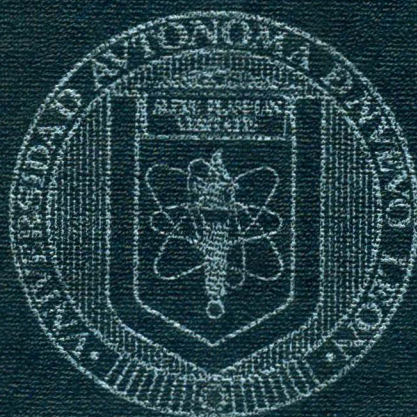


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA



SEDIMENTOLOGIA Y PETROGRAFIA DE LA FORMACION BAUCARIT (MIOCENO) EN LA CUENCA DE TONICHI - LA DURA, SONORA, MEXICO.

Tesis para optar el grado de maestría
en ciencias geológicas

Presentada por:

MARGARITA DE LA O VILLANUEVA

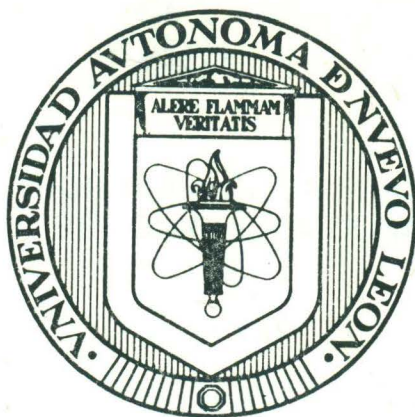
Linares, N. L.

Abril de 1993



1020091048

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA



SEDIMENTOLOGIA Y PETROGRAFIA DE LA FORMACION BAUCARIT (MIOCENO) EN LA CUENCA DE TONICHI - LA DURA, SONORA, MEXICO.

**Tesis para optar el grado de maestría
en ciencias geológicas**

Presentada por:

MARGARITA DE LA O VILLANUEVA

Linares, N. L.

Abril de 1993

0096-48660

TM
Z5818
E3
FCT
1993
02



FONDO TESIS

24293

250998

MARGARITA DE LA O VILLANUEVA

April 1993

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA



SEDIMENTOLOGIA Y PETROGRAFIA DE LA FORMACION BAUCARIT
(MIOCENO) EN LA CUENCA DE TONICHI- LA DURA, SONORA, MEXICO.

Tesis para optar el grado de Maestría en Ciencias Geológicas

presentada por:
Margarita De la O Villanueva,

Vo. Bo. Comisión de Revisión de Tesis:


M.C. Juan Alonso Ramírez Fernández


Dr. Jörg Heinrich Werner


M.C. Martín Mario Rangel Rodríguez


Dr. Wolfgang Stinnesbeck


M.C. José Rafael Barboza Gudino

Linares, Nuevo León

Abril de 1993.

AGRADECIMIENTOS

Quiero hacer patente mi mayor agradecimiento al Dr. Peter Meiburg, quien asesoró el presente trabajo. Además mostró un apoyo continuo para la terminación de los cursos de maestría.

Agradezco también a los Geólogos Tito Montaña y Saul Herrera por su gran apoyo brindado en el campo durante los inicios de este trabajo, a la Dra. Cecilia Rodríguez, al Quím. Fernando Velazco por su asesoramiento brindado en la interpretación de los análisis de rayos x. Haciendo también extensivo este agradecimiento al Ing. Alfonso Rosas por facilitar las instalaciones de la mina Luz del Cobre.

Así mismo quiero agradecer a Dolores Vásquez y Alejandra Galaz por la ayuda brindada para la impresión de este trabajo.

Quiero dedicar especialmente este trabajo para una personita, que aunque no colaboró físicamente, pero sí moralmente, a mi hija Sandra Margarita.

RESUMEN

El área de estudio se localiza a 168 km al SE de la Ciudad de Hermosillo, Sonora, México.

Se encontró que esta cuenca está formada por 3 etapas de sedimentación:

La primera pertenece a la Facies volcánica (I). Esta se asocia a procesos volcánicos entre los que sucedieron depósitos sedimentarios correspondientes a conglomerados oligomícticos sostenidos por una matriz volcánica/sedimentaria de una edad probablemente del Mioceno Medio.

La segunda etapa pertenece a la Facies clástica (II). Se tiene una secuencia de conglomerados polimícticos y areniscas asociados a la formación de un abanico aluvial de edad probablemente Mioceno tardío.

La tercera etapa corresponde a la Facies clástica (III), la cual es discordante (angular) a la facies II. Se caracteriza por contener conglomerados polimícticos con una estratificación muy marcada y clastos imbricados de edad probablemente Plioceno temprano.

Matemáticamente se determinó cual es la probabilidad de la secuencia estratigráfica a seguir en la cuenca de Tónichi-La Dura: esta se definió de la base a la cima como brecha volcánica, andesita ó toba riolítica, conglomerado oligomíctico, basalto, conglomerado polimíctico, litarenita ó arcosa; o bien andesita ó conglomerado polimíctico (Facies II y III).

Estructuralmente se considera que el proceso de mayor importancia que marcó las características actuales de distribución y morfología de la cuenca, fue el fenómeno extensional que provocó el basculamiento de las rocas del Complejo Volcánico Superior. En relación a la Formación Báucarit (Facies I y Facies II), rellenándose posteriormente las depresiones de los semigrabens por material clástico. Este evento corresponde a la última etapa de la Formación Báucarit (Facies III).

Se concluye que la Formación Báucarit debe referirse como Unidad aloestratigráfica.

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN _____	i
1.- INTRODUCCION _____	1
1.1.- Ubicación del Area de Estudio _____	1
1.2.- Fisiografía y Geomorfología _____	1
1.3.- Antecedentes _____	3
1.4.- Objetivos _____	5
1.5.- Metodología _____	5
2.- GEOLOGIA REGIONAL _____	7
3.- ESTRATIGRAFIA _____	9
3.1.- Paleozoico (Ordovícico) _____	9
3.1.1.- Unidad San Antonio _____	9
3.2.- Mesozoico (Triásico Sup.-Jurásico Inf.-Cretácico Inf.) _____	13
3.2.1.- Formación Arrayanes _____	13
3.2.2.- Formación Tarahumara _____	14
3.2.3.- Secuencia Vulcanosedimentaria El Obispo _____	17
3.2.4.- Rocas Igneas Intrusivas _____	17
3.3.- Cenozoico (Oligoceno-Mioceno-Plioceno) _____	20
3.3.1.- Super Grupo Volcánico Superior _____	20
3.3.2.- Formación Báucarit _____	20
3.4.- Cuaternario _____	21
4.- GEOLOGIA ESTRUCTURAL _____	23
5.- SEDIMENTOLOGIA Y PETROGRAFIA DE LA FORMACION BAUCARIT _____	33
5.1.- Sección El Salto _____	33
5.2.- Sección Sapuchi _____	36
5.3.- Sección El Obispo _____	39
5.4.- Sección El Aguaje _____	41
5.5.- Consideraciones para las Cuatro Secciones _____	43
6.- ANALISIS DE CADENAS DE MARKOV _____	47
7.- AMBIENTE DEPOSITACIONAL Y EVOLUCION ESTRUCTURAL DE LA FORMACION BAUCARIT EN LA CUENCA DE TONICHI-LA DURA _____	54
7.1.- Ambiente depositacional _____	54
7.2.- Evolución Estructural _____	55
CONCLUSIONES _____	58
BIBLIOGRAFIA _____	62

ANEXOS:

APENDICE (Análisis petrográfico 1-33)

LAMINAS 1-4

Lámina 1 Sección El Salto

Lámina 2 Sección Sapuchi

Lámina 3 Sección Obispo

Lámina 4 Sección Aguaje

MAPAS GEOLOGICOS 1-3

Hoja Tónichi (1:50,000)

Hoja La Dura (1:50,000)

Area Tónichi (1:25,000)

1. INTRODUCCION

El Estado de Sonora presenta geológicamente una gran variedad de características que lo hacen un tanto complejo. Desde el punto de vista sedimentario, se tiene una gran gama de este tipo de rocas, de las cuales las clásticas se encuentran en mayor porcentaje de distribución. Se puede considerar que estas varían desde lutitas hasta conglomerados. Particularmente a los conglomerados se les ha dado muy poca importancia en la literatura geológica referente al Estado de Sonora. Su mayor distribución está rellenando las cuencas producidas por un proceso extensional denominado "Basin & Ranges".

Actualmente para referirse a esta secuencia clástica se hace mención a una formación en particular la FORMACION BAUCARIT. Esta formación es citada desde el año 1900 por DUMBLE, sin que a la fecha se tenga con precisión su definición estratigráfica. Se pretende con el presente estudio aportar bases más firmes y suficientes para la caracterización formal de dicha formación.

1.1.- Ubicación del área de estudio

La Cuenca de Tónichi se localiza en la parte centro oriental del Estado de Sonora, aproximadamente a 160 km al SE de la Ciudad de Hermosillo, Sonora, Mex., enmarcada por las coordenadas geográficas $28^{\circ} 45' - 28^{\circ} 15'$ de Latitud Norte y $109^{\circ} 40' - 109^{\circ} 25'$ de Longitud Oeste (fig. 1). Se ubica en las cartas topográficas HD55, HD65 y HD75, correspondientes respectivamente a Bacanora, Tónichi y La Dura.

Esta cuenca presenta una forma alargada con dirección N-S, colindando hacia la parte norte con el poblado de San Antonio de la Huerta, Son., y en la parte sur con el Rancho La Dura, Son. El área que cubre dicha cuenca es de aproximadamente 500 km².

1.2.- Fisiografía y Geomorfología

La Cuenca de Tónichi - La Dura, Son., se localiza dentro de la provincia fisiográfica Basin and Ranges que fue definida por FENNEMAN (1931), incluida en la provincia de la Sierra Madre Occidental. Esta última se divide en subprovincias tales como: la subprovincia de Cordilleras Altas Sonorenses (Cordilleras Alargadas), a la cual pertenece el área de estudio (RAISZ, 1964).

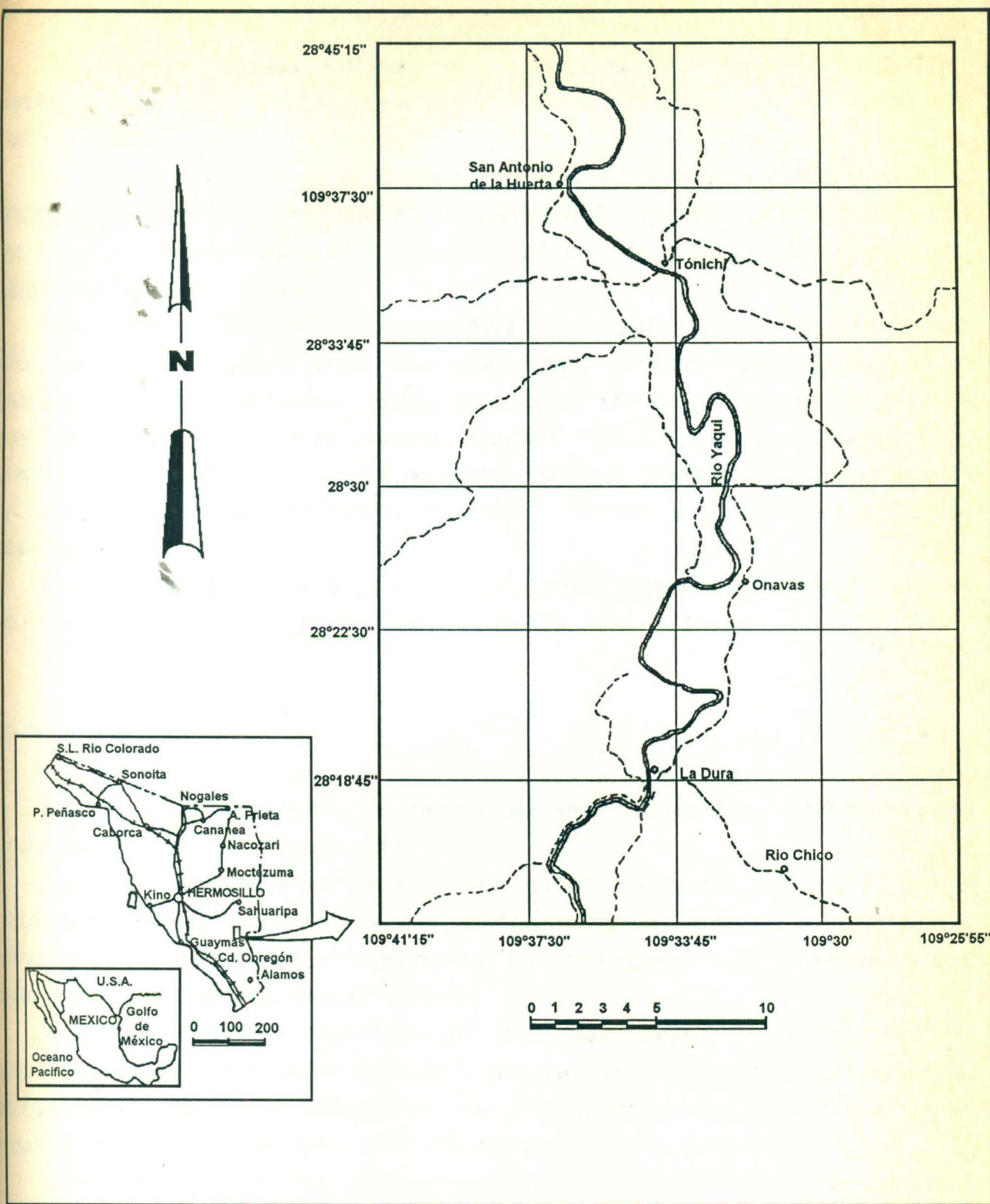


Fig. 1 Localización del Area de Estudio.

Las sierras en el Estado de Sonora en su mayoría presentan una orientación NW-SE, separadas por cuencas o valles bastante amplios que fueron rellenados por sedimentos clásticos de edad Terciaria.

La región de estudio se caracteriza por tener un relieve alto, representado en los cerros la Pirinola y La Verde (1400 m.s.n.m.), ubicados en la parte NE y E respectivamente. Los puntos más bajos se localizan sobre el cauce del Río Yaqui, los cuales son de 120 m.s.n.m. y se localizan en la porción sur del área de estudio.

Hidrográficamente la principal red la constituye el Río Yaqui (río de mayor caudal del Estado de Sonora), cuyo cauce general es de Norte a Sur, desembocando en el Golfo de California. A ambos lados de este río como cauce principal de la cuenca se unen una serie de ríos y arroyos de condición intermitente, con la presencia de algunos de condición perenne. Entre los que drenan en dirección Oeste-Este sobresalen los Arroyos Hondo, Los Arrayanes, La Barranca, Cajoncito y El Capulín. Los que drenan Este-Oeste son el Río Chico y los Arroyos Aguacaliente, Las Higueras y Las Pilas.

El drenaje que se presenta en general es dendrítico (85%), pero en la parte central y sur del área tiene un drenaje enrejado y radial divergente (fig. 2).

1.3.- Antecedentes.

Los trabajos sobre la Formación Báucarit realmente son escasos. A continuación se mencionarán los trabajos publicados sobre ésta.

DUMBLE (1900) usa el nombre de División Báucarí para una serie de arenas, arenas arcillosas y conglomerados de considerable espesor cuya composición consiste de fragmentos de roca volcánica así como de rocas sedimentarias. La matriz algunas veces es silíceas, aunque ocasionalmente posee gran proporción de arcilla.

KING (1939) habla de la División Báucarí elevándola al rango de formación y corrigiendo el término a Báucarit. Este autor la define como débilmente consolidada compuesta por areniscas bien estratificadas, conglomerados y algunas arcillas; petrográficamente la composición de los clastos del conglomerado son: rocas volcánicas, granitos y algunas calizas.

Cabe mencionar que ambas definiciones para la Formación Báucarit son realizadas para una área denominada Báucarit cerca del poblado de Alamos, Sonora.

Para la región de Tónichi, Son., DUMBLE (1900) define las rocas clásticas del Terciario como División Nogal, mientras que KING (1939) la sigue definiendo como Formación Báucarit.

