



UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ciencias Exactas y Naturales

Departamento de Geología

MARCO GEOLÓGICO REGIONAL Y PRINCIPALES
ZONAS MINERALIZADAS DE LA PORCIÓN SUR-
ESTE DE LA CARTA BACANORA (H12D55),
SONORA CENTRAL.

TESIS

Que para obtener el título de:

GEÓLOGO

PRESENTA:

MARTÍN ABELARDO PEÑA QUIJADA



Hermosillo, Sonora, Enero de 2007

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



EL SABER DE MIS HIJOS
HARÁ MI GRANDEZA

UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISIÓN DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

TEL. (662) 259 21 10
FAX 259 21 11

Hermosillo, Sonora, 19 de Enero de 2007

M.C. Francisco Javier Grijalva Noriega
Jefe del Departamento de Geología
P r e s e n t e

Por este conducto me permito someter a su consideración y aprobación el tema de la tesis de Licenciatura intitulada “**Marco Geológico Regional y Principales Zonas Mineralizadas de la Porción Sur-Este de la Carta Bacanora (H12D55), Sonora Central**”, el cuál será desarrollado por el Pasante de Geólogo Martín Abelardo Peña Quijada, con número de Expediente: 201203702.

Sin otro particular y agradeciendo sus atenciones al presente, reciba mis mejores consideraciones.

ATENTAMENTE

M.C. Ricardo Amaya Martínez

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



EL SABER DE MIS HIJOS
HARA MI GRANDEZA

UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISIÓN DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

TEL. (662) 259 21 10
FAX 259 21 11

19 de Enero, 2007.

M.C. RICARDO AMAYA MARTINEZ

Director de Tesis

Presente.-

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

**“MARCO GEOLOGICO REGIONAL Y PRINCIPALES ZONAS
MINERALIZADAS DE LA PORCION SUR-ESTE DE LA CARTA
BACANORA (H12D55), SONORA CENTRAL”**

Esto es con el fin de que el alumno:

MARTIN ABELARDO PEÑA QUIJADA

pueda presentar su examen profesional, para la obtención de su Título.
Asimismo le comunico que han sido asignados los siguientes sinodales:

M.C. RAFAEL RODRIGUEZ TORRES
ING. JAIME E. ISLAS LOPEZ
M.C. RICARDO AMAYA MARTINEZ

PRESIDENTE
SECRETARIO
VOCAL

Sin otro en particular, quedo de Ustedes.

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

M.C. FRANCISCO J. GRIJALVA NORIEGA
JEFE DEL DEPARTAMENTO.

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



EL SABER DE MIS HIJOS
HARÁ MI GRANDEZA

UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISIÓN DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

TEL. (662) 259 21 10
FAX 259 21 11

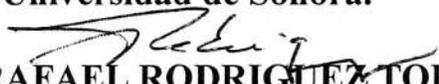
NOMBRE DE LA TESIS:

**“MARCO GEOLOGICO REGIONAL Y PRINCIPALES ZONAS
MINERALIZADAS DE LA PORCION SUR-ESTE DE LA
CARTA BACANORA (H12D55), SONORA CENTRAL”**

NOMBRE DEL SUSTENTANTE:

MARTIN ABELARDO PEÑA QUIJADA

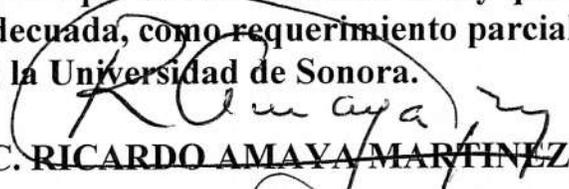
El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada, como requerimiento parcial para obtener el Título de Geólogo en la Universidad de Sonora.


M.C. RAFAEL RODRIGUEZ TORRES

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 Geólogo en la Universidad de Sonora.


ING. JAIME E. ISLAS LOPEZ

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 Geólogo en la Universidad de Sonora.


M.C. RICARDO AMAYA MARTINEZ

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


M.C. FRANCISCO JAVIER GRIJALVA NORIEGA
JEFE DE DEPARTAMENTO.

FJGN*ar

DEDICATORIAS

La presente página es la última que escribo y lo hago pensando en las personas mas importantes de mi vida, que de alguna u otra manera siempre han apoyado mis decisiones y me han motivado a alcanzar mis metas, brindándome su confianza sobre todas las cosas, e inculcando en mi los valores de esfuerzo y dedicación para lograr mis propósitos y uno de ellos es el haber culminado los estudios universitarios con el presente trabajo de tesis, mismo que no hubiese realizado sin su valioso apoyo, por tal motivo lo dedico principal y particularmente a mi madre Isela Quijada de Peña y a mi padre Abelardo Peña Mendoza. Les estoy profundamente agradecido.

A mi hermana Gisela Peña Q. agradeciendo su paciencia y comprensión en los malos momentos de desesperación que hemos compartimos juntos.

A mi mejor amiga, compañera y novia, Ana Cristina Islas Romo por su gran e irreemplazable apoyo moral y ayuda académica brindada durante el transcurso de toda la carrera profesional de principio a fin. Gracias por siempre permanecer a mi lado en los malos y buenos momentos, motivándome a seguir adelante y ayudarme en todo lo posible para conseguir mis metas.

A Todos Ustedes Muchas Gracias.....

AGRADECIMIENTOS

M.C. Ricardo Amaya Martínez, por la oportunidad, confianza y apoyo brindado en todo momento para la realización del presente trabajo de tesis y por su valiosa amistad.

M.C. Rafael Rodríguez Torres, por su participación y colaboración en la revisión del presente trabajo de tesis.

Ing. Jaime E. Islas López, por su participación y colaboración en la revisión del presente trabajo de tesis.

M.C. Adriana Aíme Orci Romero, por su colaboración en el procesado y elaboración de láminas o secciones delgadas.

Geol. Ana Cristina Islas Romo, por su colaboración en el procesado de cartografía digital.

Geol. Luis Gustavo Zúñiga Hernández, por su colaboración en el procesado digital.

Al Departamento de Geología de la Universidad de Sonora, por su apoyo durante el transcurso de la carrera profesional y en particular por el apoyo económico brindado para los viajes al campo y para el empastado e impresión del presente trabajo de tesis.

Al Instituto de Geología de la Universidad Autónoma de México, por la colaboración en cuanto al préstamo de sus instalaciones y equipo en el área de laminación

CONTENIDO

RESUMEN.....	1
I.-INTRODUCCIÓN	
I.1.- GENERALIDADES	
a).- Fisiografía.....	3
b).- Geomorfología.....	4
c).- Orografía.....	4
d).- Hidrografía.....	5
e).- Climas.....	5
f).- Flora y Fauna.....	6
I.2.- LOCALIZACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO	
a).- Localización Geográfica.....	8
b).- Vías de acceso.....	8
c).- Principales Localidades y Ranchos.....	8
I.3.- TRABAJOS PREVIOS.....	10
I.4.- OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	13
I.5.- METODOLOGÍA DE ESTUDIO	
a).- Trabajo de Campo.....	14
b).- Trabajo de Gabinete.....	14

II.- GEOLOGÍA HISTORICA DE SONORA CENTRAL

a).- Contexto Petrológico.....	15
b).- Contexto Tectónico.....	19

III.- GEOLOGÍA DE LA REGIÓN DE ESTUDIO

III.1.- ESTRATIGRAFÍA

a).- Rocas Sedimentarias

a.1).- Secuencia de Plataforma

Petrogénesis.....	25
Litología, Estructuras, Espesores y Fauna Fósil.....	26
Petrología y Petrografía.....	28

a.2).- Formación Mina México

Petrogénesis.....	30
Litología, Estructuras, Espesores y Fauna Fósil.....	31
Petrología y Petrografía.....	35

a.3).- Secuencia Paleozoica Alóctona de la Región

Petrogénesis.....	37
Litología, Estructuras, Espesores y Fauna Fósil.....	38
Petrología y Petrografía.....	43

a.4).- Formación Báucarit

Petrogénesis.....	45
Litología, Estructuras y Espesores.....	45

a.5).- Depósito Aluvial

Petrogénesis.....	48
Litología, Estructuras y Espesores.....	48

b).- Rocas Ígneas y Volcanosedimentarias	
b.1).- Rocas Plutónicas y Petrogénesis	
Rocas Graníticas.....	49
Petrología y Petrografía.....	50
Aplitas y Pegmatitas.....	58
b.2).- Rocas Volcanosedimentarias (Formación Tarahumara)	
Petrogénesis.....	59
Litología, Estructuras y Espesores.....	60
Petrología y Petrografía.....	62

IV.- YACIMIENTOS MINERALES

IV.1).- Introducción.....	68
V.2).- Principales Zonas Mineralizadas del Área de Estudio.....	71
a).- Mina “San Marqueña”	
Localización y Vías de acceso.....	72
Geología y Génesis del Yacimiento.....	72
b).-Mina “Chiltepin”	
Localización y Vías de acceso.....	73
Geología y Génesis del Yacimiento.....	73
a).-Mina “La Capilla”	
Localización y Vías de acceso.....	74
Geología y Génesis del Yacimiento.....	74

V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	76
VI.-BIBLIOGRAFÍA.....	79
VII.- ANEXO	
VII.1.- Índice de Figuras.....	83

RESUMEN

En la porción sureste del Municipio de Bacanora en el Estado de Sonora y dentro de la carta "Bacanora (H12D55)" 1:50 000, aflora una amplia diversidad de rocas paleozoicas constituyendo secuencias o paquetes litológicos que tienen distribución y extensión de gran alcance; existiendo un predominio de las secuencias sedimentarias, mismas que se diferencian en edad, ambiente de formación y litología. Estas secuencias en algunas zonas localizadas se pueden considerar como metasedimentarias, debido a que presentan un grado variable de metamorfismo que las afecta parcial y totalmente, estando este asociado con el emplazamiento de rocas plutónicas, que muestran un rango de composición de máfico a félsico. Dentro del área de estudio también afloran rocas pertenecientes a una secuencia volcanosedimentaria del Mesozoico superior que cubren discordantemente a algunos de los paquetes sedimentarios mencionados con anterioridad.

Tomando en consideración su origen y ambiente de depósito, las secuencias sedimentarias aflorantes se pueden separar en dos grandes dominios: uno autóctono y otro alóctono. El primero de ellos es de composición predominantemente carbonatada, con intercalaciones de estratos siliciclásticos, representados por un conjunto de sedimentos depositados sobre plataformas marinas, que en un contexto estratigráfico regional son referidos como secuencias miogeoclinales, que presentan un amplio y variado contenido en fauna fósil, con predominio de fusulinidos, crinoides y briozoarios, lo que indica ambientes de aguas cálidas y someras, con un rango de edad entre el Ordovícico y Pérmico. En el área de estudio, al igual que en otras varias localidades del centro y oriente de Sonora, esta secuencia está cubierta concordante y transicionalmente por un conjunto de sedimentos siliciclásticos turbidíticos, representados por estratos de arenisca de cuarzo, argilita y lutita-lodolita, correspondientes a la informalmente denominada Formación Mina México, a la que se le asigna una edad de Pérmico Temprano a Medio, que se caracteriza por presentar algunas intercalaciones de niveles de turbiditas calcáreas o calcarenitas y grainstone bioclásticos, conteniendo fósiles que han sido derivados y transportados desde la plataforma marina.

El segundo dominio se representa por un conjunto de sedimentos detríticos siliciclásticos, depositados en un ambiente marino de cuenca oceánica profunda, que en la literatura geológica y estratigráfica son referidos por unos como una secuencia eugeoclinal y por otros como cuerpos paleozoicos alóctonos de Sonora central. Esta secuencia está cubriendo tectónicamente, mediante estructuras de cabalgaduras, a los sedimentos de la Formación Mina México y a las secuencias paleozoicas de plataforma. La parte inferior de estas cabalgaduras corresponden a estratos de lutita carbonosa dentro de la cual existen algunos niveles conteniendo fósiles, del tipo de graptolitos, que indican una edad del Ordovícico Temprano y Medio. La cima está conformada por potentes estratos de arenisca de cuarzo (cuarcita), con intercalaciones delgadas de lutita carbonosa, que le imparten una morfología y vegetación distintiva, caracterizada por grandes escarpes con pendientes muy pronunciadas. Al comparar esta secuencia alóctona con aquellas reportadas en las áreas de la Mina de Barita y sierra El Aliso, se interpreta que en el área de estudio esta secuencia ha sido en gran parte erosionada, aflorando actualmente solo las partes inferiores de la misma, a manera de escamas tectónicas.

En algunas localidades estas rocas presentan una deformación dúctil dentro de los niveles más incompetentes dando origen a estructuras plegadas de diferente magnitud; mientras que los niveles más competentes han experimentado una deformación frágil, originándose zonas de un fuerte fracturamiento y fallamiento. Estos pliegues, fallas y fracturas son producto de los distintos esfuerzos compresivos y distensivos que se atribuyen a por lo menos dos eventos orogénicos, uno de ellos originado a fines del Pérmico y el otro asociado con la Orogenia Larámide.

Posterior y asociados con estos eventos tectónicos referidos, se presenta la formación de una unidad volcanosedimentaria constituida principalmente por tobas, aglomerados y derrames de composición predominante andesítica-dacítica, intercalados con sedimentos finos arenáceos y calcáreos, que en conjunto representan a la Formación Tarahumara, misma que presenta los efectos de alteración hidrotermal. Un evento geológico posterior se relaciona con el emplazamiento de grandes cuerpos plutónicos, de escala batolítica, representados por rocas de composición granítica y granodiorítica, de edad Cretácico Tardío – Paleoceno. En menor proporción, pero aflorando en amplias zonas, se emplazan rocas de composición cuarzodiorítica, cuarzomonzonítica y diorítica, dentro de las cuales se observan diques de composición aplítica – pegmatítica e intermedia, que representan la fase final del evento intrusivo. Se considera que existe una relación cogenética de estos diques con la generación y circulación de fluidos hidrotermales que originaron una serie de yacimientos minerales de diferente tipología, con predominio de estructuras vetiformes epitermales y desarrollo de zonas de metasomatismo, en los contactos o cercanías de intrusivos y rocas carbonatadas, que propician la formación de skarns de hierro y cobre, con valores asociados de oro y plata.

Dentro del área de estudio y sus alrededores afloran espectaculares manifestaciones de un conjunto de sedimentos continentales clásticos terciarios, representados por niveles de conglomerado polimíctico y arenisca, con intercalaciones de flujos de composición andesítica - basáltica, siendo frecuente que hacia la cima se presenten niveles de riolita y toba soldada o ignimbríta. Este evento combinado, volcánico y clástico, es producto de un evento tectónico distensivo, referido como Basin and Range, que origina la depositación de la Formación Báucarit a la que se le ha considerado una edad del Mioceno, con un rango de duración entre los 26 y 10-12 Ma.

Sobre los cauces del río Bacanora, así como en los principales arroyos tributarios del área y la mayoría de las partes de menor relieve, se deposita un material aluvial del Cuaternario que cubre discordantemente a todas las unidades litológicas descritas. Estos sedimentos, producto de la erosión de rocas preexistentes, se manifiestan en forma de abanicos aluviales, con características de terrazas, canales y algunas zonas con meandros.

I.-INTRODUCCION

I.1.- GENERALIDADES

a).- Fisiografía

Fisiográficamente el área de estudio se ubica en la subprovincia de Sierras y Valles Paralelos (Raisz, 1964). Dentro de la provincia de la Sierra Madre Occidental, sobre el Terreno Caborca (Campa-Uranga y Coney, 1983).

En Sonora han sido definidas tres grandes provincias fisiográficas: 1) provincia costera o del desierto de sonora, también llamada llanura sonorensis; 2) provincia costera del pacífico o de Sinaloa y 3) provincia de la sierra madre occidental.

La provincia de la sierra madre occidental ha sido dividida en dos subprovincias: una oriental llamada subprovincia de barrancas, piemontina y de las altas mesetas y otra occidental denominada subprovincia de sierras y valles paralelos (King 1939; Raisz, 1959).

El área de estudio se localiza en la parte oriental de la subprovincia de sierras y valles paralelos, colindando al este con la subprovincia de barrancas o pie de monte, caracterizada por abruptas sierras alargadas con una orientación aproximada norte-sur, separadas por valles intermontanos, con altitudes que sobrepasan los 1000 metros sobre el nivel del mar.

b).- Geomorfología

La geomorfología expuesta dentro el área de estudio muestra principalmente rasgos representados por grandes complejos montañosos que son producto de la intensa interacción tectónica, tanto distensiva como compresiva, que afectó a dicha región y que han generado grandes estructuras plegadas, con zonas de intenso fallamiento y fracturamiento.

El relieve se encuentra regido principalmente por la tectónica distensiva que inició en el Mioceno, la cual originó grandes bloques que describen altos y bajos estructurales, denominados horsts y grabens, limitados por fallas normales de tal manera que los horsts o altos estructurales en ocasiones forman cañadas con pendientes muy abruptas donde también contribuye en gran parte el drenaje hidrológico de la región, mientras que los grabens o bajos estructurales se encuentran cubiertos por secuencias conglomeráticas producto de la erosión de los altos relieves originando una morfología de lomas redondeadas con algunos escarpes producidos por fallamiento normal.

c).- Orografía

Los rasgos orográficos predominantes en la región de estudio corresponden a un conjunto de sierras que alcanzan elevaciones de poco más de 1300 m.s.n.m y regiones topográficamente más bajas con poco menos de 600 m de altura. Dentro de la topografía más importante se encuentra el cerro Los Cochis ubicado al sur-este el cual cuenta con la mayor elevación, continuando de manera decreciente el cerro El Zázachi ubicado al oeste, El Picacho de San Marcos en la porción centro-sur de la región estudiada. (Fig.1).

d).- Hidrografía

El principal drenaje hidrológico es la corriente del arroyo San Marcos, el cual cruza la porción central del área de estudio de sur a norte para drenar sus aguas al Río Bacanora, mismo que desemboca en el Río Yaqui; existiendo además un gran número de arroyos tributarios que en temporada de lluvias aportan un caudal significativo a los principales ríos anteriormente mencionados

Los principales arroyos que circulan sus aguas dentro del área de estudio son: El Orégano y El Cochi, mismos que constituyen un drenaje dendrítico y una región hidrográfica básicamente endorreica, cuya única salida es el Río Bacanora (Fig.1).

e).- Clima

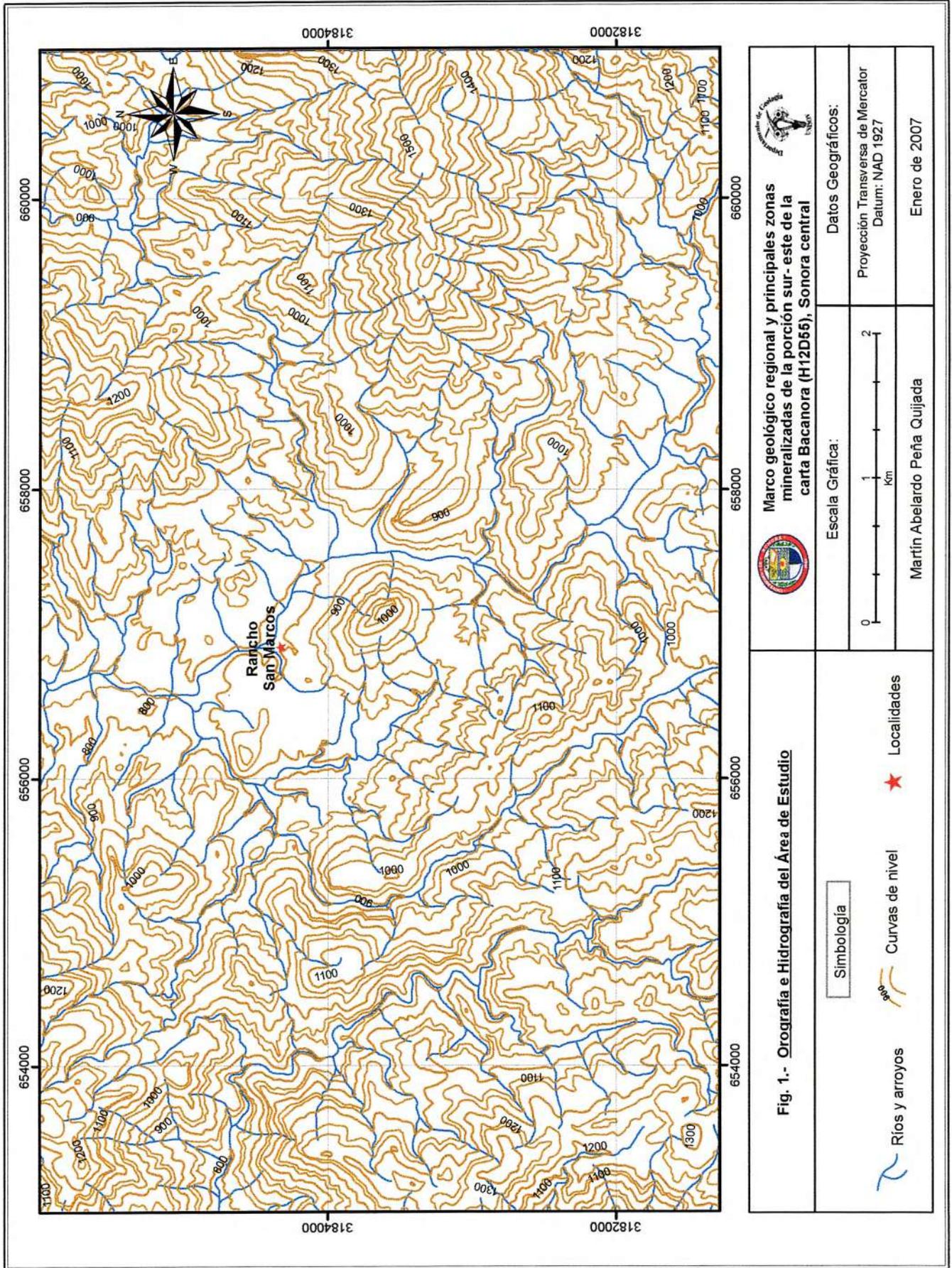
El área de estudio cuenta con un clima muy seco y cálido, categoría BW hw, con una temperatura media máxima mensual de 30.8° C en los meses de junio a septiembre y con una media mínima mensual de 13.7° C de diciembre a enero. La temperatura media anual es de 22.8° C; el período de lluvias se presenta en verano en los meses de julio y agosto, correspondiendo los climas más fríos a los meses de noviembre a marzo.

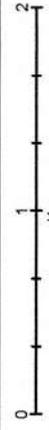
El clima en esta área de sonora puede ser subdividida en dos tipos: uno que predomina en las zonas de mayor elevación de la sierra, el cual se comporta de manera templada subhúmeda y otro que rige las partes topográficamente de menor elevación, la cual se comporta de manera semiseca, semicalida. En esta región se presentan lluvias torrenciales en verano, mientras que en invierno se presentan en forma de equipatas.

f).- Flora y Fauna

Dentro del área de estudio predomina una vegetación constituida en parte por árboles medianos y grandes, como mezquite, pochote, palo blanco, bellota, palo fierro, biznaga y sahuaro, etc. Mientras que la flora de tipo matorral subtropical esta constituida por nopal, cholla, maguey, jumete, amol, uña de gato, chiltepin y garambullo, entre otras. De manera similar que el clima, la vegetación se distribuye según la topografía que habita, resaltando en las altas mesetas y laderas de la sierra siendo las zonas de mayor y mediana altitud las zonas donde la vegetación se torna muy densa

La fauna existente dentro del área de estudio es muy variada encontrándose especies donde predominan: Anfibios como: sapos y ranas; Reptiles como: tortuga verde de río, del monte, iguana, escorpión, culebra y víbora, donde predomina la de cascabel y algunos coralillos y falsos coralillos; Mamíferos como: venado cola blanca, puma, lince, coyote, jaguar, león calvo, jabalí, mapache, cholugo, liebre, conejo, zorra, tlacuache, ardilla, zorrillo, murciélago y ratón de campo; Aves como: tortolita, lechuza, tecolote, chuparrosa, golondrina, urraca, cardenal, zopilote, gavilán, etc.



