

UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISION DE CIENCIA EXACTAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



*CERCOAS -
244*

EL SABER DE MIS HIJOS
HARÁ MI GRANDEZA

GEOLOGÍA DE LA PORCIÓN SUR DE LA HOJA SANTA ROSA
(H12D76) Y DESCRIPCIÓN DEL DEPÓSITO LOS VERDES EN
EL DISTRITO DE BUENA VISTA, MUNICIPIO DE YÉCORA,
SONORA

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
GEOLOGO
PRESENTA
LUIS CARLOS LUGO ZAZUETA

Hermosillo, Sonora.

Febrero del 2001.

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



Febrero 02, 2001.

ING. EFREN PEREZ SEGURADirector de Tesis
Presente

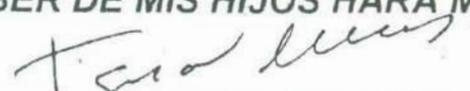
Por este conducto le comunico que ha sido aprobado el tema de tesis propuesto por Usted, intitulado:

"GEOLOGIA DE LA PORCION SUR DE LA HOJA SANTA ROSA (H12D76) Y DESCRIPCION DEL DEPOSITO LOS VERDES EN EL DISTRITO DE BUENA VISTA, MUNICIPIO DE YECORA, SONORA".

Esto es con el fin de que el alumno: **LUIS CARLOS LUGO ZAZUETA**, pueda presentar su examen profesional, para obtener el título de Geólogo. Asimismo le comunico que han sido asignados los siguientes sinodales

ING. RICARDO AMAYA MARTINEZ- PRESIDENTE
DR. LUCAS HILARIO OCHOA LANDIN- SECRETARIO
ING. EFREN PEREZ SEGURA - VOCAL

ATENTAMENTE
"EL SABER DE MIS HIJOS HARA MI GRANDEZA"


GEOL. J. ISMAEL MINJAREZ SOSA
Jefe de Departamento

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



**EL SABER DE MIS HIJOS
HARA MI GRANDEZA**

AGRADECIMIENTOS

Agradezco sinceramente a todas las personas que colaboraron de una u otra forma en la elaboración del presente trabajo. Al M.C. Jaime Roldán Quintana por permitirme trabajar bajo su excelente dirección, al M.C. Efrén Pérez Segura por aceptar ser director, y así como los múltiples consejos de los sinodales Ricardo Amaya y Lucas Ochoa; a la ayuda de Thierry Calmus, Pablo Peñaflor y José Luis Farfán. También correspondo al apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el financiamiento de este trabajo en el proyecto **28086-T**; al personal del la Universidad Nacional Autónoma de México de la Estación Regional Noroeste por permitirme usar parte de las instalaciones y vehículos; al personal del Consejo de Recursos Minerales que colaboró de alguna manera, y a la Compañía Minera COMINCO por los permisos otorgaos en su yacimiento de Los Verdes.

También agradezco a Iván Y., Pascual M., Pedro V., Edmundo Ch., José R., Humberto S., Martín P., y demás compañeros que me brindaron su amistad y apoyo en el desarrollo de mi trabajo de titulación.

INDICE

	PAGINA
RESUMEN	1
I.- INTRODUCCIÓN	4
1.1.- Presentación	4
1.2.- Objetivos del estudio	4
1.3.- Trabajos previos	5
1.4.- Métodos y duración del trabajo	9
1.5.- Localización del área de estudio y vías de acceso	10
1.6.- Clima y vegetación de área	11
1.6.1.- Clima de área	11
1.6.2.- Vegetación de área	14
1.7.- Geomorfología, fisiografía e hidrografía	15
1.7.1.- Geomorfología del área	15
1.7.2.- Fisiografía del área	18
1.7.3.- Hidrografía del área	19
II.- GEOLOGÍA REGIONAL	20
2.1.- Mapa de geología regional	21
III.- MARCO GEOLÓGICO DEL ÁREA	22
3.1.- Correlación de columnas del área	24
IV.- GEOLOGÍA DEL ÁREA	25
4.1.- Paleozoico	25
4.2.- Mesozoico	25
4.2.1.- Triásico	25
4.2.2.- Cretácico	26
4.2.2.1.- Formación Tarahumara	27
4.3.- Cenozoico	35

4.3.1.- Eoceno	35
4.3.1.1.- Granodiorita San Nicolás	35
4.3.2.- Oligoceno	38
4.3.2.1.- Oligoceno Temprano	39
4.3.2.1.1.- Complejo Ignimbrítico	40
4.3.2.2.- Oligoceno Tardío	46
4.3.2.2.1.- Formación Báucarit	46
4.3.2.3.- Formación Tepoca	51
V.- GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	55
5.1.- Estructuras cretácicas	55
5.2.- Estructuras terciarias	55
VI.- TECTÓNICA Y GEOLOGÍA HISTÓRICA	56
6.1. - Mesozoico	56
6.2. - Cretácico	56
6.3. - Terciario	56
VII.- GEOLOGÍA ECONÓMICA	57
7.1. - Yacimientos minerales de la hoja Santa Rosa	58
7.2. - Localización y breve historia del depósito Los Verdes	59
7.3. - Proyecto Los Verdes	
Características geológicas	59
7.4. - Brechas	60
7.5. - Alteración y mineralización	62
7.6. - Mineragrafía y Petrografía	67
7.7. - Inclusiones Fluidas	67
VIII.- CONCLUSIONES	71
BIBLIOGRAFÍA	74

RELACIÓN DE FIGURAS

Figura 1	Plano de localización	12
Figura 2	Croquis de vías de acceso	13
Tabla 1	Diagrama climático	14
Figura 3	Plano morfogenético	16
Tabla 2	Rasgos morfogenéticos	17
Figura 4	Plano de geología regional	21
Figura 5	Correlación de columnas en el área de estudio	24

ANEXO I.- Mapa geológico de la porción sur de la hoja Santa Rosa (H12D76)

Escala 1: 50 000.

ANEXO II.- Mapa interpretado de alteraciones del depósito Los Verdes, de Santa Ana de

Yécora, Sonora; escala 1 5000.

ANEXO III.- Localización de muestras.

RESUMEN

El área de estudio se localiza en la porción oriental de Sonora, a 195 km al SE de Hermosillo, dentro de las coordenadas 28° 15' y 28° 22' latitud norte, y 109° 00' y 109° 20' longitud oeste. Fisiográficamente se ubica dentro de la provincia de la Sierra Madre Occidental, alcanzando elevaciones desde 380 hasta los 2180 msnm. La morfología de esta provincia manifiesta interfases de bloques basculados, fosas tectónicas y sistemas volcánicos. Afloran rocas que varían en edad desde el Cretácico Tardío hasta el Holoceno, las cuales se pueden dividir principalmente en seis unidades distintas, y que a su vez pueden ser subdivididas, por relaciones de edad y tectonismo. La unidad más antigua en el área es la equivalente a la Formación Tarahumara, la cual fue situada al oriente del área; es de origen volcánico, de composición andesítica a dacítica; por su alteración propilítica intensa es difícil establecer en detalle su geología, su espesor varía de 100 a 500 metros en el área. Esta secuencia es intrusionada y metamorfizada por la unidad granodiorítica San Nicolás, la cual aflora en la parte centro superior del mapa, y que ha sido fechada en 49.6 Ma. Este plutón representa una fase intrusiva múltiple, constituida por granodiorita de hornblenda a granito de biotita, sills y diques tardíos, "stocks" irregulares de aplita, granito de turmalina, brechas intrusivas, granodiorita porfídica y microdiorita. Un complejo ignimbrítico, que algunas veces presenta un basculamiento moderado a fuerte, reposa en discordancia sobre la Fm. Tarahumara, observándose en el contacto un nivel de toba andesítica rojiza semiconsolidada y otros flujos; hacia arriba está compuesto por distintos conjuntos riolíticos, siendo las tobas e ignimbritas riolíticas rosadas ricas en cristales los tipos de rocas más abundantes. Aflora en la parte baja de la mesa El Campanero y en distintas

áreas más; se le calcula 1000 m de espesor con edades entre 34 y 27 Ma. El complejo ignimbrítico contiene rocas de carácter bimodal, que consisten de intercalaciones de tobas de flujo, flujos bandeados, domos riolíticos a dacíticos intercalados con los basaltos y andesitas basálticas que afloran al oeste de Bermúdez y al sur de la hoja del presente estudio, estas rocas han sido fechadas en 31 y 35 Ma en áreas cercanas; su carácter bimodal desaparece en la cima, donde los basaltos predominan. Este magmatismo corresponde al inicio de una fase tectónica distensiva definida como pre Sierras y Cuencas. Este tectonismo continuó como Sierras y Valles, caracterizado por una unidad de más de 500 m de espesor, correlacionable a la Formación Báucarit, constituida de areniscas bien estratificadas, conglomerados, ambos parcialmente consolidados e interestratificados con basaltos que en la base son más abundantes. Su manifestación superficial es limitada por fallas de rumbo NNW-SSE, aflorando como bloques elongados de orientación similar. Estas fallas cortan a otras estructuras más antiguas de rumbo NE-SW, relacionadas tal vez al evento tectónico Larámide. El fallamiento NNW-SSE es el más notorio en toda la región, y la morfología de las sierras se desarrolla en esa dirección. Este fallamiento también provoca el basculamiento escalonado con echado hacia el SW, que es el más evidente en la porción sur del área, y originando así mismo la formación de pilares y bloques hundidos.

Los basaltos y andesitas de piroxeno de la mesa El Campanero (22 Ma) descansan en discordancia sobre el complejo ignimbrítico y podrían ser correlacionables con los producidos en la caldera Yécora. La Formación Tepoca es la unidad ígnea más joven y está formada por andesitas de hornblenda y basaltos afaníticos depositados en discordancia sobre todas las secuencias anteriores,

formando mesetas a lo largo del margen oeste del área. La edad de esta unidad se ubica en rango de 17.45 ± 0.1 a 16.7 ± 0.2 Ma (Mioceno Medio), y se considera como una fase post Báucarit. Los depósitos cuaternarios solo afloran en pequeñas superficies del área estudiada.

Los Verdes es un depósito hospedado en la granodiorita San Nicolás, donde localmente presenta facies cuarzomonzónicas y pegmatíticas. Produjo importantes volúmenes de W_3O_3 -Mo-Cu cerca de los años 40's y todavía a inicios de los 80's se tuvo alguna actividad extractiva en menor escala. De acuerdo con su mineralogía y alteraciones está asociado a cúpulas graníticas, lo cual es sugerido por las alteraciones tipo *greisen* y por la ausencia de pórfidos en el área. Muestra tres etapas de alteración superpuestas; una primaria con alteración potásica de cuarzo-feldespato potásico-biotita a la cual se asocia parte de la mineralización de sulfuros como molibdenita (Mo), pirita (Py) y calcopirita (Ccp) diseminadas; una segunda etapa de alteración filica (cuarzo-sericita) tipo *greisen*, que es la que presenta los valores más interesantes de W_3O_3 (Wolframita), Mo, Ccp; y una tercera etapa asociada a brechamiento tipo "crackel" de cuarzo-turmalina, que pudiera estar relacionada a valores altos de tungsteno en forma de wolframita. Estas brechas mineralizadas tienen una forma elongada en dirección NNE-SSW, y están a su vez cortadas por un fallamiento NW-SE el cual es más evidente a nivel regional y parece ser el responsable de la exhumación y erosión de la estructura superior del complejo intrusivo.

I.- INTRODUCCION

1.1.- Presentación

El presente trabajo es el resultado y aporte al proyecto de investigación "El Transecto Golfo de California - Sierra Madre Occidental en el sur de Sonora, México: Estudio de un arco magmático continental" con clave # 28086-T, a cargo del M.C. Jaime Roldán Quintana el cual es apoyado por el **C.O.N.A.C.Y.T.**. En este proyecto se participó en cartografía de un área a nivel regional y a semi-detalle de una zona con mineralización. Este estudio se utilizó como tema de tesis para cubrir los requisitos para obtener el título de geólogo en la Universidad de Sonora.

1.2.- Objetivos de la Investigación

El objetivo de este trabajo en la región oriental del Estado de Sonora, fue el de presentar y contribuir con un trabajo geológico en un área, que por su inaccesibilidad era relativamente poco conocida, en base a una cartografía a escala 1:50,000 y también resaltar el interés económico, en un distrito de mineralización ya conocido como lo es el Distrito Buena Vista. Los objetivos fueron los siguientes:

- Definir las distintas unidades litoestratigráficas.
- Establecer las relaciones estratigráficas entre las unidades utilizando fechas publicadas, análisis químicos, petrografía y geología estructural.
- Obtener datos estructurales para comprender los eventos de fallamiento así como su relación tectónica.
- Establecer la cronología y distribución de las distintas unidades geológicas,

utilizando el material bibliográfico disponible y las observaciones de campo.

- La cartografía a semidetalle (1: 1,000) de una zona de mineralización como es Los Verdes, un depósito que tuvo una importancia relevante en la región desde los 40's. Esto último con el fin de adquirir experiencia en cartografía de zonas de alteración y estudio de este tipo de mineralizaciones.

1.3.- Trabajos Previos

En el área de estudio se han realizado pocos trabajos directos de geología y cartografía. En esta porción de la hoja existen algunas investigaciones publicadas y reportes privados de compañías mineras que han efectuado trabajos en zonas cercanas, los cuales han sido enfocados para entender el magmatismo desarrollado a través del tiempo geológico y con intereses de exploración en yacimientos minerales, respectivamente.

Uno de los trabajos publicados, correspondiendo directamente al área de estudio, es el de Gans (1997), consistente en una fotointerpretación al norte del área, complementados por recorridos para toma de muestras, cartografía, clasificación de unidades y lo más importante, nuevas fechas de rocas ígneas.

Dentro de los cuerpos que han sido estudiados y reportados se encuentra la granodiorita San Nicolás que consiste de una masa plutónica que varía desde cuarzomonzonita a granodiorita, tiene importancia económica debido a que hospeda diversas brechas con valores de tungsteno, molibdeno y cobre (Sansores y Wynne, 1977), el intrusivo ha sido fechado obteniendo edades de 59.0 ± 5.0 Ma por el método Rb/Sr, en la Universidad de British Columbia, Canadá, (Sansores y Wynne, 1977). También Damon et al. (1981) reportaron edades concordantes K-Ar de hornblenda y

biotita de 49.3, 49.5, y 49.6 Ma. Según Gans (1997), la diferencia de edades sugiere la posibilidad de que la granodiorita San Nicolás incluye dos ó mas intrusiones separadas (>63 y 50 Ma). Esta unidad intrusiva a la Formación Tarahumara, que por su importancia económica y tectónica también ha sido motivo de estudios. Esta unidad se edificó entre 100 ± 5 Ma (Cretácico), y está compuesta por rocas intrusivas y extrusivas de afinidad calcialcalina, predominantemente de composición andesítica a dacítica (McDowell y Kaiser, 1977) y algunos horizontes de rocas sedimentarias. Ha sido estudiada en diferentes localidades en Sonora, pero el metamorfismo penetrante de bajo grado y/o alteración hidrotermal ha oscurecido la textura ígnea y sedimentaria original, alterando ampliamente los minerales máficos a mezclas de epidota, óxidos de Fe y la plagioclasa a albita, sericita, epidota (Gans, 1997).

En el área también aflora el Complejo Ignimbrítico, que representa un gran volumen y donde las riolitas ricas en cristales constituyen el tipo de roca mas abundante, con rangos de edades de 35 a 24 Ma (Demant et al., 1993). En una localidad cercana a la parte superior de la secuencia, se tuvo una edad K/Ar de 35.3 Ma (Montigny et al.1987); indicando un amplio intervalo de magmatismo tobáceo y riolítico.

Dentro de esta unidad se han efectuado muchas investigaciones para interpretar el vulcanismo de la Sierra Madre Occidental, ya que también contiene a una secuencia llamada bimodal que aflora en la porción del límite oeste de esta provincia, y que ha sido ubicada en el Oligoceno medio-Tardío, dando edades entre 31 y 35 Ma en esta región (Swanson y McDowell, 1985; Montigny et al.,1987). Comprende dacitas e ignimbritas riolíticas interestratificadas con andesitas basálticas. Este carácter bimodal

desaparece progresivamente hasta la cima de la secuencia donde los basaltos predominan. Estos basaltos indican el inicio de una fase tectónica distensiva, que se define como una fase tectónica pre-Sierras y Cuencas (Delpretti, 1987).

El desarrollo de cuencas a lo largo de Sonora, provocadas por el inicio del fallamiento extensional Sierras y Cuencas, indujo la inclinación de bloques en el área de estudio. El relleno de las cuencas consiste de conglomerados y areniscas gruesas, interestratificadas con lavas basálticas y brechas. El contacto entre esta unidad y el Complejo Ignimbrítico está cubierto generalmente por los mismos conglomerados inclinados de la unidad superior, se sugiere que se trata de una discordancia angular pronunciada que se manifiesta en algunas áreas, mientras que en otras, la inclinación disminuye gradualmente hacia arriba de la sección (Gans, 1997). Por su litología y características se correlaciona con la Formación Báucarit, la cual fué definida por Dumble (1900) y King (1939). Una edad Ar/Ar, en los basaltos que se encuentran intercalados en la base y parte intermedia en esta unidad, indica un rango de 26.4 a 22.3 Ma (Gans, 1997).

Las unidades más recientes como los conglomerados del Mioceno Temprano a Medio, consisten de cuencas sedimentarias formadas seguramente por el fallamiento Sierras y Cuencas que continuó activo. Aunque no tan potente como la Formación Báucarit, tiene por lo menos varias decenas de metros de areniscas y conglomerados polimícticos eventualmente estratificados y generalmente basculados. Contiene clastos de las unidades más antiguas del área; cerca de su base y en la porción media se han reportado edades Ar/Ar entre 22.6 ± 0.3 Ma y 18.0 ± 0.4 Ma, respectivamente, en los flujos máficos, y 17.45 ± 0.19 Ma de una capa de flujo andesítico, sustentando la edad

Mioceno Temprano (Gans, 1997).

El vulcanismo en esta zona continuó activo, y se tienen rocas muy jóvenes que las representan como la Formación Tepoca, definida por Cochemé (1985), y consiste de una cubierta de flujos de andesita de hornblenda y basaltos afaníticos provenientes de una caldera cercana y depositados discordantemente sobre la Formación Báucarit y las unidades previamente falladas y basculadas. Cubre amplias áreas, bien extendidas para el este y oeste del área (Cochemé, et al. 1991). Esta secuencia no fue examinada en detalle, pero un flujo de andesita de hornblenda de la base de esta secuencia y una andesita afanítica cerca de la cima indican edades de 17.45 ± 0.10 Ma y 16.7 ± 0.2 Ma respectivamente, por lo que se le asigna una edad Mioceno Medio (Gans, 1997).

En el área de estudio también se han realizado trabajos de interés económico en la búsqueda y explotación de minerales, ya que se encuentra dentro de la porción sur de la provincia de la cordillera de tungsteno (Mead, et. al, 1988) y dentro de la provincia de cobre porfídico mexicano (Sillitoe, 1976). La mayoría de los reportes son privados y las publicaciones son escasas; se hará énfasis en la Mina Los Verdes actualmente en receso de explotación; que se ubica en la parte centro superior de la región de estudio. Esta consiste de tungsteno, molibdeno y poco cobre que se encuentran en formas de brechas que ocurren principalmente dentro de la granodiorita San Nicolás (Sansores y Wynne, 1977; y Mead et. al, 1988), se han reportado alrededor de 90 brechas ("breccias pipe") de cuarzo - turmalina cerca del área (Sillitoe, 1976; y Sansores y Wynne, 1977). Las estructuras son del tipo "crackel breccia", y los fragmentos son de la misma composición que la roca huésped, no se encuentran rotados, y presentan alteraciones de: cuarzo-turmalina-pirita, y cuarzo-sericita-pirita, así como una alteración

potásica, con matriz de roca mas fina, cuarzo y cuarzo-turmalina; además, hay mineralización de wolframita y menor scheelita (Mead, et. al., 1988). Estudios de inclusiones fluidas efectuadas por McLeod James A., en 1977, (Departamento de Ciencias Geológicas de la Universidad de British Columbia, Canadá) indicaron alta salinidad y ebullición de las soluciones hidrotermales, la mayoría con temperaturas entre 270°C y 345°C, con una salinidad de 25 a 50% del peso de NaCl (Sansores-Bolivar y Wynne,1977).