Actualmente no existe ningún trabajo sobre la Formación Báucarit en el área de estudio. Solo se menciona en algunos trabajos geológicos como son las siguientes tesis de licenciatura:

Geología de la Carta Tónichi (H12D65) con énfasis en el Paleozoico porción central del Estado de Sonora (BARRERA-MORENO & DOMINGUEZ-PERLA, 1987) y reconocimiento geológico de la hoja La Dura (H12D75) en el Sureste de Sonora, Mex., (CRUZ-FRISBY, 1989).

Estos autores se limitan a definir la Formación Báucarit tal y como la describe KING (1939).

1.4.- Objetivos.

Debido a los escasos datos que existen de la Formación Báucarit y la ambigüedad que se tiene al definir esta secuencia clástica, el presente estudio tiene como objetivo aportar bases más firmes y suficientes para la caracterización formal de dicha Formación, respaldándose en el análisis petrográfico, sedimentológico y estructural.

La selección del área se basó en los buenos afloramientos, vías de acceso transitables y por estar a una distancia relativamente corta a Hermosillo, Sonora.

1.5.- Metodología.

Las actividades que se realizaron en el presente trabajo se dividen en: Campo y Laboratorio.

Campo: Cartografía regional de las cartas Tónichi H12D65 y La Dura H12D75 escala 1:50,000 utilizando fotografías aéreas escala 1:60,000 (blanco y negro), haciendo un muestreo sistemático de las diferentes zonas fotointerpretadas.

Debido a que la Formación Báucarit aflora a lo largo de las cartas Tónichi y La Dura y la cartografía de éstas no fue a detalle, se determinó realizar una cartografía a detalle de una área de 128 Km² a una escala 1:25,000. En esta área se encontraron aflorando el 90 % de las rocas que hay tanto en la Carta Tónichi y La Dura, apoyándose en fotografías aéreas escala 1:20,000 haciéndose dos secciones con dirección W-E por medio de caminamientos.

Para la Formación Báucarit se realizaron 4 secciones estratigráficas distribuidos de tal manera que cubrieran toda la extensión de dicha Formación, así como también encontrar sus límites. Cada una de estas secciones se midieron por medio de caminamientos con un instrumento denominado Top Line que mide las distancias recorridas. Se hicieron muestreos de rocas en cada cambio litológico, así como de los clastos de los conglomerados y matriz, midiéndose directamente en campo las dimensiones de aproximadamente 100 clastos de cada afloramiento de conglomerados. Determinando también las relaciones estructurales que guarda cada unidad con respecto a sus límites.

Laboratorio: Se realizaron secciones delgadas de cada una de las rocas que fueron tomadas en el campo para la cartografía regional, así como la de detalle, haciéndose también esto para las secciones hechas en la Formación Báucarit.

Se analizó por medio de difracción de Rayos x el tipo de matriz encontrada en los conglomerados que afloraron en cada sección. Esto se realizó en la Facultad de Ciencias de la Tierra, de la UANL. El objetivo fue determinar el tipo de matriz que se tiene, así como el de observar si existe una asociación paragenética de zeolitas para poder determinar si existe metamorfismo de bajo grado.

Se analizaron los datos dimensionales de los clastos, utilizando parámetros estadísticos según el método de momentos.

2. GEOLOGIA REGIONAL

Las rocas más antiguas que afloran en la región son de edad Paleozoica, las cuales se encuentran representadas por una secuencia de areniscas, lutitas y calizas con bandas de pedernal. Estas rocas corresponden al miembro superior de la unidad San Antonio. Los afloramientos que se registraron se localizan al noroeste de la carta Tónichi correspondiendo a la parte Este de la Sierra El Aliso y El Encinal (NOLL 1981; BARRERA & DOMINGUEZ, 1987). CRUZ-FRISBY (1989) reporta afloramientos de calizas de edad Paleozoica que se localizan en la parte noroeste del poblado de Río Chico. Estas calizas no han sido fechadas, la edad es tentativa ya que presentan cierto grado de metamorfismo. Estas rocas paleozoicas pueden ser correlacionables al norte, en el área de Rebeico, con la Formación Peña Blanca del Grupo Tinaja (KETNER & NOLL, 1987). BARTOLINI (1988), considera que para esta región tanto el Paleozoico Inferior y Superior, se envuelven en un gran evento orogénico compresivo desde el Pérmico Medio al Triásico Inferior - Medio, resultando estructuras imbricadas. Este episodio se considera contemporáneo a la orogenia Sonoma, correspondiendo las unidades paleozoicas a fragmentos del cinturón orogénico Antler - Sonoma que fue transportado por la falla Mojave - Sonora Megashear. Sobre yaciendo discordante a las rocas paleozoicas se encuentran las rocas mesozoicas que corresponden al Grupo Barranca. Este grupo se subdivide de la base a la cima en las Formaciones Arrayanes, Santa Clara y Coyotes. El Grupo Barranca está representado por rocas clásticas (conglomerados, areniscas, lutitas y capas de carbón).

El Grupo Barranca se localiza en la parte Suroeste de San Antonio de la Huerta formando parte de la Sierra El Encinal y la porción Noreste de la Sierra El Dátil. Aflora también en los arroyos La Nopalera y el Camino de Enmedio en la parte Noreste del poblado de Onavas.

ALENCASTER (1961) reporta sedimentos del Grupo Barranca (Formación Santa Clara) en el arroyo Tarahumara.

BARRERA & DOMINGUEZ (1987), localizan al Grupo Barranca en la Sierra El Aliso y al Norte de San Antonio de la Huerta y San Javier, mientras que CRUZ-FRISBY (1989), reporta su presencia del Grupo Barranca (Formación Santa Clara) en La Nopalera (Noreste de Onavas) al igual que en el área correspondiente a la presente investigación. Estas cuencas de sedimentos clásticos se originaron (STEWART & ROLDAN, 1991), durante el Triásico Superior debido a un proceso transtensional en una ancha zona con desplazamientos de tipo sinistral, registrándose en estas rocas (BARRERA & DOMINGUEZ, 1987) evidencias de deformación compresiva, asociados a la Orogenia Nevadiana.

Sobre estas rocas sedimentarias se encuentran discordantemente una serie de rocas volcánicas denominadas Formación Tarahumara, cuya composición es de andesitas, aglomerados y brechas de color verdoso. Esta formación se distribuye en gran parte en la Sierra de El Encinal

(Suroeste de la carta de Tónichi) y al Norte y Oeste de la Sierra El Dátil. En la parte de Onavas y la Dura aparece a todo lo largo del Río Yaqui.

Esta formación fue reportada por WILSON & ROCHA (1946) para la región de Sta. Clara, mientras que BARRERA & DOMINGUEZ (1987) la reportaron para todo lo largo del Río Yaqui. CRUZ-FRISBY (1989) la reporta en gran porcentaje de área que cubre la carta La Dura. Estas rocas volcánicas se consideran como parte del arco volcánico formado durante el Cretácico Inferior (BARRERA & DOMINGUEZ, 1987), asociándose su deformación a la Orogenia Mesocretácica.

Las rocas preexistentes fueron afectadas por intrusivos que van desde edades de 53 a 62 Ma (DAMON et. al., 1983), cuya composición varía de ácida a intermedia. Estos intrusivos se encuentran en toda la parte oriental de la carta Tónichi y La Dura adyacente a la Formación Báucarit. Estas rocas plutónicas corresponden al Batolito laramídico propuesto por DAMON et. al. (1983).

Sobre estas rocas se encuentran discordantemente las rocas volcánicas de edad Terciario correspondientes al Grupo Volcánico Superior de la Sierra Madre Occidental (Mc DOWELL & CLABAUGH, 1979). Estas rocas se localizan en la parte Norte y Sur del poblado San Antonio de la Huerta y en la parte oriental de la Sierra el Aliso, al Este de la Sierra El Encinal. También se encuentran aflorando en la porción oriental de la carta La Dura. Este magmatismo se considera que fue el paso de un proceso de convergencia de litósferas a un régimen de distensión (Mc DOWELL, 1979) considerándose, que no sufren deformación hasta el Mioceno Medio, donde estas rocas se encuentran basculadas y falladas debido a procesos transtensionales.

Sobreyaciendo a estas rocas volcánicas del Terciario (Oligoceno) se encuentra concordantemente la Formación Báucarit la cual está compuesta por rocas volcánicas y sedimentarias clásticas de edad probablemente Miocénica. Estas rocas afloran en dirección Norte-Sur a todo lo largo del Río Yaqui.

3. ESTRATIGRAFIA

Para el estudio estratigráfico se realizó una cartografía escala 1:25 000 (mapa 3). El área que representa esta cartografía es de aproximadamente 1,848 km² correspondiente a las hojas topográficas de Tónichi y La Dura (ver mapas 1 y 2). Mencionándose las definiciones formales e informales que utilizaron algunos autores que posteriormente se enuncian. En la fig. 3 y 4 se condensa la secuencia estratigráfica del área.

3.1.- PALEOZOICO (Ordovícico). Se encuentra representado por la Unidad San Antonio.

3.1.1.- Unidad San Antonio.

Esta unidad fue definida informalmente por BARRERA & DOMINGUEZ, (1987), dividiéndola en miembro inferior y superior.

En base a sus características litológicas y relaciones estratigráficas encontradas, esta unidad se puede correlacionar con lo descrito por los autores anteriores.

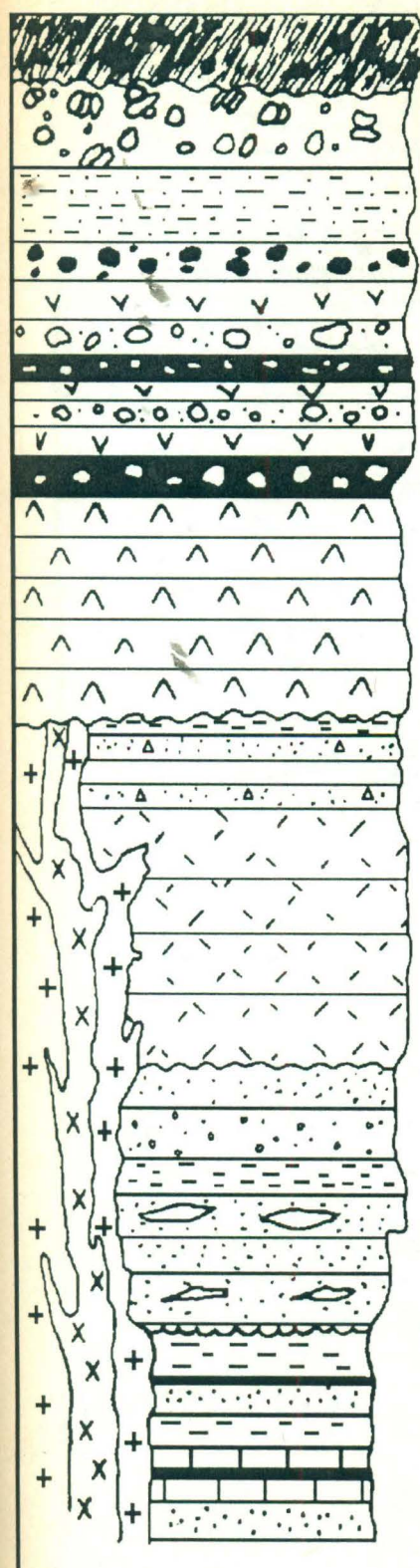
El MIEMBRO INFERIOR consiste en estratos de calizas con bandas de pedernal, lutitas calcáreas, lutitas carbonosas, areniscas calcáreas y de cuarzo. Su edad es Ordovícico Medio-Tardío y aflora en los cerros La Ventana y Toachin, cañadas La Batea y El Aguaje. Todas estas áreas se ubican al Noroeste del poblado de San Antonio de la Huerta (hoja Tónichi).

Este miembro presenta un espesor de 50 m, iniciándose con estratos de calizas y bandas de pedernal (Apéndice, muestra 1) las cuales le dan coloraciones gris claro a oscuro en condiciones de intemperización. Cuando la roca se encuentra fresca su color es gris claro. Se observan estratos que varían de 10 a 50 cm los cuales se encuentran fuertemente plegados (ver foto 1).

Posteriormente le sigue una alternancia de areniscas calcáreas, lutitas calcáreas y lutitas carbonosas. Ambas lutitas presentaron graptolitos de edad Ordovícico Medio (BARRERA & DOMINGUEZ, 1987).

Las areniscas calcáreas y de cuarzo (Apéndice, muestra 2) se presentan en estratos que varían de 10-50 cm respectivamente. Las areniscas calcáreas presentan un color gris claro en superficie fresca y café en roca intemperizada. La arenisca de cuarzo posee una tonalidad blanca en roca fresca y amarillo rojizo en condiciones de alteración.

Las lutitas calcáreas presentan estratos que varían de 5-15 cm, (Apéndice, muestra 3) presentando colores amarillentos en la roca alterada y colores gris en roca no alterada. Las lutitas carbonosas presentan estratos que van de 4-10 cm, con coloraciones negras tanto en rocas intemperizadas como en roca fresca.



- Qa1 Depósitos Aluviales Cuaternarios, Gravas.
- T-B_{III} Conglomerado polymíctico con estratificación horizontal muy fina y clastos imbricados.
- T-B_{II} Conglomerados polymícticos, sostenido por una matriz arenosa, estratificación horizontal gruesa.
- T-B_I Intercalación de Andesitas y Tobas Cristalinas con Conglomerado oligomictico sostenido por una matriz volcánica/sedimentaria, Estructuras masivas.
- Tvs Grupo Volcánico Superior: Gruesa secuencia de Riolitas Ignimbritas, Tobas ácidas y material piroclástico.
- Kvs Secuencia Vulcanosedimentaria: Sedimentos vulcanoclásticos andesíticos-riolíticos asociados a Calizas y Areniscas.
- KT Formación Tarahumara: Brechas, andesitas y piroclastos andesíticos.
- T_RB Formación Arrayanes: Areniscas intercaladas con Lutitas, Conglomerados.
- OSa Unidad San Antonio: Estratos masivos de Cuarcitas, Calizas con bandas de Pederal, Lutitas con horizontes Carbonosas.
- K-Tdg Unidad Intrusiva de Granitos y Dioritas.

Fig. 3 Columna Estratigráfica Hoja Tónichi.

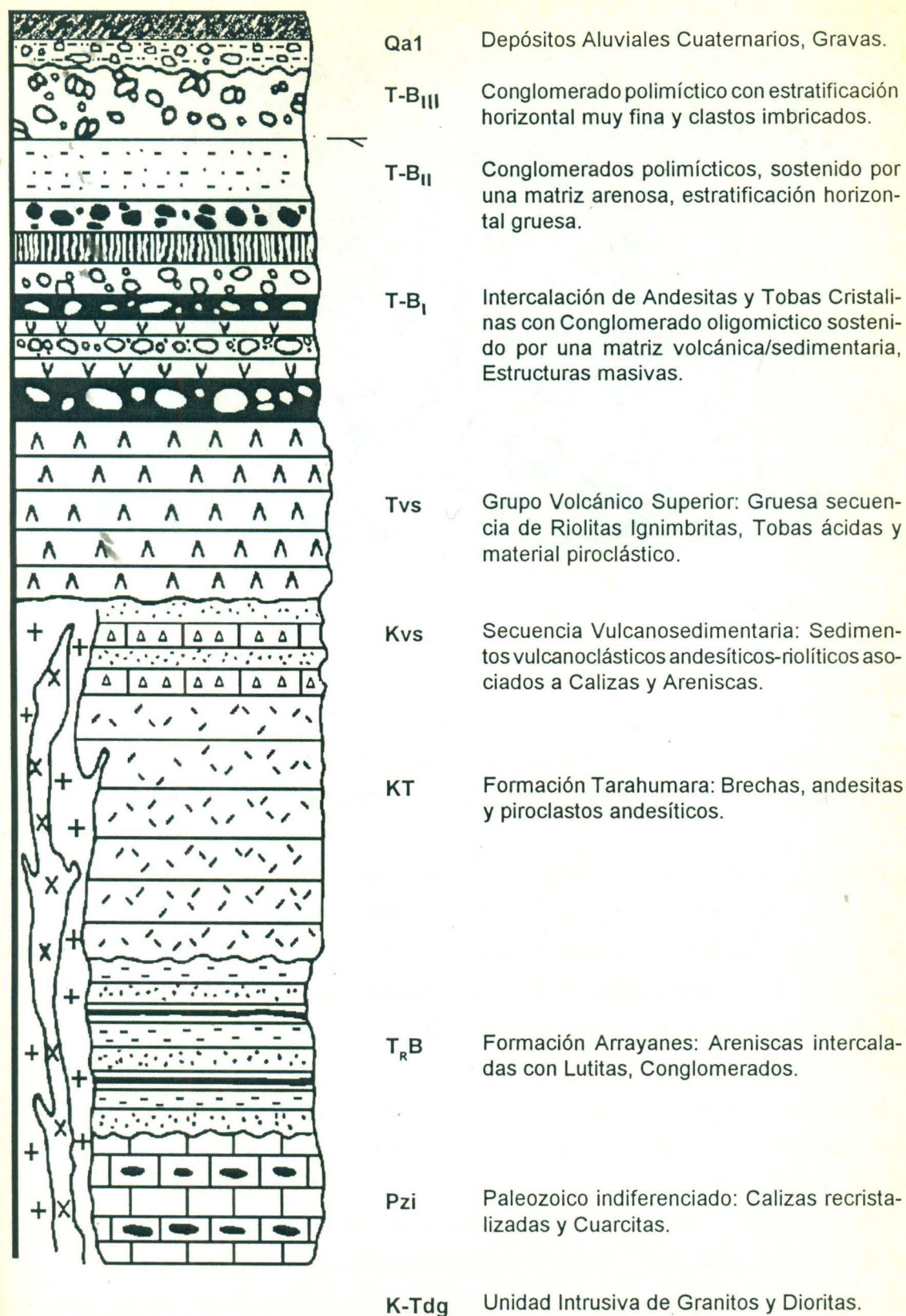


Fig. 4 Columna Estratigráfica Hoja La Dura.