	<p>Marco geológico regional y principales zonas mineralizadas de la porción sur-este de la carta Bacanora (H12D55), Sonora central</p>	<p>Datos Geográficos:</p>	
		<p>Proyección Transversa de Mercator Datum: NAD 1927</p>	<p>Enero de 2007</p>
<p>Escala Gráfica:</p> 		<p>Martin Abelardo Peña Quijada</p>	

<p>Fig. 1.- Orografía e Hidrografía del Área de Estudio</p>	
<p>Ríos y arroyos</p> 	<p>Localidades</p> 
<p>Curvas de nivel</p> 	<p>Simbología</p>

I.2.- LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

a).- Localización Geográfica

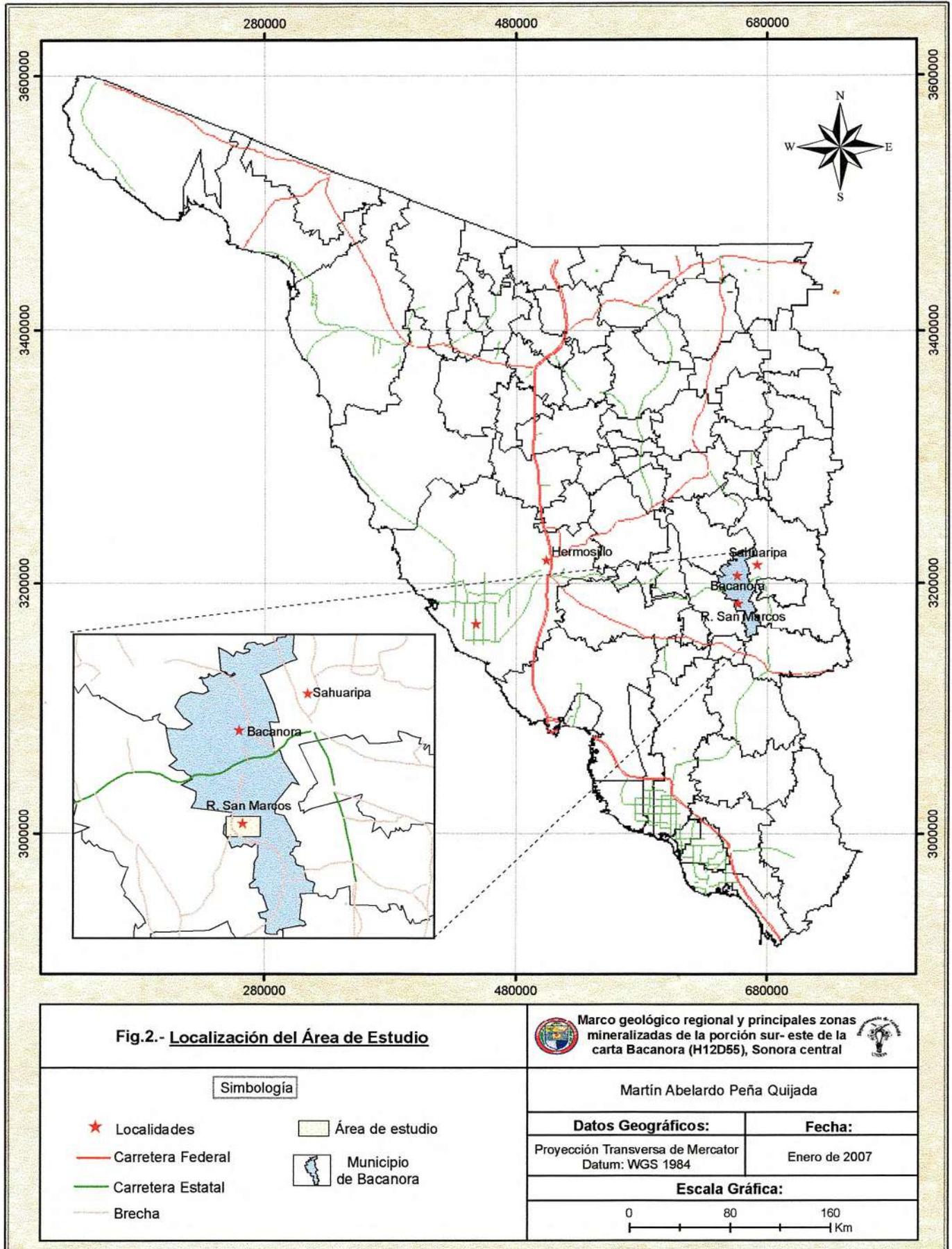
La carta Bacanora (H12D55) se encuentra localizada en la porción centro-oriental del Estado de Sonora y cuenta con una superficie aproximada de 924 km², delimitada por las coordenadas geográficas 28° 45' a 29° 00' Latitud Norte y 109° 20' a 109° 40' Longitud Oeste. El área de estudio se ubica en la porción sur-este de dicha carta dentro de las coordenadas UTM; (653 000 a 661 000) Longitud Este y (3 181 100 a 3 186 000) Latitud Norte, cubriendo una superficie aproximada de 40 km² (Fig. 2).

b).- Principales Vías de Acceso

La principal ruta de acceso para entrar al área de estudio, partiendo de la ciudad capital de Hermosillo, es la carretera pavimentada que comunica a esta ciudad con el poblado de Sahuaripa, conectando en su trayecto con los poblados de Mazatán, Rebeiquito, El Novillo y Bacanora. En este último poblado, aproximadamente en el Km. 180, se inicia hacia el sur un camino de terracería en buenas condiciones, salvo la temporada de lluvias, que comunica con el poblado de Guaycora y el Encinal, hasta llegar al rancho San Marcos lugar que se eligió para acampar debido a su ubicación céntrica dentro del área de estudio. Este rancho se localiza aproximadamente a 23 Km. en línea recta hacia el sur del poblado de Bacanora.

c).- Principales Localidades y Ranchos

El Municipio de Bacanora colinda al norte con los Municipios de San Pedro de la Cueva y Tepache, al sur con Yécora, al este con Sahuaripa y Arivechi, y al oeste con el Municipio de Soyopa. Las principales localidades además de la cabecera municipal son: Santa Teresa, Destacamento, Guaycora, El Encinal, Milpillas y Milpillitas. Mientras que los principales ranchos que se encuentran en el trayecto de Bacanora al área de estudio son, La Porcheña, Buenavista, Batemaneco, La Artesita, La Mano y Las Trancas hasta llegar al rancho San Marcos ubicado en la porción central del área de estudio.



I.3.- TRABAJOS PREVIOS

El área de Bacanora ha sido de gran interés para muchos geólogos autores de diversos artículos y publicaciones, principalmente aquellos que se han enfocado a describir las características estratigráficas, tectónicas y de geología económica presente en esta región. Del mismo modo, también ha sido atractiva para las grandes compañías mineras e inversionistas de la pequeña minería que han realizado trabajos de exploración y explotación en pequeña y gran escala.

Los trabajos previamente realizados dentro de la carta Bacanora y localidades vecinas, que destacan por la gran información geológica regional que proporcionan para entender y comprender un poco más la geología general y particular que impera en el área de estudio, son:

La tesis doctoral presentada por Menicucci (1975) la cual fue realizada hacia la porción oeste y norte de la región de estudio, abarcando desde Hermosillo hasta el río Yaqui. Este autor menciona rocas migmatitas de edad probablemente Precámbricas que afloran en la región de Mazatán, así como rocas de edad Paleozoico (Carbonífero y Pérmico) en numerosas localidades del área como Cobachi, cerro Los Chinos, etc. Rocas volcanosedimentarias y marinas carbonatadas probablemente de edad Jurásico-Cretácico en las sierras de Agua Verde, Los Novillos-Rebeico y San Pedro de la Cueva.

Las tesis de maestría elaboradas por Schmidt y Hewett (1978), en los cerros La Zacatera y El Encinal, que colinda al norte con el área de estudio, en la cual los autores mencionan la presencia de tres unidades sedimentarias, que relacionan tanto litológica como paleontológicamente con la Formación El Tigre de edad Pérmico Temprano. Describen también una cuarta unidad informalmente denominada Formación Mina México constituida principalmente por argilitas, donde le asignaron una edad Permo-Triásico y rocas volcánicas y plutónicas de edad Cretácico.

La tesis de licenciatura elaborada por Vega-Granillo y Araux-Sánchez (1985) en la sierra La Campanería, ubicada en la porción oeste del área de estudio, trata sobre la geología regional de esta sierra y sus zonas mineralizadas, haciendo énfasis principalmente en los yacimientos de tungsteno tipo skarn y aporta gran información geológica sobre las distintas secuencias sedimentarias como son El Tigre, Chubisco, Las Tierras, Mina México, El Venado, etc.

El artículo publicado por Poole et al. (1995) titulado "Rocas Ordovícicas de la Plataforma Continental, de Sonora, México", establece una reconstrucción paleogeográfica del Ordovícico Medio en Norteamérica (Laurentia), en base a estratigrafía, paleontología y correlaciones estratigráficas haciendo énfasis en las localidades de Sierra López, Cerro Cobachi, Sierra Martínez, Rancho Las Norias, Cerro La Sata, Sierra Agua Verde y Rancho Bízani donde se encuentran afloramientos de rocas ordovícicas de la plataforma carbonatada.

El artículo publicado por Poole, et al. (?), denominado "Rocas Ordovícicas de Cuenca Oceánica en Sonora, México" hace una descriptiva de los sedimentos depositados en ambientes oceánicos de aguas profundas expuestos en diversas localidades a lo largo de Sonora central, entre la Sierra Madre Occidental y el Golfo de California, describiendo las características litológicas, estratigráficas y tectónicas de varias localidades tales como: Barita de Sonora, Cerro Cobachi, Rebeiquito, Sierra El Aliso, La Colorada e Isla Turner.

En la tesis de Maestría, elaborada por Amaya-Martínez (2004), se realiza una reinterpretación de la litología, relaciones estratigráficas y edades entre la secuencia de plataforma carbonatada y la secuencia turbidítica siliciclástica de la Formación Mina México, en la porción sur del poblado de Bacanora. Estudios anteriores consideraban que toda la secuencia carbonatada que aflora en la porción sur del poblado de Bacanora, particularmente en los alrededores del yacimiento mineral Mina México, pertenecía al Pérmico Inferior y por otra parte, se interpretaba que los sedimentos siliciclásticos de la Formación Mina México constituían la parte superior de la secuencia alóctona y por lo mismo, cabalgando a las rocas de plataforma. Las conclusiones de esta tesis documentan y proponen, de acuerdo con las relaciones estratigráficas observadas, una reubicación, en tiempo y espacio, de la secuencia carbonatada; debiendo considerarse una edad desde el Ordovícico, hasta el Pérmico Inferior. De manera complementaria, se determina que los sedimentos siliciclásticos de la Formación Mina México no constituyen parte de la secuencia alóctona y que estos en realidad fueron depositados de manera concordante y transicional sobre los de la plataforma y por lo mismo, se le asigna una edad de Pérmico Medio.

La carta Geológico – Minera, Bacanora H12-D55 1:50 000, publicada por el Consejo de Recursos Minerales, y elaborada por González-Gallegos y Morales-Morales (2004) la cual contiene una completa información acerca de las distintas formaciones encontradas en dicha carta, que incluye tres secciones estratigráficas que permiten visualizar su comportamiento estructural, así como también se añade información acerca de los principales cuerpos minerales y obras mineras existentes y una breve reseña del contexto petrológico y tectónico expuesto en la región.

El artículo publicado por Poole y otros (2005) denominado estratigrafía de la porción de Sonora central “El sistema Orogénico OMS”, el cual aborda el tema enfocado al “Alóctono de Sonora” y habla acerca de una división del mismo en dos grandes unidades estrato–litológicas: Una secuencia pre-orogénica, del Ordovícico al Misisípico Inferior-Medio y otra sin-orogénica, del Misisípico Medio al Pérmico Medio, haciendo referencia a las características generales de las diversas unidades, que fueron depositadas en ambientes de cuenca marina profunda.

I.4.- OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

Existen varios objetivos importantes que motivan la realización del presente trabajo de investigación, entre los cuales destacan:

Redacción de un documento sobre un tema específico, que contenga y se ajuste a la normatividad establecida para la elaboración de una tesis de Licenciatura, que me permita obtener el grado de Geólogo, otorgado por el Departamento de Geología de la Universidad de Sonora.

Efectuar un levantamiento geológico-cartográfico a semidetalle con la finalidad de generar información actualizada, desde un punto de vista estratigráfico, tectónico-estructural, geomorfológico y de yacimientos minerales, que de alguna manera complementaría a la obtenida en los trabajos realizados anteriormente. Para tal actividad se tomó como referencia el plano geológico base escala 1:50,000 elaborado por el Consejo de Recursos Minerales, actualmente Servicio Geológico Mexicano.

Delimitar y describir con cierto detalle a un conjunto de afloramientos, descubiertos por Poole y Amaya-Martínez (2006), que por sus características litológicas y faunísticas se consideran correlacionables con la secuencia paleozoica alóctona expuesta en el área de estudio y que ha sido descrita en algunas otras localidades dentro de la porción centro-oriental de Sonora.

Identificar con claridad las distintas unidades que afloran dentro del área de estudio con la finalidad de agrupar las formaciones propuestas por diversos autores dentro de un contexto petrogenético y tectónico específico, mismos que originaron la geología regional actualmente expuesta.

Visita, delimitación y muestreo de las distintas zonas mineralizadas del área de estudio, con el objetivo de describir la geología y génesis de los depósitos minerales, sus estructuras, mineralización, importancia económica, contexto tectónico, etc.

I.5.- METODOLOGIA DE ESTUDIO

El desarrollo del presente trabajo de investigación se podría resumir en dos etapas, con la finalidad de analizar la metodología de estudio de una manera mas practica y objetiva.

De esta manera, la primera etapa de investigación consistió de tres visitas al área de estudio, equivalentes a 30 días de actividades de campo, donde se planearon y organizaron recorridos en vehículo y caminamientos estratégicos que permitieron observar y visualizar el entorno geológico que caracteriza a la región, con la finalidad de delimitar los diversos contactos entre las unidades litológicas aflorantes. La información geológica generada, de manera progresiva y continua, permitió la elaboración de un plano de cartografía geológica donde se incluyeron las unidades litológicas, principales estructuras, actitudes de los estratos, zonas mineralizadas; así como también, la ubicación y delimitación de la secuencia "alóctona" del área, reforzando y ampliando una fotointerpretación anteriormente propuesta por Poole y Amaya-Martínez (2006).

Se recolectaron una cantidad considerable de muestras de mano sobre las unidades representativas con la finalidad de elaborar la descripción petrográfica-petroológica y de la litología presente, así como también la obtención de fotografías de distintos afloramientos para ilustrar las observaciones mencionadas en el presente texto.

La segunda etapa de investigación, denominada de gabinete, consistió en la recopilación y ordenamiento del material recolectado del área de estudio y en la bibliografía consultada. Una actividad complementaria consistió en la elaboración de láminas delgadas y su posterior análisis y descripción bajo el microscopio petrográfico.

Dentro de esta misma etapa se realizó la fotointerpretación del área, para trazar estructuras mayores y reforzar algunos contactos predeterminados, principalmente los de la secuencia alóctona expuesta en el área; cuyas delimitaciones fueron originalmente fotointerpretaciones propuestas por Poole y Amaya-Martínez (2006, comunicación personal)

II.- GEOLOGIA HISTORICA DE SONORA CENTRAL

En la porción central del Estado de Sonora se han realizado diversos estudios científicos con la finalidad de conocer y reconstruir la geología general histórica expuesta hoy en día en esta región. Estos estudios se enfocaron en la determinación de las características estratigráficas, paleontológicas y tectónicas determinadas en las distintas unidades litológicas que afloran en el centro de Sonora. Los resultados de los mismos permiten ubicar a estas unidades dentro de un contexto tectónico regional y un contexto petrológico donde se tomo en consideración tanto su origen, ambiente de depósito, deformación y transporte de dichas unidades.

De acuerdo con lo anterior, se determinó incluir en este capítulo breves fragmentos de distintas investigaciones realizadas por diversos autores, que proponen y aportan ideas que ayudan a comprender la geología histórica de Sonora central y que a su vez documenta y refuerza el presente trabajo de tesis, así como también ayuda al entendimiento de la geología expuesta en el área de estudio con una mayor claridad.

Con la finalidad de resumir y hacer más fácil el entendimiento y comprensión de las investigaciones anteriormente mencionadas se separan en dos grupos, enmarcados dentro de sus contextos petrológicos y tectónicos; mismos que se enlistan a continuación:

a) Contexto Petrológico.

King (1939), considera que la Formación Palmar, ubicada hacia el noreste del área de estudio, dentro de la región de Sahuaripa, debe de ser asignada al Cretácico Inferior (Albiano medio), misma que también fue estudiada por Imanga y Flinn (1978), la cual está constituida por niveles de caliza fosilífera con contenido de gasterópodos e intercalada con estratos de argilita, arenisca y dolomía. Presenta un espesor aproximado de 1500 m y afloran en la Sierra El Chiltepin.

Wilson y Rocha (1946), proponen La formación volcanosedimentaria denominada Tarahumara expuesta en Sonora central, misma que descansa discordantemente sobre la secuencia carbonatada de plataforma del Paleozoico o sobre el Grupo Barranca del Triásico Superior – Jurásico Inferior. La Formación Tarahumara es considerada como la parte efusiva o volcánica del magmatismo producido por la Orogenia Larámide y fue datada entre 68 y 86 Ma en la porción centro-oriental de Sonora, mediante el método U-Pb por McDowell y otros (2001).

Alencaster (1961), documenta y detalla las características del Grupo Barranca reconocido en muchas regiones de la porción central de Sonora y sugiere que está conformado por tres formaciones que describe, de la base a la cima, como Formación Arrayanes constituida por estratos de arenisca y cuarcita intercaladas con capas de lutita y conglomerado, con un espesor de aproximadamente 700 m, el cual sobreyace angularmente en discordancia a calizas presumiblemente paleozoicas dentro de la localidad tipo. La Formación Santa Clara, constituida por estratos de arenisca, intercalados con niveles de lutita negra los cuales a veces se presentan carbonosos con contenido fósil y con mantos de carbón, habiéndose estimado un espesor aproximado de 400 m y una edad correspondiente al Triásico Tardío (Cárnico), añadiendo que esta cubre transicionalmente a la formación anteriormente descrita. La Formación Coyotes, constituida por capas de arenisca de cuarzo, con intercalaciones de lutita y conglomerado, con un espesor aproximado de 650 m y asignada a una edad post -Cárnico en base a su posición estratigráfica.

Rangin (1974), propone que el Grupo Barranca presenta numerosos cambios en cuanto a facies que supone, indica la existencia de cuencas endorreicas subsidentes invadidas esporádicamente por el mar.

Menicucci (1975), propone unidades litológicas asignadas al Precámbrico en Sonora central que son correspondientes a formaciones constituidas por gneises, micaesquistos plegados y migmatitas que se encuentran localizados principalmente en la sierra de Mazatan añadiendo que los afloramientos paleozoicos en esta zona, han sido poco estudiados a detalle. Este autor elaboró una carta geológica donde propone dos tipos de afloramientos: asignando uno de estos a la parte inferior de la secuencia paleozoica presente la cual está constituida por calizas con intercalaciones de pedernal de dimensiones centimétricas, las cuales consideró de una probable edad correspondiente al Cámbrico, basándose en correlación litológica con rocas de la región de Caborca; mientras que los otros los asignó a la parte superior de dicha secuencia la cual está constituida por estratos de caliza oscura con gran contenido fósil.

Schmidt y Hewett (1978), establecen y definen en la sierra el Encinal y el cerro La Zacatera, tres miembros informales asignados al Pérmico Inferior y que consideran pertenecientes a la Formación El Tigre, que a su vez fue propuesta y descrita por Imlay (1939) y Álvarez (1949) en el mineral "El Tigre" a 120 km al este y sureste del poblado de Cananea ubicado en la porción noreste de Sonora. La Formación El Tigre está constituida, de la base a la cima, por 130 m de estratos de arenisca de cuarzo de color blanco pertenecientes al Miembro Los Alisos y de 753 m de caliza limosa y arenosa con intercalaciones de arenisca, con contenido fosilífero correspondientes a fusulinidos de edad Leonardiana perteneciente al Miembro La Cueva, mismo que subyace concordantemente a una unidad que los autores definen y refieren como Formación Mina México, litológicamente compuesta por una secuencia homogénea de argilita y grauvaca de grano fino, con un espesor de aproximadamente 2000 m a la cual se le asignó una edad Pérmico Tardío - Triásico Temprano (?) en base a su posición estratigráfica, misma que compararon por su posición y litología con la Formación "La Vuelta Colorada" definida por Noll (1981) en la Sierra de Cobachi y que dicho autor considera del Pérmico Superior (?).

Los sedimentos clásticos encontrados en estratos correspondientes al Pérmico Inferior, en la sierra El Encinal (Hewett, 1978) y otras regiones de la parte central, sugieren la existencia de paleo bahías de dicha edad, en cuyos alrededores se supone el inicio de la depositación clástica continental del Grupo Barranca (Menicucci et al., 1981). Aunque Hewett (1978) y Córdoba y Montijo (1981) consideran que los sedimentos detríticos marinos que sobreyacen a estratos del Pérmico Inferior, no se relacionan con los depósitos de dicho grupo.

Mc. Dowell y Clabaugh (1979) definen y proponen que las rocas que constituyen la Sierra Madre Occidental son principalmente ignimbrita, riolita y riodacita, con algunas intercalaciones ocasionales de composición básica.

Noll (1982), describe y define paleontológicamente una unidad correspondiente a una edad Ordovícico Medio-Tardío, la cual está constituida por niveles de argilita con contenido fósil reconocidos como graptolitos, (los cuales le asignan la edad a esta unidad), intercalada con lutita, arenisca, limonita, pedernal negro, pedernal con barita asociada y caliza micrítica con conodontos y braquiópodos del Devónico Tardío. Estima que esta secuencia presenta un espesor total de 288 m y que pertenece al Grupo Guayacán. El mismo autor algún tiempo después define una secuencia constituida por estratos de caliza gris, con capas y nódulos de pedernal, dolomía y numerosos niveles con contenido fosilífero, correspondientes a crinoides, briozoarios y braquiópodos. Considera que esta secuencia descansa discordantemente sobre la secuencia anteriormente descrita y que esta unidad tiene un espesor aproximado de 1450 m, aflorando en el cerro Cobachi y es denominada como formación Picacho Colorado y es asignada a una edad del Carbonífero.

Rangin (1982), establece que el vulcanismo de esta región de Sonora está representado predominantemente por rocas de composición andesítica, donde en un principio se presentan facies epiclasticas y piroclásticas presumiblemente depositadas en un ambiente marino representado por una estratificación de andesitas, tobas y aglomerados con calizas, y posteriormente ocurre el emplazamiento dentro de un ambiente continental emergido representado por coladas masivas y abundancia de material piroclástico.

Damon et al. (1983), consideran y definen que las rocas plutónicas asignadas al Cretácico Superior-Paleoceno, se comportan de manera homogénea sin presentar gran variación y donde se distinguen petrográficamente granodiorita, granito, adamelita, tonalita, cuarzomonzonita y ocasionalmente gabro. Contemporáneamente se presenta el emplazamiento de rocas volcánicas predominantemente de composición andesítica.

b).- Contexto Tectónico

Sonora central ha sido afectada por fenómenos tectónicos que evidentemente afectan a todas las formaciones anteriormente mencionadas, tanto compresiva como distensivamente y particularmente se refleja dentro del área de estudio con la exposición de estructuras parcial y totalmente plegadas, tanto sinclinal como anticlinal, asociadas en conjunto con grandes fallas y fracturas de pequeña y gran escala.