1.4.- Métodos y Duración del Trabajo

Este trabajo se llevó a cabo en varias etapas, a partir del mes de mayo del 1999 a mayo del 2000, de la siguiente manera:

- Recopilación y análisis de información bibliográfica del área de estudio y de zonas cercanas.
- Reconocimiento preliminar de campo en el área de estudio.
- Fotointerpretación geológica, en base a fotos aéreas en blanco y negro; unas a escala 1:75,000, y otras 1:50, 000.
- Se tomó como base el mapa topográfico de Santa Rosa (H12 D76) editado por INEGI, para trazar los contactos interpretados de la fotointerpretación
- Se realizó la verificación de campo, mediante recorridos por caminos y veredas; así como la recolección sistemática de muestras representativas de los diferentes afloramientos de rocas, medición de datos estructurales de fallas, contactos, fracturas, vetas, diques, y la ubicación de cada dato mediante posicionadores satelitales.
- El trabajo de gabinete consistió en una reinterpretación de las fotos, afinando los contactos geológicos, ubicación de muestras en plano, selección de

muestras para petrografía, elaboración de láminas delgadas y secciones pulidas, elaboración de secciones estructurales y columnas estratigráficas.

- Finalmente se digitalizaron todos los mapas, muestras y secciones en el software AUTOCAD 14 y se elaboró la redacción del informe final.

1.5.- LOCALIZACION Y VIAS DE ACCESO

1.5.1.- Localización:

El área de estudio se localiza en la porción oriental del Estado de Sonora, aproximadamente a 195 km al sureste de Hermosillo; está enmarcada por las coordenadas geográficas 28°15' y 28°22'30" Latitud Norte, y 109°00' y 109°20' Longitud Oeste, dentro del municipio de Yécora; colindando con el límite oeste del Estado de Chihuahua, ya que el poblado de Bermúdez pertenece al municipio de Moris, Chihuahua al igual que los ranchos de La Cebolla, La Vinata, mesa El Palmilloso y Corrales. El trabajo comprende un área de aproximadamente 428 kilómetros cuadrados de superficie (Fig. 1).

1.5.2.- Vías de Acceso:

Se tiene acceso al área de estudio mediante la carretera estatal numero 16 y federal número 123, la cual está pavimentada y va de Hermosillo a Yécora; también se puede llegar utilizando la carretera federal numero 117 que va de Cd. Obregón a Yécora. Ambas comunican con el poblado de Tepoca, de ahí se puede atravesar la porción norte del área, observando magníficos afloramientos hasta el poblado de Yécora, pasando cerca de la mesa El Campanero, que es el límite oriental del área (Fig. 2).

Para llegar a las demás poblaciones como Bermúdez, Santa Ana, Guadalupe Tayopa y La Concepción, se toman diversos caminos de terracería que están en buen estado la mayor parte del año. La porción centro-sur del área es la más difícil de acceder debido a que la accidentada topografía no lo permite, así que se deben utilizar veredas u otros medios.

1.6.- CLIMA Y VEGETACION

1.6.1 .-Clima:

El clima en el área varía según la temporada del año y va desde seco a templado subhúmedo; el primero se caracteriza por la circulación de los vientos, lo cual provoca escasa nubosidad y precipitaciones de 300 a 600 mm anuales, con temperaturas en promedio anuales de 22° a 26° C en algunas regiones, y en otras de 18° a 22° C, y ascienden hasta los 38° C en el verano en las zonas más bajas topográficamente. Respecto al clima templado subhúmedo, se observan en su mayoría temperaturas entre 10° y 18°C y de 18° a 22°C. Sin embargo, en algunas regiones puede disminuir a menos de 10°C, aunque llegan a descender hasta temperaturas bajo cero en las zonas altas del área y se registran precipitaciones de 600 a 1,000 mm en promedio durante el año.

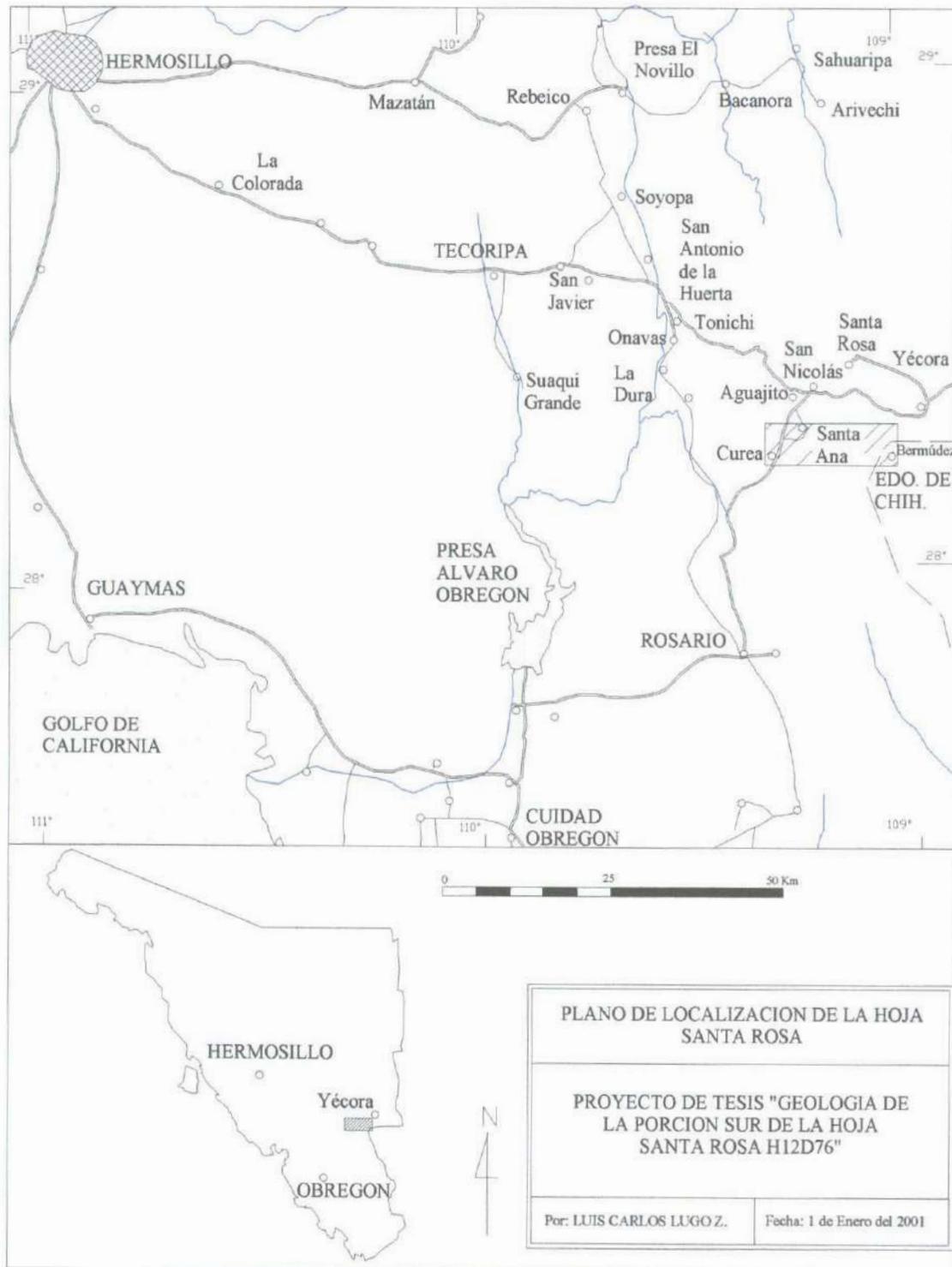


FIGURA 1. Plano de localización del áreas de estudio..

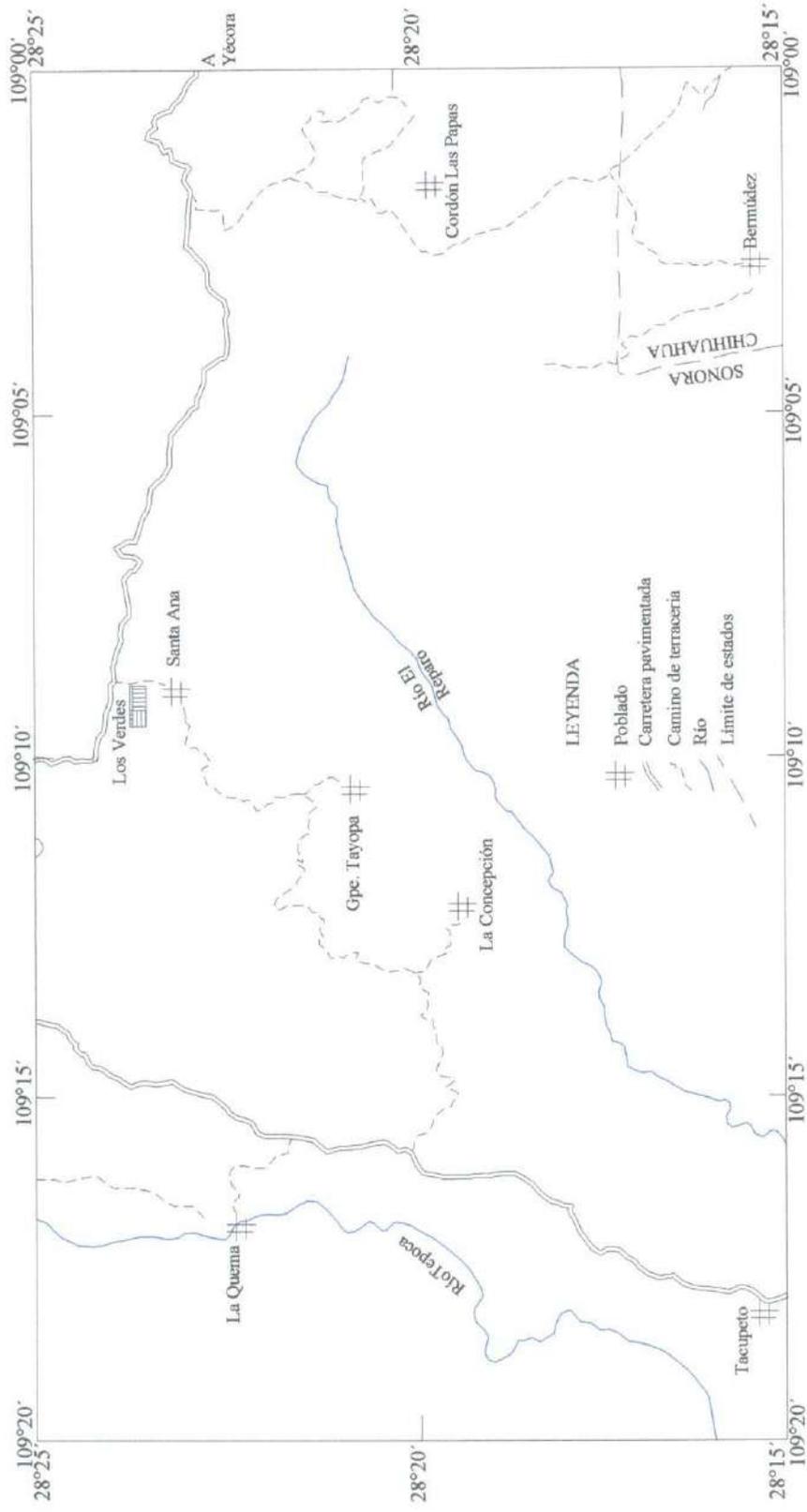


FIGURA 2. Croquis de vías de Acceso en el área de estudio.

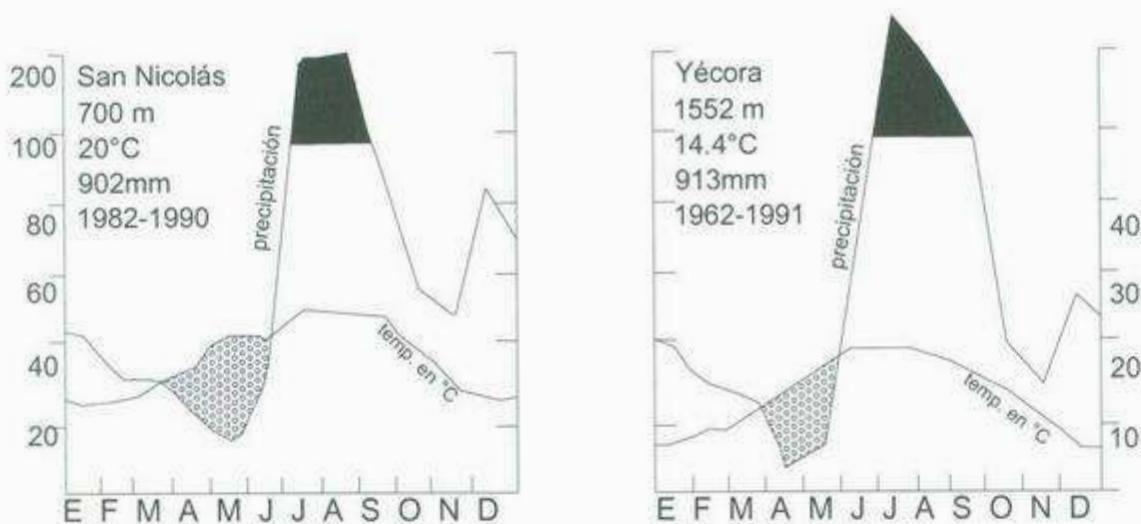


Tabla 1.- Diagramas climáticos del área, la tabla del lado izquierdo indica la precipitación en milímetros por mes; y la de la derecha indica la temperatura en grados centígrados por mes, el área achurada con círculos indica los meses secos y el área oscura indica los meses húmedos. Tomado de Búrquez, A. et. al (1993).

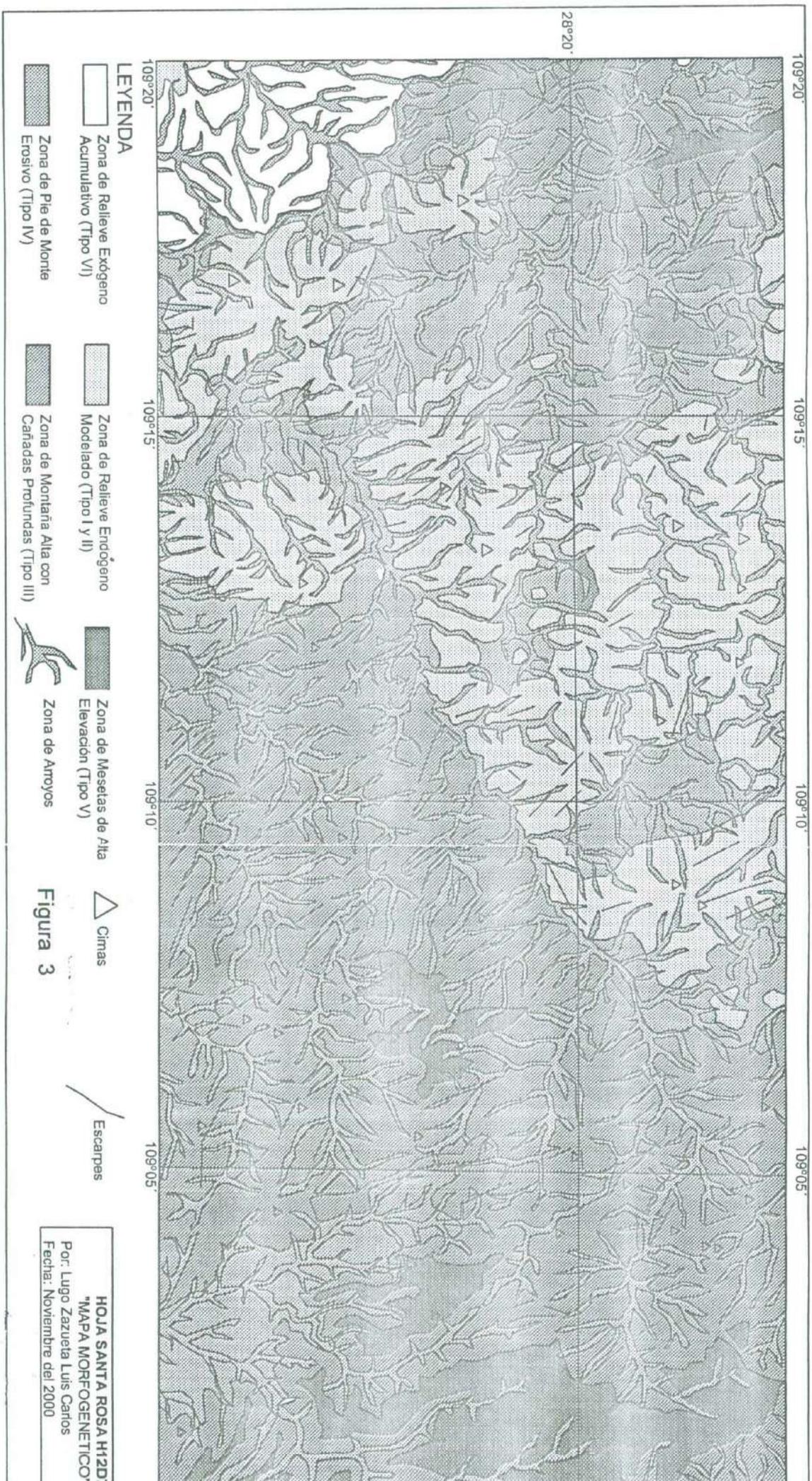
1.6.2.- Vegetación:

La vegetación ha sido estudiada mas a detalle por varias personas y ellos han concluido que en la zona varía según la altitud de cada área; en base a esto tenemos cuatro tipos de vegetación en el área de trabajo;

1. - Vegetación de bosque de pino y roble para elevaciones mayores a los 1900 msnm, en el área se restringe solo a la mesa El Campanero

2.- La vegetación de pino-roble y bosque de roble se encuentran de preferencia entre las elevaciones de 1400 a los 1900 msnm, ahí hay robles dispersos y árboles de menos de 8 m de altura.

3.- Bosque tropical para elevaciones menores a los 1400 m, en esta porción las especies son heterogéneas en composición y estructura. Están compuestas principalmente por robles, este tipo de vegetación puede ser fácilmente distinguido de los otros tipos de vegetación.



LEYENDA

-  Zona de Relieve Exógeno Acumulativo (Tipo VI)
-  Zona de Relieve Endógeno Modelado (Tipo I y II)
-  Zona de Mesetas de Alta Elevación (Tipo V)
-  Cimas
-  Zona de Pie de Monte Erosivo (Tipo IV)
-  Zona de Montaña Alta con Cañadas Profundas (Tipo III)
-  Zona de Arroyos
-  Escarpes

Figura 3

HOJA SANTA ROSA H12D
 MAPA MORFOGENÉTICO
 Por: Lugo Zazueta Luis Carlos
 Fecha: Noviembre del 2000

UNIDAD GEOMORFOLOGICA	EDAD	GEOLOGIA	TIPO DE RELIEVE	FORMACIÓN PERTENECIENTE	OBSERVACIONES
I.- Montañas de rocas ígneas Extrusivas	Cretácico	Flujos de andesita y dacita	Escarpes abruptos	Formación Tarahumara	Tocas alteradas por una intrusión posterior
II.- Montañas de rocas ígneas Intrusivas	Cretácico Tardío?- Terciario temprano	Granodiorita, granito, diorita	Suaves y redondeados	Intrusivos laramídicos	En su fase final lleva mineralización
III.- Montañas de rocas ígneas Extrusivas	Terciario	Riolita, ignimbrita y dacita	Escarpes muy abruptos, domos y estructuras circulares	Complejo ignimbítico	Se encuentra en todo lo que es las Provincia Volcánica de la S.M.O.
IV.- Cuencas de rocas Sedimentarias	Terciario (Oligoceno-Mioceno)	Conglomerado y Arenisca consolidados	Lomerios, terrazas, escarpes fuertes	Formación Báucarit	Restrigidas en cuencas provocadas por fallamiento
V.- Mesetas de rocas ígneas extrusivas	Terciario (Mioceno)	Basalto y andesita	Escarpes y mesetas	Formación Tepoca y basalto Mesa El Campanero	Ligeramente basulados
VI.- Valles	Cuaternario	Aluvión y terrazas no consolidados	Arroyos y pié de monte	Aluvión cuaternario	Muy poco desarrollados

Así tenemos que en la esquina inferior izquierda es un relieve exógeno acumulativo que se marca por la presencia de sedimentos poco consolidados del Tipo VI. Una zona de pie de monte (Tipo IV) que corresponde a lo que es el "graben" de la Formación Báucarit, y cuyas elevaciones varían de 380 a 700 msnm. La zona de relieve endógeno (Tipo I y II) se ubica en la parte centro oriental del área y se caracteriza por estar formado por las rocas intrusivas y volcánicas. Hacia el sur está compuesta por una zona de montaña alta con cañadas profundas (Tipo III) con elevaciones que van de 700 a 1500 msnm. Los colores oscuros marcan las mesetas altas (Tipo V) que se componen por rocas volcánicas relativamente jóvenes. Las cimas se marcan por los triángulos, y los escarpes son rayas continuas.