SW

NE

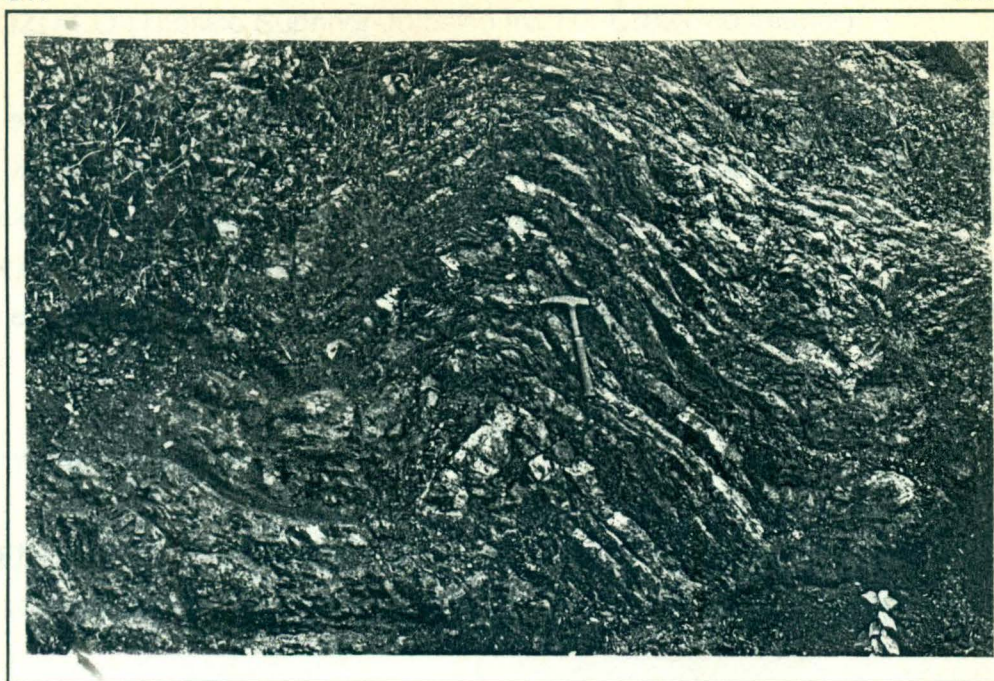


Foto 1. Miembro Inferior de la Unidad San Antonio: Estratos de calizas y pedernal plegados. (28°32'28"-109°38'37").

El MIEMBRO SUPERIOR se encuentra transicionalmente sobre el Miembro Inferior. Consiste en un paquete de areniscas con esporádicas capas de lutitas carbonosas. Afloran al Noroeste de San Antonio de la Huerta.

La arenisca es masiva con un tamaño de grano mediano y grado de clasificación buena. Se ubica como una ortocuarcita, la cual presenta coloración amarillo ocre en roca intemperizada y colores blancos en roca fresca. Tiene estratos que varían de 1 a 7 m. Los pequeños estratos de lutitas carbonosas presenta graptolitos reportados por BARRERA & DOMINGUEZ (1987), quienes le dan una edad de Ordovícico Medio a Tardío. Estos autores reportan un espesor de 130 m para el Miembro Superior.

Se considera que esta unidad pertenece a un ambiente de depósito de zona de plataforma protegida debido a que se manifiesta depositación de sedimentos finos como son limos, arcillas y materia orgánica, correspondiendo probablemente a períodos estacionales donde existían aguas tranquilas o baja energía de corrientes. El material grueso está representado por arenas gruesas y conglomerados que probablemente correspondieron a períodos de alta energía de corrientes.

Esta unidad es correlacionable con la Serie Santa Barbara que aflora en Rebeico, Sonora y localizada al Norte del área de estudio. El miembro superior con la Formación Peña Blanca que pertenece al Grupo Tinaja (KETNER & NOLL, 1987) localizado en el área de Cobachi, Sonora.

3.2.- MESOZOICO (Triásico Superior-Jurásico Inferior-Cretácico Inferior)

Se encuentra representado por un conjunto de rocas sedimentarias de edad Triásico Superior a Jurásico Inferior. Esta constituida por lo que es el Grupo Barranca, el cual se divide en las Formaciones Arrayanes, Santa Clara y Coyotes. El Cretácico está representado por rocas vulcanosedimentarias y volcánicas.

En el área de estudio solo aflora lo correspondiente a la base del Grupo Barranca (Formación Arrayanes, localizado en la hoja Tónichi).

3.2.1.- Formación Arrayanes.

ALENCASTER (1961) define a la Formación Arrayanes como una secuencia de areniscas cuarcíferas con intercalaciones delgadas de lutitas y conglomerados, de edad Triásico Superior en el área.

Esta formación se inicia con estratos potentes (> 1 m) de areniscas (foto 2) de grano grueso (Apéndice, muestra 4). Los conglomerados se presentan en forma de lentes dentro de las areniscas. Las areniscas presentan coloraciones claras tanto en roca fresca como intemperizada.

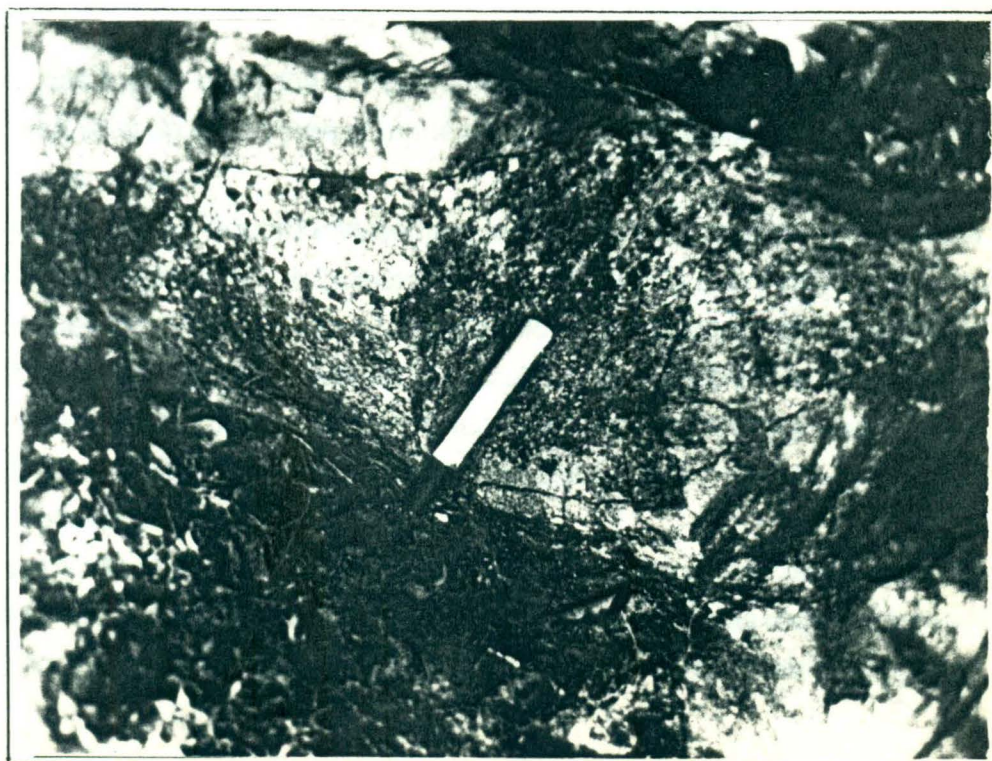


Foto 2. Formación Arrayanes: Areniscas con lentes de microconglomerados (28°36'25"-109°42'19").

Estas coloraciones varían en los estratos de limolitas (Apéndice, muestra 5), ya que se presentan coloraciones verdes y amarillos rojizos en rocas alteradas, mientras que en muestra fresca presentan colores amarillo y gris.

Los afloramientos que se localizan en el área fueron en el arroyo Los Arrayanes y en la Mina Tarahumara a 5 Km al SW del poblado de San Antonio de la Huerta (hoja Tónichi). Esta formación tiene un espesor aproximado de 195 m (medido al norte de la Mina Tarahumara), cubierta discordantemente por rocas volcánicas de la Formación Tarahumara de edad Cretácico Inferior.

El ambiente de depositación para este tipo de rocas aparentemente es de una zona costera donde existía el aporte de material clástico grueso. Podría ser un delta de un río que desembocara en un estuario o laguna costera lo que explica el aporte de materia orgánica registrados en estas rocas. Además, ALENCATER (1961), reporta la existencia de pelecípodos, como *Mytilus* sp. y *Nuculana* sp., así como también, *Dentalium* sp.

ALENCATER (1961) y BARRERA & DOMINGUEZ (1987), relacionan estratigráficamente los sedimentos del Cámico desde Caborca (fig. 5) hasta Santa Clara. Los sedimentos ausentes de carbón, en la correlación de la fig. 5, corresponden a facies neríticas mientras que los que poseen carbón a facies palustres.

3.2.2.- Formación Tarahumara.

Estas rocas fueron definidas formalmente por WILSON & ROCHA (1946), clasificándolas como rocas volcánicas de color verde compuestas de brechas, aglomerados, tobas y coladas que varían de andesita a latita.

Estas rocas cubren discordantemente a la Formación Arrayanes (perteneciente al Grupo Barranca) en los arroyos Hondo e Igualama, a 4 Km al Sur de San Antonio de la Huerta.

En muestras de mano estas rocas son de color verde y textura afanítica (foto 3). En lámina delgada (Apéndice, muestra 6), presenta fenocristales de plagioclasas (oligoclasa - andesina), cuarzo, piritita diseminada, ferromagnesianos, laminillas de homblenda y augita. Esta descripción corresponde a la andesita. Los afloramientos en otras áreas como en La Dura se presentan cloritizados y sericitados.

En el arroyo El Recodo estas rocas se encuentran muy oxidadas y fracturadas dando una apariencia de estratificación, mientras que en el Arroyo Sapuchi estas rocas se presentan en forma de brechas (foto 4), presentando una coloración verdosa con una matriz afanítica.

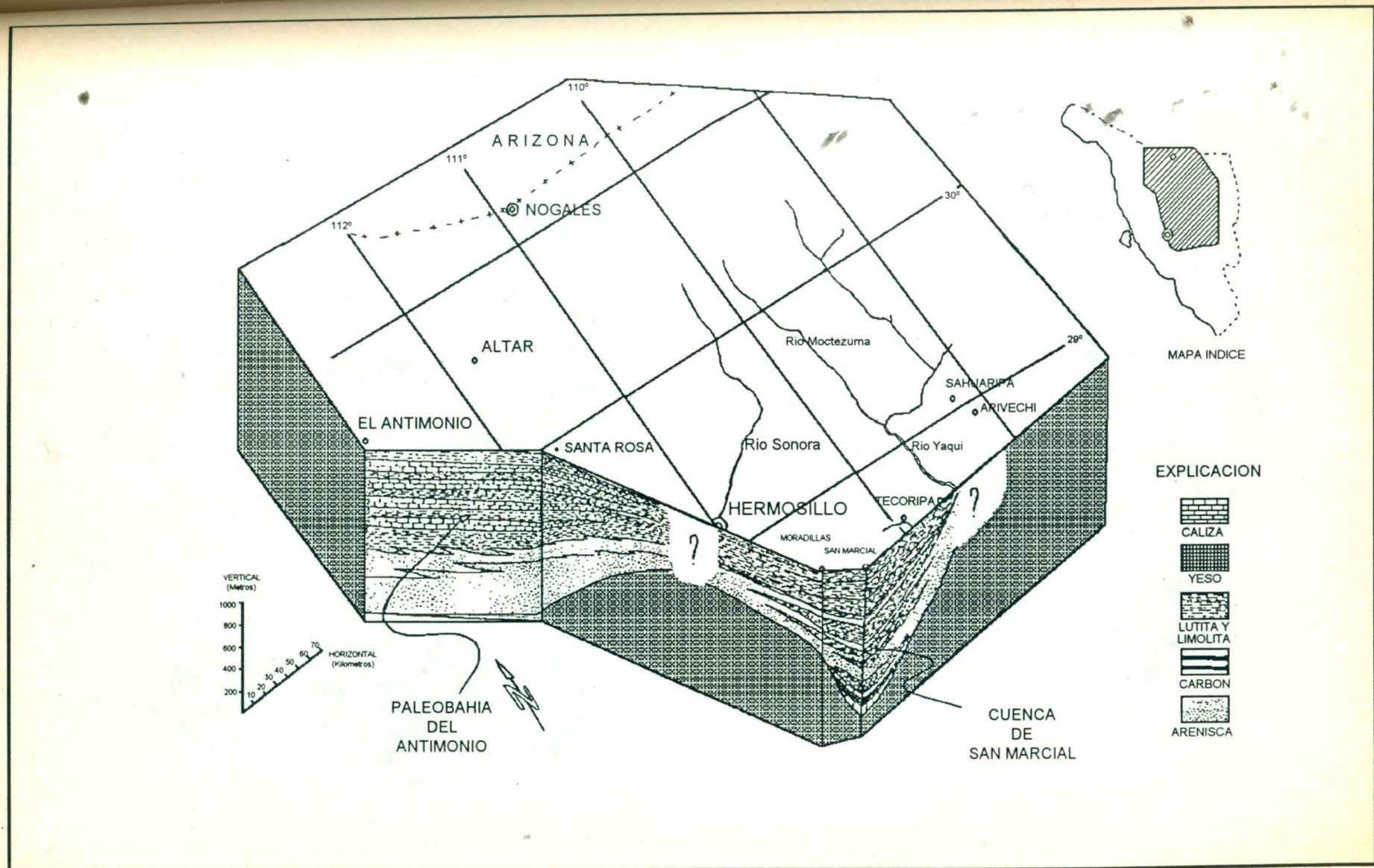


Fig. 5 Correlación Estratigráfica del Cárnico en Sonora (ALENCASER, 1961).