Cooper et al. (1952), Rangin (1982) y otros, sugieren una diferenciación en los afloramientos paleozoicos en dos zonas, basada en las características de sus facies de ambiente de depósito; donde mencionan una zona norte que está representada por potentes secuencias atribuidas a facies neríticas de una plataforma subsidente, misma que descansa discordantemente en el NW, sobre rocas carbonatadas y detríticas del Precámbrico; mientras que al NE descansa sobre rocas metamórficas e intrusivas de esa edad. La posición cronoestratigráfica de esta secuencia va del Cámbrico al Pérmico con hiatus en el Silúrico y parcialmente en el Ordovícico y Devónico.

Fries (1962), atribuye que los primeros eventos asociados con el fracturamiento de las rocas que conforman a la plataforma paleozoica se asocian y son producto del evento orogénico Sonorense (220-150 Ma).

Anderson y Silver (1974), definen que para el Cretácico Superior se presenta un intenso magmatismo en todo Sonora, donde se pueden reconocer tres episodios principales, siendo el primero de composición intermedia-ácida, datado entre los 90 y 40 Ma y está formado por cuerpos intrusivos que se extienden desde Baja California central hasta Sonora, ampliamente distribuidos en la provincia costera, mostrando una migración de edades hacia el oriente donde se encuentran los más recientes. Este es seguido por un complejo volcano-plutónico durante el Paleoceno-Eoceno en el NE de Sonora, mismo que se relaciona con una importante mineralización cuprífera. Finalmente, se presenta un episodio de composición ácida, que presuntamente corresponde a la edificación de la Sierra Madre Occidental, cubriendo una extensión mayor a los 1500 Km., que descansa discordantemente sobre secuencias paleozoicas, mesozoicas y paleocenas. Se le atribuye un rango de edad aproximada entre los 40 y 20 Ma (Damon et al., 1982).

Rangin (1978) y Fries (1962), proponen y señalan la existencia de orogénias que afectaron en el Estado de Sonora a fines del Paleozoico y durante el Triásico, mismas que denomina Orogenia Hercínica y Sonorense, respectivamente.

Anderson y Silver (1978), considera que las deformaciones más antiguas en Sonora ocurren durante el Precámbrico y se relacionan a una fase denominada Mazatzal (1776 a 1660 Ma), misma que origina plutonismo y metamorfismo regional.

Peiffer y Rangin (1979), hacen mención acerca de la interpretación paleogeográfica propuesta para el Paleozoico Inferior, en donde reconoce una zonificación del NW al SE de una plataforma carbonatada, una cuenca pelágica a semipelágica que propone como una extensión hacia el pacífico del sistema orogénico Marathón o Ouachita-Apalaches.

Noll (1981), propone la existencia de un periodo de plegamiento con ejes NE-SW durante el Paleozoico, entre el Devónico y Misisípico, mismo que se puede correlacionar con la fase devónica, que origino el cinturón orogénico Antler en el SW de Estados Unidos. Esta fase es señalada por una ligera discordancia entre el Devonico Superior y el Misisípico en el norte del estado (Rangin, 1982). En Sinaloa, secuencias similares volcanosedimentarias de esta edad han sido metamorfizadas y deformadas por dicha fase (Peiffer-Rangin, 1979).

Noll (1981), define que la zona central de Sonora está caracterizada por una facies de cuenca marina, cuya depositación sedimentaria fue en un ambiente semiprofundo, ocurrida durante el Ordovícico Medio al Devónico Superior. Añadiendo que además existe una serie discordante sobre la anterior con depósitos carbonatados de facies neríticas con transición a detríticas que inicia en el Misisípico Inferior y finaliza en el Pérmico Inferior-Medio.

Rangin (1982), propone la correlación tectónica de esta región a la Orogenia Nevadiana u Oregoniana para facies con características similares a rocas asignadas al Jurásico Superior y Cretácico medio respectivamente descritas en el norte del estado.

Dunbar (1982), define que durante el Carbonífero la secuencia de plataforma se comporta de manera homogénea y que a fines de esta época es cuando se reflejan movimientos producidos por la Orogenia Apalacheana responsable del contraste litológico general que existe entre las rocas carboníferas, principalmente carbonatadas, y las rocas del Pérmico Superior de composición detrítica.

Rangin (1982), define y propone una fase orogénica que denominada Nevadiana, misma que se caracteriza por la presencia de esfuerzos compresivos que generan plegamiento cuyos ejes presenta una dirección preferente hacia el NNW-SSE con una vergencia hacia el E-NE; interpreta que estos esfuerzos actuaron durante el Jurásico Superior.

El mismo autor hace mención acerca de una tectónica de compresión tangencial que se supone es responsable de la emersión general de Sonora y Baja California central, la cual es denominada fase orogénica Oregoniana o Mesocretácica que origina napas y cabalgaduras con vergencias opuestas en la región NE del estado. En Baja California las secuencias se han transportado hacia el oeste, mientras que en Sonora el transporte ha sido hacia el oriente.

González-León (1982), define que el aporte sedimentario carbonatado finaliza en el Pérmico Superior (Guadalupiano) en la parte NW de Sonora, mientras que Menicucci (1975), define que en la porción central de Sonora finaliza en el Pérmico Inferior (Leonardiano).

Rangin (1982), sugiere que posteriormente inicia un aporte sedimentario clástico que continúa hasta el Jurásico Inferior (Liásico). Todas las formaciones establecidas dentro de estos periodos presentan intercalaciones marinas carbonatadas y lutíticas que se presentan con un mayor espesor en la zona noroeste y las considera como las primeras transgresiones tipo "Pacífico" sobre el continente de Norteamérica.

Menicucci et al. (1982), considera que la sedimentación clástica ya existía durante el Permico Inferior, depositándose en los alrededores de paleo bahías que se extendían en dirección este-oeste de un mar situado hacia el oriente, coexistiendo en ellas, ambientes transicionales de aporte marino, clástico-marino y clástico.

El Jurásico Medio-Superior, para la porción norte del estado, está representado por tres ambientes en una franja de oeste a este; donde Stump y Beauvais (1976) proponen que el ambiente marino detrítico, sin intercalaciones volcánicas, corresponden al Oxfordiano superior. Anderson y Silver (1978), definen un ambiente volcánico y volcanosedimentario en la región de Caborca asignándole una edad del Jurásico Medio basándose en radiometría. Rangin (1977), define un ambiente volcanosedimentario dentro de la región de Cucurpe y Sinoquipe, fechado como Oxfordiano Superior en la cima.

Vega-Granillo y Araux-Sánchez (1985), proponen que la sierra la Campaneria, localizada al oeste del área de estudio fue afectada por eventos tectono-magmáticos iniciados con una fase compresiva durante la Orogenia Apalacheana del Paleozoico Superior misma que originó un microplegamiento en las rocas de la Formación Las Tierras de edad Carbonífero-Pérmico Temprano y que posteriormente continuó la Orogenia Nevadiana durante el Jurasico Superior y durante la Orogenia Mesocretácica, las cuales originaron un plegamiento que describe una actitud con rumbo NW-SE y NE-SW en las secuencias paleozoicas. Posteriormente fue el evento orogénico Larámide que produjo el cabalgamiento de las rocas de edad Carbonífero-Pérmico de la Formación Las Tierras sobre las rocas de la Formación Chubisco en el occidente y de las primeras sobre las volcanosedimentarias del Cretácico Superior en la porción oriental. Este evento de edad Cretácico Tardío-Terciario temprano estuvo acompañado de intrusión magmática. Posteriormente, el arco magmático continental oligocénico produjo vulcanismo de composición riolítica-andesítica. Durante el Terciario hubo un evento tectónico distensivo que produjo sistemas de fallamiento normal en las rocas más antiguas que dieron lugar a los rasgos morfo-estructurales más típicos de la región que corresponden a sierras alargadas separadas por depresiones rellenas de materiales clásticos continentales.

III.- GEOLOGIA DE LA REGION DE ESTUDIO

III.I.- ESTRATIGRAFIA

En la porción sur y sureste de la Carta Bacanora (H12D55), objetivo del presente estudio, afloran secuencias sedimentarias carbonatadas y detríticas de variada extensión y espesor, mismas que se pueden diferenciar en litología, estructuras, ambiente de depósito y contenido fósil. Dichas secuencias son afectadas por grandes cuerpos intrusivos que en cierta parte las han deformado y alterado tanto parcial como totalmente, en ocasiones presentando un metamorfismo térmico regional.

Dentro de estas secuencias sedimentarias se puede identificar una de ellas como una potente secuencia paleozoica alóctona, depositada en un ambiente marino de cuenca profunda, que ha sido transportada desde su punto inicial de depósito y que actualmente se manifiesta cabalgando tectónicamente a las secuencias carbonatadas y siliciclásticas paleozoicas, con rangos de edad desde el Ordovícico hasta el Pérmico.

Por otra parte, aflora una potente secuencia volcanosedimentaria que se extiende ampliamente de norte a sur dentro de la porción oriente del área de estudio, misma que se encuentra sobreyaciendo en discordancia a las secuencias sedimentarias anteriormente mencionadas.

La estratigrafía brevemente mencionada con anterioridad involucra a un conjunto de secuencias que han sido definidas informalmente por varios autores en estudios anteriores y que ahora se describirán con el mayor detalle posible con el objetivo de conocer y comprender el contexto geológico general de la región de estudio y las implicaciones tectónicas que ocasionaron que estas rocas se encuentren expuestas en la actualidad.

a).- Rocas Sedimentarias

a.1).- Secuencia de Plataforma

Petrogénesis

Petrogenéticamente la denominada secuencia de plataforma, corresponde a una secuencia paleozoica carbonatada de plataforma con gran contenido fósil, misma que fue depositada en un ambiente de aguas marinas someras y que según estudios preexistentes formaba parte del paleo-continente denominado Laurentia. Se ha propuesto, que durante el Ordovícico el Estado de Sonora se localizaba en el borde y extremo suroeste del cratón de Norteamérica (Laurentia), al sur del Ecuador y se supone que durante el Ordovícico Temprano estuvo cerca del Ecuador; mientras que para el Ordovícico Tardío el continente experimentó una rotación (en sentido opuesto a la agujas del reloj), habiendo migrado hacia el sur (Scotese and Golonka, 1993; Scotese and McKerrow, 1990 y Witzke, 1990).

Es decir que para la secuencia carbonatada expuesta actualmente en Sonora central y particularmente en la región de estudio se define que fue formada durante el lapso de tiempo comprendido entre el Neoproterozoico y Pérmico Inferior, donde el Estado de Sonora estaba situado a lo largo de una margen continental estable, sitio donde se depositaban potentes secuencias calcáreas que reflejan un ambiente formacional de plataformas continentales, que se desarrollaron sobre el cratón de Norteamérica, definido como miogeoclinal cordillerano (Stewart et al., 1997).

Litología, Estructuras, Espesores y Fauna Fósil

Litológicamente la secuencia de plataforma está constituida predominantemente por una intercalación de potentes estratos de caliza y areniscas de cuarzo (cuarcitas); así como también niveles centimétricos de pedernal, tanto en bandas como en nódulos. En algunas localidades del área estos estratos calcáreos muestran evidencias de los efectos de un metamorfismo de contacto, con desarrollo de franjas o bandas de hornfels y skarns con espesores variables, que en ciertas ocasiones tuvieron condiciones favorables para la depositación de mineralización, principalmente de fierro y contenidos irregulares de tungsteno, cobre, oro y plata.

Esta secuencia es la más antigua del área de estudio y se extiende ampliamente en la porción oeste de la región con potentes espesores, estimados entre 400 y 500 m. En algunos niveles de la secuencia han sido deformados plásticamente, con el desarrollo de un plegamiento, a escala local y regional, siendo este más evidente e intenso en las cercanías con el emplazamiento de los cuerpos intrusivos. Cabe mencionar que en ocasiones estas secuencias calcáreas muestran un fallamiento y fracturamiento en sus niveles menos competentes y que en este caso, es producto del esfuerzo que produjo el emplazamiento de los cuerpos plutónicos; siendo común que representen actualmente estructuras que corresponderían a techos colgantes o “roof pendants”.

Ciertos niveles de la secuencia carbonatada, sobre todo los de la parte superior, presentan abundante contenido fósil, variando en cantidad y tipo, dentro de los que se observa un predominio de fusulínidos, crinoides y briozoarios, mismos que indican una fauna típica del Pérmico, en un ambiente marino de aguas someras (Fig.3).

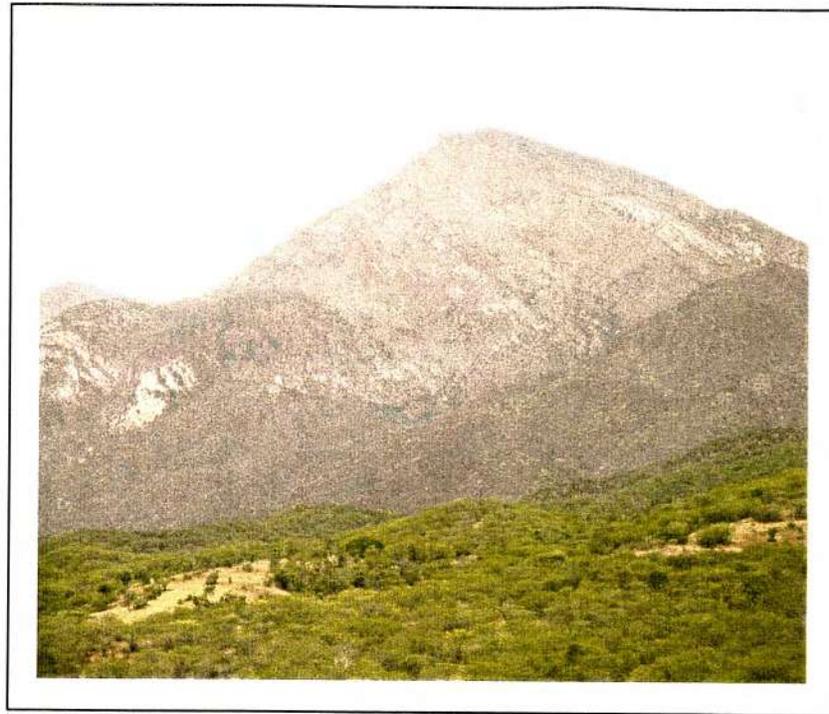


Figura 3.- Vista panorámica de una potente secuencia de plataforma representada por la sierra Santo Domingo ubicada en la porción centro-este de la carta Bacanora

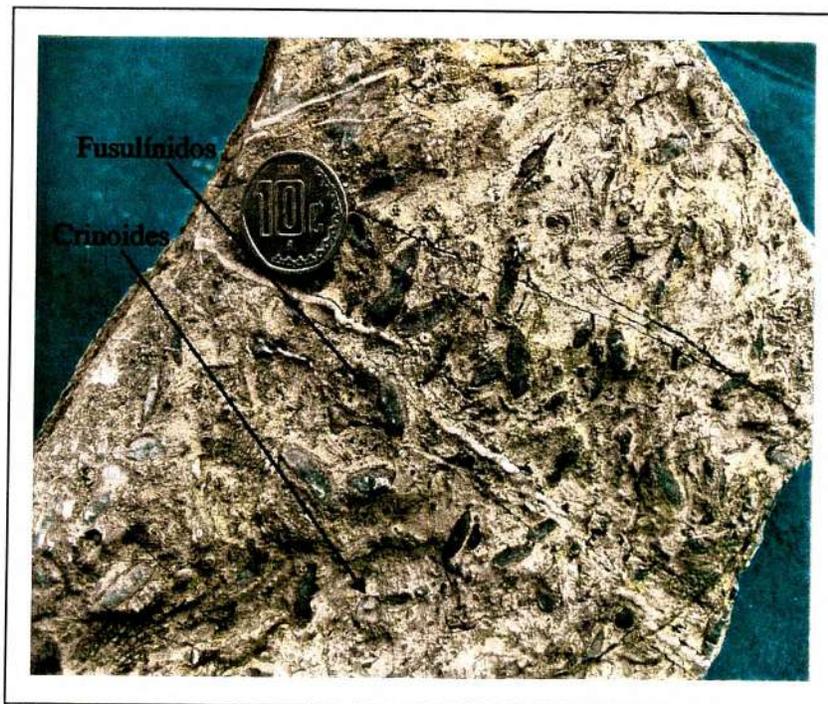


Figura 4.- Ejemplar de roca de plataforma con gran contenido de fusulínidos y crinoides.

Petrología y Petrografía

Como se mencionó con anterioridad, las rocas que conforman a la secuencia de plataforma son predominantemente calizas y en menor proporción, sobre todo a la base de la secuencia, areniscas de cuarzo (cuarcitas). Por tal motivo, se describen dos muestras representativas de los niveles carbonatados, mismas que se etiquetaron e identificaron con las claves de campo M-19 y M-42 recolectadas en afloramientos localizados dentro de las coordenadas UTM: (X: 0658817; Y: 3183790; Z: 276 y X; 0657800, Y; 3184410 y Z; 823 m.s.n.m.) respectivamente, las cuales presentan megascópicamente una textura de grano muy fino, constituida por arenas calcáreas con tonalidades que varían de gris claro a oscuro, donde la muestra M-19, presenta impregnaciones de pirita, mientras que la roca M-42, presenta estructuras de aspecto "Box Works" que posiblemente hayan dejado impresos sulfuros de fierro, cuyos espacios fueron rellenados o reemplazados por óxidos de fierro. Otras estructuras que presentan ambas muestras son vetillas menores a 1.5 mm de espesor que se desplazan en todas direcciones y cuyos espacios están rellenos por calcita.

Al microscopio estas muestras presentan una textura de grano muy fino constituido entre un 100 a 95 % de microcristales de calcita, donde la muestra M-19, presenta la exposición de cristales oscuros cúbicos aproximadamente menores a un milímetro que corresponden a impregnaciones localizadas de sulfuros de fierro (pirita). Cabe mencionar que ambas láminas contienen microvetillas con un espesor menor a 0.5 mm, distribuidas en toda la roca, mismas que son rellenadas por cristales de grano medio a fino del mineral calcita (Fig.5)

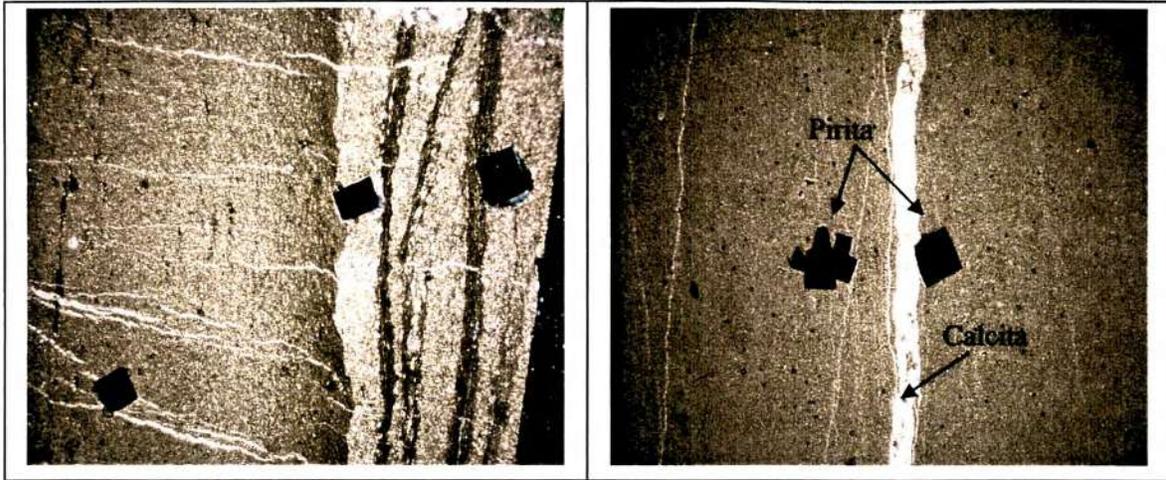


Figura 5.- (Lámina M-19; objetivo 4x; vista 3mm.),
Presencia de sulfuros de hierro (pirita), embebidos en una matriz calcárea y presencia de microvetillas
rellenas por microcristales de calcita.

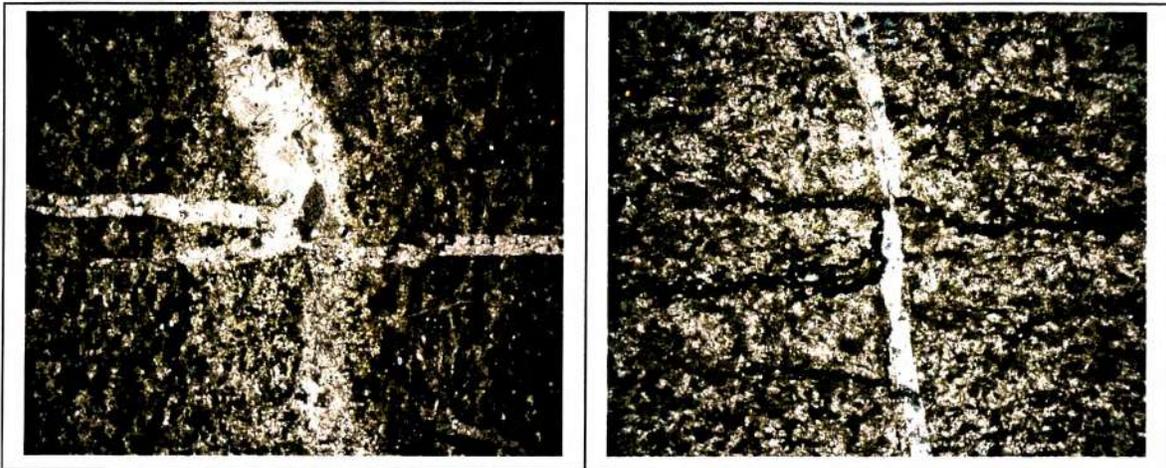


Figura 6.- (Lámina M-42; objetivo 4x; vista 3mm.),
Sedimento arenáceo-calcáreo y presencia de microvetillas rellenas por microcristales de calcita

a.2).- Formación Mina México

Petrogénesis

La unidad litológica que predomina en el área de estudio, por la extensión de sus afloramientos y continuidad, corresponde a una secuencia sedimentaria detrítica turbidítica y siliciclástica denominada informalmente Formación "Mina México", misma que se encuentra sobreyaciendo concordante y transicionalmente a los estratos de caliza del Pérmico Inferior, que conforman la parte superior de la plataforma carbonatada anteriormente descrita.

De acuerdo con esta relación estratigráfica, se ha interpretado por algunos autores que los sedimentos turbidíticos de la Formación Mina México fueron depositados en cuencas tipo foredeep o antearco, durante el Pérmico Temprano-Medio, y que se desarrollaron sobre la plataforma carbonatada paleozoica a consecuencia de la colisión entre los continentes de Gondwana y Laurentia.

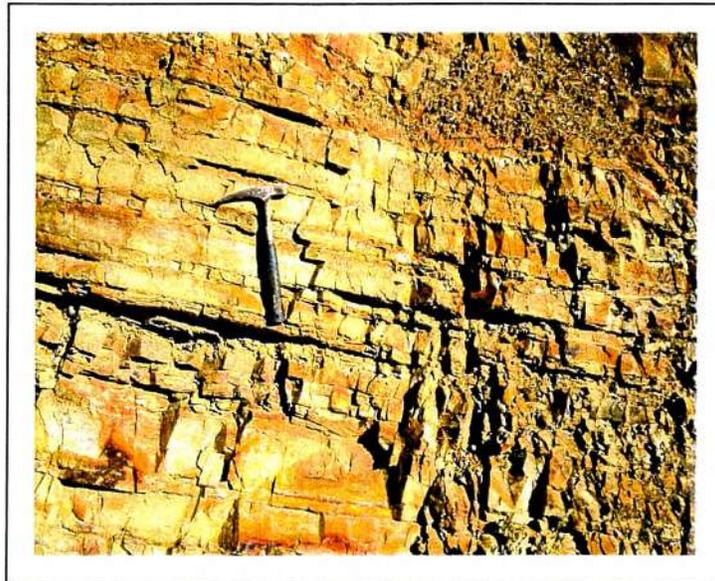


Figura 7.- UTM (X: 0656230; Y: 3187516; Z: 842 m.s.n.m)
Afloramiento de la F. Mina México cuyos estratos se presentan muy oxidados con una actitud NE 60° SW y echado al 15° NW

Litología, Estructuras, Espesores y Fauna Fósil

Litológicamente la Formación Mina México es una secuencia sedimentaria detrítica turbidítica, depositada en un ambiente de transición cuyos sedimentos se intercalan homogénea y uniformemente, constituyendo capas de estratificación fina a media, con espesores desde unos pocos centímetros hasta métricos y niveles de estratificación laminar, con espesor menor a un centímetro. La depositación de estos sedimentos siliciclásticos turbidíticos da lugar a la formación de estratos de areniscas de cuarzo, de color gris claro y verdoso a café claro, de granulometría media a fina, con intercalaciones de menor espesor de lutita, argilita y lodolita, existiendo la presencia de algunos niveles turbidíticos calcáreos (calcarenitas) o grainstone bioclásticos (fig.9-10), que se caracterizan por presentar fósiles representados por fusulinidos, crinoides y briozoarios que han sido derivados y transportados desde la plataforma. La presencia de fósiles trazas distintivos, del tipo de *Lophoctenium*, *Scalarituba*, *Nereites*, *Cosmorhaphe*, (fig.13-15) son indicativos de una mayor profundidad de depósito de los sedimentos de la Formación Mina México, en comparación de la profundidad atribuida al depósito de los sedimentos de la plataforma.

