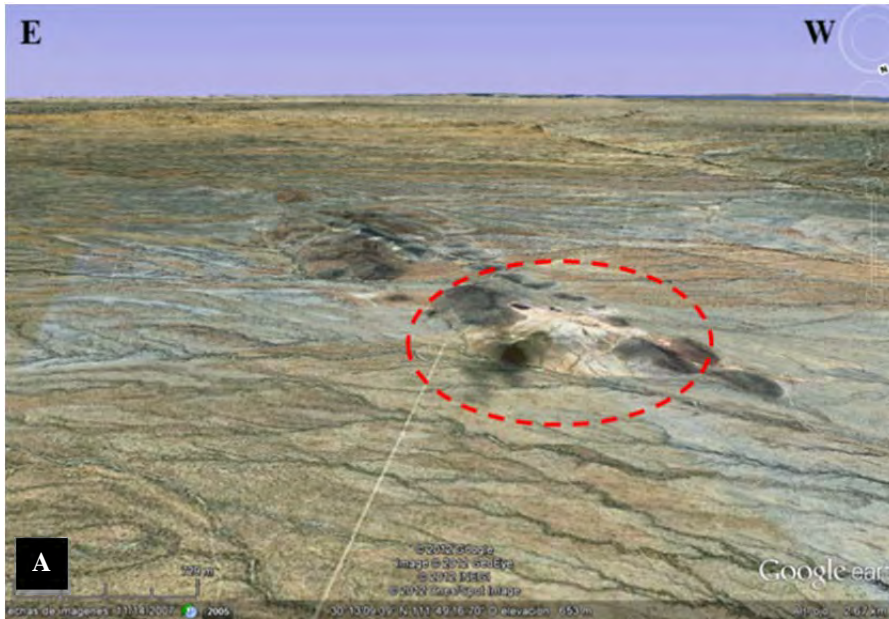


Figura 2. Imagen satelital tomada de Google Earth, con vista hacia la mina Cerro Colorado, viendo hacia el S, donde se muestra la ubicación de la mina Cerro Colorado. Note la topografía suave de la región y la orientación de los cerros en una dirección NW18SE.



Figura 3. Fotografía satelital de la mina Cerro Colorado (imagen 2007, tomada de Google Earth).



Figura 4. Vista desde el comedor de la mina, hacia el N aproximadamente a 1 km del centro de la mina. Se observa la topografía plana resaltando el Cerro Colorado.

Los cerros y lomas que rodean el área de Cerro Colorado tienen una orientación NW18SE. Las rocas que componen estos cerros son principalmente un esquisto y un gneis de granito, ambos con características litológicas similares a algunas de las unidades de edad precámbrica conocidas en la región. Las rocas anteriores están en contacto con una Unidad Riolita. En estos cerros de composición granítica no hay evidencias de obras mineras antiguas, ni de continuidad de la mineralización de Cerro Colorado.

A continuación se describen las principales unidades litológicas que afloran en la región del Cerro Colorado, iniciando de la más antigua a la más joven.

1. Una unidad metamórfica consistente de esquisto y gneis correlacionable con rocas precámbricas. La unidad de esquistos pertenece a la facies de esquistos verdes, mientras que los gneises corresponden a rocas deformadas de composición granítica.
2. Una unidad sedimentaria correlacionable con rocas del Neoproterozoico, constituida por dolomía y cuarcita.
3. Una unidad de riolita, en un principio de edad indefinida pero fechada posteriormente en este trabajo como del Cretácico Tardío – Cenomaniano.

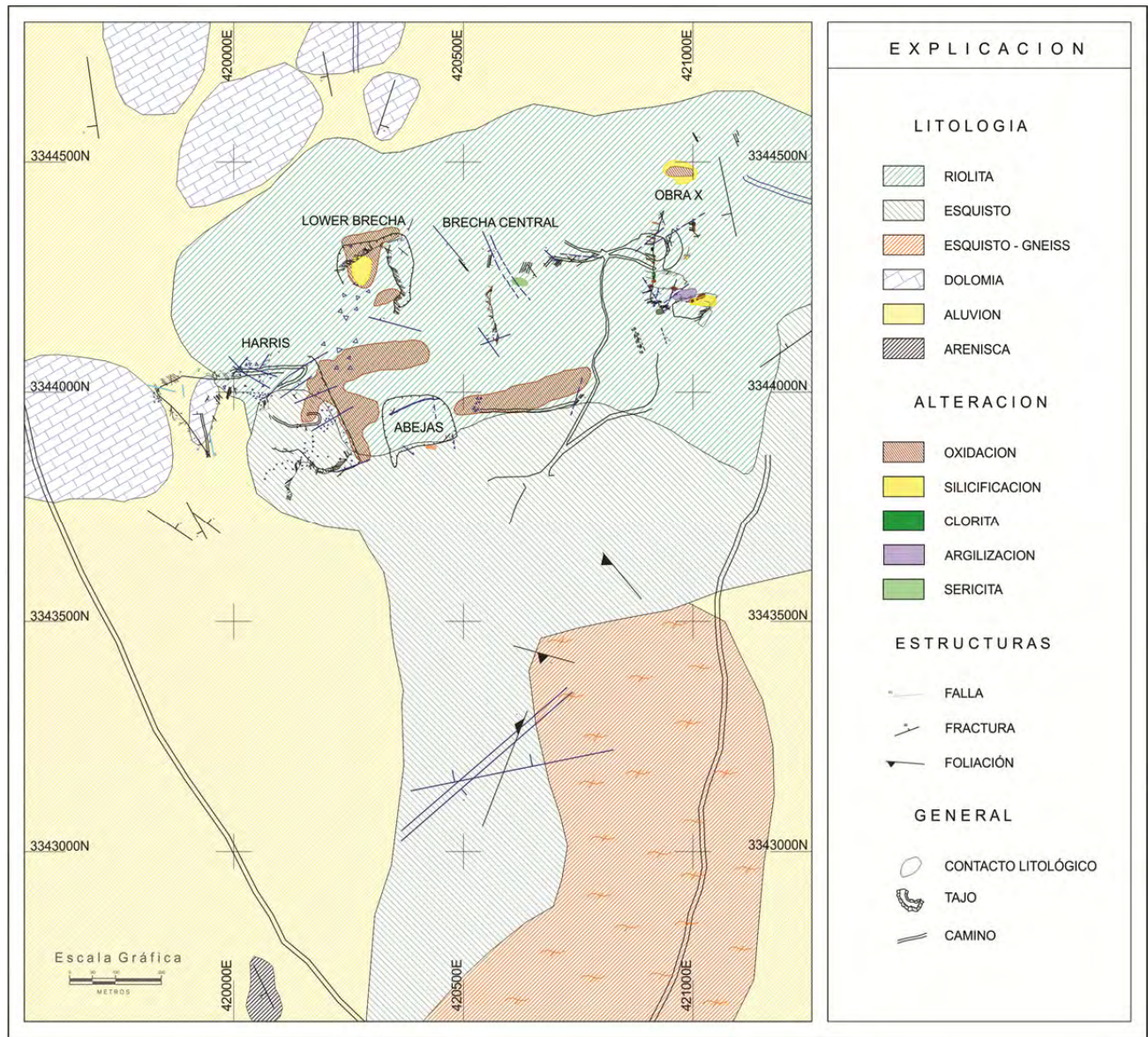


Figura 5. Plano geológico del área de estudio de Cerro Colorado.

## V.1.- Unidad Esquisto – Gneis

Esta unidad es correlacionable con otras rocas de la región fechadas como del Proterozoico. En este estudio se le ha denominado como Unidad Esquisto – Gneis y comprende a un conjunto de rocas constituidas por esquisto, gneis básico, gneis de granate, granito-gneis y anfibolita.

Esta unidad aflora de manera alargada, en dirección N – S a S15E por más de 5 km, con un ancho promedio aproximado de 520 m.

Dentro de esta Unidad Esquisto-Gneiss y al sur de Cerro Colorado aflora un metagranito leucocrático (no presente en la figura 3), de grano grueso con coloración rosa debido a la presencia de megacristales de feldespato alcalino (figura 6A y B). Contiene cantidades variables de biotita y muscovita (¿secundaria?), no deformada. En sección delgada presenta una textura fanerítica de grano grueso, en partes mirmequítica vermicular (figura 7). Los feldespatos son peritéticos y el cuarzo se observa muy deformado con extinción ondulante. También se observa sericitización (30%) sobre las plagioclasas originales, con bandas de cuarzo (50%) granoblástico. Contiene secciones basales de apatito asociado a la biotita y algunos circones.

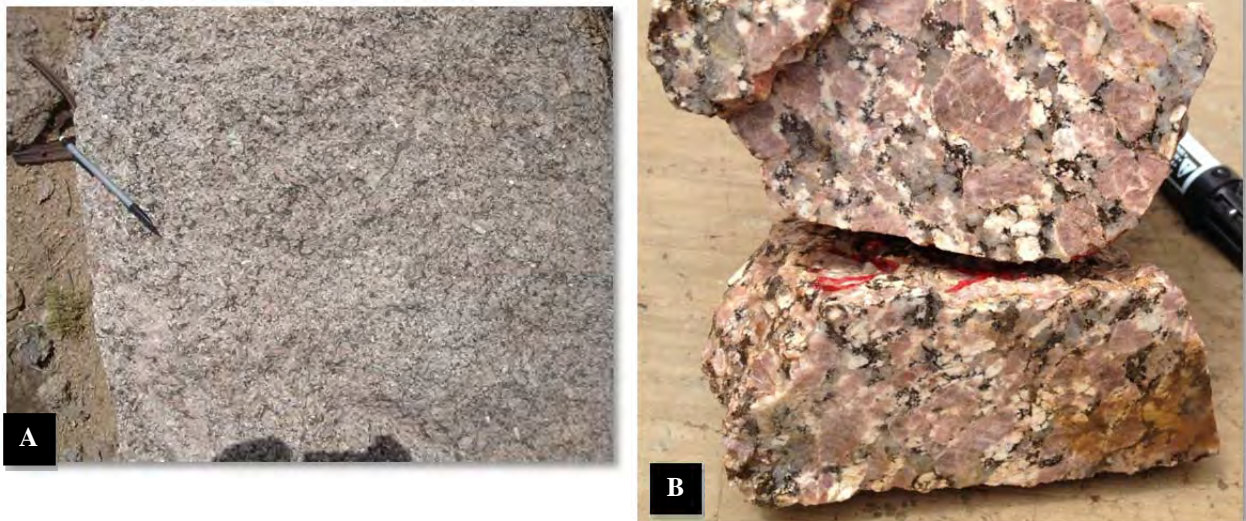


Figura 6. Fotografía del granito, A) afloramiento representativo en campo. B) muestra de mano donde se observa principalmente los cristales de feldespato potásico color rosa.



Figura 7. Microfotografía 4X de granito, mostrando cuarzo, plagioclasa de 1 mm de tamaño y pequeños cristales de biotita.

Este granito podría corresponder al mismo que se reporta en la carta del Servicio Geológico Mexicano, donde se menciona una roca granítica intrusionando a gneises y esquistos precámbricos, que aflora a 10 km al este de Cerro Colorado.

Una roca de composición granodiorítica asociada a estos granitos gnéisicos aflora en la rampa del Tajo Harris y en contacto con una brecha volcánica. presenta una textura fanerítica, con minerales de cuarzo y plagioclasa y en partes una moderada foliación. Al microscopio presenta puntos triples bien formados, probablemente recrystalizada debido a metamorfismo. La roca contiene poca biotita transformada a clorita, con parches de clorita y epidota y está atravesada por vetillas que contienen clorita (Figura 8).

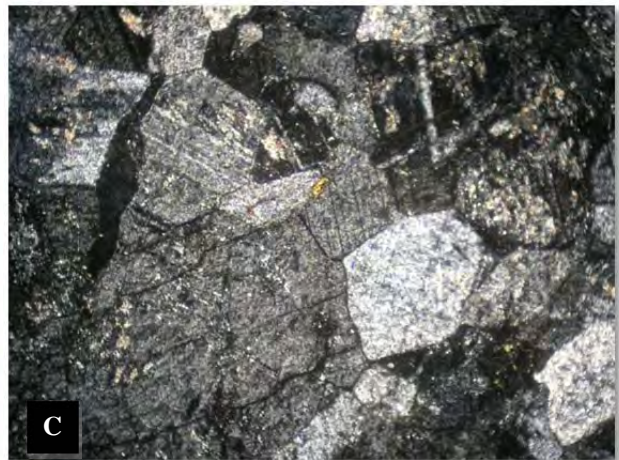
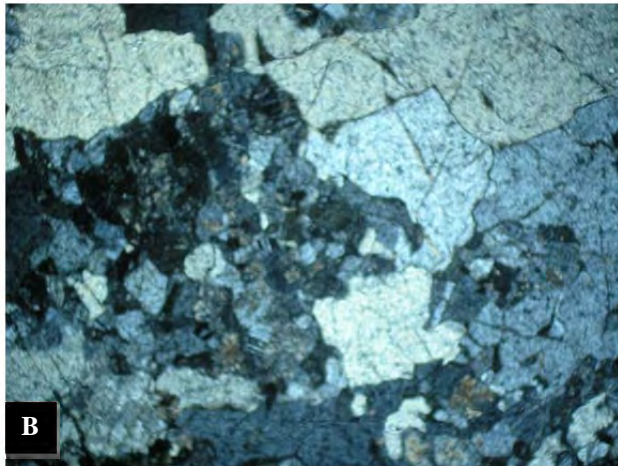


Figura 8. Fotografías representativas de granodiorita. A) muestra representativa de mano, B) Microfotografía LP mostrando cuarzo y plagioclasa, C) microfotografía LP 10X mostrando puntos triples.

Al fondo del Tajo Harris se encontró una roca diorita, en la cual se observa mucha plagioclasa, así como anfíboles y piroxenos como minerales ferromagnesianos. Los ferromagnesianos se encuentran alterados a actinolita y clorita. No existe suficiente información que permita considerar a esta diorita como parte de la unidad volcánica de Cerro Colorado, o bien que corresponda a una variante intrusiva dentro de rocas precámbricas metamorfozadas.



Figura 9. Fotos representativas de diorita. A) muestra de mano B) microfotografía 10X

Cerca de la entrada principal a la mina y en contacto con el esquisto, aflora un granito-gneis al E de la Unidad Riolita. Tiene foliación mal desarrollada. Se trata de un granito porfiroide que contiene fenocristales de feldespato potásico de color rosa y tamaños entre 1 y 2 cm. Petrográficamente se observa que el feldespato potásico es ortoclasa y microclina y, además, se puede observar la presencia de cuarzo, plagioclasa y biotita.

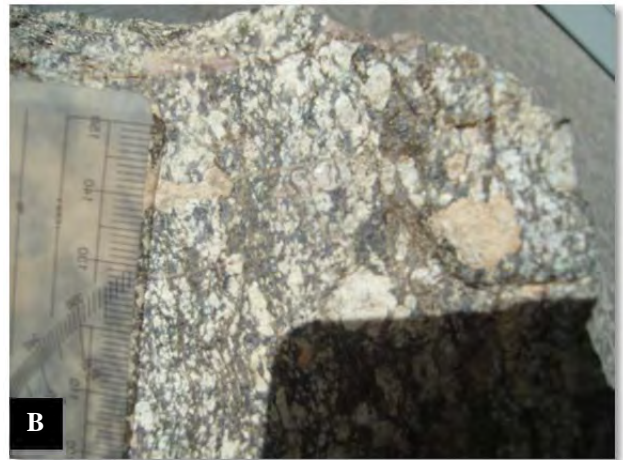


Figura 10. Fotografías de granito gneis. A) y B) muestras de mano de Granito – gneis.

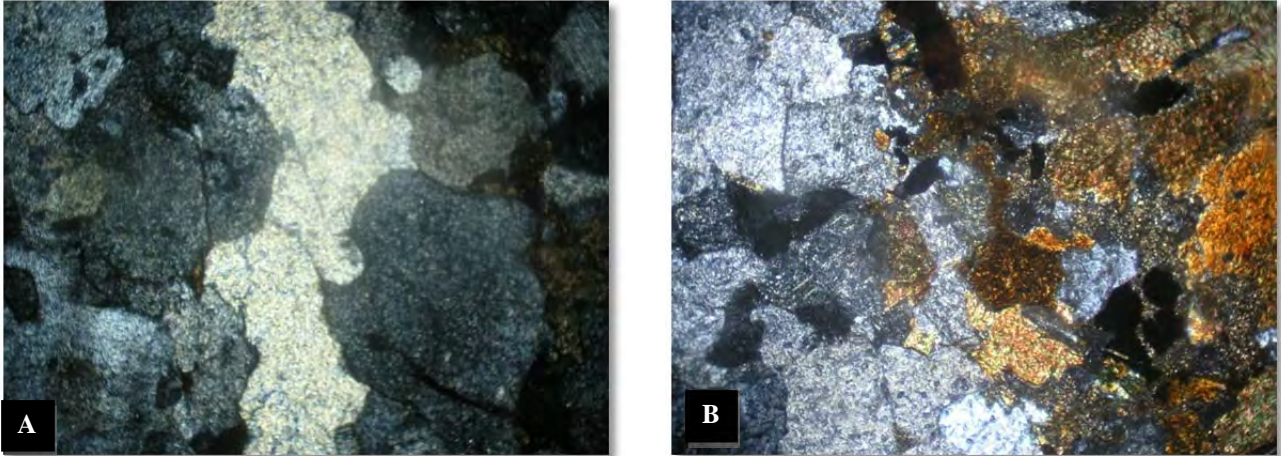


Figura 11. Microfotografías de granito gneis. A) Lamina 115 granito gneis LP 10 X 0.5 mm B) Lamina 115 granito gneis LP 10 X 0.5 mm



Figura 12. Muestra representativa de un afloramiento de augen gneis.

A 1.5 km al E de la mina se observa un augen gneis. Se trata de una roca con textura porfiroide, de grano grueso, con “ojos” grandes y feldespato potásico de color rosa de esquinas redondeadas hasta de 5 cm de tamaño, en una matriz de grano medio a fino con minerales ferromagnesianos cloritizados. Contienen un poco de calcita, y una matriz verde con clorita.

Otra roca de la misma unidad, con foliación mal desarrollada o incipiente, es referida como un gneis máfico con abundante anfíbol. Aproximadamente un 50% de la roca corresponde a una fracción de este ferromagnesiano como anfíboles (hornblenda transformada parcial o totalmente a actinolita), piroxeno y biotita. También hay plagioclasa (que parecen ser oligoclasa). Presenta bandas de cuarzo color cristaloblástico y contiene epidota secundaria. La roca puede proceder de una diorita original.



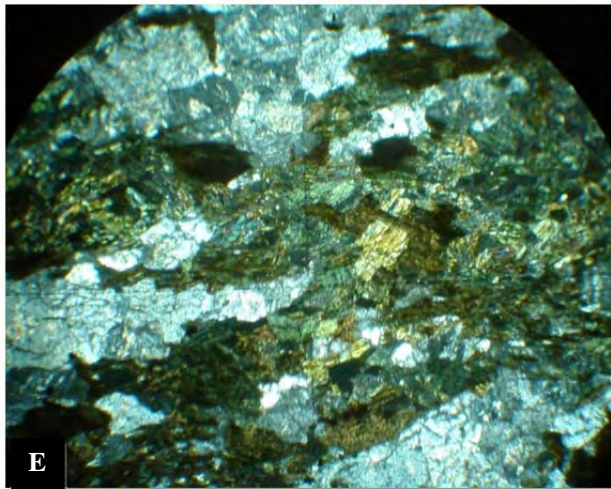
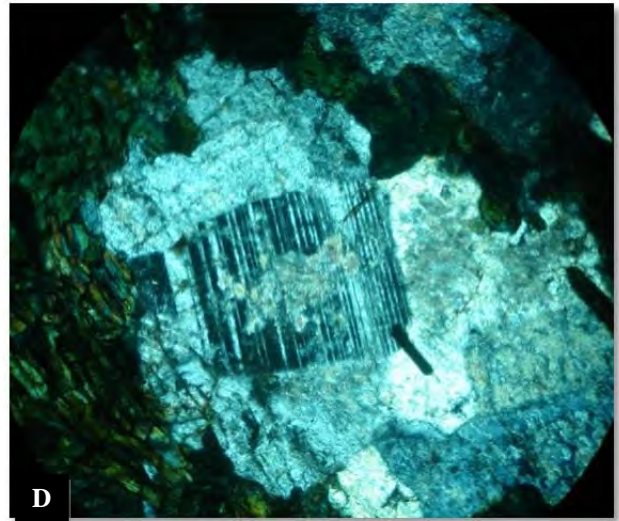


Figura 13. Fotografías de gneis básico, A) muestra de mano B) muestra de mano donde se observan bandas de cristales de cuarzo color blanco, C) abundante clorita y biotita mostrando poca foliación, D) mineral plagioclasa E) hornblenda actinolizada con minerales opacos angulosos.

Otra unidad litológica observada es un gneis de granate, ubicado en un pequeño cerro donde están instaladas las antenas de comunicación. Se trata de un ortogneis de granate. La roca presenta una foliación bien desarrollada y contiene bandas de cuarzo y en ocasiones de microclina recristalizada, con porfidoblastos de granate y biotita parcialmente transformada a clorita. Se considera que esta unidad es la fase más avanzada de esquistos verdes debido a la coexistencia de granate y biotita. El granate muestra reemplazamiento a clorita a lo largo de fracturas, probable consecuencia y efecto de un metamorfismo retrógrado.