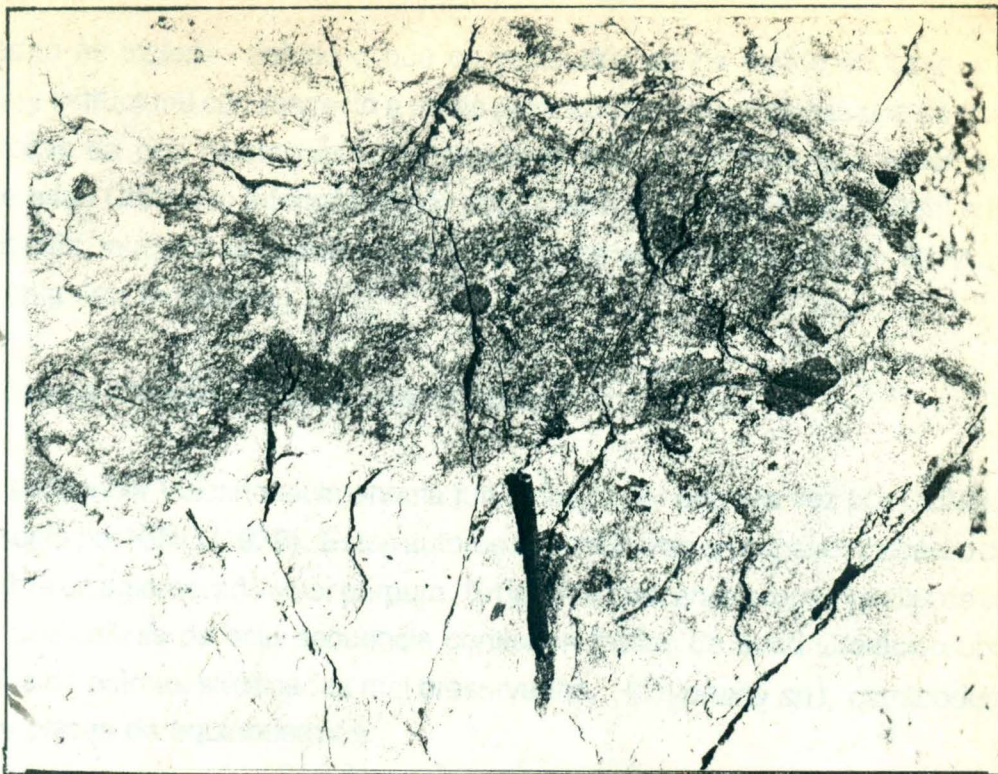


Foto 3. Formación Tarahumara: Roca afanítica de composición andesítica (28°31'45"-109°30'40").

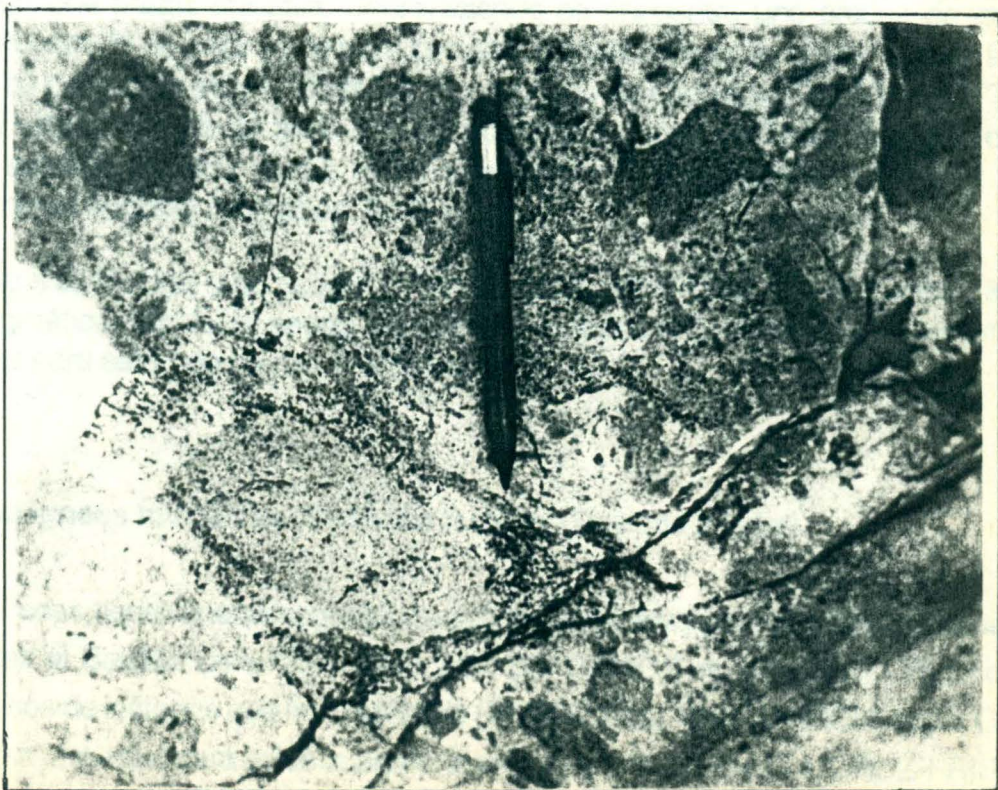


Foto 4. Formación Tarahumara: Roca que corresponde a una brecha de composición andesítica (28°34'14"-109°42'88").

Su edad es incierta debido a que su deducción se ha hecho en base a su posición estratigráfica y estructural con respecto a rocas paleozoicas y mesozoicas que se encuentran en la base, y rocas de una secuencia vulcanosedimentaria en la cima que tienen un contenido faunístico de edad Cretácico Inferior definido por DUMBLE (1900) y KING (1939) en el arroyo el Obispo. Además, intrusiones graníticas de edades que varían entre los 53 - 62 Ma (ROLDAN, 1991), afectan a ésta formación.

3.2.3.- Secuencia Vulcanosedimentaria El Obispo.

Esta secuencia Vulcanosedimentaria fue definida por primera vez por DUMBLE (1900) y después descrita por KING (1939). Estos autores determinaron un espesor calcáreo de 25 m, que descansa sobre un aglomerado color púrpura. En la cima descansan rocas verdes de composición andesítica. Las calizas de esta secuencia contienen fósiles de edad Cretácico observándose pseudoformas de ostreas silicificadas mal preservadas, (*Gryphaea sp.*), ostrácodos del género *Cyprina* y placas de equinodermos.

En el área de estudio se encontró una secuencia vulcanosedimentaria en el Arroyo Sapuchi de aproximadamente 20 m. Consiste de base a cima en una toba color gris claro (Apéndice, muestra 7), con cristales de cuarzo muy angulosos, calcita con probable contenido faunístico (valvas de ostrácodos) y feldespatos muy alterados. Todos estos cristales se encuentran embebidos en una matriz afanítica. Sobreyaciendo se encuentra una arcosa de grano medio (Apéndice, muestra 8) de color verde claro con un contenido mayor de cuarzo que de feldespatos. Los cuarzos se presentan muy fracturados y con golfos de corrosión (WEBB & POTTER, 1969: fig.3). Sobre esta secuencia se tiene una limolita tobácea color verde con cristales de cuarzo y feldespatos subredondeados. Estas rocas presentan una estratificación laminar, descansan discordantemente sobre la Formación Tarahumara.

En base a su litología y su posición considero que estas rocas se encontraban asociadas a un arco magmático donde el aporte de material volcánico y material sedimentario dan las características para este tipo de rocas híbridas.

3.2.4.- Rocas Igneas Intrusivas (Cretácico Superior-Terciario Inferior).

Estas rocas, tienen una composición que varía de granitos y granodioritas hasta cuarzodioritas pertenecientes al Batolito Laramídico propuesto por DAMON et. al. (1983). Algunos estudios geocronológicos de isótopos que han realizado (McDOWELL, 1981; DAMON, 1982; COCHEME, 1985) registran una edad para estos cuerpos ígneos desde 66 a 53.6 Ma, CRUZ-FRISBY (1989). En la fig. 6 se presentan las localidades y sus respectivas edades.

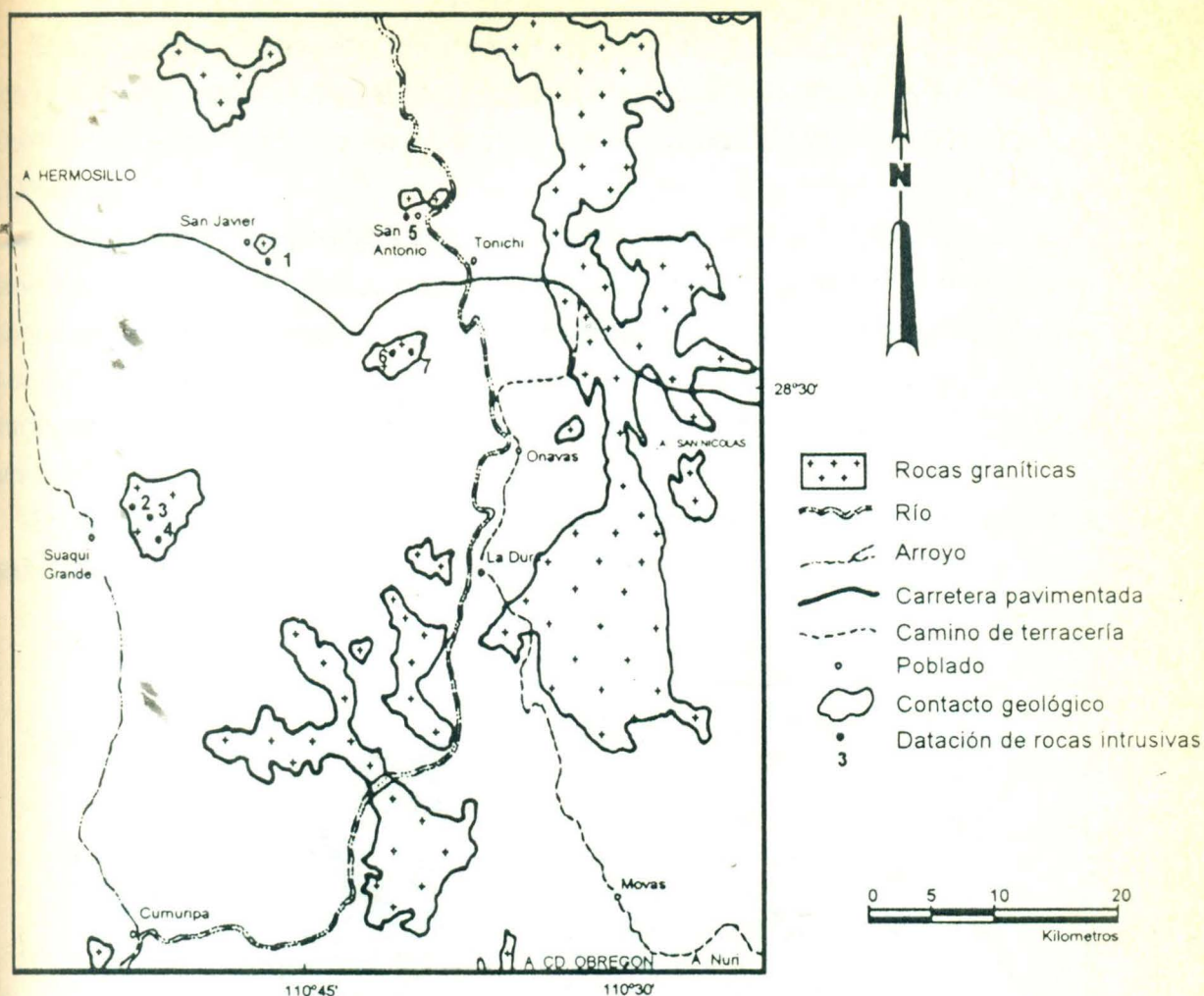


TABLA
DATAACIONES ISOTOPICAS K/Ar

No.	MUESTRA	ROCA	EDAD	REFERENCIA
1	50	Granodiorita	61.2+1.3 66.0+1.7	COCHEME (1985)
2	UAKA-77-126	Tonalita	56.9+1.2	DAMON P. et al. (1983)
3	UAKA-77-128	Cuarzodiorita	56.7+1.1 56.4+1.2	DAMON P. et al. (1983)
4	UAKA-77-127	Granodiorita	58.8+1.3	DAMON P. et al. (1983)
5	51	Microdiorita	57.4+1.4	COCHEME (1985)
6	PED-3-70	Cuarzomonzonita	55.8+1.8	DAMON P. et al. (1983)
7	PED-4-70	Cuarzomonzonita	53.6+1.6	DAMON P. et al. (1983)

Fig. 6 Localización de Intrusivos y sus Respectivas Edades.

En la cartografía realizada, los afloramientos de rocas granítica se identificaron en la Mina Luz del Cobre en el poblado de San Antonio de la Huerta. En la parte Este de Tónichi, en el cerro El Soberbio, este cuerpo ígneo se encuentra aflorando en toda la parte oriental de las hojas Tónichi y La Dura.

Las características petrográficas que presentan estas rocas son (Apéndice, muestra 9): contenido de cuarzo 30%, feldespato potásico 40%, plagioclasas 20%. Este último mineral y la homblenda se encuentran saussuritizada (hidrotermalismo). La homblenda además se encuentra muy cloritizada y epidotizada. La roca correspondiente a esta descripción es la de granito; las coloraciones que se presentan en roca fresca son claras, mientras que en roca alterada son amarillo ocre.

En algunos lugares estas rocas presentan una gran cantidad de diques aplíticos y andesíticos (foto 5).

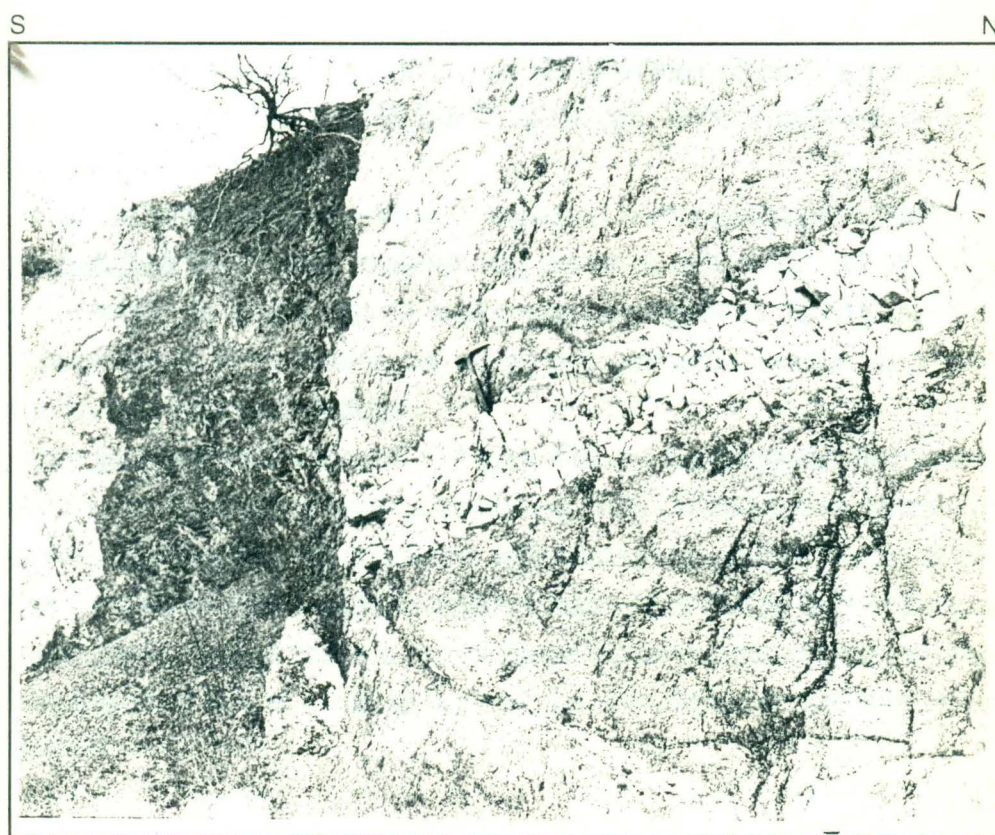


Foto 5. Roca ígnea intrusiva correspondiente a un granito que muestra diques aplíticos y andesíticos ($28^{\circ}30' - 109^{\circ}32'18''$).

Estos intrusivos afectan tanto a rocas paleozoicas como mesozoicas, pero se encuentran cubiertas en forma discordante por rocas del Complejo Volcánico Superior y por la Formación Báucarit.

La microdiorita encontrada en San Antonio de la Huerta se considera del Terciario Inferior (DAMON, 1983). En algunos otros lugares su composición varía predominando la cuarzomonzonita (CRUZ-FRISBY, 1989) y siguiéndole la diorita y posteriormente tonalitas porfídicas. La localización de estos cuerpos es fácil de detectar debido a la intensa zona de alteración que presentan. Ejemplo de esto se observa en las minas ubicadas a los alrededores de los poblados La Dura y San Antonio de la Huerta.

3.3.- CENOZOICO (Oligoceno - Mioceno - Plioceno).

3.3.1.- Supergrupo Volcánico Superior (Oligoceno - Mioceno Inferior).