Estructuralmente esta secuencia presenta una deformación plástica que afecta con mayor intensidad a los niveles con predominio de estratos de granulometría muy fina y arcillosa, sobre los que se han desarrollado un conjunto de pliegues de variada magnitud y extensión. Por su parte los niveles de granulometría más gruesa y de carácter cuarcítico, tienden a desarrollar un fracturamiento de dimensiones variables y que en ocasiones son estructuras favorables para la circulación de fluidos hidrotermales y la posibilidad de generar yacimientos minerales de tipo vetiforme o diseminado. Por lo general, es frecuente observar la presencia de zonas de alteración y de anomalías de color dentro de esta secuencia, en las que es evidente la combinación de una fuerte oxidación, producto de la alteración-lixiviación de sulfuros de fierro, y una silicificación de grado variable.

Esta secuencia no fue medida, por lo que el espesor real se desconoce; sin embargo, analizando las diferencias de altura y echados predominantes, se estima aproximadamente un rango que oscila entre los 400 y 600 m.



Figura 8.- UTM (X: 0656230; Y: 3187516; Z: 842 m.s.n.m)
Afloramiento de areniscas con evidente oxidación



Figura 9.- Afloramiento turbidítico o grainstone bioclástico
dentro de la Formación Mina México

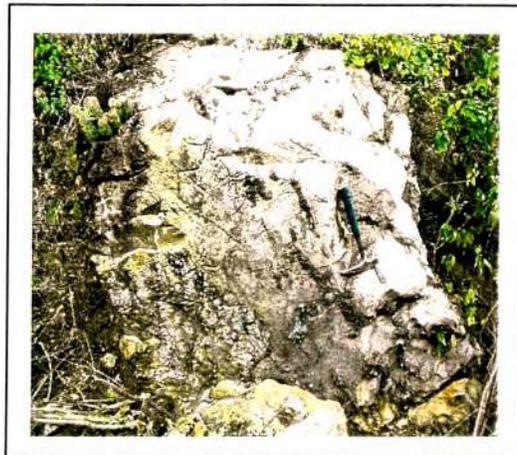


Figura 10.- Grainstone bioclástico



Figura 11.- UTM (X: 0659870; Y: 3185846; Z: 862 m.s.n.m)
Nivel de calcarenita con actitud, NW 10° SE; 30° SW



Figura 12.- UTM (X: 0656495; Y: 3183369; Z: 842 m.s.n.m)
Nivel de arenisca y lutita estructuralmente plegadas

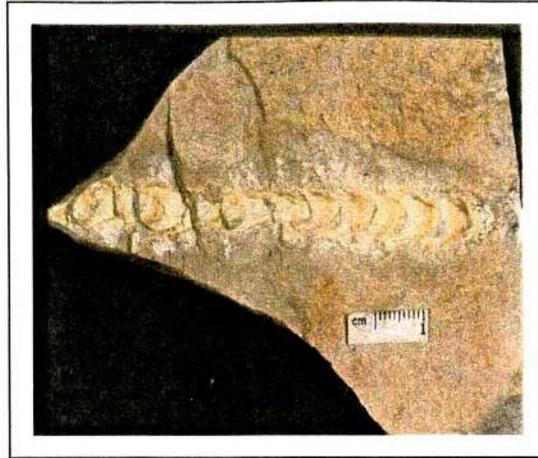


Figura 13.- Ejemplar de fósil traza denominado como "Scalarituba"



Figura 14.- Ejemplar de fósil traza denominado como "Lophoctenium"



Figura 15.- Ejemplar de fósil traza denominado como "Cosmorhaphé"

Petrología y Petrografía

A continuación "Mina México", será descrita en base a muestras representativas que fueron etiquetadas con las claves de campo M-44 y M-45, recolectadas dentro de una potente secuencia que aflora en la porción central del área, localizadas geográficamente dentro de las coordenadas UTM; (X: 0657935, Y: 3184558, y Z: 848 m.s.n.m.) y (X: 0658124, Y: 3184699, y Z: 899 m.s.n.m.) respectivamente.

Las muestras recolectadas y aquí descritas, presentan capas con espesores de aproximadamente 1 y 2 cm. y láminas menores a 1 cm., cuyos componentes son partículas del tamaño de arenas de grano fino a muy fino, con tonalidades de café claro a oscuro, intercaladas con material arcilloso de coloración gris oscura y negra, representadas por estratos delgados de lutita y ocasionalmente argilita, constituyendo así la principal litología, rítmica y repetida, que es la estratificación misma, con algunas variaciones esporádicas en donde se interrumpe la homogeneidad y se presenta una estratificación cruzada lo que nos evidencia la actividad que tenían las aguas marinas debido a los cambios de corriente.

De acuerdo con lo observado al microscopio petrográfico, se determina que la mayoría de los sedimentos turbidíticos de la Formación Mina México se caracterizan por mostrar una mineralogía representada por microcristales de cuarzo y feldespato, de probable origen ígneo, que muestran formas que van de angulosas a subredondeadas, con tamaños menores a 0.05 mm, bien clasificado; así como también, fragmentos líticos de aparentes rocas volcánicas y silíceas, con rangos de tamaño menores a 0.5 mm. (fig.17). Estos componentes se encuentran embebidos dentro de una matriz que, en lo general, tiene un carácter textural fino y constituida por material arcillo-clorítico y microhojuelas de biotita y sericita, acompañada en ocasiones por abundante materia carbonosa y óxidos de hierro, dispuestos en franjas o bandas. Esta matriz indica una madurez textural que varía de inmadura a submadura. Cabe mencionar que ambas muestras observadas presentan un vetilleo que es rellenado por cristales de calcita, y que la muestra M-44 presenta un evidente microfalloamiento. (fig.16). La matriz arcillosa ocasionalmente presenta un aspecto rojizo quizás originado por la oxidación de los minerales opacos presentes que parecen corresponder con la presencia de sulfuros de hierro, particularmente pirita.

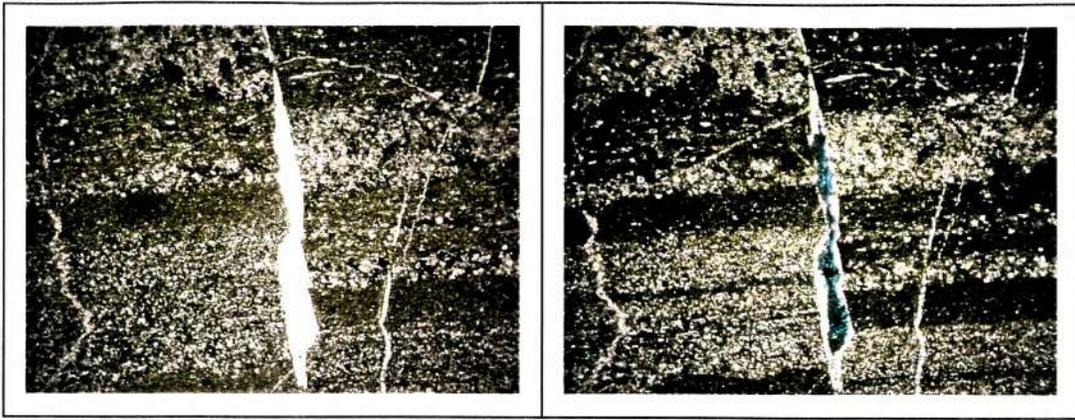


Figura 16.- (Lámina M-44; objetivo 4x; vista 3mm.),
Intercalación de niveles arenaceos y arcillosos microfallados

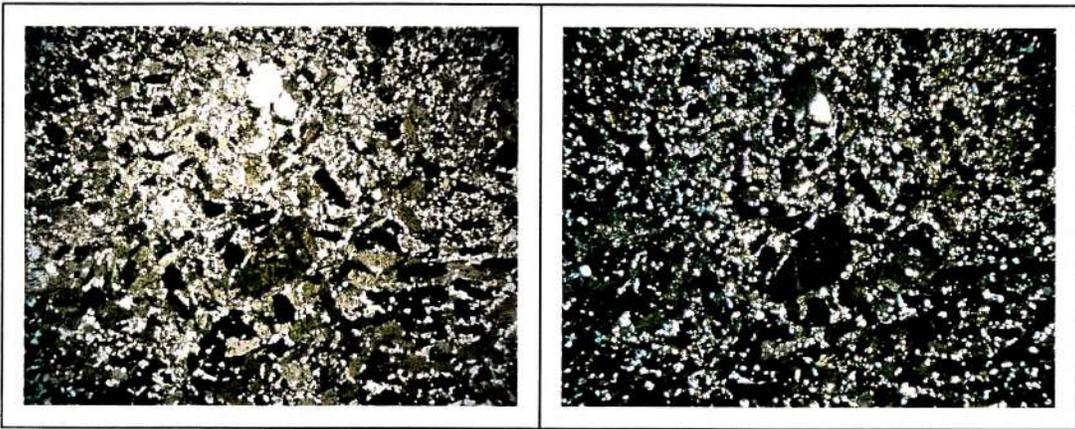


Figura 17.- (Lámina M-45; objetivo 4x; vista 3mm.),
Fragmentos líticos embebidos en una matriz areno-arcillosa

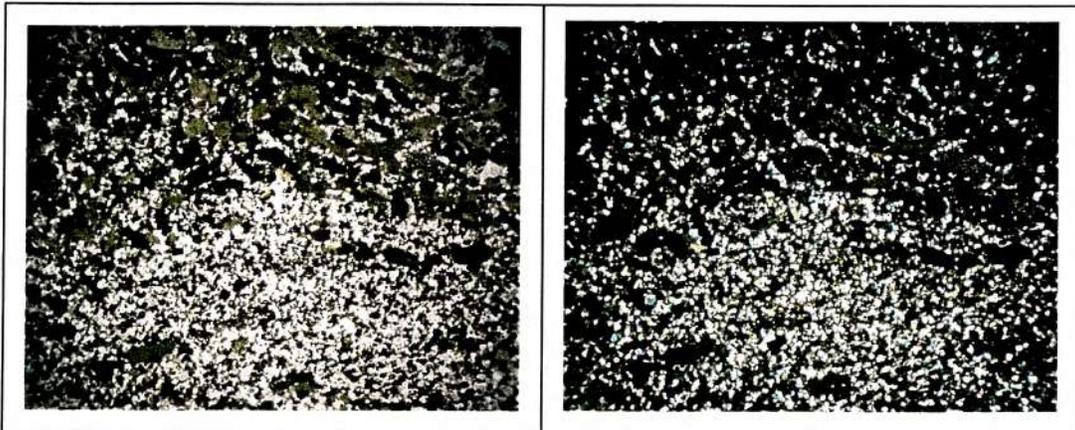


Figura 18.- (Lámina M-45; objetivo 4x; vista 3mm.),
Niveles areno-arcillosos microplegados

a.3).- Secuencia Paleozoica Alóctona de la Región

Petrogénesis

El termino “Alóctono” se utiliza para describir a un conjunto de afloramientos paleozoicos eugeoclinales, depositados en ambientes marinos de cuencas profundas, reportados por varios investigadores en las localidades de Sonora central, particularmente en los alrededores de la Mina de Barita de Mazatán y la sierra El Aliso, al noroeste de Tónichi. Recientemente se ha reportado la presencia de litologías similares en la porción sur y sureste de la Carta Bacanora, en particular en los alrededores del rancho San Marcos (Poole y Amaya-Martínez, 2006, comunicación personal). Dentro del área de estudio esta secuencia se manifiesta como potentes afloramientos conformados por estratos de lutita carbonosa, hacia la base y una interestratificación de estratos delgados de lutita y cuarcita, hacia la parte media-superior. A nivel regional, debido a los efectos combinados de intemperismo y erosión, la mayoría de estos afloramientos muestran una actitud de remanentes aislados que cubren tectónicamente a las secuencias paleozoicas siliciclásticas de la Formación Mina México y en otras ocasiones a las carbonatadas de plataforma

Petrogenéticamente se interpreta que la secuencia alóctona o eugeoclinal de Sonora central fue depositada en un ambiente de cuenca marina profunda durante el Paleozoico y particularmente durante el Ordovícico inferior al Permico medio, misma que fue transportada debido a la actividad tectónica de una zona de subducción que condujo a su emplazamiento, quizá durante el Permico Tardío al Triasico Medio durante la denominada Orogenia Sonora (Poole y Madrid, 1988; Stewart et al., 1990; Poole et al., 1995).

Dentro del área de estudio actualmente, la secuencia Aloctona (eugeoclinal) se encuentra cabalgando a la secuencia de plataforma (miogeoclinal) y Mina México. Se ha definido que el contacto entre los estratos eugeoclinales y miogeoclinales debe corresponder con un limite por falla de desplazamiento a rumbo (Silver y Anderson; 1974) así como también que el limite entre ambas secuencias generalmente ha sido considerado ser una cabalgadura relacionada con la Orogenia Sonora (Poole et al., 1995; Poole y Perry, 1997).

Desde un punto de vista tectónico, la secuencia eugeoclinal se podría separar en dos grandes unidades estrato-litológicas, siendo la primera una secuencia pre-orogénica, asignada a una edad que va desde el ordovícico, hasta el misisipico medio, con un espesor estimado en el rango de 500 a 900 metros. Mientras que la segunda unidad correspondería a una secuencia sin-orogénica, con una edad desde el misisipico tardío hasta el permico medio, que corresponde a la cima hasta hoy identificada del aloctono de Sonora con un espesor estimado que debe ser superior a los 1000 metros. (Poole et al., 2005).

Litología, Estructuras, Espesores y Fauna Fósil

Litologicamente la secuencia aloctona que aflora en la región de estudio exhibe hacia la base una unidad constituida por potentes capas de coloración negra, de composición arcillosa predominantemente lutitas que en ocasiones se presentan con un cierto grado en contenido orgánico, que permite clasificarlas como lutitas carbonosas, también cabe mencionar que ocasionalmente existen variaciones esporádicas donde se presentan argilitas intercaladas. Mientras que hacia la cima, esta secuencia presenta una unidad constituida por grandes y potentes paquetes de areniscas compuestas por porcentajes mayores al 90% de cuarzo, lo que nos permite clasificarlas como cuarcitas u ortocuarcitas que presentan tonalidades que varían entre blancas y lilas, dependiendo el grado de intemperismo que las afecte, mientras que las tonalidades rojizas las imprime el grado de oxidación que las envuelve, atribuido a la alteración de minerales, como sulfuros de fierro, mismos que al alterarse se oxidan dando origen a óxidos de fierro como hematita y limolita.

Estructuralmente esta secuencia presenta deformaciones tectónicas tanto compresivas como distensivas que generan plegamiento y fallamiento, estos fenómenos tectónicos afectan a las unidades mencionadas anteriormente, de distinta forma, es decir que la fuerza que ejerce la deformación compresiva genera plegamiento en la unidad arcillosa mientras que la unidad compuesta por cuarcitas se fractura intensamente, debido a que es una unidad muy incompetente. La deformación distensiva afecta ambas unidades, produciéndoles fallamiento y facturación, exponiéndola con mayor y menor intensidad, dependiendo la unidad estratigráfica afectada.

El espesor que presenta la secuencia alóctona dentro de la región de estudio es incierto, debido a que se presenta en forma de remanentes aislados que varían en dimensiones, pero se podría inferir un espesor total aproximado, en base a los espesores que presentan los distintos afloramientos, mismos que varían entre los 100 y 380 metros de altura.

La secuencia alóctona de la región de estudio presenta en su base un predominio de estratos de lutita carbonosa, con un característico contenido fósil representado por graptolitos de edad Paleozoica, particularmente del Ordovícico, mismo que es de suma importancia, debido a que la presencia de esta fauna es uno de los factores y criterios fundamentales que permiten diferenciar y en su caso, delimitar la litología de la Formación Mina México y la secuencia eugeoclinal o alóctona de la región. Es pertinente mencionar que esta fauna se presenta con gran abundancia en ciertos niveles localizados de la unidad arcillosa anteriormente descrita.



Figura 19.- Vista panorámica de la secuencia alóctona de la región donde se muestra una potente unidad constituida por estratos de cuarcita, muy fracturadas y oxidadas.

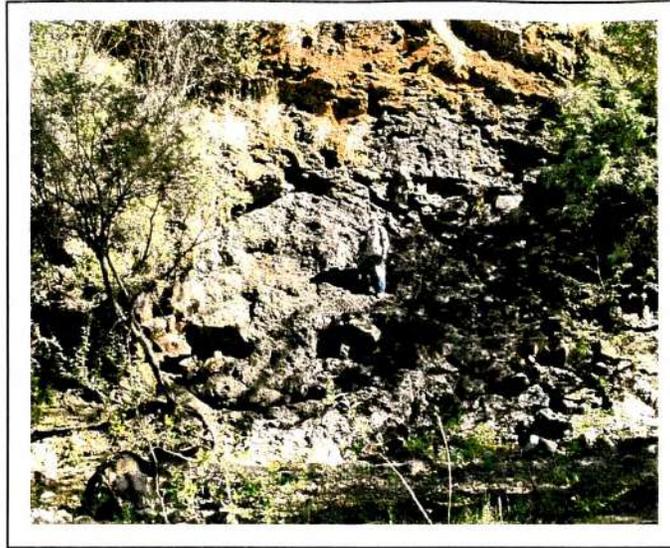


Figura 20.- UTM (X: 0656862; Y: 3184694; Z: 780 m.s.n.m)
Afloramiento de la secuencia alóctona, donde se presentan estratos de lutita carbonosa en la base y cuarcita hacia la cima con una actitud, NW 15° SE y echado de 55° NE donde se encontró gran contenido fósil del tipo de graptolitos.

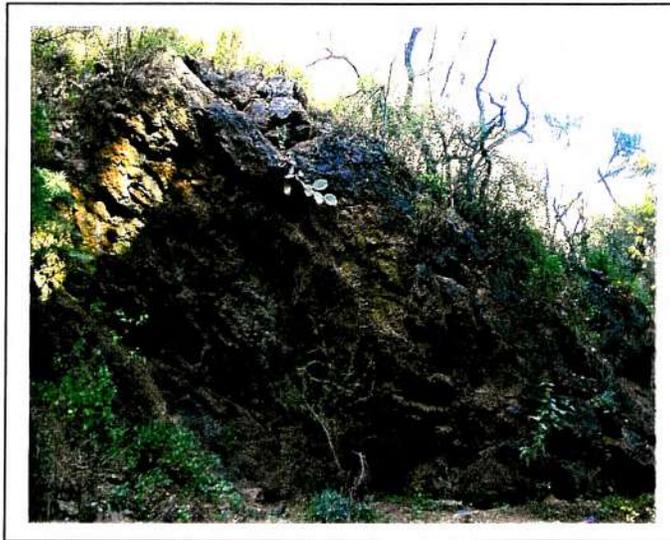


Figura 21.- UTM (X: 0656107; Y: 3184665; Z: 778 m.s.n.m)
Afloramiento de estratos de lutita carbonosa con actitud, NE 20° SW, echado de 30° SE donde se encontró contenido fósil del tipo graptolitos

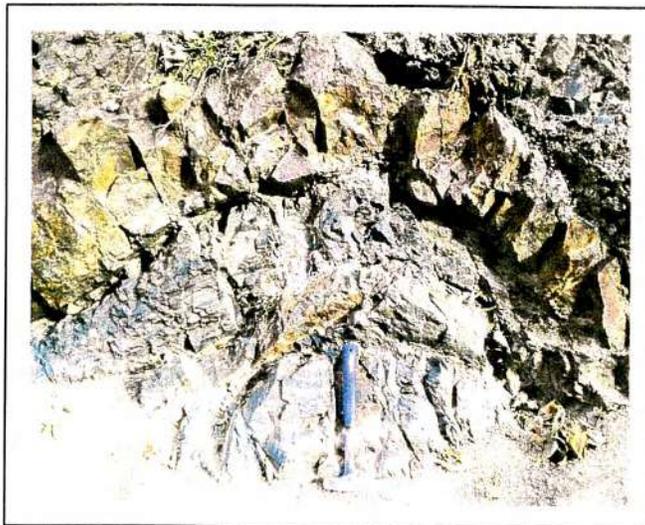


Figura 22.- UTM (X: 0656049; Y: 3184577; Z: 781 m.s.n.m)
Afloramiento de lutitas y cuarzo-areniscas plegadas
dentro de la secuencia alóctona



Figura 23.- UTM (X: 0655757; Y: 3184310; Z: 806 m.s.n.m)
Afloramiento de cuarcitas plegadas con intercalación
de niveles de lutita carbonosa



Figura 24.- UTM (X: 0655144; Y: 3183936; Z: 839 m.s.n.m)
Afloramiento de lutitas carbonosas con actitud, NW 22° SE; 34° NE
con gran contenido fósil del tipo graptolito.

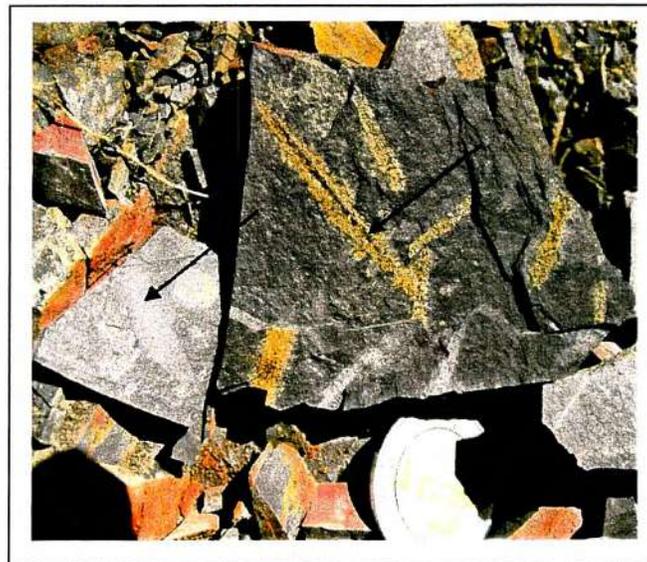


Figura 25.- UTM (X: 0656862; Y: 3184694; Z: 780 m.s.n.m)
Afloramiento de lutitas con gran contenido fósil del tipo graptolito

Petrología y Petrografía

La secuencia paleozoica alóctona de la región, como se mencionó con anterioridad, está constituida por dos unidades litoestratigráficas, mismas que se describen a continuación, en base a muestras recolectadas en el área de estudio y que conforman los afloramientos litológicos expuestos en dicha región.