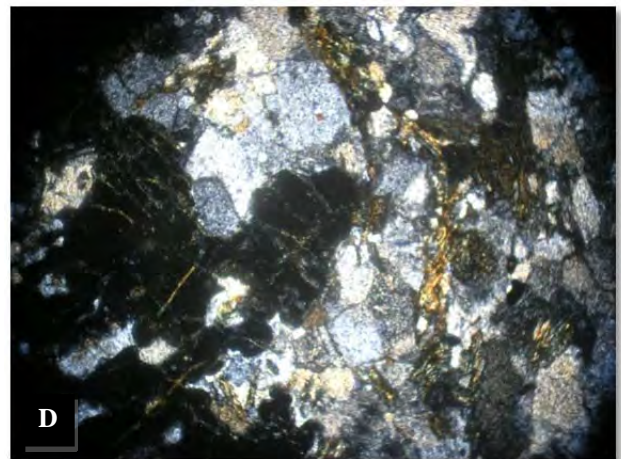
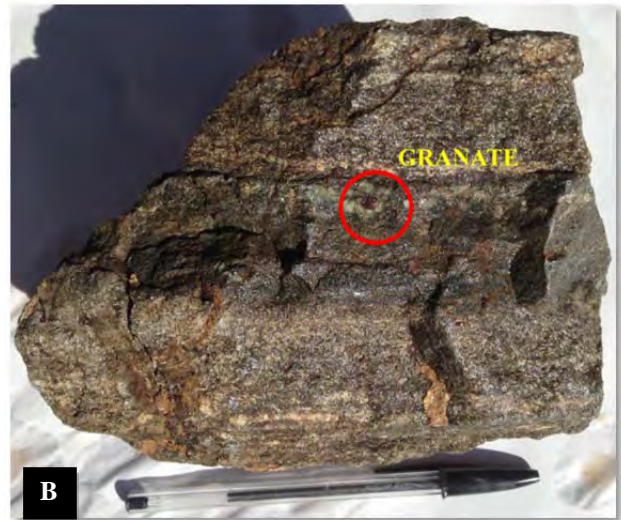


Figura 14. Gneis de granate, A) muestra representativa de afloramiento de gneis con textura bandeada ubicado en el cerro que tiene las antenas de comunicación, cerca de la entrada, B) muestra de mano mostrando los porfidoblastos de granate, C) corte de una muestra de mano donde se observa incipiente esquistosidad de sus elementos minerales y cuarzo en bandas. D) se observan granate y biotita.

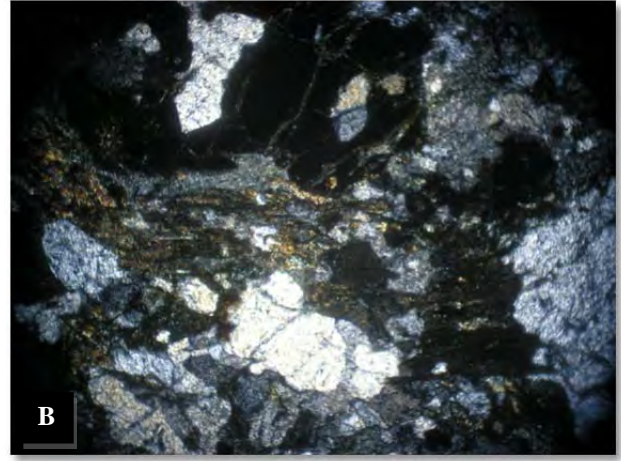
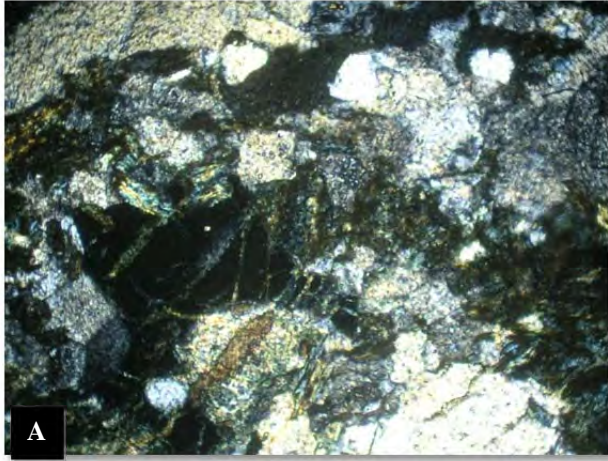


Figura 15. Gneis de granate, A) granate y cuarzo B) se aprecia foliación mal desarrollada.

Una variación de la anterior unidad, es una roca de composición cuarzofeldespática, de color rosa claro con tonalidades verdosas y una textura fanerítica de grano medio a grueso. La matriz es de color oscuro debido a la presencia y abundancia de biotita. La roca presenta una débil silicificación y cloritización debido a la alteración de la biotita y, además, presenta magnetita.

En el fondo del Tajo Harris, se observó una anfibolita esquistosa de hornblenda y piroxeno. Al microscopio se identificó anfíbol (70 %), feldespato (20 %) y cuarzo (10 %.) El anfíbol es hornblenda y, junto con la plagioclasa presentan esquistosidad bien desarrollada. Dentro de la hornblenda se observa con frecuencia plagioclasa alterada. La roca está siendo atravesada por vetillas tardías que contienen carbonato de calcio.



Figura 16. Fotografías de anfibolita, A) y B) muestra de mano de anfibolita.

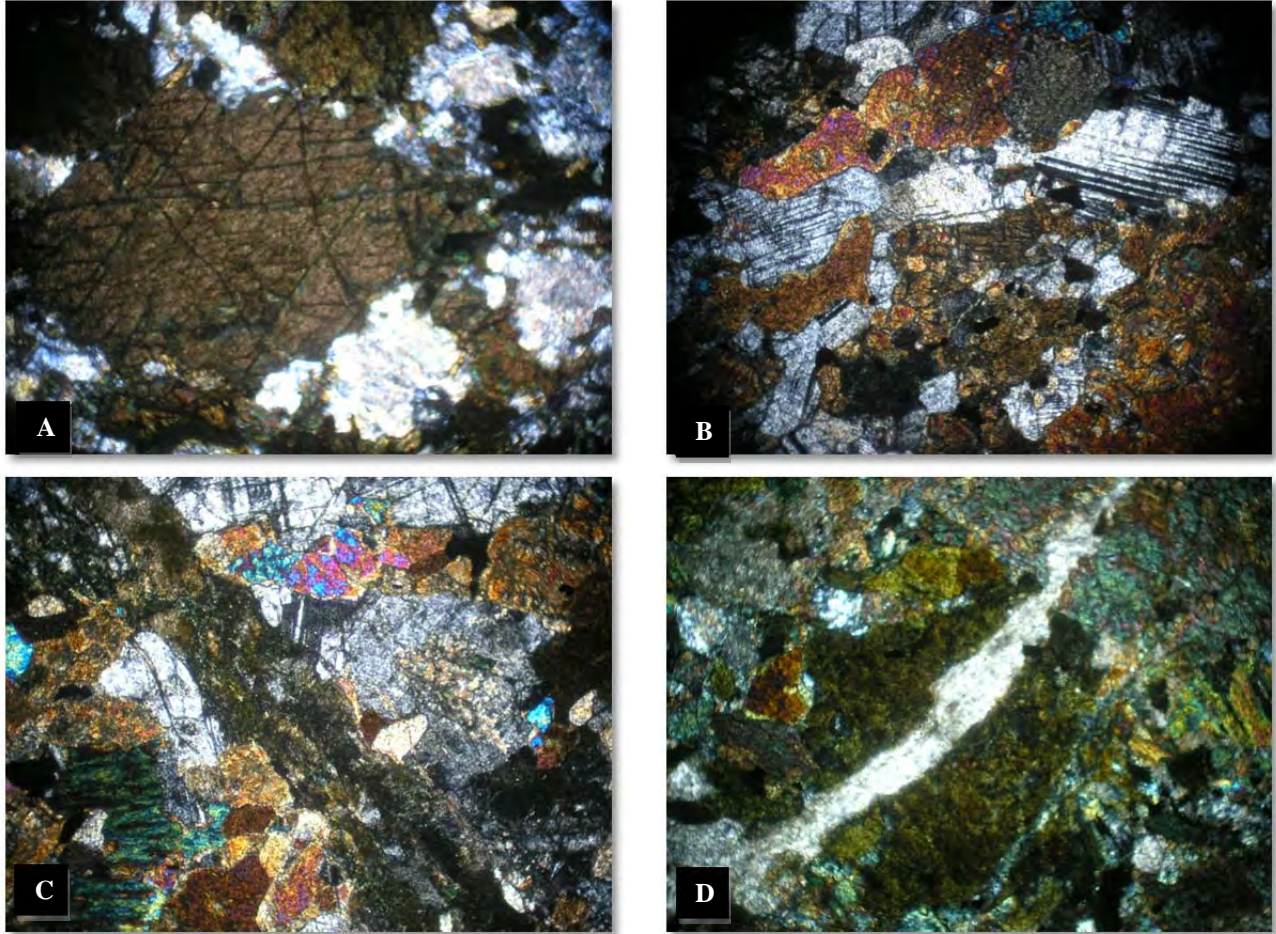


Figura 17. Microfotografías de anfibolita, A) anfíbol, B) mosaico holocristalino de plagioclasa y hornblenda, C) plagioclasas y biotita, atravesados por una veta con clorita, además se observa epidota, D) veta tardía de carbonato

También en el tajo se observa un afloramiento de esquisto, al igual que en la zona entre Tajo Abejas y Tajo Obra X. Esta unidad se encuentra en contacto con la Unidad Riolita. El esquisto es de color verde oscuro, muy fisil y con una marcada esquistosidad. Su composición mineralógica es principalmente biotita color café a verde, que subraya los planos de esquistosidad y con una transformación a epidota y clorita.

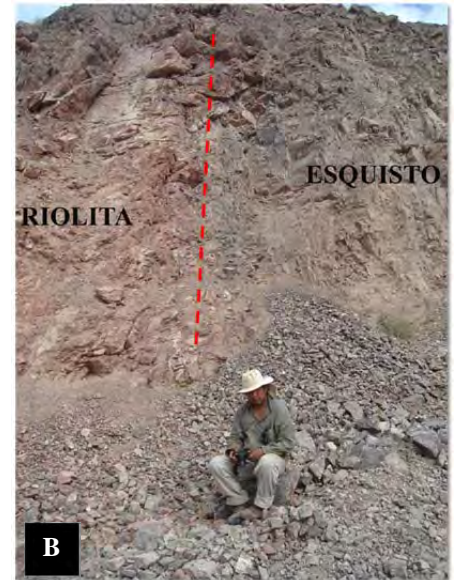
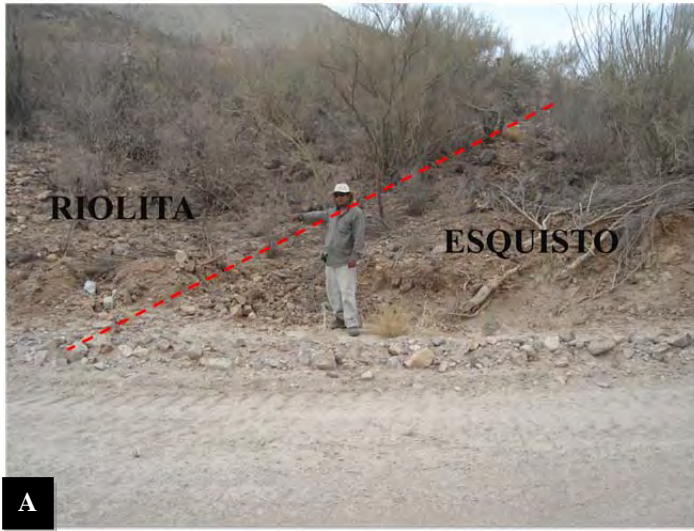


Figura 18. A) Zona de contacto entre Unidad Esquisto y Unidad Riolita, justo donde topográficamente se observa que empieza a elevarse la Unidad Riolita en aparente forma de domo. B) a una altura mayor se observa el contacto casi vertical entre la riolita y el esquisto, esto en la parte alta del Tajo Harris.



Figura 19. Foliación del esquisto.

Petrográficamente se observan variaciones a esquisto de grano grueso, con foliación bien desarrollada y con una composición cuarzo, feldespato, biotita, clorita y epidota. El cuarzo se presenta en bandas paralelas a la esquistosidad y los feldespatos se alteran a epidota y clorita. El feldespato es principalmente plagioclasa con macla polisintética. Hay minerales accesorios como esfena y apatito.

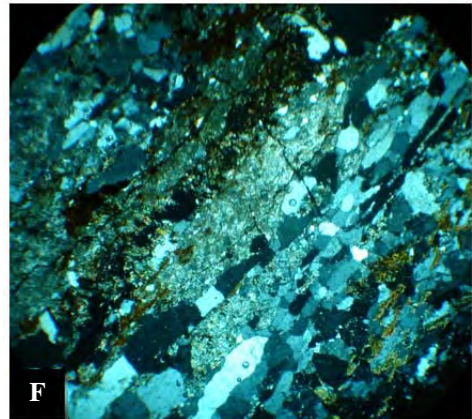
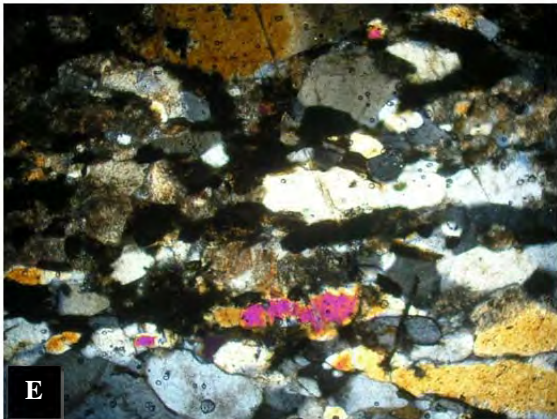
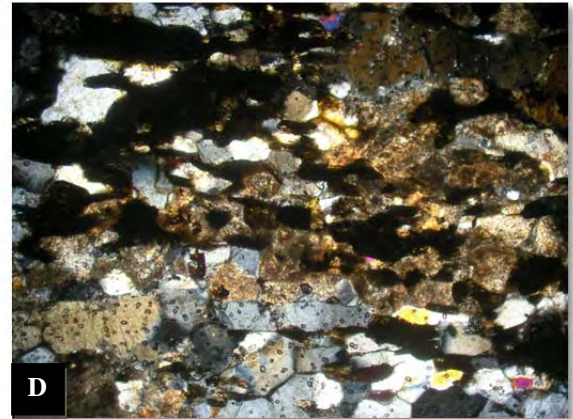
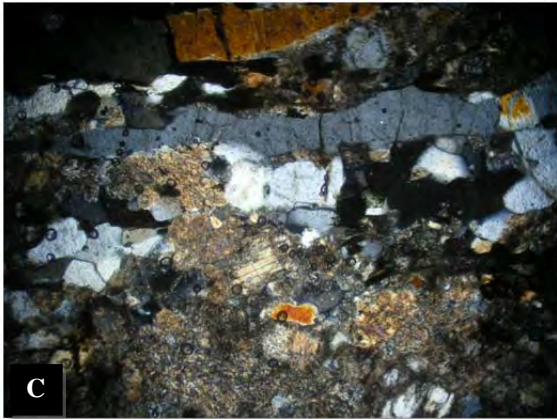
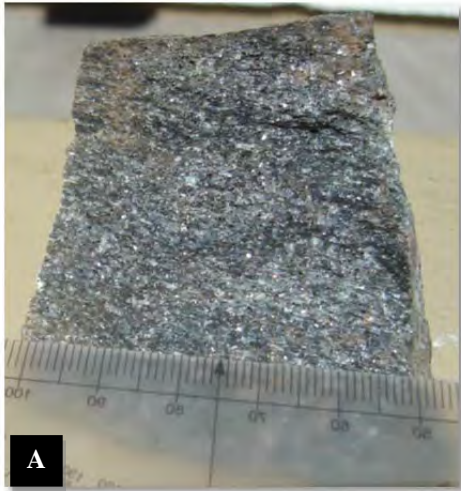


Figura 20. Fotografías de esquistos, A) muestra de mano B) corte mostrando esquistosidad, C) microfotografía mostrando poca laminación D) mostrando paralelismo moderado entre sus componentes minerales E) cuarzo, plagioclasas y biotita, F) cuarzo bandeado, con alteración epidota y clorita

## V.2.- Unidad Dolomía

En este trabajo se nombra Unidad Dolomía a un conjunto sedimentario que se encuentra en contacto con la Unidad Riolita hacia el SSW de ésta. Se trata de un grupo de rocas carbonatadas de composición principalmente dolomítica. También se incluye una pequeña zona de cuarcita y un conglomerado en contacto con la misma Unidad Riolita.



Figura 21. Vista de Tajo Abejas. Fotografía tomada desde la parte superior del Tajo Abejas, se señala el cerro donde se encuentra la Unidad Dolomía.

La dolomía es una roca de color gris oscuro a negro, carbonatada, con textura media a fina, compacta, que no efervesce en HCl diluido, masiva o estratificada. Presenta diaclasas y sílice secundario.

Petrográficamente se clasifica como una dolomía arenosa de magnesio cristalizado y contiene un 10% de granos detríticos de arena. En algunas zonas se presenta con textura oolítica.

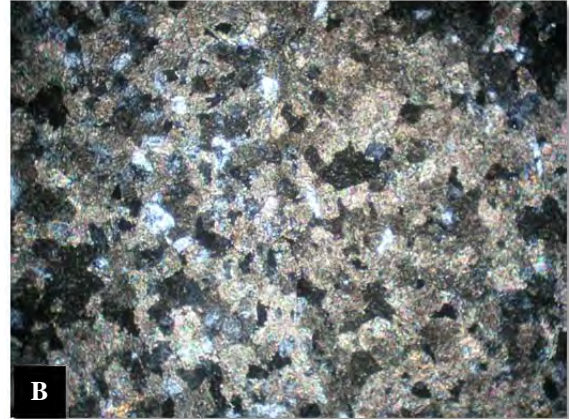
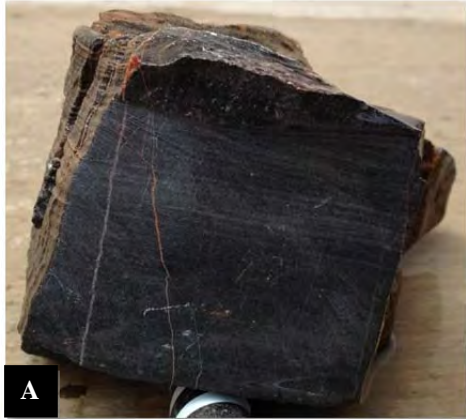


Figura 22. Fotografías de dolomía, A) muestra de mano, B) Microfotografía de dolomía 10X con cristales de carbonato recristalizados de 1 mm.

En esta roca dolomítica es común observar que las vetillas de cuarzo, con un espesor de hasta 1 cm, muestran una orientación preferente N20E, con una inclinación de 60 al SE. Las vetillas son paralelas a la estratificación y no parecen contener mineralización de oro.



Figura 23. Unidad Dolomía en campo, mostrando vetas de cuarzo con dirección SW20, 60SE.





Figura 24. Unidad Dolomía en campo, A) Vetillas paralelas a la estratificación, B) Tajo Harris. Estratos de dolomía, fotografía viendo al W, lado izquierdo S y lado derecho N. C) Dolomía con la estratificación original.

La cuarcita se encuentra intercalada con la dolomía y también en la zona de contacto con la riolita en el Tajo Harris. Se trata de una roca color gris claro a rojizo, con textura granoblástica de grano fino, semi-masiva pero con remanentes de la estratificación original. Petrográficamente contiene abundantes gránulos de cuarzo que están incluidos dentro de una matriz carbonatada, que contiene una buena proporción de óxidos de hierro. Los granos de cuarzo detrítico son muy bien redondeados y se encuentra cementada por óxidos de hierro que seguramente provienen de la

alteración del carbonato ferrífero totalmente limonitizado. En algunas muestras de cuarcita se observa la presencia de microvetillas rellenas de carbonato hidrotermal (calcita) posible.