Junto al Mapa Morfogenético (Figura 3) se anexa la tabla de Rasgos Morfogenéticos (Tabla 2) donde se indican cada unos de los tipos de relieve, con su correspondencia litológica aproximada, así como también la formación a la que pertenece y su edad.

1.7.2.- Fisiografía:

El área de estudio se localiza dentro de la Provincia Fisiográfica de la Sierra Madre Occidental (PFSMO), la cual está limitada hacia el poniente por la Provincia del Desierto Sonorense donde al norte desaparece antes de llegar a la frontera con Estados Unidos y al sur se encuentra limitada por la Meseta Central y el Eje Neovolcánico. La zona de estudio se encuentra a su vez en el límite oriental de la Subprovincia Fisiográfica de Sierras y Valles (Raisz, 1964), la cual se localiza en la porción este del Estado de Sonora, y está caracterizada por zonas con sierras paralelas con formas alargadas y que tienen una orientación preferente NNW-SSE,

éstos lineamientos marcan un fallamiento tectónico distensivo, llamado también Sierras y Cuencas.

Existen también lineamientos regionales mayores en el área, provocados tal vez por la erosión de los arroyos como en el caso del río El Reparó que lleva su cauce con rumbo de NE-SW y de igual manera lo hace el arroyo que corre por la barranca El Salto.

La zona de menor elevación se encuentra al lado oeste del área de estudio con 320 msnm, correspondiente al cauce del río Tepoca; las zonas más elevadas corresponden principalmente al lado oriente del área, cuyas elevaciones llegan a alcanzar hasta los 2180 msnm en la zona de la mesa El Campanero; existiendo una diferencia de elevaciones entre el nivel topográfico más alto y el más bajo, de 1860 m aproximadamente.

1.7.3.- Hidrografía:

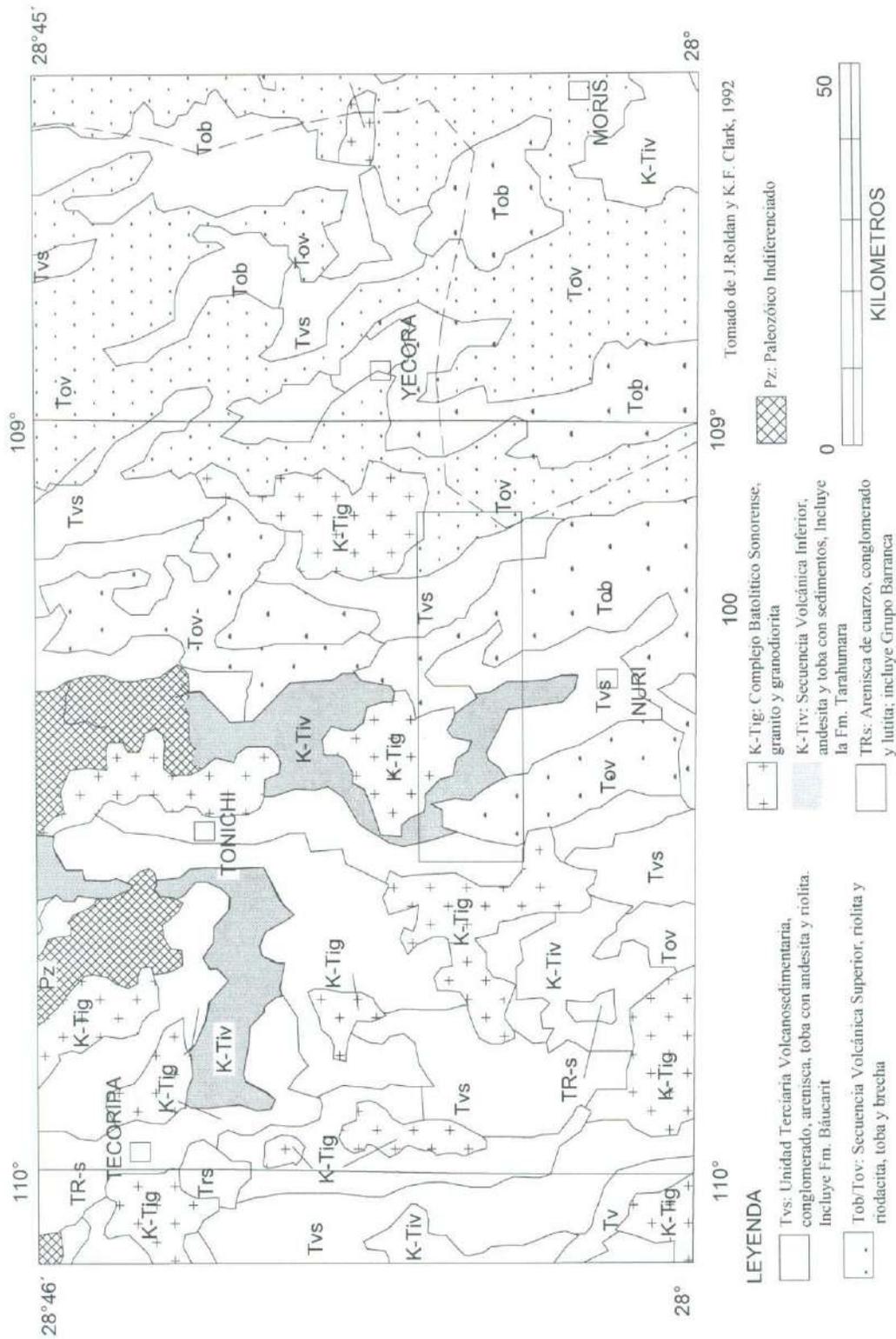
El drenaje en la región está controlado por las características geomorfológicas presentes, teniendo como drenes principales el río Tepoca, ubicado hacia el oeste de la hoja y que lleva su cauce hacia el sur, y el río El Reparó que drena hacia el suroeste. Ambos afluentes pertenecen a la cuenca del río Yaqui; el primero de éstos es el que presenta más superficie denudada y con menor elevación (con 320 msnm).

II.- GEOLOGIA REGIONAL

A lo largo de todo el territorio sonorense se ha cartografiado una gran variedad de rocas que contrastan tanto en su origen y composición como en edades. Las rocas paleozoicas no afloran en el área de estudio; sin embargo, éstas afloran a unos 40 km al nor-noroeste, cerca de Tónichi y Tecoripa. Están representadas por una alternancia de secuencias sedimentarias de arenisca y lutita con materia orgánica que definen un ambiente cercano a un margen continental en zonas de alta energía, con cambios en la velocidad de aporte.

El Mesozoico está representado por rocas sedimentarias del Grupo Barranca de edad Triásico Tardío que afloran en los alrededores del poblado de San Javier, ubicado a 50 km al noroeste del área de estudio. Esta es una secuencia sedimentaria, compuesta por intercalaciones de arenisca, conglomerado y lutita con gran contenido de materia orgánica que llegan a formar depósitos de carbón y grafito. Las rocas volcánicas del Cretácico conocidas en diferentes localidades del estado como en Suaqui y la Dura, corresponden a rocas de la Formación Tarahumara y afloran principalmente en el poblado de La Concepción y zonas cercanas al poblado de Santa Ana. Litológicamente esta unidad consiste de rocas volcánicas y volcanoclásticas de composición andesítica-dacítica, presentando normalmente con una frecuente y típica alteración hidrotermal penetrativa.

Dentro de las rocas cenozoicas se incluyen tanto las de origen intrusivo, representadas por la granodiorita San Nicolás (Paleoceno-Eoceno), como las volcánicas del Complejo Volcánico Superior (Eoceno-Oligoceno) localizadas en mayor volumen al oriente del estado. Así también las rocas sedimentarias de la Formación



Báucarit que se ubican en la parte centro este del estado como cuencas sedimentarias y rocas volcánicas de la Formación Tepoca. En conjunto estas rocas definen un estilo estructural diverso y ambientes tectónicos de transición, de una fase de subducción marcada por los cuerpos intrusivos y volcánicas, a una fase de extensión, marcada por los grabens con sedimentos terrígenos y volcánicas intercaladas (Figura 4).

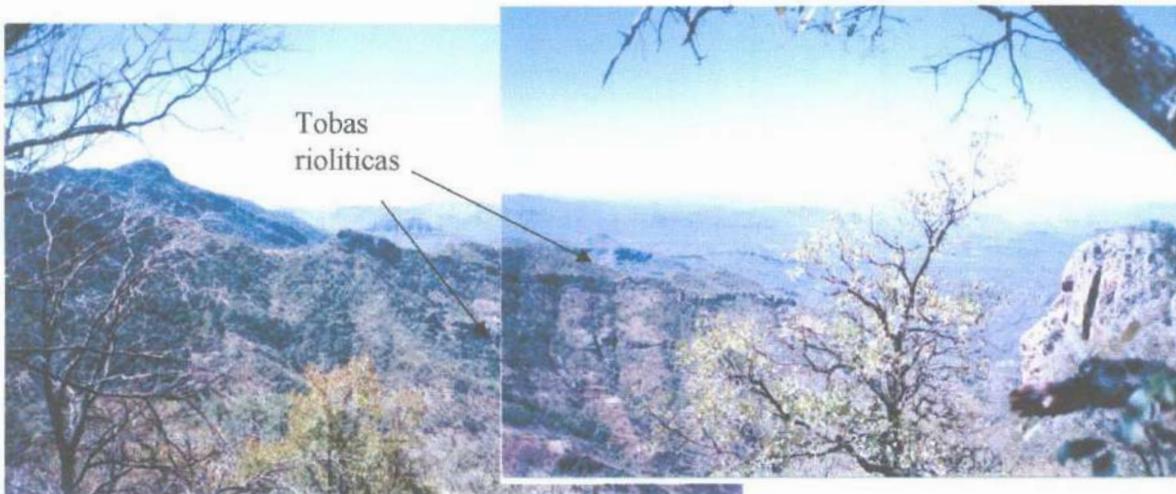


Foto 1: Foto tomada viendo al SW desde la mesa El Campanero, se puede apreciar la morfología y el estilo estructural, que consiste de un fallamiento NW-SE que provoca echados hacia el SW en las unidades de toba riolítica.

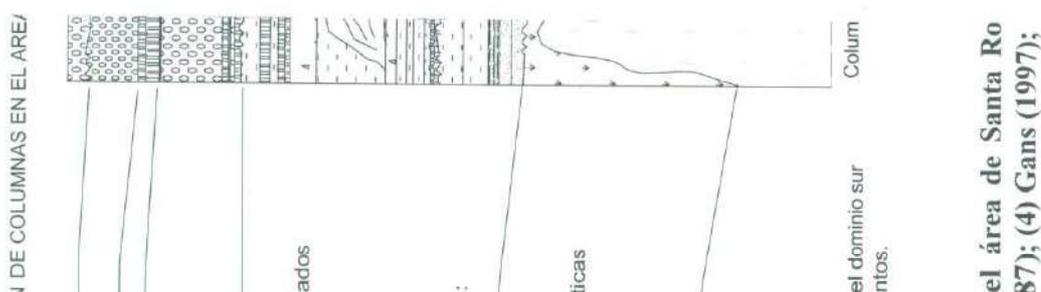
III.- MARCO GEOLOGICO DEL AREA

En el Estado de Sonora afloran rocas que van desde el Precámbrico hasta el Reciente. Afortunadamente el Mesozoico es de los mejor conocidos. Se sabe de la existencia de un arco magmático asociado a un proceso de subducción de la placa Farallón bajo la de Norteamérica. Este periodo, llamado también evento Larámide de 90 - 40 Ma (Damon, 1981), es representado en el área de estudio por la Formación Tarahumara de 88 a 60 Ma (McDowell, 1999 artículo en prensa), la intrusión de

cuerpos de dimensiones batolíticas como la granodiorita San Nicolás de 49 a 59 Ma (Damon et al. 1983; y Mead et al. 1988), y el complejo riolítico ignimbrítico de 34 a 27 Ma (Demant, et al. 1993); este último depositado como una fase posterior durante el Terciario temprano (posiblemente desde el Eoceno hasta el Oligoceno). Después de finalizar la subducción se ha interpretado un proceso de relajamiento cortical hace aproximadamente 30 Ma (Delprietti, 1987), que puede ser el responsable de los derrames de flujo basáltico, que se encuentran intercalados con tobas y riolitas, conocido también como vulcanismo bimodal.

Casi contemporáneo al magmatismo del complejo ignimbrítico, se deposita la acumulación de conglomerados sintectónicos y flujos volcánicos del Oligoceno (33 a 22 Ma). Este proceso fue aparentemente continuo a través del Terciario, representado por la Formación Báucarit; además un periodo corto y más reciente de deformación estructural distensiva ocurrió entre 10 y 9 Ma. Estos eventos tectónicos pueden ser responsables de la fisiografía actual de la Sierra Madre Occidental (provincia de Sierras y Valles Paralelos) en Sonora, México.

Datos geológicos publicados hasta hoy como fechamientos radiométricos por el método K-Ar, en flujos de rocas volcánicas intercaladas y suprayacentes a conglomerados volcanogénicos y areniscas de origen continental en Sonora, indican rangos de edad comprendidos entre 33 y 5 Ma indicando un gran periodo distensivo en la región (Bartolini, et al. 1994). Entre estas, las rocas volcánicas asociadas con conglomerados y areniscas conocidos como Formación Báucarit varían en edad desde 23 hasta 10 Ma.



CORRELACION DE COLUMNAS EN EL AREA SANTA ROSA DE YECORA

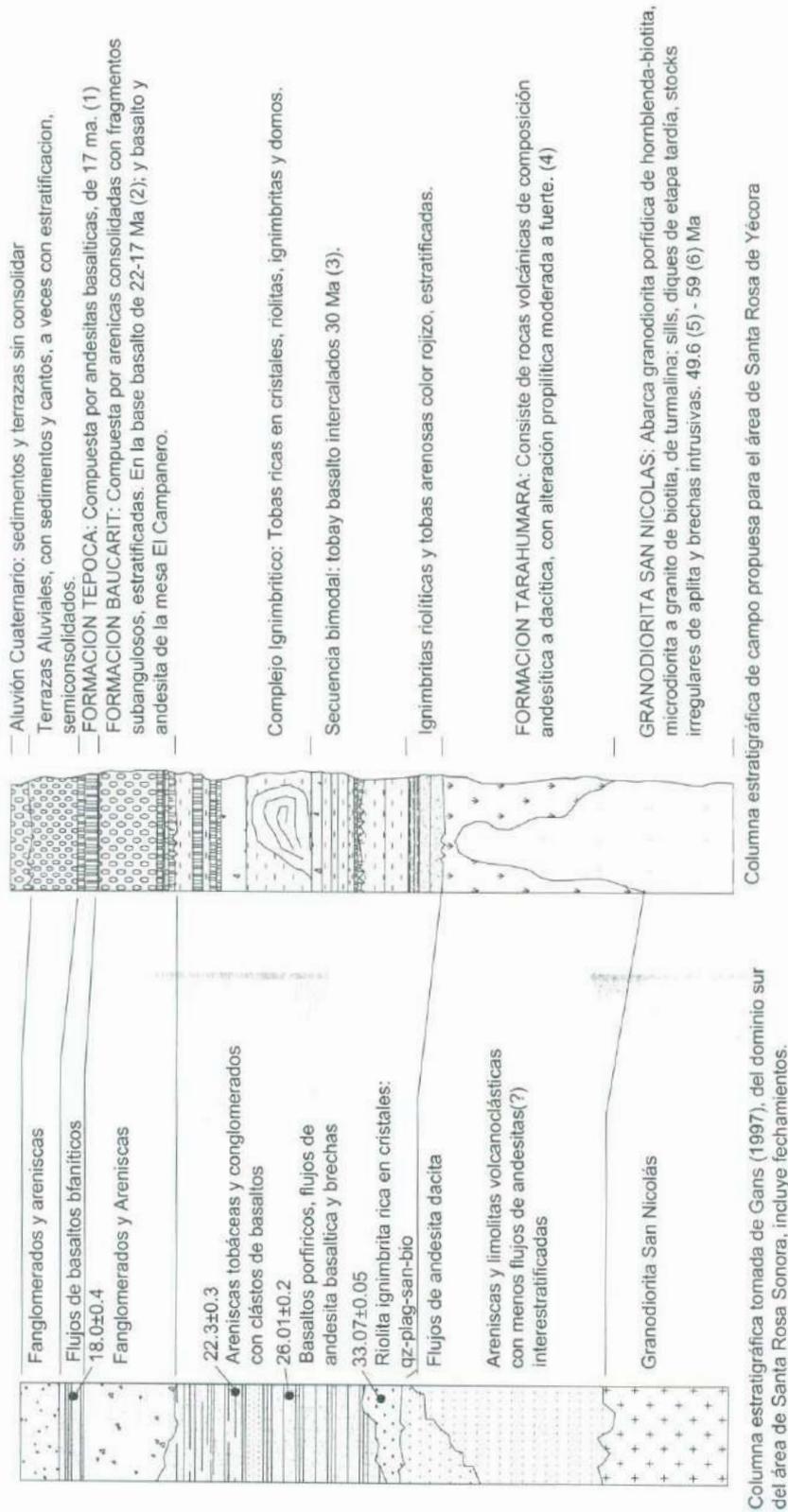


Figura 5: Correlación de columnas del área de Santa Rosa de Yécora, Sonora. Fuente de datos: (1) Cochemé (1985); (2) Bartolini et al. (1994); (3) Delpretti (1987); (4) Gans (1997); (5) Damon et al. (1983); (6) Mead et al. (1988).

IV.- GEOLOGIA DEL AREA

4.1.- PALEOZOICO

Aunque en la zona de estudio no hay afloramientos correspondientes al Paleozoico, rocas de esta edad afloran en otras áreas cercanas a los poblados de Tónichi y Tecoripa (Figura 4), y han sido divididas como Unidad Soyopa, Unidad San Antonio y Unidad Pérmico Martínez (Barrera y Domínguez, 1987). Estas unidades componen una secuencia que varía desde arenisca de cuarzo, en la base, intercalada con lutita conteniendo graptolitos (Unidad Soyopa), y pasando gradualmente a rocas calcáreas de la Unidad San Antonio, con intercalación de horizontes de arenisca. Hacia arriba, la caliza con pedernal y horizontes arcillosos se hace más abundante, conformando a la Unidad Pérmico Martínez. Estas rocas que componen las distintas unidades se encuentran alteradas por el emplazamiento de rocas intrusivas.

El ambiente donde se formaron estas unidades corresponde a zonas cercanas a un margen continental en zonas de alta energía, caracterizadas por la gran cantidad de areniscas de grano bien clasificado y redondeado, con cambios en la velocidad de aporte y en el contenido de oxígeno en las aguas, lo que también dio lugar a depósito de lutitas con materia orgánica (Barrera y Domínguez, 1987).

4.2.- MESOZOICO

4.2.1.- Triásico

Las rocas pertenecientes al Periodo Triásico, no afloran en la localidad de estudio, pero aproximadamente a 50 km al nor-poniente del área de estudio, cerca del poblado de San Javier, existen excelentes afloramientos que se pueden observar en el

trayecto de la carretera que va de Hermosillo a San Nicolás principalmente en el tramo de San Antonio de la Huerta a La Barranca (Figura 1).