Las primeras muestras aquí descritas corresponden a las rocas etiquetadas con las claves de campo M-37 y M-38, cuyos afloramientos se localizan dentro de las coordenadas UTM (X: 0658535; Y: 3185190; Z: 1166 y X: 0658766; Y: 3185081; Z: 1077) respectivamente, mismas que son representativas de la unidad constituida por areniscas de cuarzo o cuarcitas, las cuales corresponden a la parte superior de la secuencia alóctona y que presentan una textura granular cuyos tamaños varían de finos a semifinos, compuestos por cristales de cuarzo en un porcentaje mayor al 90% embebidos en una matriz arenosa. Estas rocas regularmente presentan tonalidades que varían de blancas a lilas, pero en ocasiones exhiben una coloración rojiza debido a la oxidación, producto de la oxidación de sulfuros y óxidos de hierro generados durante una etapa de hidrotermalismo en donde los fluidos mineralizantes circularon por las estructuras de la roca, principalmente sobre fracturas localizadas en todas direcciones, que pueden llegar a constituir yacimientos minerales, ya sea vetiformes o en zonas de stock-work.

Las rocas representativas de la parte inferior del alóctono, corresponden a las muestras recolectadas y etiquetadas con las claves de campo M-34 y M-48, cuyos afloramientos se encuentran dentro de las coordenadas UTM (X: 0659008; Y: 3184553; Z: 914 y X: 0656862; Y: 3184694; Z: 780), mismas que corresponden a rocas arcillosas representadas por lutitas negras carbonosas, las cuales presentan estructuras características del régimen frágil, representadas por microfallas y microfracturas, paralelas y transversales a la estratificación. Es en este tipo de litología en donde se por lo general se pueden encontrar la presencia de graptolitos.

El estudio petrográfico de las muestras M-34 y M-48, indica que están constituidas por material de granulometría muy fina constituida por cuarzo y minerales opacos con formas que van de redondeadas a subredondeadas y debido a la gran presencia de matriz arcillosa en la roca se puede decir que la madurez textural es inmadura. En la muestra M-48 se observó el desarrollo de un microplegamiento y microfallamiento, formando franjas y bandas oscuras que contienen una mayor concentración de minerales opacos.

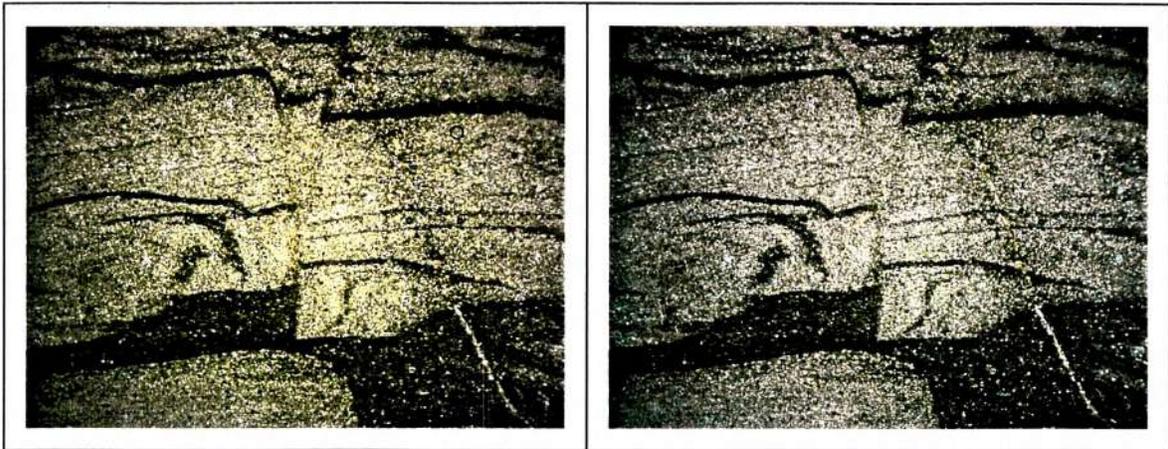


Figura 26.- (Lámina M-48; objetivo 4x; vista 3mm.),
Intercalación de niveles arenáceos y arcillosos microfallados y microplegados

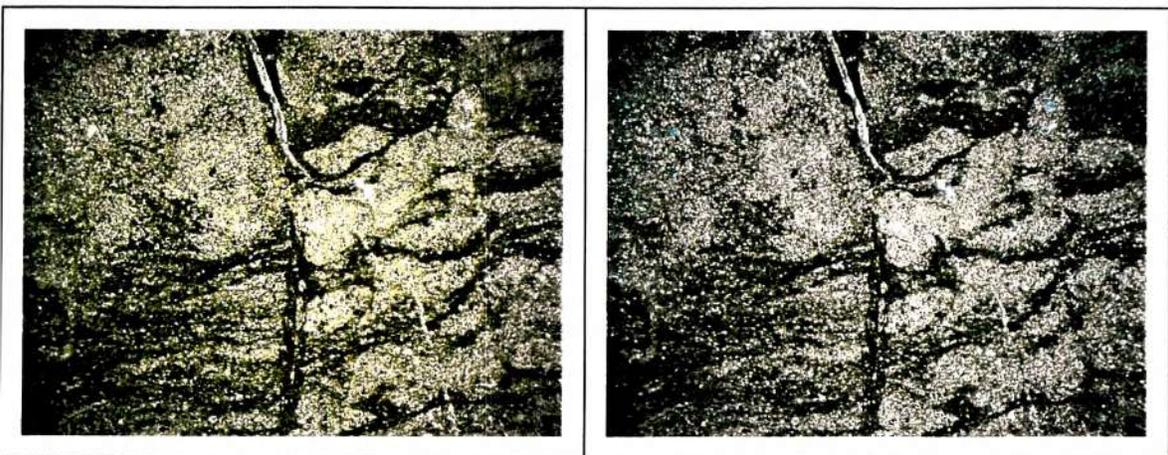


Figura 27.- (Lámina M-34; objetivo 4x; vista 3mm.),
Niveles arenáceos-arcillosos semiplegados

a.4).- Formación Báucarit

Petrogénesis

El término Formación Báucarit, tal como se definió en su localidad tipo, corresponde a una secuencia sedimentaria continental detrítica, constituida por un conglomerado polimíctico, mismo que ocasionalmente presenta intercalaciones de derrames volcánicos de composición andesítica y basáltica, con una proporción menor de derrames de composición félsica. La depositación de esta secuencia es producto del intemperismo, erosión y transporte de material derivado de rocas preexistentes.

El conglomerado de la Formación Baucarit está constituido predominantemente por clastos, de tamaño variable y en su mayoría de origen volcánico, lo que constituye un factor importante que refleja la historia petrogenética de esta secuencia, debido a que sugiere que al inicio de su formación el ambiente geológico que predominaba era volcánico, producto de los diferentes eventos volcánicos que se han desarrollado en esta región, tanto de edad Mesozoica, como Terciaria. La presencia de derrames volcánicos intercalados con este conglomerado, refleja un proceso interactuante sedimentario y volcánico, en el lapso comprendido entre 26 y 10-12 Ma.

Litología, Estructuras y Espesores

Desde un punto de vista litológico, la Formación Báucarit corresponde a un conglomerado polimíctico, con tonalidades que varían entre café claro y gris oscuro, mismo que contiene clastos redondeados, subredondeados y subangulares predominantemente de origen volcánico, con dimensiones variables que oscilan entre los 5 y 60 cm., distribuidos irregularmente dentro de una matriz areno-arcillosa de granulometría que va de fina a gruesa. En lo general es una unidad bien consolidada, salvo los niveles en donde existe un predominio de material arcilloso y arenáceo fino.

En algunas zonas localizadas de la región esta Formación Báucarit contiene una intercalación de derrames volcánicos de composición andesítica-basáltica, sobre todo en sus niveles inferior y medio.

Estructuralmente representa el relleno sedimentario de cuencas o fosas tectónicas conocidas como grabens o bajos estructurales. Esta secuencia presenta una estratificación bien definida, originada por la distribución y concentración de los fragmentos, desarrollando una orientación preferente NW-SE y NE-SW con echados de intensidad variable. La actitud actual de este conglomerado indica un evidente basculamiento hacia el NW y NE, con el desarrollo de un sistema posterior de fallas normales y fracturas.

No se midieron secciones completas de esta unidad; sin embargo y de acuerdo con las diferencias topográficas, se considera que los espesores estimados son en los rangos entre 20 y 260 m, tal como se observa en el Picacho de San Marcos localizado en la porción centro-sur de la región.

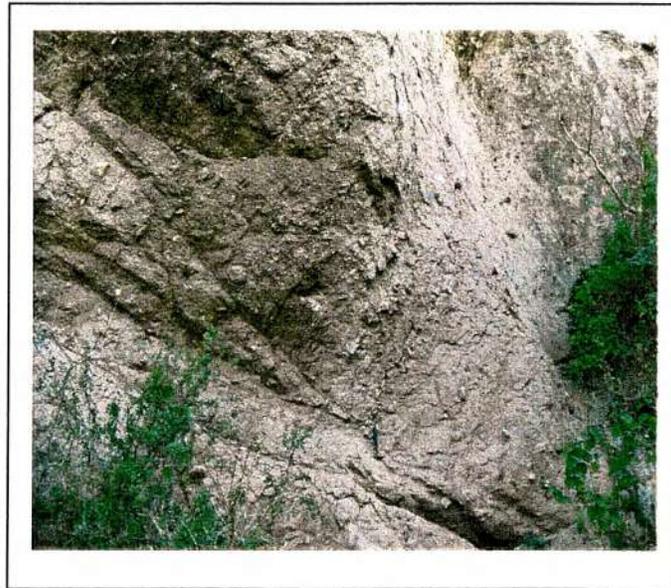


Figura 28.- UTM (X: 0657523; Y: 3184133; Z: 797 m.s.n.m)
Potente afloramiento de la Formación Baucarit que describe una actitud NE 50° SW; 65° NW y un espesor de entre 15 y 20 m.



Figura 29.- UTM (X: 0656117; Y: 3184230; Z: 798 m.s.n.m)
Conglomerado polimítico con actitud NW 20° SE; 30° NE



Figura 30.- UTM (X: 0656500; Y: 3183008)
Estratos conglomeraticos semi-horizontales

Figura 31.- UTM (X: 0656697; Y: 318432)
Afloramiento de Formación Baucarit
con un basculamiento NW 47° SE; 76° NE

a.5).- Deposito Aluvial

Petrogénesis

Corresponde a la unidad litológica más joven originada por la sedimentación de material producto de la erosión e intemperismo de rocas preexistentes, transportado y depositado predominantemente sobre los cauces del río Bacanora, así como también en los principales arroyos tributarios del área, siendo el principal el arroyo San Marcos. Esta unidad se encuentra cubriendo discordantemente a las rocas más antiguas y se le asigna una edad del Cuaternario.

Litología, Estructuras y Espesores

Este depósito aluvial está constituido por sedimentos de composición variable, cuyos tamaños oscilan de arcillas a suelos y gravas, desarrollando morfologías que van de redondeadas a subredondeadas. Las características de composición, tamaño y morfología varían en función de la cercanía de la fuente de origen.

Estructuralmente esta unidad se encuentra depositada discordantemente sobre rocas preexistentes o más antiguas y se presenta en formas de abanicos aluviales, con características de terrazas, canales y algunas zonas con meandros, con espesores que varían de entre 50 cm, hasta 3 m.

b).- Rocas Ígneas y volcanosedimentarias

Dentro del área de estudio existen varios cuerpos plutónicos que se encuentran aflorando en las porciones centro-sur, oeste-central y centro-norte. Este conjunto de rocas intrusivas presentan diferencias contrastantes en su textura, color y composición, lo que permite separarlos en dos variedades principales: granito y granodiorita, habiéndose desarrollado en ambos el emplazamiento de diques aplíticos y pegmatíticos. Un conjunto menor de rocas intrusivas indican una composición cuarzomonzonítica y diorítica.

b.1).- Rocas Plutónicas y Petrogénesis

Rocas Graníticas

El origen y emplazamiento de las rocas graníticas encontradas dentro de la región de estudio, están asociadas y son producto de la Orogenia Larámide, por lo que se infiere un rango de edades correspondientes al Cretácico Tardío y Terciario (Eoceno-Paleoceno), que de acuerdo con la información radiométrica obtenida en rocas similares en áreas vecinas, indican rangos entre 40 y 90 Ma.

El término de Orogenia Larámide fue utilizado originalmente por Berg (1962) para identificar y reconocer un periodo de deformación compresiva, misma que se comportaba con una dirección NE-SW, en la porción oriental de las Montañas Rocallosas, dentro de los estados de Wyoming y Colorado, USA. En la localidad tipo en donde se identificó este evento de deformación, se le consideró como una deformación de cobertura gruesa que se desarrolló dentro de un lapso de tiempo comprendido entre el Cretácico Tardío y el Eoceno. Este evento orogénico estuvo caracterizado por cambios mayores que generaron un intenso magmatismo, metamorfismo y sedimentación. Millar et al., (1992).

Petrología y petrografía

Granitos:

Petrología

Las rocas clasificadas megascópicamente como granitos afloran principalmente en la porción centro-norte y centro-sur del área de estudio, donde fueron recolectadas una cantidad considerable de muestras, de las cuales se eligieron dos ejemplares etiquetados con la clave de campo M-2 y M-4, ubicados dentro de las coordenadas UTM, (X: 0656797; Y: 3186238; Z: 741 y X: 0658799; Y: 3181342; Z: 881) respectivamente, mismas que son de color rosa claro y presentan una textura fanerítica de grano fino a medio, caracterizadas por un mosaico holocristalino constituido por feldespato potásico, asociado con plagioclasa y cuarzo, con una notable ausencia de ferromagnesianos, por lo que se consideran rocas leucócratas o leucogranitos.

Petrografía

Los estudios petrográficos muestran que estas rocas graníticas están constituidas predominantemente por feldespato potásico (ortoclasa y microclina), cuarzo y plagioclasa sódica (andesina-oligoclasa), con un porcentaje aproximado de 5% en biotita y en menor proporción hornblenda y epidota, esta última producto de alteración y reemplazamiento sobre plagioclasa. Los minerales accesorios comúnmente presentes son esfena, apatito y minerales opacos (óxidos o sulfuros).

La textura mineral se cataloga con un carácter holocristalino, hipidiomórfica, con una tendencia equigranular, ligeramente porfídica, donde ocasionalmente la intercristalización de feldespato y plagioclasa desarrollan una textura poiquilítica, caracterizada por la presencia de pequeños cristales de plagioclasa (chadacrist), incluidos dentro de fenocristales (oikocrist) de feldespato potásico, siendo común también observar el desarrollo incipiente de rasgos texturales micropertíticos.

El tamaño promedio de los cristales se ubica en el rango de entre .05 y 2 mm, con la presencia ocasional de algunos fenocristales aislados que alcanzan tallas hasta de 3 mm y formas que varían entre euhedrales y subhedrales.

La alteración que manifiestan los minerales primarios es variable, pero de baja a mediana intensidad, estando representada por la generación de microcristales de sericita que reemplaza principalmente a cristales de plagioclasa y en menor proporción a feldespato. En algunos casos de una alteración más intensa, esta fracción de feldespato pueden llegar a estar destruidos y reemplazados completamente por esta alteración. Otra alteración presente es el reemplazamiento parcial del bajo porcentaje de minerales ferromagnesianos (biotita principalmente), transformados al mineral clorita y que se observó en zonas muy localizadas dentro de las secciones delgadas.

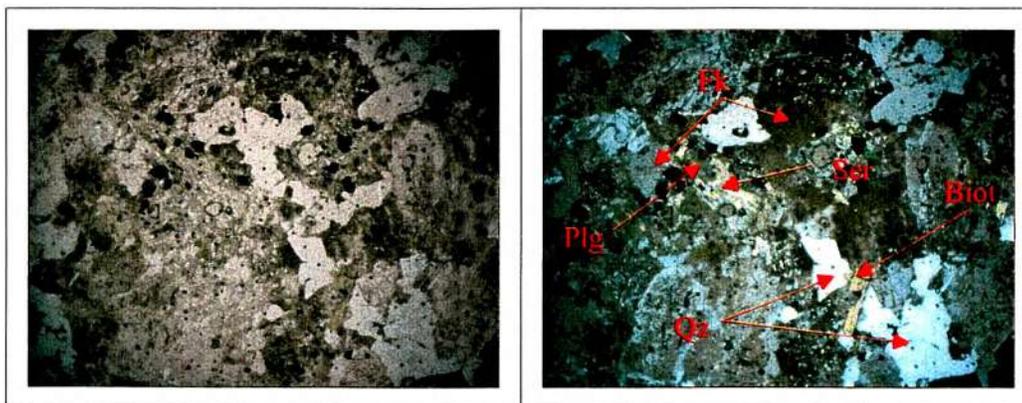


Figura 32.- (Lámina M-4, objetivo 4X, vista 3mm.)

Qz: Cuarzo, Fk: Feldespato potásico, Plg: Plagioclasa, Ser: Sericita

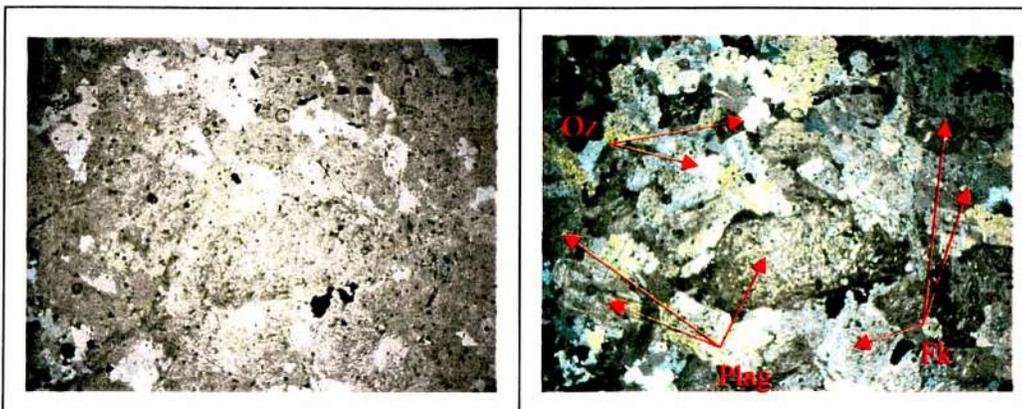


Figura 33.- (Lámina M-2, objetivo 4X, vista 3mm.)

Qz: Cuarzo, Fk: Feldespato potásico, Plg: Plagioclasa

Granodiorita:

Petrología

En muestra de mano, estas rocas presentan una textura fanerítica de grano fino, con tonalidades que van de gris claro a oscuro. La mineralogía predominante se representa por plagioclasa, feldespato potásico, cuarzo y biotita, según la descripción de las rocas recolectadas dentro de los afloramientos de la porción centro-sur y centro-oeste del área de estudio, mismas que fueron etiquetadas con la clave de campo M-33 y M-40, localizadas dentro de las coordenadas UTM (X: 0658230; Y: 3181762; Z: 885 y X: 0655153; Y: 3184522; Z: 896), respectivamente.

Petrografía

La información obtenida al microscopio petrográfico muestran que estas rocas presentan una textura holocristalina, hipidiomórfica, de tendencia equigranular, definida por un mosaico cristalino de grano medio a fino, constituido por cristales prismáticos y euhedrales de plagioclasa, feldespato potasico >10%, cuarzo, biotita, hornblenda y minerales opacos, que muestran rangos de tamaño entre 0.05 y 1.5 mm; mientras que dentro de los minerales accesorios solo se pudo identificar el mineral esfena o titanita. En este tipo de rocas es común observar el desarrollo de un zoneamiento normal en la mayoría de los cristales de plagioclasa; así como también una textura poiquilítica representada por pequeños cristales de plagioclasa (chadacrist), embebidos dentro de un fenocristal de feldespato potasico (oikocrist).

La alteración predominante se representa por una sericitización que afecta principalmente a los cristales de plagioclasa y en menor proporción a feldespato potásico, ocasionalmente cubriéndolos tanto parcial como totalmente, debido a que se presenta de forma moderada a intensa.

Otras alteraciones presentes es la cloritización parcial que presentan cristales de biotita, con microgránulos de epidota asociados.

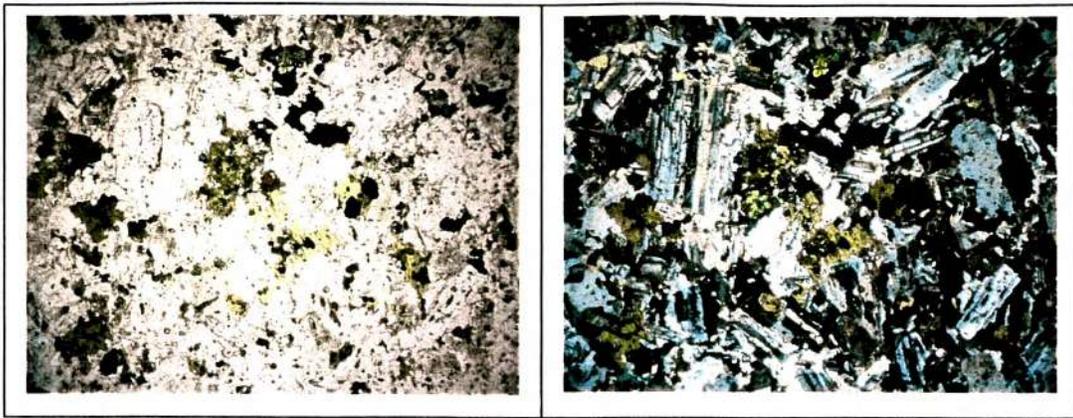


Figura 34.- (Lámina M-33, objetivo 4X, vista 3mm.)
Cuarzo, Plagioclasa, Feldespato Potásico, Biotita-Clorita

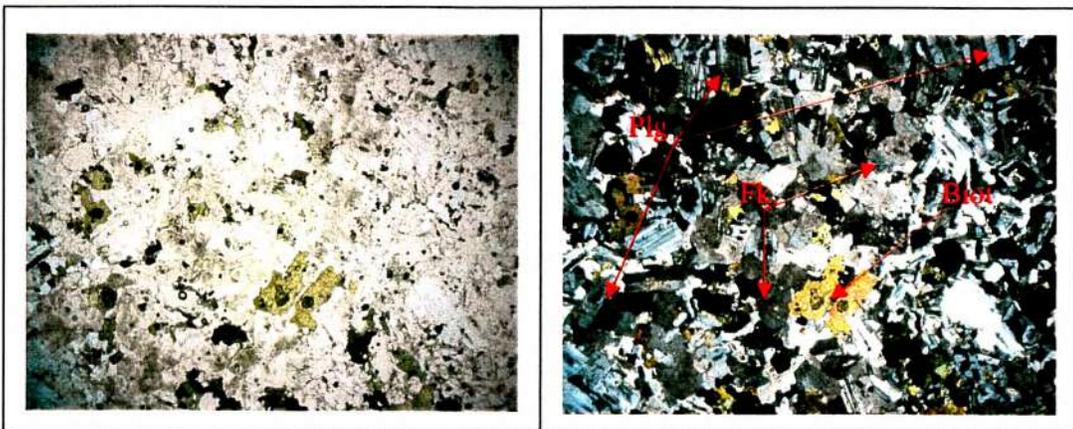


Figura 35.- (Lámina M-33, objetivo 4X, vista 3mm.)
Plg: Plagioclasa, Fk: Feldespato Potásico, Biot: Biotita

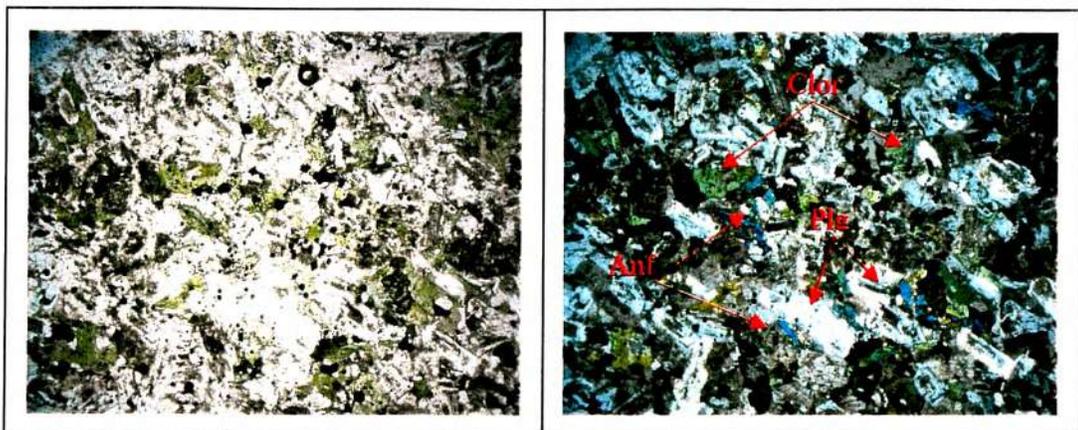


Figura 36.- (Lámina M-40, objetivo 4X, vista 3mm.)
Plg: Plagioclasa, Anf: Anfíbol, Clor: Clorita

Cuarzomonzonita:

Petrología

De acuerdo con sus características definidas a nivel de muestra de mano, este tipo de roca intrusiva presenta una textura fanerítica de grano fino, con coloración gris claro a oscuro, constituida por cristales de cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico y biotita, en base a la descripción de la muestra recolectada en la porción centro-sur del área de estudio, etiquetada con la clave de campo M-5, misma que se localiza dentro de las coordenadas UTM (X: 0656886; Y: 3181619; Z: 976).

