



# UNIVERSIDAD DE SONORA

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

"GEOLOGIA DE LA HOJA BANAMICHI H12B83,  
MUNICIPIOS DE BANAMICHI Y ARIZPE,  
SONORA CENTRO-SEPTENTRIONAL"

## TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

### GEOLOGO

SUSTENTAN:

**HECTOR MARTINEZ GARCIA**

**J. DE J. NETZAHUALCOYOTL SOOTS LOPEZ**

HERMOSILLO, SONORA

NOVIEMBRE DE 1994



EL SABER DE MIS HIJOS  
HARA MI GRANDEZA  
BIBLIOTECA DE CIENCIAS  
EXACTAS Y NATURALES

# 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



# INSTITUTO DE GEOLOGIA

ESTACION REGIONAL DEL NOROESTE

YUCATAN S/N Y MADRID CAMPUS UNISON  
APARTADO POSTAL No. 1039 TEL. 17-5019 FAX: 17-5340  
HERMOSILLO, SONORA, MEXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA

Hermosillo, Sonora; a 20 de octubre de 1994

**Dr. Guillermo Salas P.**  
Jefe.  
Departamento de Geología.  
Universidad de Sonora.  
Ciudad.

Estimado Dr. Salas:

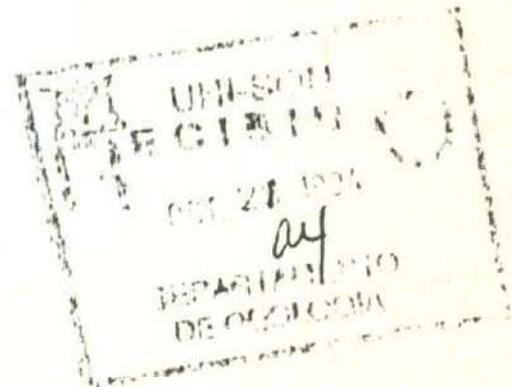
Por medio de la presente me permito someter a su consideración el tema de tesis a desarrollar en su exámen profesional los Pasantes de Geólogo: Héctor Martínez García y J. de J. Netzahualcoyotl Soots López titulado: "GEOLOGÍA DE LA HOJA BANAMICHI H12B83, MUNICIPIOS DE BANAMICHI Y ARIZPE, SONORA CENTRO-SEPTENTRIONAL". Con el siguiente contenido:

- Resúmen
- Agradecimientos
- I.- Introducción
- II.- Fisiografía y Geomorfología
- III.- Geología Regional
- IV.- Estratigrafía
- V.- Geoquímica
- VI.- Geología Estructural
- VII.- Geología Histórica
- VIII.- Conclusiones

Anticipadamente le agradezco la atención que le brinde a esta solicitud.

Atentamente

M. en C. José Luis Rodríguez Castañeda.



# UNIVERSIDAD DE SONORA

Hermosillo, Sonora.

Tel. 13 64 35, 17 31 6

Ext. 109 y 11

Fax 13 58 6

DIVISION DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

Departamento de Geología

1994: Año Internacional de la Familia

Octubre 27, 1994.

**M.C. JOSE LUIS RODRIGUEZ CASTAÑEDA**

Director de Tesis

Instituto de Geología UNAM-ERNO

P r e s e n t e

Por este conducto me permito informarle, que ha sido aprobado el tema de tesis propuesto por Usted denominado:

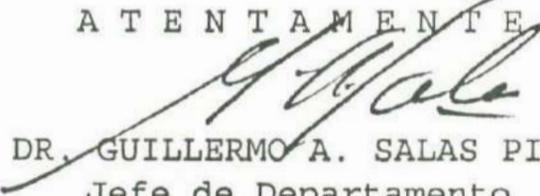
**"GEOLOGIA DE LA HOJA BANAMICHI H12B83,  
MUNICIPIOS DE BANAMICHI Y ARIZPE SONORA  
CENTRO-SEPTENTRIONAL"**

Esto es con el fin de que puedan presentar su Examen Profesional los alumnos: **HECTOR MARTINEZ GARCIA**

**JOSE JESUS N. SOOTS LOPEZ**

Sin otro en particular, quedo de Usted.

A T E N T A M E N T E

  
DR. GUILLERMO A. SALAS PIZA  
Jefe de Departamento

C.c.p. Interesados  
Archivo

GASP\*ag

# UNIVERSIDAD DE SONORA

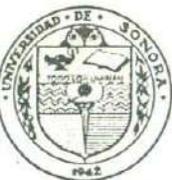
Hermosillo, Sonora.

Tel. 13 64 35, 17 31 8

Ext. 109 y 11

Fax 13 58 6

DIVISION DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES



Departamento de Geología

1994: Año Internacional de la Familia

NOMBRE DE LA TESIS:

## **"GEOLOGIA DE LA HOJA BANAMICHI H12B83, MUNICIPIOS DE BANAMICHI Y ARIZPE SONORA CENTRO-SEPTENTRIONAL"**

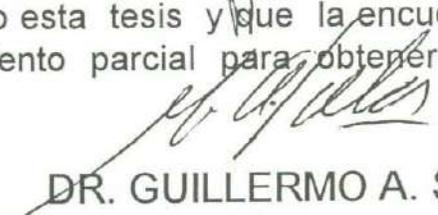
NOMBRE DEL SUSTENTANTE:

**HECTOR MARTINEZ GARCIA  
JOSE DE JESUS N. SOOTS LOPEZ**

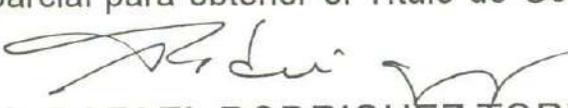
El que suscribe, certifica que ha revisado esta tesis y que la encuentra en forma y contenido adecuada como requerimiento parcial para obtener el Título de Geólogo en la Universidad de Sonora.

  
M.C. JOSE LUIS RODRIGUEZ CASTAÑEDA

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

  
DR. GUILLERMO A. SALAS PIZA

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

  
M.C. RAFAEL RODRIGUEZ TORRES

ATENTAMENTE  
"EL SABER DE MIS HIJOS HARA MI GRANDEZA"

DR. GUILLERMO A. SALAS PIZA  
Jefe de Departamento



GASP\*ag

## DEDICATORIA



EL SABER DE MIS HIJOS  
HARA MI GRANDEZA  
BIBLIOTECA DE CIENCIAS  
EXACTAS Y NATURALES

A MIS PADRES:

JERÓNIMO GPE. MARTÍNEZ RAMÍREZ.  
MARÍA DE LOURDES GARCÍA DE MARTÍNEZ.  
POR TODO SU INMENSO AMOR, CONFIANZA Y  
COMPRENSIÓN. QUE DIOS Y LA SANTÍSIMA VIRGEN  
LOS BENDIGA SIEMPRE.

A MIS HERMANOS:

NOÉ, ISAAC, BENJAMÍN,  
ALEJANDRO, JERÓNIMO Y ABRAHAM,  
POR SU AYUDA, CONFIANZA,  
COMPRENSIÓN Y POR SER MUY  
BUENOS AMIGOS.

A MIS ABUELOS:

CARLOS GARCÍA PAREDES.  
ROSA CASTILLO DE GARCÍA.

BENJAMÍN MARTÍNEZ PAZ (+).  
AGRIPINA RAMÍREZ DE MARTÍNEZ (+).

A MIS TÍOS:

CARLOS GARCÍA CASTILLO (+).  
HUMBERTO GARCÍA CASTILLO.  
GUADALUPE GARCÍA DE COTA.

FRANCISCO MARTÍNEZ RAMÍREZ.  
AGRIPINA MARTÍNEZ VDA. DE M.

POR SU CARIÑO Y CONSEJOS.

ESPECIALMENTE A MI NOVIA:

MARÍA, POR SU AMOR, CONFIANZA, PACIENCIA Y POR SER MI MEJOR AMIGA.

HÉCTOR

## DEDICATORIA

A MI MADRE:

NELLY  
SE QUE SIEMPRE SOÑASTE QUE ME  
VERÍAS CRECER Y SER UN PROFESIONISTA.

A MI PADRE:

JESÚS  
PAPÁ ENCONTRÉ EL ROMPECABEZAS MÁS  
GRANDE DEL MUNDO, ESTA VEZ QUIERO  
ARMARLO SÓLO.

A MIS HERMANOS:  
TEMO, PANCHO Y CHERY.  
POR SU EJEMPLO DE TRABAJO.

A ISMAEL M.  
LAS PUERTAS ESTABAN CERRADAS  
Y TU ME AYUDASTE NUNCA LO OLVIDARÉ.

NETZA SOOTS

## AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro agradecimiento a mucha gente e Instituciones quienes hicieron posible la realización de esta tesis.

Nuestro agradecimiento a la gente de Banámichi por su hospitalidad, especialmente al Sr. Ignacio Flores. Al Lic. Guillermo Molina Elías del rancho Los Nogales, al Sr. Gabriel Maldonado del rancho Bajío de Campa y Los Vallecitos, al Sr. Octavio Molina Elías del rancho La Ciénega y a la Familia Salazar por permitirnos el acceso a sus propiedades.

A la Estación Regional del Instituto de Geología de la U. N. A. M. por las facilidades prestadas para el desarrollo del presente trabajo. Así mismo, al personal que labora en la mencionada Estación por la paciencia y comprensión hacia nosotros, especialmente a M. en C. Francisco Javier Grijalva Noriega y al Dr. Francisco Querol Suñe por sus acertados consejos .

Al M. en C. Rafael Rodríguez Torres por haber aceptado ser nuestro sinodal, por su valioso aporte a nuestro trabajo de tesis. Al Dr. Guillermo Salas Pizá por ser sinodal nuestro.

Al M. en C. José Luis Rodríguez Castañeda quién nos invitó a participar en su Proyecto de investigación, depositando su confianza incondicional y asesoramiento en nuestro trabajo de tesis en todo momento. Así mismo al Dr. Francisco Paz Moreno por el asesoramiento en el tratamiento de los datos geoquímicos.

Esta tesis se realizó gracias al Proyecto de Investigación Conacyt "Análisis de imágenes de satélite aplicados a estudios de geología regional: estructural y estratigrafía en Sonora" (1494-T9207), de la cual recibimos un fondo de beca. Así mismo se recibió apoyo económico del programa de Solidaridad.

Al Dr. T. H. Anderson, a la Dra. Kati Beratan y al Dr. William Harbert del Departamento del Geología de la Universidad de Pittsburgh por el asesoramiento en el tratamiento de imágenes de satélite. A la Compañía Minera BHP-UTAH y sus ingenieros Jorge Cirett Galán y Francisco Quiroz Luna por su iniciativa de cooperación para el desarrollo de esta tesis, en el aporte de los datos geoquímicos.

Al Dr. Búrquez, a la Dra. Martínez, al Dr. Molina, a la Dra. Tinoco, a la Dra. Peñalba y a la Biol. Silvia Nuñez del Centro de Ecología de la U. N. A. M. en Hermosillo, por su apoyo moral hacia nosotros.

A nuestro Departamento de Geología de la Universidad de Sonora por todo lo aprendido y vivido en el mismo. A las Sras. Juanita Magallanes Carrillo y Alejandra Galaz Flores por el apoyo y paciencia hacia nosotros. Hemos dicho.



EL SABER DE MIS HIJOS  
HARA MI GRANDEZA  
BIBLIOTECA DE CIENCIAS  
EXACTAS Y NATURALES

## RESUMEN

El área de estudio se localiza sobre la cuenca del río Sonora, en la porción centro-septentrional del Estado de Sonora, a unos 120 km en línea recta al noreste de Hermosillo, Sonora. En la Hoja Banámichi afloran varias unidades, las cuales por relaciones de campo y por correlaciones litológicas se les han atribuido edades del Paleozoico (?), Cretácico Temprano, Cretácico Tardío, Terciario y Cuaternario.

El conjunto Paleozoico (?) está constituido por rocas sedimentarias: hacia la base y formando parte del miembro inferior, una intercalación de lutita y arenisca; y hacia la parte superior, ortocuarcita con cierto grado de oxidación. El Cretácico Inferior está representado por afloramientos de la Caliza Mural, la cual incluye una intercalación de arenisca y lutita. La formación El Tuli del Cretácico Tardío está compuesta por dos miembros: hacia la base un conglomerado basal con intercalaciones de arenisca, arenisca conglomerática y, el miembro superior representado por rocas andesíticas y por algunas coladas volcánicas más félsicas. Eventos volcánicos del Oligoceno-Mioceno, depositaron discordantemente rocas piroclásticas y secuencias ignimbríticas sobre las rocas más antiguas. Todas las unidades preexistentes se encuentran cubiertas discordantemente por depósitos continentales más recientes, representados por la Formación Báucarit, conglomerados terciarios y por derrames basálticos y depósitos aluviales cuaternarios. La discordancia angular entre la formación El Tuli del Cretácico Tardío y las unidades más antiguas, representa un depósito sinorogénico con implicaciones tectónicas e históricas de una gran importancia regional.

Geoquímicamente las rocas volcánicas del Cretácico Tardío, nos indican un contexto geodinámico de un margen continental activo. A partir del trabajo de campo y auxiliados en la imagen de satélite Landsat TM de falso color donde se incluye el área de estudio, se identifican fallas normales con orientaciones principales noroeste y noreste, causante de la morfología actual de valles y sierras paralelas.

## CONTENIDO

	Página
<b>AGRADECIMIENTOS</b> . . . . .	i
<b>RESUMEN</b> . . . . .	iii
<b>CONTENIDO</b> . . . . .	iv
<b>LISTA DE FIGURAS</b> . . . . .	vi
<b>I.- INTRODUCCIÓN</b> . . . . .	1
1. 1. Localización del área de estudio . . . . .	1
1. 2. Objetivo y método de trabajo . . . . .	1
1. 3. Trabajos previos . . . . .	3
<b>II.- FISIOGRAFÍA Y GEOMORFOLOGÍA</b> . . . . .	5
2. 1. Fisiografía. . . . .	5
2. 2. Geomorfología . . . . .	5
<b>III.- GEOLOGÍA REGIONAL</b> . . . . .	7
3. 1. Precámbrico . . . . .	7
3. 2. Paleozoico. . . . .	8
3. 3. Mesozoico. . . . .	8
3. 4. Cenozoico. . . . .	9
<b>IV.- ESTRATIGRAFÍA</b> . . . . .	11
<b>4. 1. Paleozoico (?)</b> . . . . .	13
4. 1. 1. Rocas paleozoicas (?) . . . . .	13
<b>4. 2. Mesozoico</b> . . . . .	18
4. 2. 1. Caliza Mural . . . . .	18
4. 2. 2. Formación El Tuli . . . . .	21

4. 3. Cenozoico . . . . .	32
4. 3. 1. Pórfido andesítico . . . . .	32
4. 3. 2. Rocas volcánicas terciarias . . . . .	33
4. 3. 3. Formación Báucarit . . . . .	37
4. 3. 4. Conglomerado Terciario . . . . .	40
4. 3. 5. Basaltos Cuaternario. . . . .	42
4. 3. 6. Terraza aluvial . . . . .	43
4. 3. 7. Aluvión. . . . .	44
V.- GEOQUÍMICA . . . . .	45
VI.- GEOLOGÍA ESTRUCTURAL . . . . .	52
VII.- GEOLOGÍA HISTÓRICA . . . . .	61
VIII.- CONCLUSIONES . . . . .	64
APÉNDICE A . . . . .	65
APÉNDICE B . . . . .	80
BIBLIOGRAFIA . . . . .	84
ANEXOS:	
MAPA GEOLÓGICO	
SECCIONES GEOLÓGICAS	
PLANO TOPOGRÁFICO	

## LISTA DE FIGURAS:

	Página
Figura 1 Plano de localización y vías de acceso . . . . .	2
Figura 2 Plano de las Provincias Fisiográficas en Sonora . . . . .	6
Figura 3 Columna estratigráfica esquemática de las rocas de la región de Banámichi, Sonora . . . . .	12
Figura 4 Aloramiento de rocas paleozoicas (?) en el cerro El Vigía . . . . .	13
Figura 5 Estratificación de arenisca y lutita del miembro inferior de las rocas paleozoicas (?) . . . . .	15
Figura 6 Lutita con impresiones de crecimiento de pseudomorfos de halita (?)	15
Figura 7 Estratificación cruzada en la ortocuarcita del miembro superior . . . . .	16
Figura 8 Ortocuarcita con estratificación de mediana a gruesa en el miembro superior . . . . .	17
Figura 9 Caliza con estratificación de media a gruesa conteniendo ostras, intemperismo kárstico y alteración hidrotermal . . . . .	19
Figura 10 Intercalación de arenisca y lutita dentro de la Caliza Mural (Cretácico Temprano) con estratificación media a fina . . . . .	19
Figura 11 Columna estratigráfica de la Formación El Tuli del Cretácico Tardío	22
Figura 12 Conglomerado Basal del miembro inferior, constituido principalmente por clastos de ortocuarcita (formación El Tuli) . . . . .	23
Figura 13 Aglomerado andesítico de la unidad superior del Cretácico Tardío	25
Figura 14 Discordancia entre las rocas paleozoicas (?) y el conglomerado basal de la formación El Tuli . . . . .	27
Figura 15 Panorámica del miembro superior de la formación El Tuli del Cretácico tardío . . . . .	30

Figura 16	Correlación estratigráfica de las rocas del Cretácico Tardío en las calidades de Sonora . . . . .	31
Figura 17	Rocas volcánicas terciarias en la región de Banámichi . . . . .	36
Figura 18	Tronco volcánico riolítico terciario . . . . .	36
Figura 19	Formación Báucarit en la región de Banámichi . . . . .	39
Figura 20	Detalle del conglomerado terciario (TCg) . . . . .	41
Figura 21	Relación estratigráfica entre la Formación Báucarit y el Conglomerado Terciario . . . . .	41
Figura 22	Diagrama de clasificación TAS para rocas volcánicas del Cretácico Tardío . . . . .	46
Figura 23	Diagrama de clasificación TAS para rocas intrusivas del Cretácico Tardío . . . . .	46
Figura 24	Diagrama de Peczerillo y Taylor (1976) para rocas volcánicas . . . . .	47
Figura 25	Diagrama de Kuno (1966, 1968) para rocas plutónicas y volcánicas del Cretácico Tardío . . . . .	48
Figura 26	Diagrama de Irvine y Baragar (1971) para las rocas plutónicas y volcánicas del Cretácico Tardío . . . . .	48
Figura 27	Diagrama FMS de Miyashiro (1974) para rocas plutónicas y volcánicas del Cretácico Tardío . . . . .	49
Figura 28	Triángulo AFM que discrimina a la serie toleítica de la serie calcoalcalina en base a la curva de Kuno . . . . .	50
Figura 29	Proyección estereográfica de las fallas normales. . . . .	53
Figura 30	Fallas normales pre Formación Báucarit. . . . .	54
Figura 31	Fallamiento normal de rocas paleozoicas (?) . . . . .	54
Figura 32	Plegamiento de las rocas paleozoicas (?) en el área de estudio . . . . .	55

Figura 33	Proyección estereográfica de los ejes y planos de los pliegues .	55
Figura 34	Proyección estereográfica de la estratificación de las rocas paleozoicas(?) . . . . .	57
Figura 35	Proyección estereográfica de la estratificación de las rocas del Cretácico Tardío . . . . .	57
Figura 36	Imágen de satélite Landsat TM (TM 35-39, cuadrante 4) .	58

**LISTA DE TABLAS:**

Tabla 1	Análisis químicos de elementos mayores, trazas y norma CIPW .	80
---------	---	----

## I. INTRODUCCIÓN

### 1. 1. LOCALIZACIÓN

El área de estudio se localiza aproximadamente a unos 120 km en línea recta al NE de la ciudad de Hermosillo, Sonora. Esta limitada por las coordenadas geográficas  $30^{\circ} 00'$  y  $30^{\circ} 10'$  de Latitud Norte y por los meridianos  $110^{\circ} 00'$  y  $110^{\circ} 20'$  de Longitud Oeste. Cubre un área de  $900 \text{ km}^2$ , abarcando la totalidad de la carta topográfica BANÁMICHÍ (H12B83) editada por INEGI (1975) a escala 1: 50 000.

El acceso al área de estudio es por la carretera Estatal SON 21 que comunica a Hermosillo con las poblaciones de Ures, Mazocahui, Baviácora, Aconchi, Huépac, Banámichi, Arizpe, Bacoachi y Cananea. Esta carretera cruza de norte-sur al área estudiada. Además, está comunicada por caminos vecinales que cubre gran parte de la misma, los cuales se encuentran en muy buenas condiciones, aunque en épocas de lluvias el tránsito para algunos de ellos es muy difícil (Fig. 1).

### 1. 2. OBJETIVO Y MÉTODO DEL TRABAJO

Este trabajo de tesis forma parte del Proyecto "Análisis de Imágenes de Satélite Aplicados a Estudios de Geología Regional: Estructura y Estratigrafía en Sonora Septentrional", apoyado por Conacyt, y que es desarrollado en el Instituto de Geología de la U. N. A. M., en su Estación Regional del Noroeste en Hermosillo, Sonora, bajo la dirección del M. en C. José Luis Rodríguez Castañeda. El objetivo de este trabajo fué el de realizar un estudio a semidetalle de la geología del área, con la finalidad de contribuir principalmente al entendimiento de la estratigrafía, geología estructural y tectónica de Sonora central.

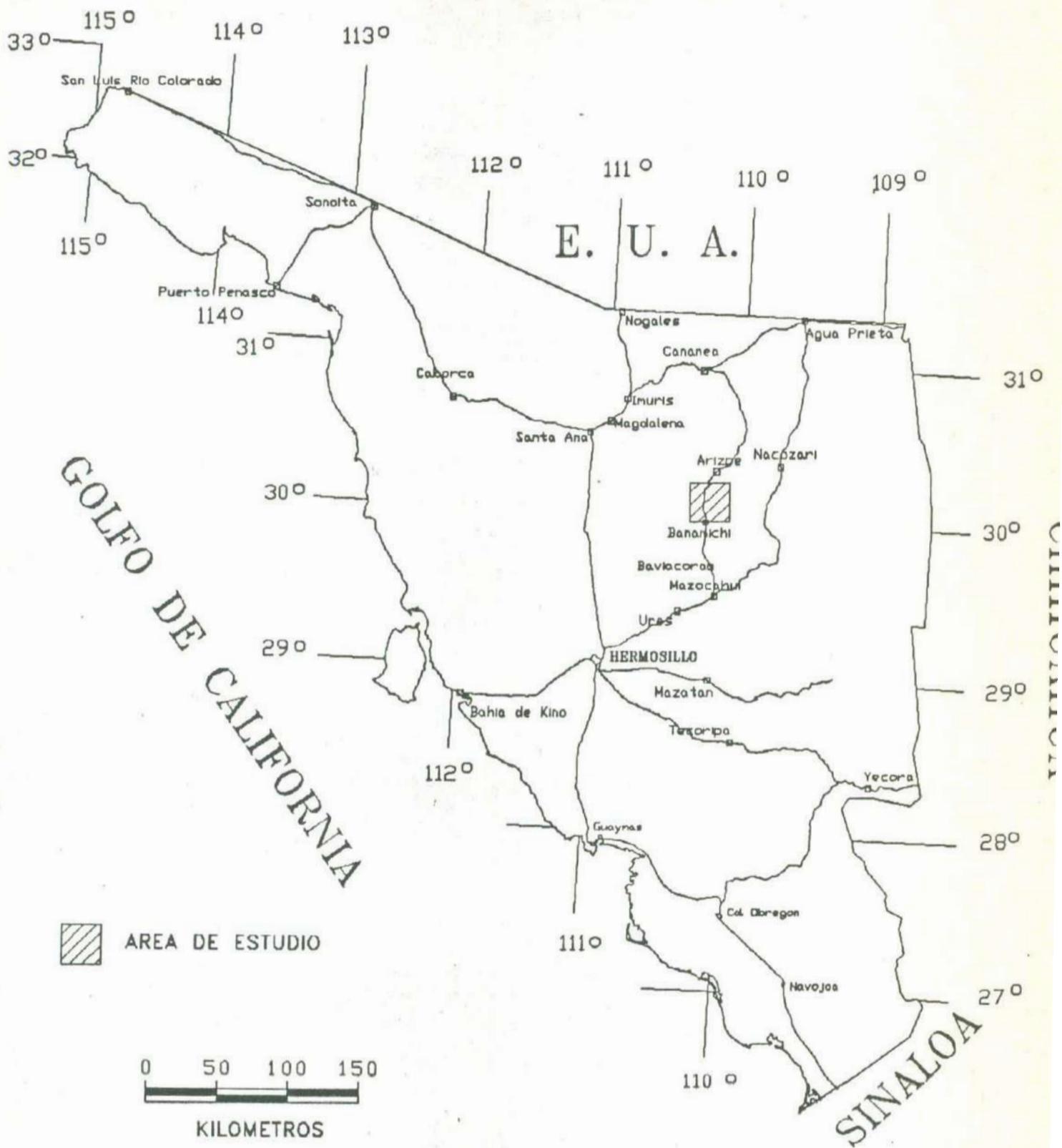


Figura 1. Plano de localización y vías de acceso.

Este trabajo se inició con la recopilación y análisis de la información bibliográfica relacionada con el área de estudio. Posteriormente se realizó una interpretación fotogeológica para la cual se utilizaron fotos aéreas a escala aproximada 1: 50 000, marcando sobre éstas los contactos entre las diferentes unidades litológicas observables, fallas y fracturas, así como rumbos y echados. En base al análisis fotogeológico se realizó la verificación de campo con caminamientos estratégicos y muestreo de los principales afloramientos de rocas ígneas y sedimentarias. Dichas muestras se analizaron y clasificaron por estudios petrográficos para lo cual se utilizó la clasificación de areniscas de Dott (1964) y para las rocas ígneas se utilizó la clasificación de rocas ígneas de la IUGS. Al terminar con la verificación de campo se llevó a cabo una reinterpretación fotogeológica, verificando y modificando tanto los contactos litológicos como los datos estructurales. Finalmente con los resultados obtenidos se procedió a la elaboración de los planos geológicos definitivos y a la redacción del escrito final.

### 1. 3. TRABAJOS PREVIOS

Dentro del área de estudio existen pocos trabajos geológicos, siendo algunos de ellos reportes internos de compañías mineras. Sin embargo, existen en áreas aledañas estudios que de alguna manera aportan información útil para el desarrollo de ésta tesis:

Chávez (1978) realiza la geología y la metalogenia de la Sierra de Aconchi. Aquí se determina el contacto entre tres cuerpos intrusivos del Terciario, así como también las mineralizaciones de yacimientos de uranio, tungsteno, de plomo y zinc.

Rodríguez (1986) interpreta el contacto Jurásico-Cretácico en Sonora central, como una depositación continua, que se inició en el Jurásico Tardío y terminó en el Cretácico Temprano. Rodríguez (1994) al oeste del área de estudio, en los alrededores del rancho El Téguachi describe la estratigrafía y la geología estructural.

Castillo (1986), reporta rocas precámbricas, paleozoicas (?), sedimentarias y metamórficas (?) jurásicas, y terciarias en el área de rancho Santa Fé, municipio de Banámichi. Bojórquez y Rosas (1988) realizan a semidetalle la cartografía de la carta topográfica Aconchi H12D13, describiendo rocas desde cretácicas hasta cuaternarias. En este trabajo se asigna a la unidad Salto del Alamo una edad del Cretácico Tardío en base a fósiles recolectados.

González y otros (1993) realizan un reporte estratigráfico preliminar sobre las cartas topográficas Bacanuchi H12B63 y Arizpe H12B73; mientras que Martínez y otros (1993) reportan por primera vez en las regiones de Banámichi y Sinoquipe una secuencia volcanosedimentaria que por sus relaciones estratigráficas la asignan al Cretácico Tardío.

Ricalde y Ceballos (1993) estudian tres localidades fosilíferas con plantas permineralizadas en Sonora: Huépac (unidad Salto del Alamo), Téguachi (formación El Tuli) y Arroyo El Obispo (Formación Tarahumara), y concluyen que éstas unidades pueden ser correlacionables entre sí y probablemente con una edad del Cretácico Tardío.

## II. FISIOGRAFÍA Y GEOMORFOLOGÍA

### 2. 1. FISIOGRAFÍA

El área de estudio se encuentra en la Subprovincia de Sierras y Valles Paralelos que a su vez es parte de la Provincia Fisiográfica de la Sierra Madre Occidental (Raisz, 1964). La subprovincia está caracterizada por un conjunto de bloques fallados de tal manera que produce una alternancia de bloques levantados y hundidos que tienen una orientación NW-SE (Fig. 2). Los bloques hundidos están rellenos por conglomerados terciarios que presentan intercalaciones de derrames basálticos y que en conjunto constituyen la Formación Báucarit así como por conglomerados semiconsolidados de edad más reciente.