La secuencia está representada por un conjunto de rocas sedimentarias célebres por su contenido fosilífero, a las que Dumble (1900) las describió bajo el nombre de División Barranca, y que finalmente Alencaster (1961) la elevó a rango de grupo, y la dividió en tres formaciones; nombrándolas de la base a la cima: Arrayanes, Santa Clara y Coyotes. La parte inferior de este grupo está representada por la Formación Arrayanes, constituida por una alternancia de conglomerados, areniscas de cuarzo y lutitas, cubriendo en discordancia a rocas del Paleozoico.

Reposando en concordancia sobre la anterior se encuentra la Formación Santa Clara, definida por una secuencia de lutitas intercaladas con horizontes de cuarcitas, caracterizado por el contenido de restos de plantas fósiles en su límite inferior transicional con la Formación Arrayanes, hospedando algunos depósitos de grafito y carbón antracítico (Wilson y Rocha, 1946). Cubriendo discordantemente a la Formación Santa Clara se tiene a la Formación Coyotes, la cual está formada por una transición de conglomerados intercalados con horizontes de areniscas y capas de lutitas.

Por sus características litológicas de areniscas, conglomerados y materia orgánica contenida en las lutitas, indica un ambiente de depósito en una zona de transición palustre - deltaico, cercana al margen continental o zona emergida. Toda la secuencia podría alcanzar un espesor mayor a los 3000 metros (Stewart y Roldán-Quintana, 1991).

4.2.2.- Cretácico

El Cretácico en el área de estudio está representado por la Formación Tarahumara que ha sido identificada y descrita por varios autores, (Dumble, 1900; Wilson y Rocha, 1946; McDowell, 1983 y 1989; McDowell y Kaiser, 1977 y McDowell et al., 1994 y 2000).

Su importancia estriba en que a nivel regional aflora extensamente en la porción centro este del Estado de Sonora (Figura 4), y muy probablemente representa el vulcanismo intermedio de afinidad calcoalcalina de McDowell y Kaiser (1977), que se ha interpretado como la evolución de un arco magmático que estuvo activo desde el Mesozoico hasta el inicio de la Era Cenozoica (McDowell et al., 1991).

4.2.2.1.- Formación Tarahumara:

Aflora en el área de estudio como una unidad volcánica y volcanoclástica que por su mineralogía actual sugiere una composición andesítica a dacítica.

Las rocas que conforman esta formación fueron reconocidas y descritas primero por Dumble (1900) y posteriormente por Wilson y Rocha (1946) en un área al oeste de Tónichi, (Figura 1). Esta formación alcanza un espesor de alrededor de 1000 m y cubre discordantemente a las rocas sedimentarias del Grupo Barranca del Triásico Tardío. No fue posible establecer la relación entre ambas debido a que la porción inferior de la Formación Tarahumara o el miembro superior del Grupo Barranca no se encuentran expuestos o está discordantemente cubierta por rocas volcánicas del Oligoceno (Figura 4); por lo tanto se interpreta que el contacto entre ambas formaciones es discordante. En general se encuentra alterada y su estructura y mineralogía están mal preservada debido al metamorfismo provocado por intrusiones de rocas más jóvenes.

Los afloramientos de la Formación Tarahumara en la zona de estudio consisten

únicamente de flujos volcánicos de andesita (Foto 2) y dacita (Foto 3), con algunos horizontes de tobas mal preservadas; todas con alteración en menor o mayor grado que hace difícil su clasificación, debido a la intrusión de la granodiorita San Nicolás que afecta a toda la secuencia, y que desarrollan zonas con alteración hidrotermal, de débil a intensa, principalmente propilitización (biotita-clorita-epidota-calcita-arcilla y ocasionalmente pirita; algunas veces este grado de alteración hidrotermal no permite definir la mineralogía original (Foto 3), pero se determina que su composición global, de acuerdo con sus características petrográficas, corresponden con rocas volcánicas de composición intermedia.

Los afloramientos de esta unidad en el área se encuentran por un lado limitados por fallas de rumbo preferencial NNW con buzamiento al SW o al NE (Foto 6) y por el otro lado intrusionada por la granodiorita San Nicolás, aunque otras veces se encuentra limitada o cubierta por rocas sedimentarias y volcánicas de edades más jóvenes.

Los afloramientos de la Formación Tarahumara se encuentran distribuidos en diferentes porciones de la zona de estudio, y son correlacionables entre sí debido a que es la única unidad que presenta alteración propilitica penetrativa de débil a intenso grado. Los afloramientos se pueden apreciar en el mapa como franjas geológicas de rumbo preferencial NW-SE que se localizan principalmente en el poblado de La Concepción, ubicado en el centro-oeste del área de estudio. Aquí existen rocas de composición andesítica a dacítica con delgadas intercalaciones de horizontes tobáceos de 20 a 40 cm de espesor, parcialmente intrusionadas por la granodiorita al lado este

del afloramiento; y su porción oeste es cubierta en discordancia por la unidad del complejo ignimbrítico, como se observa en las partes altas de los lomeríos cercanos.

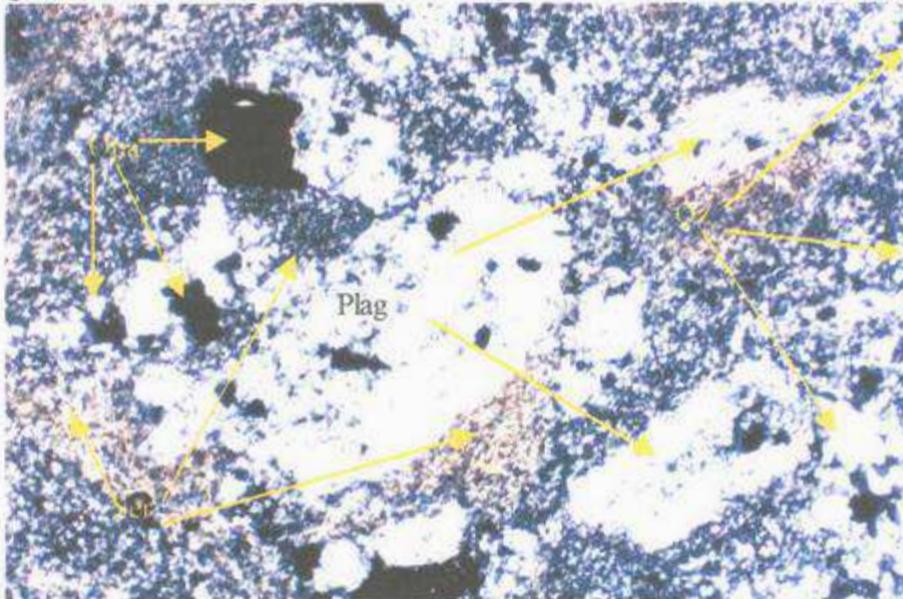


Foto 2 : La muestra LC-05 con objetivo de 5X y NX, en apariencia sobresale la presencia de biotita hidrotermal (agrupamiento de micro hojuelas de tonos amarillentos) indicando alteración potásica; hay sericita (Ser) en plagioclasa (Plag), cuarzo secundario (Qz 2); además de la presencia de minerales opacos (Opa) diseminados.

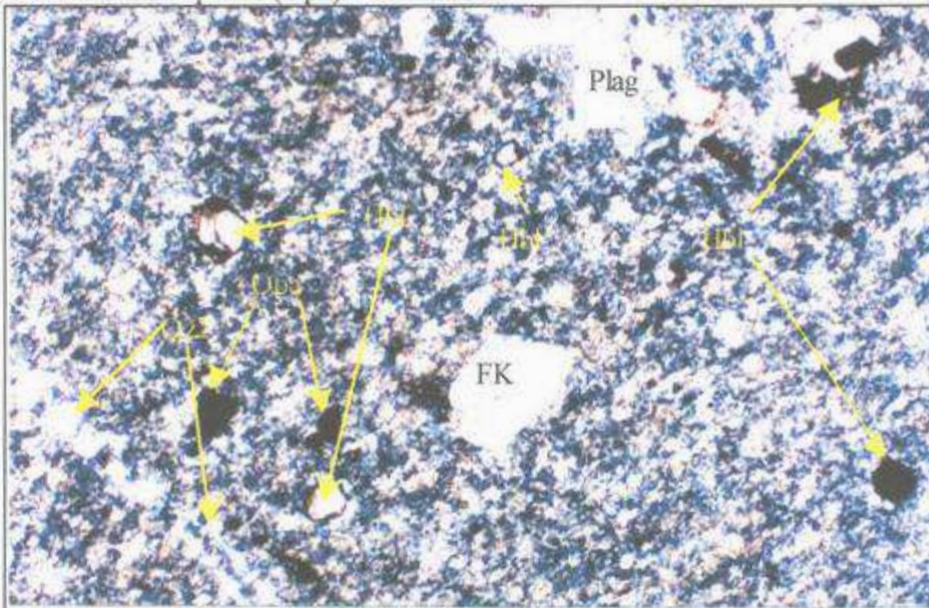


Foto 3 : Esta ilustración de la muestra LC-08 tomada con objetivo de 5X y NX, exhibe el intenso grado de alteración hidrotermal de cuarzo (Qz)- calcita (Cal)- opacos (Opa), que algunas veces reemplazan a los feldepatos (FK) y plagioclasas (Plag). También sobresale la diseminación de los opacos reemplazando a los ferromagnesianos. En la parte inferior izquierda se indica una vetilla de cuarzo (Qz2).

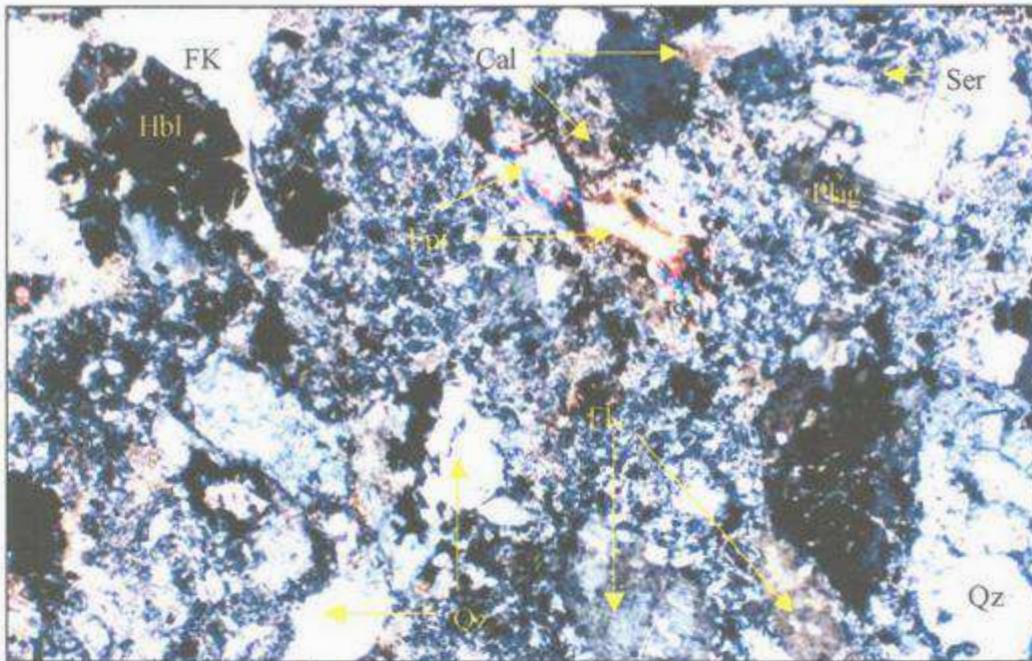


Foto 4 : En esta lámina tomada con objetivo 5X y NX en la muestra LC-07 se advierte la toba con alteración propílica de clorita - epidota - calcita - opacos en una matriz compuesta de cuarzo (Qz), plagioclasa (Plag), y feldespato potásico (FK), estos últimos reemplazados por sericita (Ser), algunas veces con epidota (Epi) y calcita (Cal), mientras que los ferromagnesianos (Hbl) son sustituidos por opacos (Opa).

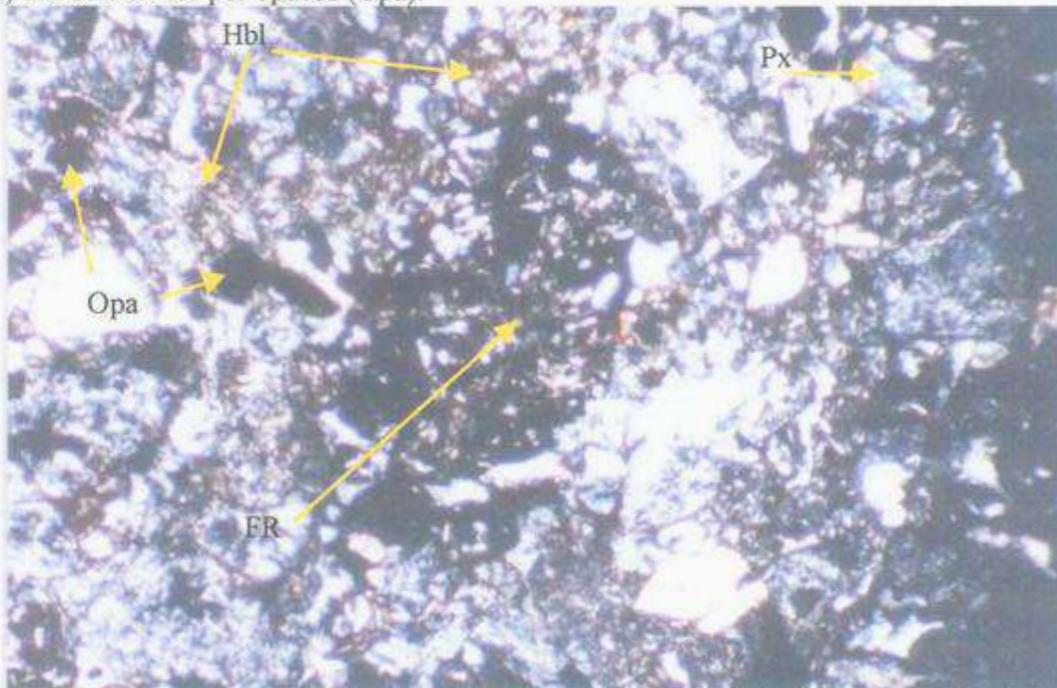


Foto 5: En esta representación, tomada con objetivo de 5X y NX sobre la muestra LC-02 de una toba rica en cristales, se diferencian los piroxenos (Px), un fragmento de roca (FR) y ligeramente la hornblenda (Hbl), en una toba de matriz totalmente desvitrificada.

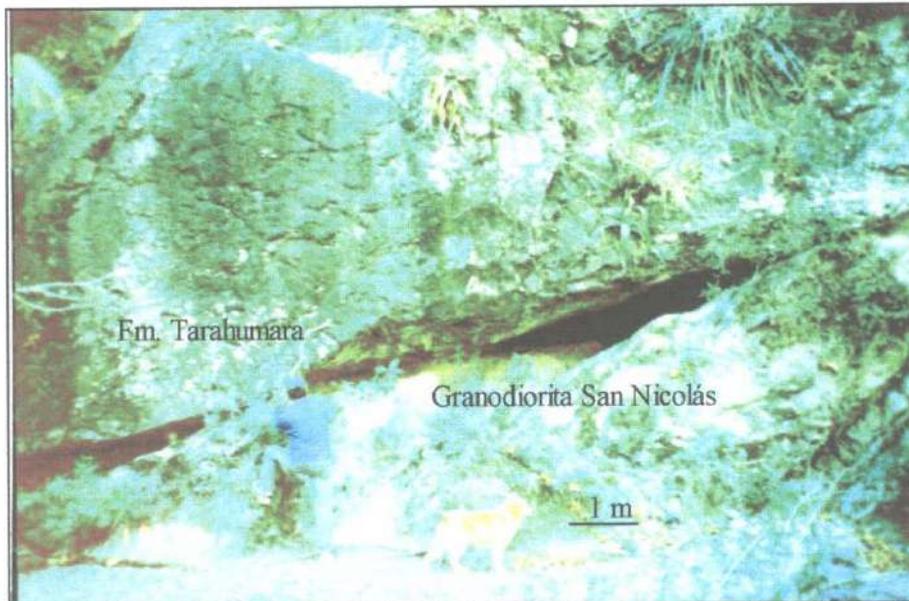


Foto 6: Muestra un contacto por falla local entre la granodiorita San Nicolás y la Formación Tarahumara, tomada cerca del rancho El Reparó en la porción centro este. Tiene un rumbo NW 35° con echado 24° al SW.

Al sur de este mismo poblado la formación se ve limitada por una falla regional interpretada de rumbo NE 50°; estos mismos afloramientos llegan hasta cerca del poblado Guadalupe Tayopa donde se ve el contacto con la granodiorita y las rocas volcánicas de la unidad ignimbrítica depositadas en discordancia, como en el caso de los cerros Los Pinos y Cerro Grande. Al norte se interpreta una falla de rumbo NE 75° que pone a la Formación Tarahumara en contacto con la granodiorita San Nicolás.

Otro afloramiento ocurre al oeste de Santa Ana, en la porción centro norte del área, donde los tipos de rocas van desde andesita a dacita con intensa alteración. Aquí el afloramiento se debe a un fallamiento normal que provocó la exposición de las partes más profundas de la secuencia volcánica (Foto 6), en ese mismo sitio existen algunos afloramientos aislados de la Formación Tarahumara que quedaron como techos colgantes sobre el intrusivo granodiorítico.

También se logra ver en la localidad algunos contactos discordantes de tobas más jóvenes que pertenecen a la secuencia volcánica del Complejo Ignimbrítico, como es en el caso del cerro Peñasco Amarillo, donde el contacto entre la Formación Tarahumara y el complejo ignimbrítico se interpreta como discordante. Hacia el sur la Formación Tarahumara es limitada por la falla regional interpretada de rumbo NE 50° que corre a lo largo del arroyo El Reparó pero hacia el oriente cambia su rumbo a NW 35° y ligero echado al SW (Foto 6).

Esta porción de la Formación Tarahumara es posible correlacionarla con la porción inferior de una sección presentada por McDowell y Roldán (artículo en preparación); y en otra localidad en el sur centro del cuadrante Suaqui Grande (Figura 4).

La formación también aflora cerca del rancho La Cebolla en la parte este del mapa (ver mapa geológico) como un bloque basculado, ahí debido a un fallamiento de rumbo casi N-S que es evidente ya que sigue una repetición que provoca que esta formación se manifieste hasta el rancho La Pila como una franja de rumbo casi norte - sur, esto muy posiblemente relacionado a fallamiento NW-SE que da la morfología a esta región del estado y la cual es característica de esta provincia fisiográfica.

Cerca de la mesa El Campanero, al oeste del área de estudio, afloran rocas volcanoclásticas de afinidad andesítica (Foto 2), con intercalaciones de horizontes tobáceos (Foto 5) y lentes de limolitas y areniscas, que se pueden apreciar a las orillas del camino en el tramo que va de San Nicolás a Yécora (Foto 7) , donde también se observa el contacto superior de la Formación Tarahumara en discordancia con la porción inferior del complejo ignimbrítico. Estas secuencias de afloramientos son

para un horizonte de toba en la sección arroyo El Obispo proporcionaron edades entre 70 y 90 Ma (McDowell, et al. 2000). En conjunto las rocas del batolito sonorense y de la Formación Tarahumara constituyen un arco magmático que interactuó desde el Mesozoico hasta el inicio del Terciario y está relacionado a la subducción de la placa Farallón debajo de la de Norte América.

El depósito de la Formación Tarahumara se infiere desde el Cretácico Tardío al Terciario temprano, extensamente correlacionable con el Complejo Volcánico Inferior de McDowell y Kaiser (1977) y las rocas volcánicas de la Formación Tarahumara de Wilson y Rocha (1946), y contemporánea al emplazamiento de los batolitos laramídicos, ya que algunos plutones que claramente intrusionan a la Formación Tarahumara indican edades entre 56 y 60 Ma (Gans, 1997; Mead et al., 1988).