Petrografía

El estudio petrográfico determina que la roca está constituida predominantemente por proporciones similares de plagioclasa y feldespato potásico, en porcentaje entre 35 y 25 % respectivamente, acompañados por cuarzo, biotita, hornblenda y minerales opacos.

La textura tiene un carácter holocristalino, hipidiomórfico, inequigranular y ligeramente porfídico, con rangos de tamaño entre .05 y 3 mm. con fenocristales hipidiomórficos de feldespato potásico y biotita con formas subredondeadas y tabulares respectivamente. Algunas porciones de las láminas muestran también la presencia de una textura poiquilítica, donde se observan pequeños cristales tabulares de plagioclasa (chadacrist), embebidos dentro de fenocristales de feldespato potásico (oikocrist); así como también el desarrollo incipiente de una textura micropertítica.

La principal alteración presente corresponde a una sericitización que afecta mayormente a los cristales de plagioclasa y en menor proporción a cristales de feldespato potásico, esta alteración afecta a la mineralogía de manera parcial y total, con una intensidad moderada.

Otra alteración presente es el reemplazamiento parcial de los cristales de biotita por el mineral clorita, y la aparición de epidota secundaria.

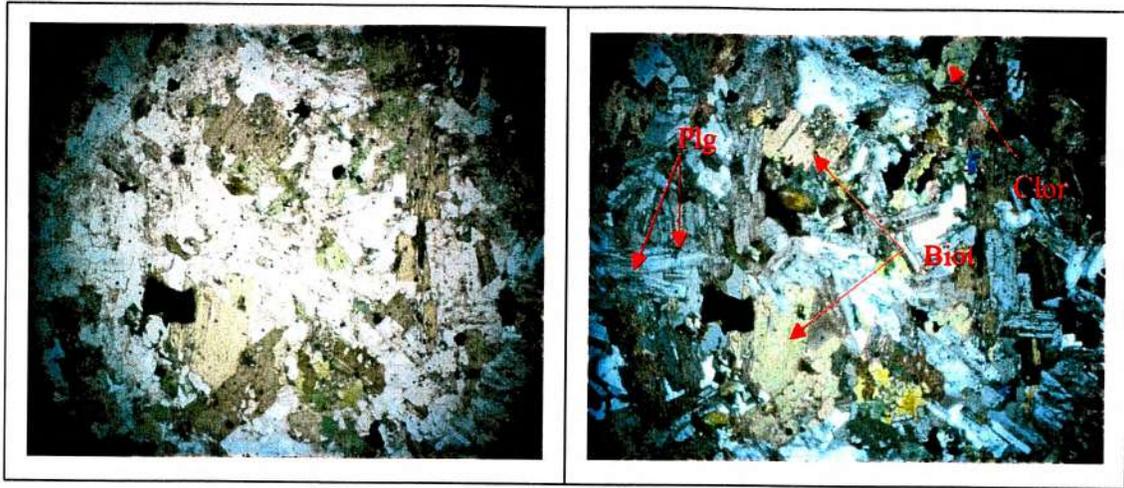


Figura 37.- (Lámina M-5, objetivo 4x, vista 3mm.)

Plg: Plagioclasa, Biot: Biotita, Clor; Clorita

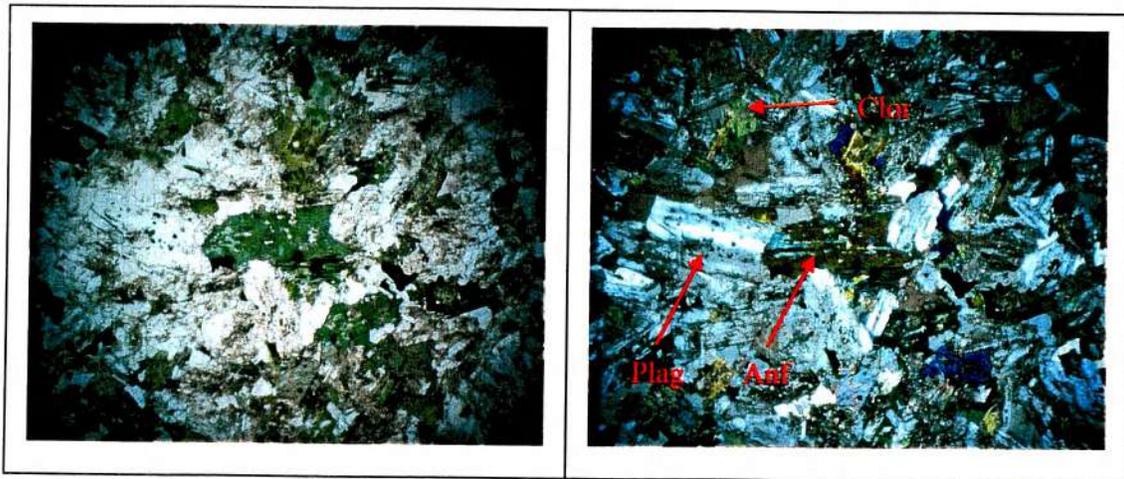


Figura 38.- (Lámina M-5, objetivo 4x, vista 3mm.)

Plg: Plagioclasa, Anf: Anfíbol, Clor: Clorita

Diorita:

Petrología

En muestra de mano esta variedad de roca intrusiva se caracteriza por una textura fanerítica de grano fino, donde se pueden apreciar principalmente cristales de plagioclasa y en menor proporción microcristales de biotita, en base a la descripción de la muestra recolectada en un afloramiento de la porción centro-sur del área de estudio, y etiquetada con la clave de campo M-32 localizada dentro de las coordenadas UTM (X: 0658526; Y: 3182184; Z: 903).

Petrografía

La información obtenida a nivel de microscopio muestra que la roca está constituida por una predominancia de cristales de plagioclasa y un porcentaje bajo (<10%) de feldespato potásico (microclina) y muy escaso cuarzo; existiendo como minerales accesorios, en porcentaje menor a 10%, microcristales de biotita, hornblenda y minerales opacos.

Texturalmente corresponde a un mosaico holocristalino, equigranular cuyos tamaños varían entre .05 y 1.5 mm, con algunos cristales aislados de plagioclasa de hasta 2.5 mm, cabe mencionar que existe la presencia de plagioclasa con un claro zoneamiento, con formas que van de automorfas a hipidiomorfas, subhedrales, tabulares, alargadas.

La principal alteración es una intensa sericitización que se encuentra afectando parcial y totalmente a la fracción de plagioclasa y feldespato, mientras que la biotita presenta una cloritización parcial. También existe la presencia de hornblenda y epidota como minerales secundarios.

Como observación final se podría añadir que en varias localidades esta roca muestra evidencias de los efectos de un intenso intemperismo que propicia la disgregación total, a material tipo arenáceo, de la mineralogía original



Figura 39.- (Lámina M-32, objetivo 4X, vista 3mm.)
Plagioclasa y minerales secundarios de alteración



Figura 40.- (Lámina M-32, objetivo 4X, vista 3mm.)
Plagioclasa y minerales secundarios de alteración

Aplitas y Pegmatitas

Aplitas:

Estas rocas se encuentran aflorando en zonas muy localizadas dentro de la región y en todos los casos, se emplazan en forma de diques intrusionando y cortando a las rocas graníticas y diques andesíticos. Presentan una textura aplítica-sacaroide, de grano muy fino con coloraciones claras, con espesores muy reducidos.

Pegmatitas:

Estas rocas, al igual que las aplitas, se manifiestan como diques intrusionando a las rocas graníticas de la región. Presentan una textura fanerítica de grano grueso, con una mineralogía similar a la de los leucogranitos, constituida por cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico y en menor proporción biotita.



Figura 41.- Dique pegmatítico intrusionando a granodiorita de grano fino a medio

b.2).- Rocas volcanosedimentarias (Formación Tarahumara)

Petrogénesis

El término Formación Tarahumara corresponde a una unidad volcanoclástica, cuya naturaleza litológica está constituida predominantemente por rocas efusivas de textura afanítica de composición andesita-dacita, mismas que presentan una intensa alteración hidrotermal. La edad de esta formación se considera en el rango del Cretácico Tardío - Terciario temprano y se interpreta que representa la actividad volcánica dentro del magmatismo Laramide. En el área de estudio se encuentra aflorando como grandes derrames de lava y material piroclástico, intercalado con material sedimentario, dichos afloramientos cubren discordantemente a las unidades paleozoicas sedimentarias y siliciclásticas. En otras ocasiones y producto del emplazamiento de los grandes cuerpos intrusivos, algunos de los afloramientos de las rocas de la Formación Tarahumara se manifiestan como techos colgantes, en este caso sobre las rocas intrusivas.

Las referencias bibliográficas indican que Dumble (1900) fue el primer investigador que reporta la presencia de rocas volcanoclásticas pertenecientes a la Formación Tarahumara, mismas que inicialmente fueron consideradas como parte de la División Lista Blanca.

Según información actualizada se reporta que existen pocas dataciones radiométricas efectuadas sobre alguno de los niveles que conforman a la Formación Tarahumara y recientemente, trabajos de investigación elaborados dentro de la porción centro-oriental de Sonora, se ha reportado un rango de edades de entre 86 y 68 Ma en base al método U-Pb para esta formación, McDowell y otros (2001).

Litología, Estructuras y Espesores

Litológicamente la Formación Tarahumara, dentro del área de estudio está constituida por derrames volcánicos de composición andesítica y rocas piroclásticas clasificadas como tobas, derrames y aglomerados de composición andesítica y dacítica. En algunas localidades, donde se han efectuado estudios de detalle sobre estas rocas, se reporta la presencia de intercalaciones de niveles de material sedimentario representados por estratos de caliza y arenisca calcárea de grano fino, que además de impartirle su carácter volcanosedimentario, pueden llegar a desarrollar zonas de metasomatismo y la formación de skarns.

Estructuralmente dichos derrames se comportan como un conjunto de niveles volcánicos que muestran una pseudoestratificación con rumbos N-S y ligeramente NE-SW, con echados de intensidad entre 32° y 34° hacia el E y SE. Las relaciones estructurales de esta formación con rocas más antiguas normalmente son mediante fallas normales; aunque existen referencias en áreas vecinas que documentan un cabalgamiento de las rocas de la Formación Tarahumara sobre las rocas carbonatadas y siliciclásticas paleozoicas. Esta relación tectónica no fue observada en el área de estudio.

Generalmente las dimensiones aproximadas de esta formación oscila entre los 100 y 500 m de espesor, mientras que su distribución espacial se extiende de forma irregular a lo largo de aproximadamente 10 km² dentro de la porción oriental de la región de estudio.



Figura 42.- Pseudo estratificación volcánica

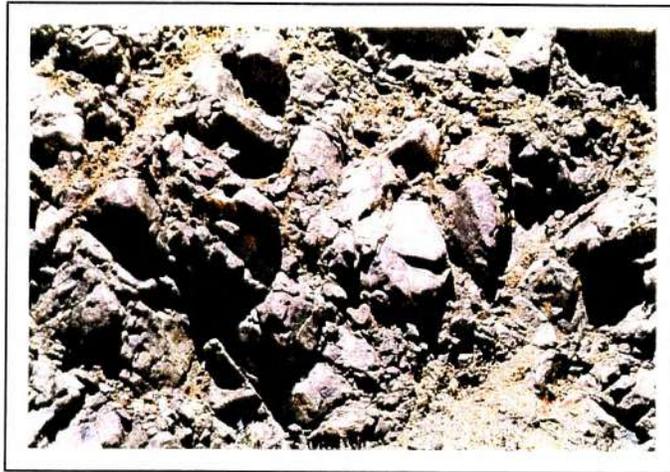


Figura 43.- Afloramiento de derrame andesítico



Figura 44.- Afloramiento de andesita con una fuerte alteración hidrotermal

Petrología y Petrografía

Petrologicamente y en base a la muestra representativa de esta formación cuya recolección fue efectuada dentro de las coordenadas UTM (X: 0660190; Y: 3182212; y Z: 1076) y etiquetada con la clave de campo M-26, esta presenta una textura porfídica, tobácea-piroclástica, con una matriz afanítica de grano fino a muy fino, con tonalidades que van de gris claro a oscuro y verdoso, donde se pueden apreciar escasos fenocristales de plagioclasa y la presencia de un conjunto de minerales de alteración que identifican a una variante de propilitización, que representa los efectos de una actividad hidrotermal, cuyo origen se asocia con el emplazamiento de las cuerpos intrusivos.

La información obtenida mediante el microscopio petrográfico indica que este tipo de roca se caracteriza por presentar una textura porfídica, combinada con un carácter piroclástico-tobáceo, definida por la presencia de fenocristales de plagioclasa y ocasionalmente feldespato potásico, embebidos en una matriz que va de microcristalina a merocristalina, cuya parte vítrea actualmente se encuentra desvitrificada por efecto de la actividad hidrotermal.

La mineralogía observada corresponde a cristales prismáticos y tableados de plagioclasa, con un porcentaje mayor a 50% y en menor proporción feldespato potásico; escaso cuarzo, biotita, hornblenda, minerales opacos y la presencia de fragmentos de roca, de composición intermedia y félsica.

Los fenocristales varían de automorfos a hipidiomorfos con tamaños de entre 0.5 y 2 mm, mismos que presentan una evidente destrucción ya que se encuentran fracturados, rotos e incompletos a causa del origen explosivo de la roca. Los fragmentos de roca son de tamaño menor a 0.5 mm, algunos de ellos teniendo una composición andesítica y otros riódacítica-dacítica.

La principal alteración, moderada a intensa, se representa por un conjunto de minerales secundarios (epidota, clorita, calcita, óxidos, etc.) que se han generado por los efectos de la circulación de fluidos hidrotermales asociados con el emplazamiento de los cuerpos intrusivos. En algunas porciones de la lámina es posible identificar algunas fracturas y parches en donde se concentran con mayor abundancia microcristales de biotita secundaria, asociados con gránulos de epidota, calcita y óxidos-sulfuros de fierro. Otra alteración que se encuentra afectando a plagioclasas y feldespatos es una moderada sericitización de los mismos.

La clasificación de la muestra examinada petrográficamente corresponde a una toba de composición andesítica de biotita y hornblenda.



Figura 45.- (Lámina M-26, objetivo 4X, vista 3mm.)

Plg; Plagioclasa, Ep: Epidota

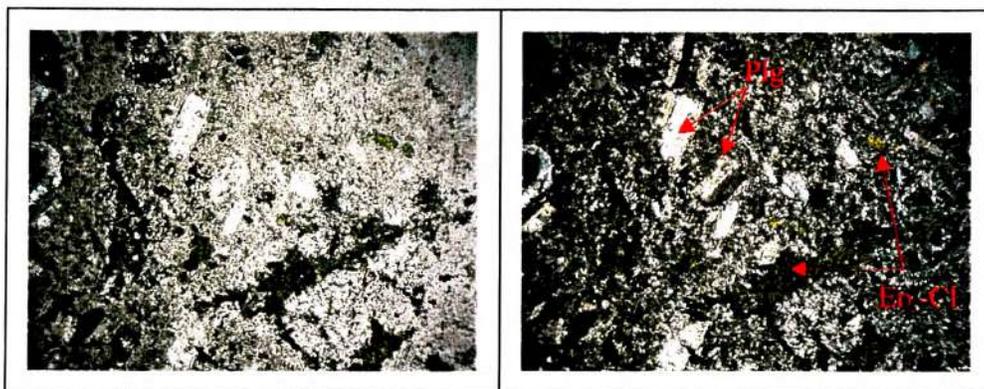
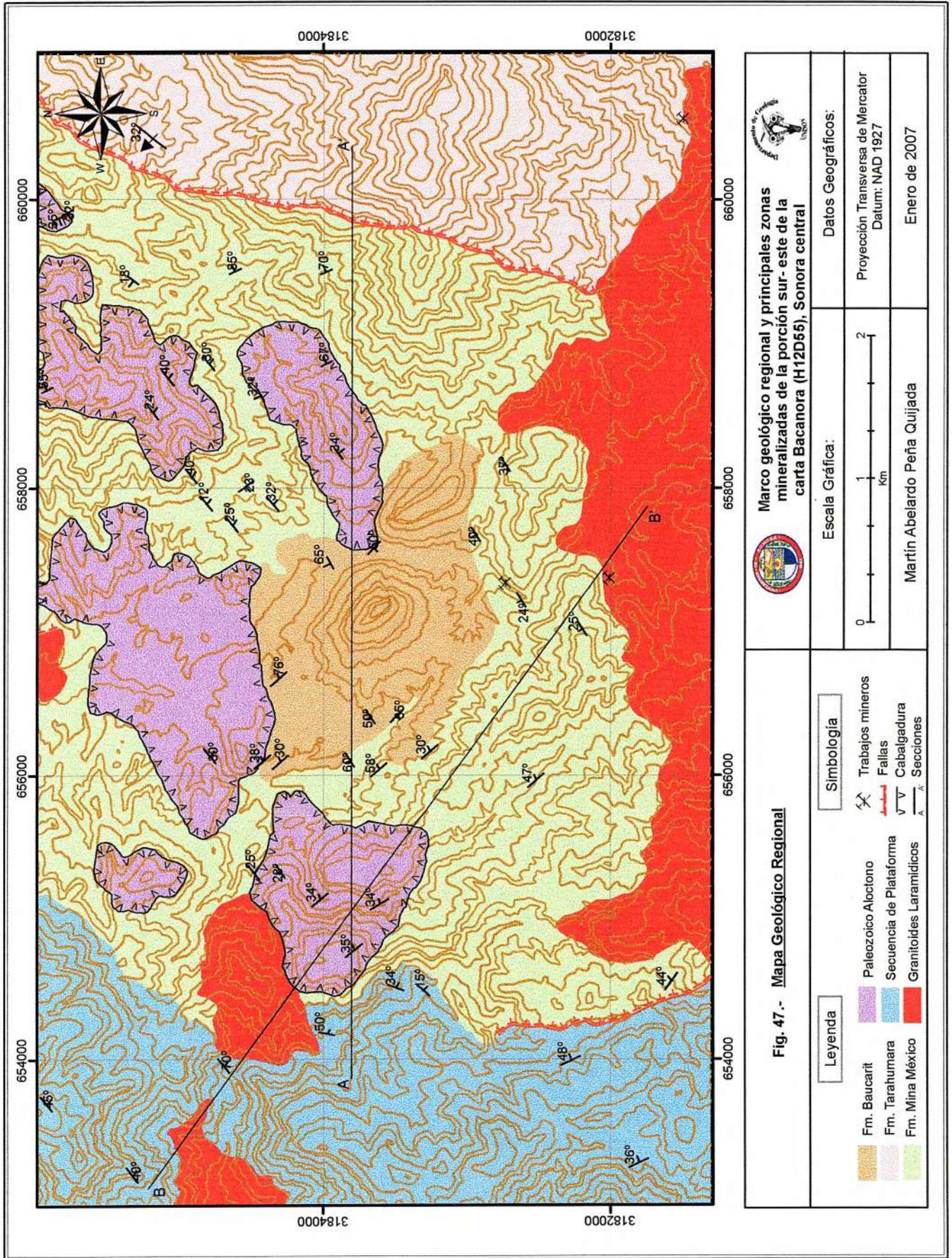
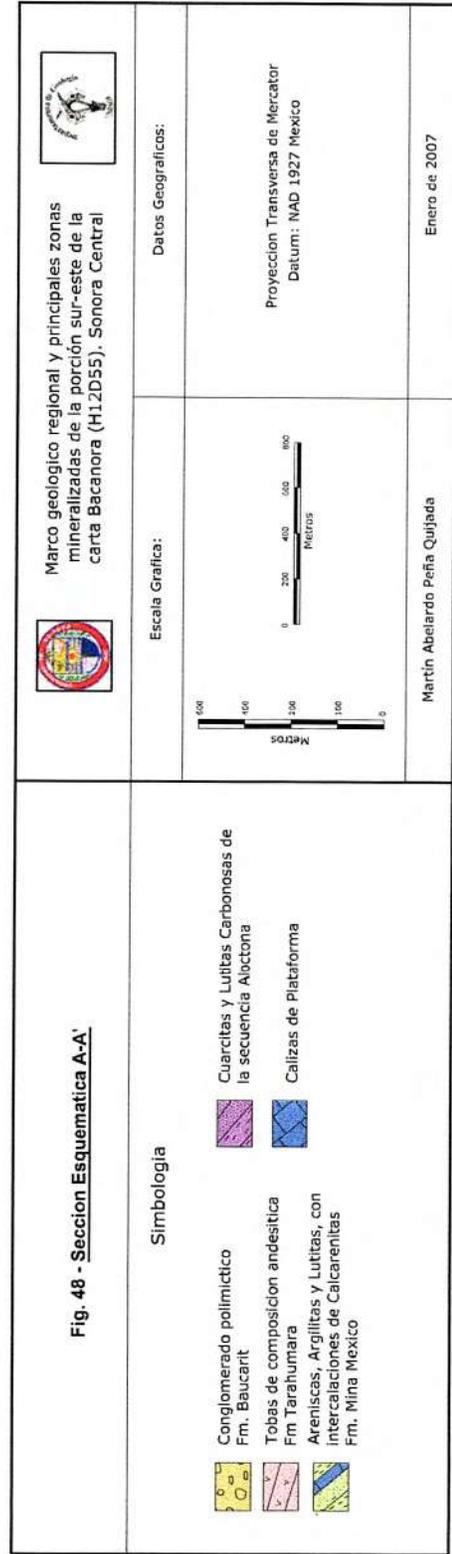
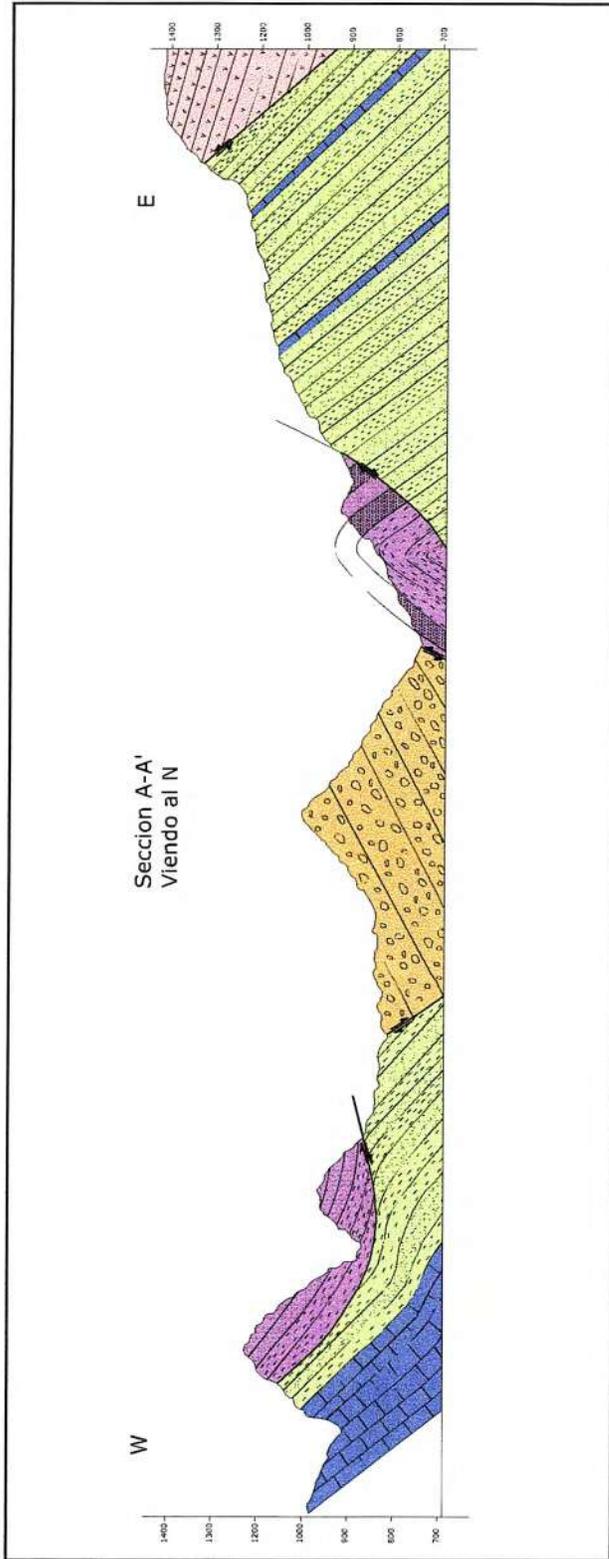