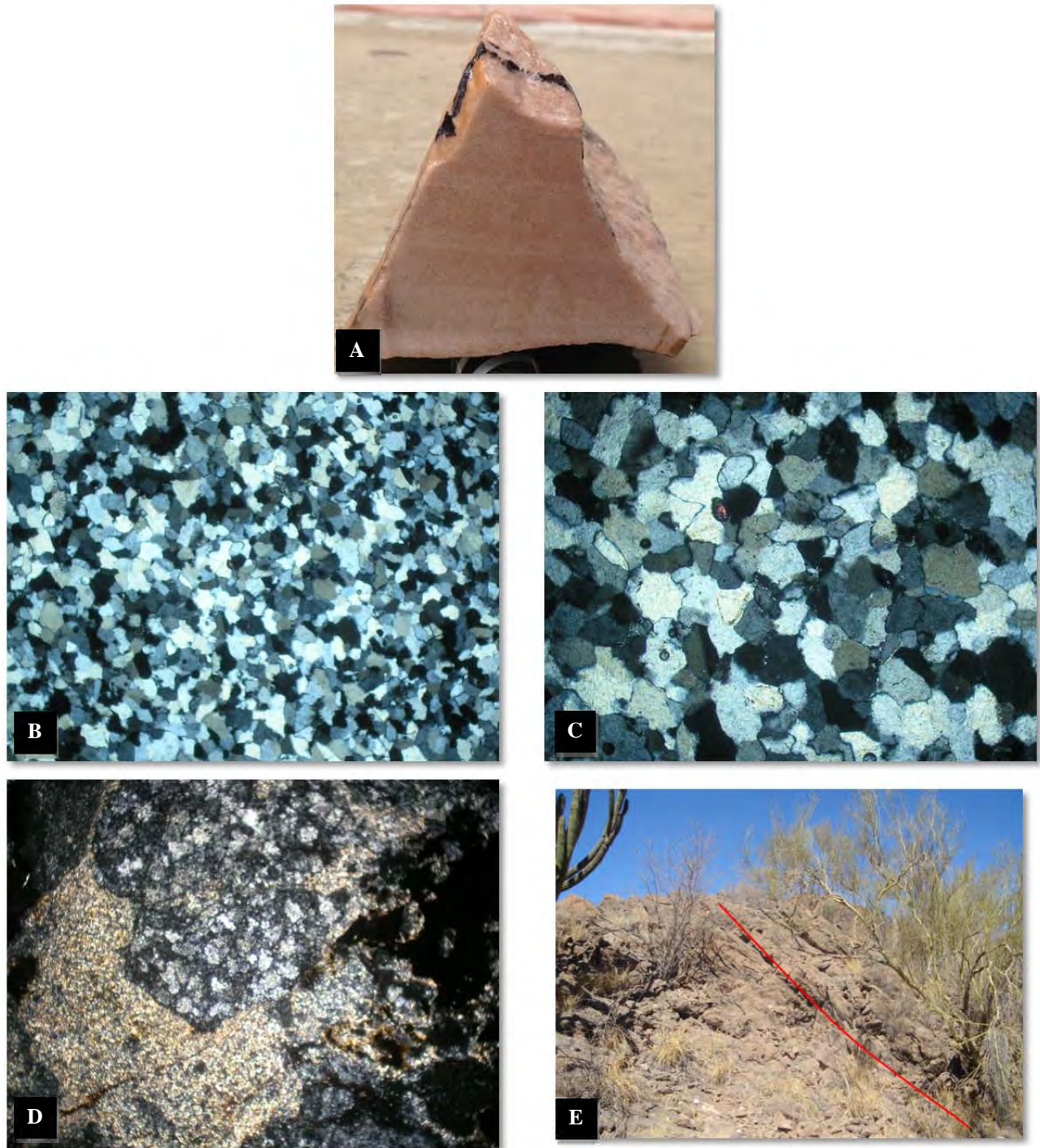


Figura 25. Fotografías de cuarcita, A) muestra de mano representativa B) microfotografía con LP 4X, granos menores de 1 mm. C) acercamiento de la mineralogía mostrada en la microfotografía, D) cuarcita con silicificación, afectada por oxidación, E) estratificación de la cuarcita.

También en parte de esta unidad hay un conglomerado dolomítico, el cual se encuentra en contacto con la Unidad de Riolita que se puede observar en la rampa a Tajo Harris y cerca del cuarto de explosivos. Este conglomerado dolomítico es de mala clasificación, con guijarros de rocas carbonatadas de menos de 5 cm angulosos y redondeados de 5 cm a 10 cm y hasta 20 cm de dolomía; lo que indica que estos no sufrieron mucho transporte. La matriz-cemento es de dolomía con matriz arenosa en zonas puntuales.

También se observan facies de chert arenoso, de grano fino, compuesto por sílice y se observan minerales detríticos de cuarzo con una matriz xenomorfa de pedernal. Hay carbonato y cuarzo hidrotermales que está en forma de muchas vetillas y parches.

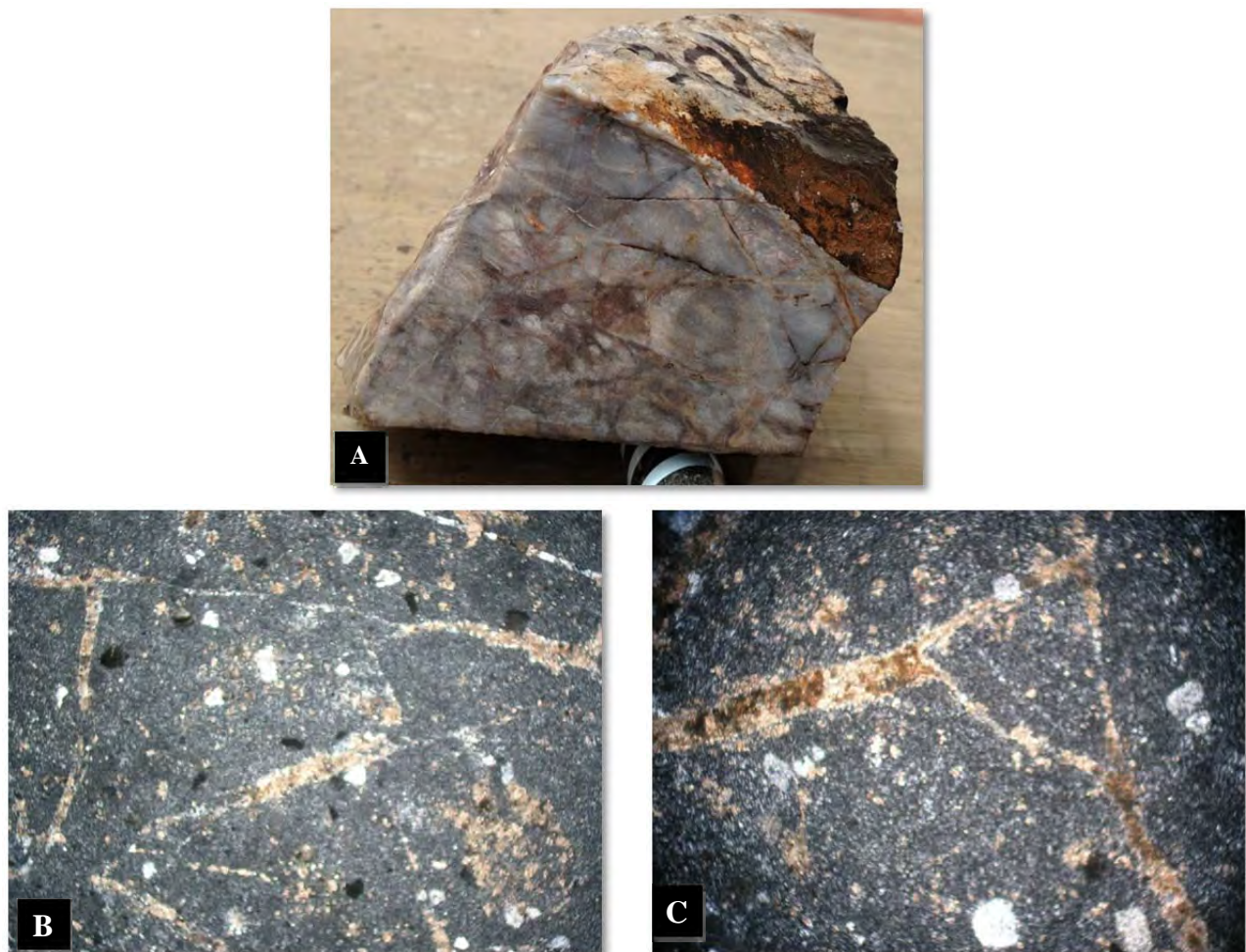


Figura 26. Fotografías de chert arenoso A) muestra de mano B) y C) microfotografía de la roca considerada como chert arenoso, en donde se observan los granulos subredondeados y subangulosos de cuarzo.



Figura 27. Fotografías de conglomerado dolomítico, A) conglomerado dolomítico B) conglomerado dolomítico con matriz arenosa, presenta oxidación. C) conglomerado en Tajo Harris, muy cerca de la brecha riolítica, muestra clastos de dolomía y riolita con tamaños entre 2 y 3 cm, fuertemente silicificados, muestra óxidos de cobre, D) clastos angulosos en conglomerado en Tajo Harris.

En el contacto de la Unidad Dolomía con la Unidad Riolita se produjo una zona de brecha. El contacto fue probablemente intrusivo y posteriormente fallado. La roca brechada tiene una matriz silicificada y está siendo atravesada por vetillas que contienen carbonatos, los clastos de roca volcánica fueron afectados por hidrotermalismo. Tanto el sílice como los carbonatos son hidrotermales.

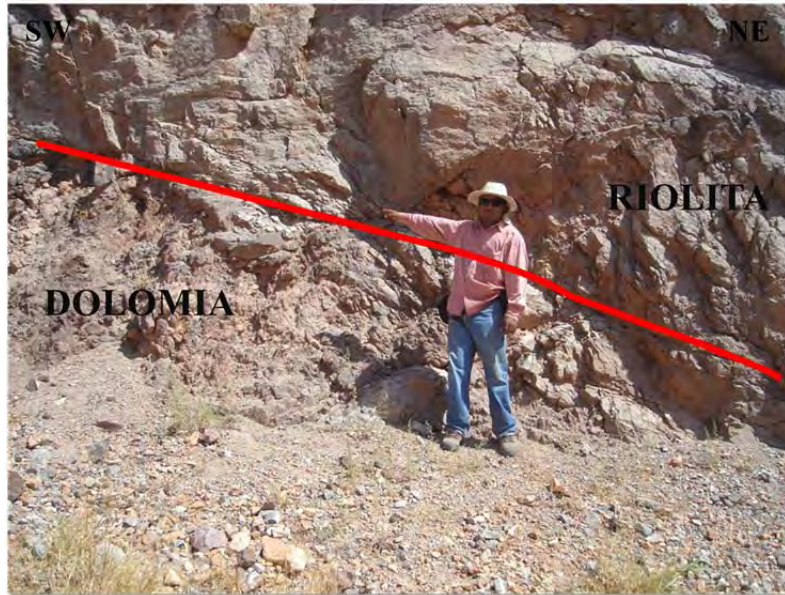


Figura 28. Contacto por falla entre riolita brechada y dolomía en el Tajo Harris viendo hacia el NW

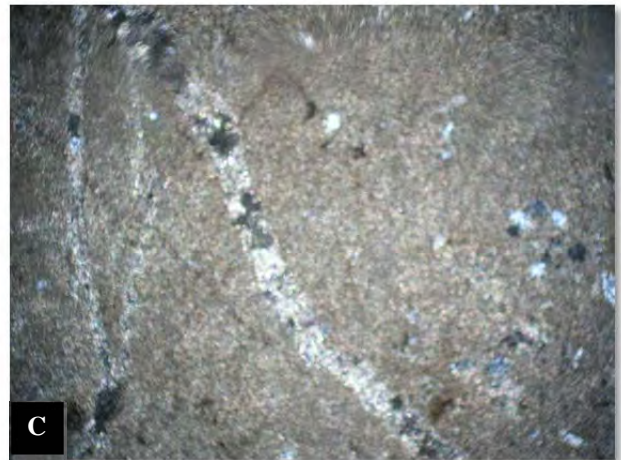
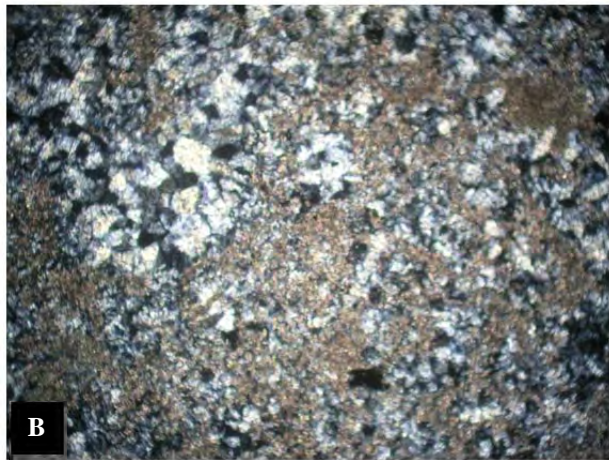


Figura 29. Fotografías de roca carbonatada, A) Muestra representativa de mano, B) sílice reemplazando a los carbonatos, C) vetilla de cuarzo dentro de una matriz carbonatada.

La Unidad Dolomía se puede correlacionar con rocas del Neoproterozoico descritas por otros autores en la región de Caborca (Longoria, 1980; Stewart, 1984); rocas similares han sido reportadas en la zona mineralizada El Boludo, que se encuentra 14 km al NE de Cerro Colorado (Pérez-Segura, 1992).

### V.3.- Unidad Riolita

Esta unidad, referida en este trabajo de tesis como Unidad Riolita, corresponde a un cuerpo volcánico o subvolcánico de composición riolítica, el cual aflora en la parte central del área mineralizada de Cerro Colorado. La morfología aparente es la de un domo de forma ligeramente alargada en planta con dirección W-ENE. Aflora aproximadamente 650 m de largo en dirección N – S y 1400 m en dirección E – W y se conoce por un desnivel menor a 1000 m. Constituye la unidad principal de las rocas aflorantes en el área de estudio, y en ella se encuentra alojada la mineralización de oro. Esta roca se encuentra directamente en contacto con la Unidad Dolomía y la Unidad Esquisto – Gneis.

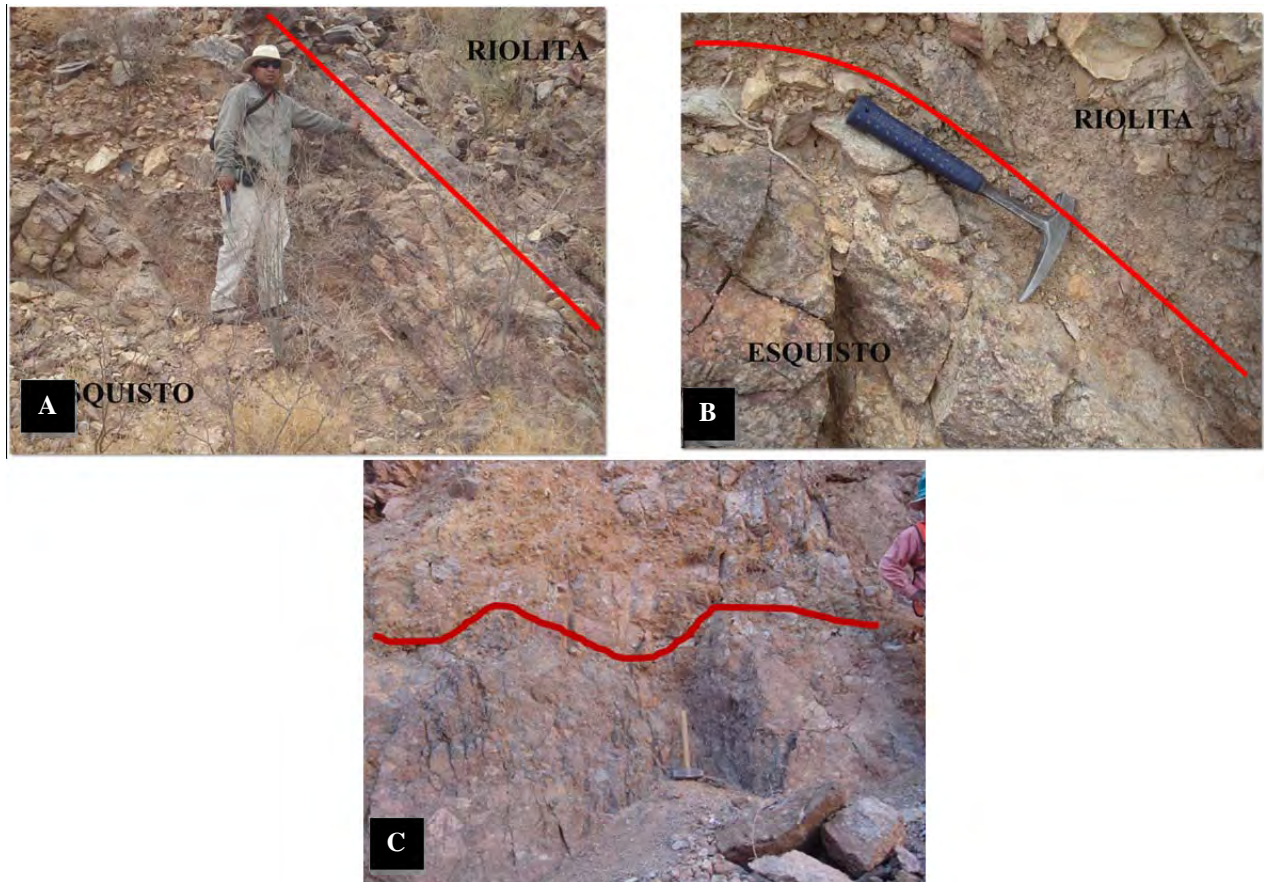


Figura 30. A) Se observa el contacto entre la Unidad Esquisto y la Riolita, entre Tajo Obra X y Tajo Abejas, B) se observa detalle del contacto por falla debido a la intrusión del domo riolítico, C) Contacto entre el la brecha riolítica (arriba) y esquisto brechado (abajo) en Tajo Harris.

En afloramiento y en muestra de mano esta unidad presenta generalmente una coloración rojiza, debido a la presencia de óxidos de fierro secundarios, aunque a veces se observa de color blancuzco a verdoso. Se presenta de forma masiva, con una textura porfídica, con textura piroclástica en *fiammes* y con el desarrollo de múltiples franjas o bandas de brechamiento, sobre todo en los bordes del emplazamiento. Eventualmente se observa un bandeamiento de flujo, y localmente se observa afectada por alteraciones del tipo sericita, argilización y silicificación. Las zonas de alteración suelen estar acompañadas por valores de oro.

Estructuralmente se encuentra afectada por fallas y fracturas con rumbo NW, SE y E-W.

La mineralización económica se da en este paquete de roca, y en él están contenidos cinco cuerpos de interés económico detectados hasta la fecha, mismos que se han explotado mediante tajos en la mina. Los nombres de los cuerpos son: Sorpresa, Harris, Brecha Central, Abejas y Obra X.



Figura 31. Riolita masiva, fuertemente silicificada

#### V.4.1.- Tajo Brecha Central

En la parte central de la unidad y constituyendo la mayor parte de la misma, se encuentra aflorando la misma riolita, autobrechada. En la mina este brechamiento recibe el nombre de Tajo Brecha Central. Los fragmentos de brecha son angulosos y no muy espaciados, tiene muy escasa matriz, conformada principalmente por óxidos de fierro hematíticos. La unidad está afectada por múltiples fracturas con rumbos promedio N 50 E y N 55 W.

La extensión vertical de esta Riolita autobrechada en Tajo Brecha Central, a partir de superficie, debe ser de poco menos de 400 m. La textura y estructura es variable, desde masiva, fluidal o

moderadamente porfídica con cristales y boxworks pequeños de pirita, algunos ya rellenos con oxidación de hematita.

Esta riolita autobrechada presenta abundante silicificación, acompañada en algunas zonas de una débil argilización asociada, en zona de sulfuros en menores cantidades, los cuales son: pirita, esfalerita y galena.

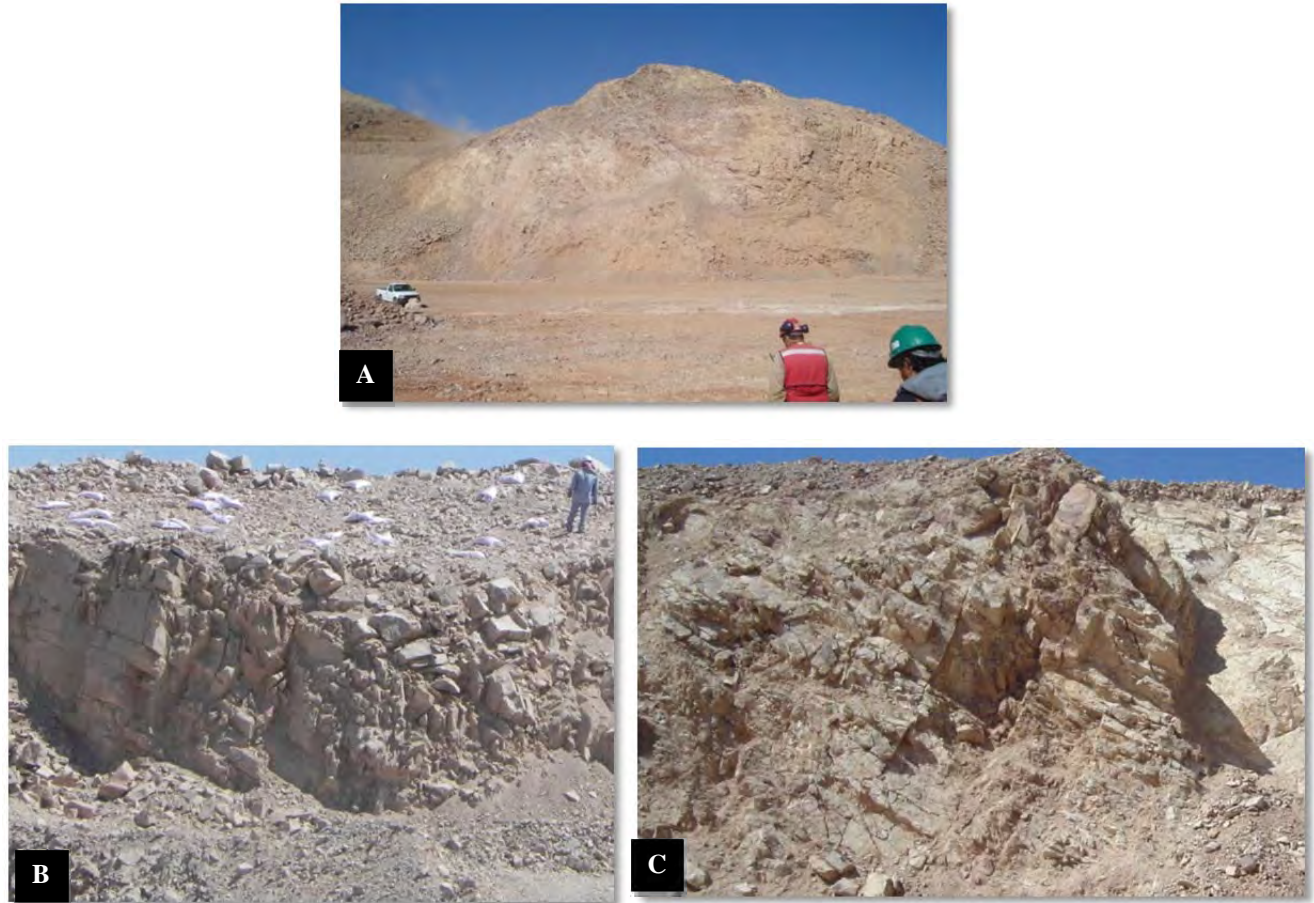


Figura 32. Vista de Tajo Brecha Central. A) Esta fotografía muestra parte del Tajo Brecha Central, que está siendo minado. B) y C) se muestra el brechamiento de la roca, con inclinación hacia el centro de la misma unidad.