En base a fotointerpretación y caminamientos se considera que esta unidad pueda alcanzar un espesor superior a los 600m, siendo difícil el definirlo debido a su fallamiento interno y a la cubierta de rocas volcánicas del Oligoceno.

La petrografía es consistente en cuanto a la descripción de las muestras. Algunas aun conservan sus texturas de flujo, pero todas presentan una alteración propilítica de menor a mayor grado (Fotos 2,3,4,5); donde la matriz y el contenido de los minerales primarios como son plagioclasas, feldespatos y algunas veces cuarzo es enmarcascarado por el contenido de arcillas, sericita, clorita, epidota, calcita, minerales opacos y vetilleo de cuarzo, llegando inclusive en ocasiones ser casi imposible la elaboración de la lámina delgada por lo deleznable de la muestra de mano.

4.3.- CENOZOICO

4.3.1.- Eoceno

Un rasgo particular que caracteriza al Estado de Sonora es la gran cantidad de cuerpos intrusivos (Figura 4) y la relación de estos con muchos depósitos minerales importantes. Sus afloramientos son debido a la gran tasa de extensión y erosión posterior a su emplazamiento.

4.3.1.1.- Granodiorita San Nicolás

La granodiorita San Nicolás cubre una extensa área en la zona central y una pequeña porción en la parte este del mapa. Su morfología corresponde a montañas de poca elevación y de pendientes suaves (Foto 8), además de que en planta se puede observar en ocasiones su drenaje radial que es característico de rocas intrusivas.

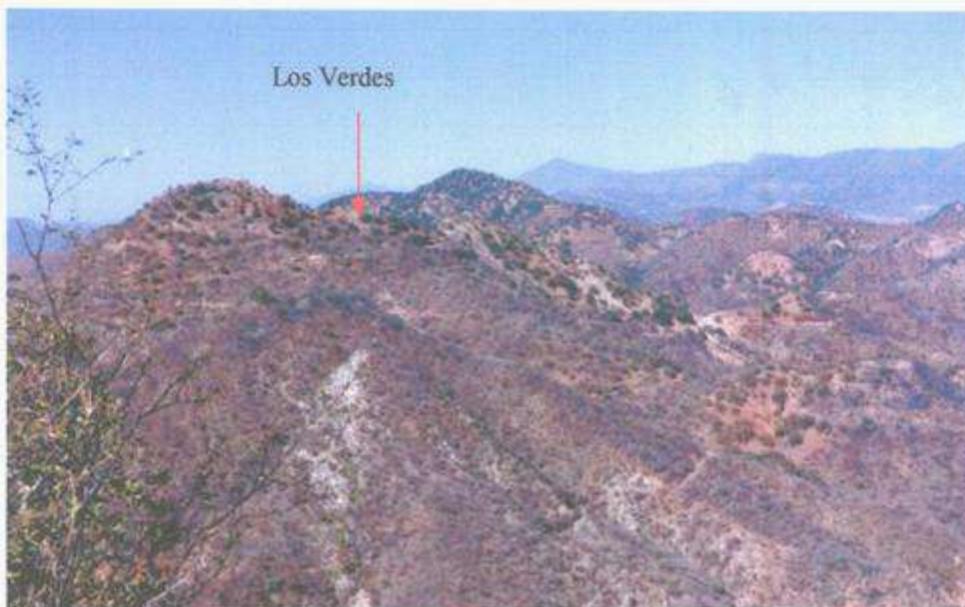


Foto 8: Vista panorámica del intrusivo granodiorítico San Nicolás; en particular se observa el depósito "Los Verdes", emplazado en el mismo intrusivo.

Esta unidad ha sido estudiada por diversos autores como Damon et al., 1981; 1983), Mead et al., 1988, Cochemé y Demant, 1991, y Gans, 1997; sin embargo, sus características particulares (mineralogía, estructura, alteración, etc.) no han sido detalladas. Sus afloramientos corresponden a un conjunto de emplazamientos de rocas intrusivas, desde granodiorita de hornblenda-biotita, a monzonita, cuarzo monzonita, diques de etapa tardía, stocks irregulares de aplita, granito de turmalina, brechas intrusivas, granodiorita porfídica, y microdiorita (Foto 9).

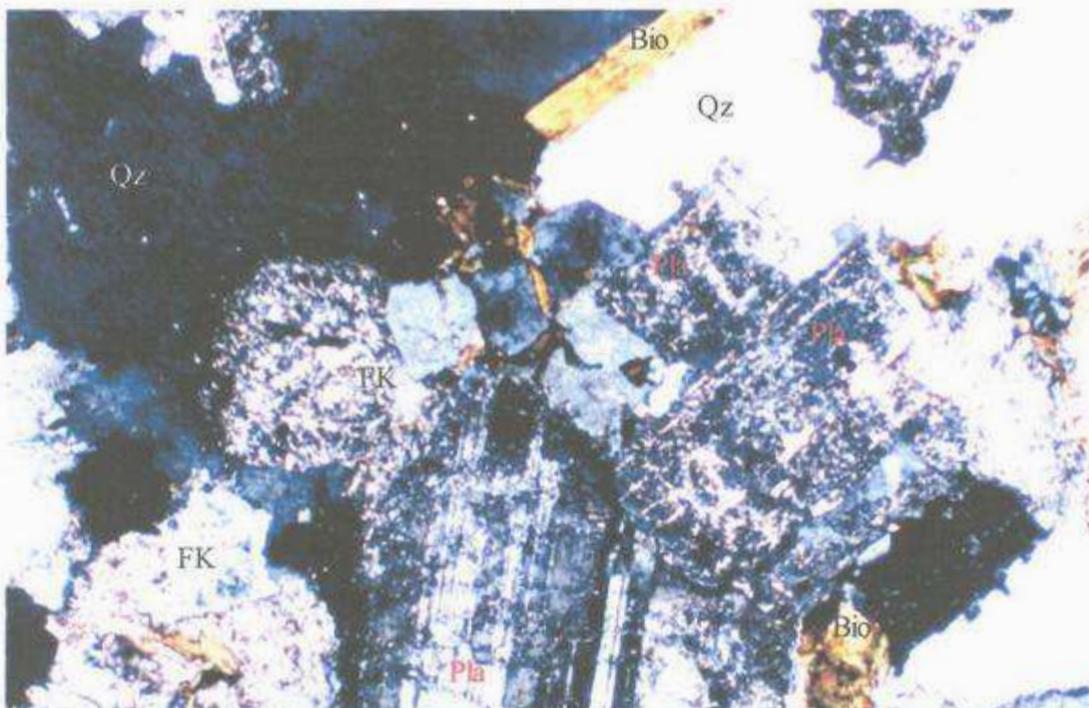


Foto 9: Muestra la granodiorita con cuarzo (Qz), biotita (Bio); los cristales de plagioclasas (Pla) y feldespato potásico (FK), con alteración sericítica moderada.

La exposición de este plutón ocurre en diversas localidades tanto en el área como fuera de ella; pero al norte, en el poblado de San Nicolás aflora como una ventana de dimensiones batolíticas, esto debido al fallamiento extensional aunado al gran nivel erosivo que provoca que también aflore en otras localidades cercanas. Esta

misma unidad se prolonga hacia el sur como franjas de rumbo NW-SE, donde evidentemente se encuentra intrusionando a rocas de la Formación Tarahumara, esto se puede observar por la carretera desde el tramo que va de San Nicolás hasta casi llegar a la mesa El Campanero.

El afloramiento en el poblado de Guadalupe Tayopa, en su parte norte y sur, es limitado por fallas regionales de rumbo NE-SW, pero en su porción oriental es cubierto por las rocas de la Formación Tarahumara y del otro lado se expone por una falla interpretada de rumbo NW-SE, con buzamiento a NE, que se localiza a casi dos kilómetros al este del poblado, esto se interpreta debido a que existe una repetición de las secuencias con sus contactos intrusivos e intenso fracturamiento en la zona de la falla (Ver Mapa Geológico Anexo y Sección B-B'), dando a esta unidad formas de afloramientos con el mismo rumbo NW-SE en las porciones de los poblados de Santa Ana y Guadalupe Tayopa ubicados al centro del área de estudio, donde incluso se observan restos de la Formación Tarahumara como techos colgantes.

En otras áreas la granodiorita intrusiona solo a la Formación Tarahumara, en otros sitios aflora como una pequeña ventana como se puede apreciar en la parte baja de la mesa El Campanero, cerca del rancho llamado Los Tepalcates. Todos los otros contactos de esta unidad están interpretados como fallas, por ejemplo Gans (1997) sugiere un sistema de fallas ("accomodation zone"), de rumbos NE-SW para explicar la actividad distensiva que exhuma los cuerpos intrusivos. Estas fallas aparecen en el mapa geológico presentado en este trabajo y se localizan en la porción centro norte y centro sur, marcadas por las cañadas que forman los ríos El Reparó y Santa Ana.

La unidad tiene reportadas varias edades; Damon et al. (1981) reportó edades K-Ar en hornblenda y biotita de 49.3, 49.5, y 49.6 Ma. Otra de 59.0 ± 10.5 Ma por Rb/Sr (Sansores-Bolivar y Wynne, 1977). Mead (et al., 1988) reportó en otras localidades cercanas 63 Ma en hornblenda, 56.1 en sericita, y 53.7 Ma en biotita (por el método K/Ar y Ar/Ar), sugiriendo la existencia de que la granodiorita San Nicolás podría incluir dos o mas intrusiones separadas (entre 63 y 50 Ma), Cretácico Tardío -Terciario temprano.

La presencia de los cuerpos intrusivos en esta área despierta interés desde el punto de vista económico para su estudio, debido a que son rocas asociadas con la mayoría de los yacimientos de tungsteno, molibdeno y cobre en la región. Como ejemplo citamos el Distrito de Buena Vista que tuvo intensa actividad durante los 70's con minería de mediana y pequeña escala, en varias minas/prospectos como son Los Verdes, La Tungstenita, La Mexicana, La Bufa y otras.

La petrografía de esta unidad indica una variedad de rocas ígneas intrusivas que muestran transiciones desde granodiorita de hornblenda y de biotita hasta cuarzomonzonita, e incluso algunos diques pegmatíticos. También ocasionalmente presenta evidencias de alteración hidrotermal en los cristales de feldespato, plagioclasa y biotita, que son reemplazados por sericita, clorita y minerales arcillosos.

4.3.2.- Oligoceno

El Oligoceno se caracteriza por una importante actividad volcánica; esta representada el vulcanismo de la Sierra Madre Occidental de 34-27 Ma (Demant et al., 1993) y la distensión definida por varias unidades de 30-17 Ma (Demant, 1989). Para su descripción se ha separado en Oligoceno Temprano y Oligoceno Tardío.

4.3.2.1.- Oligoceno temprano:

Durante el Oligoceno Temprano, el volcanismo ignimbrítico calcoalcalino es el predominante en el noroeste de México, las voluminosas erupciones piroclásticas fueron producidas por actividad volcánica asociada a calderas (Demant et al, 1993).

Aunque en el área existen barrancas profundas con control estructural de sierras alargadas y cañadas con rumbo preferencial NNW-SSE, la meseta es la morfología que caracteriza a la Sierra Madre Occidental (SMO), y es resultado de los flujos de cenizas de coladas anteriores. Esta potente unidad es referida por varios autores como Serie Volcánica Superior (SVS) o Complejo Ignimbrítico y representa el arco de volcanismo silíceo más grande a nivel mundial ya que cubre un área aproximada de 1400 km de largo por 200 km de ancho.



Foto 10: Aquí se aprecia parte de la morfología de un potente espesor de la unidad de toba rica en cristales, formando un espectacular escarpe en la mesa El Campanero, éstas mismas rocas son coronadas por basalto de olivino en forma discordante.

Este volcanismo está relacionado a procesos de subducción (McDowell and Clabaugh, 1979), y es contemporáneo con la subducción de la placa Farallón, bajo la de Norte América. Las rocas félsicas de la SMO son interpretadas como un producto de cristalización fraccionada de magmas máficos (Cameron et al. 1980; Lamphere et al.1980; Cameron y Hanson, 1982; Cameron y Cameron, 1985) o como una mezcla de corteza continental inferior (Ruiz et al. 1988).

4.3.2.1.1.- Complejo Ignimbrítico

Esta unidad ha sido motivo de diversos estudios para comprender el episodio magmático que se desarrolló en la SMO (Magonthier, 1988). Dentro de ella se han reportado diferentes conjuntos riolíticos, pero se puede reconocer ampliamente que la ignimbrita riolítica rica en cristales es el tipo de roca más abundante al norte de la SMO, al aflorar extensamente en diferentes localidades y aparecen representadas también en el área. Al Complejo Ignimbrítico se le ha calculado un espesor de 1 km con una edad que varía entre 34 y 27 Ma (Demant; et al, 1993) que corresponde con lapso de tiempo relativamente corto para el gran volumen de material generado por este evento volcánico; aunque existen afloramientos con las mismas características con rango de edades mayores, más al oriente.

La unidad está compuesta principalmente por toba rica en cristales (Foto 11), riolita, ignimbrita, toba lítica (Foto 11), toba soldada (Foto 12) y algunos horizontes intercalados de toba arenosa y basalto, que varían en sus espesores desde decenas de metros hasta más de cien. Se sugiere la división de esta unidad en miembro inferior, con lavas máficas intercaladas; y superior que carece de ellas.

El miembro inferior aflora en la porción centro oeste del plano, cerca de los

Al sur de Guadalupe Tayopa y al sur de Santa Ana, los contactos son discordantes con la unidad inferior de la Formación Tarahumara, esta relación también se puede apreciar a lo largo del tramo de la carretera pavimentada que va de San Nicolás a Yécora.

Aflora de igual manera abajo de la mesa El Campanero, con un rumbo de N50°W y débil echado de 15 a 18° al SW; aunque localmente puede llegar a ser mas fuerte, alcanzando incluso hasta los 55° SW

Forma una potente pila de rocas con espesor mayor a los 600 m y su actitud estructural depende del fallamiento posterior a su formación, siendo el motivo de que el rumbo de éste miembro varía de lugar a lugar. En el poniente del área se tomaron algunas mediciones, dando rumbos entre 20° a 45° al NW con echados que varían de alto grado (50°) al SW; más al oriente se varia de 8 a 20° al NW con echados de 5 a 18° al NE.

La base de este miembro del Complejo Ignimbrítico o SVS está constituida por un paquete que corresponde a un nivel de andesita y toba, sobreyaciendo a horizontes arenosos rojizos de la porción superior (Foto 7) de la Formación Tarahumara. Esta relación es claramente observada a lo largo del camino que lleva a Yécora. Estratigráficamente continúa hacia arriba como una sucesión de rocas principalmente de toba rica en cristales, de color rosado a blanco, a veces con fragmentos de pómez o ignimbrita densamente soldada y que contienen en promedio de 20 a 30% de cristales, consistentes en plagioclasa (15-20%), cuarzo (15%), biotita (2-3%) y sanidina (<1%). El lapilli pumicítico y los fragmentos líticos son discretos (Foto 12), algunas veces se observan estructuras de flujo de los derrames (Foto 13).

La porción superior está limitada por la presencia de basaltos del miembro

superior y el contacto entre ambas es interpretado como concordante en base a observaciones de campo.

El fechamiento del miembro inferior del Complejo Ignimbrítico representado por riolita ignimbrítica rica en cristales, ha llegado a alcanzar edades de hasta 33.07 ± 0.10 Ma (Gans 1997), al noroeste del poblado de La Concepción. Lo cual corresponde aproximadamente con otros datos de McDowell (comunicación personal con Roldán-Quintana), quién reporta edades de 23 y 36 Ma (Oligoceno medio a Tardío) de este mismo miembro en la porción oeste del área.

Para esta unidad se describieron un total de 16 muestras, entre láminas delgadas y muestras de mano además de determinaciones in situ; clasificándose como sigue: la mayoría muestra una textura tobácea, donde existe una abundancia en cristales de cuarzo y biotita, algunas muestran sanidino; también se observan flujos volcánicos de riolita y riodacita. En ocasiones esta unidad presenta pirita con oxidación y una débil cloritización, posiblemente relacionada a una etapa tardía de hidrotermalismo.

En la porción más oriental del área de estudio del mismo modo afloran rocas de esta misma unidad, consistente de toba rica en cristales (Foto 11) y toba riolítica, con cristales de cuarzo (<5%), feldespato potásico (5%), biotita (2-3%) con ligera oxidación y fragmentos de roca de composición andesítica, dentro de una matriz vítrea mal preservada con evidentes bandas de soldamiento. Se han depositado discordantemente sobre las rocas de la Formación Tarahumara, y es cubierta en sus partes más altas por la Formación Tepoca; pero hacia su costado poniente el contacto se encuentra controlado por una falla, la cual delimita la cuenca rellena por la Formación Báucarit.

La unidad del miembro superior se encuentra distribuida en la porción sur de la hoja de estudio, al oeste del poblado de Bermúdez, Chihuahua, extendiéndose mas de 6 kilómetros al poniente. El acceso a esta unidad hace difícil su estudio ya que su morfología de cañadas profundas no permite observar de cerca todos los afloramientos pero si se visitaron mediante caminamientos algunos de ellos, aprovechando algunos caminos de aserraderos que fueron abandonados.

Algunas muestras fueron colectadas en helicóptero por el Consejo de Recursos Minerales, que fueron de gran utilidad para este estudio. Tanto en el estudio de campo como en fotografías aéreas se observó un rumbo que varía de $N5^{\circ}-20^{\circ}W$, con echado variable de $25^{\circ}-55^{\circ}$ SW este basculamiento provocado posiblemente por una extensión NE-SW, calculándose un espesor de 350 m. Estos afloramientos corresponden a una intercalación de rocas que varían desde basalto (con \pm plagioclasas, \pm piroxenos y olivinos) con intercalaciones de toba, andesita con fenocristales de biotita y hornblenda, toba de flujo de ceniza pobremente soldada, flujos bandeados, alcanzando una columna de aproximadamente 300 m o más de espesor. No se aprecia el contacto entre éste miembro superior con la Formación Báucarit, sin embargo, por relaciones de campo y fotointerpretación se considera que puede ser discordante.

La edad de este miembro puede ser controvertida, aunque está documentado por diversos investigadores (Demant et al., 1993; Bockoven, 1980; Motigny et al., 1987), los cuales aseguran que es hasta después de los 30 Ma cuando comenzaron las erupciones de basaltos andesíticos, que se relacionan al tectonismo extensional pre-Sierras y Cuencas (Delpretti, 1987).

Una gran extrusión de magmatismo basáltico y basáltico-andesítico, asociado con una extensión regional de corteza, ocurrió en el Noroeste de México entre 30 y 17

Ma (Montigny, 1987; Demant, 1989), los productos de este episodio cubrieron a las rocas volcánicas del Terciario medio de la SMO. La aparición de esos basaltos coinciden también con el inicio de la tectónica distensiva que está marcada como una fase Pre-Sierras y Cuencas del Sur Oeste de esta unidad (Zoback et al., 1981).

En otra área cercana estudiada por Demant et al. (1993), describieron que esta secuencia bimodal yace dentro de una espesa pila de ignimbritas porfídicas datadas entre 31 y 35 Ma para esta región (Swanson y McDowell, 1985, Montigny et al., 1987) muy similar a las fechas del miembro inferior, pero aquí existe presencia de basaltos y el carácter bimodal desaparece progresivamente hasta la cima de la secuencia donde los basaltos de la serie ignimbrítica (Demant, et. al, 1993) predominan; algo muy similar a lo que ocurre en la secuencia del área de estudio. A pesar de que no se realizaron análisis sobre esos basaltos, se sugiere que pudieran ser correlacionables.

4.3.2.2.- Oligoceno Tardío:

En esta época la distensión jugó un papel importante para dar lugar a la morfología actual de las provincias fisiográficas del Noroeste de México y ha sido documentada ampliamente por diferentes autores en varias localidades. Una de las provincias mas representativas de esta época es la de Sierras y Valles Paralelos o también conocida como Sierras y Cuencas, la cual forma bloques estructurales de alineación principalmente NW-SE debido a un estiramiento NE-SW que provocó otras fallas normales asociadas. Los bloques forman estructuras de horst y grabens donde las cuencas han sido rellenadas por material proveniente de las zonas más altas.