Estas rocas están definidas como una gran carpeta de lavas riolíticas, ignimbritas y tobas líticas que son denominadas por McDOWELL & CLABAUGH (1979) como "Supergrupo Volcánico Superior", correspondiente al vulcanismo de la Sierra Madre Occidental. Sus edades radiométricas varían de 22 ± 2 a 34 ± 2 Ma (McDOWELL & CLABAUGH, 1979), asociándose estas rocas a la formación de calderas.

Estas rocas se caracterizan por tener la siguiente composición petrográfica:

Toba Ignimbrítica (Apéndice, muestra 10): presenta una estructura vitrofídica y textura isotropa con una matriz de grano fino, la cual presenta pequeñas flamas sin ningún arreglo preferencial. Se observan fenocristales de cuarzo con corrosión parcial, fragmentos de roca, calcita y muscovita que rellena cavidades.

Toba Granular (Apéndice, muestra 11): presenta una composición de cuarzo, plagioclasa y vidrio volcánico, apreciándose los granos como una arenisca con coloraciones violetas.

Estas rocas se presentan en una forma repetitiva de tobas ignimbritas, andesitas y toba granular a lo largo de los arroyos Hondo, Hornitos y Sapuchi al Sur de San Antonio de la Huerta.

El contacto inferior que se observó con el Grupo Vulcanosedimentario y el Grupo Barranca fue discordante, mientras que el contacto superior se considera concordante con lo que es la Formación Báucarit.

3.3.2.- Formación Báucarit (Mioceno Medio - Plioceno).

Esta formación fue definida originalmente por Dumble (1900) como división Báucari. Posteriormente KING, (1939) la eleva al rango de Formación Báucarit corrigiendo el vocablo de Báucari a Báucarit. Se define como una serie de arenas, arenas arcillosas y conglomerados con una estratificación muy marcada (DUMBLE, 1900).

Estas secuencias clásticas se encuentran en contacto normal con respecto al Complejo Volcánico Superior. Esto se observó en el Arroyo Sapuchi aunque en otras áreas el contacto es estructural, ya sea con los intrusivos o con el Complejo Volcánico Inferior (Formación Tarahumara).

Las características que presenta este conglomerado son: clastos subredondeados con tamaños que varían de 4 a 23 cm. La composición petrográfica de los clastos cambia a lo largo de toda la cuenca dependiendo del tipo de roca que se tenga hacia los márgenes de la cuenca, pero de manera general, se puede decir que la composición porcentual de los clastos es de mayor a menor conforme se enumeran: andesitas, tobas, brechas volcánicas, granitos, cuarcitas y calizas. Dentro del patrón de estructuras sedimentarias que presenta esta formación se observan grietas de desecación y muy pocas direcciones de corrientes imbricadas. En cuanto a la composición mineralógica de su matriz se puede decir que la constituye cuarzo, feldespatos, montmorillonita, illita y heulandita.

En el área cartografiada 1:25,000 (Anexo, mapa 3), no se presentan estratos de areniscas, estos solo se presentan hacia la parte sur.

El área que abarca esta formación es de aproximadamente 270 km², con un espesor de 150.30 m, según BARRERA & DOMINGUEZ, (1987), extendiéndose a todo lo largo de las hojas topográficas Tónichi y La Dura escala 1:50,000 (Anexo, mapa 1 y 2).

3.4.- CUATERNARIO.

El tipo de sedimentos que representan a este período son depósitos aluviales que cubren discordantemente a rocas más antiguas. Estos depósitos se encuentran en mayor proporción a lo largo del Río Yaqui. Los sedimentos se presentan en forma de abanicos aluviales, los cuales tienen características de terrazas, canales, zonas meándricas, etc. El tamaño de los sedimentos va desde arcillas hasta guijarros. Los clastos varían en su composición dependiendo de la cercanía de la roca madre.

En estos depósitos se encontraron restos de vertebrados que fueron identificados por FRANZEN (comunicación personal). El primer hallazgo fue en un lugar conocido como Las Pilas enfrente del poblado de Onavas, identificándose como un falange de *Equus* sp., de edad Pleistoceno. El segundo hallazgo fue a 3 km al Suroeste del poblado Onavas, definiéndose como vértebras y costillas de *Equus* sp. (foto 6), también de edad Pleistoceno.

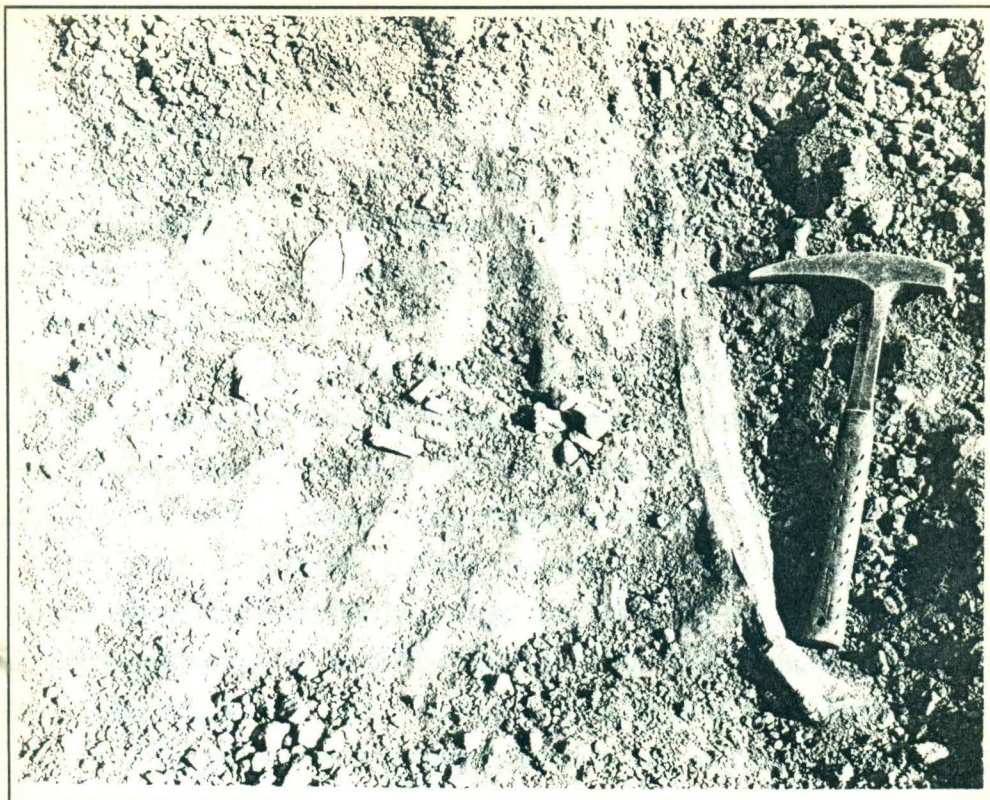


Foto 6. Vértabras de *Equus* sp. en depósitos de aluvión del Pleistoceno (28°27'10" - 109°32'18").

4. GEOLOGIA ESTRUCTURAL

Estructuralmente el Estado de Sonora se presenta de una manera muy compleja. Existe una considerable cantidad de información de diversos autores (DAMON et. al., 1981; CHAULOT-TALMON, 1984; COCHEME, 1985; BARRERA & DOMINGUEZ, 1987; CRUZ-FRISBY, 1989; ROLDAN, 1991, etc.). Sin embargo, particularmente en el área de estudio no se han realizado trabajos estructurales a detalle.

En este trabajo se incluye acerca de las estructuras regionales, además de las locales encontradas en la cartografía 1:25,000 realizada en el área de estudio (ver plano 3).

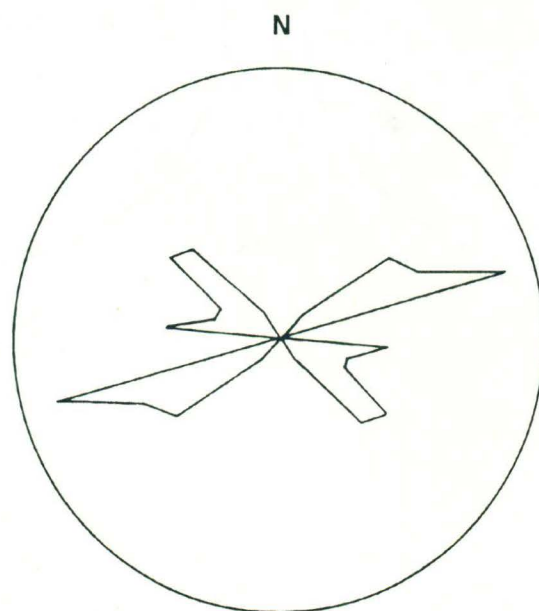
Regionalmente se observa el comportamiento de estructuras (lineamientos) que presentan una orientación Noroeste y otra Noreste. Los rumbos se agrupan en mayor porcentaje entre 45° - 75° y 130° - 155° respectivamente. Este comportamiento se puede observar en la fig. 7.

Cronológicamente se iniciará con las estructuras más antiguas. Estas se observan en rocas del Ordovícico correspondientes a la Unidad San Antonio. Estas rocas se presentan con una orientación en su estratificación 0° - 20° , con un echado hacia el Este. Esto se puede observar en la fig. 8. Estas rocas presentan una deformación continua y discontinua. La deformación continua se manifiesta en forma de plegamiento, pero no se encontraron en el área de estudio. La deformación discontinua corresponde a fallamientos y fracturamiento con orientaciones preferenciales Norte a Noroeste.

Esta secuencia no se considera alóctona (BARRERA & DOMINGUEZ, 1987). Se encuentra cabalgando sobre rocas paleozóicas más jóvenes en la Sierra Encinal. Es difícil deducir sus eventos tectónicos; sin embargo, en base a su fracturamiento y plegamiento podría presentarse una fase D1 correspondiente a una serie de cabalgamientos que trajo como consecuencia gran cantidad de fallas imbricadas (BARTOLINI, 1988). Este evento orogénico ocurrió probablemente en el Permo-Triásico (POOLE & MADRID,

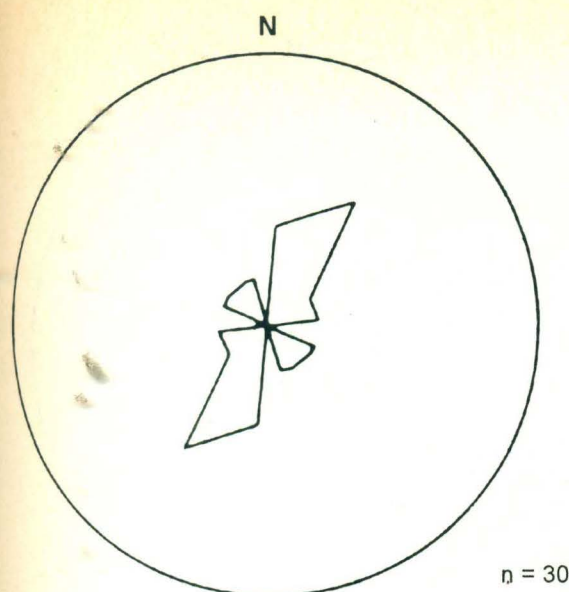
La secuencia correspondiente al Grupo Barranca presenta una estratificación con orientación de Noroeste a Noreste (fig. 9) con un echado hacia el Este. Se observa una deformación discontinua reflejando un fallamiento y fracturamiento. El patrón de este último es muy variado ya que presenta una orientación tanto al Noroeste como al Noreste, fig. 9. El fracturamiento Noreste corresponde probablemente a un fallamiento inverso (transpresional) fase de deformación D2, mientras el observado en dirección Noroeste a un fallamiento de tipo normal (transtensional) asociado a una fase de deformación D3.

Por último existe también un fracturamiento no tan marcado casi Nor-Noreste entre 0° - 20° que probablemente corresponde a un fallamiento a rumbo.



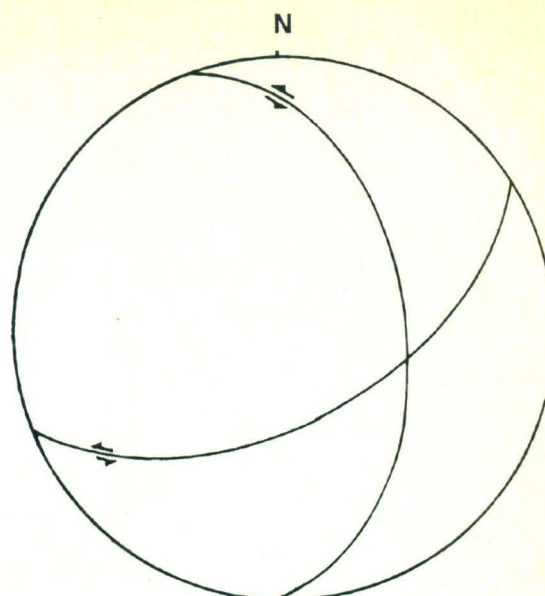
RUMBOS DE LINEAMIENTO
n = 369

Fig. 7 Orientación a Nivel Regional (Carta Tonichi y La Dura).

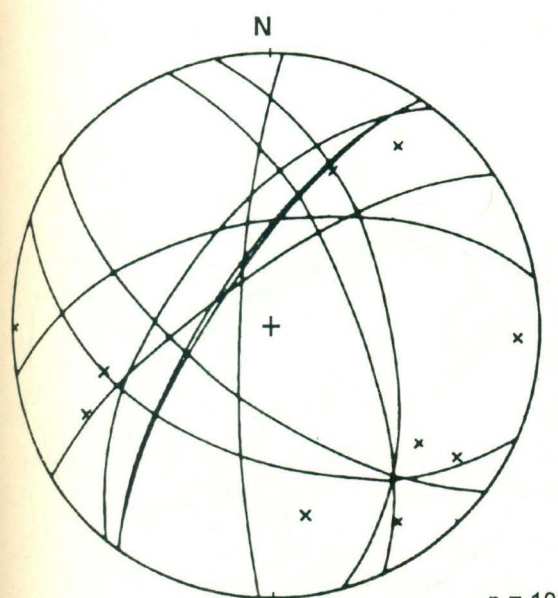


RUMBOS DE
FRACTURACION

$n = 30$

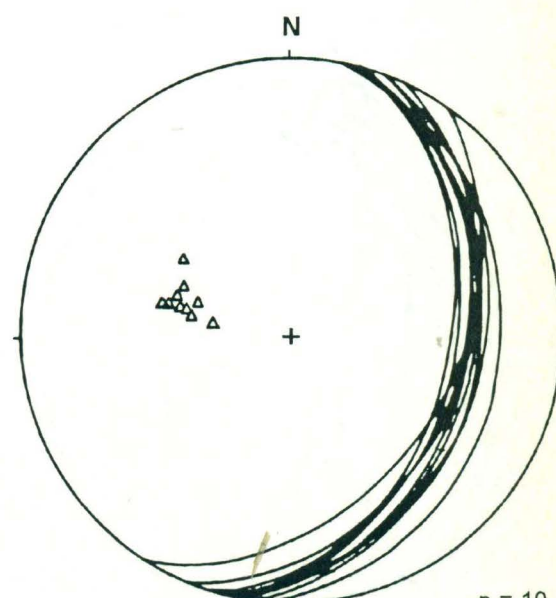


FALLAS
(A RUMBO)



FRACTURACION

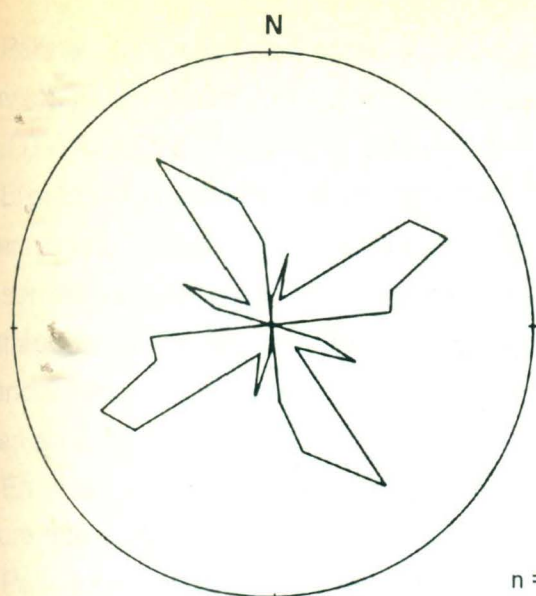
$n = 10$



ESTRATIFICACION

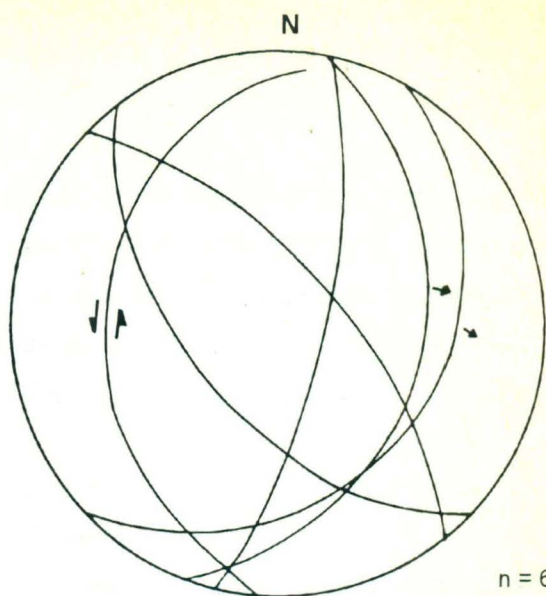
$n = 10$

Fig. 8 Estructuras de la Unidad San Antonio (Datos tomados en Las Cañadas, La Batea y El Aguaje).