Figura 33. A) Roca riolita brechada en Tajo Brecha Central, B) roca riolita silicificada, C) Riolita con oxidos de fierro y manganeso, D) Riolita coloración blanca con óxidos de manganeso, pirolusita, E) y F) clastos de riolita brechada en Tajo Brecha Central.

#### V.4.2.- Tajo Obra X

En la zona mineralizada llamada Obra X, donde se encuentra el cuerpo mineralizado del mismo nombre, la riolita también presenta textura porfídica. Esta variedad se encuentra en la parte E de la unidad. La roca que se encuentra es de color blancuzco, aumenta en fenocristales de “ojos de cuarzo” pequeños y ocasionalmente se observan feldespatos, los cuales se encuentran argilizados. En algunas zonas existe fuerte silicificación y la alteración argilica es débil, pero en las zonas de falla la argilización se incrementa notablemente.

Al microscopio se observa como una roca volcánica muy desvitrificada, con recristalización de sílice, la textura porfídica es homogénea. Los fenocristales son de cuarzo de 3 a 6 mm, subangulosos, en una matriz silícea muy homogénea en la que flotan feldespatos, cuya composición es sanidino. Se observa también algunas microvetillas paralelas de cuarzo y minerales opacos diseminados, consistentes en pirita euhedral ya alterada. En algunas zonas se observan *boxworks* oxidados, procedentes de sulfuros. La roca se encuentra afectada por argilización, se estima la existencia de un 30% de montmorillonita. Es muy posible que se trate de un domo porque en este caso no se observa flujo y está afectada por hidrotermalismo.

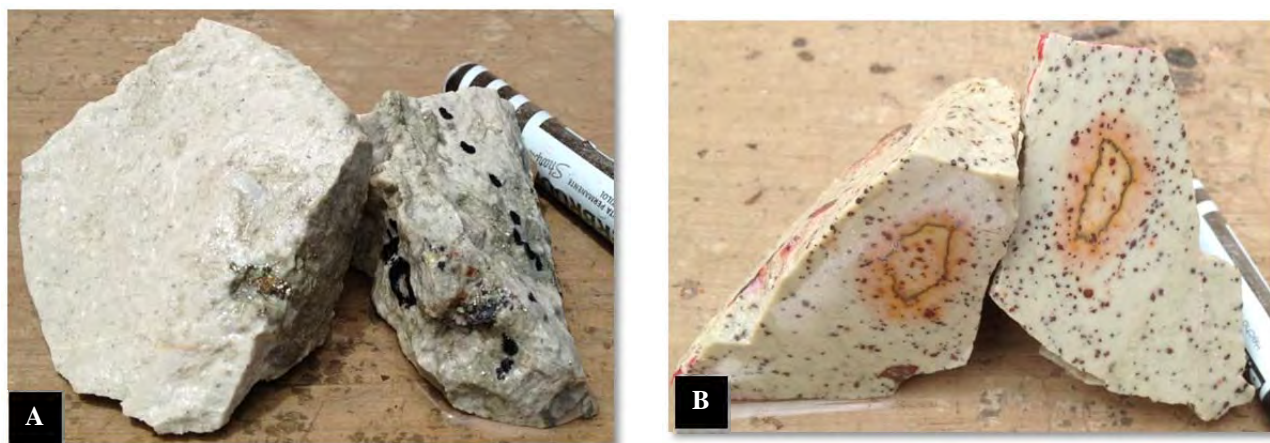


Figura 34. A) muestra representativa de mano, se observan sulfuros. B) muestra de mano de riolita color verdoso donde se observa oxidación en boxworks.

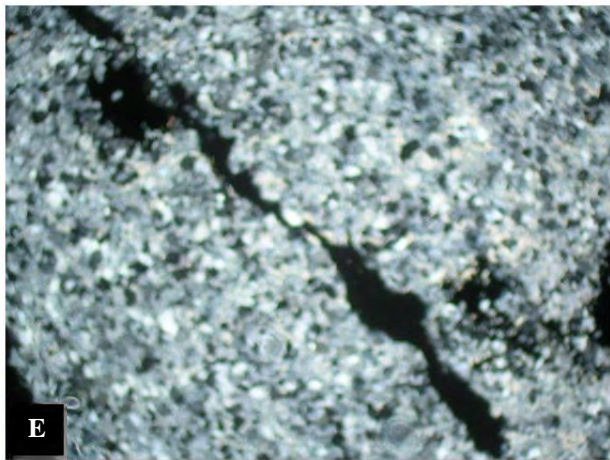
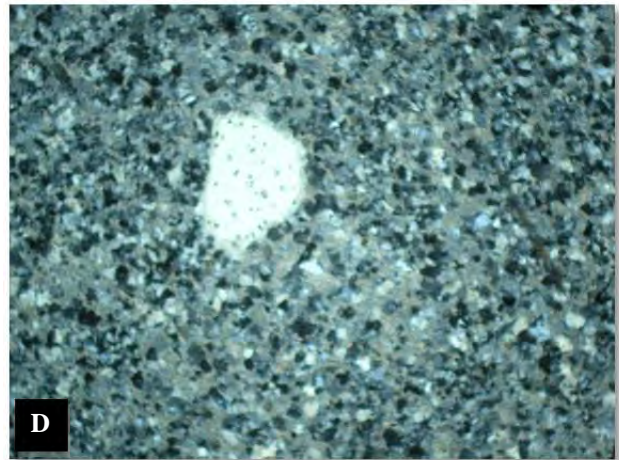
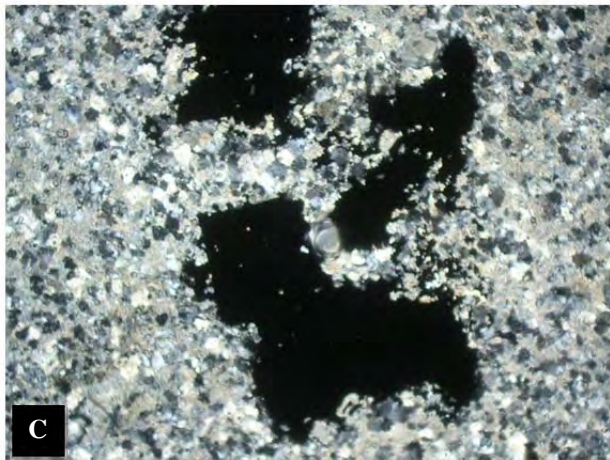
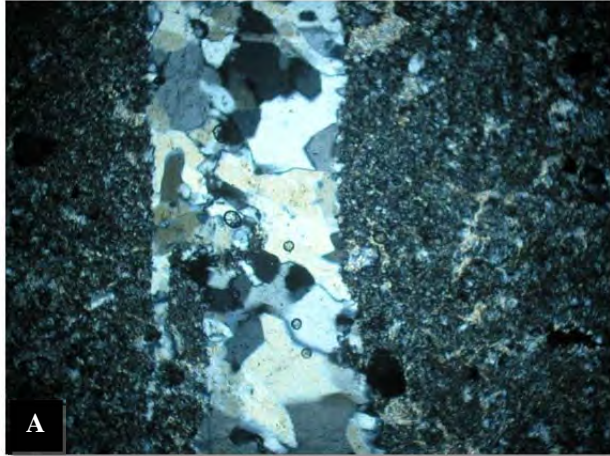


Figura 35. A) veta con cuarzo hidrotermal, B) cristal de cuarzo, veta de sílice hidrotermal, pirita euhedral. C) se observan minerales opacos, sulfuros, D) mineral de cuarzo rodeado de textura microporfídica, E) vetillas de sulfuros cortando la riolita 10X, F) cristal amiboide de cuarzo, con golfos de corrosión y bordes de reacción.

En la parte inferior del Tajo Harris se observa la riolita como una brecha volcánica con hidrotermalismo. La roca contiene pedazos de roca volcánica y pedazos de roca sedimentaria (arenisca de cuarzo), fragmentos de dolomía y de rocas metamórficas. La brecha parece ser de origen volcánico, probablemente extravasada en un ambiente subacuático, no de una brecha hidrotermal. Sin embargo, la roca se encuentra alterada. La alteración principal y la más significativa es la silicificación, a la cual debe estar relacionada y asociada la mineralización de oro. El cuarzo hidrotermal está acompañado de sulfuros como pirita principalmente, además de galena y esfalerita, y la matriz presenta gran cantidad de oxidación en forma de hematita y limonitas procedentes de los mismos sulfuros. Desde un punto de vista general, se considera que la silicificación es moderada a fuerte y algunas vetas semiparalelas de calcita cortan la brecha.

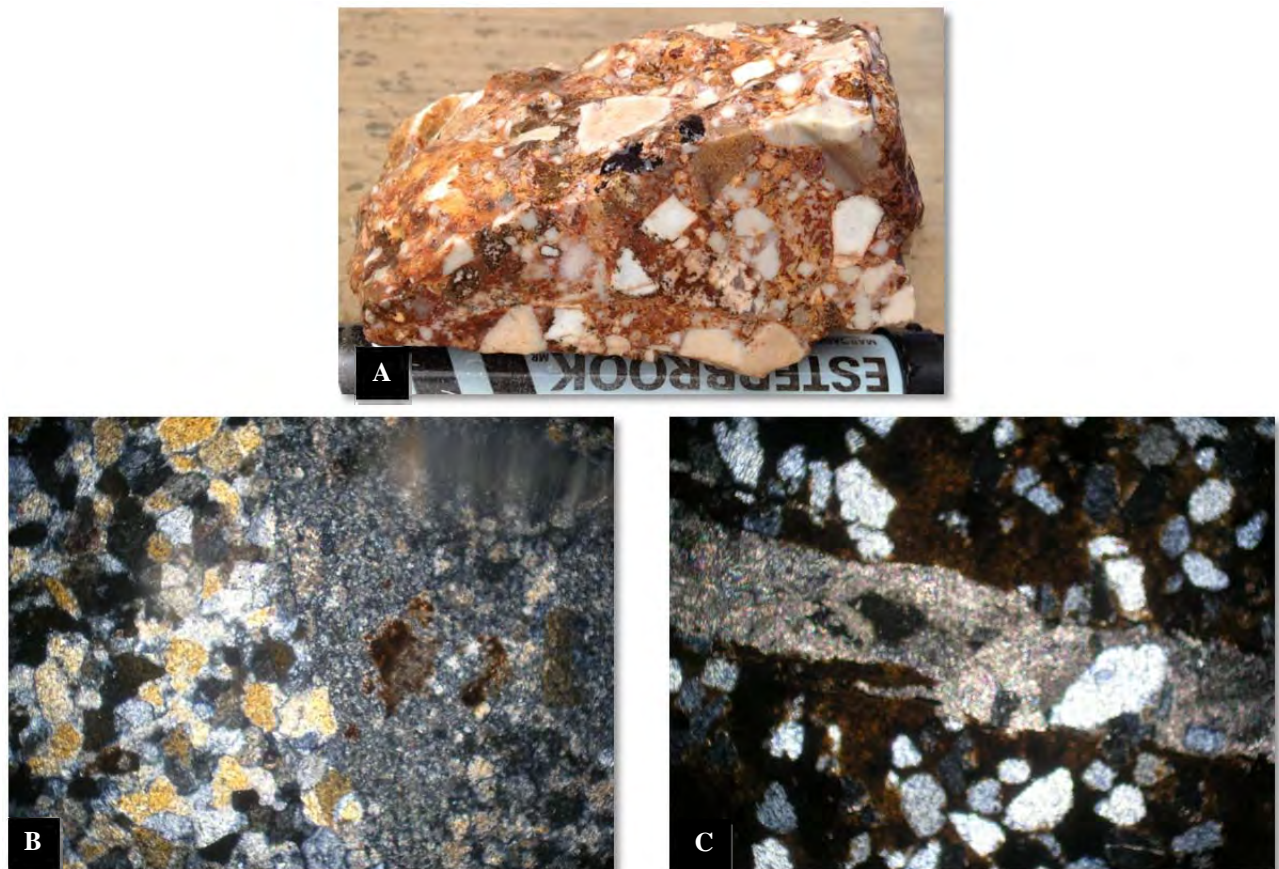


Figura 36. Riolita como brecha volcánica con hidrotermalismo, A) muestra de mano de brecha que presenta hidrotermalismo B) microfotografía 10X mostrando clastos de cuarcita y otro de la roca riolita, C) Cuarcita con veta de sílice y matriz con oxidación.

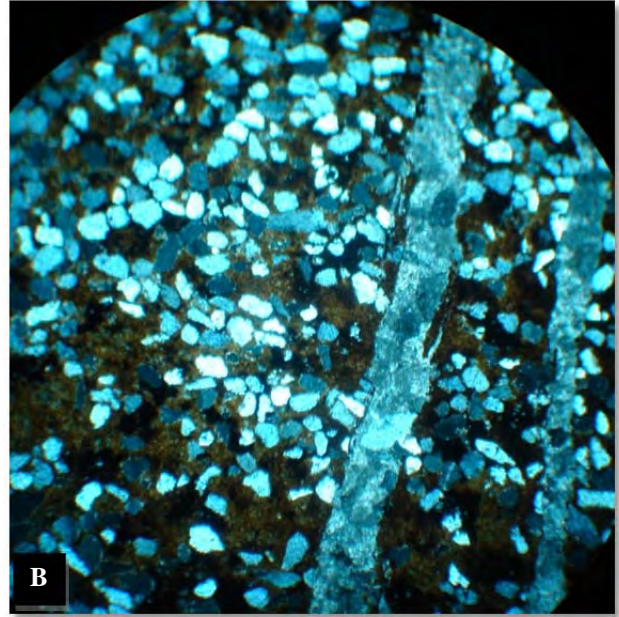


Figura 37. A) Riolita en zona de brecha volcánica; donde se muestra un fragmento metamórfico. B) fragmento de cuarcita con vetas semiparalelas de cuarzo

En el mismo Tajo Harris, debajo de un nivel de una brecha riolítica, se tomó otra muestra que presenta gran variedad de material. Se trata de una roca sedimentaria, que contiene abundantes fragmentos de carbonatos y de areniscas, así como también de rocas ígneas desvitrificadas y un fragmento de gneis con plagioclasa deformada. Los clastos son subangulosos; en la matriz se observan cristales angulosos de cuarzo y plagioclasa. La roca contiene varias microvetillas paralelas que han sido rellenas por cuarzo y en ocasiones por óxidos de hierro.



Figura 38. Riolita como brecha volcánica, A) muestra de mano representativa B) clasto de riolita con cristales de cuarzo.

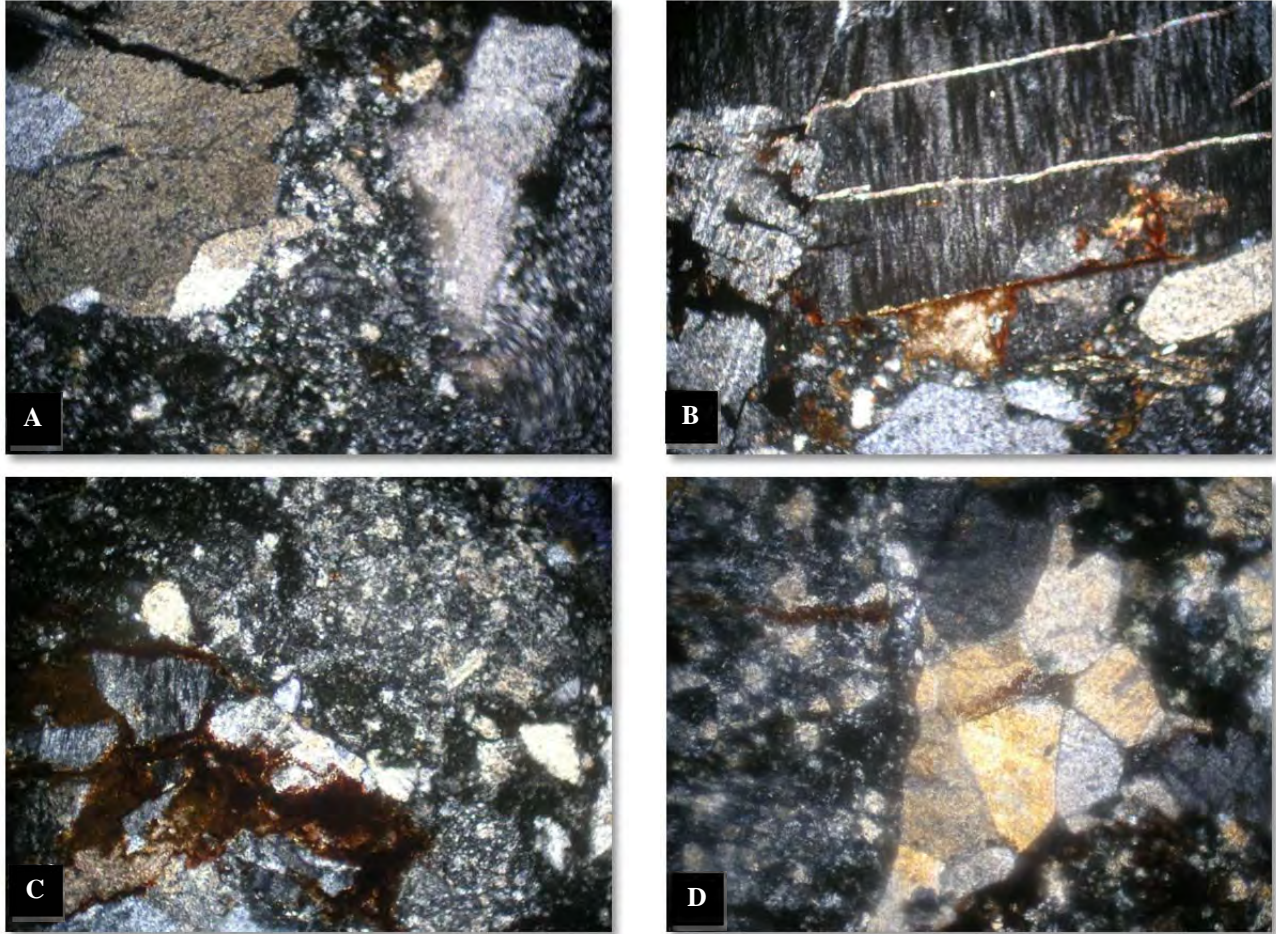


Figura 39. A) riolita con clasto sedimentario y cuarzo, B) plagioclasas con vetas paralelas de cuarzo, cristales de cuarzo y matriz oxidada, C) riolita con plagioclasas, cuarzo y matriz con oxidación. D) riolita con cuarzo y biotita.

En la parte superior del Tajo Harris, en contacto entre la riolita con bandeamiento y la unidad sedimentaria dolomía, se observó una brecha volcánica con fragmentos angulosos a subangulosos de riolita, con tamaños desde 2 hasta 15 cm, además de fragmentos de roca, tanto sedimentarias del tipo de la dolomía, como areniscas y de rocas metamórficas (esquisto). La brecha, considerada como de origen volcánico, fue afectada por hidrotermalismo, en este caso silicificación.

En otras muestras de la misma zona, la roca tiene una apariencia de flujo, presenta hidrotermalismo con minerales del grupo de las arcillas, como montmorillonita: así como también óxidos como hematita procedente de sulfuros. Se observan plagioclasas corroídas, en una matriz con texturas esferulíticas. Estas esferulitas contienen sílice fibroradial que se desarrolla alrededor de cristales de cuarzo, producto de desvitrificación, también se observa carbonato al interior de la esferulita. Eventualmente se observa cuarzo con extinción ondulante, que pueden ser xenocristales

rocas deformadas más antiguas. En las cercanías de esta roca con el esquisto la alteración está representada por una fuerte presencia de clorita.