4.3.2.2.1- Formación Báucarit

Como ya mencionamos, una de las formaciones más representativas de la

provincia de Sierras y Cuencas en Sonora es la Formación Báucarit. Fue definida por Dumble (1900) como División Báucarit, y posteriormente King (1939) la redefinió como Formación Báucarit en el sureste del Estado de Sonora, en los alrededores del poblado del mismo nombre.

En el área de trabajo aflora en la porción poniente, concretamente en los poblados de Curea, La Quema, El Capulín y Tacupeto. Se extiende también hacia el poniente hasta cerca de La Concepción, Tepoca y el rancho El Vallecito, al centro sur del área. Es una unidad con una potencia que alcanza espesores mayores a los 800 m. Su distribución consiste de valles rellenos de rumbo NNW-SSE, tipo pilares y cuencas.

Su morfología corresponde a zonas de poca elevación con escarpes pronunciados que sobresalen de zonas llanas.

En la zona de estudio esta unidad puede dividirse en dos miembros, superior e inferior, ambos en contacto concordante interpretado. El miembro inferior, que se ubica en la porción oriental de la cuenca, consiste de una intercalación de arenisca, conglomerado y basalto; este último fechado por Gans (1997) en el área de estudio indicando fechas entre 27 y 22 Ma.

El miembro superior aflora en el lado poniente de la cuenca y consiste de niveles de arenisca parcialmente consolidada y bien estratificada, intercalada con conglomerado polimíctico y estratos volcanosedimentarios; y algunas veces con horizontes de algunos minerales de sulfatos.

Los niveles de conglomerado del miembro superior contienen comúnmente fragmentos redondeados a subangulares de las rocas volcánicas más antiguas, pero en algunos lugares incluyen muchos clastos de granito (Foto 17).

En la localidad tipo de la Formación Báucarit, los miembros superior e inferior se

distinguen por la presencia de basalto en el miembro inferior de la sección, aunque King consideró que cuando los flujos volcánicos están ausentes, la distinción entre los miembros es difícil. Ambos miembros se encuentran expuestos en el área, y son interpretados en las secciones del plano geológico anexo.

La predominancia de los clastos en los afloramientos visitados a lo largo de la cuenca sugiere la presencia de un levantamiento y sedimentación sintectónicos (ver sección estructural A-A' y C-C' en el plano geológico anexo). La historia deposicional de éste conglomerado indica un origen continental y la sedimentación toma lugar como abanicos aluviales, fluviales y fases lacústres, provocado por un evento distensivo de relajamiento cortical post- laramídico.



Foto 13 : Aquí se muestra parte de la estratigrafía de la Formación Báucarit, donde los estratos volcanosedimentarios llegan a medir uno o varios metros de espesor con intercalaciones de conglomerado polimíctico.

En general los niveles de conglomerado presentan una variada y compleja fábrica deposicional interna. Esos factores incluyen textura de clastos y matriz

soportada, arenas arcillosa y matriz tobácea, granular y guijarros arenosos. También hay horizontes piroclásticos y lentes tobáceos.

El contacto inferior de ésta unidad no se distingue ya que se encuentra siempre en contacto por falla con las demás unidades, pero las relaciones de campo, fechamientos y geología, indican que descansa discordantemente sobre la unidad riolítica ignimbrítica y algunas veces sobre la Formación Tarahumara.



Foto 15: Muestra un acercamiento de un estrato de Báucarit, se puede ver la diversidad de clastos, y su variación de tamaños

El desarrollo de cuencas a lo largo de Sonora, indican el principio del fallamiento extensional de Sierras y Cuencas que provocó inclinación de bloques en el área de estudio, en menor o mayor grado.

Algunos flujos de basalto interestratificados fueron fechados por Gans (1997) por el método Ar/Ar, arrojando edades de 26.4 Ma y hacia arriba de la columna se van haciendo mas jóvenes alcanzando edades de 22.3 Ma.

Algunos autores como Bartolini et al. (1994) sugieren que las rocas volcánicas

entre 33 y 24 Ma sean consideradas estrictamente como una fase pre Formación Báucarit, porque son posteriores al volcanismo calco-alkalino laramídico que finalizó aproximadamente a los 40 Ma. Estas rocas clásticas dentro de este intervalo generalmente presentan un brusco levantamiento, con un rumbo preferencial NW-SE y echado al SW que varía de 15° hasta 30°. Las intercalaciones de basalto y los flujos de andesita basáltica están frescos y contienen olivino \pm clinopiroxeno \pm fenocristales de plagioclasa dentro de una matriz traquítica de plagioclasa \pm óxidos de hierro \pm piroxeno.



Foto 15: Muestra un acercamiento de los basaltos de la base de la Formación Báucarit en el área de estudio, se ve su mala preservación.

A pesar de que la textura de las rocas de esta formación no es muy consolidada, se tomaron algunas muestras para su descripción petrográfica, correspondiendo a rocas que varían desde micro conglomerado hasta conglomerado con tamaños de fragmentos desde 3 mm hasta 10 centímetros, con intercalaciones rítmicas; los clásticos varían desde granito a caliza y otras rocas sedimentarias.



Foto 16 Muestra el basalto de la porción inferior de la Formación Báucarit, donde están mejor preservados, con rumbo NW 30° y basculado al NE 20°, al sur del poblado de La Concepción.

4.3.2.3.- FORMACION TEPOCA

La Formación Tepoca fue definida por Cochemé (1985) y posteriormente estudiada por Cochemé y Demant (1991) a norte del área de estudio en una localidad cercana del poblado del mismo nombre. Por lo general ésta unidad presenta una morfología de mesetas, separadas por un fallamiento que provoca que ésta misma unidad sobresalga del terreno, ya que muchos de sus afloramientos cubren las zonas mas elevadas, ubicadas al oeste de la zona de estudio.

Esta unidad aflora principalmente en la porción poniente del área de estudio cerca de los poblados de La Quema, en su porción oeste y en El Capulín hacia el este y oeste, así como al oeste del poblado de Curea.

Los afloramientos visitados cerca del rancho El Mezquite y del poblado de

Tepoca consisten principalmente de rocas volcánicas de composición andesítica con hornblenda y basalto afanítico. El espesor estimado para esta unidad varía de 100 a 120 m.

Estas rocas se encuentran depositadas de forma ligeramente discordante sobre la Formación Báucarit anteriormente descrita; como se observa en la mesa El Chino, en el cordón El Destiladero y otros pequeños cerros del lugar. También la Formación Tepoca se encuentra sobre las prominentes mesetas a lo largo del margen oeste y sureste del área de Santa Rosa y cubre amplias y extensas superficies en el oeste del área.

La edad para esta formación obtenida por Cochemé (1985), en un flujo de andesita de hornblenda en la base de esta secuencia y una andesita afanítica cerca de la cima, indica rangos entre 17.45 ± 0.10 Ma y 16.7 ± 0.2 Ma respectivamente, indicando que esos depósitos posttectónicos son del Mioceno Tardío.

La petrografía de esta unidad clasifica a éstas rocas volcánicas como andesítica donde predominan los cristales de plagioclasa y piroxeno, dentro de una matriz vítrea bien conservada.

Al igual que la Formación Tepoca, la unidad de basalto de la mesa El Campanero representa el volcanismo más reciente y mejor preservado del área. Este basalto aflora en la porción oriental del área y se extiende a todo lo largo de la mesa, formando fuertes escarpes y acantilados, como se muestra en la Foto 10.

Esta unidad de basaltos cubre en ligera discordancia a las tobas del complejo ignimbrítico (Foto 17); su contacto es de aproximadamente $N42^{\circ}W$ con echado de 5° al SW; y se puede apreciar en la desviación de la carretera pavimentada que va a Yécora y que parte por terracería rumbo a Bermúdez, Chihuahua.

Está compuesta de basalto de olivino (iddingsitizado), piroxeno y abundante plagioclasa, y a veces vesículas rellenas de zeolitas; así como andesita de piroxeno, con abundante plagioclasa en una matriz vítrea con vesículas y zeolitas (Foto 18).

La edad de estos basaltos es de 27 ± 0.6 Ma (Bartolini et al., 1994); aunque una datación más reciente hecha por Hervé Bellon de la Universidad de Brest, Francia, resultó de 22.25 ± 0.6 Ma. Esta última podría correlacionarse a las andesitas basálticas reportadas mas al oriente del área, cerca de Yécora; que fueron producidos por la caldera de Yécora en un rango de 19.6 ± 1.2 y 23.6 ± 2.6 Ma (Demant et al., 1993).



Foto 17: Foto tomada viendo al SW desde el camino que se desvía de Yécora, Sonora a Bermúdez, Chihuahua. Aquí se muestra la discordancia de los derrames de basalto, mesa El Campanero, sobre la toba del complejo ignimbrítico.

V.- GEOLOGIA ESTRUCTURAL

El estudio de las estructuras antiguas anteriores a las intrusiones laramídicas, dan problemas para su entendimiento, debido a que éstas se encuentran afectadas por intrusiones batolíticas del Cretácico Superior - Terciario inferior.

Los eventos tectónicos distensivos que dieron origen a la morfología actual del poniente de Sonora, y que es responsable de la exhumación de cuerpos batolíticos, ocurrió durante los periodos Terciario medio- superior.

5.1.- Estructuras cretácicas

En el área de estudio las rocas de la Formación Tarahumara presentan una deformación del tipo extensiva, y de manera general muestran una actitud variable de $N40^{\circ} W$ con echados de 20° a 55° al NE. También está presente un patrón rumbo aproximado N-S, y con echados fuertes a W. Indicando un intenso basculamiento de la unidad inferior o una afectación por una intrusión durante el Terciario. Esta deformación es probablemente debido a la extensión terciaria.

5.2.- Estructuras terciarias

En el área existen dos principales sistemas de fallas formadas durante la distensión del Terciario. Uno de ellos se encuentra asociado al fallamiento de dirección NW-SE, y sobresale porque se encuentra presente en toda el área y se manifiesta en la morfología de los cerros alargados en esa dirección.

La otra, al inicio del Terciario, tuvo el desarrollo de plutonismo como el intrusivo San Nicolás que representa una fase ígnea de intrusión múltiple durante la orogénea Laramide, que se emplazaron en zonas de debilidad durante la subducción. La posterior acumulación de vulcanismo riolítico ignimbrítico se representa por la edificación de la Sierra Madre, fue producido por la efusión de rocas durante el periodo

de subducción, que engrosó la corteza.

Se reconoce una fase de relajamiento cortical que representa la Formación Báucarit; estas se encuentran emplazadas en cuencas con un estilo de deformación extensivo de dirección NE-SW que provocó el desarrollo de cuencas NW-SE.

VI.- TECTONICA Y GEOLOGIA HISTORICA

6.1.- Mesozoico

El Grupo Barranca es producido por la erosión de rocas paleozoicas que se acumularon en una cuenca debido a la eventos distensivos que iniciaron en el Triásico y eso se aprecia en la graduación sedimentaria donde va de una facies conglomerática a la base, a facies detríticas finas, y una posterior fase detrítica conglomerática marca otra fase de distensión de posible orientación E-W de edad Triásico; pero también se presume una deformación, pre-Formación Tarahumara; ya que la secuencia de la Barranca, como se menciona en capítulos anteriores, presenta plegamiento, y la Formación Tarahumara reposa en forma discordante sobre las formaciones del Grupo Barranca.

6.2.- Cretácico

Durante el Cretácico, en la fisiografía de México se reconoce la presencia de un arco magmático. Donde al poniente, principalmente en el Estado de Sonora se tiene el desarrollo de montañas producto del volcanismo provocado durante la subducción, donde se acumularon edificios volcánicos de afinidad calcoalcalina y de composición andesítica y dacítica que es representado por la Formación Tarahumara. Más al oriente de esta formación se tiene la presencia de cuencas sedimentarias.

6.3.- Terciario

Para este periodo y desde antes, la fusión parcial de la corteza produjo diversos

cuerpos de dimensiones batolíticas, que buscaron zonas de debilidad inducidas al mismo tiempo que la subducción se producía. Tenemos que éstos cuerpos afloran a todo lo largo de Sonora, producto de el fallamiento y erosión. La composición de estos varía desde granito hasta granodiorita; y en este trabajo es representada por la granodiorita San Nicolás, que resulta ser de edad Eocena y que pudiera incluir dos intrusiones separadas.

Al mismo tiempo en que la fusión de la corteza se llevaba a cabo; también en superficie se manifestaba con volcanismo que alternaba a magmas mas silíceos que durante el Cretácico; por lo que el producto de estos fueron las rocas riolíticas y dacíticas del Complejo Ignimbrítico.

El desarrollo del arco magmático continuó hasta que se produjo un relajamiento de la corteza, aproximadamente a los 30 Ma, provocado tal vez por el cese de la subducción y con ello vinieron la producción de rocas volcánicas basálticas intercaladas con rocas riolíticas y dacíticas. Así este régimen continuó hasta desarrollar las grandes fallas regionales y que forman la fisiografía del noroeste y la creación de cuencas. Otras fallas jóvenes continúan su desarrollo llegando a formar aparatos volcánicos de orígenes menos diferenciados como es el caso de la Formación Tepoca (de 17 Ma), y de los basaltos de la mesa El Campanero (22 Ma).

VII.- GEOLOGIA ECONOMICA

Las manifestaciones de mineralización en Sonora son abundantes, con una gran variedad de depósitos y tipos de mineralización. De gran relevancia en el NW de México son las provincias de pórfidos de cobre y tungsteno que se sitúan principalmente como una franja que se extiende N-S atravesando Sonora y parte de Sinaloa.

Los yacimientos minerales en el área de estudio se encuentran dentro del cinturón de cobre porfídico del Pacífico descritos por Clark et al., (1982) y en la porción oriental de la provincia del tungsteno del noroeste de México, propuesto por Mead et al., (1988).

Para la comprensión de los yacimientos del área se hicieron reconocimientos en las obras mineras, actualmente abandonadas o en receso de explotación, con el objetivo de establecer los tipos principales de mineralización para posibles estudios posteriores. Se hará énfasis en la Mina Los Verdes por presentar condiciones geológicas y económicas de interés. Para esto se hizo un levantamiento a semidetalle a una escala 1:1000, cubriendo una superficie de 800 por 700 metros, mediante caminamientos y levantamiento de poligonales abiertas para la elaboración de un plano de alteraciones y mineralización del sitio.

7.1.- YACIMIENTOS MINERALES DE LA HOJA SANTA ROSA

Dentro del área de estudio se localizan diversos depósitos, tanto metálicos como no-metálicos; de los cuales solo por mencionar algunos se enuncian a continuación los siguientes:

Dentro de los no-metálicos tenemos un depósito de arcillas, ubicado al norte del poblado de Santa Ana de Yécora, que se ha formado en un ambiente volcánico, representado por tobas alteradas combinadas con volcanosedimentarias, con caolinización, cuarzo, clorita, mica; que pudieran ser adecuados para la elaboración de cerámicas y refractarios.

Para mencionar algunos depósitos metálicos tenemos:

La Barranca del Cobre: Se localiza en la porción centro norte del área, muy cerca del poblado de San Nicolás; consiste de un yacimiento hidrotermal, con

mineralización de Au-Ag-Cu tipo veta; que se hospeda en rocas volcánicas, posiblemente del Oligoceno.

Los Ocotes: Se ubica en la zona central de éste estudio, concretamente al sur del poblado de Santa Ana de Yécora; este depósito se encuentra hospedado en rocas volcánicas del Oligoceno, con mineralización de Au-Ag-Cu; presenta silicificación, oxidación y piritización.

El fundo Diez de Mayo: Se sitúa al poniente de Santa Ana, aproximadamente a unos 3 kilómetros; y consiste de un depósito hospedado en un ambiente volcánico de toba riolítica del Oligoceno, alteradas con oxidación; presentan hidrotermalismo y mineralización de Au-Ag-Cu, con mena de sulfuros de Cu y Pb en una matriz cuarzosa.

Los Verdes: Es un depósito ubicado en la porción centro norte del área de estudio, exactamente a un kilómetro del poblado de Santa Ana de Yécora, este consiste de mineralización de W_0_3 - Mo- Cu del cual haremos énfasis a continuación.

7.2.- LOCALIZACION Y BREVE HISTORIA DEL DEPOSITO LOS VERDES

El depósito Los Verdes se localiza en el municipio de Yécora, al norte de Santa Ana, en el Distrito Buena Vista; en el extremo sureste del Estado de Sonora, en la porción centro de la Hoja Santa Rosa (Figuras 1 y 2).

Aunque actualmente se encuentra inactivo, este distrito produjo importantes volúmenes de W_0_3 -Mo-Cu cerca de los años 40's. Posteriormente en los 70's se dio una etapa de exploración exhaustiva con mas de 10 mil metros de barrenación. Todavía hasta inicios de los 80's se tuvo alguna actividad extractiva a menor escala.

7.3.- PROYECTO LOS VERDES

Características Geológicas

El depósito se encuentra hospedado dentro de un cuerpo intrusivo, que tiene

facies desde granodiorítica a cuarzomonzonítica, con diques aplíticos y pegmatíticos, llamado granodiorita San Nicolás, cuya edad varía de 49 a 59 Ma (Damon et al., 1983; Sansores y Wynne, 1977). Este cuerpo intrusiona a la serie de rocas volcánicas cretácicas de la Formación Tarahumara; aunque en los alrededores solo quedan pequeños afloramientos remanentes en forma de techos colgantes, encima del cuerpo intrusivo y se manifiestan esporádicamente como fragmentos angulosos y alterados que miden desde 5 a 20 centímetros, dentro de cuerpos de brechas que hospedan gran parte de la mineralización en el área. El resto de los fragmentos de los cuerpos de brechas pertenecen a la misma roca intrusiva.

El fallamiento en el lugar no es muy evidente, pero a nivel regional se observa un lineamiento de las zonas de brechas de rumbo NNE-SSW. Solo existe una falla claramente marcada en el lugar, por el intenso fracturamiento y se ubica en la porción central del mapeo realizado; ésta tiene un rumbo casi N-S y su echado es de aproximadamente 35 a 55° al oeste. Esta puede ser la causante de la exhumación de la zona de sulfuros del área, que las pone en contacto con la zona de brechas de cuarzo-turmalina.

7.4.- BRECHAS

Las brechas del distrito Buena Vista incluyen a las del depósito Los Verdes, y ocurren en toda el área de manera irregular con una ligera alineación de rumbo NE-SW. Estas brechas se manifiestan también al norte de este estudio, desde el poblado de San Nicolás hasta Santa Rosa de Yécora.

El proceso de formación de este tipo de brechas se interpreta como un sistema de enfriamiento de cúpula granítica. El enfriamiento de la masa plutónica formó una zona apical, donde la concentración de elementos volátiles fracturó y permeó la cúpula,

y las fracturas sirvieron de conducto para transportar volátiles como F, B, Na, H, Li; provocando concentraciones en estructuras de debilidad.

La morfología de las brechas suele ocurrir como escarpes abruptos, que sobresalen del terreno (Foto 20).



Foto 20 : Fotografía tomada desde el poblado de Santa Ana de Yécora, viendo al sur hacia el cerro Bufa Linda; en la que se muestra la forma típica de afloramientos de los cuerpos brechoides de cuarzo-turmalina. Notar que éstos escarpes de más de 20 m se encuentran sobre la granodiorita.

Las zonas de brechas del área, afloran de forma aparentemente continua, como masas irregulares desde 3 hasta 80 metros de ancho por 6 y más de 200 m de largo, y espesores variables desde 1.5 hasta 60 m, formando en algunas partes acantilados como es el caso del cerro Bufa Linda y la porción norte y sur de Los Verdes, además de varios arroyos. Los flancos de las brechas se interrumpen en las paredes del intrusivo hospedante.

En la mayoría de los cuerpos brechoides los fragmentos son angulosos, con

tamaños desde 10 hasta 50 cm; aunque en algunas ocasiones se encuentran bloques métricos que presentan fracturamiento sin rotación tipo "crackel" (Foto 21), presentando grandes huecos rellenos de cuarzo y turmalina.