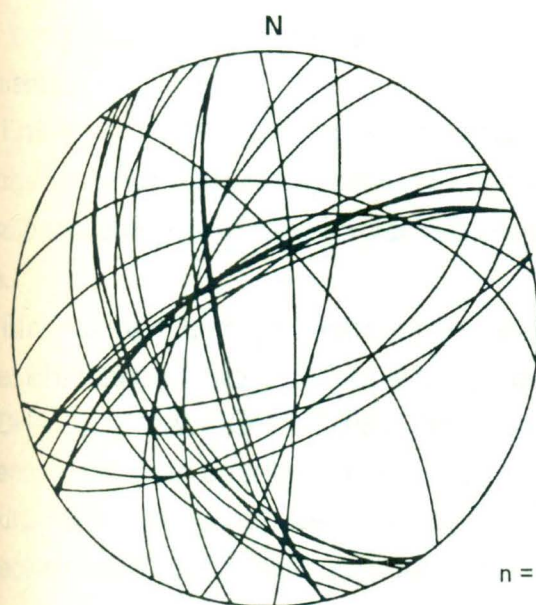
RUMBOS DE
FRACTURACION

n = 67



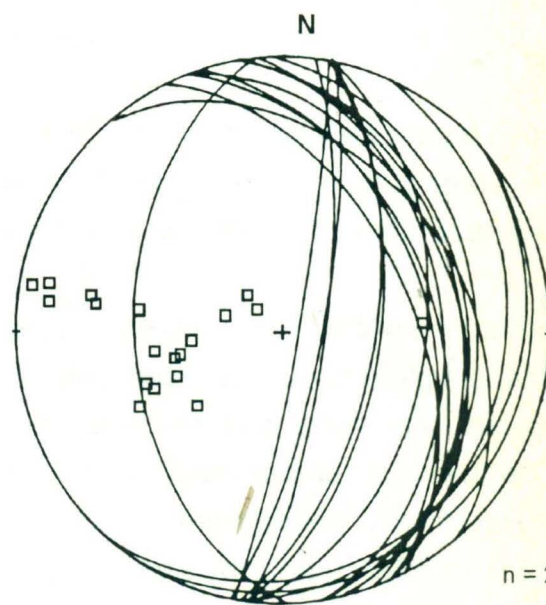
FALLAS
(NORMALES Y A RUMBO)

n = 6



FRACTURACION

n = 33



ESTRATIFICACION

n = 20

Fig. 9 Estructura de la Formación Arrayanes (Datos tomados en el Arroyo Los Arrayanes).

Para la Formación Tarahumara se tiene registrado poca cantidad de datos, los cuales son insuficientes para interpretar alguna fase de deformación. Sin embargo, algunos autores como CHAULOT-TALMON (1984) le asocia una fase compresiva.

El patrón de fracturamiento no es confiable, además, el diaclasamiento por enfriamiento no pudo ser medido debido a que estas rocas se presentan muy masivas y sus afloramientos en el campo son escasos. El fracturamiento más importante tiene una orientación Nor-Noreste (fig. 10), concentrándose el rumbo en mayor porcentaje en el rango de 0° - 10° . El segundo de menor importancia tiene una orientación Noreste-Suroeste (fig. 10). Los planos de fracturamiento se observan en la fig. 10.

En cuanto al patrón de deformación de los granitos no pudo ser observada ninguna estructura que pudiera dar evidencias de algún inicio de fase de deformación.

Para las rocas del Supergrupo Volcánico Superior existe una gran cantidad de datos que indican eventos de deformación.

El patrón de fracturamiento se presenta en la fig. 11. Se observa una dirección de fracturamiento en el cual prevalece un echado hacia el Nor-Noreste entre 0° - 10° . Le sigue el Noroeste entre los 40° - 50° y por último el Noreste agrupado en 50° - 60° .

Para diferenciar con mayor facilidad se mostraron los patrones de fracturamiento y diaclasamiento por enfriamiento tanto para coladas andesíticas como para ignimbritas en un solo afloramiento.

En la fig. 11a se aprecia un patrón de diaclasamiento por enfriamiento para andesitas el cual tiene una orientación Noroeste (casi Norte) con echados hacia el Este. Para las rocas ignimbríticas, en un solo afloramiento se tiene un diaclasamiento por enfriamiento muy similar al de las andesitas, fig. 11b.

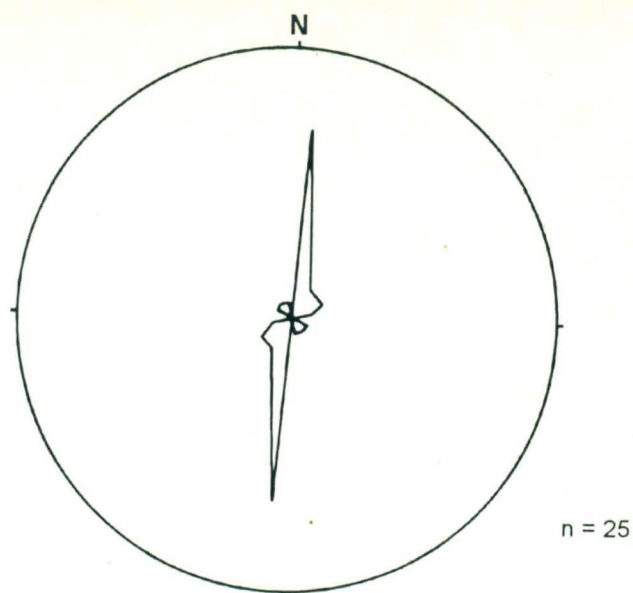
El comportamiento del fracturamiento y fallamiento, uno es Noroeste, otro Norte y un tercero Noreste. El fracturamiento Noroeste está asociado a un fallamiento normal, el cual algunos autores como CHAULOT-DALMONT, (1984; fig. 110 B) lo asocia a una fase extensional que da un fallamiento normal con orientación Noroeste para rocas ignimbríticas cercanas al área de estudio. El fracturamiento orientado hacia el Norte probablemente es el mismo fallamiento normal, pero con una rotación de 20° - 30° provocado por un fallamiento a rumbo de tipo dextral. Este fallamiento está representado por fracturamiento con orientación Noreste. Por último se tiene un fracturamiento y fallamiento con una orientación Noroeste más joven asociado a fallas a rumbo de tipo sinistral.

Resumiendo, para este grupo volcánico puede estar afectado por tres eventos de fallamiento, los cuales son cronológicamente los siguientes: D3, D4, D5.

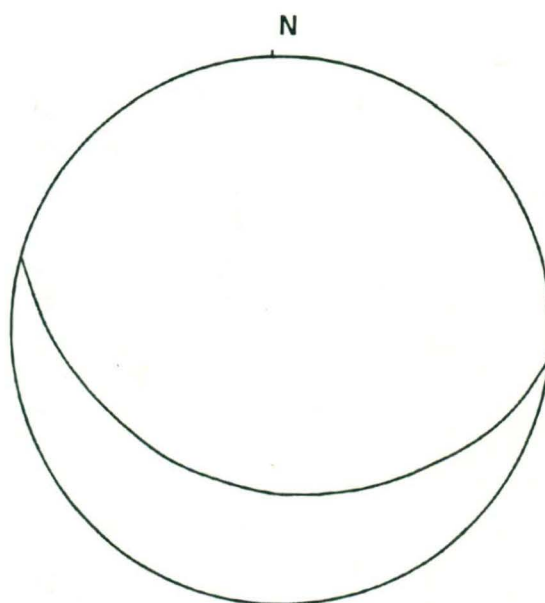
D3.- Fallamiento normal Norte-Noroeste.

D4.- Fallamiento a rumbo de tipo dextral con orientación Noreste.

D5.- Fallamiento a rumbo con orientación Noroeste de tipo sinistral que probablemente reactivó fallas antiguas como las de rumbo (dextrales).

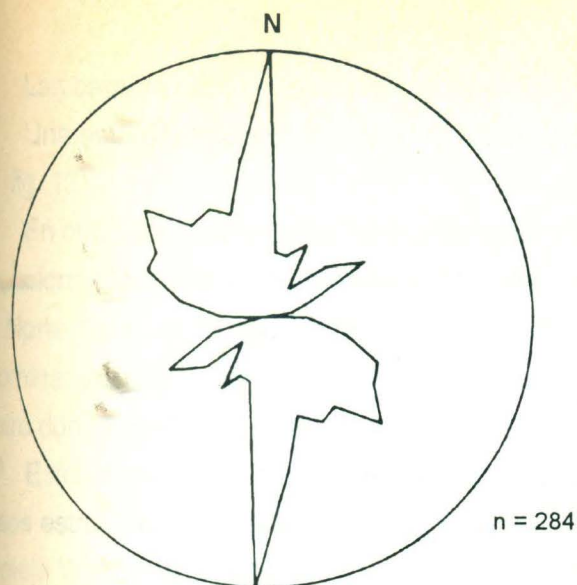


RUMBOS DE
FRACTURACION

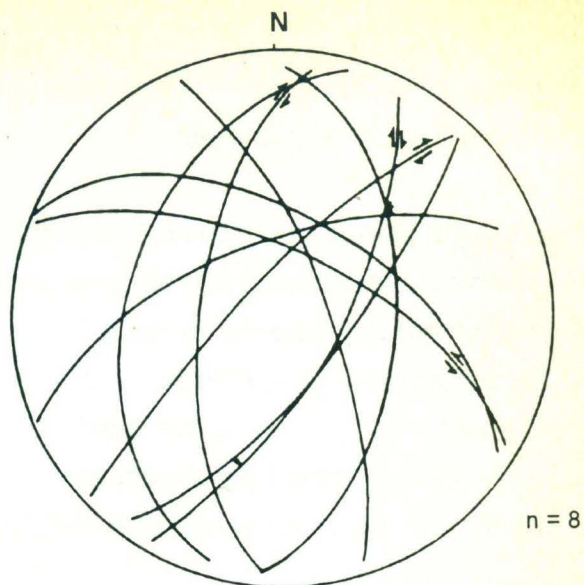


1 FALLA

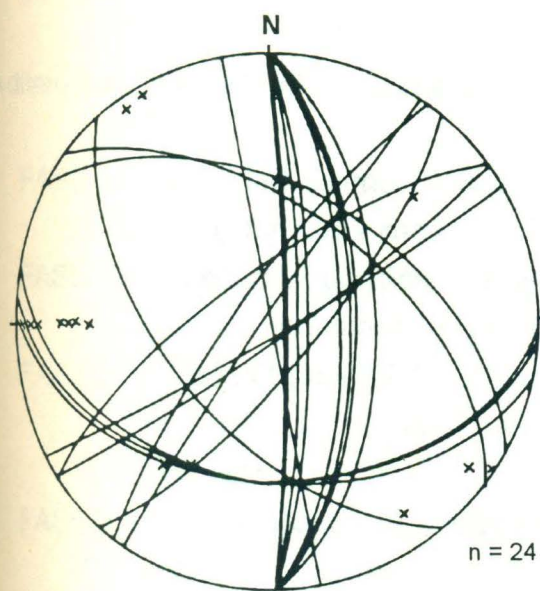
Fig. 10 Estructuras de la Formación Tarahumara (Datos tomados en la Mesa de El Saltito y en El Cajón).



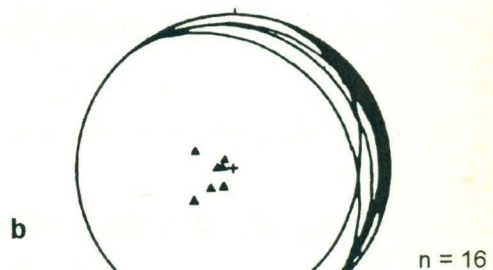
RUMBOS DE
FRACTURACION



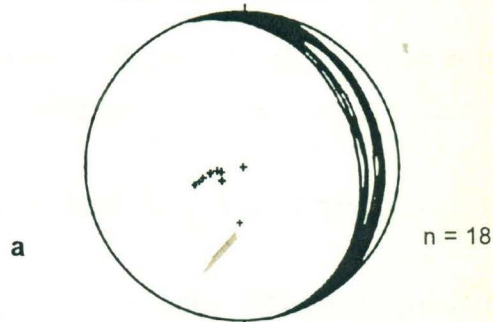
FALLAS
(NORMALES Y A RUMBO)



FRACTURACION



COLADA IGNIMBRITAS



COLADA ANDESITAS

Fig. 11 Estructuras del Complejo Volcánico Superior (Datos tomados en los arroyos Sapuchi, Hornitos y La Igualama).

Las características estructurales que presenta la Formación Báucarit son las siguientes:

Una estratificación con una orientación Noroeste (casi Norte), con un buzamiento hacia el Este (fig. 12).

En cuanto a su fracturamiento se puede decir que existen varios patrones; a continuación se mencionan los más predominantes: Noroeste, cuyo rango de mayor agrupación es de 20° - 30° . El Norte tiene un rango de 0° - 10° y existen otros dos patrones de fracturamiento menos predominantes que los anteriores y son Noreste con una acumulación de datos entre los 20° - 40° y el otro con una dirección preferencial Noroeste el cual tiene mayor cantidad de datos entre 50° - 60° . Estos patrones de fracturamiento se relacionan estructuralmente al tipo de fallamiento. Los eventos estructurales que dieron lugar a este fracturamiento son los mismos que afectaron al Complejo Volcánico Superior.

D3.- El fracturamiento Norte-Noroeste corresponde a un fallamiento normal (fig.12).

D4.- Fracturamiento Noreste asociado a fallas a rumbo tipo dextral (sucedio una reactivación posterior) (fig. 12).

D5.- El fracturamiento Noroeste corresponde a un fallamiento a rumbo sinistral (fig. 12).

Los diferentes eventos tectónicos registrados pueden concluirse en la siguiente manera (fig. 13):

FASE D1. De edad Perno-Triásica: se manifiesta con grandes cabalgamientos que produjeron fallas imbricadas y plegamiento.

FASE D2. De edad Laramídica: manifestándose como compresión que dió lugar a fallas inversas con dirección Noreste.

FASE D3. De edad Terciario Inferior tardío (Oligoceno - Mioceno Medio): se manifiesta una extensión que da como resultado un fallamiento normal con dirección Norte-Noroeste.

FASE D4. De edad Mioceno Superior: se registra un fallamiento a rumbo de tipo dextral con orientación Noreste.

FASE D5. Mioceno Superior: fallamiento a rumbo con dirección Noroeste tipo sinistral.