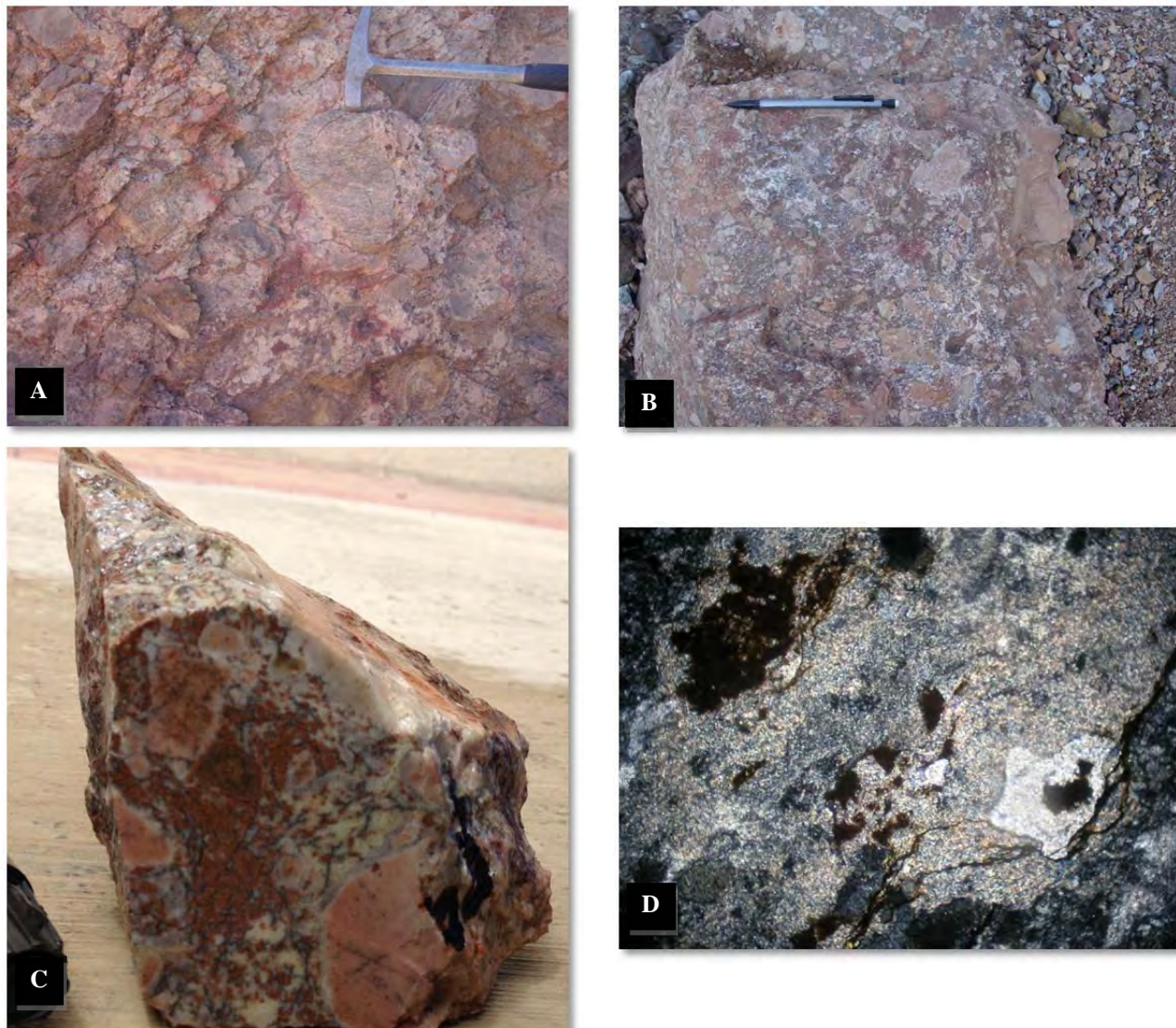


Figura 40. Riolita como brecha volcánica, A) muestra representativa de brecha volcánica con clastos de esquisto ubicada en la parte superior del Tajo Harris, B) Muestra representativa de brecha volcánica en Tajo Harris, con clastos angulosos de de 5 a 10 cm de riolita y esquisto. C) muestra de mano representativa, D) se observa poco flujo, en la presencia y distribución de minerales sericíticos-arcillosos, además de calcita

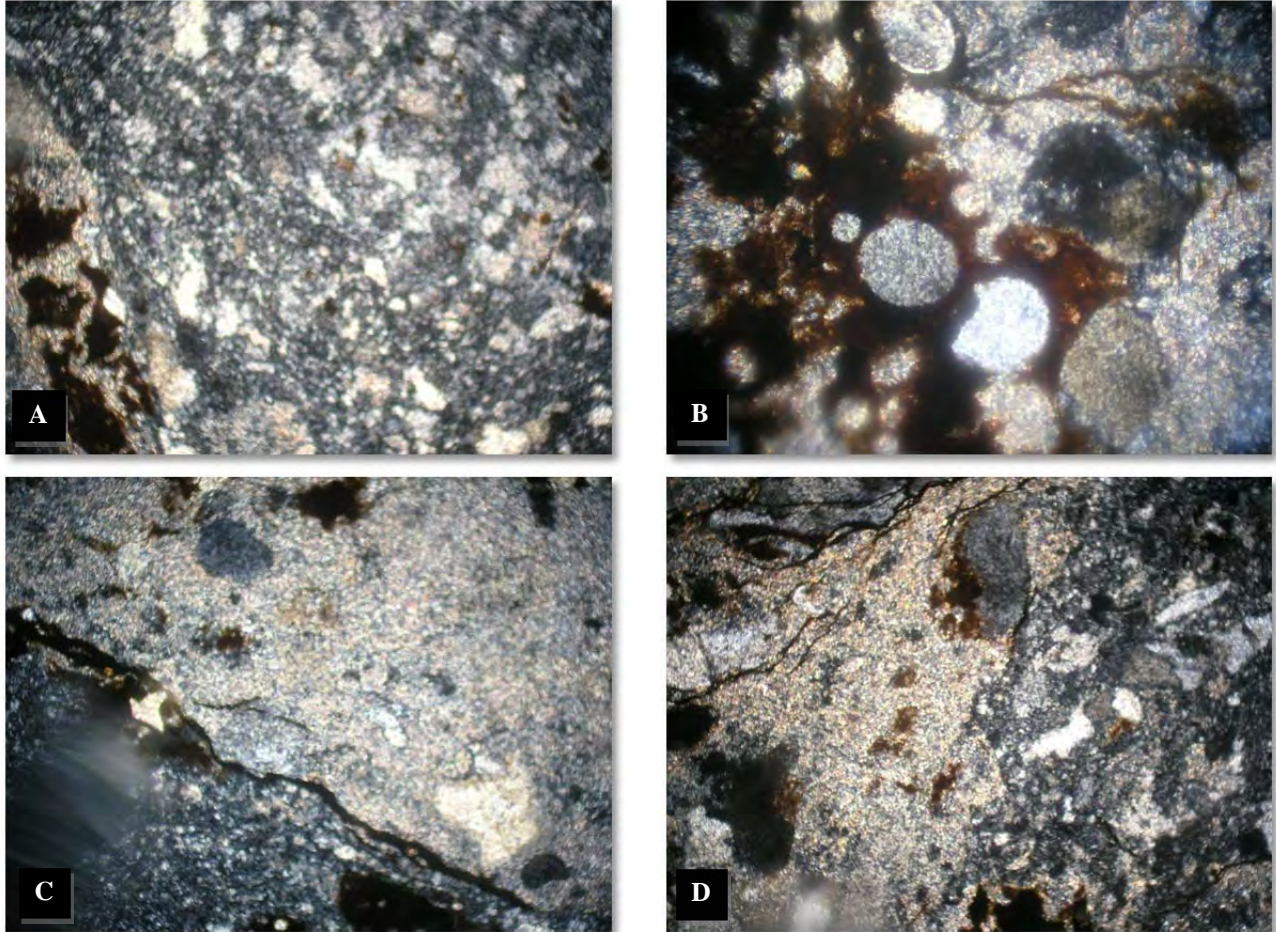


Figura 41. Riolita como brecha volcánica, A) riolita con cristales de cuarzo y minerales opacos rodeados de oxidación. B) esferulitas con sílice fibrorradial 20X, C) riolita devitrificandose, D) clasto de riolita devitrificandose, sílice masivo con cristales de cuarzo. (A, B, C, D, muestran presencia y distribución de minerales sericíticos-arcillosos, además de calcita)

La riolita con bandeamiento también se encuentra en la porción W de la unidad cartografiada, entre la Riolita autobrechada y la Brecha volcánica; en la zona E, (Tajo Obra X) y parcialmente en el Tajo Abejas. Se distingue por tener un bandeamiento de flujo riolítico, cuarzo primario anguloso, fenocristales de feldespato, además de que se le observa hidrotermalismo debido a que contiene sericita, a partir de biotita primaria. También se observan sulfuros.



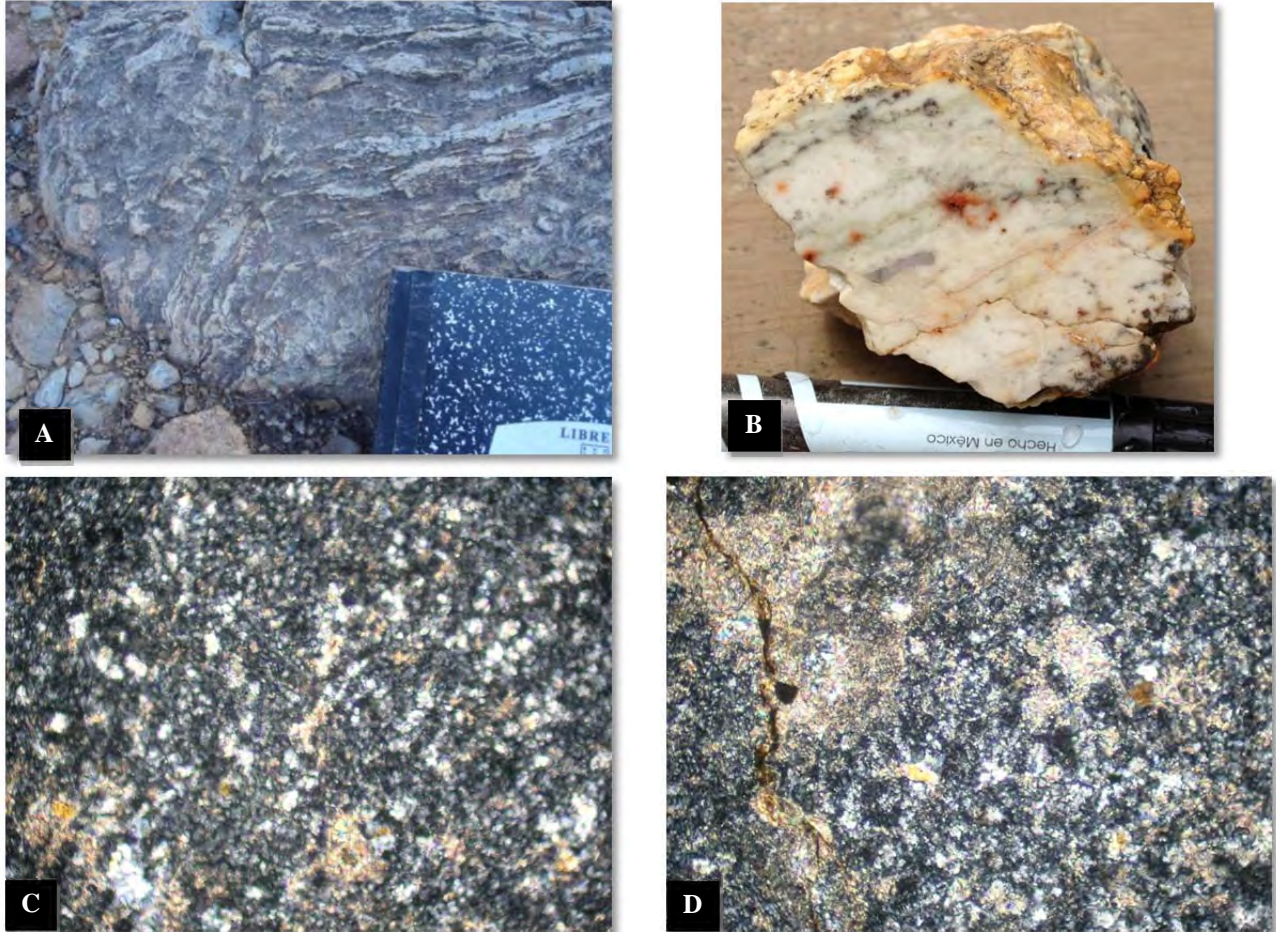


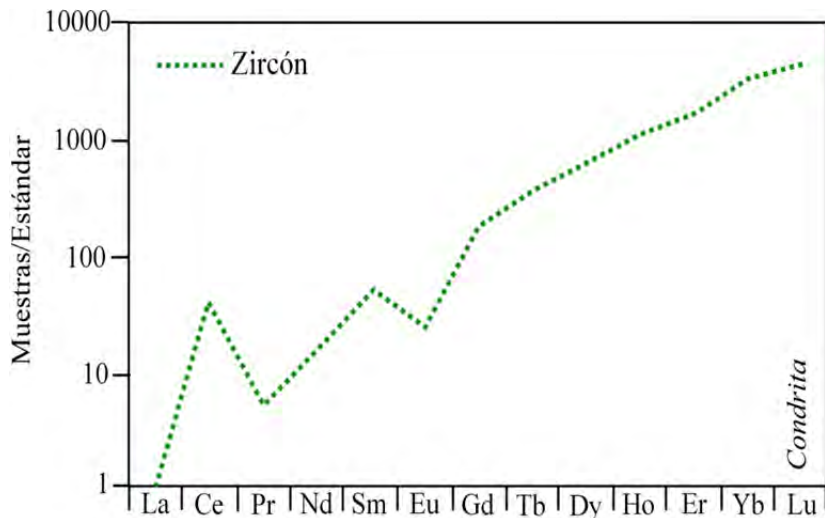
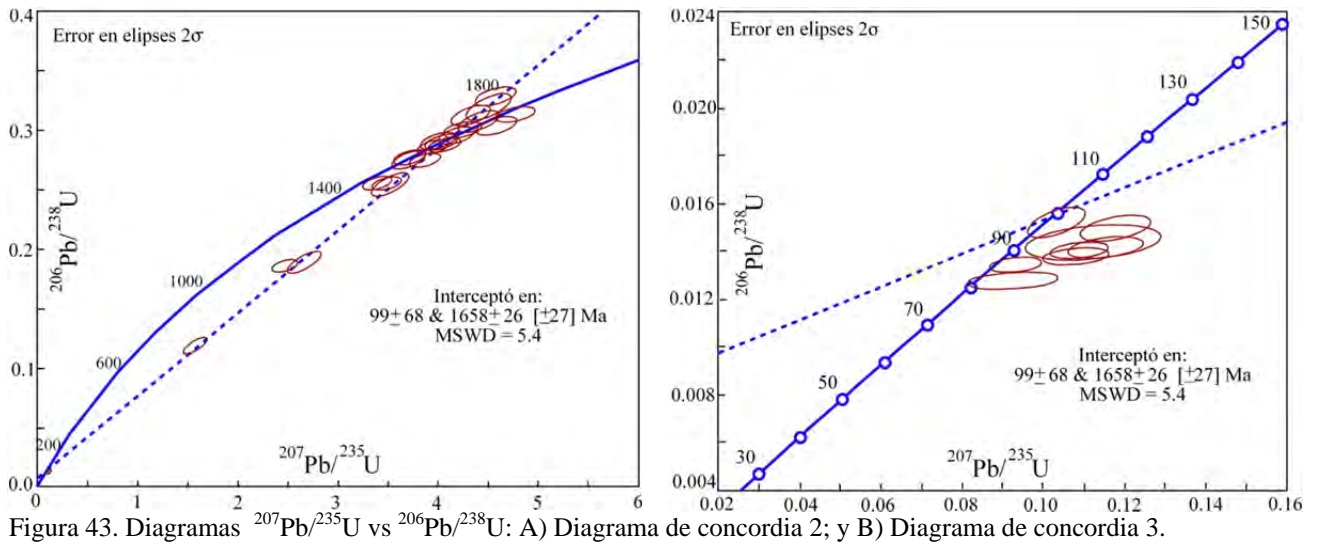
Figura 42. Riolita con bandeamiento, A) muestra representativa de afloramiento B) muestra representativa de mano, C) microfotografía LP 10X, donde se muestra la riolita con abundante sílice y poco bandeamiento D) microfotografía LP 10X de riolita con vetillas con oxidación y minerales opacos

#### V.4.3.- Edad de la Unidad Riolita

Con el objeto de conocer la edad de la unidad volcánica, se seleccionó una muestra representativa de la Unidad Riolita, con la finalidad de efectuar una datación radiométrica, en el laboratorio del Centro de Geociencias de la UNAM, Campus Juriquilla. El método utilizado fue de U-Pb en zircones.

En el caso de la muestra de Cerro Colorado, se encontró que la muestra tiene pocos zircones, comparada con otras rocas riolíticas. La mayoría de los circones heredados de ésta muestra, tienen edades paleoproterozoicas, que definen una intercepta superior, como se muestra en el diagrama “Concordia 2” de  $1658 \pm 26$  Ma. La intercepta inferior se encuentra oscilando, como se aprecia en el

diagrama “Concordia 3” ya que son relativamente pocos los análisis que han dado una edad joven. Sin embargo, además de la intercepta, se puede ver que un zircón es prácticamente concordante a 99 Ma, y otros más tienen edades parecidas, entre los 88 y 99 Ma. Todos los circones del diagrama REE tienen patrones de tierras raras que son típicos de cristalización ígnea. Esto hace pensar que la edad de 1.6 Ga sea herencia del basamento paleoproterozoico, y la edad de cerca de 90-99 Ma corresponda a la edad de cristalización de la riolita. No se encuentra algo más joven, lo que hace excluir la posibilidad de que también la edad de 90-99Ma sea una herencia.



## V.5.- GEOLOGÍA ESTRUCTURAL:

Los datos estructurales del área de Cerro Colorado provienen principalmente de la Unidad Riolita, cuya intrusión también afectó las rocas sedimentarias dolomíticas. Esto se puede observar en la siguiente sección esquemática:

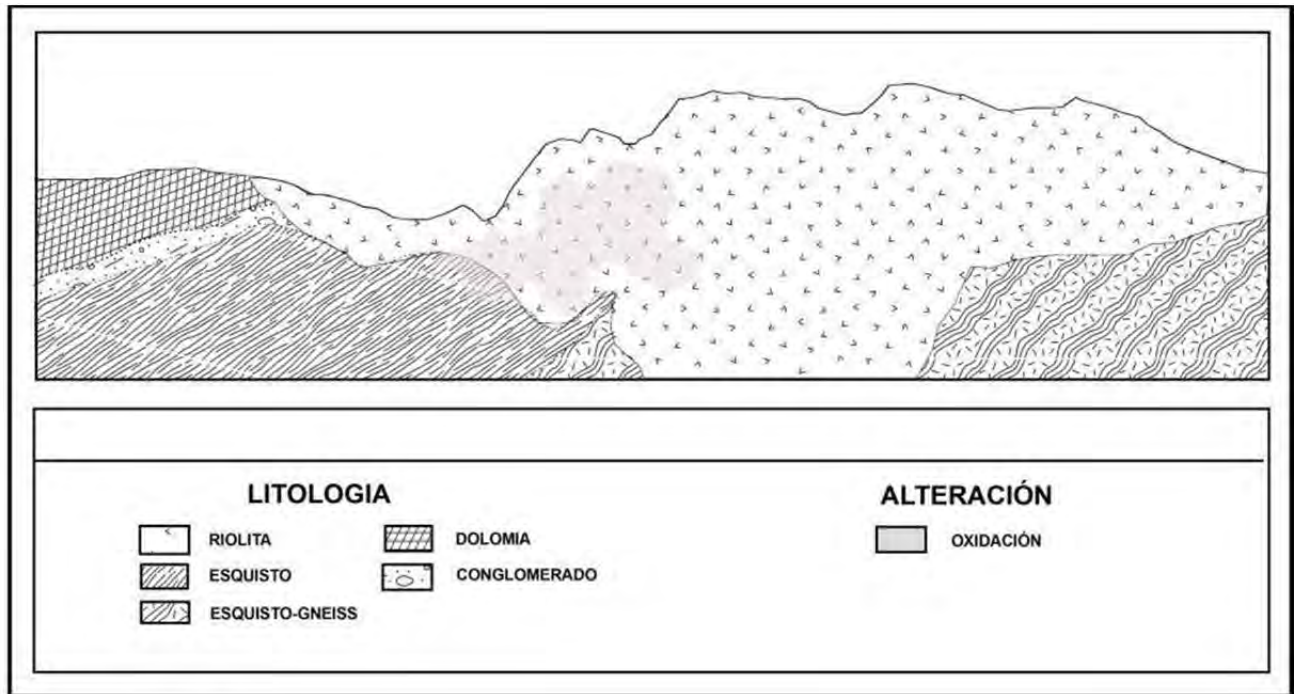


Figura 45. Sección estructural.

Las principales estructuras observadas son fallas normales con orientación NW. Debido a que existe una tendencia de estas fallas de manifestarse de manera concéntrica alrededor de la Unidad Riolita, se considera que esto refuerza la interpretación del emplazamiento de una estructura dómica, de composición riolítica, dentro de la secuencia sedimentaria – metamórfica del Neoproterozoico, de donde se interpreta que la roca corresponde a una estructura de domo que sale a la superficie.

Las fallas más importantes son de orientación NW, mismas que siguen también las estructuras mineralizadas con hematita y pirita, como se puede observar en la zona de Brecha Central y Obra X. Las fallas buzcan hacia el SW o el NE.

Hay una familia de fallas con orientación N 70 E con buzamientos hacia el sur y hacia el norte, éstas ocurren en la Unidad Riolita. Las fallas en dirección NE parecen ser fallas inversas, mientras que las fallas con orientación NW parecen ser fallas normales dextrales.