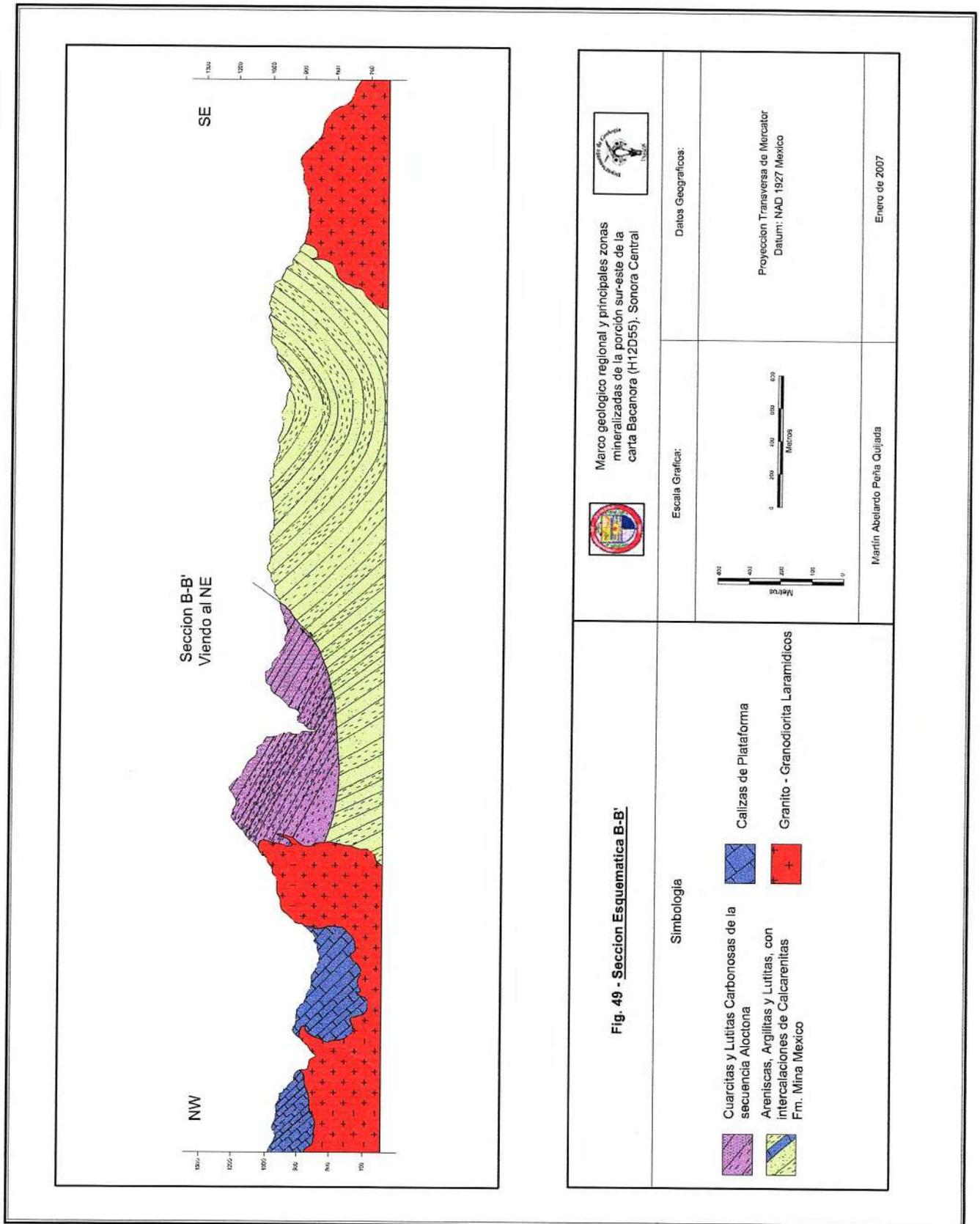
Figura 46.- (Lámina M-26, objetivo 4X, vista 3mm.)

Plg: Plagioclasa; Ep: Epidota; Cl: Clorita



 Marco geológico regional y principales zonas mineralizadas de la porción sur-este de la carta Bacanora (H12D55), Sonora central		Datos Geográficos: Proyección Transversa de Mercator Datum: NAD 1927 Enero de 2007	
		Escala Gráfica: 0 1 2 Km	
Fig. 47.- Mapa Geológico Regional		Simbología	
Leyenda Fm. Baucarit Fm. Tarahumara Fm. Mina México Paleozoico Alcotono Secuencia de Plataforma Granitoídes Laramídicos	Trabajos mineros Fallas Cabalgadura Secciones		
		Martín Abelardo Peña Quijada	





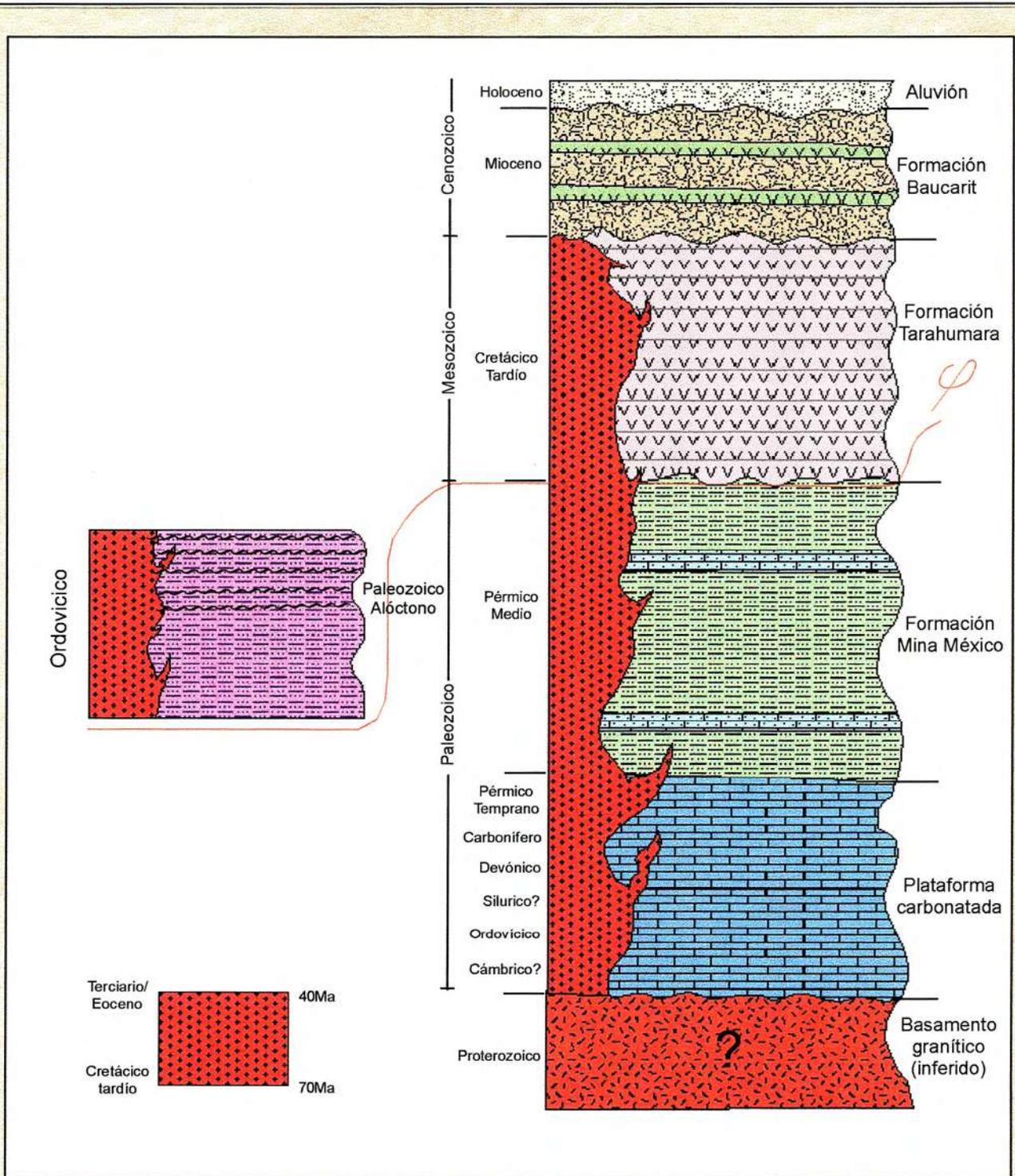


Fig.50.- Columna Estratigráfica Esquemática



Marco geológico regional y principales zonas mineralizadas de la porción sur-este de la carta Bacanora (H12D55), Sonora central



Martín Abelardo Peña Quijada

Sin Escala

Enero de 2007

IV.- YACIMIENTOS MINERALES

IV.1).- Introducción

En la región de Bacanora existe la presencia de un conjunto de unidades litológicas paleozoicas, carbonatadas y siliciclásticas, que han sido afectadas por el emplazamiento de varios cuerpos intrusivos félsicos e intermedios. A consecuencia de esto, las rocas carbonatadas de plataforma han sido sujetas a un proceso de metamorfismo y metasomatismo, de intensidad variable, que en algunos casos y cuando se han combinado factores favorables ha generado la depositación de concentraciones minerales, dando lugar a la formación de yacimientos de contacto o skarns conteniendo valores económicos de tungsteno, oro, plata, cobre, plomo y zinc. Por su parte, la secuencia siliciclástica turbidítica, referida como Formación Mina México, se caracteriza por ser la roca huésped de estructuras vetiformes epitermales, como es el caso de la obra minera denominada como Mina México localizada hacia el norte del área de estudio en la porción centro-este de la carta Bacanora, misma que se benefició a principio del siglo y que fue famosa por el gran volumen extraído y los altos contenidos de plata, oro, plomo y zinc. Destaca también la extracción de grandes cantidades de oro de placer en varias de las cañadas que drenan la porción oriente de la sierra La Campanería., particularmente la obra minera denominada como “La Guitarra”, localizada hacia el noroeste del área de estudio en la porción sureste de la carta Bacanora.

Por este motivo, la región de Bacanora ha sido atractiva y de gran interés para la exploración de áreas en donde existan las características superficiales, alteración y evidencias de mineralización, que conduzcan al descubrimiento de zonas mineralizadas a profundidad.

Dentro del área de estudio existe un cierto número de prospectos minerales, trabajados a pequeña escala, que superficialmente muestran rasgos interesantes de alteración y mineralización que han motivado a la pequeña y mediana minería a realizar diversos trabajos de exploración, con la finalidad de determinar su potencial económico y su eventual beneficio.

Dentro de estos prospectos destacan algunas obras mineras, socavones y pequeños tiros inclinados, que se localizan en la porción sur y sureste de la carta geológico-minera Bacanora H12D55, elaborada en el año 2006 por el Servicio Geológico Mexicano (antes Consejo de Recursos Minerales) y en donde se describen las características principales de cada uno de ellos

En esta tesis y particularmente en este capítulo, se describirán las obras mineras de las porciones antes mencionadas, conteniendo la información puntual y resumida de las características de las rocas huéspedes y de las estructuras minerales mismas (Tabla 1).



Figura 51.- Veta hidrotermal con estructuras drusiformes

PRINCIPALES OBRAS MINERAS DE LA PORCIÓN ORIENTAL
DE LA CARTA BACANORA (H12D55)

OBRA MINERA	MINERALIZACIÓN	OCURRENCIA DEL MINERAL	ESTRUCTURAS	ORIGEN
Las Guasimas	Au, Ag	Óxidos	Veta Irregular	Hidrotermal-Mesotermal
El Nido de las Agulas	Cu, Au, Ag	Óxidos	Masiva Irregular	Metasomatismo de Contacto
El Torreoncito	Cu, Au	Óxidos	Masiva Irregular	Metasomatismo de Contacto
La Anaconda	Au, Cu	Óxidos	Masiva Irregular	Metasomatismo de Contacto
Cuesta de Fierro	Fe	Sulfuros	Estratiforme	Reemplazamiento
Los Toneles	Cu, Au	Óxidos	Masiva Irregular	Metasomatismo de Contacto
El Palmarito	Ag, Cu	Óxidos	Veta Irregular	Hidrotermal-Mesotermal
El Padre	Au, Ag	Óxidos	Veta	Hidrotermal-Mesotermal
Bocojaco	Au	Óxidos	Veta Irregular	Hidrotermal-Epitermal
Mina Colorada	Au, Ag	Sulfuros	Veta	Hidrotermal-Mesotermal
San Agustín	Au, Ag	Óxidos	Veta	Hidrotermal-Epitermal
Mina México	Ag, Pb, Cu	Sulfuros	Veta	Hidrotermal-Mesotermal
La Sorpresa	Au	Sulfuros	Veta	Hidrotermal-Mesotermal
El Fierro	Au	Óxidos	Veta	Hidrotermal-Epitermal
El Carmen	Au, Ag	Óxidos	Brecha	Hidrotermal-Epitermal
La Ponderosa	Au	Óxidos	Brecha	Hidrotermal
El Danubio	Au, Ag	Óxidos	Veta	Hidrotermal-Epitermal
La Palmita	Cu, Au	Sulfuros	Veta	Hidrotermal
San Marqueña	Au	Óxidos	Brecha	Hidrotermal-Epitermal
El Chiltepin	Au, Ag	Óxidos	Veta	Hidrotermal-Epitermal

TABLA 1.- INFORMACIÓN OBTENIDA DE LA CARTA GEOLOGICO-MINERA DEL CONSEJO DE RECURSOS MINERALES Y RESUMIDA POR EL AUTOR DEL PRESENTE

IV.2).- Principales Zonas Mineralizadas del Área de Estudio

Particularmente dentro del área de estudio existe la presencia de tres zonas mineralizadas en donde se han efectuado el desarrollo de obras de exploración y explotación mismas que son denominadas como, "San Marqueña", "El Chiltepin", y "La Capilla", las cuales han sido trabajadas por gambusinos en años anteriores y en las que actualmente se está efectuando una re-evaluación de su importancia y potencial.

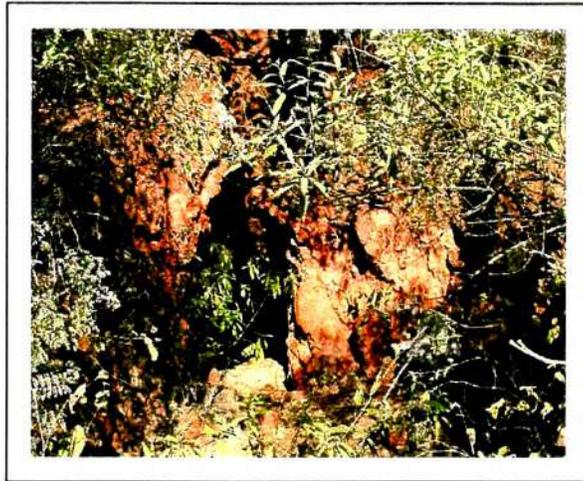


Figura 52.- Obra minera abandonada "San Marqueña"

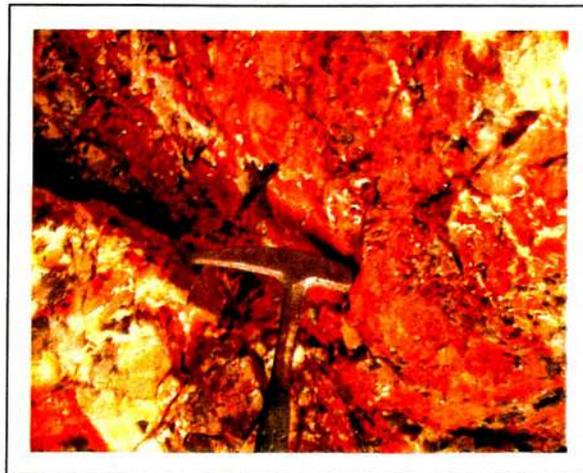


Figura 53.- Estructura con una alteración oxidante pervasiva

a).- Obra minera “San Marqueña”

Localización y Vías de acceso

La obra minera “San Marqueña” se encuentra localizada en las coordenadas UTM (X: 0657340; Y: 3182735; Z: 854 m.s.n.m), en la porción centro-sur del área de estudio, misma que se ubica aproximadamente a 1.5 Km. en línea recta al sur del rancho San Marcos. Esta obra minera se encuentra sobre el camino de terracería que comunica el rancho mencionado con el poblado de Guaycora.

Geología y Génesis del Yacimiento

Esta manifestación mineral, presenta un espesor variable pero aproximadamente es de 1.5 m, ocurre dentro de las rocas siliciclásticas, cuarcitas principalmente, de la Formación Mina México, sobre las que se han desarrollado zonas de alteración hidrotermal, acompañadas por un vetilleo ramaleado de cuarzo, en parte drusiforme, que cuando es intenso le imparte un aspecto brechoide a la roca encajonante. En esta obra minera sobresale una abundante presencia de óxidos de hierro y restos de sulfuros (box Works), probablemente de plomo, zinc y plata, con valores asociados de oro.

El origen de la mineralización, es catalogada como de una tipología epitermal, por lo que esta obra minera se relaciona con la circulación de fluidos hidrotermales que fueron aportados por el emplazamiento de los cuerpos intrusivos, depositando sulfuros dentro de las zonas de mayor permeabilidad y de fracturamiento.

De acuerdo con las características que definen a los yacimientos de tipo epitermales, se considera que el rango de temperatura en que se efectuó la depositación mineral debió haber sido del orden de los 50 a 200 °C, con rangos de profundidad relativamente someras, de aproximadamente 150° m.

b).-Obra minera “Chiltepin”

Localización y Vías de acceso

El prospecto minero “Chiltepin” se encuentra ubicado dentro de las coordenadas UTM (X: 0657375; Y: 3182011; Z: 906 m s.n.m), en la porción centro-sur del área de estudio, misma que se encuentra aproximadamente a 2 Km. en línea recta al sur del rancho San Marcos. Esta obra minera se encuentra, al igual que la obra descrita con anterioridad, sobre el camino de terracería que comunica el rancho mencionado con el poblado de Guaycora,

Geología y Génesis del Yacimiento

Geológicamente el depósito mineral ocurre dentro de la Formación Mina México en rocas que corresponden a areniscas de cuarzo o cuarcitas, que se encuentran intercaladas con niveles de composición más arenácea y argilítica. La mineralización observada consiste principalmente de óxidos de hierro, variedad hematita especular o especularita, donde presuntamente las menas extraídas fueron principalmente de plata y plomo. La estructura mineral corresponde a una veta hidrotermal que describe un comportamiento muy irregular, misma que se encuentra casi en el contacto con el intrusivo granítico laramídico de grano fino, dando la impresión que aparentemente la estructura ocurre dentro del cuerpo plutónico mismo. Este intrusivo ha sido intensamente afectado por un proceso de intemperismo, a tal grado que es común se disgregue a un material arenáceo de color verde grisáceo. Esta obra mineral se encuentra actualmente abandonada y la entrada principal de los trabajos antiguos de explotación, que al parecer corresponde a un tiro inclinado a rumbo de echado, ha sido completamente cubierta y enterrada por el material derivado del intemperismo del intrusivo.

Según información presentada por el Servicio Geológico Mexicano (SGM), esta veta es de origen hidrotermal-Mesotermal por lo que se infiere que el ambiente termodinámico que se presentó debió haber ocurrido con temperaturas del orden de los 200 a 300 °C, emplazado a distancias relativamente intermedias, aproximadamente en el rango entre 1200 y 4500 metros de profundidad.

c).- Obra minera “La Capilla”

Localización y Vías de acceso

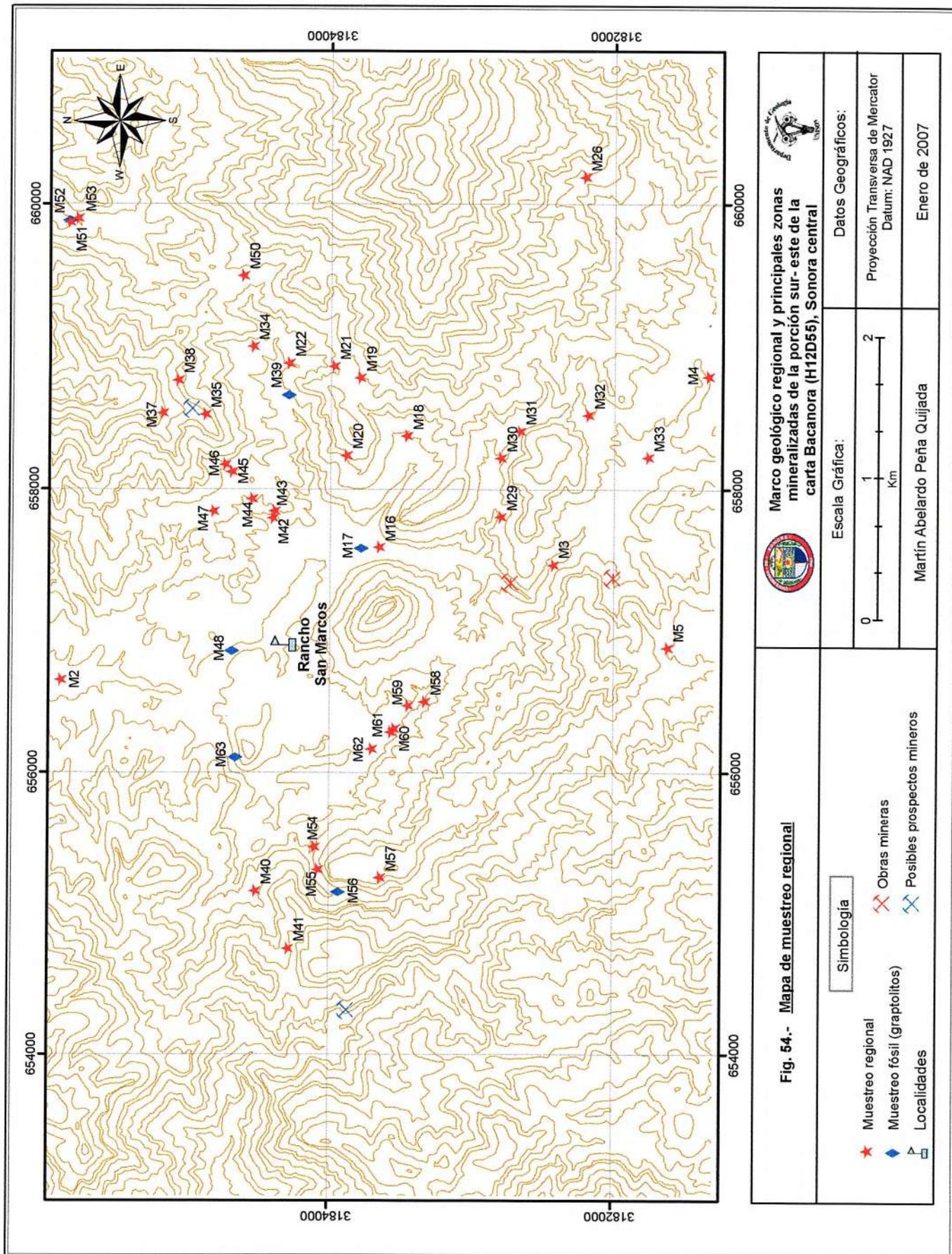
El prospecto mineral “La Capilla” se localiza dentro de las coordenadas UTM (X: 0660563; Y: 3181500; Z: 1140 m s.n.m), en la esquina sur-este del área de estudio, misma que se encuentra aproximadamente a unos 5 Km. en línea recta hacia el sureste del rancho San Marcos.