### 2. 2. GEOMORFOLOGÍA

Las unidades orográficas de mayor importancia son sierras que guardan una orientación paralela y sus valles. Las sierras paralelas presentan elevaciones de 1900 m. s. n. m. como en la Sierra El Carmen, 1800 m.s.n.m. en la Sierra El Bellotal, 1700 m.s.n.m. en la Sierra El Oso, 1500 m.s.n.m en la Sierra La Gringa y 1100 m. s. n. m. en la Sierra Las Guijas, siendo los rasgos geomorfológicos más sobresalientes del área y constituyendo la etapa de madurez temprana del ciclo geomorfológico. El valle presenta características de un relieve suave formando la parte topográfica más baja con elevaciones entre los 400 y 600 m. s. n. m., representando la etapa madura del ciclo geomorfológico.

El área de estudio se ubica en la vertiente del Pacífico y está drenada por corrientes intermitentes, dispuestas en patrones de drenaje bien integrados, las cuales vierten sus aguas hacia el Río Sonora.

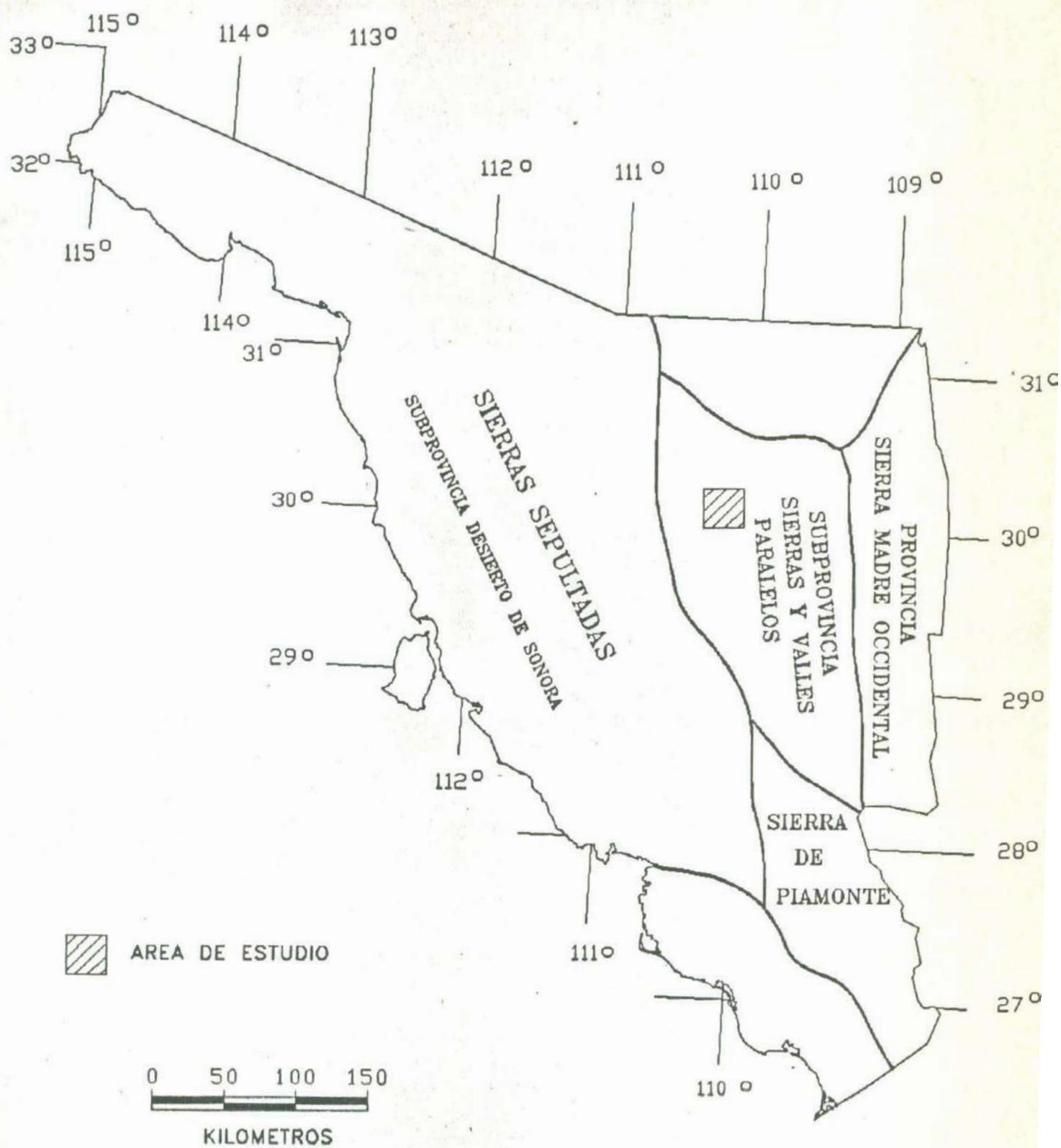


Figura 2. Plano de las provincias fisiográficas en Sonora.

### III. GEOLOGÍA REGIONAL EN SONORA CENTRO-SEPTENTRIONAL

Sonora se caracteriza por una geología muy compleja en todos los aspectos. Regionalmente afloran rocas con un rango de edad desde el Precámbrico hasta el Terciario, las cuales han sido alteradas, transportadas y deformadas por varios eventos tectónicos. Para el marco geológico regional se tomaron en cuenta los trabajos de las regiones circunvecinas al área de estudio.

#### 3. 1. PRECÁMBRICO

En Sonora central se ha citado la presencia de rocas precámbricas ígneas, metamórficas y sedimentarias en afloramientos aislados. Estas rocas son probablemente parte del basamento proterozoico de América del Norte. En la región de Opodepe Leon y Miller (1981) estudian el yacimiento mineral del Crestón y describen rocas metamórficas e ígneas, probablemente precámbricas. Castillo (1986) considera unidades metamórficas e ígneas asignadas al Precámbrico en base a correlaciones con unidades de 1600 Ma y 1100 Ma respectivamente, descritas en los alrededores del rancho de Santa Fé. En las regiones de Tuape y Téguachi Rodríguez (1984, 1988, 1994) describe al basamento formado por gneises y granito que, en base a fechamientos isotópicos, es asignado al Precámbrico. Estas rocas se encuentran cabalgando a rocas jurásicas producto de la deformación del Jurásico Tardío, asociada probablemente al desarrollo de la megacizalla Mojave-Sonora. Castro y Morfín (1988) en el distrito minero de Cerro de Oro definen al grupo La Palma, compuesto por tres unidades litológicas que se encuentran cabalgándose entre sí; y ésta deformación se le atribuye a la Fase Nevadiana. También el grupo La Palma se encuentra cabalgando a rocas del Cretácico Temprano. Figueroa y Grijalva (1989) en la carta de Opodepe, estudian rocas metamórficas y sedimentarias asignadas al Precámbrico en base a correlaciones con el complejo ígneo-metamórfico de Caborca. Estas rocas se encuentran en contacto tectónico entre sí y cabalgando a

rocas jurásicas (?). El Batolito El Jaralito intrusionó a rocas precámbricas en la región de Aconchi (Roldán, 1991).

### 3. 2. PALEOZOICO

El Paleozoico está ampliamente distribuido en Sonora, con los mejores y más importantes afloramientos en la región de Caborca y en la parte centro-este, mientras que en la región centro-septentrional, está ausente en una amplia extensión. En las regiones de Tuape y Téguchi aflora la Ortocuarcita Los Changos, a la cual Rodríguez (1984, 1988, 1994) asigna al Cámbrico Temprano en base a sus relaciones estratigráficas y a la correlación con la Cuarcita Proveedora del Cámbrico Temprano de Caborca (Cooper and Arellano, 1952). Ésta Ortocuarcita estructuralmente forma cuerpos alóctonos. Roldán (1989) describe metasedimentos probablemente paleozoicos en las regiones de Baviácora-Aconchi, los cuales se encuentran como colgantes sobre el Batolito de Aconchi.

### 3. 3. MESOZOICO

En la región centro-septentrional del Estado el Mesozoico está representado por rocas del Jurásico y Cretácico. Rodríguez (1984, 1988, 1994) en las regiones de Tuape y Téguchi, reporta rocas sedimentarias jurásicas y rocas volcánicas probablemente de la misma edad. Las rocas sedimentarias fueron fechadas a partir de su contenido faunístico, mientras que las rocas volcánicas en base a relaciones estratigráficas las considera post-paleozoicas pero anteriores al Albiano. El mismo autor sugiere que el contacto entre el Jurásico y el Cretácico es una depositación continua y concordante. Figueroa y Grijalva (1989) describen rocas volcánicas jurásicas (?) que son cabalgadas por rocas precámbricas.

Las rocas del Cretácico se encuentran ampliamente distribuidas en Sonora centro-septentrional. Las rocas del Cretácico Inferior se encuentra representado por el Grupo

Bisbee, que fué depositado a partir de ciclos de transgresión y regresión de un mar que avanzó por la Cuenca Chihuahuense con una orientación SE-NW. González (1978) reporta rocas correlacionables con el Grupo Bisbee en la región de Arizpe, las cuales se encuentran deformadas con plegamientos cerrados y cabalgamientos entre sí e intrusionadas por granodiorita de edad Cretácico Tardío-Paleoceno. En las regiones de Tuape y Téguchi, Rodríguez (1984, 1988, 1994) reporta las secuencias del Cretácico Temprano con cabalgamientos y poco plegamiento. En el distrito minero de Cerro de Oro, Castro y Morfín (1988) y González (1989a) reportan al Grupo Bisbee el cual se presenta cabalgándose entre sí y fallamiento inverso.

Rodríguez (1984, 1988, 1994) propone que la secuencia volcanosedimentaria del Cretácico Tardío corresponde a depósitos sinorogénicos que sugieren el inicio de un relieve tectónico, seguido por denudación de las áreas positivas y posterior incremento en el volcanismo. Este incremento de la actividad volcánica se aprecia en las regiones de Banámichi y Sinoquipe en la formación El Tuli, donde predominan rocas de carácter intermedio de composición andesítica descritas por Martínez y otros (1993).

### 3. 4. CENOZOICO

Las rocas del Cenozoico se encuentran ampliamente distribuidas en Sonora centro-septentrional representadas por rocas intrusivas, volcánicas y sedimentarias.

Damon y otros (1983) definen al Batolito Laramide como rocas calcoalcalinas constituido por granodiorita, cuarzomonzonita y granito, asociados a un arco magmático, con edad radiométrica de 90 a 40 Ma, el cual forma un cinturón burdamente paralelo a la costa del Pacífico que comprende cuerpos batolíticos formados por intrusiones múltiples. Roldán (1991) divide en tres grupos a las rocas intrusivas: dos granitos y un grupo de troncos porfídicos riolíticos. El más antiguo es el batolito granítico-granodiorítico El Jaralito. Litológicamente varía de un granito a cuarzomonzonita, cuarzodiorita y granodiorita. Las rocas de este batolito son

consideradas del tipo "I" ó granitos cordilleranos y con edades que varían entre los 51.8 a 69.6 Ma determinadas por el método K/Ar, y con una amplia exposición en Sonora central. El segundo batolito es el de Aconchi, que consiste casi exclusivamente de granito alcalino con abundantes pegmatitas; es considerado como un granito del tipo "S" con edad determinada en K/Ar de  $35.95 \pm 0.70$  Ma. En la regiones de Tuape y Téguaichi, Rodríguez (1984, 1988, 1994) describe un pórfido andesítico fechado isotópicamente en 27 Ma.

Las rocas volcánicas están compuestas principalmente por riolita, toba y andesita, las cuales cubren discordantemente a todas las rocas más antiguas. En base a diferentes estudios realizados son asignadas al Oligoceno (Rodríguez, 1994). La Formación Báucarit que se encuentra ampliamente expuesta en Sonora fué definida por King (1939) como una secuencia poco consolidada de arenisca y conglomerado bien estratificados con algunos horizontes arcillosos. Se encuentran cubriendo a todas las rocas preexistentes. En la región de Baviácora, Roldán (1989) reporta para un basalto que se encuentra a la base de la Formación Báucarit, una edad del Mioceno temprano ( $21.7 \pm 0.4$  Ma). El ambiente de depósito de la Formación Báucarit fué en cuencas pequeñas producidas por fallamiento vertical (Basin and Range) en el noroeste de México (Rodríguez, 1984, 1988, 1994). En la región centro-septentrional afloran derrames basálticos que cubren discordantemente a todas las unidades antiguas. Puesto que no existen fechamientos radiométricos sobre éstos basáltos, se considera que tengan una edad del Plio-Cuaternario en base a relaciones estratigráficas. Esto incluye la presencia de un aparato volcánico aún reconocible en la región de Moctezuma (Roldán, 1989; Paz, 1985).

## IV. ESTRATIGRAFÍA

### INTRODUCCIÓN

Las rocas más antiguas que están expuestas corresponden a una secuencia sedimentaria paleozoica (?), compuesta por ortocuarcita con intercalaciones de lutita. Esta secuencia presenta estructuras cúbicas (halita?) que pudieran representar grados de evaporación importante.

Afloran calizas fosilíferas y areniscas de la Caliza Mural del Cretácico Temprano, la cual probablemente cubre discordantemente a las rocas paleozoicas (?) y es cubierta en discordancia angular por la secuencia volcanosedimentaria del Cretácico Tardío, compuesta principalmente por un conglomerado basal, arenisca, derrames andesíticos y tobas de composición variable. Sobreyaciendo discordantemente a todas las rocas anteriores se observan riolita, riodacita, traquiandesita, ignimbrita y toba, del Oligoceno-Mioceno.

La Formación Báucarit del Mioceno temprano rellena cuencas y cubriendo discordantemente a las rocas paleozoicas (?), cretácicas y volcánicas terciarias. En forma concordante es cubierta por un conglomerado semiconsolidado, que en base a relaciones estratigráficas es considerado del Terciario Tardío. Discordantemente sobre éstas unidades se tienen basaltos Plio-Cuaternario. Finalmente, todas las rocas se encuentran cubiertas en forma discordante por grava y aluvión del Cuaternario (Fig. 3). Se retoman nombres informales de unidades descritas anteriormente por Rodríguez (1984, 1988, 1994) de regiones circunvecinas al área de estudio, mientras que el resto de las unidades se nombran informalmente.

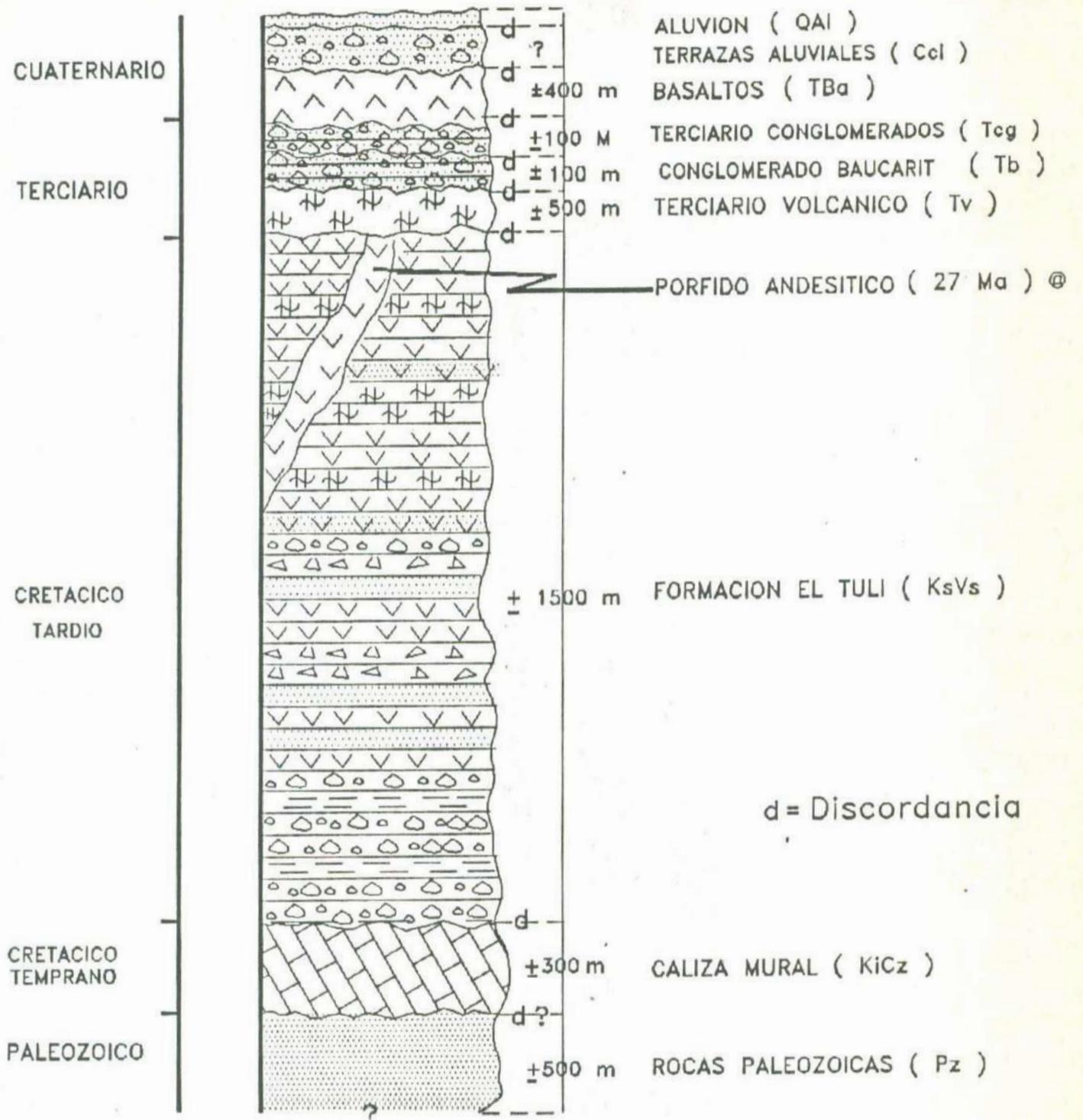


Figura 3. Columna estratigráfica esquemática de las rocas de la región de Banamichi, Sonora. fecha tomada de Rodríguez (1984).

## 4. 1. PALEOZOICO (?)

### 4. 1. 1. ROCAS PALEOZOICAS (?)

#### DEFINICIÓN

Se considera como rocas paleozoicas(?) a una secuencia constituida por dos miembros: el miembro inferior constituido por una intercalación de lutita y arenisca y el miembro superior formado por ortocuarcita.

#### DISTRIBUCIÓN

La secuencia se encuentra expuesta aproximadamente a 3.5 km al norte del rancho Los Vallecitos, principalmente en el cerro El Vigía (Fig. 4). Morfológicamente la ortocuarcita se presenta como masas de roca resistente a la erosión con un relieve abrupto que forma acantilados.

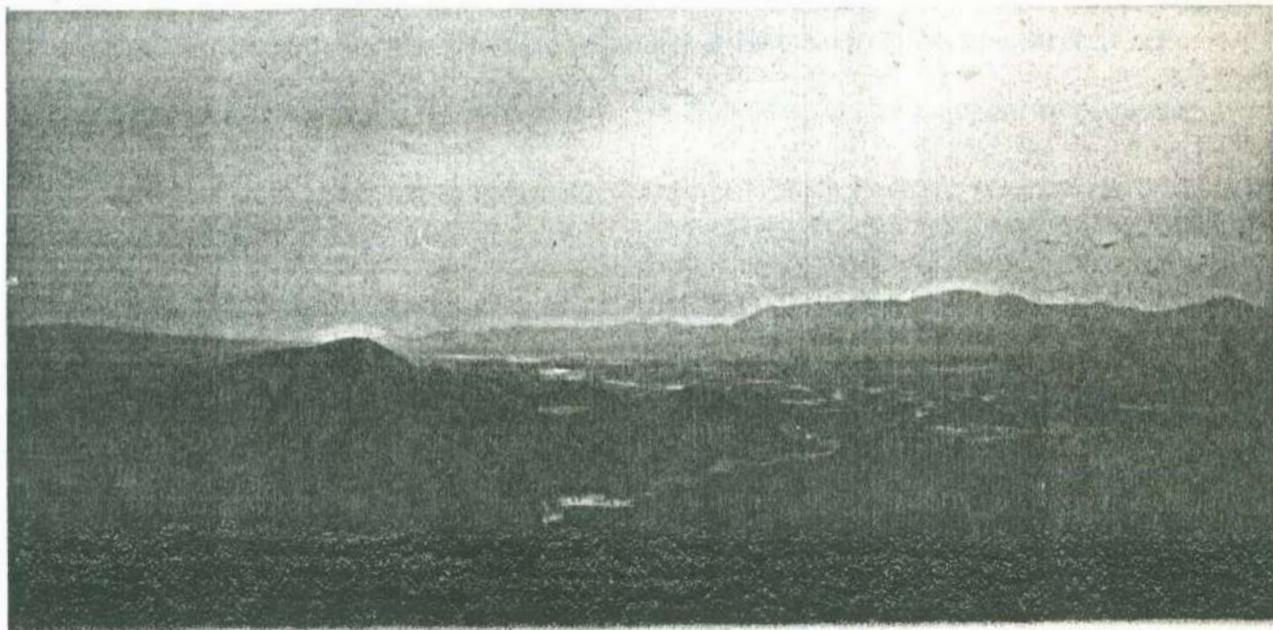


Figura 4. Afloramientos de las rocas paleozoicas en el cerro El Vigía (fotografía tomada viendo hacia el sur).

La base de esta secuencia se desconoce. La parte superior está cubierta discordantemente por la formación El Tuli y por la Formación Báucarit. Con la Caliza Mural no se observa su relación por estar cubierta por sedimentos recientes, sin embargo se piensa que la relación es discordante entre ambas unidades.

## LITOLOGÍA Y ESPESOR

El miembro inferior está constituido por una arenisca y lutita. La arenisca es de color café-rosado, de grano medio y bien clasificada con estratificación de mediana a gruesa. La lutita es de color café rojizo, deleznable, con estratificación fina, presentando espesores de 2 hasta 10 cm (Fig. 5). La lutita presenta rizaduras de corriente e impresiones de crecimiento de pseudomorfo de halita (?) (Fig. 6). Al microscopio identificaron principalmente cristales de cuarzo y de feldespato potásico que se encuentra alterado a sericita y mica (muscovita) que reflejan una alteración incipiente en estas rocas (NHX, ver apéndice A). Esta unidad se presenta plegada y fallada.

La miembro superior está compuesta por ortocuarcita de color café-rosado a café-rojizo, de grano medio, bien clasificada y con estratificación de mediana a gruesa. Presenta estratificación cruzada y rizaduras de corriente (Figs. 7 y 8). Petrográficamente se observan cristales de cuarzo y de feldespato potásico en una matriz microcristalina (NH 50, ver apéndice A).

El espesor no fue medido debido a que las rocas se encuentran cubiertas discordantemente por la Formación Báucarit y por depósitos más jóvenes; además de que se presenta plegada y afectada por fallamiento normal. Sin embargo se estima un espesor mayor a los 500 m.

## RELACIONES ESTRATIGRÁFICAS

La base de esta secuencia se desconoce. La parte superior está cubierta discordantemente por la formación El Tuli y por la Formación Báucarit. Con la Caliza Mural no se observa su relación por estar cubierta por sedimentos recientes, sin embargo se piensa que la relación es discordante entre ambas unidades.

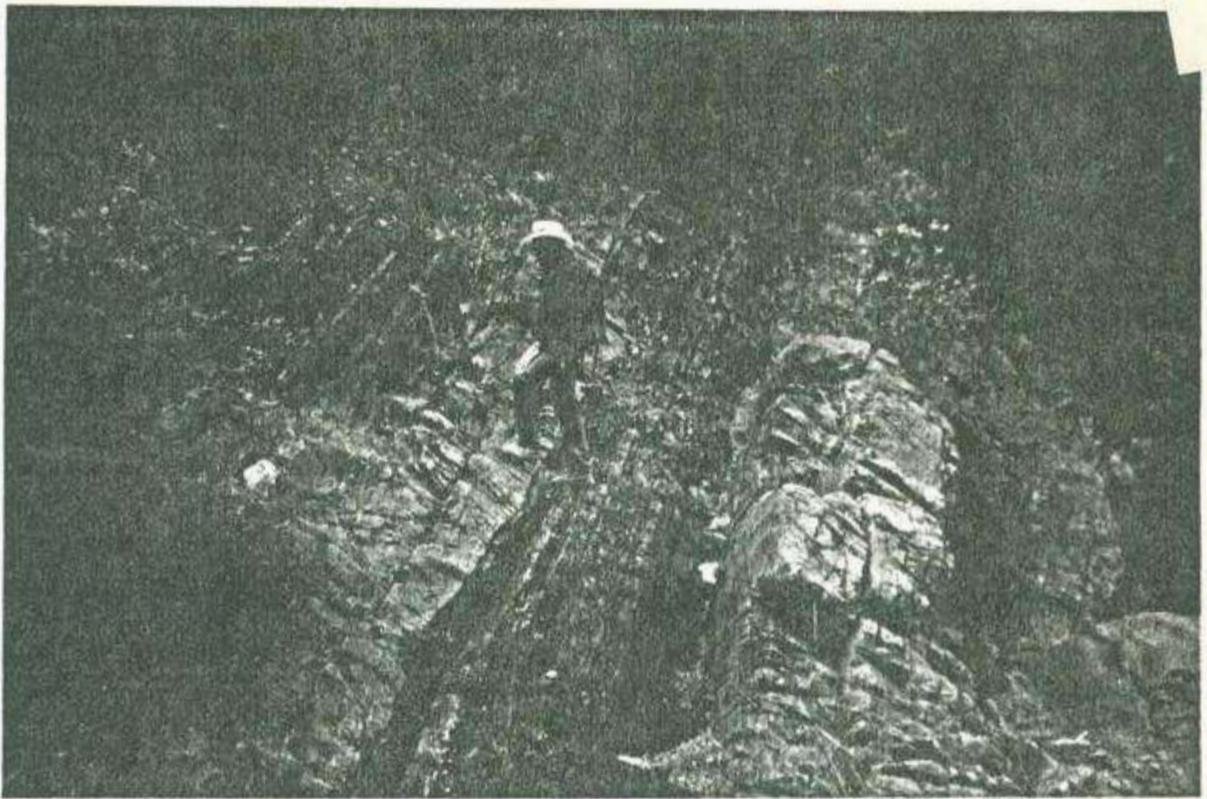


Figura 5. Estratificación de arenisca y lutita de la unidad inferior de las rocas paleozoicas.

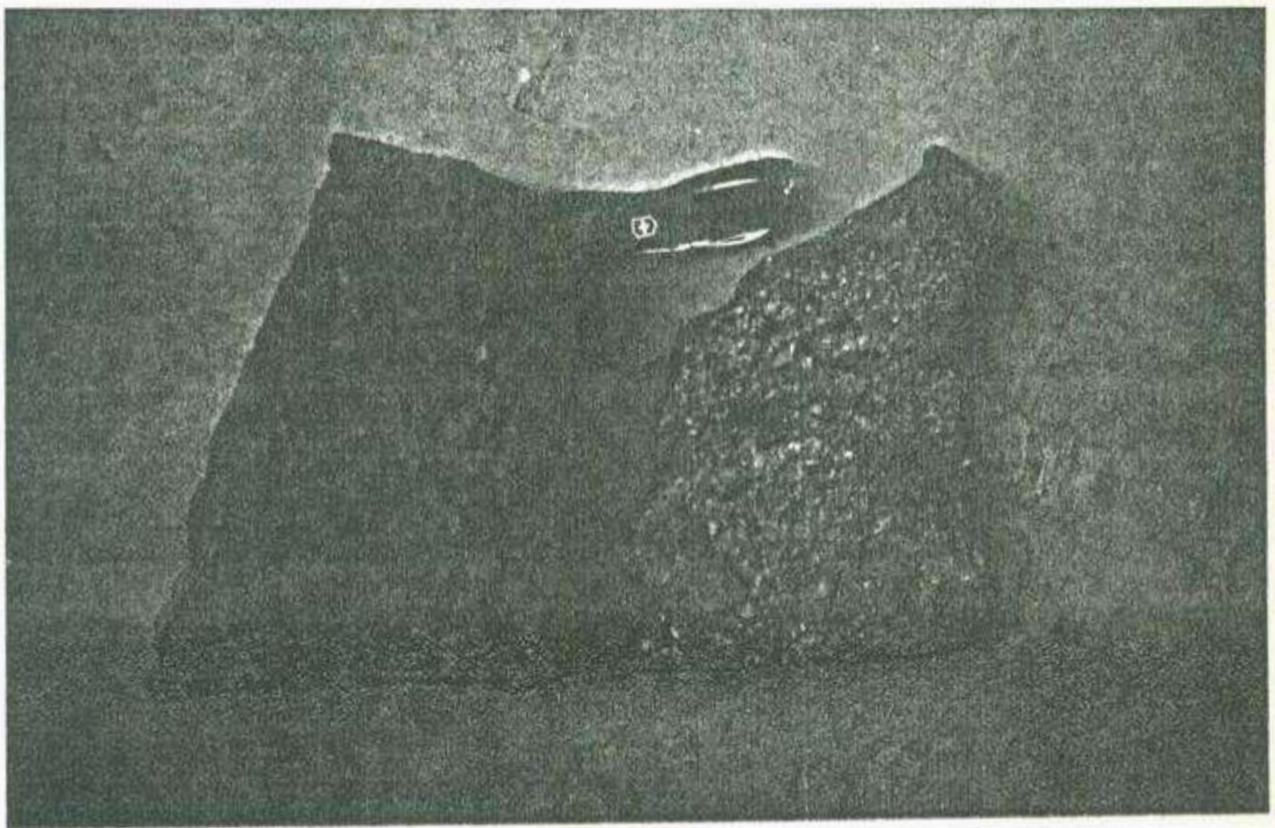


Figura 6. Lutita con impresiones de crecimiento de pseudomorfos de halita (?).