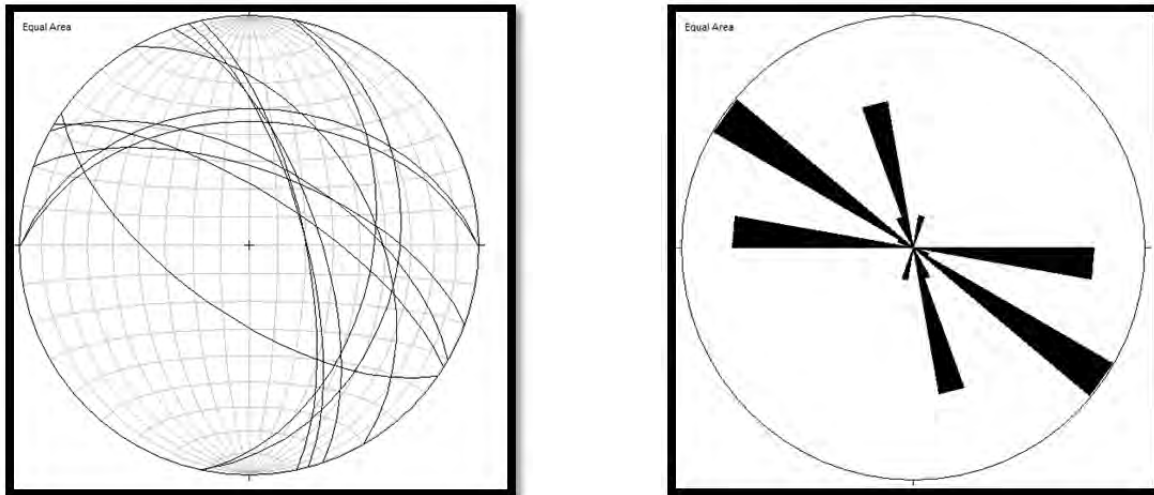


Figura 46. Diagramas estereográficos

Se presentan dos principales orientaciones de las fallas: NW y NE.

La orientación NW de las estructuras casi intercectan al polo promedio de las orientaciones de las estructuras NE, es decir los esfuerzos son casi perpendiculares y probablemente se deben al mismo evento.

Las orientación de las estructuras NW son fallas normales, por lo que se puede asumir que la fuerza de tensión era dirigida hacia el ~NE-SW. Las estructuras NE son compresivas, como fallas inversas, por lo que la dirección de las fuerzas en este evento sería ~NW-SE y perpendiculares a la extensión ~NE-SW.

Si se supone que las direcciones de extensión y compresión deben ser perpendiculares en un mismo evento tectónico, entonces es probable que los eventos creados por la extensión NE-SW y la compresión NW-SE tuvieran lugar durante el mismo evento.

Con respecto a la mineralización en Cerro Colorado, una edad máxima se puede deducir de la edad mínima de los zircones de la riolita, como a la base del Cretácico Tardío (Cenomaniano). Dicho período corresponde a la edad de la orogenia Sevier. La orogenia Sevier ocurrió aproximadamente entre 140 y 50 Ma en Canadá, USA y NW de México a través de la colisión de la placas Farallón y Kula y el subsecuente inicio de la subducción de Farallón debajo de la placa Norteamérica. Este evento se considera como deformación compresional, esto en contraste con la orogenia Larámide de baja intensidad que fue contemporánea con la segunda mitad del evento Sevier. Durante este tiempo, ocurrieron algunas compresiones de orientación NNE a NE.

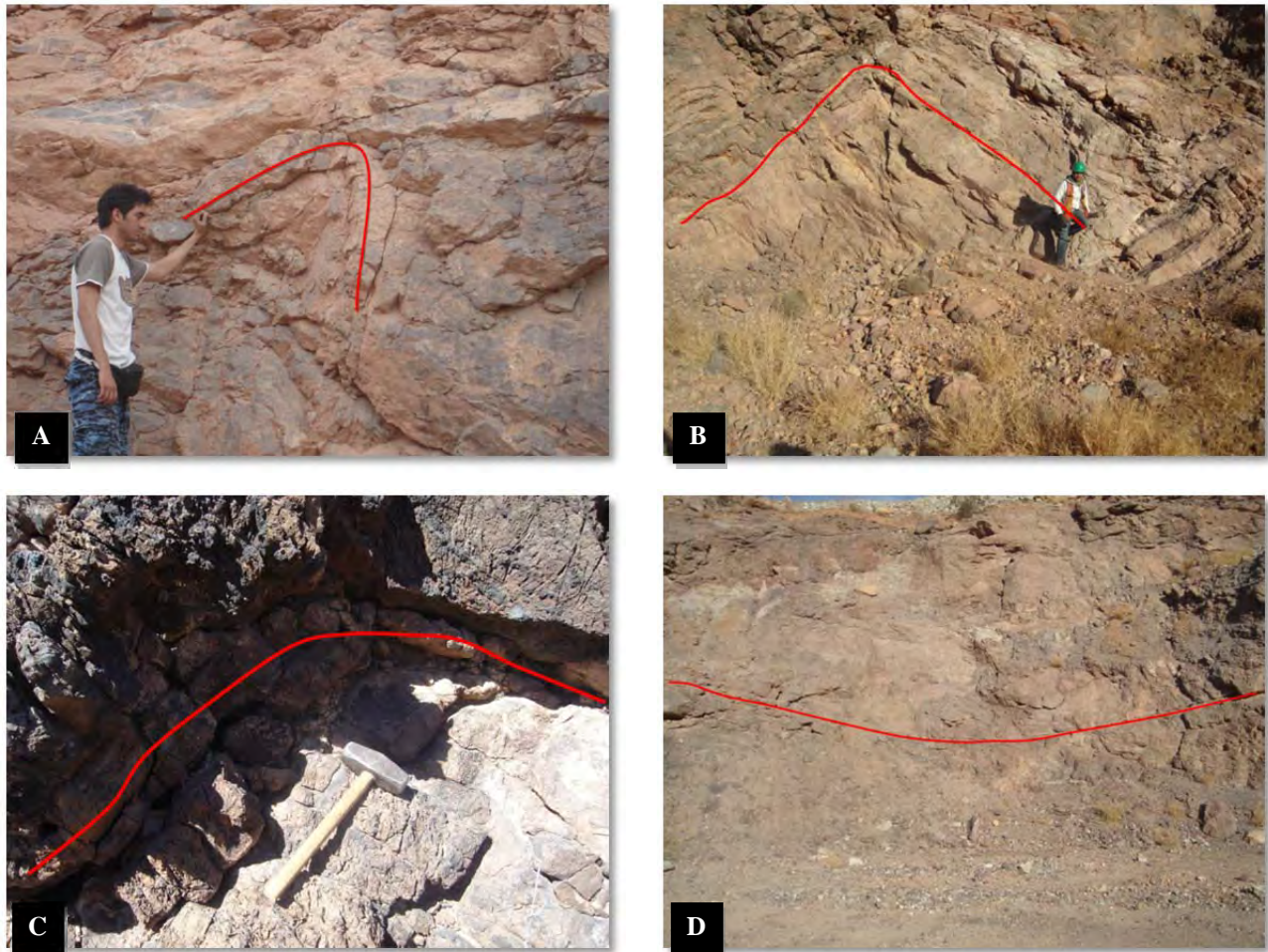


Figura 47. Fotografías de pliegues, A) Pliegue en la dolomía en Tajo Harris, B) Pliegue en Tajo Harris, C) pliegue anticlinal en la Unidad Dolomía, D) falla en dolomía ubicada en Tajo Harris, con plegamiento

En Cerro Colorado existe una tendencia más débil de estructuras con dirección ENE que posiblemente es el reflejo de la orientación de las estructuras en el basamento y probablemente se originaron como una zona de falla muy inclinada durante la etapa laramídica con orientación de compresión NE-SW, como se ha visto en otros depósitos de tipo orogénico y epitermales en México.

La estratificación de la dolomía que se observa en el Tajo Harris tiene orientación NNW ( $N166^\circ, 51^\circ W$ ), que también puede ser debido a la orogenia laramídica

Las texturas de flujo y de desvitrificación en la Unidad Riolita indican que fue emplazada en, o cerca de la superficie, pero la falta de contactos expuestos no permite elaborar un modelo claro en 3 dimensiones sobre la relación de la Unidad Riolita con los sedimentos y el esquisto – gneis.

Al sur del límite de la mineralización en Cerro Colorado se observa una tendencia de fallas normales con orientación de E-W a WNW, que ubican la riolita en contacto con el gneis

precámbrico a lo largo de una zona mapeada con un rumbo ENE. La falla que marca el contacto forma una de las series de fallas subparalelas que buzcan hacia los Tajos Harris y Abejas y la coincidencia entre algunas de estas fallas puede ser el principal control de la mineralización en el Tajo Abejas. El origen de estas estructuras podría estar relacionado con el inicio de la orogenia Larámide, o a un evento de extensión NNE post Laramídico, el cual pudiera estar asociado con un evento posterior de mineralización. Esto causó una inclinación de la secuencia, como se aprecia en el conglomerado. Algunas de las orientaciones de las fallas ENE del basamento parecen haber sido reactivadas durante este evento, como la falla llamada La Ciénega, que ya no se encuentra muy expuesta, por el avance de la producción de la mina, pues yacen sub-paralelas a las principales fallas extensionales y pudieron influir en la tendencia total ENE del depósito Cerro Colorado.

En el Tajo Harris existen fallas con dirección casi E-W, que ponen en contacto a la riolita con el gneis, se observa una falla normal principal y una gran zona rojiza de oxidación que seguramente está relacionada a la mineralización de oro, pero se encuentra en contacto con la riolita menos alterada, lo que seguramente trajo menos mineralización económica.

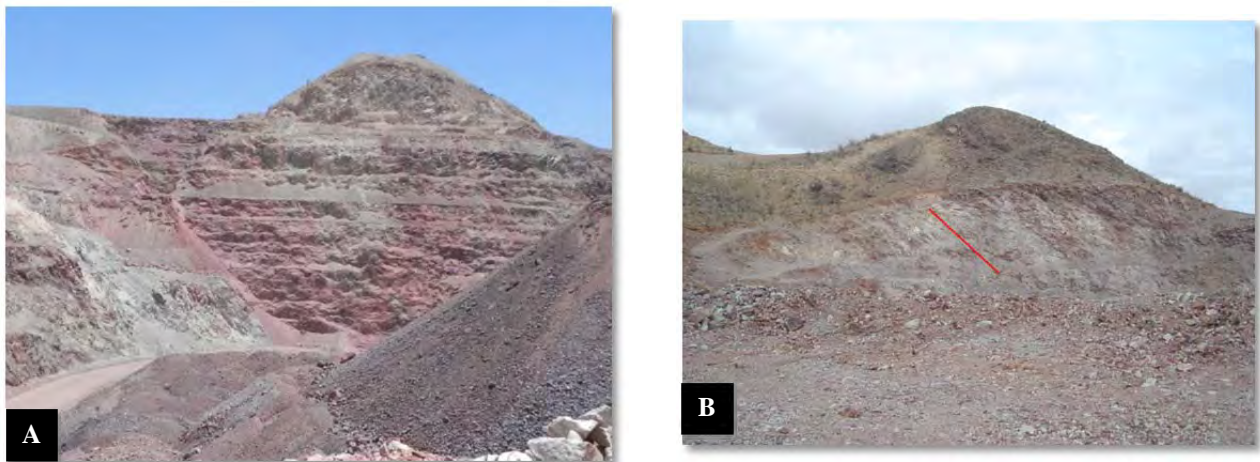


Figura 48. Fotografías de fallas, A) Falla en Tajo Harris y coloración roja de la oxidación, B) Tajo Obra X, mostrando la orientación de las fracturas NW.



Figura 49. Fotografías de fallas, A) falla en Tajo Abejas, B) falla en Tajo Harris, C) falla normal en Tajo en Brecha Central, en la estructura se observaba material arcilloso argilizado, contrario al resto de la roca, D) contacto por falla, con oxidación, entre Unidad Riolita y Unidad Dolomía, ubicada en Tajo Harris, viendo hacia el NW.

## VI.- MINERALIZACION DE CERRO COLORADO

### VI.1.- Mineralización de Cerro Colorado

La mineralización en Cerro Colorado está muy relacionada al control estructural que ejercen las fallas y múltiples fracturas entrecruzadas, tipo stockwork, que se encuentran en el área. En la riolita se encuentra pirita diseminada, incrementándose un poco en las cercanías a las fallas principales. La Unidad Riolita se caracteriza por mostrar una alteración silíceea de moderada a fuerte, y una argilización débil hidrotermal en las zonas de fisura y fracturas en la roca, acentuándose principalmente en las zonas de brecha.

Esta argilización se incrementa en las zonas de falla principales, donde se observan minerales arcillosos y sericita, lo cual se interpreta como zonas de permeabilidad secundaria favorables para la circulación de fluidos hidrotermales. Estas zonas son muy específicas y se encuentran asociadas a fuerte silicificación, marcándose principalmente en el Tajo “Harris”.

La mineralización primaria es relativamente simple y consiste de sulfuros en pocas proporciones, que acompañan a la alteración hidrotermal. El yacimiento fue oxidado por aguas descendentes hasta una profundidad de unos 100 m., que corresponde a un paleonivel freático. Tanto la mineralización primaria como la secundaria se incrementan en las zonas de brechas, fallas y fracturas. En la zona de oxidación abunda más la hematita y goethita debido a la oxidación de la pirita. El incremento de la mineralización está relacionado directamente con la presencia de las zonas de oxidación.



Figura 50. Oxidación y argilización de roca riolita, A)  
Roca riolita con argilización.



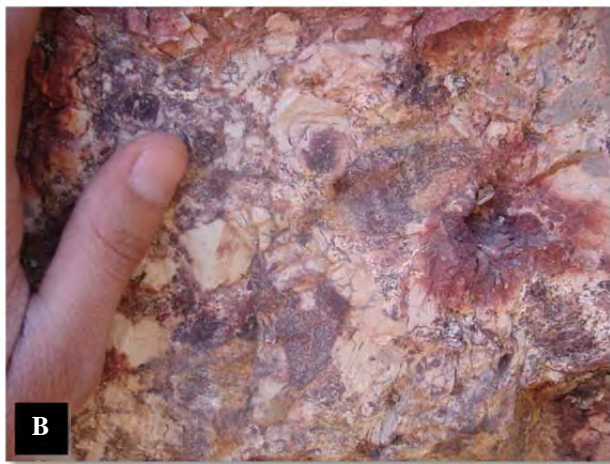
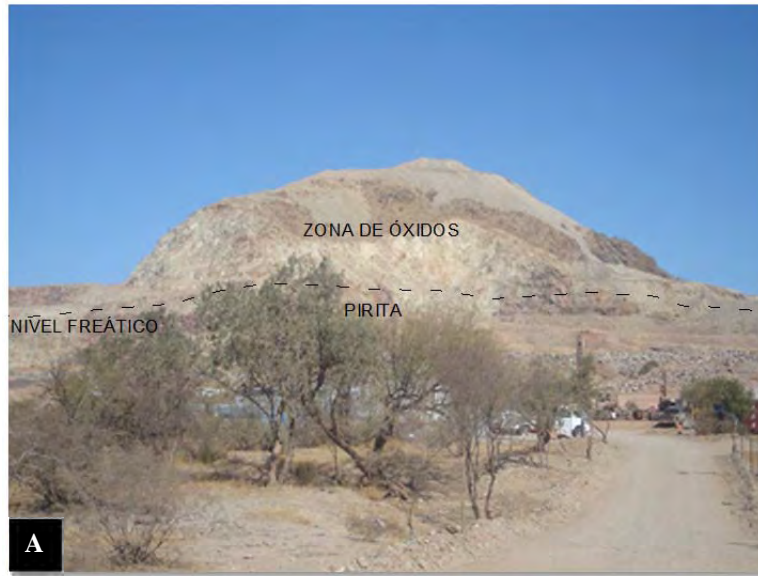


Figura 51. Oxidación y argilización de roca riolita, A) fotografía donde se muestra la zona de óxidos B) muestra representativa de Tajo Harris, que muestra oxidación, C) viendo una de las paredes del Tajo Harris, se aprecia el contacto entre la riolita y la zona de oxidación.

Existen a la fecha cinco cuerpos mineralizados: La Sorpresa, Harris, Abejas, ubicados en el suroeste de la Unidad Riolita; la Obra X ubicada en la porción oriental y la Brecha Central, que como su nombre lo indica, constituye el centro de la mina. La ubicación de estos tajos se muestra en el plano geológico. A continuación una breve descripción de los tajos en donde se trabajó:

### VI.1.1.- Tajo Harris

Es un área mineralizada brechada con fuerte oxidación. Se observan zonas con alteración argílica moderada, sobre todo en los bordes de dichas brechas. La riolita muestra textura fluidal no brechada. En el tajo predomina un fallamiento NW, E-W y NE. La mineralización es económica en zonas de brechamiento, según datos de la mina. Los minerales de oxidación consisten en hematita como mineral principal, mismo que está relacionada a los valores altos de oro. Este fue el primer tajo que se minó, y hasta hace poco continuaba en explotación. Se reportan leyes de hasta 15 g/t de oro.

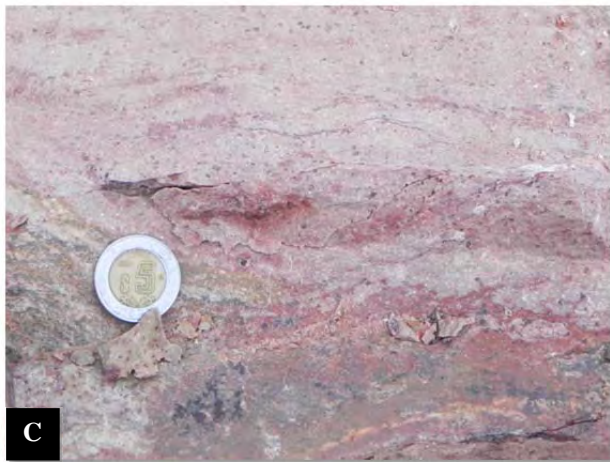


Figura 52. A) y B) fotografías de la pared del tajo mostrando la fuerte oxidación de la Unidad Riolita C) acercamiento mostrando oxidación de la roca riolita, D) muestra representativa fuertemente oxidada.



Figura 53. A) postsilicificación, B) alteración debido a hidrotermalismo en conglomerado en Tajo Harris, el conglomerado contiene clastos de esquisto y riolita principalmente.

#### VI.1.2.- Tajo Brecha Central:

En este cuerpo predomina la Unidad Riolita, sobre la cual se ha desarrollado un sistema de fallamiento N 65 E y N – S. Su alteración es silíceo moderada a fuerte y argílica moderada. La alteración argílica se encuentra en zonas de juntas y fallas presentes. En general tiene un aspecto similar a la composición de la brecha de Harris. Como mineralización se cuenta con hematita, *boxworks* procedentes de pirita, pirita y trazas de calcopirita. Se reportan leyes de un promedio de 1.5 g/t de oro.



Figura 54. Riolita en Tajo Brecha Central, A) Sulfuros relleno los huecos en la riolita, B) postsilicificación en brecha central

### VI.1.3.- Tajo Obra X

Este tajo se encuentra en contacto de la riolita con el esquisto – gneis según una falla principal de dirección NW60. La mineralización es en la misma Unidad de Riolita. Abundan las fracturas con dirección N 60° W. Se tiene débil diseminación de pirita, pero las concentraciones de oro se dan básicamente en fracturas asociadas a la hematización moderada. Se tiene además zonas brechoides y con *stockwork* de vetillas de cuarzo. Presenta silicificación moderada a fuerte y débil presencia de sericita. Como mineralización se tiene hematita, cuarzo y pirita moderadamente diseminada.

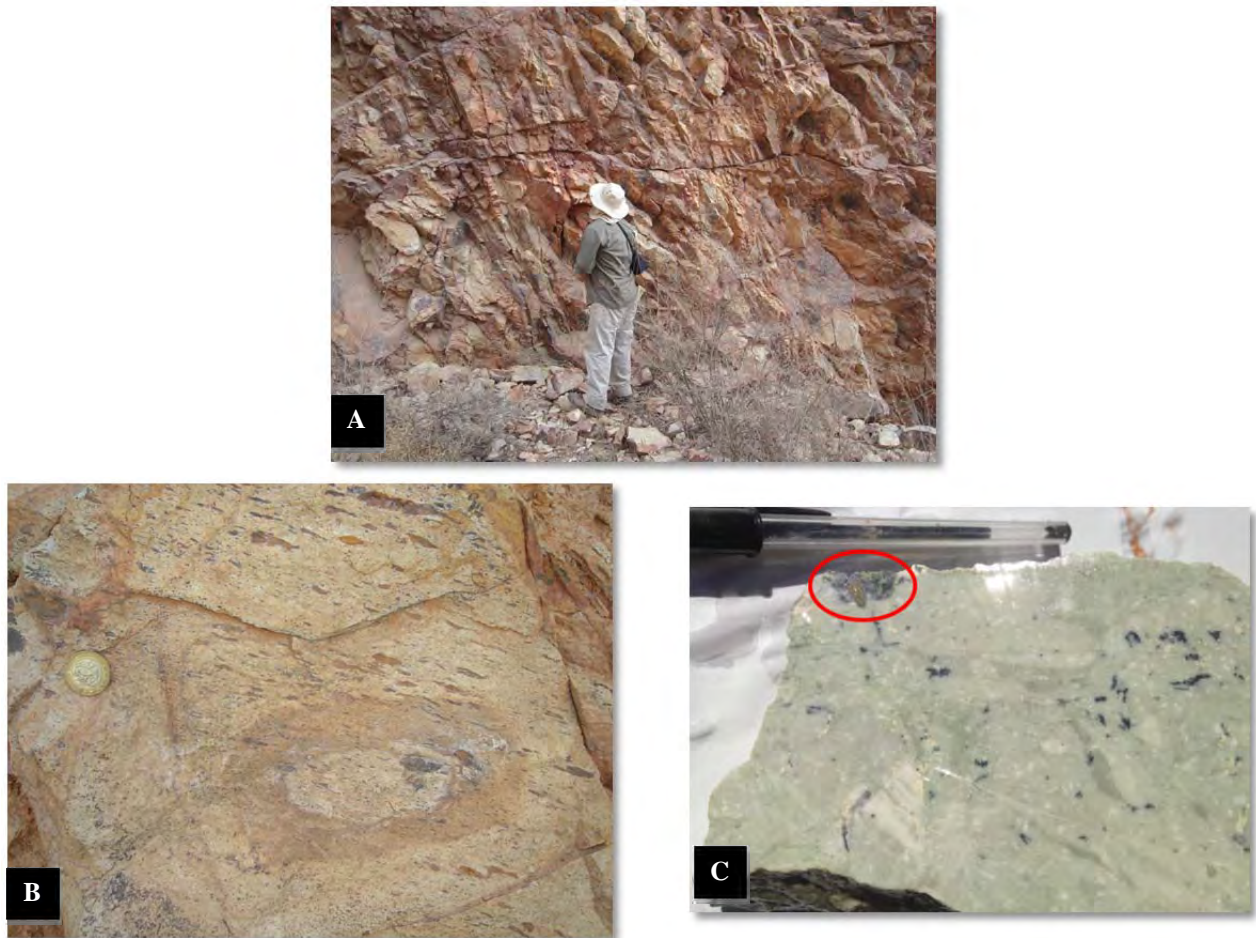


Figura 55. Riolita en Tajo Obra X, A) zona de oxidación en obra cerca del Tajo Obra X, B) Anillos de alteración, rumbo SW40 con partículas que tienen el mismo rumbo, debido al flujo, los anillos de alteración afectan la riolita y muestran oxidación, se observa con características de una ignimbrita con textura piroclástica en *fiammes*, C) roca riolita con sulfuros.