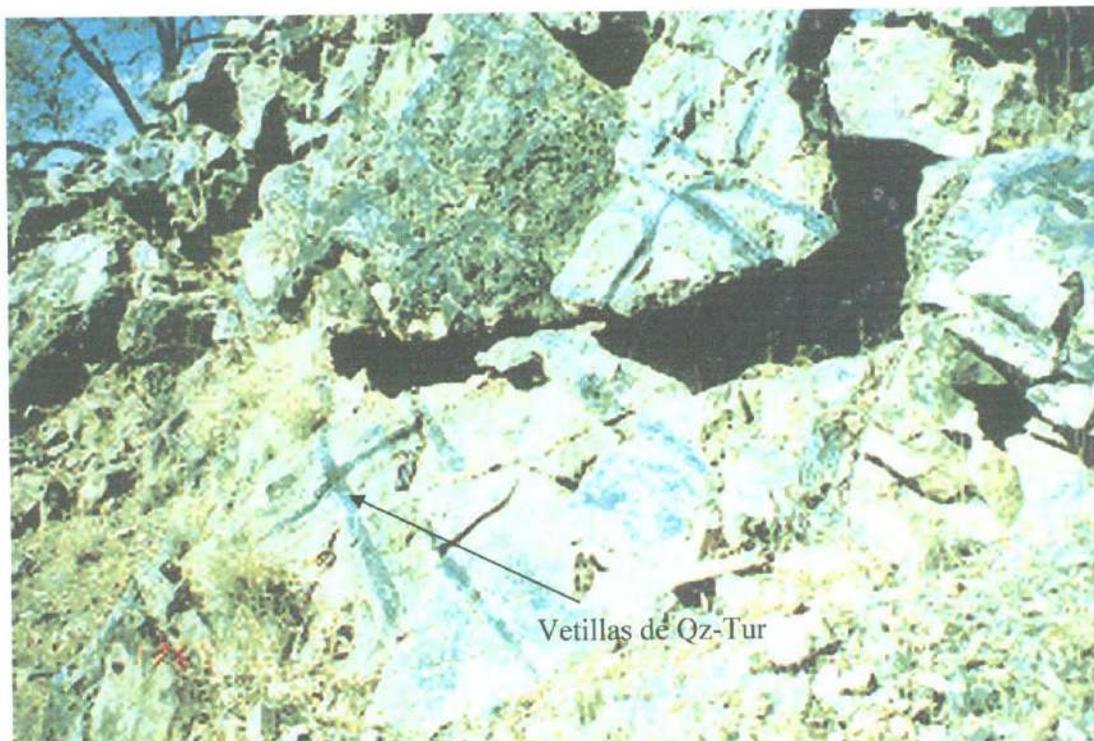


Foto 21: Aquí se muestra una típica brecha tipo "crackel" de Los Verdes, donde los fragmentos llegan a ser métricos. El relleno es principalmente de turmalina (Tur) y cuarzo (Qz), que corta a los fragmentos que tienen una previa alteración potásica y sericitica.

7.5.- ALTERACION Y MINERALIZACION

El depósito Los Verdes es un depósito hidrotermal que presenta alteración penetrativa de: cuarzo-turmalina-pirita y cuarzo-sericita-pirita, así como una alteración potásica, con matriz de roca mas fina, cuarzo y cuarzo-turmalina, siendo la última de ellas la mas consistente en todo el lugar (ver plano anexo II).

La mineralización se encuentra asociada a la alteración tipo greisen, que se define como una asociación de cuarzo- muscovita, con turmalina, fluorita y topacio (Scherba, 1970). La alteración evidentemente es post-magmática de alta temperatura

que está asociada con el enfriamiento de intrusivos (Strong, 1990).

Los greisens se asocian típicamente con magmas muy fraccionados que están emplazados a profundidades entre 3 y 5 km, y se ubican en la porción apical (cúpula) de las masas plutónicas (Pirajno, 1992).

Los 4 tipos de alteraciones del área varían de tipo e intensidad, donde la alteración filica y potásica están relacionadas temporalmente dentro de las brechas, y la de cuarzo-turmalina como una fase anterior y otra posterior, esta podría ser más relacionada a los valores de tungsteno.

1) La alteración hidrotermal mas lejana de la zona interesante corresponde con una propilitización definida por la asociación clorita \pm epidota \pm cuarzo \pm óxidos de limonitas y \pm calcita en débiles fracturas que se manifiestan en todas la facies del intrusivo granodiorítico (Foto 22). Por lo regular se observa sericita superpuesta a esta alteración, pero de bajo grado. Esta se localiza hacia el norte y se extiende hacia el noroeste, aunque también está presente en pequeños pedazos dentro de la zona de brecha; también presenta pequeñas porciones de alteración potásica y pequeñas vetillas pegmatíticas y apófisis aplíticos.

2) La alteración potásica se caracteriza básicamente por una feldespatización con desarrollo de feldespato potásico \pm biotita \pm cuarzo, \pm sulfuros (molibdenita >> calcopirita). Esta se ubica en los alrededores del tajo Los Verdes, hacia el oeste y sur; aunque también se observa en pequeñas áreas dentro de la alteración propilitica (Foto 23).

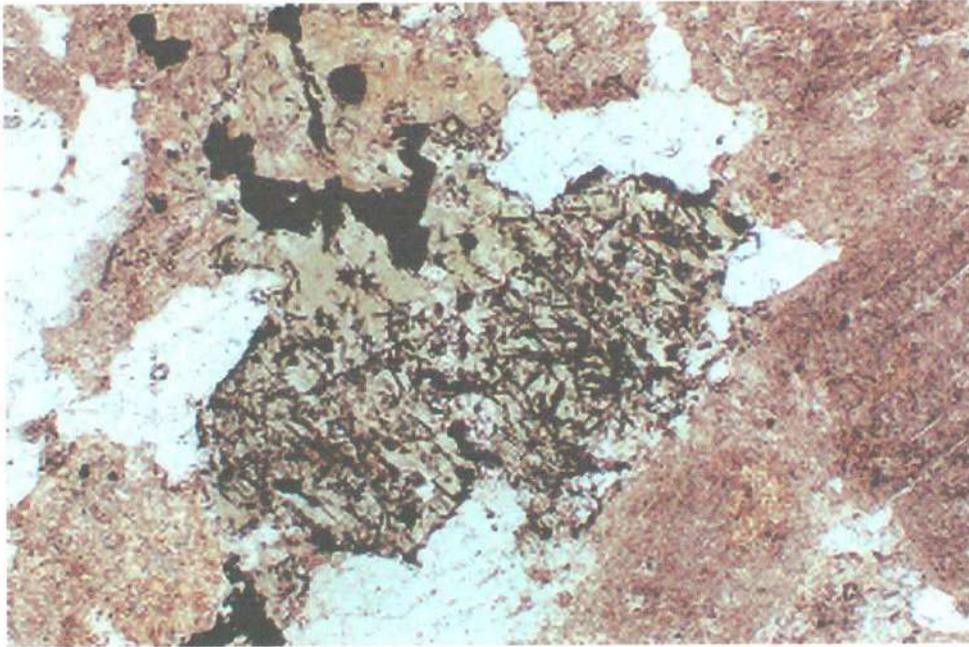


Foto 22: Muestra P30-M2, tomada con objetivo 5X y a luz natural. Aquí se muestra la alteración hidrotermal típica propilitica en la granodiorita de Los Verdes, donde se aprecia la biotita con un reemplazamiento de clorita, cristales de rutilo, epidota y opacos; la plagioclasa se reemplaza por minerales arcillosos y por la sericita.

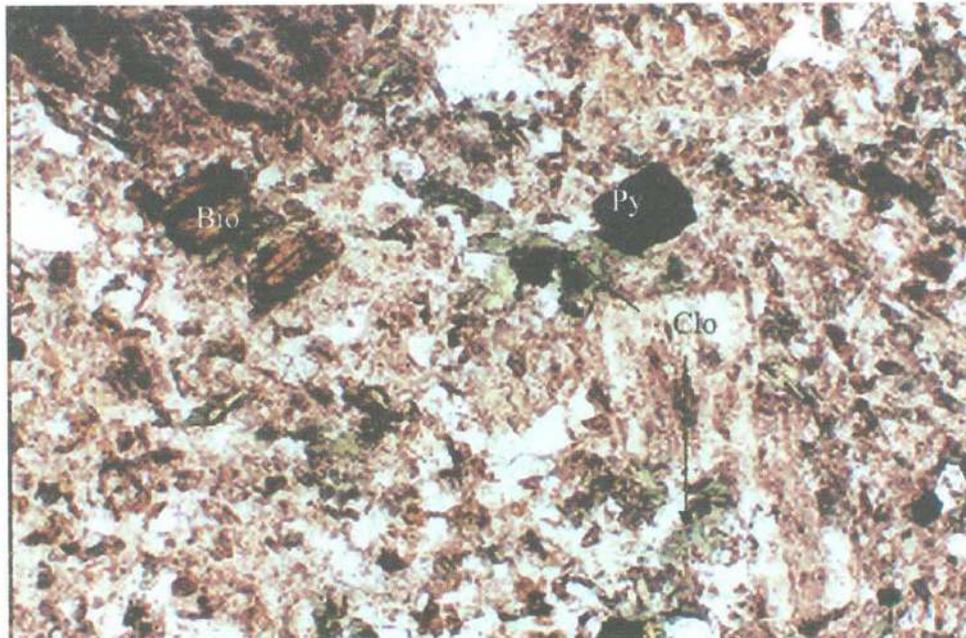


Foto 23: En esta imagen tomada con objetivo 5X y NX de la muestra LVT-1, que corresponde a un dique dacítico, se aprecia la alteración potásica con biotita (Bio), clorita (Clo) y pirita (Py) diseminadas, los colores blancos corresponden a cuarzo secundario, el feldespato potásico se encuentra sericitizado.

3) La zona de mineral mas interesante está dentro de la alteración filica "tipo greisen", que consiste de \pm cuarzo, \pm sericita \pm muscovita \pm turmalina \pm sulfuros (molibdenita>calcopirita) \pm wolframita. El porcentaje de sericita va de mediano a alto, formando en ocasiones verdaderos cristales de muscovita (Foto 24). En ocasiones la alteración es tan intensa que impide reconocer la mineralogía de la roca intrusiva.

4) La turmalinización en el área está estrechamente asociada con el cuarzo, y se reconoce como una etapa temprana y tardía dentro de los eventos, ya que posiblemente es la que formó estructuras para las alteraciones anteriores; el evento tardío se reconoce porque cortó a las demás alteraciones (Foto 25).

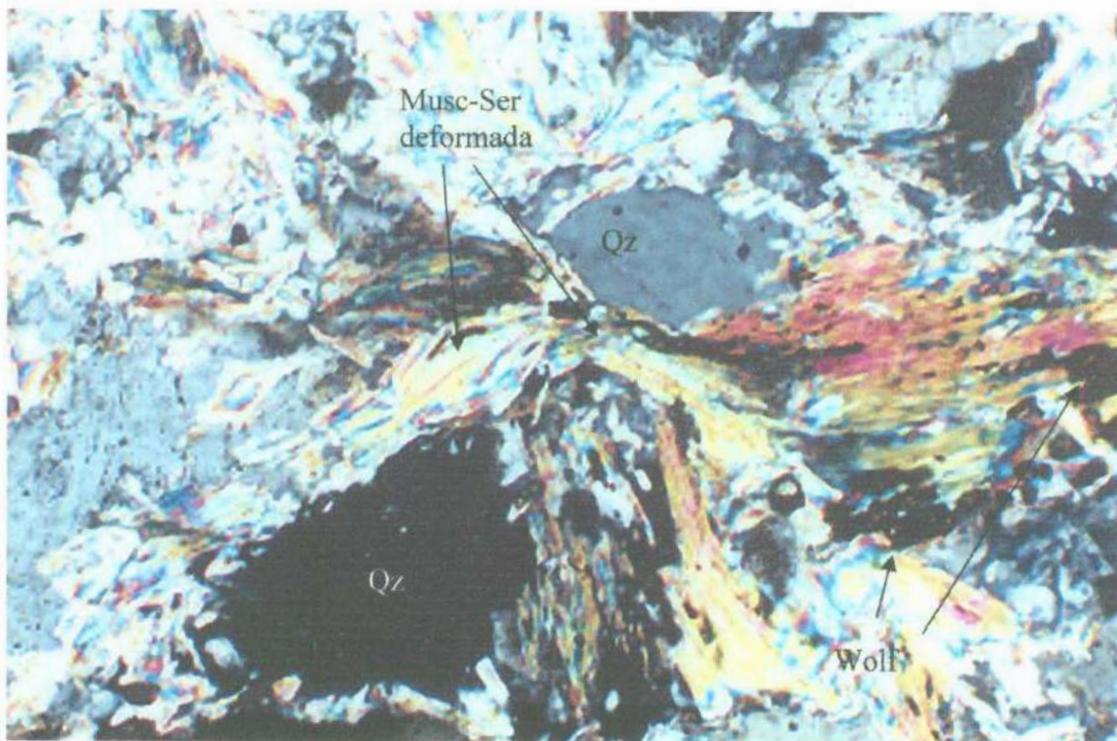


Foto 24: Esta foto corresponde a la muestra P-01-12-M1, fue tomada con objetivo 5X y NX. Se observan los minerales de cuarzo (Qz), la sericita (Ser) y muscovita (Musc) con ligera deformación, y los agregados de wolframita (Wolf) asociados; componiendo al greisen.

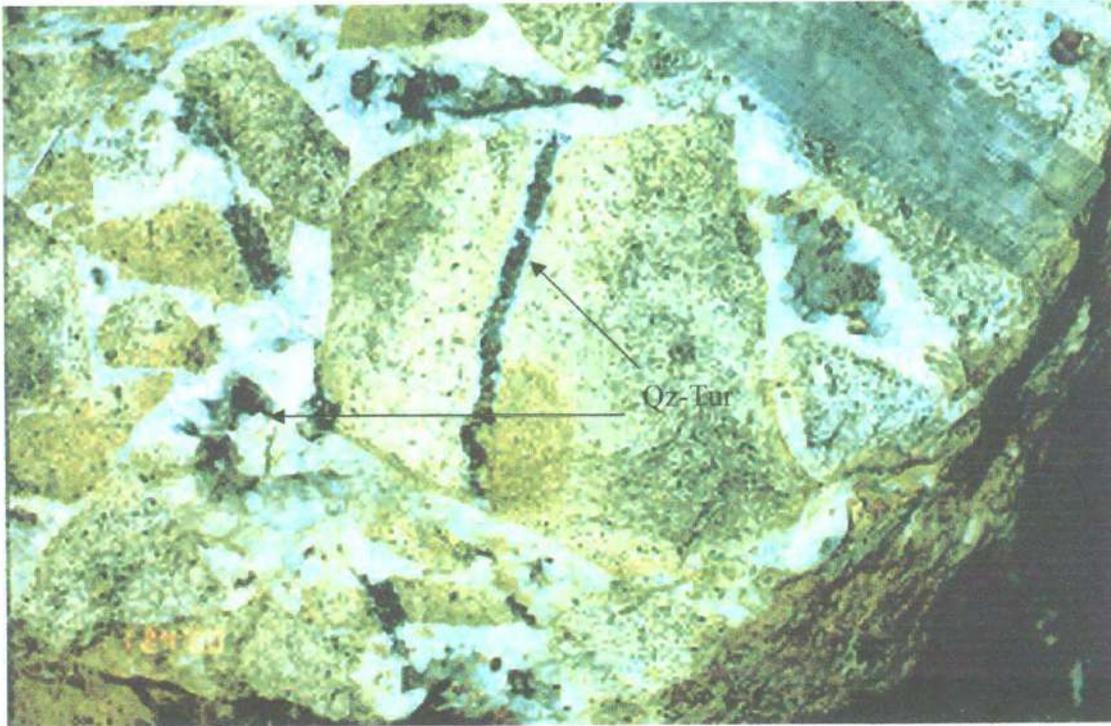


Foto 25: Aquí se muestra claramente vetillas rellenas de cuarzo-turmalina (Qz-Tur), cortando a las demás alteraciones de Los Verdes.

La mineralización en el lugar básicamente consiste de minerales de tungsteno que aparece como wolframita, y sulfuros como molibdenita y calcopirita. Estos se encuentran más asociados con la alteración filica de cuarzo-sericita penetrativa.

La mineralización hipogénica está compuesta por sulfuros de pirita, molibdenita y calcopirita, con una amplia proporción del primero (2 a 3% y $Py > Mo$). Se encuentran diseminados algunas veces formando masas y en vetillas irregulares. Existen concentraciones variables de wolframita asociada. La distribución de sulfuros va conjunta con la alteración filica (tipo greisen) de cuarzo - sericita intensa.

La alteración potásica suele estar acompañada con pirita y calcopirita y molibdenita en pequeñas hojuelas de pocos milímetros (1 a 3 mm).

La mayoría de las brechas se encuentran cementadas por cuarzo-turmalina, que ocasionalmente presenta concentraciones de wolframita (granos de 0.5 a 3 mm).

El proceso de enriquecimiento supergénico, ha generado calcosita y bornita, (Sansores y Wynne, 1977), aunque en la minerografía de este estudio no se pudo ver con claridad su porcentaje. Las limonitas del área incluyen hematita y goethita que están siempre presentes en los minerales de óxidos de fierro, molibdenita y calcopirita.

7.6.- MINERAGRAFIA Y PETROGRAFIA

El estudio de secciones pulidas indican que para este depósito la mineralización se formó en diferentes etapas como a continuación se describe:

1.- Una etapa de feldespatización y alteración propilítica, donde la primera incluye feldespatos potásico (5 a 15%) de la muestra, biotita (5 a 12%) sulfuros de molibdenita en hojuelas (1%) y piritita diseminada (1%).

2.- La alteración potásica relacionada con cuarzo (de 7 a 16%), turmalina (5 a 40%) formando cristales en rosetas y masas irregulares; y ligero contenido de wolframita amorfa que forma masas y diseminados (1 a 2%).

3.- Alteración fílica con minerales de cuarzo(10 a 15%), sericita(15 a 35%), sulfuros de molibdeno (1 a 5%), piritita (3 a 10%) y poca wolframita (1%) en promedio; y con turmalina en menor grado.

7.7.- INCLUSIONES FLUIDAS

Aunque en este trabajo no se realizaron los estudios de inclusiones, se han reportado altas salinidades y puntos de ebullición de las soluciones hidrotermales con temperaturas de entre 200° a 500° C (la mayoría entre 270° C y 345° C, (McLeod James A., Departamento de Ciencias Geológicas de la Universidad de British Columbia, Canadá), lo que sugiere un ambiente de baja presión y de poca profundidad

al formarse las brechas. También las inclusiones indicaron alta densidad con vapor en menos del 20% del volumen de la inclusión; y otras de baja densidad con vapor mayor al 50% del volumen de la inclusión eran frecuentes. Esto se interpreta como ebullición. La salinidad tenía el rango de 5 al 15 % en peso de NaCl, donde las de mayor frecuencia eran de 25 a 50% del peso de NaCl. Sugiriendo un ambiente de formación de entre 1 y 3 km de profundidad (Sansores, Wynne, 1977), esto podría ser sustentado ya que las andesitas (Formación Tarahumara) tiene calculado un espesor mayor a los 1000 m en otras áreas (King, 1939).

VII.- CONCLUSIONES

1) En la Hoja Santa Rosa afloran rocas desde el Cretácico hasta el Holoceno. Se sitúa en la Provincia Fisiográfica de la Sierra Madre Occidental. Aquí se tienen grandes desniveles en cortes desde 390 en la porción oeste y hasta los 2120 msnm en el oriente del área, permitiendo la exposición de secciones completas de las rocas volcánicas terciarias. El nivel profundo de erosión permitió observar el contacto discordante entre las rocas cretácicas de la Formación Tarahumara y las rocas piroclásticas oligocénicas.

2) Caracterizan al arco magmático durante el periodo de subducción rocas volcánicas andesíticas y dacíticas de la Formación Tarahumara, esta es intrusionada por rocas graníticas laramides que están representadas por la granodiorita San Nicolás, de (49-59 Ma).

3) Dentro del área estudiada el espesor de la sección terciaria es de aproximadamente 1000 metros y consiste de las unidades principales: (1) la secuencia de tobas ricas en cristales, con intercalaciones de andesita basáltica y basalto, y (2)

concordantemente cubierta por derrames de basalto de olivino. La edad de la sección terciaria varia de 35 a 24 Ma.