## EDAD Y CORRELACIÓN

La ausencia de fósiles hace difícil definir la edad a esta unidad, sin embargo Rodríguez (1984, 1988, 1994) reporta la Ortocuarcita Los Changos, con la cual puede correlacionarse, como una secuencia de ortocuarcita con escasa lutita y conglomerado, asignándole una edad cámbrica por su similitud con rocas paleozoicas de la región de Caborca. Así mismo, Blakey y Knepp (1989) describen en la parte central de Arizona a la Formación Schnebly Hill del Pérmico, como una unidad compuesta de ortocuarcita y limolita con estratificación cruzada, rizaduras de corriente e impresiones de crecimientos de clastos en forma de cristales de sal, muy similar a la aquí reportada. En base a lo anterior se sugiere una edad del Paleozoico para la presente secuencia.

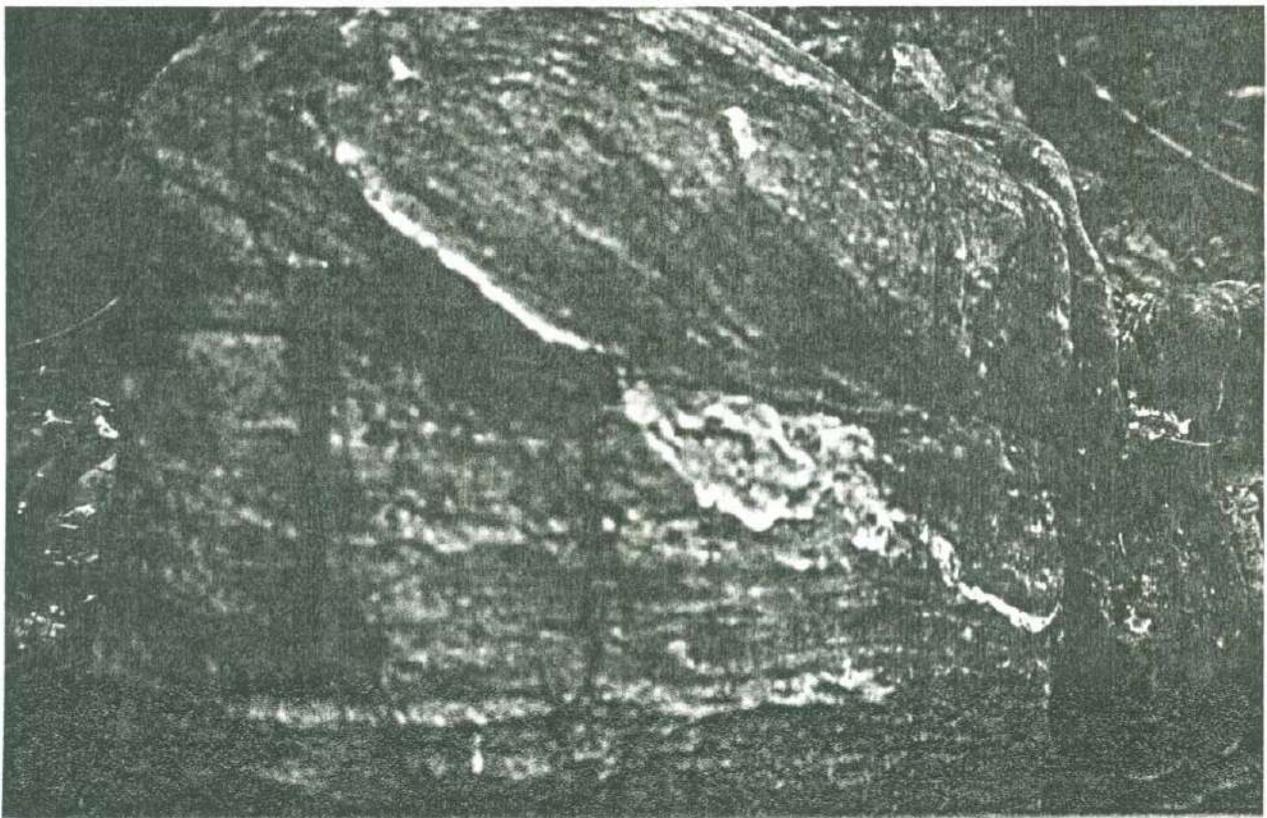


Figura 7. Estratificación cruzada en la ortocuarcita de la unidad superior.

### MEDIO AMBIENTE DE DEPÓSITO

En base a su litología, las estructuras sedimentarias primarias y a la presencia de los pseudomorfos de halita, el ambiente de depósito que se propone para esta unidad es una planicie costera de baja energía combinado con un alto grado de evaporación.



Figura 8. Ortocuarcita con estratificación de mediana a gruesa en la unidad superior.

## 4. 2. MESOZOICO

### 4. 2. 1. CALIZA MURAL

#### DEFINICIÓN

Ransome (1904), define originalmente a la Caliza Mural como parte del Grupo Bisbee en el Sureste de Arizona. En el área de estudio, esta unidad se identifica como una secuencia compuesta principalmente por caliza fosilífera con intercalación de arenisca y lutita.

#### DISTRIBUCIÓN

La Caliza Mural aflora únicamente al Norte del Cerro El Vigía y en la parte Suroeste del Cerro El Cuervo.

#### LITOLOGÍA Y ESPESOR

La Caliza Mural está formada principalmente por caliza fosilífera con ostreas, de color gris en superficie fresca y con colores gris claro a amarillento en superficie de intemperismo, con estratificación de gruesa a masiva; presenta recristalización, intemperismo kárstico y alteración hidrotermal (Figura 9).

La arenisca es de color café oscuro en superficie fresca y café claro en superficie de intemperismo, de grano de fino a medio, bien clasificada, estratificación media y espesores de 20 a 40 cm. La lutita presenta los mismos colores en superficie fresca como de intemperismo de la arenisca, con una estratificación fina y con espesores de 10 cm (Figura 10).

El espesor de la Caliza Mural no se midió, ya que está cubierta discordantemente por la formación El Tuli y por el Conglomerado Báucarit, sin embargo se estima mayor a los 300 m en la región de Banámichi.

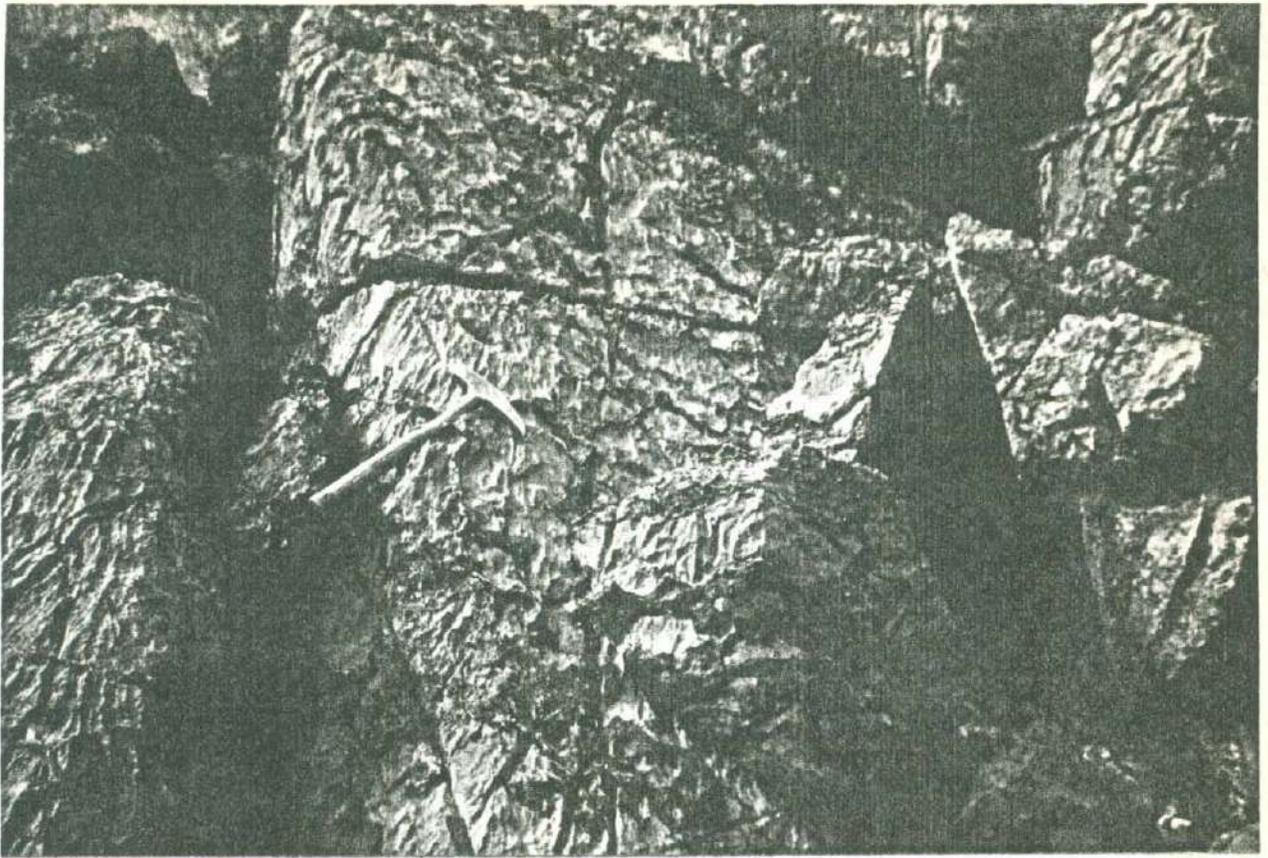


Figura 9. Caliza con estratificación de media a gruesa conteniendo ostreas, intemperismo kárstico y alteración hidrotermal..

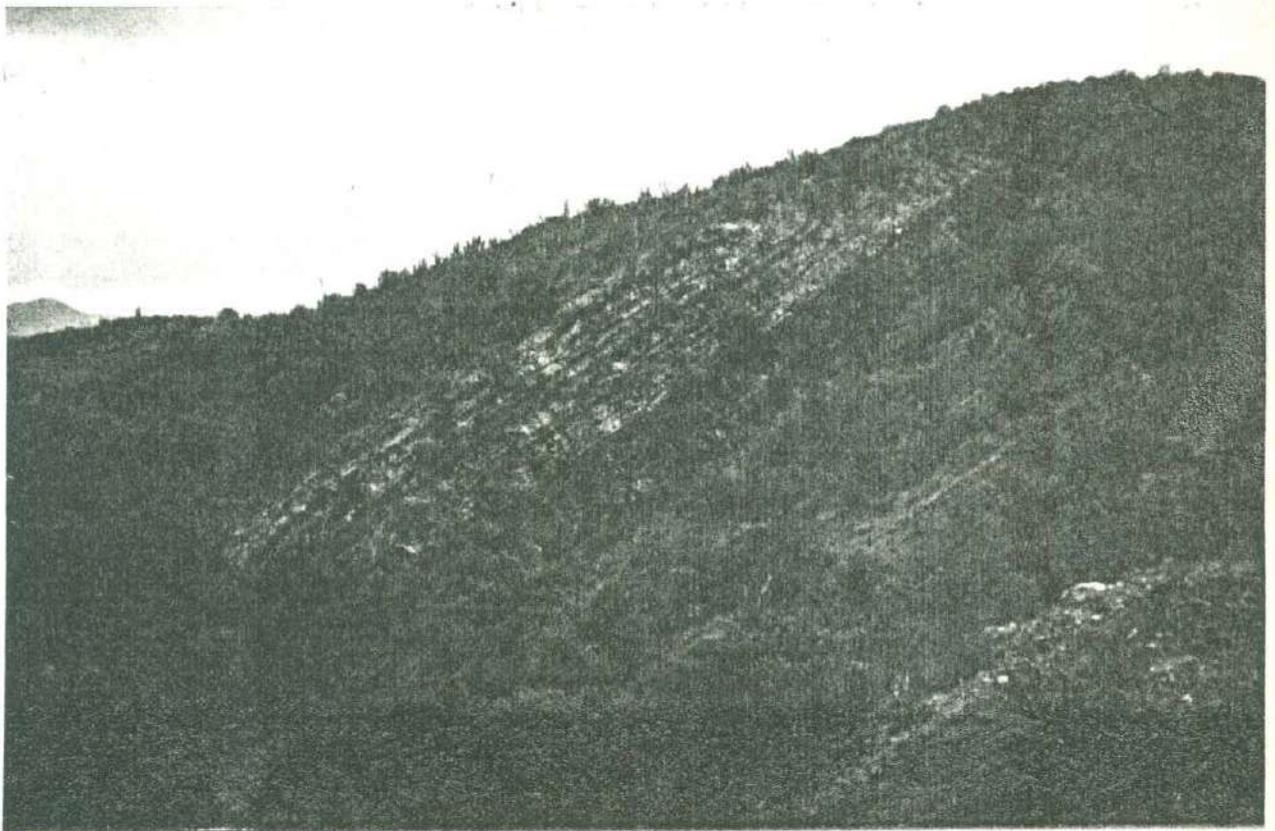


Figura 10. Intercalación de arenisca y lutita dentro de la Caliza Mural (Cretácico Temprano) con estratificación media a fina.

## RELACIONES ESTRATIGRÁFICAS

La base de la Caliza Mural no está expuesta. Sin embargo se sugiere que se encuentra cubriendo discordantemente a las rocas paleozoicas. Es sobreyacida en discordancia angular por la formación El Tuli, representando una gran importancia para la interpretación tectónica e histórica de la región de Sonora centro-septentrional.

## EDAD Y CORRELACIÓN

La Caliza Mural aflora ampliamente en varias localidades en el Estado de Sonora, siendo equivalente a las Formaciones El Macho de la región de Arizpe asignada al Aptiano tardío - Albiano temprano (González; 1978); con las Formaciones Lampazos y Espinazo del Diablo en la región de Lampazos, asignadas al Albiano temprano y Albiano medio respectivamente (González; 1989 b); con la Formación Los Tanques de las regiones de Tuape y Téguchi del Aptiano - Albiano (Rodríguez; 1984, 1988, 1994).

En base a lo anterior, la edad para la Caliza Mural es del Aptiano - Albiano del Cretácico Temprano.

## MEDIO AMBIENTE DE DEPÓSITO

Esta Formación se depositó en una amplia plataforma marina somera, dentro de la cual coexistieron abundantes arrecifes de parche (González; 1989 a), la cual es formada durante la transgresión marina proveniente del suroriente y que representa la máxima transgresión.

## 4. 2. 2. FORMACIÓN EL TULI

### DEFINICIÓN

Se retoma el nombre informal de formación El Tuli de Rodríguez (1994), para describir a una secuencia volcanosedimentaria que aflora ampliamente en el área de estudio. Esta secuencia esta compuesta por dos miembros: hacia la base, el miembro inferior compuesto por un conglomerado basal, arenisca, arenisca conglomerática; mientras que el miembro superior esta constituido principalmente por derrames volcánicos de composición andesítica, principalmente aglomerado, andesita, traquiandesita, toba, riolita, riodacita e ignimbrita (Fig. 11).

### DISTRIBUCIÓN

Esta formación se encuentra ampliamente distribuída en la porción oriental del área, en la sierra El Oso, en los cerros El Colorado, El Huico, San Antonio; mientras que en la parte occidental aflora en las sierras Las Guijas, El Júparo y en los Cerros Prietos.

Las intercalaciones con las rocas sedimentarias se observa en varias localidades. Los mejores afloramientos ocurren en las inmediaciones de los cerros El Vigía, El Cuervo, y en los alrededores del rancho Los Nogales (ver plano geológico).

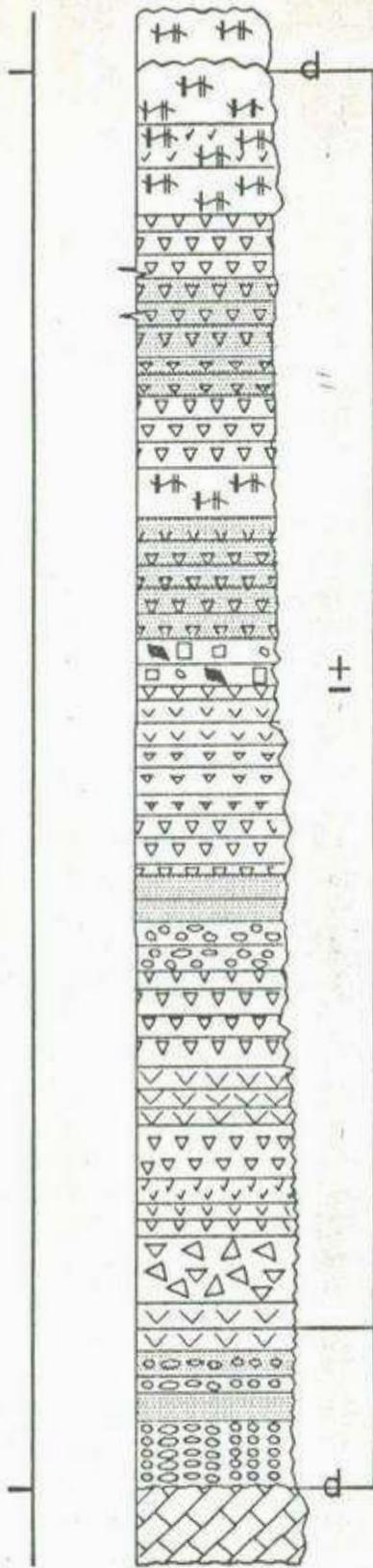
### LITOLOGÍA Y ESPESOR

El miembro inferior está compuesto por una secuencia de conglomerado, arenisca, arenisca conglomerática y con las primeras intercalaciones de derrames volcánicos. El conglomerado es de color gris oscuro, que sobresale del relieve; los clastos son de ortocuarcitas de forma angulosa a subredondeada, con tamaños que varían de 0.1 a 30 cm, con un promedio de 5 cm, mal clasificado, con estratificación gruesa; los clastos de ortocuarcita predominan, presentándose escasos clastos de caliza de color gris; la matriz esta constituída, por arena de

TERCIARIO  
VOLCANICO  
(Tv)

CRETACICO  
TARDIO  
(KsVs)

CRETACICO  
TEMPRANO  
(KicZ)



EXPLICACION

-  ANDESITA
-  AGLOMERADO ANDESITICO
-  IGNIMBRITAS
-  TOBAS LITICAS
-  TOBAS ARENOSAS
-  TOBAS
-  ARENISCAS
-  ARENISCAS CONGLOMERATICAS
-  CONGLOMERADO
-  TRAQUIANDESITA
-  RIDDACITAS

d = DISCORDANCIA

Figura 11. Columna estratigráfica de la Formación El Tuli del Cretácico Tardío.



EL SABER DE MIS HIJOS  
HARA MI GRANDEZA  
BIBLIOTECA DE CIENCIAS  
EXACTAS Y NATURALES

Figura 12. Conglomerado basal de la unidad inferior, constituido principalmente por clastos de ortocuarcita (Formación El Tuli).

grano fino a medio, de composición igual a la parte gruesa; los clastos soportan el conglomerado (Fig. 12). La arenisca es de color rojizo-morado a café rojizo, con matriz de grano fino, estratificación de media a gruesa, compuesta por feldespato potásico, cuarzo y fragmentos líticos; microscópicamente se observan cristales de cuarzo, feldespato potásico y fragmentos líticos, bien clasificada; pasando de una arenita de cuarzo a arcosa (NH-51, NH-55, ver apéndice A); la arenisca conglomerática es de color gris oscuro, con fragmentos que varían de 0.1 a 1 cm en una matriz arenosa de grano fino a grueso; la estratificación de la arenisca es de fina a

mediana. Los primeros paquetes de rocas volcánicas están representadas por andesita con textura porfídica, de color verde claro y con fenocristales de plagioclasa, con estratificación mediana. Las rocas volcánicas empiezan a ser más consistentes, dando paso al miembro superior de ésta formación. Se estima un espesor de 568.2 m para el miembro inferior.

El miembro superior está compuesto principalmente por una secuencia intercalada de aglomerado, andesita, riolacita, tobas con diferentes composiciones, ignimbrita, riolita, con intercalaciones de rocas sedimentarias.

La base del miembro superior es una intercalación de aglomerado de composición andesítica con andesita porfídica. El aglomerado andesítico es de color morado, presentando ocasionalmente colores verde-morado, café oscuro y café claro (HM-T-13, NH-25, ver apéndice A; Fig. 13); los fragmentos que constituyen al aglomerado son de andesita porfídica con fenocristales de plagioclasa, con tamaños de los fragmentos que varía desde 5 a 30 cm, de forma subangulosa, en una matriz afanítica. El aglomerado varía localmente a una arenita volcánica de composición andesítica de color morado, donde se pueden observar clastos de andesita porfídica, de tamaños que varían de 1.5 a 10 cm, con un espesor que varía de 1 a 50 cm. La andesita es del mismo color que el aglomerado, presenta textura porfídica con fenocristales de plagioclasa en una matriz afanítica, así mismo se presenta como una andesita fluidal. El espesor del aglomerado y de la andesita varía de 0.5 a 5 m. La riolacita es de color café rosado, textura porfídica con fenocristales de cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico y con fragmentos líticos; microscópicamente la matriz es afanítica con cristales de feldespato potásico, plagioclasa, y cuarzo (HM-T-6, ver apéndice A). La traquiandesita presenta textura porfídica donde microscópicamente la matriz es afanítica con fenocristales de feldespato potásico, plagioclasa (NH-26, ver apéndice A); estas rocas tienen una estratificación gruesa con espesores de 0.5 a 5 m de espesor y que constituyen los derrames de mayor volumen. Las tobas varían a toba lítica, cristalina, arenosa, riolítica e ignimbrita. La toba lítica es de color café rosado a café, con

cristales de plagioclasa y fragmentos líticos de color café rojizo, café oscuro y verdes (cloritizadas) con tamaños que varían de 0.5 a 1.5 cm, de forma angulosa; microscópicamente esta compuesta por una matriz fluidal, cristales de feldespato potásico, plagioclasa y fragmentos líticos (NH-21, ver apéndice A); en algunos lugares contiene cierta silicificación con vetillas de cuarzo sin un rumbo preferencial; presenta estratificación gruesa. La toba cristalina es de color gris claro a café rosado con cristales de feldespato potásico, plagioclasa, cuarzo y clorita como mineral de alteración (GB-93-6, NH-29, ver apéndice A). La toba arenosa es de composición andesítica de color morado, de grano medio a grueso, con estratificación fina. La toba riolítica es de color café con cristales de feldespato potásico, cuarzo y fragmentos líticos; microscópicamente la matriz es afanítica con fenocristales de cuarzo, plagioclasa, feldespato

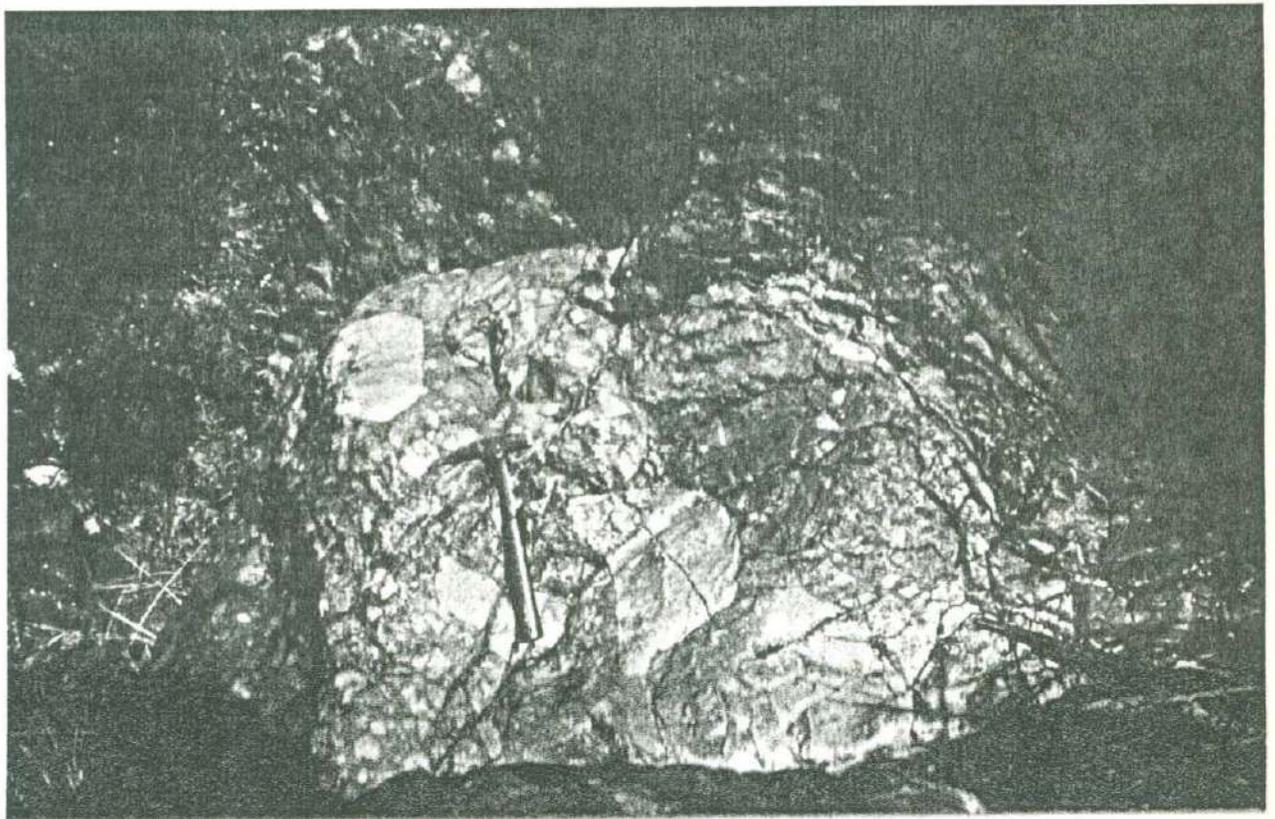


Figura 13. Aglomerado andesítico de la unidad superior del Cretácico Tardío.

potásico y fragmentos líticos (HM-T-11, ver apéndice A). La ignimbrita es de color café claro, con fragmentos líticos, vidrio volcánico con textura soldada. Los espesores de las tobas varían de 0.5 a 5 m.

Dentro de esta secuencia se encuentran intercalados pequeños espesores de arenisca, arenisca conglomerática y conglomerado. La arenisca varía de arenita feldespática a arcósica y a volcánica. La arenita feldespática es de color gris oscuro a café oscuro de grano fino a medio con cristales de cuarzo, feldespato potásico y fragmentos líticos; microscópicamente contiene cristales de feldespato potásico, plagioclasa y cuarzo (GB-93-4, GB-93-5, ver apéndice A). La arenita arcósica microscópicamente contiene feldespato potásico y cuarzo (HM-T-9, ver apéndice A). La arenita volcánica es de color gris oscuro de grano fino con fragmentos líticos volcánicos, minerales con alteración clorítica, feldespato potásico y cuarzo; microscópicamente contiene fragmentos líticos de origen volcánico y minerales alterados a clorita y sericita (HM-T-27, 28, 28A, ver apéndice A). La arenisca conglomerática es de color gris oscuro, con fragmentos de roca volcánica de tamaños de 0.1 a 1 cm, con matriz arenosa de grano fino a gruesa y estratificación mediana. El conglomerado es poligmítico con clastos de arenisca, andesita, toba lítica e ignimbrita; el tamaño del clasto varía de 0.5 a 5 cm, con un promedio de 3 cm, mal clasificado y una estratificación mediana. El espesor para esta parte superior no se midió, ya que se encuentra fallada y cubierta discordantemente por rocas del Terciario y Cuaternarios, más sin embargo se estima un espesor mayor a los 1100 m. Aunque la parte superior de esta secuencia no se midió, se estima un espesor mayor a los 1500 m para la formación El Tuli.