#### VI.1.4.- Tajo Abejas

Este tajo se encuentra también dentro de la Unidad Riolita, la pared del tajo está casi en contacto con el esquisto – gneis, con orientación a rumbo del contacto, pero la parte minada se encuentra en el mismo esquisto - gneis, lo que indica los fluidos mineralizantes también se introdujeron dentro del esquisto. La mineralización tiene la forma de una estructura tabular con una orientación N. También se aprecia una estructura de orientación N55E con una leve inclinación de 80° hacia el NW. La alteración corresponde a una fuerte silicificación y alteración argílica moderada. Existen zonas de oxidación moderada a débil sobre las fracturas, donde también se observa la presencia de minerales de pirita y calcopirita diseminados.

#### VI.1.5.- Tajo La Sorpresa

Este tajo fue minado y posteriormente cubierto por terreros. Por lo que se puede observar se desarrolló en la zona de riolita en contacto con los sedimentos que forman la dolomía. Se trata de una brecha riolítica que se encuentra cerca del Tajo Harris, y por el lado W, en contacto con la Unidad Dolomia.

La mineralización de oro se encuentra principalmente hospedada en la riolita. Como guía: en sulfuros primarios se tiene al mineral pirita asociado al oro, y también al oro se asocia la hematita en las zonas de oxidación.

### VI.2.- Mineralogía

Se prepararon secciones pulidas para reconocer la mineralogía metálica más importante en el yacimiento. Las secciones fueron estudiadas al microscopio mineragráfico. A continuación se dan las observaciones más importantes.

Se advierte la presencia de esfalerita con inclusiones de pirita y calcopirita principalmente, además de trazas de arsenopirita. Es común que la pirita y arsenopirita se encuentran de formas euhedrales, en cristales rómbicos para la arsenopirita y la pirita en cristales muy pequeños. La calcopirita además se observa como inclusiones, siguiendo los cruceros de la esfalerita. Eventualmente la esfalerita presenta trazas de alteración a covelita. La galena se encuentra en los intersticios de las vetillas y como placas aisladas. La ganga es principalmente de cuarzo y carbonato, éste último se reconoce por la presencia de maclado polisintético. Los minerales metálicos se introducen tardíamente en la ganga no metálica.

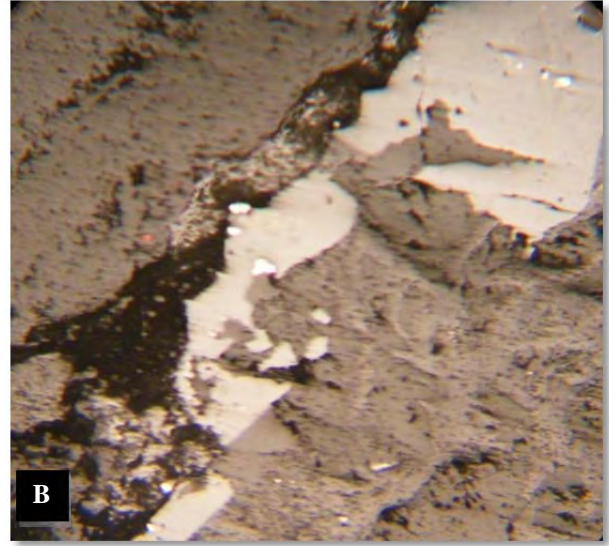
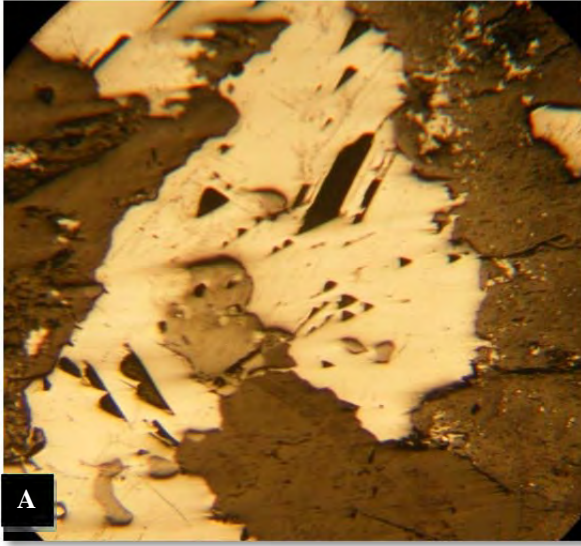


Figura 56. A) Esfalerita intercrecida con galena e introducidos en ganga B) Mineral ganga tardío introduciéndose en la esfalerita.

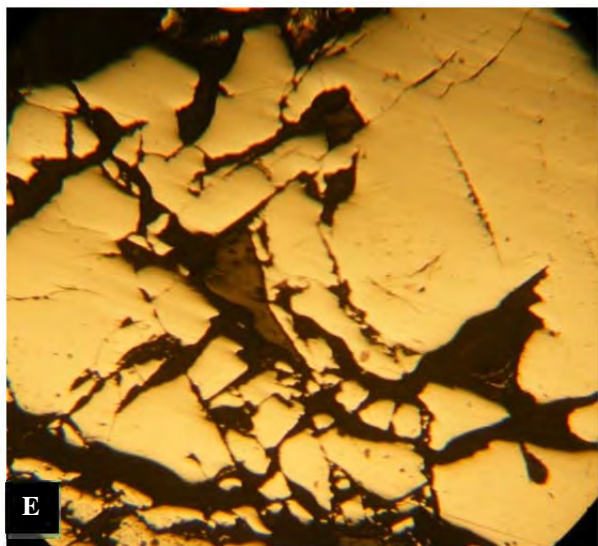
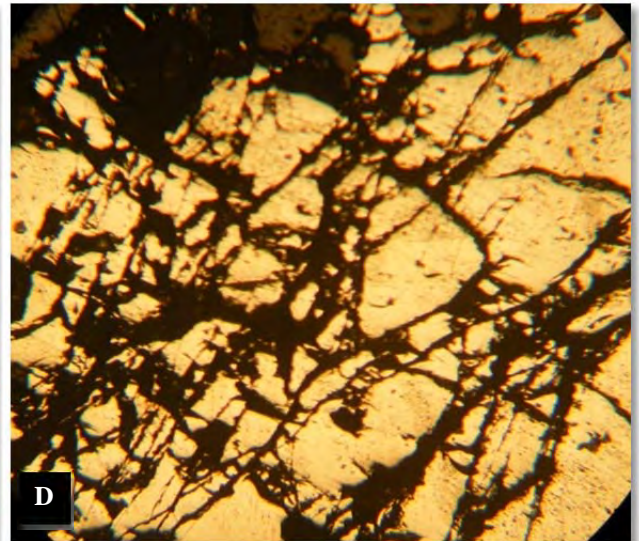
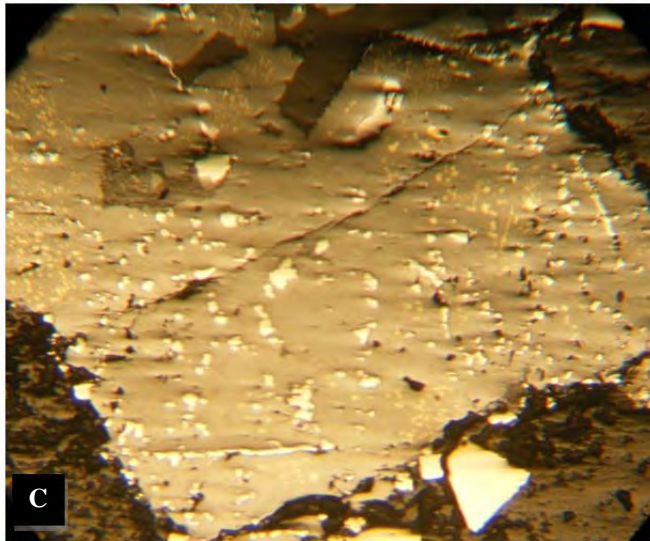
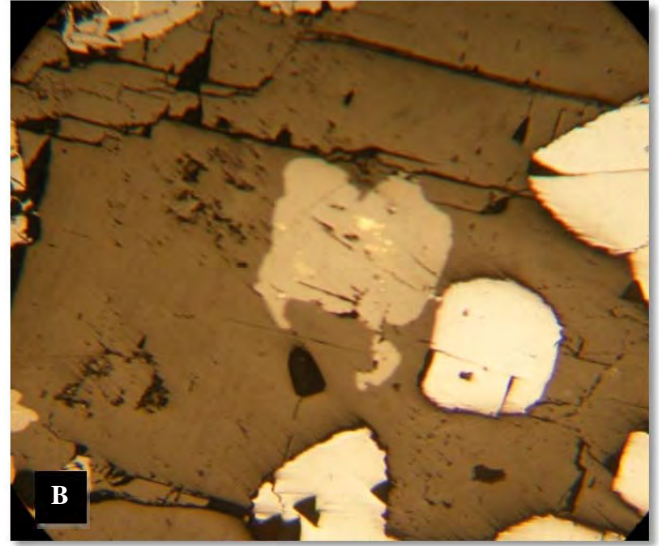
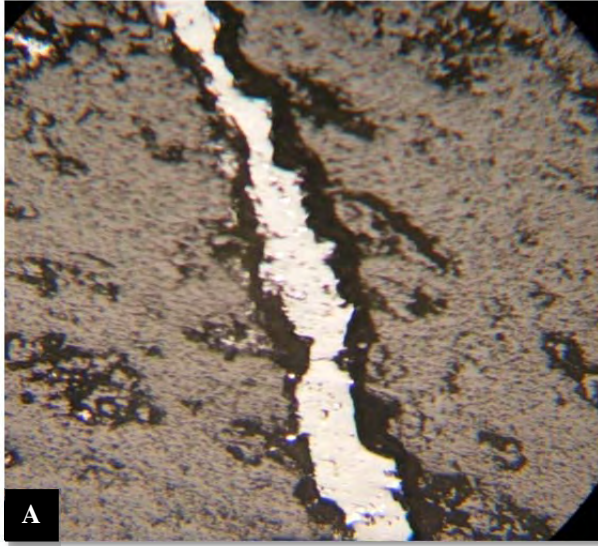


Figura 57. A) Vetilla de galena, B) Esfalerita con inclusiones de calcopirita y cristales de galena y pirita C) Esfalerita con inclusiones de pirita y calcopirita, D y E) pirita eudral muy fracturada.

Una secuencia paragenética de los minerales puede ser:

- 1- Cuarzo y carbonato
- 2- Pirita + arsenopirita
- 3- Esfalerita
- 4- Galena
- 5- Pirita tardía

En relación a los valores de oro no fue posible observar la manera de presentación del mineral debido a los bajos contenidos de oro en las muestras seleccionadas (menos de 1 g/t Au). Por otra parte, la mineralización económica en la mina se restringe a la zona de oxidación por lo que no es fácil deducir a qué tipo de sulfuro se relaciona el oro. En otros yacimientos de la región como La Herradura, Tajitos, La Choya y San Francisco, se ha reportado la presencia de oro libre de tamaño muy variado relacionado a pirita o incluido en pirita y esfalerita y, en ocasiones, como oro en forma de telururos.

### VI.3.- Otras mineralizaciones en la región

En la región cercana próxima a Cerro Colorado existen, además, al menos otras cinco zonas mineralizadas:

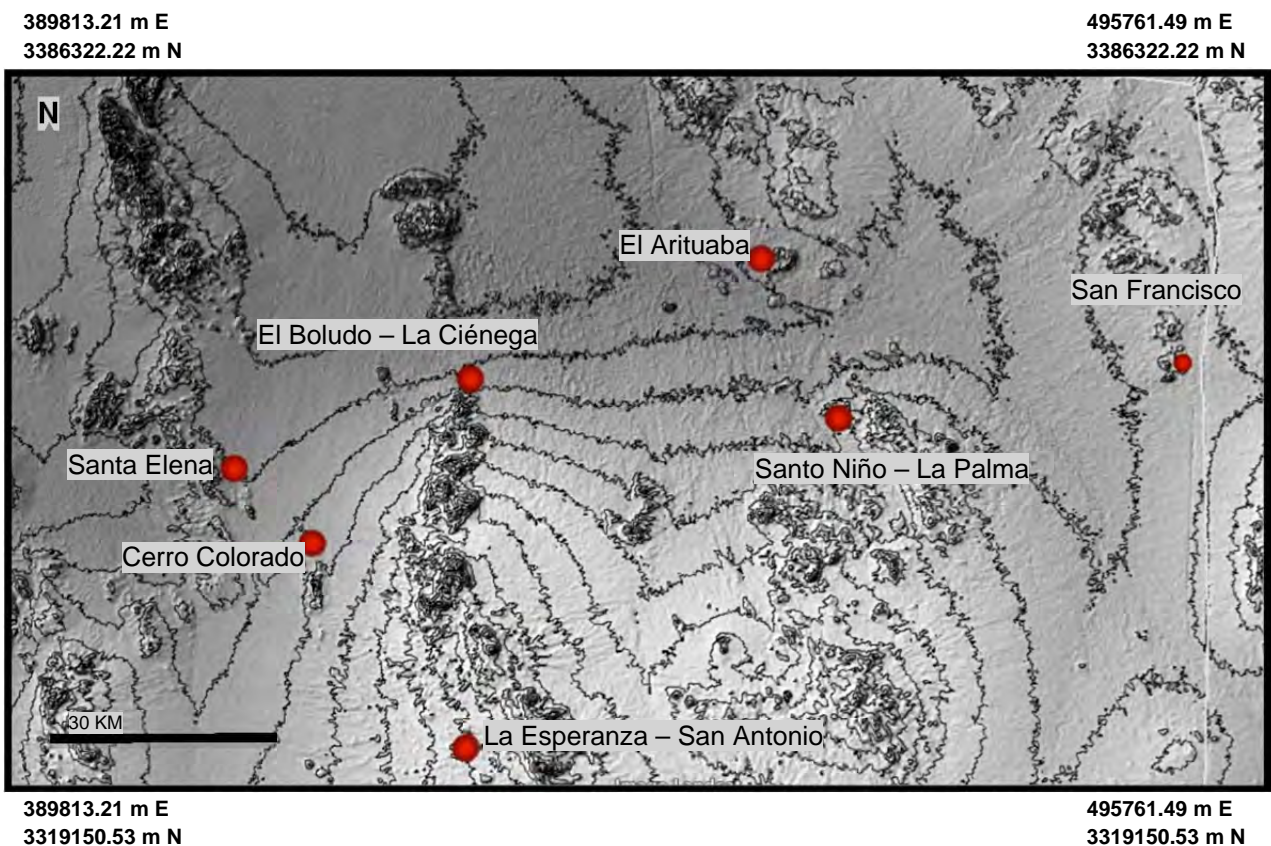


Figura 58. Ubicación de zonas mineralizadas cercanas a Cerro Colorado. (Peña et al 2002)



En el área de El Boludo – La Ciénega, localizada aproximadamente 14 km hacia el NE de Cerro Colorado, existe un gran número de minas y prospectos de oro de placer en gravas, arenas y conglomerados consolidados. Se tienen recursos estimados por 5 millones de metros cúbicos con ley de Au de 0.3 g/t. (Peña et al 2002); aunque en la misma área se estima que se han explotado a través de la historia más de 5 toneladas de oro (Pérez-Segura, comunicación oral)

La zona mineralizada Santo Niño – La Fátima, se encuentra localizada aproximadamente a 42 km al ENE de Cerro Colorado, presenta mineralización en vetas con Au y Ag, encajonadas en rocas proterozoicas y cretácicas – terciarias e incluye valores de Cu. Las minas más importantes son: El Águila de Oro, con valores de 2.5 g/t de Au, 153 g/t de Ag y 1.01 % de Cu y Fátima con 0.1 g/t de Au, 185 g/t de Ag y 1.02% de Cu. (Peña et al 2002).

La zona mineralizada La Esperanza – San Antonio, se localiza a 19 km hacia el SE de Cerro Colorado, con mineralización en vetas portadoras de Au y Ag alojada en rocas jurásicas con valores de Pb y Zn. Destaca la mina El Colorado con leyes de 1.2 g/t de Au, 119 g/t de Ag, 9.68% de Pb y 5.99% de Zn. (Peña et al 2002).

La zona mineralizada Santa Elena, se localiza a 9 km hacia el NW de Cerro Colorado. Contiene mineralización en vetas y está encajonada en rocas proterozoicas. Presenta valores de Ag y Au, asociados a metales base de Pb y Zn. La más importante es la mina Santa Elena II con 545 g/t de Ag, 0.5 g/t de Au, 1.28 % de Pb y 2.27% de Zn. (Peña et al 2002).

La zona mineralizada El Arituaba, localizada a 47 km hacia el NE de Cerro Colorado. Contiene vetas de Au y Ag asociadas con Pb y encajonadas en rocas paleozoicas y jurásicas. Destaca la mina La Colorada (El Papalote), con valores de 7.6 g/t de Au, 452 g/t de Ag y 4.0 % de Pb. (Peña et al 2002).

## VII.- DISCUSION Y CONCLUSIONES

### VII.1.- Discusión

El yacimiento de Cerro Colorado se distingue por presentar al menos 3 características importantes:

1. Se localiza dentro de un cinturón de yacimientos de oro que han sido definidos como de oro orogénico (Pérez- Segura et al., 1993 y 1996, Iriondo, 2001, Ochoa-Landín et al, 2011).
2. La asociación espacial del yacimiento se relaciona a una riolita volcánica a subvolcánica fechada en cerca de 90 Ma que intrusióna rocas metamórficas y sedimentarias del proterozoico y neoproterozoico.
3. Por las rocas asociadas y algunas otras características del depósito, otros autores lo correlacionan con un depósito epitermal (Camprubi, 2003, 2006).

Aun cuando en Sonora se han reconocido abundantes rocas volcánicas calcoalcalinas (andesitas y riolitas) de edad laramídica, en lo que se ha dado en llamar Formación Tarahumara en Sonora central o Formación Mesa en Cananea, en la región de Caborca rocas de edad similar han sido sólo escasamente descritas.

De acuerdo con lo anterior, en la Sierra Santa Rosa, 10 km al este de Cerro Colorado se ha descrito la Formación Cerro San Luis, consistente en andesitas, aglomerados y tobas de lapilli, del Jurásico inferior (Hardy, 1981); así como pórfidos riolíticos blancos del ¿Cretácico?. Otras localidades donde se han descrito rocas vulcano - sedimentarias y volcánicas de esta misma edad, son Tajitos (Pérez-Segura, 1993; Noriega-Martinez, 2006) en la Sierra La Gloria y en el Cerro Basura (Corona, 1980). Sin embargo Jacques Ayala (comunicación personal) reporta que formaciones volcánicas asignadas al Jurásico podrían corresponder en realidad a rocas del Cretácico, probablemente equivalentes al complejo volcánico El Charro del Grupo El Chanate, que ha sido descrito por el mismo autor. En Tajitos, rocas andesíticas y un pórfido cuarcítico riolítico son intrusionadas por una pegmatita diorítica fechada por K-Ar en anfíboles en 144 Ma (Pérez-Segura, 1993) en contraposición con la hipótesis de Jacques-Ayala sobre la ausencia de rocas volcánicas o volcanosedimentarias jurásicas.

Las rocas encajonantes más jóvenes en los yacimientos de oro orogénico en la región corresponden a las rocas de la mina el Chanate. Este depósito se aloja en el Grupo El Chanate del Cretácico superior, a 50 km al norte de Cerro Colorado. La Formación Anita del Grupo El Chanate (Cretácico tardío) consiste en brechas andesíticas, lavas, conglomerados y areniscas sería lo más parecido a una serie con rocas volcánicas, pero cuya similitud está lejos de la riolita de Cerro Colorado, más parecida a lo que Jacques (1993) describe como Complejo Volcánico El Charro.

Por otra parte, la edad de las mineralizaciones de oro orogénico se sitúan entre 65-48 Ma (Iriondo, 2001), interpretadas como edades de enfriamiento de  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  sobre muscovitas, formadas durante una etapa de deformación-metamorfismo relacionada al evento tectónico larámide, estimado en la región entre 75-39 Ma (Iriondo, 2001).