4) En cuanto a la geología estructural, la deformación del tipo extensional es la predominantemente, representada por grandes fallas normales que delimitan grabens de rumbo N-S a NW-SE. Estos grabens se encuentran rellenos por rocas clásticas de la Formación Báucarit cuya edad en el área varia de 26 a 22 Ma. Aparentemente la extensión va disminuyendo al oriente, hacia Yécora, donde las rocas volcánicas terciarias muestran un menor grado de inclinación.

5) En cuanto a la geología económica, el área presenta interés por mineralización de Cu-Mo-W asociado a cúpulas graníticas que intrusionan a la Formación Tarahumara, entre ellas podemos mencionar:

- a) Pórfidos de cobre; como en los fundos Los Ocotes y Diez de Mayo
- b) Brechas de W-Mo-Cu: en Los Verdes, La Mexicana, La Tungstenita y Tres Piedras.
- c) Otros proyectos: la mineralización cerca de La Concepción y la mina La Bufo.

Las brechas Los Verdes (W-Mo-Cu) se asocian al enfriamiento de cúpulas graníticas, con alteraciones hidrotermales típicas de greisen (cuarzo-sericita-muscovita-turmalina), propilitica, potásica, filica y cuarzo-turmalina; y mineralización de molibdenita y wolframita principalmente. Las inclusiones indicaron alta salinidad que corresponden a fluidos magmáticos.

VIII.- BIBLIOGRAFIA

Araux-Sánchez, E., Vega-Granillo, R., 1985, Geología y Yacimientos Minerales de la Sierra de La Campanería, Mpio. de Bacanora, Sonora Central, Tesis profesional, Universidad de Sonora, 159 p.

Bagby, W.C., Cameron, K.L., and Cameron M., 1981, Contrasting Evolution Calc-Alkalic Volcanic and Plutonic Rocks of Western Chihuahua, Mexico : Journal of Geophysical Research V.86, p.1402-1410.

Barrera-Moreno, E., Dominguez-Perla, J. E., 1987, Geología de la Carta Tónichi (H12D65) con énfasis en el Paleozoico Porción Central del Estado de Sonora: Tesis Profesional, Universidad de Sonora, 50 p.

Bartolini-Navarro, C., Damon, E., Shafiqullah, M., and Morales-Montaña, M., 1994, Geochronologic contributions to the Tertiary sedimentary-volcanic sequences (Baucarit Formation) in Sonora, Mexico: Geofísica Internacional (1994), V.33, pp.67-77.

Hervé Bellon, 2000, Universidad de Brest France, comunicación personal con Calmus Thierry

Búrquez A., Martínez-Yrizar A., and Martín P.S., 1992, From the Sierra Madre to the Coast; Changes in vegetation along Highway 16, Maycoba to Hermosillo, Sonora: Mem., Geology and Mineral Resources of Northern Sierra Madre Occidental, Mexico, P.239-252.

Cameron, K. L., Cameron, M., Bagby, W. C., Moll, E. J., and Drake, R.E., 1980, Petrologic characteristics of mid-Tertiary volcanic rhyolites, Chihuahua, Mexico: Geology, V.8, p.87-91.

Cameron, L., and Hanson, N., 1982, Rare earth evidence concerning the origin of voluminous mid-Tertiary rhyolitic ignimbrites and related volcanic rocks, Sierra Madre Occidental, Chihuahua, Mexico: Geochemical et Cosmochemical Acta, V. XLV, p.1489-1503.

Cameron, L., Cameron, M. and Barreiro, B., 1985, Origin of Voluminous Mid-Tertiary Ignimbrites of the Batopilas Region, Chihuahua: Implications for the Formation of Continental Crust Beneath the Sierra Madre Occidental: Geofísica Internacional V. 25--i, p.39-59.

Clark, K. F., Foster, C.T., and Damon, P. E., 1982, Cenozoic mineral deposits and subduction-related magmatic arcs in Mexico: Geol. Soc America Bull., V. 93, p. 533-544.

Cochemé, J.J., 1985, Le magmatisme Cenozoic dans le nord-ouest du Mexique cartographie de la region de Yecora-Maicoba-Mulatos illustration magmatique de la fin

d'un regime en subduction et du passage a un regime distensif; These docteur en Sciences Fac. des Sc. et Techn. de St. Jerome Univ. de Droit, D'Econ. et des Sc. D'aix-Marseille, 208 p.

Cochemé, J.J., Demant, A., 1991, Geology of the Yecora area, northern Sierra Madre Occidental, Mexico: Geol. Soc. Amer., Spec. Paper 254, p.133-138.

Damon, P. E., Shafiqullah, M., and Clark, K. F., 1981, Age trends of igneous activity in relation to metallogenesis in the southern Cordillera: Arizona Geological Society Digest, V.14, p.137-154.

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

Damon, P. E., Shafiqullah, M., Roldan-Quintana, J., and Cocheme, J.J., 1983b, El Batolito Laramide (90-40 Ma) de Sonora: Memoria, XV Convención Nacional, Asoc. Ing. Min. Metal. y Geol. México, Mem. Tec. XV Conv. Nal., p.65-95.

Dumble, E.T., 1901, Cretaceous of Obispo canyon Sonora: Texas Academy Sciences Trans., V.4, 81p.

Delpretti, P., 1987, Contribution a l'étude de la Sierra Madre Occidental (Mexique): La sequence volcanique tertiaire de la transversale Tepoca - Yepachic, These professionnelle, l'Université de Droit, d'Economie et Sciences d'Aix Marsella III.

Demant, A., Cocheme, J-J., Delpretti, P., and Piguet, P., 1989, Geology and Petrology of the Tertiary volcanics of northwestern Sierra Madre Occidental, Mexico : Bull, Soc. Geol. Fr., p.737 748.

Demant, A., Cocheme, J-J., Montigny, J. J. L., 1993, The Tertiary Yecora Caldera, Sonora, Mexico, III Simposio de Geologia de Sonora y Areas Adyacentes, Mem., p. 173-184.

Gans, P., B., 1997, Large-magnitude Oligo-Miocene extension in southern Sonora: Implications for the tectonic evolution of northwest Mexico, Tectonics, V. 16, No.3, p. 338-408.

Hernandez-Castillo G.R. y Ceballos_Ferriz, S.R.S., 1999, Reproductive and vegetative organism with affinities to Haloragaceae the Upper Cretaceous Huepac chert locality of Sonora, Mexico; American Journal of Botanical. V.86 (12) p.1717-1734.

King R. E., 1939, Geological reconnaissance in northern Sierra Madre Occidental of Mexico: Geol. Soc. Amer. Bull., v.50, no.11, p.1625-1722.

Magonthier, M.C., 1984, Les ignimbrites de la Sierra Madre Occidental et de la province uranifere de la Sierra Peña Blanca Mexique (These d'Etat): Paris. Univ. P. et M. Curie Mem. Sci. Terre, 84-17, 283 p.

McDowell, F. W., and Kaiser, R. P., 1977, Timing of mid-Tertiary volcanism in the Sierra Madre Occidental between Durango City and Mazatlan, Mexico: Geological Society of America Bulletin, v.88, p.1479-1487.

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

McDowell, F. W., 1983, Late Cretaceous to Tertiary Magmatic Areas in Western Mexico and West Texas: GSA Abstracts with Programs, Vol.15, p.302.

McDowell, F. W., 1989, Geochronology of Cretaceous- Tertiary Magmatic Activity in Central Chihuahua, Mexico: IAVCEI

McDowell, F. W., Roldan Q. J., Amaya-Martinez R., Gonzalez-Carlos M., 1994, The Tarahumara Formation: A Neglected Component of the Laramide Magmatic Arc in Sonora , Geos, Union Geofisica Mexicana, Boletín Informativo, Epoca II, Vol.14, No.5, pag. 76 y 77.

McDowell, W., Roldan-Quintana, J., and Amaya-Martinez, R., 1997 The Interrelationship of Sedimentary and Volcanic Deposits Associated with Tertiary Extension in Sonora, Mexico: GSA Bulletin, Vol.109, p.1349-1360.

McDowell, W., Roldan-Quintana, J., and Connelly, J. N., 2000, U-Pb Geochronology of the Tarahumara Formation and Duration of the Cretaceous - Early Tertiary Magmatism in East- Central Sonora, Mexico., Mem., IV Reunion Sobre la Geología del Noroeste de México y Areas Adyacentes, p.59-60.

Mead, R., Kesler, S., Foland, K., and Jones, L., 1988, Relationship of Sonoran tungsten Mineralization to the Metallogenic Evolution of Mexico: Economic Geology, Vol.83, p.1943 - 1966.

Montigny, R., Demant, A., Delpretti, P., Pigué, P., and Cochemé, J.J., 1987, Chronologie K/Ar des sequences volcaniques du Nord de la Sierra Madre Occidental (Mexique): Comptes Rendus de l'Academie des Sciences Paris, t. 304, série II, no.16, p.987-982.

Pirajno, F. 1992, Hydrothermal mineral deposits, principles, Ed. Springer-Verlag, 705 p.

Raisz, E., 1964, Landforms of Mexico: Cambridge, MA., Office of Naval Research, 2nd Ed.

Roldan-Quintana, J., and Clark, K.F., 1992, An Overview of the Geology and Mineral Resources of Northern Sierra Madre Occidental and Adjacent areas, Mem. Geology and Mineral Resources of Northern Sierra Madre Occidental, Mexico, P.39-66.

Ruiz, J., Patchett, P.J., and Arculus, R.J., 1988, Nd-Sr isotope composition of lower crustal xenoliths, evidence for the origin of mid tertiary felsic volcanic in Mexico: Contribution Mineralogy: Petrology V.99, p.36 - 43.

Sansores-Bolivar, O., y Wynne, L., 1977, Geología, Mineralización y Origen de las Brechas de Cuarzo-Turmalina del Distrito Minero de Santa Ana de Yécora, Sonora, México: Memorias Técnicas de la A.I.M.M.G.M., p.501-549

Sherba, G. N., 1970, Greisens: International Geology Rev., 12, p.114-255

Sillitoe, R. H., 1976, A reconnaissance of the Mexican porphyry copper belt: Trans. Inst. Min. Metal., v.85, p. B170-B189.

Stewart, J.H., and Roldan-Quintana, J., 1991, Upper Triassic Barranca Group: Non-marine and shallow-marine rift-basin deposits of north western Mexico: Geol. Soc. Amer., Spec. Paper 254, p.19-36.

Strong, D. F., 1990, A model for granophile mineral deposits: Ore deposits models, Geoscience Canada. Reprint Series p.59-66.

Swanson, E.R., and McDowell, F.W., 1985, Geology and geochronology of the Tomochic caldera, Chihuahua, Mexico: Geol. Soc. Amer. Bull., v.96, p.1477-1482.

Wilson, I. F., and Rocha, 1946, Los yacimientos de carbón de la región de Santa Clara, municipio de San Javier, Estado de Sonora: Com. Dir. Invest. Rec. Min., V.5.Bol. 49, 108 p.

Zoback, M. L., Anderson, R. E., and Thompson, G. A., 1981, Cenozoic evolution of the state of stress and style of tectonism of the Basin and Range province of the western United States: Philosophical Transactions of the Royal Society of London, ser. A, V. 300, p.407-434.

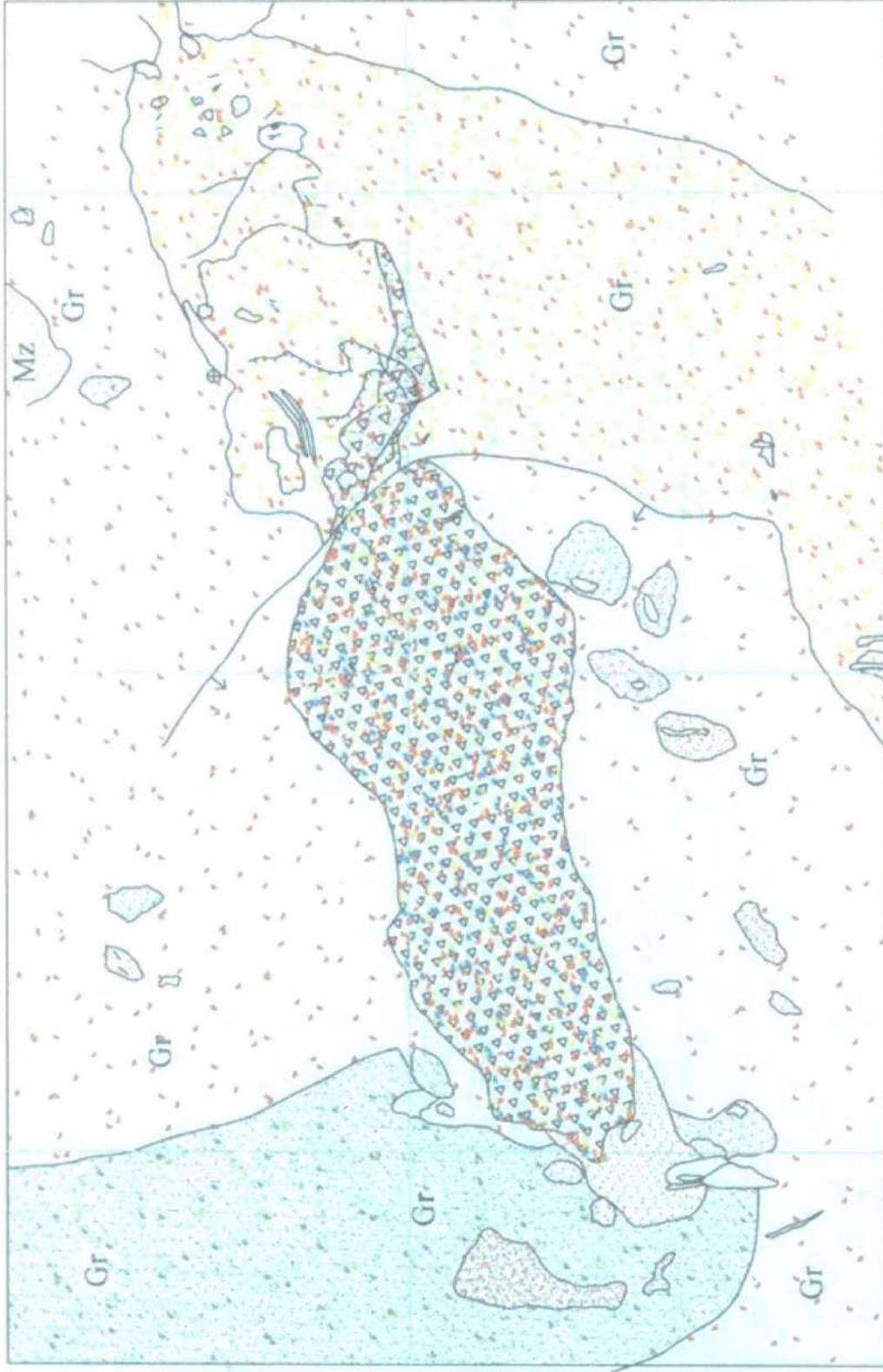
ANEXO I

**MAPA GEOLÒGICO DE LA PORCIÒN
SUR DE LA HOJA SANTA ROSA
(H12D76)
ESCALA 1:50 000**

ANEXO II

**MAPA INTERPRETADO DE ALTERACIONES
DEL DEPÓSITO LOS VERDES, SANTA ANA
DE YÉCORA, SONORA
ESCALA 1:5000**

680,800 681,200 681,600



3,142,000

Escala 1:5000 0 50 100 m

LEYENDA

- | | |
|--|------------------|
| | Sericita |
| | Cuarzo |
| | Feldespatización |
| | Clorita |
| | Epidota |
| | Turmalina |
| | Pirita |
| | Brechas |
| | Diques |
| | Contacto |
| | P.P. |
| | Gr: Tipo de roca |

ANEXO III

LOCALIZACIÓN DE MUESTRAS

COORDENADA ESTE	COORDENADA NORTE	NUMERO DE MUESTRA	TIPO DE ROCA
677096	3145373		Gd., alterada, con piritita oxidada
683086	3144334		IDEM
681851	3145812		Gd. con oxidación
681913	3145765		IDEM
683635	3144225		Entrada a Santa Ana de Yécora
687230	3140808	LC-01 -99	Toba rica en cristales
688801	3138990	LC-09-99	IDEM, Rbo. NW64° Edo. 40°SW
691756	3134713	LC-03-99	Basalto vesicular
691598	3127678	LC-04-99	Basalto
689393	3130576		Toba
688629	3133531		
688428	3134288	LC-05-99	Andesita alterada
688145	3134926	LC-06-99	Domo riolítico
688870	3133207		Toba
688537	3134463		Dique riolítico corta a Toba rojiza
688256	3135044	LC-10-99, LC-10A-99	Arenisca rojiza
688651	3135393		Toba riolítica
688373	3136375	LC-07-99, LC-07A99	Domo y andesita
688649	3135936	LC-08-99	Andesita
688624	3132837		Toba riolítica
688644	3132877		IDEM
688280	3132524	LC-12-99	Ignimbrita
688485	3132145		Toba rica en cristales
688216	3132249		IDEM
687900	3132190		IDEM
687657	3132306		IDEM
688751	3132096		IDEM
688722	3132065	LC-1 3-99	Toba lítica
689025	3132445	LC-14-99	Toba
689051	3130467	LC-1 5-99	Toba riolítica
689364	3130467		Camino
698625	3139125		Toba rosada
694424	3139146	LC-16-99	Toba rica en cristales
692173	3140628		Toba arenosa
691274	3139833		Contacto concordante
687841	3139854		Toba rica cristales
677437	3143866		Gd.

672654	3142809	LC-1 7-99	Toba rica en cristales
672096	3142550		Contacto de Báucarit y tobas
670316	3137089	LC-18-99	Basalto dentro de Báucarit
667915	3130209	LC-1 9-99	Toba riolítica
666600	3123352		Fm Báucarit
678350	3122940		IDEM
679808	3123879		IDEM
627405	3125190		IDEM
676824	3125938		Falla en Báucarit
677985	3125436		Fm. Báucarit
672484	3134579	LC-20-99	Fm. Baucarit
673215	3134666	LC-21 -99	Dacita
674240	3134852		Toba blanca
675340	3134800	LC-23-99	Falla
681447	3142159		Los Verdes
682814	3144682		Gd. alterada
679539	3144316		Camino terracería
683830	3137115	LC-24-00	Dique pegmatítico
684100	3136750		Rancho El Reparó
638710	3135790	LC-25-00Andesita LC-25A-00 Gd	Falla pone contacto Gd y Tarahumara
683355	3138325		Mina La tungstenita
679950	3140540		Alto fracturamiento por talla
678628	3137434		Camino
674941	3136127		Falla?
676188	3133647		Fm. Tarahumara
676200	3133564	LC-27-00 LC-27A-00	Toba soldada
676295	3133780		Fm. Tarahumara
681180	3139755	LC-28-00	Riolita y Toba
689660	3128260	LC-29-00	Ignimbrita
689530	3127976	LC-30-00	Basalto
689280	3127750	LC-31-00	Toba rica cristales
689839	3126853		Toba rojiza
689338	3127016		Toba con cxs. Biotita
689495	3127889	LC-32-00	Dacita?
688893	3128588		Toba arenosa
686958	3142428	LC-33-00	Andesita?
667854	3132295	LC-34-00	Toba rica cristales
668167	3132961		Fm Báucarit
670942	3131104		Basalto en Baucarit
672570	3129760		Rx. volc en Báucarit

672350	3130841		Toba
667140	3139553	LC-35-00	Fm. Báucarit
666268	3139338		Basalto
681807	3139740	M-381*	Granodiorita
686598	3137577	M-392B*	Ignimbrita
671904	3128800	M-394*	Basalto andesítico
676680	3126640	M-395*	Basalto andesítico
687900	3142575	SR-91*	Andesita alterada
674325	3135050	SR-113**	Riolita ignimbrita
673025	3134525	SR-104**	Basalto de piroxeno
672850	3134475	SR-105**	Andesita basáltica

* Muestra colectada por el Consejo de Recursos Wlmerales.

** Muestra colectada y fechada por Gans (1997).

UAKA-80010, UAKA-81038, UAKA-80014: Muestras colectadas por Damon, (Bartolini, et al., 1994).