#### RELACIONES ESTRATIGRÁFICAS

La formación El Tuli se encuentra cubriendo en discordancia a las rocas paleozoicas en los alrededores del Cerro El Vigía (Fig. 14); sobreyace en discordancia angular a

la Caliza Mural del Cretácico Temprano. Ésta misma discordancia angular es observada en las regiones de Téguachi y Tuape donde cubre a rocas del Jurásico y del Cretácico Temprano (Rodríguez; 1994). Esta intrusión por pórfido andesítico en los alrededores del Rancho El Saucito.

Es cubierta discordantemente por roca volcánica del Oligoceno-Mioceno, por la Formación Báucarit del Terciario Tardío, por basalto Plio-Cuaternario, por terrazas y aluvión del Cuaternario.



Figura 14. Discordancia entre las rocas paleozoicas y el conglomerado basal de la Formación El Tuli del Cretácico Tardío.

## EDAD Y CORRELACIÓN

La unidad El Tuli es correlacionable litológicamente con la parte superior de la Formación Fort Crittenden y probablemente con la Formación Salero del Sureste de Arizona, las cuales han sido asignadas al Santoniano-Maastrichtiano (Drewes, 1971).

Es también correlacionable litológicamente con la Formación Tarahumara que fué descrita por Wilson y Rocha (1946) en las cercanías de la región carbonífera de Santa Clara. La Formación Tarahumara está compuesta por un grueso paquete de rocas volcánicas que consisten principalmente por derrames volcánicos, aglomerado y brecha de composición andesítica-dacítica, y que en algunos lugares presenta intercalación con rocas sedimentarias. En estudios recientes Amaya y González (1993) han dividido a la Formación Tarahumara en dos miembros: un miembro inferior volcánico y un miembro superior volcanosedimentario. McDowell y otros (1994) reportan una edad radiométrica de  $70 \pm 1$  Ma para una toba riolítica dentro del miembro superior. La base de la Formación Tarahumara no se ha identificado, más sin embargo, se sugiere que la Formación Coyotes sea la parte basal de la Formación Tarahumara, debido a la similitud tanto litológica como estratigráfica que existe con su correspondiente en la formación El Tuli (Comunicación personal, J. L. Rodríguez). También es correlacionable en base a características litológicas con la Formación Alcaparros descrita por González (1978) en la región de Arizpe, consistente en derrames tipo andesítico, riolítico e ignimbrítico con intercalación de roca volcanoclástica. Inicialmente considerada del Terciario, pero en estudios recientes es considerada de probable edad Cretácico Tardío por González y otros (1993).

Así mismo, es correlacionable litológicamente con la unidad Salto del Álamo reportada por Bojórquez y Rosas (1988) de la región de Aconchi, formada por caliza fosilífera, caliza laminar, grawacka arcósica, por roca volcánica de composición andesítica, toba arenosa y por un conglomerado rojizo. Inicialmente fué considerada del Cretácico Temprano, sin embargo, Ricalde y Ceballos (1993) en investigaciones recientes sugieren una edad tentativa del Cretácico

Tardío.

Litológicamente es correlacionable con la unidad Washington descrita por Bojórquez y Rosas (1988) de la región de Aconchi, secuencia volcanosedimentaria que consiste de derrame andesítico con intercalación de toba y rocas sedimentarias como caliza y arenisca, la cual es asignada al Cretácico Tardío-Paleoceno.

Grajales y otros (1990) reportan secuencias volcanosedimentarias sinorogénicas en Sonora, las cuales fecharon isotópicamente por K-Ar resultando edades que varían desde 80 Ma a 86.3 Ma. En base a las relaciones estratigráficas y a las correlaciones litológicas, se le asigna una edad de Cretácico Tardío (Fig. 16).

#### AMBIENTE DE DEPÓSITO Y ORIGEN

Varios aspectos sugieren que las rocas de la formación El Tuli son depósitos sinorogénicos. La discordancia angular en el contacto inferior, la abundancia de clastos de ortocuarcitas y la presencia de clastos de calizas y la forma de los mismos en el conglomerado basal indican dos cosas: que las rocas provienen de áreas de considerable relieve y que fueron depositadas a corta distancia del origen de las mismas y de forma rápida. Los primeros derrames de rocas volcánicas, son manifestaciones de un episodio volcánico mayor que se encuentra representado por toda la parte superior volcánica de la formación El Tuli. La formación El Tuli, se encuentra asociado con la interacción de un arco volcánico continental, de edad Cretácico Tardío en el cual los productos volcánicos se depositaban en ambientes lacustres o zonas de transición (Amaya y González, 1993). El origen de esta formación se atribuye a la subducción de la placa Farallón debajo de la placa Norteamericana.

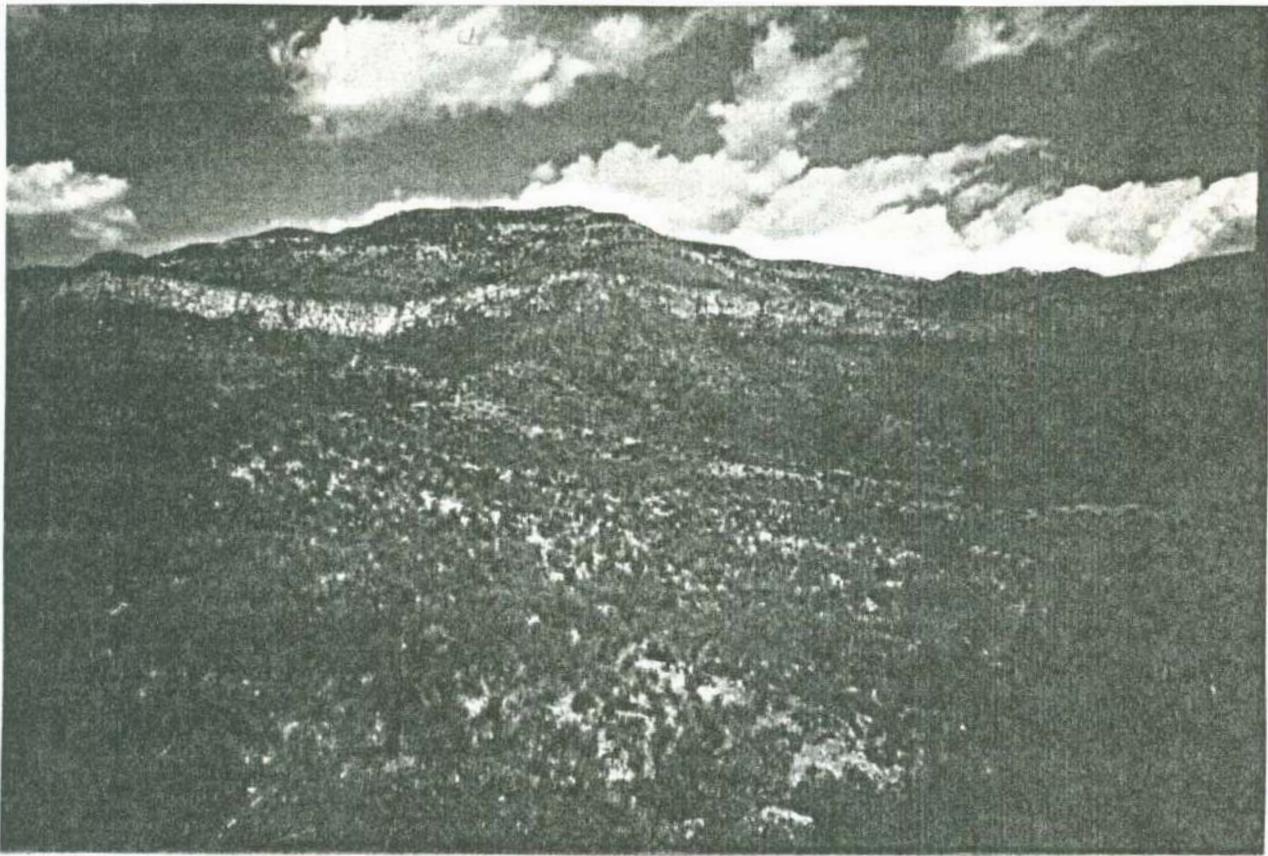
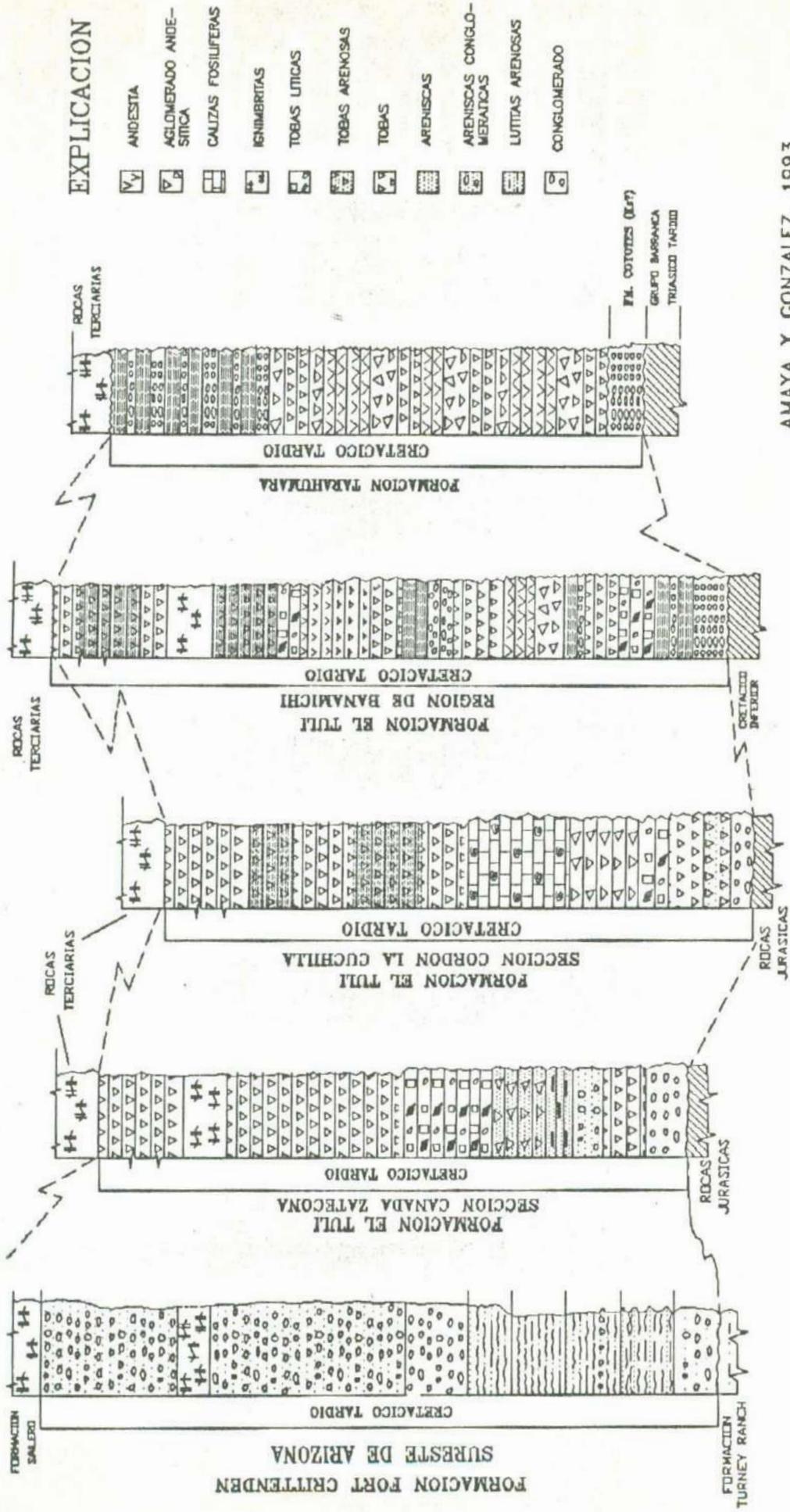


Figura 15. Panorámica de la unidad superior de la formación El Tuli del Cretácico Tardío.



DREWES, 1971    RODRIGUEZ, 1994    RODRIGUEZ, 1994    MARTINEZ Y SOOTS, 1994    AMAYA Y GONZALEZ, 1993  
 McDOWELL, ROLDAN, AMAYA Y GONZALEZ, 1994

Figura 16. Correlación estratigráfica de las rocas del Cretácico Tardío en las localidades del Estado de Sonora.

### 4. 3. CENOZOICO

#### 4. 3. 1. PÓRFIDO ANDESÍTICO

##### DEFINICIÓN

Rodríguez (1994) define como pórfido andesítico a un pórfido de composición andesítica, que presenta variantes de un pórfido de andesita a un pórfido de biotita. En el área de estudio se nombra como pórfido andesítico a una roca ígnea intrusiva hipabisal de composición intermedia. Este intrusivo se encuentra intrusionando a rocas del Cretácico Tardío.

##### DISTRIBUCIÓN

Este pórfido se encuentra aflorando únicamente en los alrededores de los ranchos La Palmita y El Saucito.

##### LITOLOGÍA

Roca de color café en superficie fresca y café ocre en superficie de intemperismo. Megascópicamente se observan fenocristales de plagioclasa, feldespatos potásico, cuarzo y en menor cantidad biotita en una matriz afanítica, microscópicamente se observa matriz afanítica cuarzo-sericítica con fenocristales de plagioclasa y cuarzo, presentando una textura porfídica (NH 34, ver apéndice A).

##### RELACIONES ESTRATIGRÁFICAS

Este pórfido se encuentra en el área de estudio intrusionando a la formación El Tuli del Cretácico Tardío. En la región de Téguachi se encuentra intrusionando a rocas metamórficas jurásicas y al granito del Terciario Rodríguez (1994).

#### EDAD Y CORRELACIÓN

Este pórfido andesítico es considerado del Terciario (Oligoceno tardío). Rodríguez (1984, 1988) le asigna una edad de 27 Ma, obtenida de un estudio isotópico realizado al pórfido andesítico que forma parte de la sierra La Sierrita, localizado al oeste del área de estudio.

#### ORIGEN

Este pórfido se generó a partir de la subducción de la placa Farallón bajo la placa Norteamericana a fines del Cretácico.

### 4. 3. 2. ROCAS VOLCÁNICAS TERCIARIAS

#### DEFINICIÓN

Rodríguez (1994) en los alrededores del rancho El Téguachi, hacia el oeste del área de estudio, define como rocas volcánicas terciarias a un conjunto de rocas constituidas principalmente por tobas con diferente composición e ignimbrita. En el área de estudio se nombra como rocas volcánicas terciarias a un grupo de rocas de carácter félsico como riolita, ignimbrita, y tobas de diferente composición; la riolita forman un tronco volcánico que constituye parte del Cerro Bufa El Picacho.

#### DISTRIBUCIÓN

Se encuentra ampliamente distribuida en la porción oriental del área de estudio, formando parte de la Sierra El Bellotal, Sierra El Carmen y Cerro Bufa El Picacho; mientras que la parte occidental forma parte de la Sierra Las Guijas.

## LITOLOGÍA Y ESPESOR

El tronco volcánico está compuesto por una riolita porfídica de color blanco rosado a rojizo con fenocristales de cuarzo, feldespato potásico en una matriz afanítica. Los flujos riolíticos son de color rosado y blanco en una matriz afanítica, donde se observan fenocristales de plagioclasa y feldespato potásico y cuarzo con textura fluidal. La ignimbrita es de color café rosado con matriz que presenta una textura fluidal, donde se observa cuarzo, feldespato potásico y en menor proporción fragmentos de roca. Petrográficamente se observan cristales de cuarzo, biotita y fragmentos de roca (NH 77A, ver apéndice A). Las tobas son de color gris verdoso, gris claro, verdoso gris, gris morado y café rojizo claro que intemperizan a gris claro, café blancuzco y café rojizo. Microscópicamente presentan matriz afanítica con alteración a sericita con escasos cristales de cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico y cuarzo, variando composicionalmente a toba, toba lítica e ignimbrita (NH-77A, 78, 85, ver apéndice A; Fig. 17).

No se midió un espesor para esta unidad, sin embargo Gayón (1989) calcula un espesor de 800 m para rocas volcánicas en la región de Moctezuma, Sonora; para la región de Banamichi, Sonora se estima un espesor mayor a los 500 m.

## RELACIONES ESTRATIGRÁFICAS

Las rocas volcánicas cubren discordantemente a la formación El Tuli del Cretácico Tardío. Es cubierta discordantemente por el Conglomerado Báucarit y derrames basálticos del Terciario Tardío, asimismo por gravas y aluviones del Cuaternario. El tronco volcánico constituye la roca más antigua, ya que es cubierta por los derrames más jóvenes (Fig. 18).

## EDAD Y CORRELACIÓN

Demant y Cochemé (1983) describen amplios afloramientos de rocas volcánicas similares, que constituyen a la Sierra Madre Occidental, donde ellos le asignan una edad del Oligoceno. Rodríguez (1984, 1988) reporta rocas similares en las región de Tuape y las asigna al Oligoceno. McDowell y Clabaugh (1972) fechó por el método K/Ar en las serranías de Durango y Sinaloa a una secuencia volcánica similar y obtuvo edades entre los 21 a 29 Ma. En base a las relaciones estratigráficas y a su similitud litológica, se considera a las rocas volcánicas una edad del Oligoceno.

## ORIGEN

El origen de éstas rocas se le atribuye al magmatismo producido por la subducción de la placa Farallón bajo la placa Norteamericana, antes del tectonismo extensivo que generó la provincia de Basin and Range del Noroeste de México y Suroeste de Estados Unidos. Gayón (1989) en base a estudios geoquímicos define a las rocas volcánicas del Oligoceno pertenecen a una serie calcoalcalina.

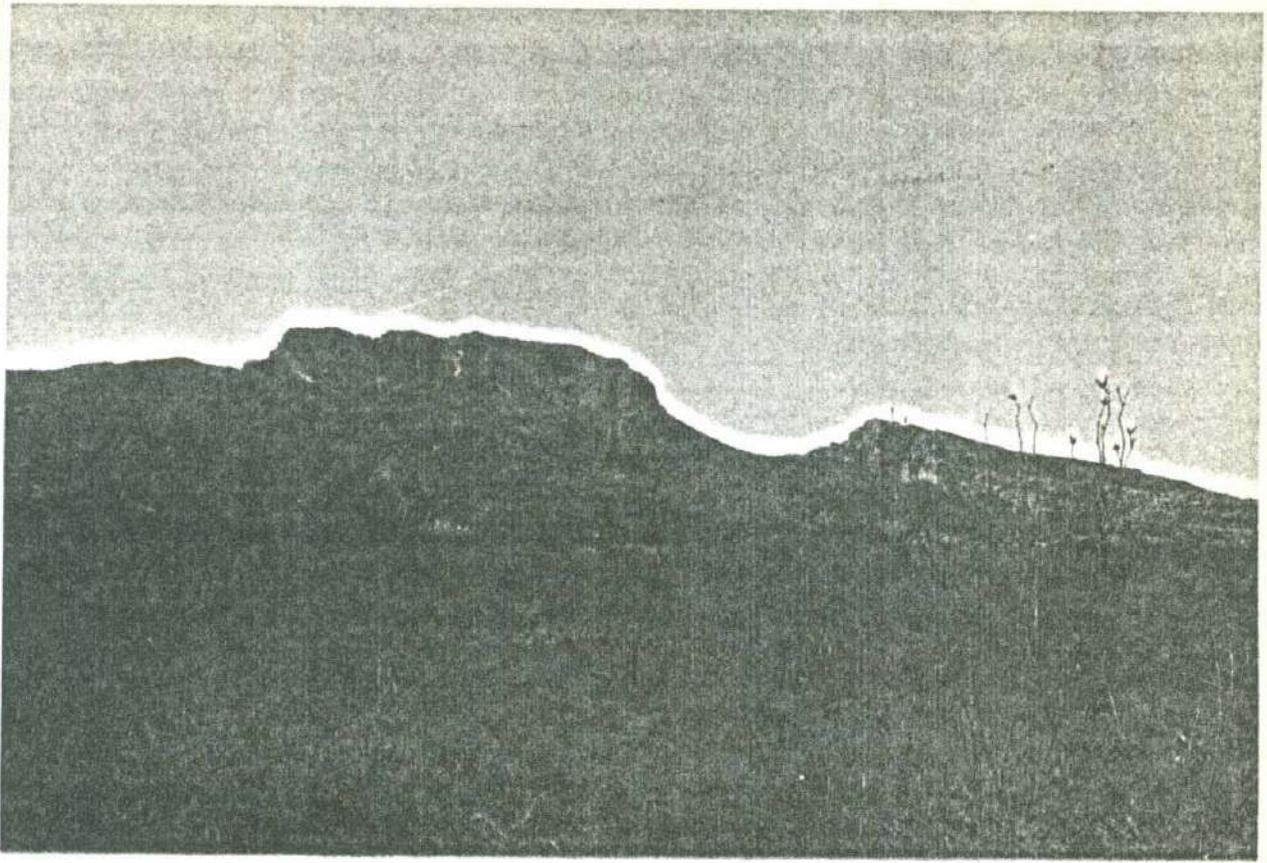


Figura 17. Rocas volcánicas terciarias en la región de Banámichi.

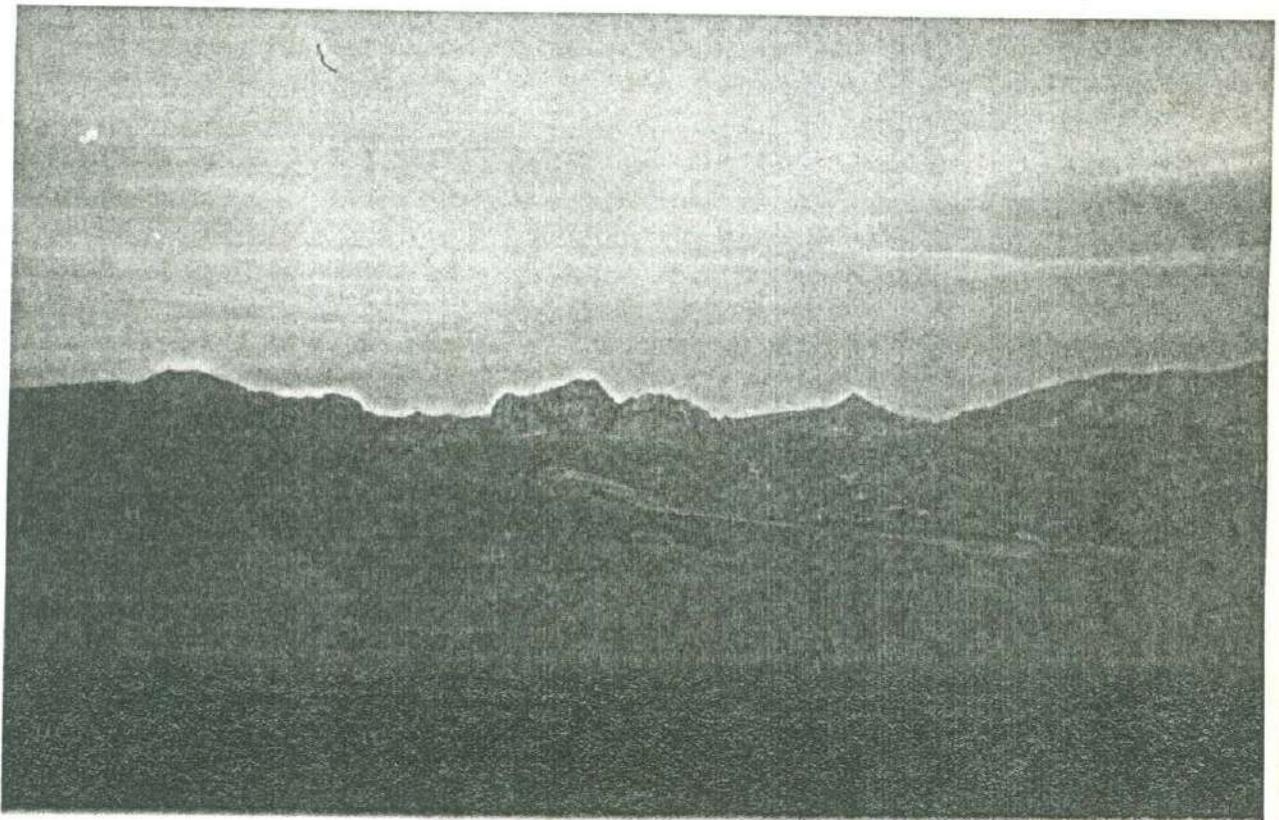


Figura 18. Tronco volcánico riolítico terciario.

### 4. 3. 3. FORMACIÓN BÁUCARIT

#### DEFINICIÓN

Dumble (1900) propuso el nombre de División Báucari, posteriormente King (1939) redefinió la División y la elevó a Formación con el nombre de Formación Báucarit. En el área de estudio se nombra Formación Báucarit a una secuencia de conglomerado, arenisca y limolita con intercalaciones de rocas volcánicas.

#### DISTRIBUCIÓN

La Formación Báucarit se encuentra ampliamente distribuida en los valles a lo largo del Estado de Sonora. En el área de estudio se encuentra expuesta principalmente en los valles del río Sonora y del río Nacozari en la parte oriental. La Formación Báucarit se presenta formando lomeríos suaves.

#### LITOLOGÍA Y ESPESOR

La Formación Báucarit consiste de conglomerado, arenisca y limolita con intercalaciones de rocas volcánicas de composición basáltica. El conglomerado es polimíctico, mal clasificados, con fragmentos que varían en forma de subredondeado a anguloso. Los clastos están compuestos principalmente de rocas volcánicas como toba, andesita, riolita e ignimbrita, así como de arenisca. El tamaño del clasto varía de 0.5 a 30 cm, dominando los de 2 a 6 cm; la matriz es arenosa de grano grueso, de composición generalmente igual a los clastos que forman el conglomerado. La arenisca intercalada generalmente es de grano medio a grueso, presentándose hacia la base conglomerática.

La roca volcánica es principalmente basalto de color gris oscuro a negro en superficie fresca que intemperiza a color negro. Presenta una textura afanítica microcristalina, la cual varía en el contenido de vesículas rellenas de calcita y cuarzo. En general la Formación

intemperiza a color café claro a amarillento (Fig. 19).

El espesor de la Formación Báucarit no fué medido, debido a que se encuentra incompleta en el área de estudio ya que se encuentra cubierta por conglomerado, basalto y terraza más joven. Se estima un espesor mayor a los 100 m.

#### RELACIONES ESTRATIGRÁFICAS

La Formación Báucarit cubre discordantemente a las rocas paleozoicas (?), a la secuencia volcanosedimentaria del Cretácico Tardío y a las rocas volcánicas de Terciario. Se encuentra cubierta discordantemente por el basalto Plio-Cuaternario, terraza aluvial y aluvión del Cuaternario.

#### EDAD Y CORRELACIÓN

Por lo que respecta a la edad de esta secuencia, no se encontraron fósiles; sin embargo Damon (en Roldán, 1979) fechó por el método K-Ar una andesita basáltica, colectada en la parte inferior de esta secuencia y obtuvo una edad de  $21.7 \pm 0.4$  Ma (Mioceno temprano). Roldán (1979), encontró en las cercanías de Moctezuma restos de vertebrados, consistentes en dientes de caballo y venado, en una secuencia de limolita y conglomerado mal consolidado, los cuales fueron asignados a una edad pleistocénica media. Por lo anterior y por las relaciones con las rocas adyacentes, la Formación Báucarit se considera de edad Mioceno temprano. Es obvio que hace falta más investigación para afinar datos sobre la edad y estratigrafía del Terciario clástico continental en Estado de Sonora.

### MEDIO AMBIENTE DE DEPÓSITO

Los sedimentos que constituyen a esta secuencia son de ambiente lacustre continental y fueron depositados como abanicos aluviales a lo largo de los flancos de cadenas montañosas y como relleno de los grandes valles, producto de la tectónica distensiva terciaria Basin and Range.



Figura 19. Formación Báucarit en la región de Banamichi.

#### 4. 3. 4. CONGLOMERADO TERCIARIO

##### DEFINICIÓN

Se define como Conglomerado Terciario a un depósito clástico mal cementado.

##### DISTRIBUCIÓN

Se encuentra principalmente expuesta en los valles del río Sonora y del río Nacozari en la parte oriental del área de estudio.

##### LITOLOGÍA Y ESPESOR

Litológicamente consiste de un conglomerado de color café blanco, que consiste de fragmentos en forma angulosa a subangulosa de basalto, andesita, toba, ortocuarcita y arenisca. El tamaño de los fragmentos varían de 0.1 a 40 cm en una matriz arenosa. Roldán (1989) en la hoja Baviácora estima un espesor mayor a los 300 m (Fig. 20).