No fue posible visitar este prospecto mineral, debido a que no existía evidencia de algún camino que facilitara el acceso al mismo, ya que sus alrededores se encuentran totalmente cubiertos por la vegetación. Por lo tanto, la información relacionada con este prospecto se tomó de la que existe en el informe de la Carta Geológico-Minera, elaborada por el Servicio Geológico Mexicano.

Geología y Génesis del Yacimiento

Geológicamente este prospecto minero está emplazado dentro de las rocas piroclásticas-tobáceas asignadas a la Formación Tarahumara, de composición andesítica y dacítica. La mineralización presente corresponde principalmente a óxidos de hierro, posiblemente asociados con valores de oro y plata dentro de una estructura que se presenta como una veta hidrotermal.

Según información preexistente esta brecha es de origen hidrotermal-epitermal por lo que se infiere que el ambiente termodinámico que predominó ocurrió con temperaturas de 50 a 200 °C, emplazado a distancias relativamente someras de aproximadamente 1500 metros de profundidad



V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como parte final de esta investigación, se enlista un conjunto de conclusiones que de alguna manera permitan al lector conocer y entender, de manera breve y objetiva, los resultados obtenidos en la presente tesis y al mismo tiempo sugerir una serie de recomendaciones que pudieran ser efectuadas en un futuro próximo.

CONCLUSIONES:

1.- Dentro del área estudiada aflora una secuencia carbonatada paleozoica, depositada sobre ambientes de plataformas marinas, correlacionables en tiempo y espacio con las secuencias del miogeoclinal cordillerano del oeste del continente de Norteamérica y que han sido depositadas sobre las márgenes cratónicas.

2.- La presencia de fauna fósil representada por fusulinidos, briozoarios y crinoides dentro de los estratos carbonatados biocásticos sugieren una secuencia depositada en ambientes de plataforma continental marina de aguas calidas y someras.

3.- Los sedimentos siliciclásticos y turbidíticos de la Formación Mina México se han depositado, de forma concordante y transicional, sobre los estratos de edad Pérmico de la secuencia carbonatada de plataforma. Dentro de esta formación existen varios niveles de turbiditas calcáreas o calcarenitas y grainstone bioclásticos que contienen fósiles que derivan de las rocas de plataforma y que fueron transportados hacia el sitio de depositación de los sedimentos siliciclásticos.

4.- La presencia de fauna ordovícica (graptolitos) y una litología característica de ambiente de cuenca oceánica profunda representada por estratos de lutita carbonosa, indican que estas secuencias son similares y correlacionables con aquellas localidades (Mina de Barita y sierra El Aliso) de Sonora central, en donde se ha reportado la presencia de los cuerpos paleozoicos alóctonos.

5.- Los afloramientos de la secuencia alóctona están cubriendo tectónicamente, mediante estructuras de cabalgadura, a los sedimentos de la Formación Mina México. Por efectos de intensos procesos de intemperismo, el paleozoico alóctono actualmente se manifiesta como remanentes que corresponden a la parte inferior de la secuencia, constituida por niveles de lutita carbonosa a la base y potentes estratos de cuarcita masiva y muy fracturada a la cima. La fase tectónica que origino la cabalgadura de la secuencia de cuenca marina profunda se considera asociada con el evento orogénico oregoniano o meso-cretácico.

6.- Las características litológicas de ciertos niveles de la Formación Mina México pueden llegar a ser muy similares a los niveles de lutita carbonosa del alóctono y en consecuencia, difícil de diferenciar. En estos casos la presencia e identificación de graptolitos es un factor determinante para realizar la separación entre ambas secuencias sedimentarias.

7.- La presencia del relleno clástico continental, representado por la Formación Báucarit, es la evidencia del evento distensivo terciario del Basin and Range, que da lugar a la formación de extensas cuencas y valles paralelos; siendo un rasgo fisiográfico y geomorfológico que caracteriza en gran parte al Estado de Sonora.

8.- En los prospectos minerales, representados por pequeñas obras mineras, se observaron estructuras vetiformes y zonas de fuerte fracturamiento con la presencia de un ramaleo constituido por microvetillas de cuarzo. El origen de estas estructuras se relaciona con la generación y circulación de fluidos hidrotermales, a consecuencia y producto del emplazamiento de los cuerpos intrusivos presentes en la región. La mineralización se cataloga como de tipo hidrotermal, en su variante de epitermal-mesotermal y corresponde a abundantes óxidos de fierro que por las características de sus remanentes (box works) se interpreta que debieron haber correspondido a sulfuros de cobre, plomo, plata y posiblemente zinc. Por referencias de estudios anteriores, se considera que la mayoría de estos prospectos mineros contienen valores de oro.

9.- Dentro del área de estudio también fue posible observar en la porción centro-oeste, en el contacto de intrusivo con plataforma, el desarrollo de franjas y bandas de hornfels y skarn con evidencias de mineralización, en la mayoría de los casos son óxidos de hierro y en menor proporción sulfuros de plomo y valores de plata.

10.- Las estructuras minerales que se observaron en estos prospectos minerales se emplazan dentro de las rocas de la Formación Mina México; aunque en uno de ellos, se considera que la mineralización aparentemente se ubica en el contacto entre este tipo de roca y el intrusivo.

RECOMENDACIONES:

1.- Cartografía de detalle en los afloramientos que mediante fotointerpretación se han considerado como parte de la secuencia paleozoica alóctona, con la finalidad de confirmar su litología y origen; así como también complementar la colección de muestras que contengan graptolitos, ya que por cuestiones de tiempo y acceso, no fue posible visitar todos estos afloramientos.

2.- Muestreo y caracterización geoquímica de los diferentes afloramientos de cuerpos intrusivos, sobre todo en aquellas localidades en donde se combine la cercanía de los contactos de estos con las secuencias pre-intrusivas y la presencia de mineralización. El objetivo de este estudio geoquímico será tratar de definir la relación genética de alguno de estos cuerpos intrusivos con el o los procesos de mineralización.

3.- integración de un plano geológico base, actualizado que contenga la información litológica, estratigráfica y estructural, de toda la carta Bacanora, sobre el cual se también plasmaran datos geofísicos, particularmente aeromagnetometría, con la finalidad de que se pudieran definir y delimitar zonas potenciales para contener yacimientos minerales a una cierta profundidad.

VI.-BIBLIOGRAFIA

Alencaster, Gloria, 1961, Paleontología del Triásico Superior de Sonora Parte 1, Estratigrafía del Triásico Superior de la parte central del Estado de Sonora: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Paleontología Mexicana número 11, 18 p.

Álvarez, M.A., 1949 Notas Sobre el paleozoico Mexicano. Asoc. Méx. Geol. Petroleros. Bol. 1pp. 47-56.

Anderson, T.H., and Silver, L.T., 1974, Late Cretaceous plutonism in Sonora, Mexico and its relationship to circumpacific magmatism: Geological Society of America Abstracts with Programs, v. 6, p. 484.

Anderson, T.H., Ellis, J.H. y Silver, L.T., 1978, Rocas Precámbricas y Paleozoicas de la región de Caborca, Sonora, México: Libreto Guía del Primer Simposio Sobre la Geología y Potencial Minero del Edo. de Son. Inst. de Geol. UNAM. Pp. 5-34

Campa-Uranga, M.F., and Coney, P.J., 1983, Tectono-stratigraphic terranes and mineral resource reconstruction: An example from the Gulf of Mexico: Tectonics, v. 6, p. 739-755.

Cooper, G.A., Arellano, A.R.V, Johnson, J.H., Okulitch, V.J., Stoyanow, A., and Lochman, C., 1952, Cambrian stratigraphy and paleontology near Caborca, northwest Sonora, Mexico: Smithsonian Miscellaneous Collection, v. 119, no.1, 184 p.

Córdoba, B.H. y Montijo-Contreras, O., 1983 Geología del Area Sur del Depósito de Barita de Cobachi, Sonora. Tesis Profesional, Departamento de Geología, Universidad de Sonora.

Damon, P.E. Shafiqullah, M. and Clark, K.F. 1981, Age Trends of Igneous Activity in Relation to Metallogenesis in the Southern Cordillera. Relation of Tectonics to Ore deposits in the southern cordillera. Vol. XIV Arizona Geological Society Digest.

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

Dumble, E.T., 1900, Notes on the Geology of Sonora: American Society of Mining Engineers Transactions, v.29, p.122-152.

Dunbar, C.O., 1980 Geología Histórica CECSA. D.F Mexico 556 p.

Finney, S.C.; eds., Ordovician System, Las Vegas, Nevada; Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Pacific Section, book no. 77, p. 267-275.

Fries, C. Jr., 1962 Reseña de la Geología del Estado de Sonora con Énfasis en el Paleozoico. *Asoc. Méx. de Geol. Petroleros. Bol. V. 141.*

González-León, C.M., 1982 La Formación Antimonio (Triásico Superior- Jurásico Inferior) en la sierra el Álamo, Edo. de Son. *Bol. Notas Geológicas AEGUS y SGM No.3*

Hewett, R. L., 1978, Geology of the Cerro La Zacatera area, Sonora, México: M.S. thesis, Northern Arizona University, Flagstaff, Arizona, 99 p.

Imlay, R., 1939, Paleogeographic studies in northeastern Sonora: Geological Society of America, *Bulletin v. 50, p. 1723-1744.*

King, R.E., 1939, Geological reconnaissance in northern Sierra Madre Occidental of Mexico: Geological Society of American *Bulletin, v.50, p. 1625-1722.*

McDowell, F.W. and Clabaugh, S.E., 1979, Ignimbrites of the Sierra Madre Occidental and their relation to the tectonic history of western Mexico, *in Chapin, C.E., and Elston, W.E., ed., Ash-flow tufts: Geological Society of America Special Paper 180, p. 113–124.*

McDowell, F.W., Roldán-Quintana, J., and Connelly, J.N., 2001, Duration of Late Cretaceous–Early Tertiary magmatism in east-central Sonora, Mexico: Geological Society of America *Bulletin, v. 113, p. 521–531.*

Menicucci, Serge. 1975, Reconnaissance géologique et minière de la région entre Hermosillo et le Rio Yaqui (Sonora Central, Mexique): Grenoble, France, University of Grenoble (L Université Scientifique et Médicale de Grenoble), D.S. Thesis, 211 p.

Menicucci, S., Mesnier, H. and Radelli, R., 1982, Permian, Triassic and Liassic sedimentation (Barranca Formation) of Central Sonora, Mexico: *Notas Geológicas, Boletín Asociación Egresados de Geología, Universidad de Sonora y Delegación noroeste de la Sociedad Geológica Mexicana (AEGUS), no. 3, p. 2-8*

Noll, J.H., Jr., 1981, Geology of the Picacho Colorado area, northern Sierra de Cobachi, central Sonora, México: Flagstaff, Northern Arizona University, M.S. thesis, 165 p.

Peiffer-Rangin, F., 1979, Les Zones isopiques du Paleozoique inférieur du Nor-ouest Mexican: té mois du relais entre les Appalaches at la Cordillère oust americaine, *C.R. Aca. Sc. Paris. T. 288 série D-57.*

Poole, F. G.; Stewart, J.H., Berry, W.B.N. ; Harris, A.G.; Repetsky, J.E.; Madrid, R.J; Ketner, K.B.; Carter, C.; and Morales-Ramírez, J.M; 1995a, Ordovician ocean-basin rocks of Sonora, Mexico, *in Cooper, J.D. ; Droser, M.L. ; and Finney, S.C. ; eds ; Ordovician Odyssey : Short Papers for the Seventh International Symposium on the Ordovician System: Fullerton, California, Pacific Section Society for Sedimentary Geology (SEPM), book no. 77, p. 277-284.*

Poole, F.G.; Stewart, J.H.; Repetski, J.E.; Harris, A.G.; Ross, R.J., Jr; Ketner, K.B.; Amaya-Martinez, R.; and Morales-Ramirez, J.M; 1995b, Ordovician carbonate-shelf rocks of Sonora, Mexico, *in* Cooper, J.D.; Droser, M.L.; and Finney, S.C; eds, Ordovician Odyssey : Short Papers for the Seventh International Symposium on the Ordovician System: Fullerton, California, Pacific Section Society for Sedimentary Geology (SEPM), book no. 77, p. 267-275.

Poole, F., 1998, Allochthonous Paleozoic Eugeosinclinal rocks of the Barita de Sonora Mine area, central del Estado de Sonora, Mexico, *in* Rodríguez, R., ed. El Paleozoico de la Región Central del Estado de Sonora, Libroto Guía II Simposio sobre la Geología y Minería del Estado de Sonora, Hermosillo, Sonora, p. 1-9.

Poole, F., Perry, W., Madrid, R. and Amaya-Martinez, 2005, Tectonic synthesis of the Ouachita-Marathon-Sonora orogenic margin of southern Laurentia: Stratigraphic and structural implications for timing of deformational events and plate tectonic model, Geological Society of America, Special Paper 393, p. 543-596.

Rangin, C., 1977 Tectónicas Sobrepuestas en Sonora Septentrional, Revista, vol.; Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, p. 44-47

Rangin, C., 1978a, Consideraciones sobre la evolución geológica de la parte septentrional del Estado de Sonora, *in* Roldán-Quintana, J., and Salas, G. A., eds., Primer simposio sobre la geología y potencial minero en el Estado de Sonora: Hermosillo, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, p. 35–55.

Rangin, C., 1978 b, Speculative model of Mexican geodynamics: Central Baja California to northeastern Sonora (Mexico), *in* Howell, D.G., and McDougall, K.C., eds., Mesozoic paleogeography of the western United States: Los Angeles, Pacific Section, Society of Economic Mineralogists and Paleontologists, Pacific Coast Paleogeography Symposium 2, p. 85–106.

Rangin, C., 1982, Contribution á l'étude géologique du système cordillérain du Nord-Ouest du Mexique : These de Docteur d' Etat, Université de Paris VI ; 588 p.

Schmidt, G.T., 1978, Geology of the northern Sierra El Encinal, Sonora, México: M.S. thesis, Northern Arizona University, Flagstaff, Arizona, 80 p.

Scotese, C.R. and McKerrow, W.S., 1990, Revised World maps and introduction, *in* McKerrow, W.S., and Scotese, C.r., eds., Paleozoic paleogeography an biogeography; London, Geological Society Memoir No. 12, p. 1-21.

Scotese, C.R., and Golonka, Jan, 1993, PALEOMAP, Paleogeographic atlas: PALEOMAP Progress Report 20, Arlington, Tex., Department of Geology, University of Texas at Arlington, 35 p.

Silver, L.T., and Anderson, T.H., 1974, possible left-lateral early to middle Mesozoic disruption of the south western North America cratón margin [abstract]: Geological Society of America Abstracts with programs, v.6 p. 955-956.

Stewart, J.H.; Amaya-Martinez, R.; Stamm, R.G.; Wardlaw, B.R.; Stanley, G.D.; Jr; and Stevens, C.H.; 1997, Stratigraphy and regional significance of Mississippian to Jurassic rocks in sierra Santa Teresa, Sonora, Mexico, *in* Stanley G.D., Jr.; and González-León, C.M., eds, special issue dedicated of Northwestern, Sonora, Mexico: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v.14, no 2, p. 115-135.

Stump, T.E. and Beauvais, L., 1976, Corals, Mollusc and paleogeography of late Jurassic strata of the Cerro Pozo Serna, Sonora, Mexico: *Paleogeography, Paleoclimatology and Paleoecology*, v.19, p 275-301.

Vega-Granillo, R. y Araux-Zanches, E., 1985 *Geología y Yacimientos Minerales de la Sierra la Campanería Municipio de Bacanora. Sonora Central tesis de licenciatura; Universidad de Sonora, Méx. 159 p.*

Wilson, I.F., y Rocha, V.S. 1946 *Los yacimientos de carbón de la región de Santa Clara, Municipio San Javier, Sonora. Com. Direct. Invest. Rec. Minerales, 9, 109 p.*

VII.- ANEXO

VII.1.- INDICE DE FIGURAS	Página
Figura 1; Imagen de la orografía e hidrología de la región de estudio.....	7
Figura 2; Imagen de Localización de la región de estudio.....	9
Figura 3; Vista panorámica de una potente secuencia carbonatada de plataforma representada por la Sierra Santo Domingo ubicada en la porción centro-este de la carta Bacanora.....	27
Figura 4; Ejemplar de Plataforma con gran contenido fósil (Fusulínidos, Crinoides y Briozoarios).....	27
Figura 5; (Lámina M-19; objetivo 4x; vista 3mm.), Presencia de sulfuros de hierro (pirita). Embebidos en una matriz calcárea y presencia de microvetillas rellenas por microcristales de calcita.....	29
Figura 6; (Lámina M-42; objetivo 4x; vista 3mm.), sedimento arenáceo-calcáreo y presencia de microvetillas rellenas por microcristales de calcita.....	29
Figura 7; UTM (X: 0656230; Y: 3187516; Z: 842 m.s.n.m) afloramiento de Fm. Mina México cuyos estratos se presentan muy oxidados con una actitud NE 60° SW ; 15° NW.....	30
Figura 8; UTM (X: 0656230; Y: 3187516; Z: 842 m.s.n.m) Afloramiento de areniscas con evidente oxidación.....	32
Figura 9; Afloramiento turbidítico o grainstone bioclástico dentro de la Formación Mina México.....	32
Figura 10; Grainstone bioclástico con fauna fósil (fusulínidos).....	32

Figura 11; UTM (X: 0659870; Y: 3185846; Z: 862 m.s.n.m) nivel de calcarenita con actitud, NW 10° SE; 30° SW.....	33
Figura 12; UTM (X: 0656495; Y: 3183369; Z: 842 m.s.n.m) Areniscas y lutitas estructuralmente plegadas.....	33
Figura 13; Ejemplar de fósil traza denominado “Scalarituba”.....	34
Figura 14; Ejemplar de fósil traza denominado “Lophoctenium”.....	34
Figura 15; Ejemplar de fósil traza denominado “Cosmorhaphé”.....	34
Figura 16; (Lámina M-44; objetivo 4x; vista 3mm.), Intercalación de niveles arenáceos y arcillosos microfallados.....	36
Figura 17; (Lámina M-45; objetivo 4x; vista 3mm.), Fragmentos Líticos embebidos en una matriz areno-arcillosa.....	36
Figura 18; (Lámina M-45; objetivo 4x; vista 3mm), Niveles areno-arcillosos Microplegados.....	36
Figura 19; Vista panorámica de la secuencia alóctona de la región donde se muestra una potente unidad constituida por cuarcitas.....	39
Figura 20; UTM (X: 0656862; Y: 3184694; Z: 780 m.s.n.m) Afloramiento de la secuencia alóctona, donde se presentan lutitas carbonosas en la base y cuarcitas hacia la cima con una actitud, NW 15° SE; 55° NE donde se encontró gran contenido fósil “Graptolitos”.....	40
Figura 21; UTM (X: 0656107; Y: 3184665; Z: 778 m.s.n.m) afloramiento de lutitas carbonosas con actitud, NE 20° SW; 30° SE Donde se encontró contenido fósil “Graptolitos”.....	40
Figura 22; UTM (X: 0656049; Y: 3184577; Z: 781 m.s.n.m) afloramiento de lutitas y cuarzo-areniscas plegadas dentro de la secuencia alóctona.....	41
Figura 23; UTM (X: 0655757; Y: 3184310; Z: 806 m.s.n.m) afloramiento de cuarcitas plegadas con intercalación de niveles lutíticos carbonosas.....	41
Figura 24; UTM (X: 0655144; Y: 3183936; Z: 839 m.s.n.m) Afloramiento de lutitas carbonosas con actitud, NW 22° SE; 34° NE con gran contenido fósil “Graptolitos”	42

Figura 25; UTM (X: 0656862; Y: 3184694; Z: 780 m.s.n.m) afloramiento de lutitas con gran contenido fósil "Graptolitos".....	42
Figura 26; (Lámina M-48; objetivo 4x; vista 3mm.), Intercalación de niveles arenáceos y arcillosos microfallados y microplegados.....	44
Figura 27; (Lámina M-34; objetivo 4x; vista 3mm.), Niveles arenaceos-arcillosos semiplegados.....	44
Figura 28; UTM (X: 0657523; Y: 3184133; Z: 797 m.s.n.m) Potente afloramiento de la Formación Baucarit que describe una actitud NE 50° SW; 65° NW y un espesor de entre 15 y 20mts.....	46
Figura 29; UTM (X: 0656117; Y: 3184230; Z: 798 m.s.n.m) Actitud; NW 20° SE; 30° NE.....	47
Figura 30; UTM (X: 0656500; Y: 3183008), estratos conglomeraticos semi horizontales de Fm. Baucarit.....	47
Figura 31; UTM (X: 0656697; Y: 318432 Afloramiento de Formación Baucarit que presenta un basculamiento NW 47° SE; 76° NE.....	47
Figura 32; (Lámina M-4, objetivo 4X, vista 3mm.) Qz: Cuarzo, Fk: Feldespato potasico, Plg: Plagioclasa, Ser: Sericita.....	51
Figura 33; (Lámina M-2, objetivo 4X, vista 3mm.) Qz: Cuarzo, Fk: Feldespato potasico, Plg: Plagioclasa.....	51
Figura 34; (Lámina M-33, objetivo 4X, vista 3mm.) Cuarzo, Plagioclasa, Feldespato Potasico, Biotita-Clorita.....	53
Figura 35; (Lámina M-33, objetivo 4X, vista 3mm.) Plg: Plagioclasa, Fk: Feldespato Potasico, Biot: Biotita.....	53
Figura 36; (Lámina M-40, objetivo 4X, vista 3mm.) Plg: Plagioclasa, Anf: Anfíbol, Clor: Clorita.....	53
Figura 37; (Lámina M-5, objetivo 4x, vista 3mm.) Plg: Plagioclasa, Biot: Biotita, Clor; Clorita.....	55
Figura 38; (Lámina M-5, objetivo 4x, vista 3mm.) Plg: Plagioclasa, Anf: Anfíbol, Clor: Clorita.....	55

Figura 39; (Lámina M-32, objetivo 4X, vista 3mm.) Plagioclasa y minerales secundarios de alteración.....	57
Figura 40; (Lámina M-32, objetivo 4X, vista 3mm.) Plagioclasa y minerales secundarios de alteración.....	57
Figura 41; Dique pegmatítico intrusionando a granodiorita de grano fino a medio.....	58
Figura 42; Pseudo estratificación volcánica.....	61
Figura 43; Afloramiento de derrame andesítico.....	61
Figura 44; Afloramiento de Andesitas con una fuerte alteración hidrotermal.....	61
Figura 45; (Lámina M-26, objetivo 4X, vista 3mm.) Plg; Plagioclasa, Ep: Epidota.....	63
Figura 46; (Lámina M-26, objetivo 4X, vista 3mm.) Plg; Plagioclasa; Ep: Epidota; Cl: Clorita.....	63
Figura 47; Mapa geológico regional.....	64
Figura 48; Sección esquemática, A-A'.....	65
Figura 49; Sección esquemática, B-B'.....	66
Figura 50; Columna estratigráfica esquemática.....	67
Figura 51; Veta hidrotermal con estructuras drusiformes.....	69
Figura 52; Obra minera abandonada "San Marqueña".....	71
Figura 53; Estructura con una alteración oxidante pervasiva.....	71
Figura 54; Mapa de muestreo regional.....	75