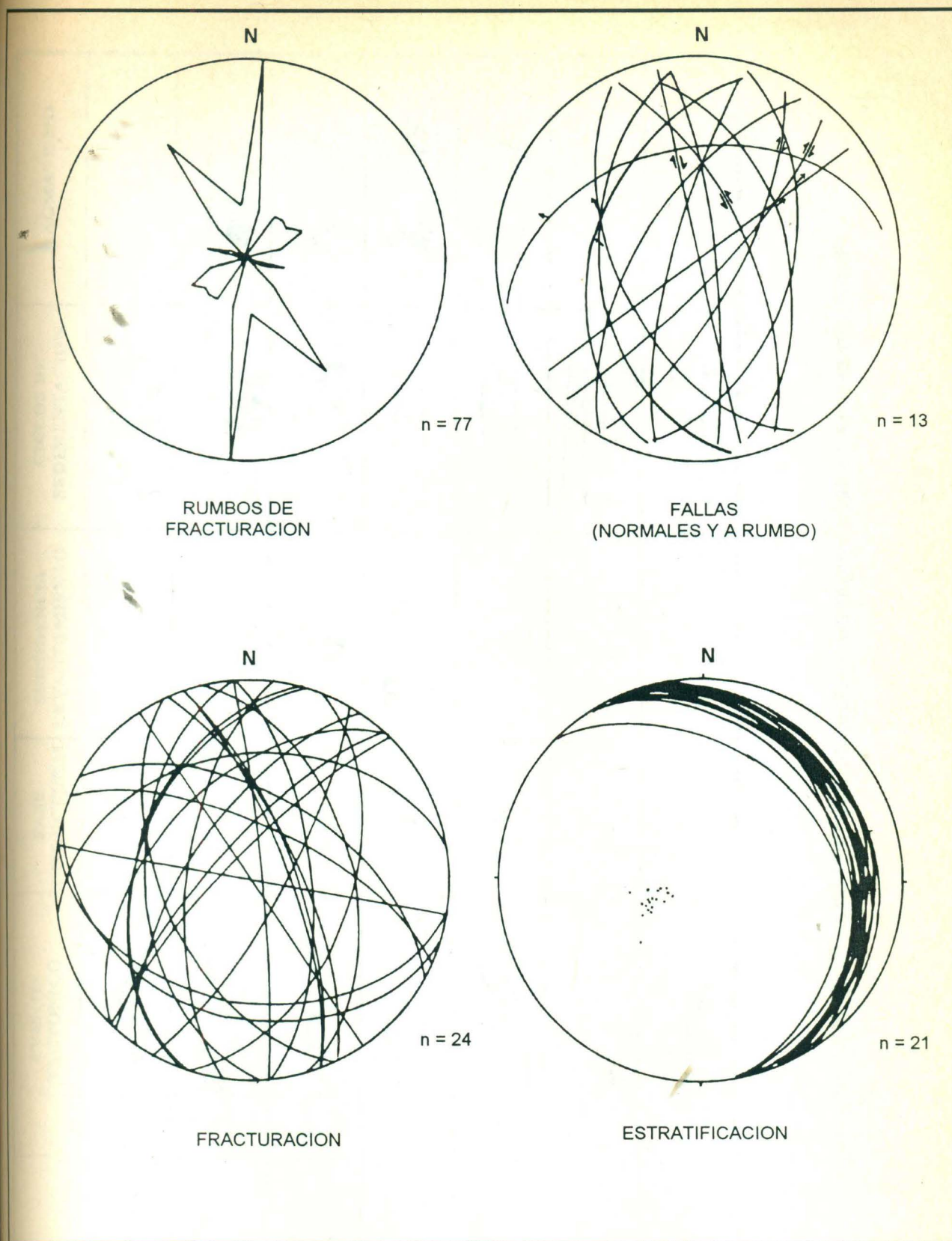


Fig. 12 Estructuras de la Formación Báucarit (Datos tomados en los arroyos Sapuchi, Obispo, y Recodo).

EDAD	EVENTO TECTONICO	FASE ESTRUCTURAL	SUBSIDENCIA LEVANTAMIENTO	CICLOS DE SEDIMENTACION	MAGMATISMO
PLIOCENO A MIOCENO SUPERIOR		D ₅	?		?
MIOCENO SUPERIOR A MIOCENO MEDIO		D ₄	?		
MIOCENO MEDIO OLIGOCENO		D ₃			
TERCIARIO INFERIOR CRETACICO SUPERIOR		D ₂			
CRETACICO INFERIOR JURASICO SUPERIOR		?			
JURASICO MEDIO TRIASICO		?			?
TRIASICO - PERMICO		D ₁			?

Fig. 13 Representación gráfica de los eventos tectónicos registrados en el área de estudio.

5. SEDIMENTOLOGIA Y PETROGRAFIA DE LA FORMACION BAUCARIT

El estudio se realizó para un total de 4 secciones (fig. 14), tomadas a lo largo del área de estudio. Estas secuencias tienen una orientación oeste-este. Se considera que el límite inferior para la Formación Báucarit es la fase final del vulcanismo de la Sierra Madre Occidental, empezando con secuencias de tobas cristalinas y coladas andesíticas. El límite superior se considera estratos de rocas clásticas, casi horizontales y que se encuentran poco compactados. En cada una de las secciones se describen las características estratigráficas haciéndose descripciones en cada cambio litológico.

Posteriormente se analiza cada una de las unidades correspondientes a los depósitos clásticos, considerados como parte de la Formación Báucarit, correspondiendo el primer número a la columna, y el segundo a la unidad que le correspondió a cada depósito clástico en el muestreo.

Los resultados se presentan en láminas 1-4, conteniendo datos estratigráficos, granulométricos, composición porcentual de los clastos y análisis de difracción de rayos X. Este último análisis fue para la matriz de algunas unidades clásticas, siendo la finalidad de definir el tipo de asociación paragenética que se tiene o bien, determinar si existe metamorfismo de bajo grado, en base a zeolitas.

5.1.- Sección el Salto.

Esta secuencia (Lámina 1, fig.1), hacia la base empieza con una roca volcánica con un espesor de 1765 m y composición correspondiente a una toba cristalina (Apéndice, muestra 12). Esta roca presenta una coloración guinda dando la apariencia de un aglomerado de clastos redondeados a bien redondeados con tamaños que varían desde 3 hasta 300 cm. Sobre esta unidad se encuentra un conglomerado oligomítico con un espesor de 8 m. Se compone de clastos de las tobas cristalinas con tamaños que varían de 0.5 a 5 cm. Estos clastos presentan formas redondeadas con matriz arenosa. Sobreyasciendo a esta secuencia se encuentra concordantemente un sedimento más fino que corresponde a una arcosa lítica (Apéndice, muestra 13), con un espesor de 10 m de coloración rojiza. Posee estructuras laminares y estratificación cruzada. Siguiendo a esta secuencia se encuentra normalmente una limolita (Apéndice, muestra 14), con espesor de 22 m, coloración guinda y estratificación planar. Discordantemente a esta unidad (foto 7) se tiene una secuencia de sedimentos más jóvenes con un espesor de 531 m. Esta secuencia tiene alternancia de sedimento grueso y fino. La fracción gruesa es un conglomerado polimítico cuyos clastos varían de 1 a 22 cm con formas subangulosas a subredondeadas. La fracción fina es litarenita feldespática (Apéndice, muestra 15) de coloraciones de gris claro a beige. Toda la secuencia presenta una estructura gradacional positiva.

En cuanto a la composición litológica a la que pertenecen los clastos de cada uno de los conglomerados que se analizaron, se caracterizó su matriz por difracción de rayos x. Estos análisis se realizaron para cada una de las secciones estudiadas. También se incluyen las características granulométricas de cada unidad estudiada.

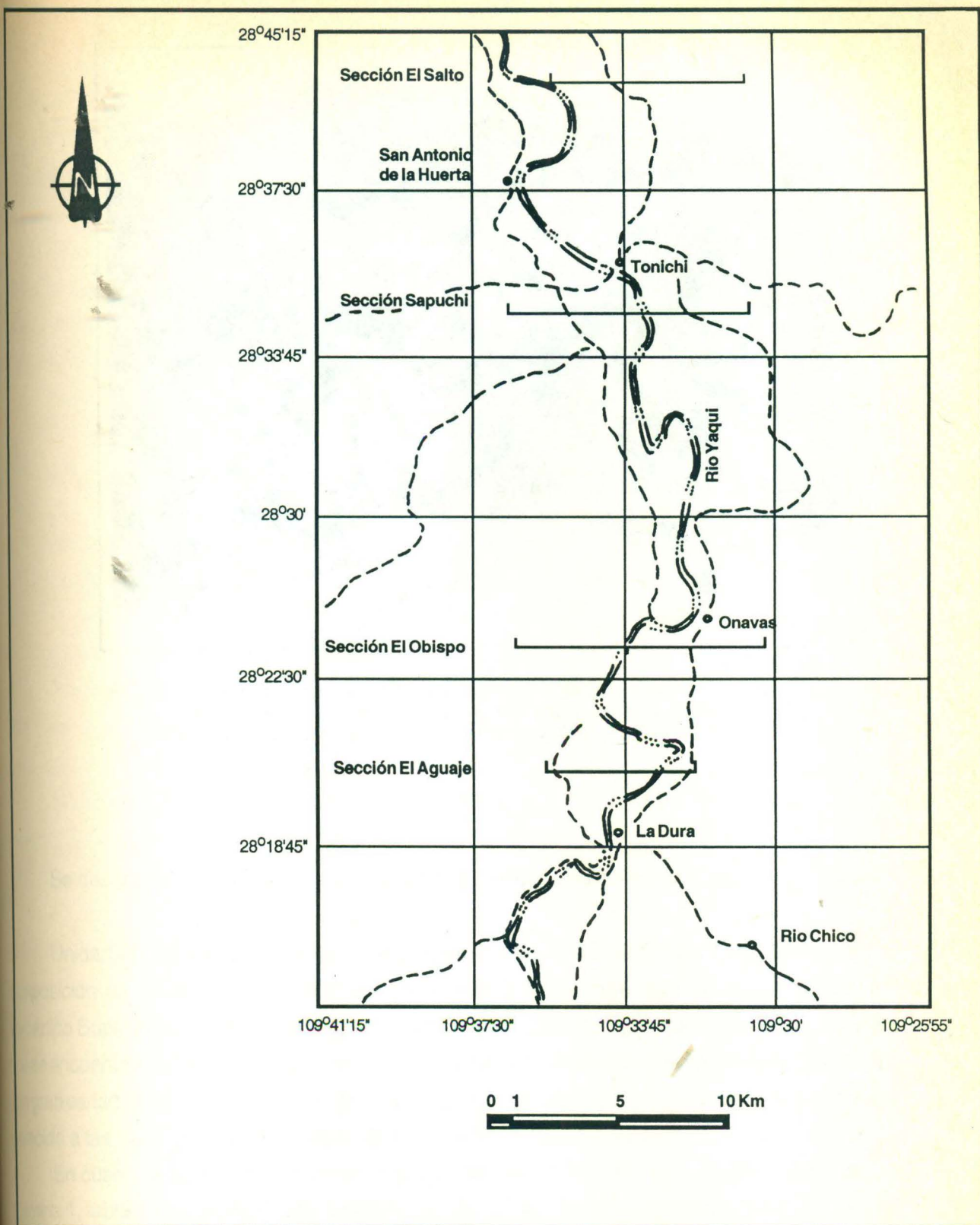


Fig. 14 Localización de las Cuatro Secciones en el Area de Estudio.



Foto 7. Estratos inclinados de la Formación Báucarit (Facies II). Hacia el lado derecho en la parte superior se observan estratos horizontales de la Formación Báucarit (Facies III). (28° 39' 54" - 109° 34' 48")

Se describen a continuación las unidades correspondientes a la sección El Salto.

Unidad 1/1. Este conglomerado se presenta con un 85% (lámina 1, fig. 2) de clastos cuya composición es de tobas cristalinas con una coloración guinda que corresponde al Complejo Volcánico Superior; un 15% de clastos de composición granítica producto del Batolito Laramídico que se encuentran a los alrededores del área de estudio. La matriz se presenta muy oxidada (Fe_2O_3) con gran cantidad de fragmentos de roca y poco contenido de cuarzo. Se presenta una textura muy parecida a las de una toba lítica (Apéndice, muestra 16).

En cuanto a sus características granulométricas presenta un tamaño medio de 3.17 cm (Lámina 1, tabla 1), con una mala clasificación. Su sesgo es asimétrico hacia los tamaños finos y una curtosis muy leptocúrtica.

Unidad 1/2. Este conglomerado presenta un 68% de clastos que corresponde a tobas cristalinas del Complejo Volcánico Superior (Lámina 1, fig.2); un 29% que son de cuarcitas, y un 3% correspondiente a pedernal. Estos clastos pertenecen a rocas aledañas a la cuenca.

La matriz que se presenta para esta muestra (Lámina 1, fig. 3) es: cuarzo, albita, montmorillonita y heulandita.

Presenta un tamaño medio de 7.4 cm (Lámina 1, tabla 1), es extremadamente mal clasificada, sesgado hacia los tamaños gruesos y extremadamente leptocúrtica.

Unidad 1/3 . Este conglomerado presenta un 77% de clastos correspondientes a una toba cristalina del Complejo Volcánico Superior (Lámina 1, fig. 2); un 23% a cuarcitas, correspondientes probablemente a rocas paleozoicas de la Unidad San Antonio que se encuentran aflorando a los alrededores de ésta área.

La matriz que se presenta tiene las mismas características que la Unidad 1/2.

Los clastos tienen un tamaño medio de 10 cm (Lámina 1, tabla 1) extremadamente mal clasificada, asimétrico hacia los tamaños gruesos y extremadamente leptocúrtica.

Unidad 1/4 . Para este conglomerado se tiene un 67% de clastos que corresponden a tobas del Complejo Volcánico Superior (Lámina 1, fig. 2); un 22% son atribuidos a andesitas también del Complejo Volcánico Superior, y un 11% a cuarcitas.

La matriz presenta la misma composición petrográfica como la Unidad 1/2.

Presenta un tamaño medio de 5.52 cm (Lámina 1, tabla 1), con una mala clasificación, asimétrico hacia los tamaños gruesos y extremadamente leptocúrtica.

Unidad 1/4¹ Esta muestra se caracteriza por ser una litarenita feldespática (Apéndice, muestra 15), cuyos componentes mineralógicos (Lámina 1, fig. 3) son: cuarzo, albita, montmorillonita y heulandita.

Presenta un tamaño medio de 0.31 mm (Lámina 1, tabla 1), con una muy buena clasificación, asimetría hacia los tamaños finos y una curtosis platicúrtica.

5.2.- Sección Sapuchi.

Esta sección se presenta hacia la base (Lámina 2, fig. 1) con un paquete de tobas riolíticas de coloración blanquecina (Apéndice, muestra 10), correspondiente al Complejo Volcánico Superior. En algunas partes se observa ésta muy deleznable. Sobre ésta secuencia se encuentra una brecha volcánica de composición andesítica (Apéndice, muestra 17), con una coloración verde claro y espesor de 31 m. Concordantemente a ésta roca se encuentra una secuencia de tobas cristalinas (Apéndice, muestra 18) color guinda con coladas andesíticas (Apéndice, muestra 19) de coloración verde oscuro y un conglomerado oligomíctico con clastos angulosos a subangulosos

con una matriz limo-arcillosa. Estos clastos representan el 40% de la muestra, tienen una clasificación pobre y están sostenidos en una matriz que presenta una coloración beige. Esta secuencia tiene un espesor total de 163 m con cuatro repeticiones de la secuencia descrita. Sobre estas rocas se encuentra transicionalmente una secuencia clástica de 306 m. Los primeros 33 m corresponden a un conglomerado oligomítico con clastos subredondeados que representan un 80% en la parte inferior mientras que la parte superior solo se tiene un 40% de clastos. Estos clastos están sostenidos en una matriz areno-limosa. Sobre la anterior secuencia le sigue un espesor de 273 m de una alternancia de material grueso y fino. El material grueso corresponde a un conglomerado polimítico de clastos subredondeados. La secuencia de sedimento fino corresponde a una litarenita (Apéndice, muestra 20), presentándose estratos de 1 a 5 m con coloraciones café claro. Sobre esta secuencia se encuentra discordantemente (angular) un conglomerado polimítico con un espesor de 562 m con clastos subredondeados que representan el 50% de la muestra. En algunos lugares estos clastos evidencian una dirección de corriente imbricada. En ocasiones se observan pequeños lentes (40 cm) de sedimento fino que presentan una estratificación horizontal bien marcada.

Unidad 2/3. Este conglomerado se caracteriza por tener un 100% de clastos correspondientes al Complejo Volcánico Superior (Lámina 2, fig. 2), de los cuales el 67% tiene una composición andesítica y el 33% a tobas cristalinas. En su matriz presenta cuarzo, albita, montmorillonita y heulandita (Lámina 2, fig. 3).

Presenta un tamaño medio de 4.57 cm (Lámina 2, tabla 1), con una mala clasificación, sesgado hacia los tamaños gruesos y curtosis leptocúrtica.

Unidad 2/4. Se caracteriza por tener clastos que corresponden en un 100% al Complejo Volcánico Superior (Lámina 2, fig. 2). Estos clastos son tobas cristalinas de composición andesítica con matriz similar a la Unidad 2/3.