##### RELACIONES ESTRATIGRÁFICAS

El Conglomerado Terciario sobreyace discordantemente a la Formación Báucarit y discordantemente a todas las unidades preexites. Se encuentra cubierta discordantemente por la terraza aluvial del Cuaternario (Fig. 21).

##### EDAD Y CORRELACIÓN

Roldán (1979, 1989) describe a un conglomerado semiconsolidado en las regiones de Baviácora y del Distrito Minero de San Felipe que cubre discordantemente a la Formación Báucarit y a todas las unidades preexistentes y a la vez cubierta por depósitos recientes, asignándole una edad del Terciario Tardío. En base a lo anterior y por las relaciones estratigráficas se le asigna una edad probable del Terciario Tardío para la región de Banámichi.

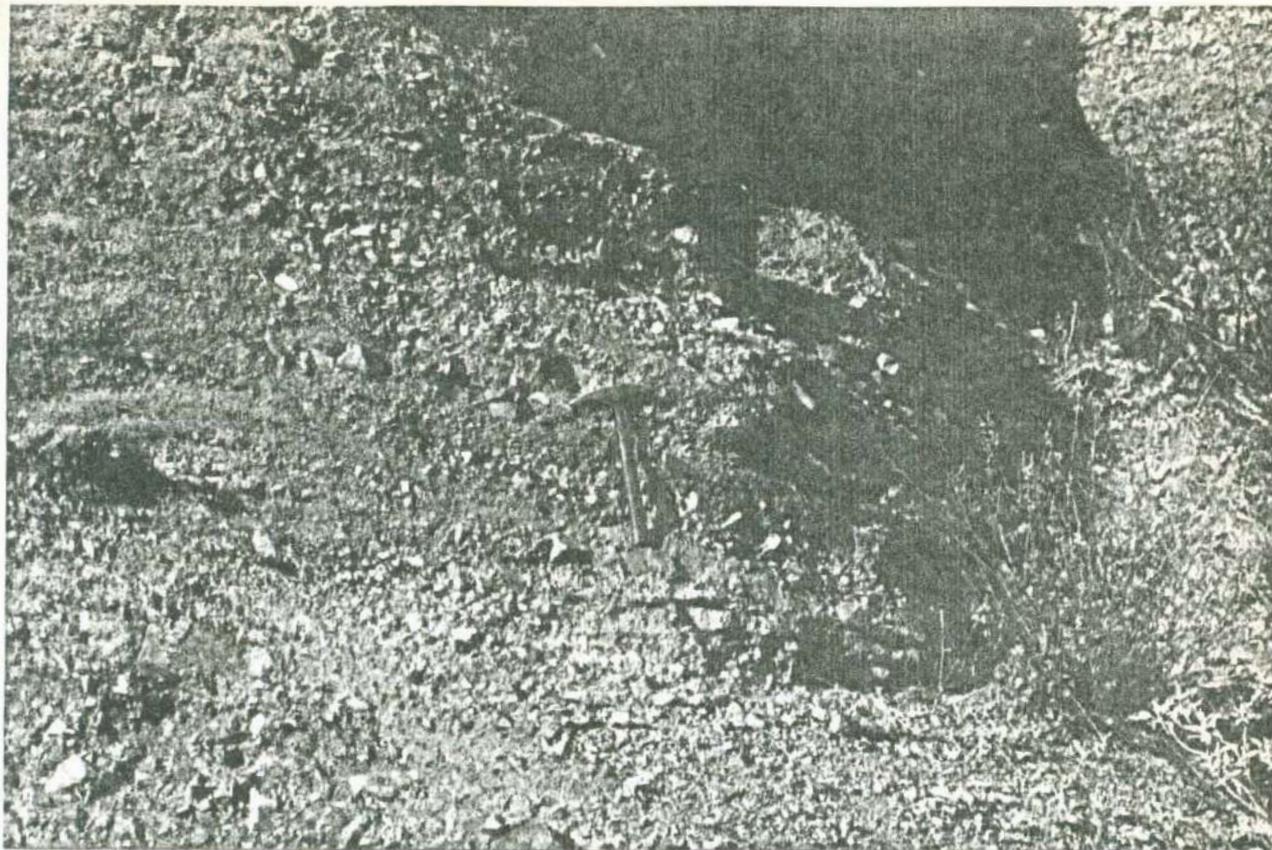


Figura 20. Detalle del Conglomerado Terciario (TCg).

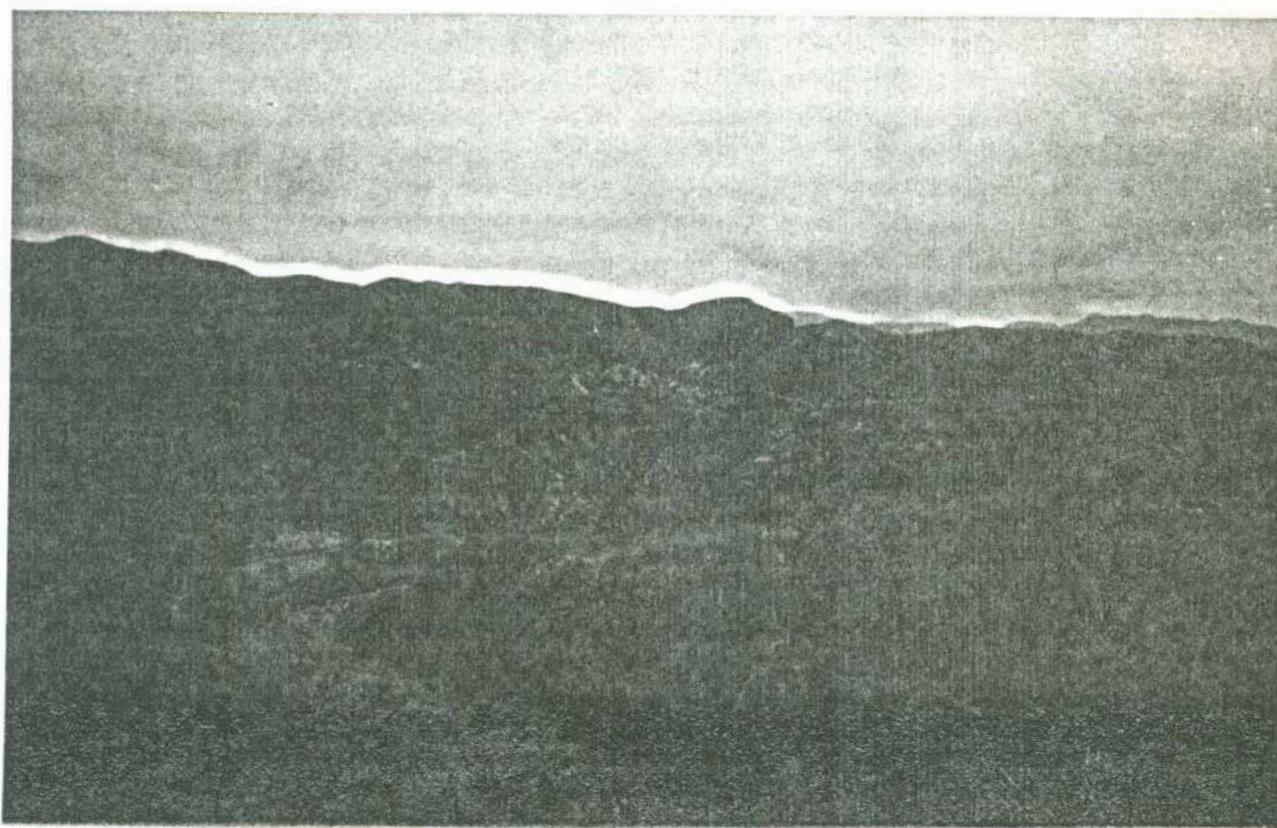


Figura 21. Relación estratigráfica entre la Formación Báucarit y el Conglomerado Terciario.

### 4. 3. 5. BASALTO CUATERNARIO

#### DEFINICIÓN

Se define como Basalto Cuaternario a un conjunto de rocas volcánicas de composición basáltica que registra el último evento volcánico en el área de estudio.

#### DISTRIBUCIÓN

El Basalto Cuaternario aflora en la parte oriental formando parte del Cerro El Encinal, Mesa Las Liebres, Mesa Estagunando y del Cordón de Enmedio.

#### LITOLOGÍA Y ESPESOR

El basalto es de color gris oscuro a café oscuro en superficie fresca que intemperiza a café oscuro y café amarillento. Petrográficamente está compuesto principalmente por plagioclasa en gran porcentaje, piroxeno y olivino en menor proporción. Presenta textura vesicular donde algunas se encuentran rellenas por calcita y cuarzo indistintamente. También formando parte de la unidad se tiene aglomerado basáltico con clastos de composición basáltica que presenta el mismo color del basalto. Se estima un espesor mayor a los 400 m.

#### RELACIONES ESTRATIGRÁFICAS

El basalto sobreyace discordantemente a la Formación Báucarit y al Conglomerado Terciario. Se encuentra cubierto discordantemente por terraza aluvial y por aluvión del Cuaternario.

#### EDAD Y CORRELACIÓN

Paz (1985) le asigna tentativamente una edad Plio-Cuaternaria a basaltos que afloran en la región de Moctezuma, Sonora.

## ORIGEN

El origen de estos basaltos es fisural y efusivo, asociado a la reactivación de fallas antiguas del Basin and Range, (Paz, 1985).

### 4. 3. 6. TERRAZA ALUVIAL

#### DEFINICIÓN

Con este nombre se define al depósito formado por grava y arena con un bajo grado de compactación.

#### DISTRIBUCIÓN

Se encuentra a la base de las montañas y rellenando los valles el cual forma terrazas y lomeríos alargados. Se encuentra ampliamente distribuido en el área de estudio abarcando la mayor parte de la zona central constituyendo parte del valle del río Sonora.

#### LITOLOGÍA

Esta unidad consiste de grava pobremente consolidada de color café, gris claro con tonalidades rojizas. Los componentes de esta grava son generalmente de andesita, riolita, toba, basalto, arenisca y ocasionalmente rocas intrusivas en forma redondeados a subangulosos, en una matriz es arenosa. El espesor no fue medido ya que se encuentra incompleta.

#### RELACIONES ESTRATIGRÁFICAS

Se encuentra cubriendo discordantemente a todas las unidades preexistentes en el área de estudio y es sobreyacida discordantemente por aluviones arenosos de origen fluvial.

#### EDAD Y CORRELACIÓN

Por la posición que guarda con respecto al Conglomerado Terciario se considera del Cuaternario.

#### MEDIO AMBIENTE DE DEPÓSITO

Se considera producto del intemperismo mecánico y químico de las rocas preexistentes y que fueron depositadas en un ambiente continental como abanicos aluviales y depósitos de talud.

#### 4. 3. 7. ALUVIÓN

Constituyen a esta unidad los depósitos de grava, arena, limo y cantidades subordinadas de arcilla. Rellenan principalmente los cauces de los arroyos y el cauce del río San Miguel.

## V. GEOQUÍMICA

### INTRODUCCIÓN

El presente estudio fué realizado gracias a la iniciativa de cooperación de la Compañía Minera BHP-UTAH que propocionó datos de análisis químicos de roca total, elementos mayores, elementos traza y normas CIPW de 47 muestras analizadas. Estas muestras fueron recolectadas a 8 km al oeste del poblado de Sinoquipe, en las inmediaciones del arroyo San Cristobal y del rancho La Junta (Tabla 1, apéndice B).

Como complemento se recolectaron 3 muestras por parte de los autores a lo largo del camino que une a los ranchos Los Vallecitos y La Ciénega. Estas muestras fueron analizadas en el laboratorio de química del Instituto de Geología-UNAM (Tabla 1, apéndice B). Las muestras de ambos grupos de datos provienen de la formación El Tuli del Cretácico Tardío.

El presente estudio no contemplaba un análisis geoquímico sistematizado por las condiciones de alteración que presentan algunas rocas que fueron análizadas con un fin económico. Sin embargo se pretende realizar un ensayo de caracterización de estas rocas con el fin de aportar datos sobre el tipo de serie magmática a la que pertenecen y contribuir a la interpretación del contexto geodinámico en el que fueron emplazados.

### CLASIFICACIÓN QUÍMICA DE LAS ROCAS

Las rocas volcánicas se clasificaron como traquiandesita basáltica, andesita, dacita y riolita de acuerdo al diagrama de clasificación TAS (Total Alcalis vs Silica) (Le Bas et. al. 1986) (Fig. 22). El mismo diagrama se puede utilizar para la clasificación de las rocas intrusivas donde vemos que la contra parte de las volcánicas caen dentro los campos de la diorita, granodiorita y granito (Fig. 23). En ambas figuras podemos observar que las rocas presentan una sobresaturación en SiO<sub>2</sub>, confirmado por la presencia de cuarzo en la norma CIPW (Tabla 1, apéndice B).

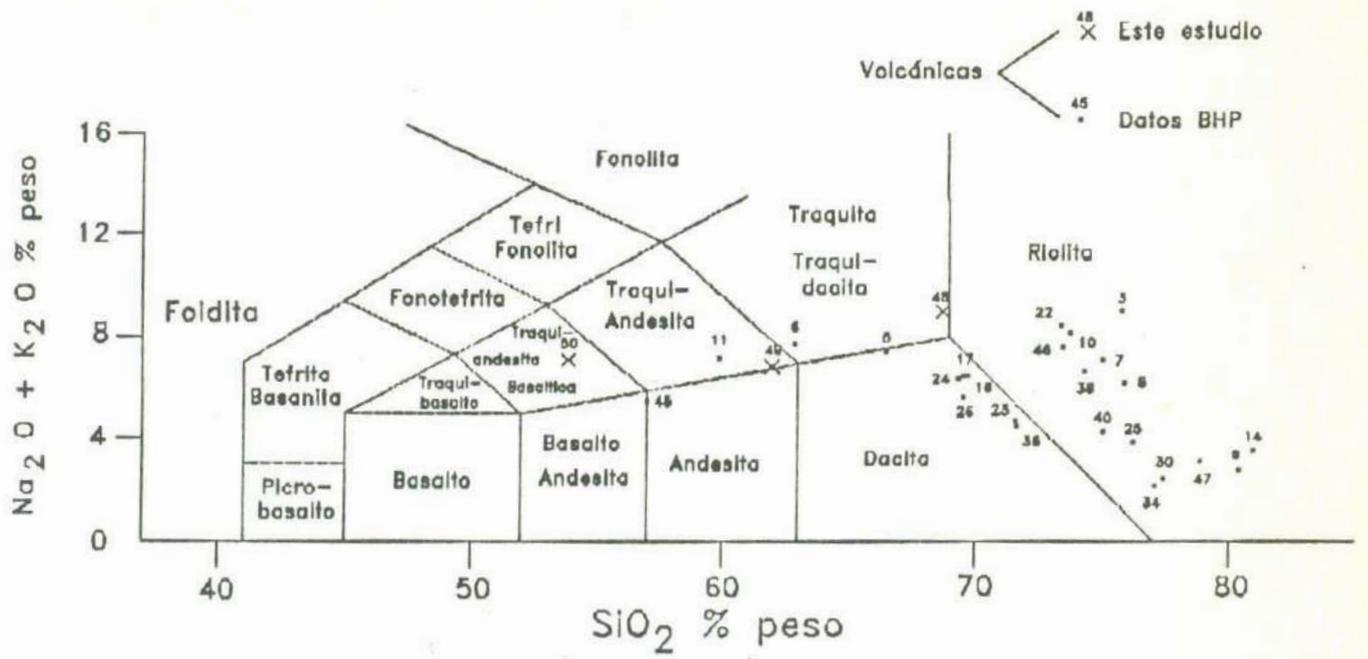


Figura 22. Diagrama de clasificación TAS (Le Bas et. al. 1986) para rocas volcánicas del Cretácico Tardío

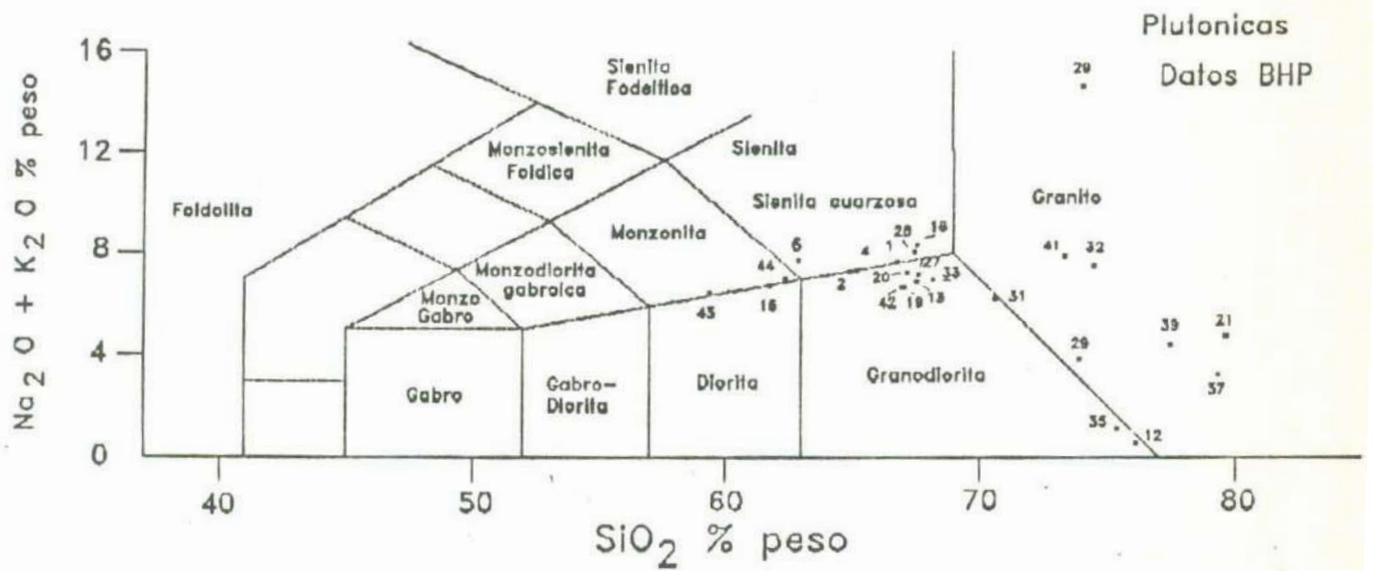


Figura 23. Diagrama de clasificación TAS (Le Bas et. al. 1986) para rocas intrusivas del Cretácico tardío.

En el diagrama de Pecерillo y Taylor (1976) (Fig. 24) se observa que para la misma cantidad de sílice (valores altos) se observan cantidades altas y medianas de potasio.

La clasificación de las rocas obtenidas a través de los análisis químicos coincidió con la clasificación que se obtuvo del estudio petrográfico de las muestras.

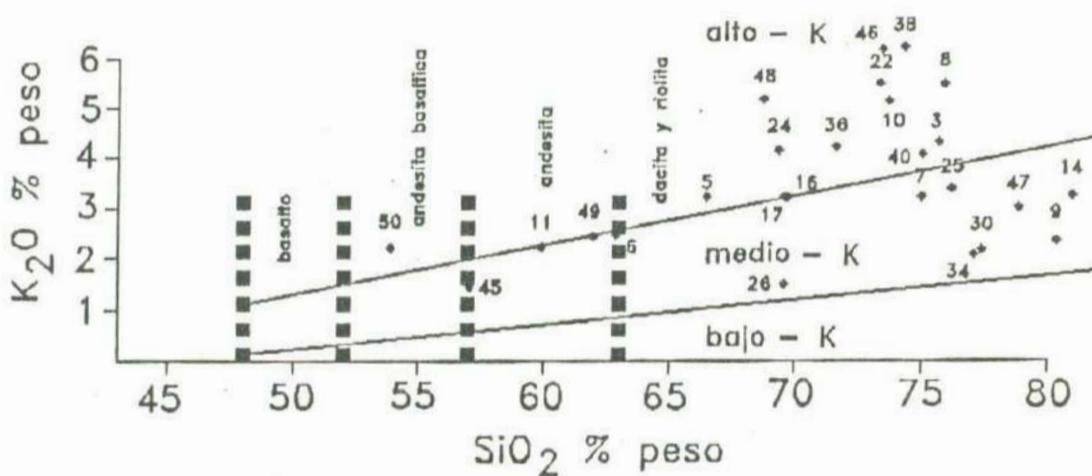


Figura 24. Diagrama de Pecерillo y Taylor (1976) para rocas volcánicas.

#### ENSAYO DE CARACTERIZACIÓN DE SERIES MAGMÁTICAS

Al inicio de la clasificación se utilizó primeramente el diagrama de Kuno (1966, 1968), que separa a las series magmáticas alcalina, calcoalcalina y toleítica, pero no se pudo observar una tendencia clara de la serie magmática a la que pertenecen estas rocas (Fig. 25). Mientras que en el diagrama de Irvine y Bragar (1971) (Fig. 26) si se observa una tendencia clara a la serie magmática subalcalina; sin embargo se plantea la duda de que si pertenecen a una serie calcoalcalina ó toleítica. Con el propósito de aclarar esta divergencia de los diagramas anteriores,

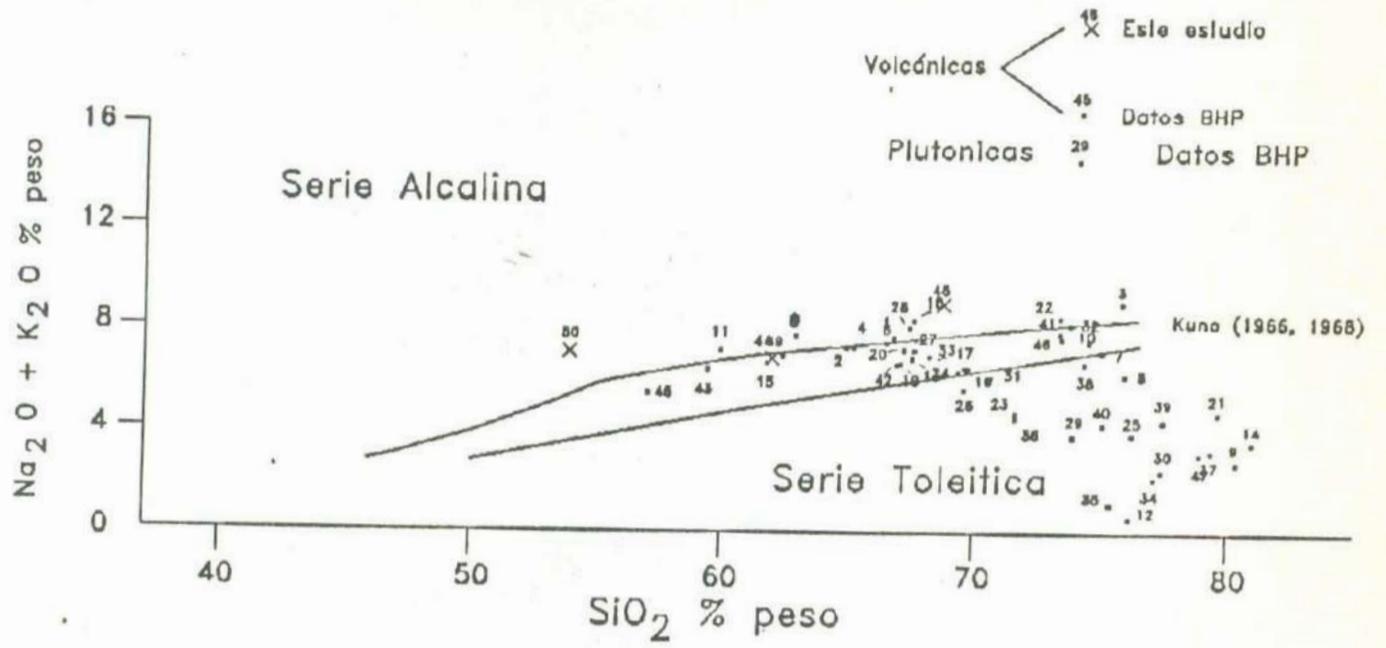


Figura 25. Diagrama de Kuno (1966, 1968) para las rocas plutónicas y volcánicas del Cretácico Tardío.

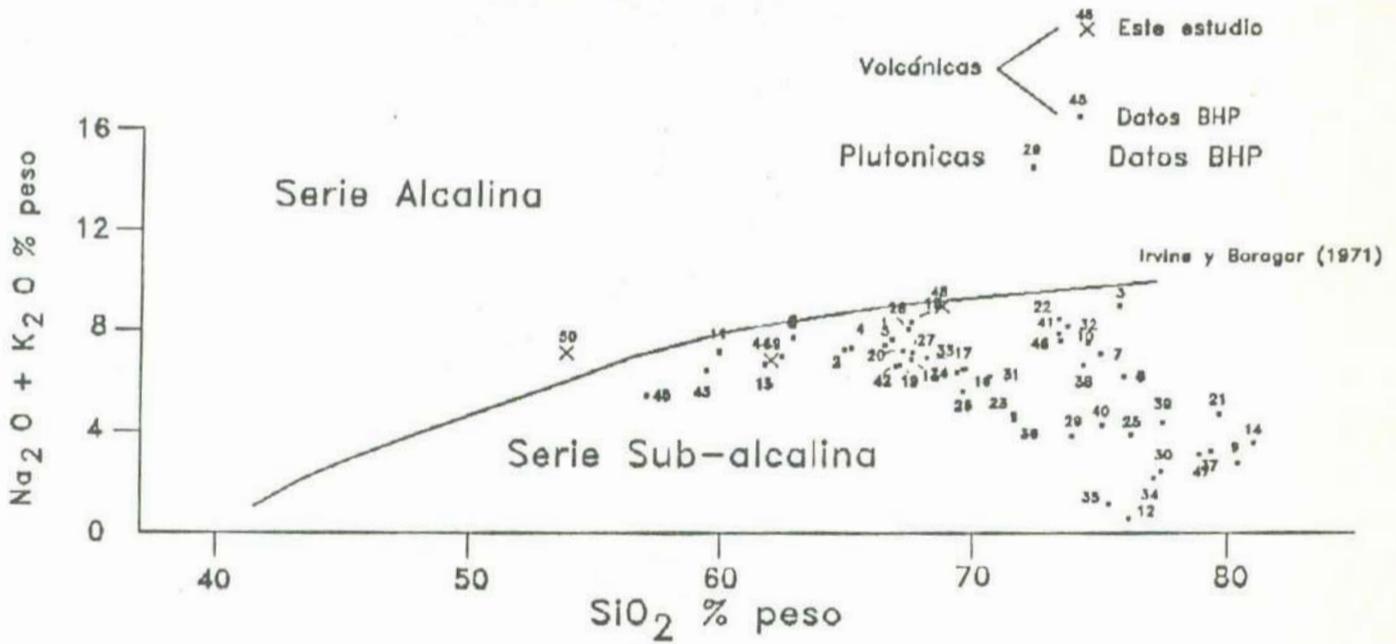


Figura 26. Diagrama de Irvine y Baragar (1971) para las rocas plutónicas y volcánicas del Cretácico Tardío.

se recurrió al diagrama de Miyashiro (1974) (Fig. 27) que muestra una discriminación de las series calcoalcalina y toleítica. Los datos que se encuentran dentro del campo de la línea continua son los más confiables, mientras que los datos que contienen un alto contenido de sílice y que caen dentro de la línea discontinua pueden deberse a una alteración en sílice. A pesar de su alto contenido en sílice, se mantiene el agrupamiento a las dos series magmáticas.