El caso específico de Cerro Colorado la mineralización económica se encuentra en la riolita, zonas de brecha o stockwork, y está controlada por fallas y fracturas locales. A pesar del fallamiento no se ha observado deformación dúctil-frágil como en otros yacimientos de la región como San Francisco, Tajitos o La Herradura. La mineralización parece ligada en tiempo y espacio a las rocas riolíticas, cuya edad indicaría una edad máxima para la mineralización, muy lejana a las edades para los yacimientos de oro orogénico del cinturón referido. Por lo que se parecería más bien a un depósito epitermal, aunque las características de alteración hidrotermal y mineralización no permitirían definirlo como de alta o baja sulfuración. Si este fuera el caso, la edad de la mineralización sería muy cercana a la edad de la roca (90 Ma), con lo que se trataría del depósito epitermal más antiguo de México, ya que estos yacimientos son más jóvenes que 40 Ma (Camprubí, 2006).

## VII.2.- Conclusiones

- Los depósitos de oro orogénico del cinturón del Desierto de Sonora se encuentran alojados en cualquier tipo de roca de edad pre-laramídica, pero la edad de la mineralización se considera laramídica.
- El oro probablemente sufrió un enriquecimiento en la zona oxidada, debido a la destrucción de los sulfuros asociados; aunque no se conocen claramente las leyes en zona de sulfuros primarios debido a la falta de datos directos.
- El factor principal de ayuda en los procesos supergénicos para el enriquecimiento del oro fue el intenso fracturamiento que existe en la roca huésped y en las zonas de contacto con las rocas encajonantes.
- La familia de fallas con orientación NE ~70 e inclinación hacia el NW y SE, no presentan hematita de origen secundario ni sulfuros originales, lo cual las descarta como estructuras portadoras de oro.
- La mineralización económica ocurre diseminada en bajo grado asociada a la pirita en la Unidad de Riolita, debido a la oxidación y enriquecimiento supergénico. El evento supergénico pudo ser controlado por las fallas extensionales post-orogénicas que ocurrieron en la región.
- La Unidad de Riolita es la roca principal que hospeda la mineralización en Cerro Colorado. La unidad fue fechada en 90 Ma lo cual corresponde al Cretácico tardío – Cenomaniano y precede al período de la Orogenia Larámide, por lo que debió haber sido afectada por esta orogenia, aunque a escala del yacimiento no se aprecian huellas de deformación, por lo cual la edad de la mineralización parecería correlacionarse más con la edad de la riolita.
- Es posible que los lineamientos de fallas normales con tendencia NNW y la reactivación de las fallas normales con orientación WNW a ENE controlaron el descenso de los fluidos oxidados que permitieron el enriquecimiento supergénico de mineralización, sobre todo en sus intersecciones, como la intersección de las fallas E-W y NNW en la esquina SE del Tajo Harris. También se observan estas estructuras en los Tajos Harris y Abejas.

- Las principales estructuras observadas son fallas con orientación NW, lo que puede indicar un esfuerzo compresivo en dirección NE - SW.
- La edad de la roca riolita es de edad de 90 - 99 Ma por lo tanto la mineralización no puede ser más antigua a esta edad.
- Los principales tipos de alteraciones observados son: una alteración arcillosa, que además incluye epidota y clorita en zonas de mayor fracturamiento dentro de la Unidad Esquisto – Gneis. Silicificación masiva (con más o menos cloritización) y alteraciones locales de sericita en la Unidad Riolita, así como argilización débil hidrotermal en las zonas de fractura, acentuándose principalmente en las zonas de brecha, además de silicificación masiva en toda la unidad.
- A escala de microscopio se ha observado una secuencia paragenética de los minerales en zona de sulfuros como sigue: 1) Cuarzo y carbonato; 2) Pirita + arsenopirita; 3) Esfalerita; 4) Galena; 5) Pirita tardía
- En la zona de contacto de la riolita con la Unidad Dolomía, se observa la riolita como brecha volcánica con hidrotermalismo, esta roca contiene pedazos de roca de diferente origen, la mayor parte de los fragmentos son de apariencia volcánica. Puede tratarse de una autobrecha o de una brecha de intrusión.
- En síntesis, en el estado actual de conocimiento no es posible por pronunciarse por un yacimiento de tipo oro orogénico o de tipo epitermal para el yacimiento.
- Se recomienda, para ampliar el conocimiento de este yacimiento, realizar estudios de inclusiones fluidas e isótopos estables, para definir claramente el tipo de depósito
- También se recomienda estudios minerográficos detallados para demostrar fielmente la manera de presentación del oro en el yacimiento.

## VIII.- REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Anderson, T.H., y Silver, L.T., 1977, U-Pb isotope ages of granitic plutons near Cananea, Sonora: *Economic Geology*, v. 72, p. 827–836.
- Anderson, T. H., Eells, J. H. & Silver L. T., 1978, Rocas precámbricas y paleozoicas de la región de Caborca, Sonora, México: Roldán-Quintana, J. y Salas G. A., eds., *Libreto Guía. Primer Simposio sobre la Geología y Potencial Minero en el Estado de Sonora*. Hermosillo, UNAM, Inst. Geol., p. 5-34.
- Anderson, T.H., y Silver, L.T., 1978, The nature and extent of Precambrian rocks in Sonora, Mexico, in Roldán-Quintana, Jaime, y Salas, G.A., eds., *Resúmenes, Primer Simposio sobre la Geología y Potencial Minero en el Estado de Sonora: Hermosillo, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología*, p. 9–10 (resumen).
- Anderson, T. H. and L. T. Silver, The role of the Mojave – Sonora megashear in the tectonic evolution of northern Sonora, in *Geology of Northern Sonora: Field Trip Guidebook for the 1979 annual meeting in San Diego*, edited by T. H. Anderson and J. Roldan-Quintana, pp. 59-68, Geological Society of America, Boulder, Colo., 1979
- Arvizu-Gutiérrez, H.E., 2008, El basamento paleoproterozoico Yavapai-Mazatzal en los alrededores de la Sierra Pinta, NW Sonora—su importancia para el entendimiento del magmatismo pérmico y el inicio del margen continental activo de Norte América: Linares, Universidad Autónoma de Nuevo León, tesis de licenciatura, 181 p. (inédita).
- Arvizu, H.E.; Iriondo, Alexander; Izaguirre, Aldo; Chávez-Cabello, Gabriel; Kamenov, G.D.; Foster, D.A.; Lozano-Santa Cruz, Rufino; y Solís-Pichardo, Gabriela, 2009, Gneises bandeados paleoproterozoicos (~1.76–1.73 Ga) de la Zona Canteras-Puerto Peñasco—una nueva ocurrencia de rocas de basamento tipo Yavapai en el NW de Sonora, México: *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, v. 61, núm. 3, p. 375–402.
- Cambrubí, Antoni, 2003, Depósitos Epitermales de alta y baja sulfuración: una tabla comparativa. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, Tomo LVI, Núm. 1, 2003, P. 10-18
- Cambrubí, Antoni, 2006. Depósitos epitermales en México: actualización de su conocimiento y reclasificación empírica. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. Volumen conmemorativo del centenario: revisión de algunas tipologías de depósitos minerales de México. Tomo IVIII, núm. 4, p. 27-81
- Clark, K, F, 1998, Gold deposits of northern Sonora México; *Soc, Econ, Geol. Guidebook*, v, 30, 252 p.

- Connelly, J.N. 2000, Degree of preservation of igneous zonation in zircon as a signpost for concordancy in U – Pb geochronology. *Chem. Geol.* 172. p. 25-39.
- CRM (Consejo de Recursos Minerales) 1994 – Geological-Mining Monograph of the State of Sonora. Secretaría de Energía, Minas e Industria para-Estatal. Subsecretaría de Minas, 220pp.
- Cooper, G.A., y Arellano, A.R.V., 1946, Stratigraphy near Caborca, northwest Sonora, Mexico: *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 30, p. 606–611.
- Corfu, F., Hanchar, J.M., Hoskin, P.W.O. & Kinny, P. 2003. Atlas of zircon textures. In: Hanchar, J.M. & Hoskin, P.W.O. (eds) *Zircon. Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, Mineralogical Society of America, 53, p. 468– 500.
- Corona, F. V., 1980, Reconnaissance geology of Sierra La Gloria and Cerro Basura, northwestern Sonora, México: Unpublished M.S. Thesis, University of Pittsburgh, Pittsburg, Pennsylvania, 232 p.
- Damon, P. E., Shafiqullah, M., Roldán-Quintana, J. & Cochemé, J. J., 1983, El Batolito Laramide (90-40 Ma) de Sonora: Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México (AIMMGM), Convención Nacional XV, Guadalajara, Jal., 63-95.
- Eells, J. L., 1972, Geology of the Sierra de La Berruga, north-western Sonora, Mexico: San Diego, California State University, M. S. thesis, 77 p.
- Enríquez-Castillo, M.A., 2008, Termocronología U-Pb y  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  de intrusivos de la Sierra Blanca, NW Sonora: Ejemplo de interacción termal entre magmas graníticos laramídicos y las rocas encajonantes del basamento metaígneo mesoproterozoico: Linares, Nuevo León, Universidad Autónoma de Nuevo León, tesis de licenciatura, 74 p. (inérita).
- Farmer, G.L.; Bowring, S.A.; Matzel, J.; Espinosa-Maldonado, G.; Fedo, C.; y Wooden, J., 2005, Paleoproterozoic Mojave province in northwestern Mexico? Isotopic and U-Pb zircon geochronologic studies of Precambrian and Cambrian crystalline and sedimentary rocks, Caborca, Sonora, in Anderson, T.H.; Nourse, J.A.; McKee, J.W.; y Steiner, M.B., eds., *The Mojave-Sonora megashear hypothesis—development, assessment, and alternatives: Geological Society of America Special Paper 393*, p. 183–198.

- González-León, C.M., 1980, La Formación Antimonio (Triásico Superior-Jurásico Inferior) en la Sierra del Alamo, Estado de Sonora: Revista Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, 4, 13-18.
- González-León, C.M., Lawton, T.F., 1995, Stratigraphy, depositional environments and origin of the Cabullona basin, northwestern Sonora, en: Jacques-Ayala C., González-león, CM., Roldán-Quintana, J., (eds.): Studies on the Mesozoic of Sonora and adjacent areas, Geological Society of America Special Paper, 301, 121-143.
- González-León, C.M., Lucas, S.G., 1995, Stratigraphy and paleontology of the early Cretaceous Cerro de Oro Formation, central Sonora en Jacques-Ayala, C., González-León, C.M., Roldán-Quintana, J. (eds.), Studies on the Mesozoic of Sonora and Adjacent Areas: Geological Society of America Special Paper, 301, 41-47.
- Gutiérrez-Coronado, A.; Iriondo, Alexander; Rodríguez-Castañeda, J.L.; Wooden, J.L.; Budahn, J.R.; Lozano-Santa Cruz, Rufino; y Hernández-Treviño, T., 2008, Paleoproterozoic gneisses of the San Luisito Hills in NW Sonora—extending the Mexican Yavapai province of SW Laurentia: Joint Annual Meeting, Geological Society of America Abstracts with Programs, v. 40, núm. 6, p. 144 (resumen).
- Hanchar JM and Hoskin PWO, 2003. Zircon. Reviews in Mineralogy and Geochemistry, vol. 153. Washington, DC: The Mineralogical Society of America.
- Hardy, L.R., 1981, Geology of the central Sierra de Santa Rosa, Sonora, Mexico, in Ortlieb, Luc, y Roldán-Quintana, Jaime, eds., Geology of northwestern Mexico and southern Arizona: Geological Society of America Cordilleran Section Annual Meeting, Field Guides and Papers, p. 73-98.
- Iriondo, A., 2001, Proterozoic basements and their laramide juxtaposition in NW Sonora, Mexico: Tectonic constraints on the SW margin of Laurentia: Ph.D. Thesis, University of Colorado at Boulder, USA, 222 p.
- Iriondo, Alexander; Miggins, D.; y Premo, W.R., 2003, The Aibótype (~1.1 Ga) granitic magmatism in NW Sonora, Mexico—failed continental rifting of Rodinia?: Geological Society of America Abstracts with Programs, v. 35, núm. 4, p.84 (resumen).
- Iriondo, Alexander; Premo, W.R.; Martínez-Torres, L.M.; Budahn, J.R.; Atkinson, W.W., Jr.; Siems, D.F.; y Guarás-González, B., 2004, Isotopic, geochemical and temporal characterization of Precambrian basement rocks in the Quitovac region, northwestern Sonora, Mexico—its implications for the tectonic reconstruction of southwestern North America: Geological Society of America Bulletin, v. 116, núms. 1 y 2, p. 154-170.



- Iriondo, Alexander, y Premo, W.R., 2010, Las rocas cristalinas proterozoicas de Sonora y su importancia para la reconstrucción del margen continental SW de Laurentia—la pieza mexicana del rompecabezas de Rodinia, in Calmus, Thierry, ed., Panorama sobre la geología de Sonora, México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 118, cap. 2, p. 25–55, 10 figs., 2 tablas.
- Izaguirre-Pompa, A., Iriondo, A., 2007, Mesoproterozoic (~1.2 Ga) quartzite and intruding anorthosite (~1.08 Ga) from Sierra Prieta, NW Sonora: Mexican additions to the Precambrian history of SW Laurentia: Ores and Orogenesis, Program with Abstracts, Arizona Geological Society Ores and Orogenesis Symposium, Tucson, Arizona, September 24-30, 147 p.
- Jacques-Ayala, C., 1993, The Lower Cretaceous Bisbee Group in the surroundings of Santa Ana, northern Sonora, México: Geology and mineral resources of northern Sierra Madre Occidental, México, Hermosillo, Sonora, México, p.349-357; 1993.
- Longoria, J. F., 1980, Estudios y trabajos geológicos en las áreas del Estado de Sonora, donde afloran las rocas del Precámbrico (Geologic studies and work in áreas of Sonora, México, where Precambrian rocks crop out: Universidad de Sonora, Departamento de Geología.
- Longoria, J. F. & González, M. A., 1981, Descripción de las localidades a ser visitadas durante la excursión de campo de la GSA no. 4. En Longoria, J., Regional geology of northwest Sonora: Geological Society of America, Cordilleran Section, Annual Meeting, Hermosillo, Sonora, Mexico, 49-64.
- Mattinson, James M., 1995 Zircon U–Pb chemical abrasion (bCA-TIMS) method: Combined annealing and multi-step partial dissolution analysis for improved precision and accuracy of zircon ages. *Chemical Geology* 220 (2005) 47 – 66
- McPhee, John. Basin and Range. New York: Noonday Press, 1990.
- Moser D.E. and Scott D.J. (2001) Towards a more accurate U-Pb geochronology. *Chemical Geology*, 172 1-3.
- Noriega-Martínez, O., 2006, Evidencias de dos etapas de mineralización de oro mesotermal en las áreas de Tajitos, Juárez-San Francisco, en la región de Caborca, Sonora México: Hermosillo, Sonora, Departamento de Geología, Universidad de Sonora, tesis de maestría, 85 p

- Ochoa – Landín, Lucas, 2011, Depósitos minerales de Sonora México, ed, panorama de la geología de Sonora, México: Universidad Nacional Autónoma de México, instituto de Geología, Boletín 118, cap 9, p. 299 – 331.
- Peña Leal J. L.; Contreras Orantes V; García Duarte R.; 2002, Servicio Geológico Mexicano, Carta Geológico Minera, Trincheras 12R-b (10)
- Pérez – Segura, Efrén, 1992, The Au-Te mineralogy of San Francisco deposit, Sonora, México, in Clark, K.F.; Roldán – Quintana, Jaime; y Schmidt, R., eds., Geology and mineral resources of northern Sierra Madre Occidental, México; El Paso Geological Society, Field Conference Guidebook, núm 24. 223 – 230.
- Pérez – Segura, Efrén, 1993. Los Yacimientos de oro y plata de Sonora, México y sus relaciones con la geología regional, in Delgado – Argote, Luis, y Martín – Barajas, Arturo, eds., Contribuciones a la tectónica del Occidente de México: Unión Geofísica Mexicana.
- Pérez – Segura, Efrén, 1996. Geología, mineralización, alteración hidrotermal y edad del yacimiento de oro de San Francisco, Sonora – un depósito mesotermal en el noroeste de México. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. Vol 13, núm 1. P. 65 – 89. Universidad Nacional Autónoma de México. D.F.
- Premo, W. R. Iriondo, A., and Norse. J.A., 2003, U-Pb zircon geochronology of Paleoproterozoic basement in Northwestern Sonora, México: Evidence for affinity to the SW U.S. provinces: Geological Society of America Abstracts with Programs, v. 35, no 4, p. 67.
- Servicio Geológico Mexicano, Carta Geológico – Minera, Trincheras 12R-b((10), Sonora.
- Solari, L.A., Torres de León, R., Hernández–Pineda, G.A., Solé, J., Hernández–Treviño, T., Solís–Pichardo, G., 2007, Tectonic significance of Cretaceous–Tertiary magmatic and structural evolution of the northern margin of the Xolapa Complex, Tierra Colorada area, southern Mexico: Geological Society of America Bulletin, 119(9/10), 1265–1279
- Soto-Verdugo, L.C., 2006, El zócalo ígneo-metamórfico Sierrita Prieta, Sonora Norte Central, México: Características petrográficas, geoquímicas y geocronológicas: Tesis de Licenciatura, Universidad de Sonora, Hermosillo, México.
- Sour-Tovar, F., Hagadorn, J. W. & Huitrón-Rubio, T., 2007, Ediacaran and cambrian index fossils from Sonora, Mexico., Paleontology, vol 50, Part 1, 169-175.
- Stewart, J. H., McMenamin, A. S. & Morales-Ramirez, J. M., 1984, Upper Proterozoic and Cambrian Rocks in the Caborca Region, Sonora, Mexico. Physical Stratigraphy,

Biostratigraphy, Paleocurrents Studies and Regional Relations., U. S. Geological Survey Professional Paper 1390.

Till C., Gans, P. y Spera, F., 2006 – Implications for the transition from Oligo-Miocene subduction to late Miocene transtension in Southern Sonora, Mexico from igneous geochemistry, en Backbone of Americas-Patagonia to Alaska, Mendoza, Argentina: USA, The geological society of America, 2, 51 pp.

Valencia-Moreno, M., Ruiz, J., Barton, M. D., Patchett, P. J., Zürcher, 378 Ferrari et al. L., Hodkinson, D., 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, 1409-1422

Wilde, S. A., J. W. Valley, W. H. Peck and C. M. Graham, Evidence from detrital zircons for the existence of continental crust and oceans on the Earth 4.4 Gyr ago, Nature, 409: 175-178, 2001.

## ANEXOS

La geocronología U (Th)-Pb en circones se basa en la desintegración radiactiva de U y Th al elemento hijo Pb, este método ha sido empleado para datar los minerales más antiguos de la Tierra (Wilde et al. 2001); así como rocas de menos de 1 Ma. Varios minerales accesorios que se encuentran en las rocas son adecuados para la datación por el método U (Th) – Pb, como el circón (Mattinson 2005), que es el mineral más comúnmente usado en este método, debido a su alta temperatura de cierre para U y su muy baja partición para Pb. El circón es muy resistente a la meteorización mecánica y química, y por ello es utilizado para descifrar muchos otros eventos geológicos posteriores a la cristalización (Hancher and Hoskin 2003, Moser and Scott 2001).

Los circones y otros concentrados de mineral son separados de la roca huésped mediante técnicas de trituración, la concentración de humedad con una tabla Wifley, se separan los circones con magnetismo Frantz (e.g. Solari et al. 2007). La concentración de circones es cuidadosamente inspeccionada bajo microscopio binocular. Cerca de 150 granos son colectados para el caso de análisis de circones detríticos, y cerca de 70 granos para análisis ígneo. Se tiene cuidado para la selección de cristales representativos de toda la población en términos de tamaño, color y forma. Los circones seleccionados se montan en una cinta adhesiva de doble cara a lo largo de las filas ordenadas alrededor de 1,5 cm de largo. En un montaje normal, fácilmente pueden caber cuatro muestras de circones ígneos o dos muestras de circones detríticos. La fila central se usa generalmente para localizar fragmentos de un circón estándar.

Luego el montaje es moldeado en resina epoxy, se deja secar por unas 8 horas, sobre una base de papel de lija hasta que los cristales sean expuestos, y finalmente pulidos con tamaño de 6  $\mu\text{m}$  y 1  $\mu\text{m}$ . Los cristales pulidos son entonces fotografiados bajo microscopio binocular, y bajo catodoluminiscencia, utilizando un luminiscopio ELM-3R. La catodoluminiscencia es importante para descifrar la zonificación interna de los circones, y así tener un mejor control sobre los puntos de selección para el análisis, (e.g. Connelly 2000, Corfu et al. 2003), que a su vez ayuda en la interpretación de la edad. Los soportes se enjuagan con 18.2 M $\Omega$  de agua en baño ultrasónico durante 15 minutos, seguido de una limpieza superficial con 1 mol 1-1 ultrapuro HNO<sub>3</sub> justo antes que la muestra se introduzca en la célula de ablación, con la finalidad de evitar impurezas y Pb extraño.

El diagrama donde se muestran los resultados se llama Concordia – Discordia, en el que se representan los valores medidos de  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  y  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  unos en función de otros. La curva Concordia es el lugar geométrico de todos los puntos para los que la edad determinada por  $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$  es igual a la determinada por  $^{235}\text{U}/^{207}\text{Pb}$ . Cuando diferentes muestras de circón de una misma roca definen una línea Discordia recta, la intersección superior con la curva Concordia da el tiempo  $t_1$  de cristalización del circón la intersección inferior con la curva Concordia da el tiempo  $t_2$ , en el que un metamorfismo térmico eliminó cantidades variables de plomo de los circones de las distintas partes de la roca, si bien la actual posición de una muestra mineral sobre la curva Discordia se determina por la cantidad de plomo perdido por esta muestra en el tiempo  $t_2$ . Esta situación se atribuye a una pérdida episódica de plomo.