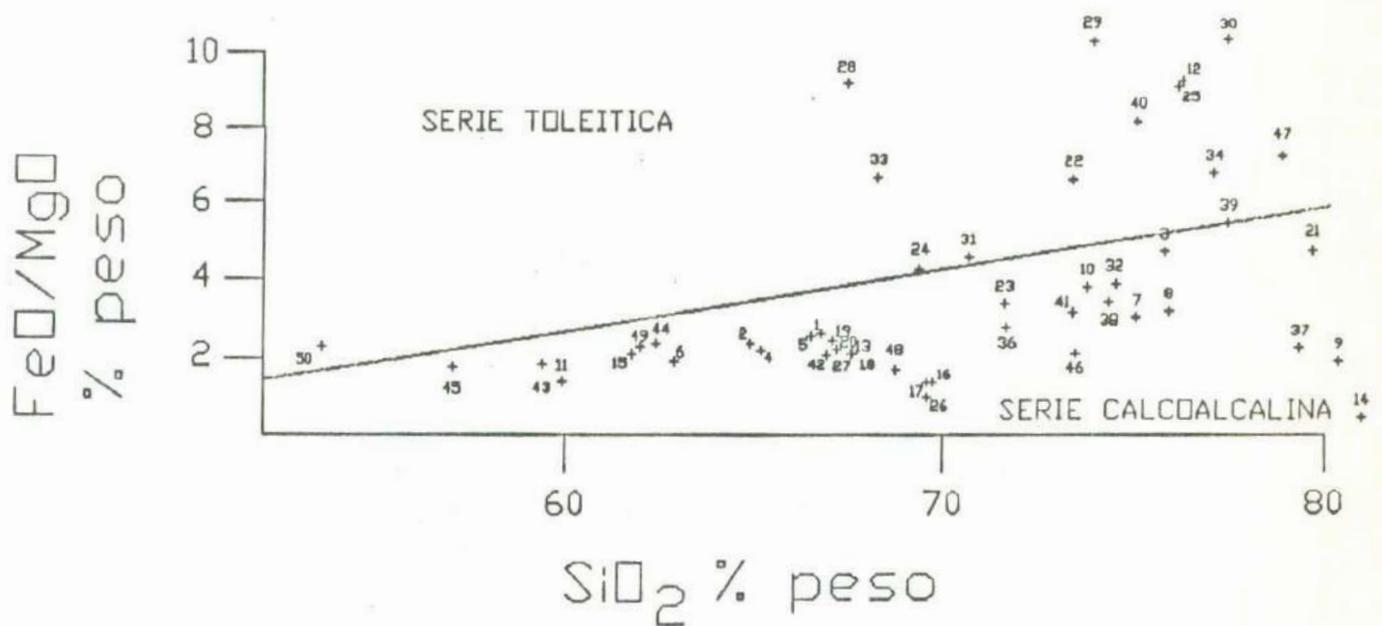


Figura 27. Diagrama de FMS de Miyashiro (1974) para rocas plutónicas y volcánicas, donde FeO está expresado como Fe total.

Con el fin de comprobar de que existen dos tendencias en series magmáticas, se utilizó el triángulo AFM (A= Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O; F= Fe<sub>(total)</sub>; M= MgO) donde se muestra la anterior afirmación (Fig. 28).

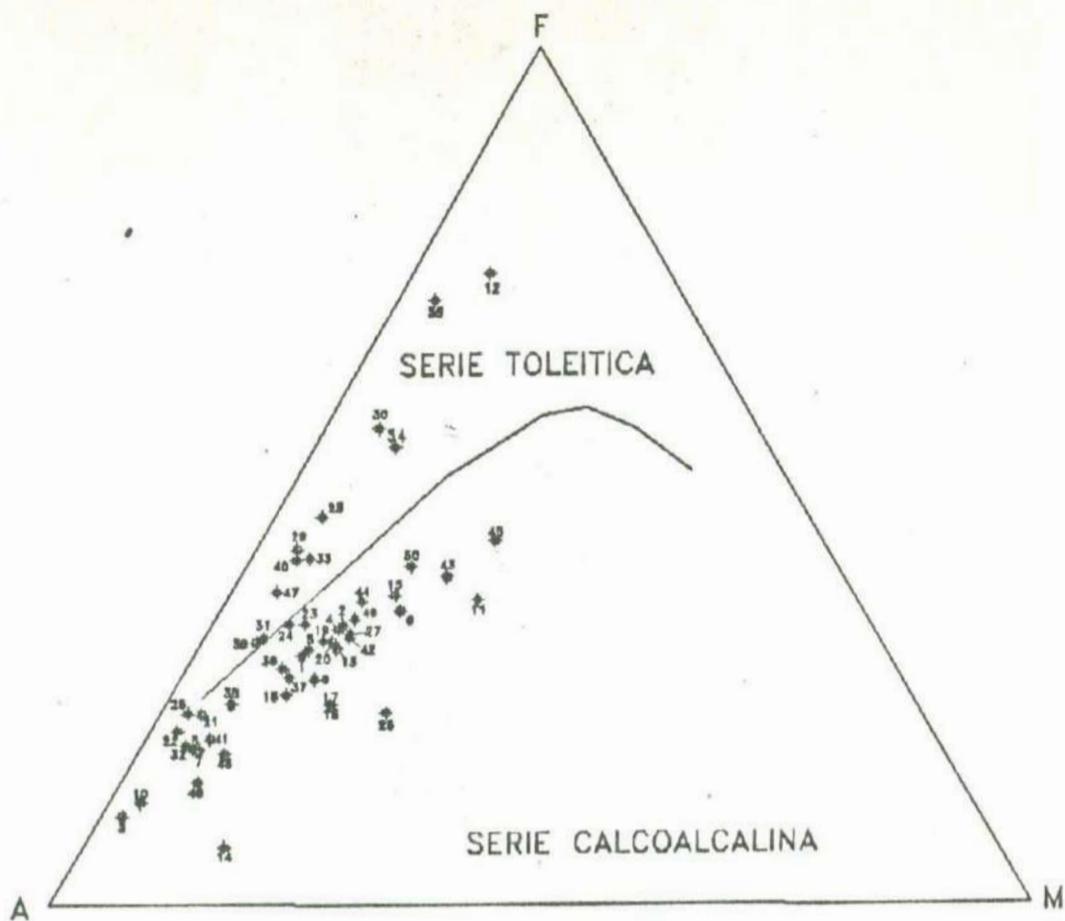


Figura 28. Triángulo AFM que discrimina a la serie toleítica de la serie calcoalcalina, en base a la curva de Kuno.

Las muestras recolectadas por los autores (48, 49 y 50) van en perfecto acuerdo con la serie calcoalcalina. En el caso de la muestra 50 clasificada como una traquiandesita basáltica que presenta un alto contenido en alumina es propio de los basaltos calcoalcalinos ricos en alumina (High Alumina Basalt).

Todos los diagramas fueron graficados en base a anhídrido con el propósito de minimizar efectos de alteración.

#### IMPLICACIONES GEOLÓGICAS

El presente estudio concluye que las rocas son del tipo orogénicas que pertenecen a una serie subalcalina y dentro de éstas podemos agrupar dos tipos de series magmáticas: calcoalcalinas y toleíticas. Estas series magmáticas plantean dos posibilidades en

contextos geodinámicos: un margen continental activo y un arco insular oceánico.

En base al estudio geológico realizado y al análisis geoquímico, se puede concluir que nuestro contexto geodinámico es de un margen continental activo.



EL SABER DE MIS HIJOS  
HARA MI GRANDEZA  
BIBLIOTECA DE CIENCIAS  
EXACTAS Y NATURALES

## VI. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

En el área de estudio los elementos estructurales que se presentan son fallas normales y pliegues. Los pliegues en su totalidad están restringidos a las rocas paleozoicas (?) y las fallas son comunes en todas las unidades existentes en el área de estudio.

### FALLAS

El área de estudio se encuentra enmarcada dentro de la subprovincia fisiográfica de Sierras y Valles Paralelos. Esta morfología es producto de grandes fallas normales, en donde las sierras son los bloques levantados y los valles los bloques caídos.

En el área de estudio las fallas normales presentan dos rumbos preferenciales: noroeste y noreste con buzamientos mayores a los  $45^\circ$  (Fig. 29). Rodríguez y Anderson (1991) indican que la primera dirección es la más joven y que caracteriza a la morfología actual de Sierras y Valles, afectando a todas las unidades más antiguas a la Formación Báucarit (Fig. 30); las fallas con rumbo noreste podría representar un fallamiento más antiguo, ya que se observan únicamente en las rocas paleozoicas (?) (Fig. 31). Dentro del área de estudio es observable una gran estructura con rumbo norte-sur, la cual se extiende desde la parte sur del área hasta el límite norte de la hoja Banamichi; esta estructura no se encuentra afectando a la Formación Báucarit, lo cual representa un fallamiento más joven que sufrió una probable reactivación.

### PLIEGUES

Los pliegues se presentan únicamente en las rocas paleozoicas (?), sin ninguna asociación con las fallas. La geometría de los pliegues es de asimétrico a isométrico. Los planos axiales no muestran un rumbo ni echado preferencial y los ejes axiales tampoco muestran una inclinación preferencial. No se puede llegar a una conclusión definitiva con los pocos datos que se tienen, ya que se muestran diferentes direcciones de compresión (Fig. 31y 32).

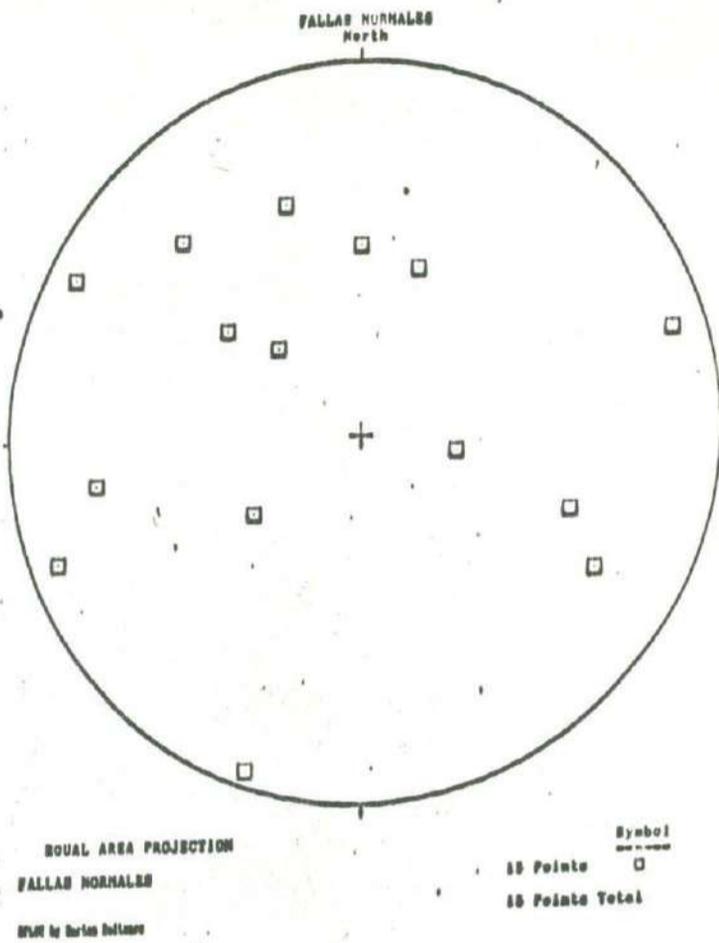
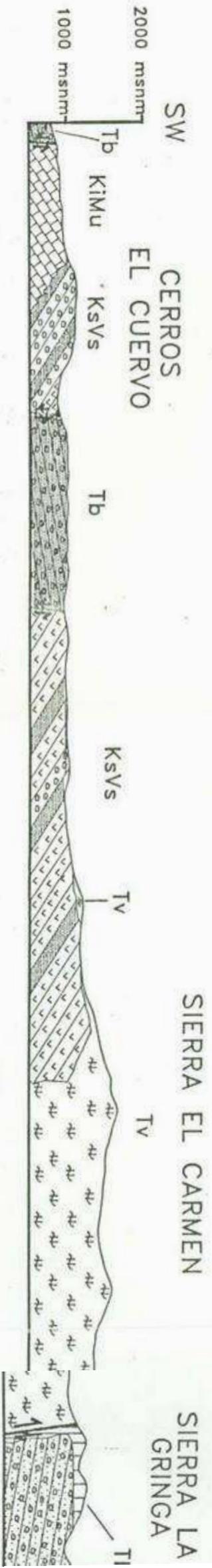
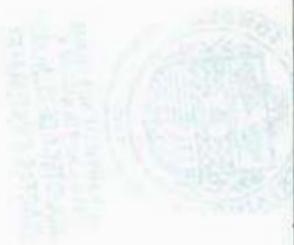
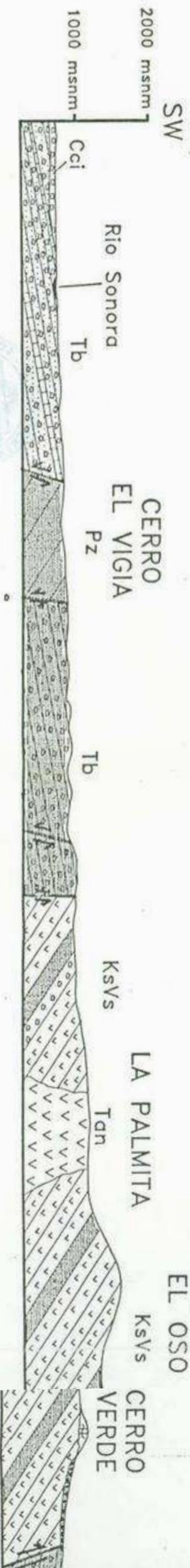


Figura 29. Proyección estereográfica de las fallas normales.

A



B



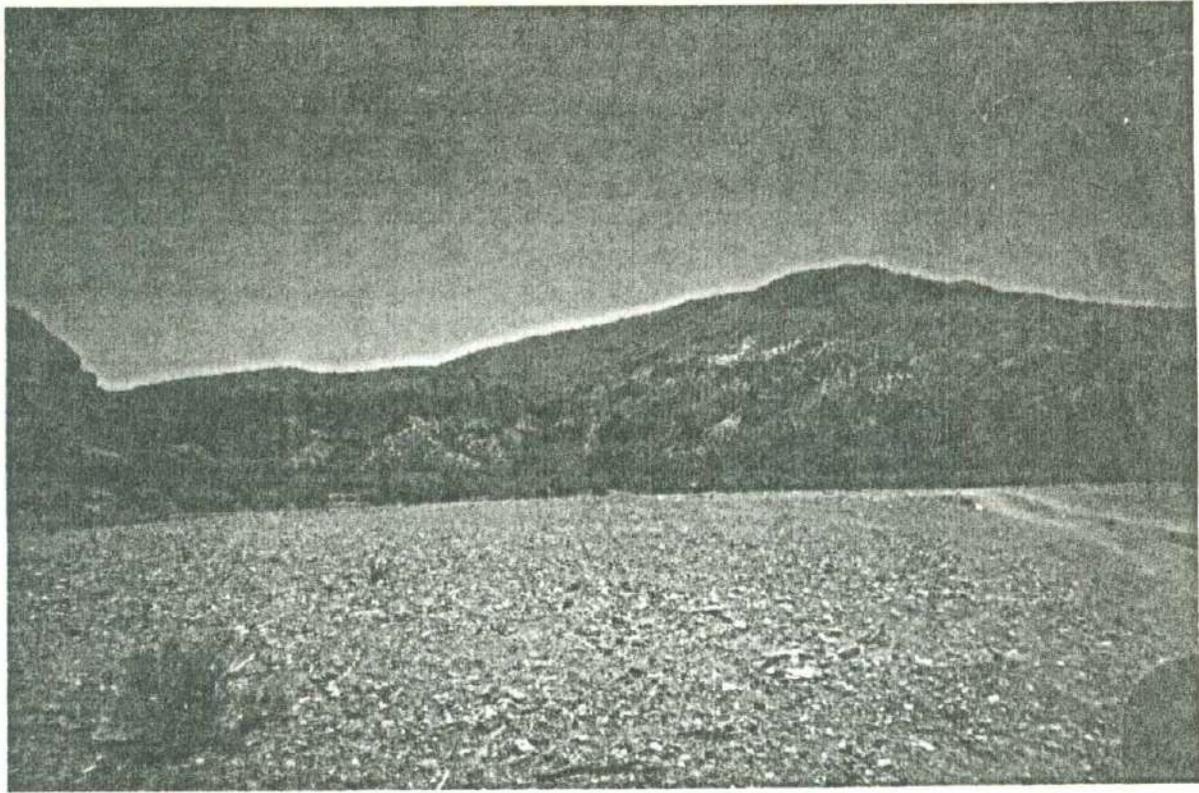


Figura 30. Fallas normales pre Formación Báucarit.

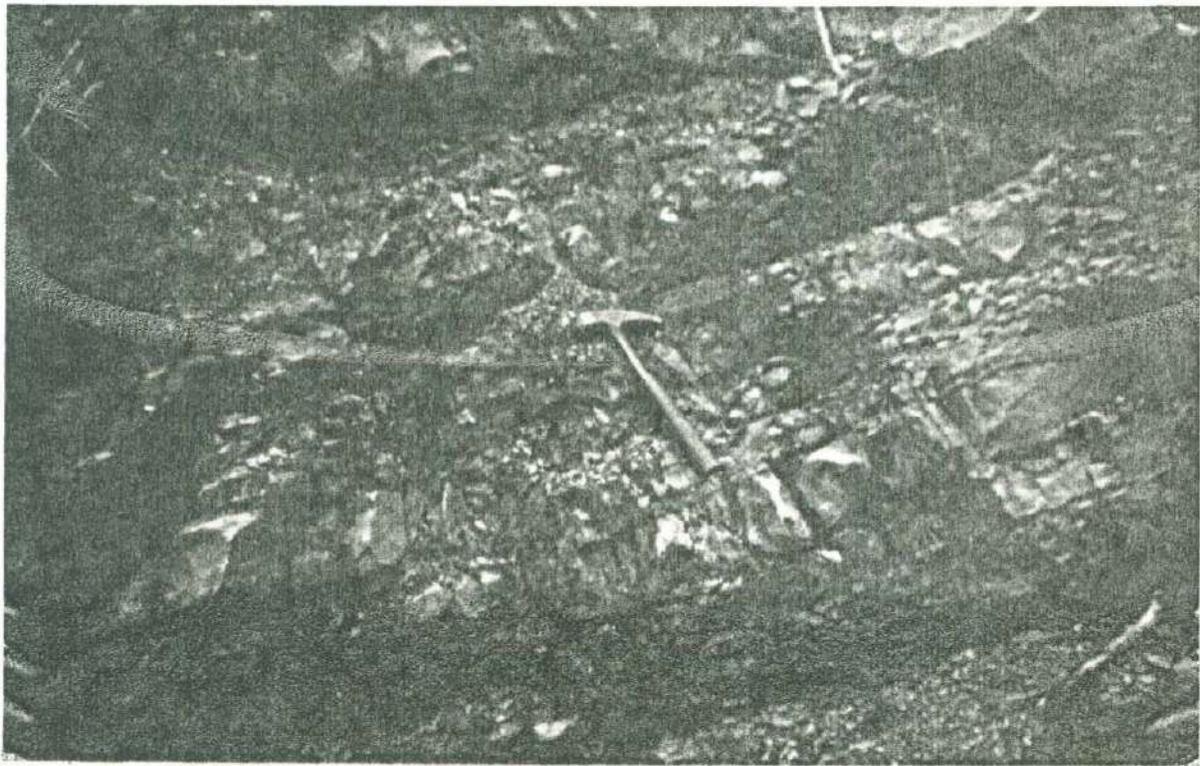


Figura 31. Fallamiento normal de rocas paleozoicas (?).

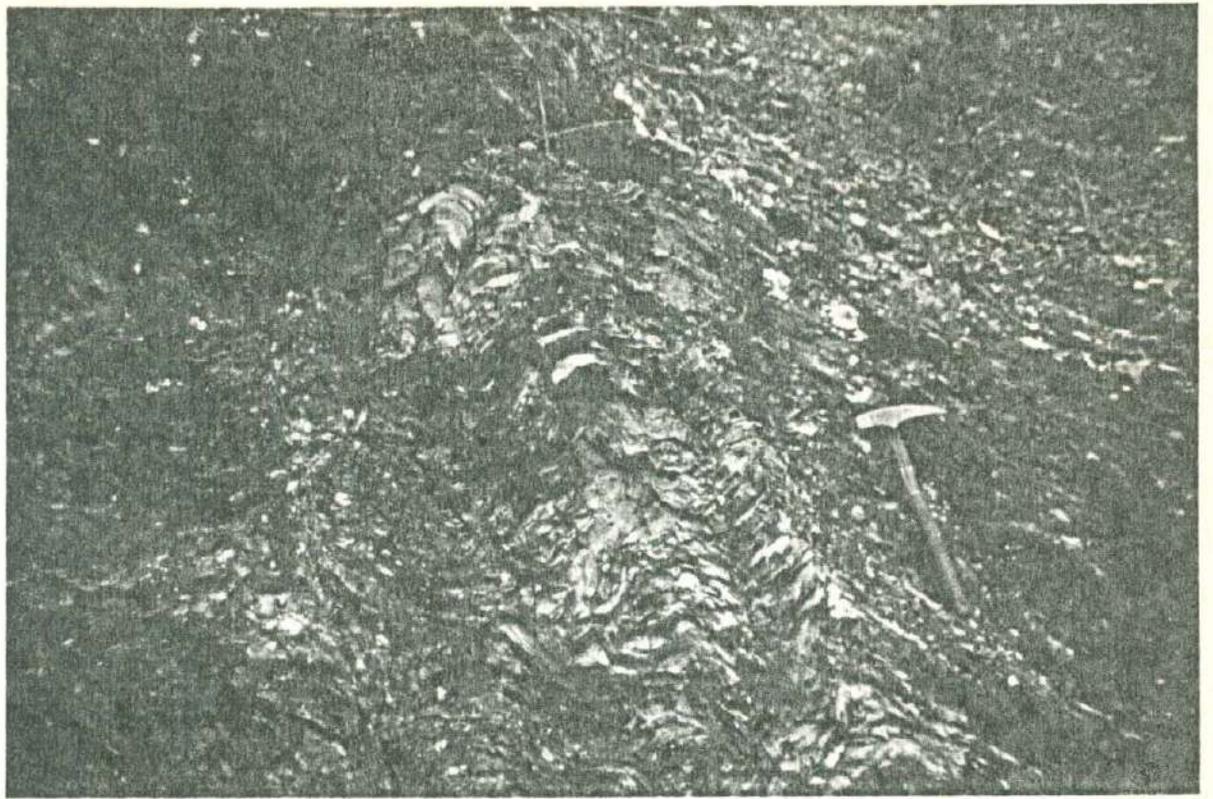


Figura 32. Plegamiento de las rocas paleozoicas (?) en el área de estudio.

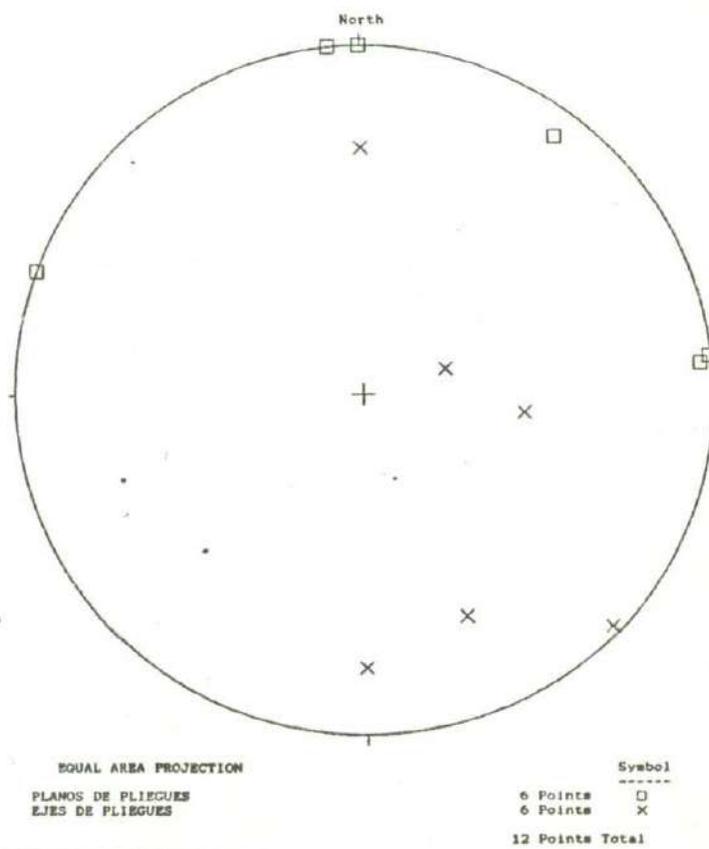


Figura 33. Proyección estereográfica de los ejes y planos de los pliegues.

## ESTRATIFICACIÓN

Las rocas paleozoicas (?) muestran rumbos principalmente hacia el noroeste y en ocasiones hacia el noreste con echado hacia el noreste y sureste (Fig. 34). Las rocas del Cretácico Temprano presentan un rumbo principal de este-oeste y un echado hacia el sur. En las rocas del Cretácico Tardío los rumbos de las capas es hacia el noroeste y un echado hacia el noreste principalmente (Fig. 35). Las rocas terciarias tienen un rumbo preferencial hacia el noreste y echados hacia el noreste y suroeste.

## SENSORÍA REMOTA

En un cuadrante de imagen de satélite Landsat TM (TM35-39, cuadrante 4), que cubre parte del área de estudio, se observan claramente las mismas orientaciones noroeste y noreste que presentan las fallas en el área de estudio. Para esta imagen de falso color se utilizaron las bandas 1, 3, 4, 5 y 7. Con estas bandas se obtuvieron los cocientes B3/B1 para azul (Fe férrico), B5/B4 para verde (Fe ferroso) y B5/B7 para rojo (vegetación), para poder diferenciar las diferentes litologías. De esta manera podemos observar que las rocas paleozoicas (?) presentan un color verde-azul, implicado probablemente por la alteración de hierro que contienen; las rocas cretácicas muestran un color verde más claro; las rocas volcánicas terciarias se encuentran enmascaradas por la vegetación (color rojo); la Formación Báucarit presenta color que varía de verde claro a verde oscuro; los basaltos recientes son de color café claro a café oscuro. La Formación Báucarit y depósitos recientes son fáciles de diferenciar principalmente por su morfología que muestran (Fig. 36).

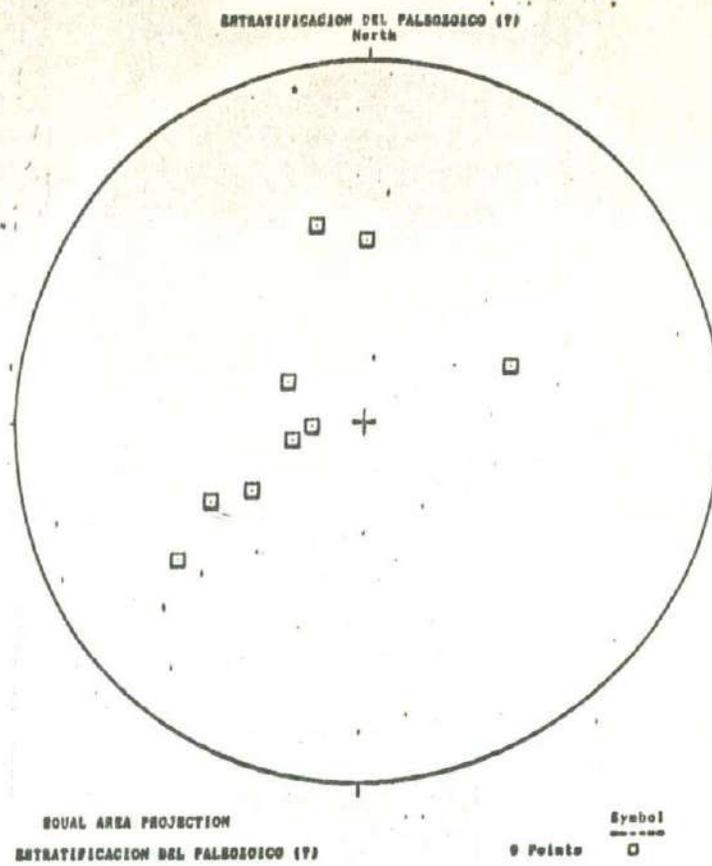


Figura 34. Proyección estereográfica de la estratificación de las rocas paleozoicas (?).

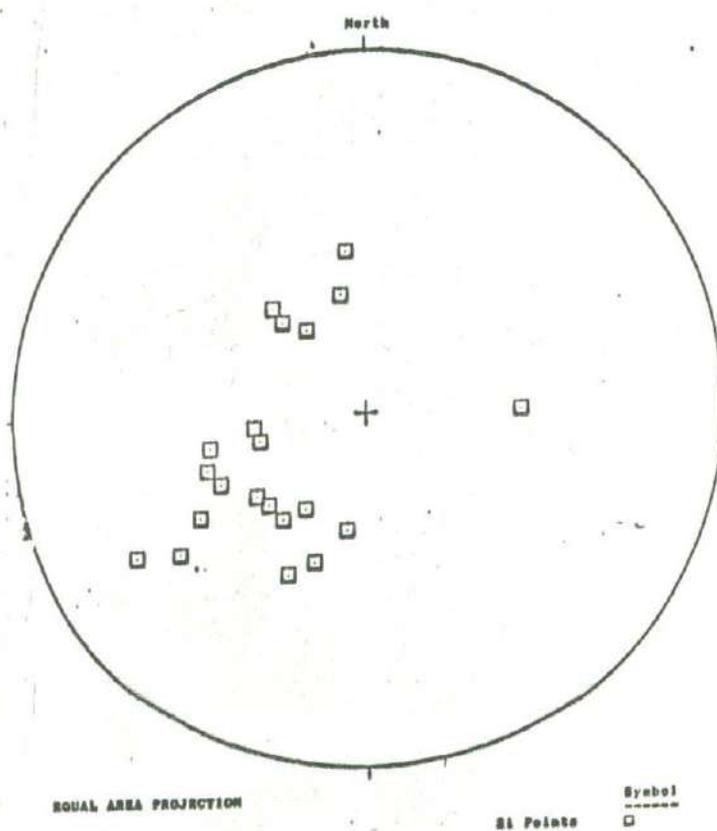


Figura 35. Proyección estereográfica de la estratificación de las rocas del Cretácico Tardío.

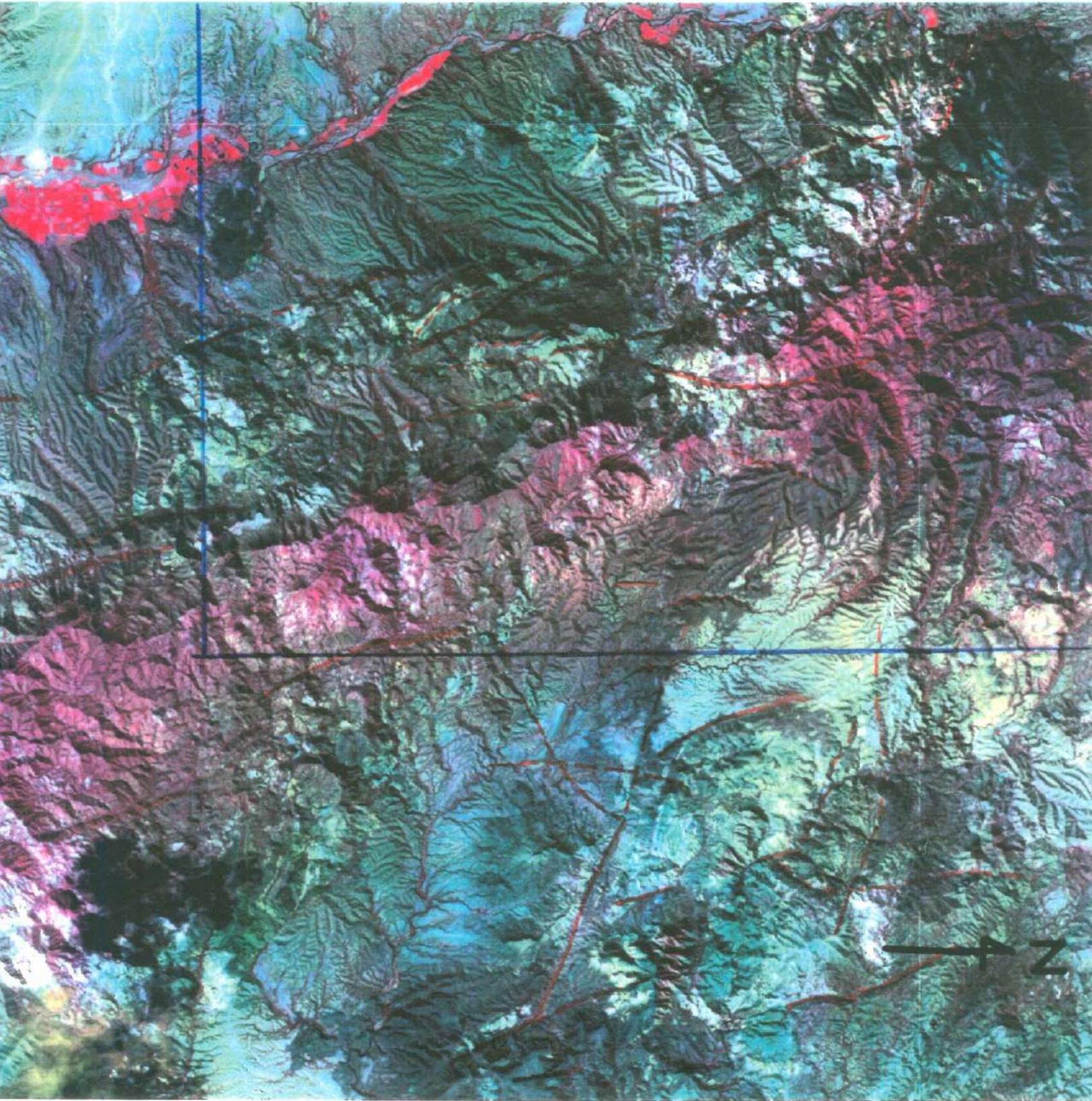


Figura 36. Imagen de satélite Landsat TM (TM 35-39, cuadrante 4), mostrando rasgos estructurales y litología.

## EVENTOS DE DEFORMACIÓN

Se piensa que al menos existen tres eventos de deformación basado en las relaciones estratigráficas y características estructurales. La primera de probable edad jurásica, la segunda del Cretácico Tardío-Terciario Temprano y la última de edad Terciario Tardío.

## DEFORMACIÓN PRE-CRETÁCICO

Esta deformación esta caracterizada por el plegamiento presente en las rocas paleozoicas (?). Este plegamiento no presenta una convergencia preferencial, ni los ejes axiales muestran una inclinación preferente. Sin embargo, en la región de Téguaichi, Rodriguez (1994) describe plegamiento con una convergencia al noreste y con planos axiales al noroeste en rocas paleozoicas, que se manifiesta como un bloque alóctono con transporte hacia el norte-noreste, producto probablemente por la deformación transpresiva de la Megasizalla Mojave-Sonora (Anderson y Silver, 1979). En base a que las rocas del Cretácico Temprano no muestran deformación alguna sólo un basculamiento hacia el suroeste y que en la región de Téguaichi las rocas precámbricas, paleozoicas y jurásicas presentan un fallamiento inverso y escaso plegamiento (Rodriguez, 1994), la edad para esta deformación se considera probable del Jurásico Tardío.

## DEFORMACIÓN DEL CRETÁCICO TARDÍO-TERCIARIO TEMPRANO

Esta deformación está representada por la formación El Tuli, la cual registra un tectonismo y sedimentación sinorogénica. El control estratigráfico de campo que se tiene justifica la asignación de esta edad.

La formación El Tuli sobreyace discordantemente a la Formación Caliza Mural del Cretácico Temprano. Los conglomerados a la base sugieren el inicio de un relieve tectónico, producto del emplazamiento de cuerpos intrusivos en una margen continental, seguida por la

erosión de las áreas positivas y posteriormente un incremento de la intensidad del magmatismo en el Cretácico Tardío.

La presencia de rocas intrusivas calciálicas en el área de estudio y al sur de la misma (Roldán, 1991), son indicadoras de esta deformación del Cretácico Tardío-Terciario Temprano.

Este conjunto de rocas que forman la formación El Tuli, son consistentes con la evolución de la Placa Farallón bajo la Placa Norteamericana, la cual causó esta deformación. Las rocas volcánicas e intrusivas representan un arco magmático continental, que al menos en esta área de estudio no muestran evidencias de un tectonismo compresional.

#### DEFORMACIÓN DEL TERCIARIO TARDÍO

Esta deformación está representada por un evento extensional, el cual produjo fallamiento normal, que en algunos casos es oblicuo.

En el área de estudio se tiene un rumbo preferencial del fallamiento al noroeste con echados al suroeste y noreste. Existe otro fallamiento normal con un rumbo norte-sur del cual se piensa que este tipo de fallamiento es el que dió origen a las cuencas donde se depositaron los sedimentos clásticos del Terciario y Cuaternario (Rodríguez y Anderson, 1991).

## VII. GEOLOGÍA HISTÓRICA

### INTRODUCCIÓN

Las rocas del Paleozoico (?) y del Cretácico Temprano se encuentran pobremente expuestas en el área de estudio. Las rocas paleozoicas (?) presentan una pequeña deformación por plegamiento y fallamiento, que podría representar una deformación pre-Cretácico; las rocas del Cretácico Temprano son de gran importancia en la interpretación del Cretácico Tardío.

La deformación del Cretácico Tardío-Terciario en el área de estudio no muestra una fuerte manifestación en cuanto a la formación de estructuras, pero por el contrario la actividad magmática y la depositación sinorogénica son características para este evento.

El último periodo, la extensión tectónica terciaria esta caracterizada por fallamiento normal principalmente NW-SE, típica en esta región del país y que es atribuible a la morfología actual de Sierra y Valles.

### ROCAS PALEOZOICAS (?)

Existe en el área de estudio un pequeño afloramiento de rocas paleozoicas (?), litológicamente compuesta por ortocuarcita con espesores de lutita. Estas rocas probablemente tuvieron una evolución tectónica en el Jurásico Tardío, con movimiento tectónico hacia el nortee-noreste, producto probablemente de una transpresión asociada a la Megacizalla Mojave-Sonora. Estas rocas se encuentran afectadas por la deformación Terciaria extensiva y es cubierta por sedimentos terciarios y cuaternarios, complicando la interpretación tectónica para la misma.

### ROCAS CRETÁDICAS

Las rocas del Cretácico Temprano son producto de una cuenca que fué llenada por una sucesión de clastos y carbonatos y que precedió a un arco magmático jurásico (Rangin,

1982; Rodriguez, 1994).

Aunque el afloramiento es pequeño, no se le aprecia deformación alguna que pudiera indicar alguna deformación en el Cretácico medio. Estas rocas del Cretácico Temprano se encuentran cubiertas en discordancia angular por las rocas del Cretácico Tardío; esta discordancia sugiere la formación de un relieve, ya sea originado por un levantamiento o subsidencia, seguido por erosión de las áreas fuente y por un incremento en el magmatismo como se indica en la estratigrafía.

Los que algunos investigadores llaman Orogenia Laramide, no se presenta aquí, lo cual es distintivamente diferente. Este cambio en el estilo estructural esta en función de la región donde ocurre esto, es decir, lo que se presenta en el Sistema Cordillerano y que se localiza en el oeste de Estados Unidos.

La presencia de depósitos sintectónicos y los volcánicos claramente sugieren la formación de un relieve ya sea debido a un levantamiento o subsidencia, seguido por erosión de las áreas fuente y por un magmatismo que se fué incrementando como se aprecia en la secuencia estratigráfica.

Así también, en este tiempo se tiene el emplazamiento de grandes cuerpos intrusivos calcalinos, que junto con el magmatismo son producto de la subducción de la placa Farallón bajo la Placa Norteamericana.

## ROCAS CENOZOICAS

Posteriormente a la deformación del Cretácico Tardío, se tiene un periodo tectónico extensivo, asociado a grandes fallas normales, formando amplias cuencas o valles intermontados, en los cuales por efecto de erosión se depositaron cantidades considerables de material continental formando a la Formación Báucarit, en la cual se encuentran intercalados derrames basálticos.

Este fallamiento profundo dió lugar a la extrusión de grandes volúmenes de andesita basáltica y basaltos toleíticos que cubren discordantemente a la Formación Báucarit.

## CONCLUSIONES

La estratigrafía de la región de Banamichi, muestra evidencias importantes para la reconstrucción y caracterización de los eventos que han afectado en el área de estudio. La ortocuarcita paleozoica parece ser similar a la descrita por Rodríguez (1994) en la región de Téguchi y ésta a su vez similar a las estudiadas por Anderson y Silver (1981) en el noroeste de Sonora.

La discordancia angular del Cretácico Tardío sobre el Cretácico Temprano, indica el inicio de un tectonismo caracterizado por el depósito sinorogénico y magmatismo calcoalcalino. Además se tiene el emplazamiento de intrusivos productos de la subducción de la Placa Farallón bajo la Placa Norteamericana.

Geoquímicamente, las rocas del Cretácico Tardío son del tipo orogénicas, pertenecientes a la serie magmática subalcalinas (calcoalcalina ó toleítica). En base a las relaciones geológicas de campo, estas rocas presentan un contexto geodinámico de un margen continental activo.

Estructuralmente, el área presenta tres eventos de deformación reconocidos, el más antiguo de ellos inferido. La deformación del Jurásico Tardío, que probablemente provoca el desplazamiento de las rocas paleozoicas con dirección norte-noreste. La deformación del Cretácico Tardío-Terciario, caracterizado por la depositación sinorogénica y magmatismo calcoalcalino, producto de la formación de un relieve debido a un levantamiento o subsidencia, seguido de la erosión de la áreas fuente y de un magmatismo que se fue incrementando. La deformación extensiva del Terciario asociada a grandes fallas normales con rumbos noreste-suroeste, norte-sur y noroeste-sureste, responsable de la morfología actual del área.

**APENDICE A**  
**( DESCRIPCIONES PETROGRÁFICAS)**

**LOCALIDAD:** BANÁMICHÍ

**UNIDAD:** ROCAS PALEOZOICAS

**MUESTRA:** NH X

**LOCALIZACIÓN:**

Sobre arroyo El Salmón, en las inmediaciones del Cerro El Vigía.

**DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA:**

Rocas de color café rojizo, de grano fino, bien clasificada, presenta estructuras cúbicas (halita?) que pudieran representar grado de evaporación importante.

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:**

La muestra presenta una textura microcristalina, bien clasificada; contiene cuarzo (80%), feldespato potásico (10%), muscovita (5%) y sericita (5%) como mineral de alteración; la muestra contiene una fuerte alteración a óxido de hierro.

**CLASIFICACIÓN:** Lutita de cuarzo.

**LOCALIDAD:** BANÁMICHÍ

**UNIDAD:** ROCAS PALEOZOICAS

**MUESTRA:** NH 50

**LOCALIZACIÓN:**

Sobre camino Vallecitos-La Ciénega; aproximadamente a 3.5 km al NE del Rancho Los Vallecitos.

**DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA:**

Roca de color café a café rosado, constituida de cuarzo de grano fino a medio, bien clasificada; presenta horizonte de lutita de color café oscuro, con menos consolidación que la arenisca. Muy competente y aparentemente silicificada.

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:**

Muestra de grano fino, moderadamente clasificada; con granos subangulosos a subredondeados; muestra compuesta de cuarzo monocristalino y algunos policristalinos (95%), feldespato potásico (3%) llegándose a diferenciar microclina; pedernal subredondeado (2%).

**CLASIFICACIÓN:** Arenita de cuarzo.

**LOCALIDAD:** BANÁMACHI

**UNIDAD:** FORMACIÓN EL TULI  
(CRETÁCICO TARDÍO)

**MUESTRA:** GB-93-4

**LOCALIZACIÓN:**

Aproximadamente a 1.5 km al NW 40° del Rancho Los Nogales.

**DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA:**

Roca de color gris oscuro de grano fino con cristales de cuarzo, feldespato potásico y fragmentos líticos.

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:**

Muestra moderadamente clasificada con matriz (10%) con sericitación completa; compuesta principalmente de feldespato potásico (75%), plagioclasa (10%) y cuarzo; también contiene fragmentos volcánicos (andesitas) con textura porfídica con fenocristales de cuarzo, fragmentos alterados; y contiene una incipiente alteración a oxidación por fierro. Cristales con formas de subangulosos a subredondeados.

**CLASIFICACIÓN:** Arenita feldespática.

**LOCALIDAD:** BANÁMACHI

**UNIDAD:** FORMACIÓN EL TULI  
(CRETÁCICO TARDÍO)

**MUESTRA:** GB-93-5

**LOCALIZACIÓN:**

Aproximadamente a 3 km al NW 10° del Rancho Los Nogales.

**DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA:**

Roca de color café a café oscuro, de grano medio con fragmentos líticos, feldespato potásico, cuarzo; en general las formas de los granos son de subangulosos a subredondeados, se observa una clasificación moderada.

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:**

Muestra moderadamente clasificada que contiene cuarzo (10%) subanguloso a subredondeado, feldespato potásico (80%) donde la mayoría presenta alteración a sericita y los fragmentos líticos (10%) son de origen volcánico con textura porfídica con fenocristales de plagioclasa y otros con textura afanítica.

**CLASIFICACIÓN:** Arenita feldespática.

**LOCALIDAD:** BANÁMICHÍ

**UNIDAD:** FORMACIÓN EL TULI  
(CRETÁCICO TARDÍO)

**MUESTRA:** GB-93-6

**LOCALIZACIÓN:**

Aproximadamente a 3.5 km al NW 10° del Rancho Los Nogales.

**DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA:**

Roca de color gris claro de grano fino a medio, con fragmentos líticos, plagioclasa, feldespato potásico alterados a clorita, cuarzo y algunos ferromagnesianos alterados a óxidos de hierro.

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:**

Muestra que presenta matriz afanítica (80%), con feldespato potásico (10%) en forma subhedral algunos alterados a sericita; cuarzo (10%) subhedral y ferromagnesianos alterados a óxidos de hierro. Muestra con textura porfídica.

**CLASIFICACIÓN:** Toba cristalina

**LOCALIDAD:** BANÁMICHÍ

**UNIDAD:** FORMACIÓN EL TULI  
(CRETÁCICO TARDÍO)

**MUESTRA:** HM-T-6

**LOCALIZACIÓN:**

Aproximadamente a 1 km al norte del Rancho Los Bancos.

**DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA:**

Roca de color café rosado con cristales de cuarzo, fragmentos líticos, plagioclasa y feldespato potásico; roca con textura porfídica.

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:**

Muestra con matriz afanítica (50%) con fenocristales de feldespato potásico (20%) de subhedral anhedral con alteración a sericita; plagioclasa (20%) en forma subhedral a anhedral y; cuarzo subhedral a anhedral, algunos cuarzos policristalinos relleno de vetillas; se tienen minerales opacos (1%). Muestra con textura porfídica.

**CLASIFICACIÓN:** Riodacita porfídica.

**LOCALIDAD:** BANÁMICHÍ

**UNIDAD:** FORMACIÓN EL TULI  
(CRETÁCICO TARDÍO)

**MUESTRA:** HM-T-9



EL SABER DE MIS HIJOS  
HARA MI GRANDEZA  
BIBLIOTECA DE CIENCIAS  
EXACTAS Y NATURALES

**LOCALIZACIÓN:**

Aproximadamente a 750 m al SW 60° del Rancho Los Bancos.

**DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA:**

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:**

Muestra que presenta una fuerte alteración a oxidación de hierro; con feldespato potásico (90%) alterados a sericita, cuarzo (5%) en forma anguloso a subanguloso; el resto está constituido por fragmentos líticos y menerales opácos. Muestra sostenida por los granos.

**CLASIFICACIÓN:** Arenita arcósica muy alterada.

**LOCALIDAD:** BANÁMICHÍ

**UNIDAD:** FORMACIÓN EL TULI  
(CRETÁCICO TARDÍO)

**MUESTRA:** HM-T-11

**LOCALIZACIÓN:**

Aproximadamente a 2.5 km al SW 70° del Rancho Los Bancos.

**DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA:**

Muestra de color café rosado con cristales de feldespato potásico, fragmentos líticos y cuarzo. Se observa cierta laminación y aplastamiento de los minerales.

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:**

Matriz afanítica (90%) con pequeños cristales de cuarzo (5%) de forma anhedral a subhedral; el 5% restante lo constituyen cristales de plagioclasa, feldespato potásico y fragmentos líticos de formas que varían de anhedral a subhedral. En la matriz es observable fluidez.

**CLASIFICACIÓN:** Toba riolítica.

**LOCALIDAD:** BANÁMICHÍ

**UNIDAD:** FORMACIÓN EL TULI  
(CRETÁCICO TARDÍO)

**MUESTRA:** HM-T-13

**LOCALIZACIÓN:**

Aproximadamente a 2.5 km al SW 80° del Rancho Los Bancos.

**DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA:**

Muestra de color café oscuro que presenta fuerte alteración y fracturación; se observan cristales de plagioclasa, fragmentos líticos y minerales alterados a clorita.

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:**

Matriz afanítica (40%) que contiene microcristales de plagioclasa (40%), feldespato potásico (10%) con alteración a sericita, fragmentos líticos de origen volcánico y minerales oscuros que constituyen el resto del contenido. Se presenta una fuerte alteración a fierro. Los cristales presentan formas de subhedral a euhedral.

**CLASIFICACIÓN:** Aglomerado andesítico.

**LOCALIDAD:** BANAMICHÍ

**UNIDAD:** FORMACIÓN EL TULI  
(CRETÁCICO TARDÍO)

**MUESTRA:** NH-21

**LOCALIZACIÓN:**

Aproximadamente a 1 km al NE 30° del Rancho Los Nogales.

**DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA:**

Roca de color rosado, con matriz afanítica con fenocristales de plagioclasa y fragmentos líticos.

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:**

Muestra con matriz (80%) con textura fluidal con cristales de feldespato potásico en forma anhedral a subhedral, fragmentos líticos en forma angulosos y plagioclasa en forma subhedral a anhedral y cuarzo en menor tamaño en forma anhedral.

**CLASIFICACIÓN:** Toba lítica ó cristalina.

**LOCALIDAD:** BANAMICHI

**UNIDAD:** FORMACIÓN EL TULI  
(CRETÁCICO TARDÍO)

**MUESTRA:** NH-25

**LOCALIZACIÓN:**

Aproximadamente a 2 km al NE 40° del Rancho Los Nogales.

**DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA:**

Roca de color morado con matriz afanítica con fragmentos centimétricos de roca volcánica; la roca en general presenta una alteración argílica.

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:**

Muestra con matriz afanítica (25%) alterada a sericita, con fenocristales, microcristales de cuarzo y cuarzo volcánico con inclusiones, que representan el 25% de la muestra, en forma subhedral a euhedral; se presenta feldespato potásico (50%) con alteración a sericita en forma subhedral a anhedral; con pocos minerales opacos.

**CLASIFICACIÓN:** Aglomerado andesítico.

**LOCALIDAD:** BANÁMICHÍ

**UNIDAD:** FORMACIÓN EL TULI  
(CRETÁCICO TARDÍO)

**MUESTRA:** NH-26

**LOCALIZACIÓN:**

Aproximadamente a 1.5 km al SE 60° del Rancho El Saucito.

**DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA:**

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:**

Matriz afanítica (50%) con fenocristales de feldespato potásico (25%) con alteración a sericita y de tamaño mayor al resto de los cristales; plagioclasas (25%) que presentan forma subhedral; se observan ferromagnesianos alterados a óxidos de hierro (micas). Textura porfídica.

**CLASIFICACIÓN:** Traquiandesita porfídica.

**LOCALIDAD:** BANÁMICHÍ

**UNIDAD:** FORMACIÓN EL TULI  
(CRETÁCICO TARDÍO)

**MUESTRA:** HM-T-27, 28 y 28 A

**LOCALIZACIÓN:**

Aproximadamente a 2.5 km al SW 80° del Rancho Los Bancos.

**DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA:**

Roca de color gris oscuro con grano de tamaño fino; presenta fragmentos líticos, minerales cloritizados, feldespato potásico y cuarzo.

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:**

La roca está compuesta por fragmentos líticos de origen volcánico de composición andesítica, minerales oscuros, minerales que se encuentran alterados a sericita y clorita. La matriz (10%) se encuentra alterada a sericita. La muestra está sostenida por los granos.

**CLASIFICACIÓN:** Arenita volcánica.

**LOCALIDAD:** BANÁMICHÍ

**UNIDAD:** FORMACIÓN EL TULI  
(CRETÁCICO TARDÍO)

**MUESTRA:** NH-29

**LOCALIZACIÓN:**

Aproximadamente a 1 km al SW 30° del Rancho Los Bancos.

**DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA:**

Roca de color café rosado, con matriz afanítica silicificada, con fragmentos líticos, minerales cloritizados, plagioclasa, cuarzo, feldespato potásico y óxidos de hierro.

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:**

Matriz afanítica (80%) con fenocristales de cuarzo (5%), plagioclasa (5%), feldespato potásico (5%) y minerales opacos (5%); los cristales se presentan en forma subhedral a anhedral. Textura porfídica.

**CLASIFICACIÓN:** Toba de cristales.

**LOCALIDAD:** BANÁMICHÍ

**UNIDAD:** FORMACIÓN EL TULI  
(CRETÁCICO TARDÍO)

**MUESTRA:** NH-51

**LOCALIZACIÓN:**

Aproximadamente a 1 km al SE 45° del Cerro el Vigía.

**DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA:**

Muestra de color café rojizo, bien clasificada, con tamaños de grano fino, se observa cuarzo y pocos fragmentos de roca.

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:**

Muestra que presenta cuarzo 50%, feldespato potásico (40%), se observan fragmentos de roca (5%) y óxidos de fierro (5%), presentan los granos formas de subredondeados a subangulosos. Muestra sostenida por los granos.

**CLASIFICACIÓN:** Arcosa a subarcosa.

**LOCALIDAD:** BANÁMICHÍ

**UNIDAD:** FORMACIÓN EL TULI  
(CRETÁCICO TARDÍO)

**MUESTRA:** NH-55

**LOCALIZACIÓN:**

Aproximadamente a 1 km al SE 45° del Cerro el Vigía.

**DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA:**

Muestra de color café rojizo, bien clasificada, con tamaños de grano fino, se observa cuarzo y pocos fragmentos de roca.

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:**

Muestra con cuarzo (80%), feldespato potásico y fragmentos líticos (15%) y matriz (5%). Los tamaños de los clastos se presentan mayores a los que se presentan en la muestra NH-51 y presentan formas más angulosas que las mismas; se presentan óxidos de fierro en la matriz. Muestra sostenida por los granos.

**CLASIFICACIÓN:** Arenita de cuarzo.

**LOCALIDAD:** BANÁMICHÍ

**UNIDAD:** FORMACIÓN EL TULI  
(CRETÁCICO TARDÍO)

**MUESTRA:** NH-82



**LOCALIZACIÓN:**

Aproximadamente a 500 m al NE 40° del rancho El Picacho.

**DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA:**

Roca de color gris claro con matriz afanítica, se le observa feldespato potásico alterado a arcilla y ferromagnesianos con alteración a fierro.

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:**

Matriz microcristalina compuesta por feldespato potásico fuertemente alterado a sericita (80%) y cuarzo (10%) de forma anhedral a subhedral, también cristales de óxidos de fierro.

**CLASIFICACIÓN:** Toba traquitica.

**LOCALIDAD:** BANÁMICHÍ

**UNIDAD:** FORMACIÓN EL TULI  
(CRETÁCICO TARDÍO)

**MUESTRA:** NH-83

**LOCALIZACIÓN:**

Aproximadamente a 2 km al NW 50° del Rancho El Álamo.

**DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA:**

Muestra de color gris-verdoso oscuro con matriz afanítica, con minerales alterados a clorita, plagioclasa, roca que se encuentra afectada por vetillas de cuarzo.

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:**

Muestra que presenta matriz (30%) alterada a sericita; plagioclasa (30%), feldespato potásico (30%) algunos alterados a sericita y minerales opacos (10%); los cristales presentan formas subhedrales.

**CLASIFICACIÓN:** Traquiandesita.

**LOCALIDAD:** BANÁMICHI

**UNIDAD:** FORMACIÓN EL TULI  
(CRETÁCICO TARDÍO)

**MUESTRA:** NH-84

**LOCALIZACIÓN:**

Sobre camino al norte del cerro El Picacho.

**DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA:**

Roca de color verdoso-gris, matriz afanítica, se observan ferromagnesianos, cuarzo y feldespato potásico. Textura micro porfídica.

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:**

Matriz se presenta alterada a sericita, donde se aprecian todavía las formas de cristales de feldespato potásico; son observables minerales cloritizados, minerales oscuros (5%), cuarzo (10%) en forma anhedral a subhedral. Muestra que presenta una fuerte alteración a sericita.

**CLASIFICACIÓN:** Traquita con alteración sericítica.

**LOCALIDAD:** BANÁMICHI

**UNIDAD:** PÓRFIDO ANDESÍTICO  
(TERCIARIO)

**MUESTRA:** NH-34

**LOCALIZACIÓN:**

En los alrededores del área conocida como La Palmita.

**DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA:**

Muestra de color pardo rosado con matriz afanítica con fenocristales de feldespato potásico y cuarzo. Textura granuda-porfídica.

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:**

Roca que presenta una matriz (60%) afanítica cuarzo-sericitica, donde la mayoría de la matriz se encuentra alterado a sericita con fenocristales de plagioclasa (30%) en forma euhedral y en menor tamaño y proporción cuarzo (10%) de subhedral a euhedral. Textura porfídica.

**LOCALIDAD:** BANÁMICHÍ

**UNIDAD:** VOLCÁNICO TERCIARIO

**MUESTRA:** NH-77A

**LOCALIZACIÓN:**

Aproximadamente a 1.5 km al NE del Rancho El Álamo.

**DESCRIPCIÓN MEGASCÓPICA:**

Muestra de color café rosado, se observa fluidez y aplanamiento de los cristales de cuarzo, feldespato potásico y en menor proporción fragmentos de roca. Textura soldada.

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA:**

Muestra con matriz afanítica vítrea donde se observan cristales de cuarzo, algunos cristales de biotita, minerales oscuros y minerales líticos, probablemente la matriz está compuesta por los fenocristales, pero por el aplanamiento que sufre la roca no son identificables. Textura soldada.

**CLASIFICACIÓN:** Ignimbrita (toba soldada).

**LOCALIDAD:** BANÁMICHÍ

**UNIDAD:** VOLCÁNICO TERCIARIO

**MUESTRA:** NH-78

**LOCALIZACIÓN:**

Aproximadamente a 500 m al NW 40° del Rancho El Álamo.

**APENDICE B**  
**( DATOS GEOQUÍMICOS )**

Tabla 1. Análisis químicos de elementos mayores, trazas y norma CIPW.

MUESTRA	29439	29440	29441	29442	29443	29444	29445	29446	29447	29448	29449	29450	29451	29452	29453	27063	27064	27065
NÚMERO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
SiO <sub>2</sub>	64.80	63.80	75.60	63.70	64.00	60.20	73.50	72.30	77.40	72.50	56.80	70.20	65.30	78.70	59.70	66.90	66.90	65.90
TiO <sub>2</sub>	0.63	0.64	0.16	0.64	0.59	0.83	0.26	0.28	0.11	0.33	0.96	0.72	0.63	0.19	0.88	0.66	0.86	0.57
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.40	16.10	13.10	15.70	15.80	16.80	14.10	14.30	13.90	15.40	17.00	17.50	15.70	13.40	17.00	16.50	16.50	15.90
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.00	4.79	1.20	4.54	4.01	6.10	1.90	1.57	1.30	1.27	6.89	2.31	3.94	0.34	5.52	2.70	2.70	3.53
MnO	0.05	0.07	0.03	0.07	0.06	0.08	0.02	0.02	0.02	0.02	0.21	0.03	0.05	0.02	0.10	0.07	0.07	0.05
MgO	1.37	1.81	0.23	1.85	1.40	2.83	0.56	0.44	0.61	0.30	4.47	0.23	1.68	0.65	2.35	1.76	1.76	1.50
CaO	3.14	3.73	0.42	3.88	3.00	1.28	0.62	0.38	0.26	0.43	1.41	0.53	2.54	0.37	4.38	0.91	0.91	1.76
Na <sub>2</sub> O	3.75	3.48	4.37	3.67	3.84	4.59	3.57	0.23	0.05	2.85	4.50	0.03	2.97	0.05	4.04	2.92	2.92	4.57
K <sub>2</sub> O	3.69	3.66	4.62	3.47	3.32	2.80	3.38	5.68	2.61	5.18	2.32	0.49	3.66	3.42	2.42	3.32	3.32	3.56
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.18	0.19	0.04	0.17	0.19	0.21	0.06	0.06	0.04	0.04	0.23	0.18	0.18	0.05	0.26	0.20	0.22	0.17
H <sub>2</sub> O	1.45	2.15	0.50	1.60	1.95	3.20	1.90	3.00	3.90	1.95	3.60	6.70	2.55	3.25	1.70	3.00	6.05	2.55
Total	98.46	100.42	100.27	99.29	98.16	98.92	99.87	98.26	100.20	100.27	98.39	98.92	99.20	100.44	98.35	98.94	102.21	100.06
Cr	367.00	136.00	288.00	286.00	260.00	111.00	260.00	168.00	165.00	124.00	115.00	16.00	196.00	205.00	166.00	155.00	136.00	184.00
Co	12.00	13.00		14.00	11.00	12.00					21.00	6.00	7.00		12.00	9.00	13.00	6.00
Cu	26.00	53.00	15.00	21.00	26.00	32.00	9.00	18.00		6.00	35.00	5.00	8.00		12.00	58.00	75.00	74.00
Pb			9.00		3.00	9.00	5.00		3.00							29.00	0.00	0.00
Mo		16.00		23.00	13.00											0.00	0.00	11.00
Zn	40.00	55.00	12.00	45.00	53.00	82.00	6.00	7.00		9.00	133.00	16.00	54.00	8.00	54.00	88.00	44.00	27.00
Li		28.00	1.00	28.00	40.00	7.00	2.00					5.00	22.00		9.00	28.00	2.00	23.00
Sr		24.00	9.00	14.00	20.00	30.00	10.00	22.00	56.00	18.00	28.00	42.00	16.00	19.00	81.00	11.00	12.00	17.00
V		61.00	2.00	55.00	6.00	28.00	15.00	5.00	11.00	2.00	11.00	31.00	55.00	5.00	8.00	39.00	5.00	41.00
Y		77.00	3.20	4.90	4.10	9.30	1.50	2.20	2.20	3.40	0.60	5.80	8.00	0.70	11.90	9.30	11.40	10.90
Zr			1.40	0.80	2.40	2.50	1.60	3.80	1.40	13.00	2.10	1.90	2.10	1.10	0.80	0.00	2.00	0.00
FeO	360	4.31	1.08	4.09	3.61	5.49	1.71	1.41	1.17	1.14	6.20	2.08	3.55	0.31	4.97	2.43	2.43	3.18
F/F+M	0.73	0.71	0.83	0.69	0.72	0.66	0.76	0.77	0.66	0.80	0.59	0.90	0.68	0.68	0.68	0.59	0.59	0.59
den	2.38	2.39	2.30	2.39	2.38	2.40	2.32	2.32	2.32	2.32	2.43	2.35	2.38	2.31	2.42	2.30	2.36	2.36
NORMA CIPW																		
Q	26.2	14.39	31.37	18.92	20.98	16.42	37.80	47.92	65.77	34.84	12.71	67.18	26.58	63.70	14.78	33.20	33.26	20.16
or	21.81	21.63	27.30	20.51	19.62	16.55	19.98	33.57	15.42	30.61	13.71	2.90	21.63	20.21	14.30	19.62	19.62	21.04
ab	31.75	29.45	36.98	31.05	32.49	38.84	30.21	1.95	0.42	24.12	38.08	0.25	25.13	0.42	24.19	24.71	24.71	38.67
an	14.29	17.26	1.82	16.12	13.64	4.98	2.68	1.49	1.03	1.87	5.49	1.45	11.43	1.51	20.03	3.21	3.08	7.62
C		0.09	0.24		0.89	4.39	3.59	7.23	10.62	4.42	5.07	16.39	2.67	9.06	0.39	6.93	6.98	1.74
hy	341	4.51	0.57	4.58	3.49	7.05	1.39	1.10	1.52	0.75	11.13	0.57	4.18	1.62	5.85	4.38	4.38	3.74
il	811	0.15	0.06	0.15	0.13	0.17	0.04	0.04	0.04	0.04	0.45	0.06	0.11	0.04	0.21	0.15	0.15	0.11
hem	400	4.79	1.20	4.54	4.01	6.10	1.90	1.57	1.30	1.27	6.89	2.31	3.94	0.34	5.52	2.70	2.70	3.53
ap	842	0.44	0.09	0.39	0.44	0.49	0.14	0.14	0.09	0.09	0.53	0.42	0.42	0.12	0.60	0.46	0.51	0.39
ru	654	0.56	0.13		0.52	0.74	0.24	0.25	0.09	0.31	0.72	0.69	0.57	0.17	0.77	0.58	0.78	0.51
Ti	0.08																	

Tabla 1. Análisis químicos de elementos mayores, trazas y norma CIPW (Cont.).

MUESTRA	27066	27067	27068	27070	29565	29566	29573	29574	29577	29578	29581	29582	29587	29588	29589	29590	29591	29593
SiO <sub>2</sub>	65.20	64.90	77.90	71.50	69.30	65.50	69.80	66.80	65.00	63.00	69.00	71.08	67.10	73.40	66.80	72.40	69.80	68.30
TiO <sub>2</sub>	0.57	0.61	0.25	0.28	0.67	0.47	1.02	0.44	0.62	0.82	0.66	0.63	0.67	0.40	0.69	0.49	0.68	0.16
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.40	15.40	12.80	14.20	18.30	14.40	13.70	17.40	15.60	16.90	16.50	13.90	16.90	14.60	16.00	15.20	17.30	19.50
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.90	4.21	1.57	2.41	2.88	3.71	3.58	2.53	4.48	2.54	3.07	3.55	3.26	1.98	5.82	3.22	3.15	2.12
MnO	0.04	0.04	0.02	0.03	0.03	0.06	0.01	0.04	0.05	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.77	0.02	0.02	0.03
MgO	1.42	1.70	0.30	0.33	0.76	0.78	0.35	2.32	1.89	0.25	0.27	0.31	0.64	0.46	0.79	0.43	0.16	0.68
CaO	4.02	2.59	0.27	0.39	0.20	3.39	0.03	0.41	1.40	2.18	0.11	0.00	0.18	0.14	0.08	0.05	0.35	0.12
Na <sub>2</sub> O	3.05	3.35	0.13	2.42	0.02	1.91	0.07	3.51	3.69	6.95	0.08	0.09	2.76	4.19	4.04	0.00	0.00	0.05
K <sub>2</sub> O	3.43	3.60	4.51	5.84	4.55	4.09	3.49	1.91	3.19	0.59	3.48	2.14	3.11	3.21	2.76	2.02	1.03	4.24
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.16	0.17	0.05	0.05	0.08	0.12	0.11	0.07	0.19	0.15	0.19	0.11	0.34	0.12	0.11	0.10	0.12	0.14
H <sub>2</sub> O	2.85	2.45	2.00	1.30	3.20	4.40	7.20	3.90	2.20	6.60	5.10	6.10	4.50	1.60	2.40	6.40	6.50	4.80
Total	100.04	99.02	99.80	98.75	99.99	98.83	98.78	99.91	98.31	99.99	98.48	97.93	99.48	100.12	100.26	100.33	99.11	100.14
Cr	307.00	285.00	147.00	208.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Co	9.00	15.00	0.00	0.00	6.00	9.00	1.00	1.00	24.00	2.00	4.00	1.00	1.00	2.00	153.00	2.00	3.00	2.00
Cu	43.00	249.00	8.00	9.00	10.80	38.70	6.90	4.60	11.00	7.60	35.00	10.80	15.40	9.30	67.40	8.10	5.50	5.00
Pb	7.00	0.00	20.00	0.00	10.00	12.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	4.00	0.00	0.00
Mo	8.00	12.00	0.00	0.00	0.00	2.00	4.00	1.00	1.00	1.00	3.00	3.00	2.00	0.00	3.00	7.00	3.00	0.00
Zn	54.00	33.00	16.00	15.00	30.30	121.00	3.30	3.70	43.80	5.10	14.80	11.00	6.90	6.50	163.00	6.30	13.10	4.90
Li	14.00	6.00	3.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sr	24.00	15.00	7.00	13.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V	35.00	4.00	2.00	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Y	3.80	5.40	3.30	3.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zr	0.80	0.00	4.50	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	3.51	3.79	1.41	2.17	2.59	3.34	3.22	2.28	4.03	2.29	2.76	3.20	2.93	1.78	5.24	2.90	2.84	1.91
F/F+M	0.71	0.69	0.83	0.87	0.78	0.81	0.90	0.50	0.68	0.90	0.91	0.91	0.82	0.80	0.88	0.87	0.95	0.74
den	2.38	2.38	2.31	2.32	2.35	2.37	2.33	2.37	2.37	8.00	2.34	2.34	2.35	2.32	2.37	2.34	2.35	2.34
NORMA CIPW																		
Q	24.20	24.03	59.00	33.88	50.43	30.65	55.76	34.93	26.05	15.69	55.11	62.21	38.76	36.09	31.70	64.20	65.21	50.91
or	20.27	21.28	26.65	34.51	26.89	24.17	20.63	11.29	18.85	3.49	20.57	12.65	16.38	18.97	16.31	11.94	6.09	25.06
ab	25.81	28.35	1.10	20.48	0.17	16.16	0.59	29.70	31.22	58.81	0.68	0.76	23.35	35.45	34.19	0.00	0.00	0.42
an	18.20	11.74	1.01	1.61	0.47	16.03	0.00	1.58	5.70	9.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.95	0.00
C	0.00	1.69	7.33	3.31	13.17	0.96	10.02	8.98	3.99	1.22	12.86	11.70	9.48	4.27	6.48	13.16	15.84	14.95
py	3.54	4.23	0.75	0.82	1.89	1.94	0.87	5.78	4.71	0.62	0.67	0.77	1.59	1.15	1.97	1.07	0.40	1.69
il	0.09	0.09	0.04	0.06	0.06	0.13	0.02	0.09	0.11	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04	1.31	0.04	0.04	0.06
hem	3.90	4.21	1.57	2.41	2.88	3.71	3.58	2.53	4.48	2.54	3.07	3.55	3.26	1.98	5.47	3.22	3.15	2.12
ap	0.37	0.39	0.12	0.12	0.19	0.28	0.25	0.16	0.44	0.35	0.44	0.25	0.79	0.28	0.25	0.23	0.28	0.32
ru	0.32	0.56	0.23	0.25	0.64	0.40	0.43	0.97	0.56	0.81	0.64	0.61	0.65	0.38	0.00	0.47	0.66	0.13
Tt	0.49																	

Tabla 1. Análisis químicos de elementos mayores, trazas y norma CIPW (Cont.).

MUESTRA	29594	29596	29597	29598	29608	29609	29611	29604	29606	29607	29610	NH-82	NH-83	NH-84	
	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	
SiO2	76.40	71.10	74.80	68.70	71.70	64.00	58.30	61.60	55.20	72.20	75.50	SiO2	68.18	61.64	53.56
TiO2	0.13	0.35	0.20	0.35	0.36	0.68	0.92	0.86	1.01	0.37	0.29	TiO2	0.40	0.90	1.32
Al2O3	14.60	14.50	14.60	14.80	14.30	15.90	17.20	17.30	17.60	14.90	14.40	Al2O3	14.69	14.83	16.79
Fe2O3	1.45	2.43	2.29	3.25	2.30	4.18	6.77	5.33	7.46	2.00	2.08	Fe2O3	1.57	1.57	2.57
MnO	0.02	0.06	0.02	0.01	0.03	0.08	0.16	0.08	0.14	0.04	0.02	FeO	0.25	2.96	4.10
MgO	0.58	0.64	0.38	0.36	0.65	1.82	3.29	2.00	3.75	0.85	0.26	MnO	0.06	0.08	0.09
CaO	0.00	0.15	0.00	0.01	0.65	2.45	4.97	4.40	6.09	0.38	0.11	MgO	0.97	1.89	2.76
Na2O	0.04	0.21	0.04	0.12	1.49	3.30	4.04	4.14	3.48	1.29	0.06	CaO	2.95	6.50	7.75
K2O	3.04	6.16	4.19	3.81	6.20	3.03	2.25	2.74	1.81	6.21	2.90	Na2O	3.63	3.93	4.66
P2O5	0.05	0.07	0.05	0.13	0.06	0.16	0.23	0.25	0.24	0.07	0.10	K2O	5.30	2.87	2.41
H2O	3.80	2.50	2.60	6.90	1.40	2.50	2.10	1.50	2.10	1.70	4.30	CO2	1.15	2.27	3.39
Total	100.11	98.17	99.17	98.44	99.14	98.10	100.23	100.20	98.88	100.01	100.02	H2O -	1.03	0.27	0.17
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Total	100.18	99.71	99.57
Co	0.00	5.00	1.00	1.00	4.00	10.00	10.00	13.00	14.00	3.00	2.00				
Cu	3.70	8.90	5.70	5.50	5.20	7.80	4.20	16.40	8.10	4.90	7.80				
Pb	0.00	12.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
Mo	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	4.00				
Zn	3.70	199.00	10.40	4.00	42.60	46.20	54.10	73.30	74.40	38.80	10.10				
Li	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
Sr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
V	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
Y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
Zr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
FeO	1.31	2.19	2.06	2.93	2.07	3.76	6.09	4.80	6.71	1.80	1.87				
F/F+M	0.70	0.78	0.85	0.89	0.76	0.68	0.66	0.71	0.65	0.68	0.88				
den	2.32	2.32	2.32	2.33	2.32	2.38	2.45	2.41	2.47	2.32	2.32				
NORMA CIPW															
Q	63.81	45.22	58.11	53.40	37.11	25.70	11.50	15.33	10.41	39.04	63.71				
or	17.97	36.40	24.76	22.52	36.64	17.91	13.30	16.19	10.70	36.70	17.14				
ab	0.34	1.78	0.34	1.02	12.61	27.92	34.19	35.03	29.45	10.92	0.51				
an	0.00	0.29	0.00	0.00	2.83	11.11	22.15	20.20	27.06	1.43	0.00				
C	11.36	7.38	10.12	10.92	4.10	3.12	8.19	0.12	0.00	5.53	11.20				
hy	1.44	1.59	0.95	0.90	1.62	4.53	8.19	4.98	9.34	2.12	0.65				
il	0.04	0.13	0.04	0.02	0.06	0.17	0.34	0.17	0.30	0.09	0.04				
hem	1.45	2.43	2.29	3.25	2.30	4.18	6.77	5.33	7.46	2.00	2.08				
ap	0.12	0.16	0.12	0.44	0.14	0.37	0.53	0.58	0.56	0.16	0.23				
ru	0.11	0.28	0.18	0.34	0.33	0.59	0.45	0.77	0.40	0.32	0.27				
							0.70								

## BIBLIOGRAFÍA.

- Amaya, M. R., González-C, M. M. y Roldán, Q. J., (1992).** Nuevas consideraciones estratigráficas de la Formación Tarahumara en la porción centro-oriental de Sonora: XI Convención Geológica Nacional, Libro de Resúmenes, p. 15.
- \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, (1993). Las rocas volcánicas de la Formación Tarahumara y su relación con las secuencias volcanosedimentarias en la porción centro-oriental del Estado de Sonora: III Simposio de la Geología de Sonora y áreas adyacentes. Resúmenes, p. 1.
- Anderson, T. H. and Silver, L. T., (1979).** The role of the Mojave-Sonora megashear in the tectonic evolution of northern Sonora, in Anderson, T. H. and Roldan, Q. J., eds., *Geology of northern Sonora*, Geological Society of America Guidebook, field trip 27: San Diego, California, San Diego States University.
- \_\_\_\_\_, (1981). An overview of Precambrian rocks in Sonora. Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Revista Vol. 5, No. 2, p. 54-58.
- Anderson, T. H., Silver, L. T. and Salas, G. H., (1980).** Distribution and U-Pb isotopes ages of some lineated plutons, northwestern Mexico. *Geol. Soc. of America. Memoir*, p. 153, 269-283.
- Blakey, R. C. and Knepp, R., (1989).** Pennsylvanian and Permian Geology of Arizona, in Jenney, J. P. and Reynolds, S. J. (1989), *Geology evolution of Arizona*. Tucson, Arizona Geological Society Digest 17, p. 313-347.
- Bojórquez-O., J. A. y Rosas-H., J. A., (1988).** Geología de la hoja Aconchi H12D13, Municipio de Aconchi, Sonora, México. Tesis Profesional. Universidad de Sonora. 92 p.
- Castillo, M. E., (1986).** Geología preliminar del área Rancho Santa Fé, Municipio de Banamichi, Sonora Central. Simposio Nuevas aportaciones a la geología de Sonora. ERNO, Instituto de Geología, UNAM, p. 6.
- Castro-R., A. A. y Morfin, V. S., (1988).** Geología de la Carta Rayón, con énfasis en el área de Cerro de Oro, Sonora Central. Tesis Profesional. Universidad de Sonora. 85 p.
- Chavez, J. M., (1978).** Geologie et Metallogenie de la Sierra de Aconchi (Sonora, Mexique). These Diplome de Docteur-Ingenieur. Universite Pierre et Marie Curie -Paris VI-. 182 p.
- CETENAL (1975).** Carta Topográfica Esc. 1: 50, 000, Hoja Banamichi, H12B83. México, D. F., Secretaría de Programación y Presupuestos, Comisión de Estudios del Territorio Nacional (ahora Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática).
- ..
- Cooper, G. A. and Arelano, A. R. V., (1952).** Introduction and stratigraphy: *in* Cooper, G. A. *et. al.*, eds., *Cambrian stratigraphy and paleontology near Caborca, northwestern Sonora*,

Mexico: Smithsonian Misc., Coll. 119, p. 1-23.

- Damon, P. E., Shafiqullah, M., Roldán, Q. J., Cochemé, J. J., (1983).** El Batolito Laramide (90-40 Ma.) de Sonora. XV Convención Nacional de la Asoc. Ings. Minas Met. y Geol. México. Memoria Técnica, p. 63-95.
- Demant, A. and Cochemé, J. J., (1983).** Le volcanisme basaltique mio-pliocene de la frontiere Sonora-Chihuahua, Sierra Madre Occidental, Mexique. C. R. Acad. Sc. Paris, t- 296, p. 1253-1258.
- Drewes, H., (1971).** Mesozoic Stratigraphy of the Santa Rita Mountains, Southeast of Tucson, Arizona. Geological Survey Professional Paper 658-C, 81 p.
- Dumble, E. T., (1900).** Notes on the geology of Sonora, Mexico. American Institute, Min. Eng. Trans., v. 29, p. 127-152.
- Figueroa-V., M. C. y Grijalva-H., A. S., (1989).** Geología de la Hoja Opodepe H12D12, Municipio de Opodepe, Sonora, México. Tesis Profesional. Universidad de Sonora.
- García y Barragán, J. C., (1992).** Geology of the Western Cerros Amol, Altar, Sonora, Mexico. [M. S. Thesis]: Cincinnati, Ohio, University of Cincinnati, 80 p.
- Gayón-A., J. M., (1989).** Estudio geológico estratigráfico del volcanismo terciario del área de Botaborachi, al NW de Moctezuma, Sonora. Tesis Profesional. Universidad de Sonora.
- González, L. C., (1978).** Geología del área de Arizpe Sonora Centro-Septentrional. Tesis Profesional, Universidad de Sonora, 66 p.
- González, L. C., (1989a).** Estratigrafía y paleogeografía del Cretácico del área de Cerro de Oro, Mpio. de Rayón, Sonora. Tesis de Maestría. Univ. Nal. Autón de México. 108 p.
- González, L. C., (1989b).** Estratigrafía y geología estructural de las rocas sedimentarias creácicas del área de Lampazos, Sonora, México. Univ. Nal. Autón. México, Inst. de Geología, Revista, Vol. 7, núm. 2, p. 148-162.
- González, L. C., Millanes, M. D. y Martínez, G. H., (1993).** Reporte preliminar sobre la geología de las hojas Bacanuchi-Arizpe, Sonora: Simposium del XIX Aniversario del Departamento de Geología, Universidad de Sonora. Resúmenes.
- Grajales-N, J. M., Terrell, D., Torres-V, R., (1990).** Late Cretaceous synorogenic volcanic/sedimentary sequences in eastern Sonora, Mexico. Abstracts with programs; vol. 22, p. 26.
- Irvine, T. N. and Baragar, W. R. A., (1971).** A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Can. J. Earth Sci., 8: 523-548.
- King, C. K., (1939).** Geological reconnaissance in northern Sierra Madre Occidental, of Mexico. Bull. Geol. Soc. of America, v. 50, p. 1926-1722.

- Kuno, H., (1966).** Lateral variation of basalt magmas type across continental margins and island arcs. *Bull. Volcanol.*, 29: 195-222.
- \_\_\_\_\_, (1968). Differentiation of basalt Magmas. In: H. H. Hess and Poldervaart (Editors), *Basalts: The Poldervaart Treatise on Rocks of Basaltic Composition*. Vol. 2. Interscience, New York, N. Y., pp. 623-688.
- Le Bas, M. J., R. W. Le Maitre, A. Streckeisen y B. Zanettin, (1986).** A Chemical classification of volcanics rocks based on the Total Alkali-Silica Diagram. *J. Petrol.*, 27, 745-750.
- Leon, F. L. y Miller, C. F., (1981).** Geology of the Creston molybdenum-copper deposit: in Ortieb, Luc, y Roldan Quintana, Jaime eds., *Geology of Northwestern Mexico and Southern Arizona*. Hermosillo, Sonora, Univ. Nal. Autón. Mexico, Inst. Geología, Estación Regional del Noroeste, p. 223-238.
- Martínez, G. H., Soots, L. N., Rodríguez-C., J. L. y García y Barragán, J. C., (1993).** Rocas volcanosedimentarias del Cretácico Tardío (?) en la región central de Sonora: Simposium del XIX Aniversario del Departamento de Geología, Universidad de Sonora. Resúmenes.
- McDowell, F. W. and Clabaugh, S. E., (1972).** Edades potásio - argón de rocas volcánicas de la Sierra Madre Occidental al Noroeste de Mazatlán. II Convención Nacional de la Asoc. Ings. Minas Met. y Geol. México. Memoria Técnica, p. 182-185.
- \_\_\_\_\_, **Roldán-Quintana, J., Amaya-M, R., González-C, M. (1994).** The Tatahumara Formation -a neglected component of the Laramide magmatic arc in Sonora. *Boletín Informativo de Unión Geofísica Mexicana, Época II, Vol. 12, No. 5, p. 76.*
- Miyashiro, A., (1974).** Volcanic rock series in Island Arcs and active continental margins. *Am. J. Sci.*, 274: 321-355.
- Paz, F. A., (1985).** Composición y origen de los basaltos (Malpais) Plio-Cuaternarios de Moctezuma, Sonora, México. *Bol. Depto. Geol. Uni-Son.* Vol.2 No. 1 y 2, pp. 9 - 15.
- Pecerillo, R. and Taylor, S. R., (1976).** Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 58: 63-81.
- Raisz, Erwin, (1964).** Landforms of México. Morphological map prepared for the geography Branch of the Office of Naval Research. Cambridge Mass. USA, esc. aprox. 1: 3, 000, 000.
- Rangin, C. (1982).** Contribution a l'étude Géologique du sistemé Cordilleran du Nord-ouest du Mexique. These de Doctorat d' Etat é Sciencies Naturalles, Université Paris VI, France. 253 p.
- Ransone, F. L., (1904).** Description of the Bisbee quadrangle, Arizona. U. S. Geol. Survey, Folio 112, 17 p.

\_\_\_\_\_, and chemical composition of the Jaralito and Aconchi batholiths in East-central Sonora, Mexico, in Perez-Segura, E., and Jacques-Ayala, C., eds., *Studies of Sonoran geology: Geological Society of America Special Paper 254.*

**Wilson, I. F. y Rocha, V. S., (1946).** Los yacimientos de carbón de la región de Santa Clara, Municipio de San Javier, Estado de Sonora: Comité Directivo para la Investigación de Recursos Minerales, Bol. 49, 108 p.

- Ricalde, M. O. y Ceballos F. S., (1993).** Plantas permineralizadas del Estado de Sonora: III Simposio de la Geología y áreas adyacentes. Resúmenes, p. 104-106.
- Rodriguez-C, J. L., (1984).** Geology of Tuape region, north central Sonora, Mexico. [M. S. Thesis]: Pittsburgh, Pennsylvania, University of Pittsburgh, 157 p.
- \_\_\_\_\_, (1986). Interpretación del contacto Jurásico-Cretácico en Sonora Central: Simposio nuevas aportaciones a la Geología de Sonora. ERNO, Instituto de Geología, UNAM, p. 37-48.
- \_\_\_\_\_, (1988). Estratigrafía de la región de Tuape, Sonora: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Revista vol.7, num. 1, p. 52-66.
- \_\_\_\_\_, (1990). Relaciones estructurales en la parte Centro-septentrional del Estado de Sonora. Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Revista, vol. 9, núm. 1, p. 51-61.
- \_\_\_\_\_, (1994). Geología de la región de Teguachi, Sonora, México: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Revista. En prensa.
- \_\_\_\_\_, and **Anderson, T. H., (1991).** Preliminary analysis of normal fault deformation of Jurassic, Cretaceous, and Tertiary rocks, northern Sonora, Mexico. En revisión Geological Society of America Bull.
- Roldán, Q. J., (1979).** Geología y yacimientos minerales del Distrito Minero de San Felipe, Sonora. Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Revista, vol. 3, núm 2, p. 97-115.
- \_\_\_\_\_, (1989). Geología de la Hoja Baviácora, Sonora. Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Revista, vol. 8, núm 1, p. 1-14.
- \_\_\_\_\_, (1991). Geology and chemical composition of the Jaralito and Aconchi batholiths in East-central Sonora, Mexico, in Perez-Segura, E., and Jacques-Ayala, C., eds., Studies of Sonoran geology: Geological Society of America Special Paper 254.
- Wilson, I. F. y Rocha, V. S., (1946).** Los yacimientos de carbón de la región de Santa Clara, Municipio de San Javier, Estado de Sonora: Comité Directivo para la Investigación de Recursos Minerales, Bol. 49, 108 p.



EL SABER DE MIS HIJOS  
PARA MI GRANDEZA  
BIBLIOTECA DE CIENCIAS  
EXACTAS Y NATURALES