Este conglomerado tiene un tamaño medio de 11.1 cm (Lámina 2, tabla 1), extremadamente mal clasificado, muy sesgado hacia los tamaños finos y una curtosis extremadamente leptocúrtica.

Unidad 2/6. Este conglomerado presenta clastos que corresponden en un 100% al Complejo Volcánico Superior (Lámina 2, fig. 2). Tiene composición de tipo andesítica (Apéndice, muestra 22), con matriz que corresponde a una litarenita.

Se presenta con un tamaño medio de 6.72 cm (Lámina 2, tabla 1), con una muy mala clasificación, muy sesgado hacia los tamaños finos y una curtosis extremadamente leptocúrtica.

Unidad 2/7. Los clastos de este conglomerado pertenecen en un 100% al Complejo Volcánico Superior (Lámina 2, fig. 2), con un 73 % de composición andesítica y un 27 % a tobas cristalinas de composición andesítica, en una matriz areno-limosa.

Se caracteriza por tener un tamaño medio de 8.45 cm (Lámina 2, tabla 1), con una muy mala clasificación, muy sesgado hacia los tamaños finos y una curtosis extremadamente leptocúrtica.

Unidad 2/8. La composición para este conglomerado es variada, (Lámina 2, fig. 2) correspondiendo un 37 % para tobas y 37 % para andesitas, ambos del Complejo Volcánico Superior. Esta composición se complementa con 16 % de granito., 5 % de cuarcita y un 5 % de andesita del Complejo Volcánico Inferior. La matriz corresponde a un sedimento areno-limoso.

Tiene un tamaño de 4.17 cm (Lámina 2, tabla 1), con una muy mala clasificación, muy sesgado hacia los tamaños finos y una curtosis extremadamente leptocúrtica.

Unidad 2/9. Este conglomerado presenta un 80 % de clastos cuya composición es de una toba cristalina que corresponde al Complejo Volcánico Superior (Lámina 2, fig. 2), 10% a granito y un 10% a andesitas también del Complejo Volcánico Inferior. La matriz es de cuarzo, albita, montmorillonita y heulandita (Lámina 2, fig. 3).

Presenta un tamaño medio de 5.9 cm (Lámina 2, tabla 1), una muy mala clasificación, muy sesgado hacia los tamaños finos y una curtosis extremadamente leptocúrtica.

Unidad 2/10. Esta secuencia de sedimentos corresponde a una litarenita (Apéndice, muestra 21), la cual está denominada porcentualmente por fragmentos de roca volcánica, siguiéndole el cuarzo y por último los feldespatos, en una matriz arcillosa de composición montmorillonita y heulandita, representando aproximadamente el 15 %.

Tiene un tamaño medio de 0.162 cm (Lámina 2, tabla 1), con una muy buena clasificación, un sesgo asimétrico y una curtosis platicúrtica.

Unidad 2/11. Este conglomerado presenta un 50% de clastos que corresponden a tobas del Complejo Volcánico Superior (Lámina 2, fig. 2), 23% a andesitas del Complejo Volcánico Inferior, 18 % a granito y 9 % a cuarcita. Se presenta una matriz que corresponde a una litarenita con la siguiente mineralogía (Lámina 2, fig. 3): cuarzo, albita, montmorillonita, illita y heulandita.

Presenta un tamaño medio de 7.93 cm (Lámina 2, tabla 1), una extremadamente mala clasificación, muy sesgado hacia los tamaños finos y una curtosis extremadamente leptocúrtica.

5.3.- Sección el Obispo.

Esta secuencia empieza hacia la base con un paquete de rocas volcánicas (Lámina 3, fig. 1) de 43 m cuya composición es andesítica (Apéndice, muestra 23), color rojizo manifestándose en forma de silla. Sobreyaciendo a esta roca se encuentra una brecha andesítica (Apéndice, muestra 22), cuyo espesor es de 130 m. Le sigue una roca volcánica cuya composición es la de una traquiandesita (Apéndice, muestra 24), con un espesor de 212 m y una coloración guinda que dá la misma apariencia física de las tobas cristalinas de las secciones anteriores. Sobreyaciendo a estas rocas se tiene una colada de aproximadamente 130 m, cuya composición corresponde también a una traquiandesita (Apéndice, muestra 24). Le sigue concordantemente una secuencia clástica de 264 m correspondiente a un conglomerado oligomítico. Cuyos clastos son subredondeados representando un 40 % de clastos sostenidos en una matriz probablemente de origen volcánico de coloración rojiza. Le continúa una secuencia de material fino (10 m) hacia la parte superior el cual es una toba lítica (Apéndice, muestra 25) cuya composición es igual a la matriz del conglomerado descrito anteriormente. Sobreyaciendo a la roca anterior se encuentra una traquiandesita (Apéndice, muestra 26), con un espesor de 214 m. Sobre ésta roca se encuentra concordantemente una secuencia de 74 m de espesor correspondiente a un conglomerado polimítico con clastos subredondeados y un 30% de clastos sostenidos en una matriz igual al del conglomerado anterior. Siguiendo a ésta secuencia se tiene un espesor de 358 m correspondiente a una traquiandesita (Apéndice, muestra 26). Sobreyaciendo a esta roca se encuentra un espesor de 359 m de conglomerado y probablemente existen las mismas rocas volcánicas anteriores que no pudieron ser analizadas debido a que una colada basáltica cubre a este espesor de la columna. Sobre las anteriores rocas, que no pudieron ser analizadas, se encuentra un espesor de 73 m de sedimento fino (arena-limo), con pequeños estratos (10 cm) de microconglomerado. El sedimento fino es una litarenita de grano grueso (Apéndice, muestra 27), presentando un aspecto masivo sin ninguna laminación o estratificación cruzada. Sobre este sedimento se tiene concordantemente una colada de 42 m, cuya composición es de una traquiandesita. Sobreyaciendo concordantemente a la anterior roca se encuentra un conglomerado oligomítico de 41 m de espesor con clastos subredondeados representando el 20 % y sostenidos en una matriz arenosa. Sobreyaciendo a esta secuencia se encuentra una traquiandesita de 29 m de espesor. Le sigue una secuencia de 65 m de espesor que corresponde a un conglomerado oligomítico con clastos subredondeados que representan el 10 % y que se encuentran sostenidos en una matriz arenosa. Sobre esta secuencia existe un paquete de 44 m de sedimento fino con estratos de 2 a 3 m. Su composición pertenece a una litarenita de grano grueso (Apéndice, muestra 27), presentándose masivamente. Concordantemente a esta roca le sigue una colada de 48 m de espesor, cuya composición es de una traquiandesita. Le continúa concordantemente un sedimento clástico de 69 m de espesor, cuya

clasificación es de un conglomerado polimíctico con clastos subangulosos que representan un 40% de clastos sostenidos en una matriz arenosa. Concordantemente a esta secuencia se encuentra una colada basáltica (Apéndice, muestra 29). Siguiendo a esta secuencia se encuentra una alternancia de sedimento grueso y fino. El sedimento grueso corresponde a un conglomerado polimíctico con clastos subredondeados que representan un 30 % de clastos sostenidos en una matriz areno-limosa. El sedimento fino corresponde a una arcosa lítica (Apéndice, muestra 28), presentado una estructura masiva. Este espesor clástico tiene una gradación positiva. Discordantemente se encuentra un conglomerado polimíctico con un espesor de 607 m. Posee un 50 % de clastos subangulosos a subredondeados sostenidos en una matriz granular (granos < 1 cm). Este conglomerado presenta en algunos lugares dirección de corriente imbricada.

Unidad 3/1. Este conglomerado presenta un 53% de clastos que corresponden a una toba cristalina y un 24 % a traquiandesita correspondientes ambos al Complejo Volcánico Superior (Lámina 3, fig.2). Se complementa con 12 % de composición andesítica del Complejo Volcánico Superior y un 11 % corresponde a pedernal proveniente de la Unidad San Antonio. La matriz se caracteriza por ser una toba lítica (Apéndice, muestra 25).

Este conglomerado tiene un tamaño medio de clastos de 10.5 cm (Lámina 3, tabla 1), una extremadamente mala clasificación, muy sesgado hacia los tamaños finos y una curtosis que es extremadamente leptocúrtica.

Unidad 3/2. Esta presenta un 81 % de clastos que corresponden a la toba cristalina del Complejo Volcánico Superior y un 19 % que pertenecen a traquiandesita del mismo complejo (Lámina 3, fig. 2). La matriz corresponde a una toba lítica al igual que la Unidad 3/1.

Esta unidad contiene un tamaño medio de sus clastos de 7.2 cm (Lámina 3, tabla 1), es extremadamente mal clasificada, sesgada hacia los tamaños finos y una curtosis extremadamente leptocúrtica.

Unidad 3/3. La composición de los clastos de este conglomerado pertenecen en un 82 % a tobas cristalinas y un 18 % a andesitas (Lámina 3, fig. 2). Ambas rocas son del Complejo Volcánico Superior y las une una matriz correspondiente a una litarenita de grano grueso (Apéndice, muestra 27). Este conglomerado tiene un tamaño medio de 8.36 cm (Lámina 3, tabla 1), extremadamente mal clasificado, sesgado hacia los tamaños finos y una curtosis muy leptocúrtica.

Unidad 3/4. Este conglomerado se caracteriza por que el 100 % de sus clastos pertenece a una toba cristalina del Complejo Volcánico Superior (Lámina 3, fig. 2). La composición de la matriz pertenece a una litarenita de grano grueso (Apéndice, muestra 27).

Presenta un tamaño medio de 5.96 cm (Lámina 3, tabla 1), muy mala clasificación, extremadamente sesgado hacia los tamaños finos y una curtosis extremadamente leptocúrtica.

Unidad 3/5. Este conglomerado presenta una composición muy variada en sus clastos. Corresponde un 35% a tobas cristalinas y 29% a traquiandesitas del Complejo Volcánico Superior (Lámina 3, fig. 2). Se complementa con un 24% de andesitas del Complejo Volcánico Inferior y 12% de clastos cuya composición no fue posible determinar. La matriz tiene una composición mineralógica, según el análisis de rayos x (Lámina 3, fig. 3), de: cuarzo, albita, montmorillonita, heulandita.

Posee un tamaño medio de 10.23 cm (Lámina 3, tabla 1), extremadamente mal clasificado, extremadamente sesgado hacia los finos y una curtosis muy leptocúrtica.

Unidad 3/6. La composición para este conglomerado, es muy variada. Corresponde un 65% a tobas cristalinas y 22% a traquiandesitas (Lámina 3, fig. 2), ambas del Complejo Volcánico Superior. Se complementa con un 4% de composición andesítica del Complejo Volcánico Inferior, otro 4% de cuarcitas de rocas paleozoicas y un 4% a rocas no analizadas. La matriz que presenta esta muestra es igual a la Unidad 3/5.

El tamaño medio de este conglomerado es de 5.93 cm (Lámina 3, tabla 1), extremadamente mal clasificado, extremadamente sesgado hacia los tamaños finos y con una curtosis muy leptocúrtica.

Unidad 3/7. El mayor porcentaje de los clastos en este conglomerado corresponde a una arenisca lítica del Grupo Barranca representando un 42% (Lámina 3, fig. 2). Un 38% corresponde a tobas del Complejo Volcánico Superior, 13% a limolitas y un 8% a lutitas carbonosas; siendo estos dos últimos pertenecientes al Grupo Barranca (Fm. Santa Clara).

Este conglomerado se presenta con un tamaño medio de 7.89 cm (Lámina 3, tabla 1), con una muy mala clasificación, extremadamente sesgado hacia los tamaños finos y con una curtosis extremadamente leptocúrtica.

5.4.- Sección el Aguaje.

Esta sección (Lámina 4, fig. 1), empieza en la base con una repetición de coladas traquiandesitas (Apéndice, muestra 30), color guinda y andesitas (Apéndice, muestra 31) color verde oscuro. Este paquete tiene un espesor de 873 m. Sobreyaciendo a esta roca se encuentra

una secuencia de sedimento grueso con un espesor de 34 m. Este sedimento corresponde a un conglomerado oligomítico que tiene el 50% de clastos subangulosos sostenidos en una matriz que pertenece a una toba lítica (Apéndice, muestra 32). Concordantemente a esta secuencia se encuentra un espesor de 27 m de traquiandesita (Apéndice, muestra 30) de coloración verde oscuro. Sobreyaciendo a esta roca se encuentra concordantemente una secuencia de sedimento grueso y fino con un espesor de 1525 m. El sedimento grueso corresponde a un conglomerado polimítico con un 25% de clastos subredondeados a redondados sostenidos en una matriz arenolimsa. El sedimento fino se caracteriza por ser una literanita (Apéndice, muestra 33), presentándose masivamente en estratos que varían de 1 a 3 m. La coloración que presenta esta secuencia es una tonalidad caqui. Sobre esta secuencia clástica se encuentra discordantemente (angular) un espesor de 181 m de un conglomerado polimítico con un 30% de clastos subredondeados de coloración beige y estratificación horizontal.

Unidad 4/1. Este conglomerado se caracteriza por tener un 100% de clastos que corresponden al Complejo Volcánico Superior (Lámina 4, fig. 2). De estos, un 75% pertenecen a traquiandesitas (Apéndice, muestra 34), un 25% son andesitas (Apéndice, muestra 31). La matriz pertenece a una toba lítica (Apéndice, muestra 32).

Este conglomerado presenta un tamaño medio de 5.65 cm (Lámina 4, tabla 7), extremadamente mal clasificado, muy sesgado hacia los tamaños finos y una curtosis muy leptocúrtica.

Unidad 4/2. Los clastos que aquí se presentan tienen los siguientes porcentajes y composición: 64% son traquiandesitas (Lámina 4, fig. 2), 23% a andesitas, ambos del Complejo Volcánico Superior y un 14% pertenece a granito. La matriz que presenta este conglomerado corresponde a una toba lítica (Apéndice, muestra 32).

Presenta un tamaño medio de 6.9 cm (Lámina 4, tabla 1), muy mala clasificación, muy sesgado hacia los tamaños finos y una curtosis extremadamente leptocúrtica.

Unidad 4/3. La composición de los clastos de este conglomerado es el siguiente: 53% son andesitas (Lámina 4, fig. 2), 42% traquiandesitas, ambos del Complejo Volcánico Superior, y un 5% de granito. La matriz corresponde a un microconglomerado cuyos componentes son los mismos del conglomerado.

Se caracteriza por tener un tamaño medio de 9.26 cm (Lámina 4, tabla 1), extremadamente mal clasificado, muy sesgado hacia los tamaños finos y una curtosis extremadamente leptocúrtica.

Unidad 4/3. Esta secuencia se caracteriza por poseer un sedimento fino clasificado como una literanita feldespática (Apéndice, muestra 33) con una matriz arcillosa, probablemente montomorillonita y heulandita.

Este sedimento se caracteriza por presentar un tamaño medio de 0.118 cm, (Lámina 4, tabla 1) con una muy buena clasificación, muy sesgado hacia tamaños finos y extremadamente leptocúrtica.

Unidad 4/5. Este conglomerado presenta un mayor porcentaje de clastos que pertenecen a traquiandesitas (29%) y un 18% a andesitas, siendo ambos del Complejo Volcánico Superior (Lámina 4, fig. 2). El complemento es un 18% correspondiente a granito y un 8% a basaltos. La matriz que presenta este conglomerado es (Lámina 4, fig. 3), cuarzo, albita, montmorillonita, illita y heulandita.

Este conglomerado presenta un tamaño medio de 5.48 cm, muy mal clasificado, muy sesgado hacia los tamaños finos y una curtosis extremadamente leptocúrtica. Posee un tamaño medio de 10.23 cm (Lámina 4, tabla 1), extremadamente mal clasificado, extremadamente sesgado hacia los finos y una curtosis muy leptocúrtica.

5.5.- Consideraciones para las Cuatro Secciones.

Se resume para las cuatro secciones de que la Formación Baucarit presenta en promedio un espesor real de 1960 m. En cada uno de los espesores de las secciones (1-4) existen variaciones petrográficas, respecto a sus unidades. Dividiéndose éstas en fases (Tabla 1), siendo la fase I depósitos clásticos asociados a procesos volcánicos en los que los sedimentos corresponden a conglomerados oligomícticos. Petrográficamente su composición es de andesitas, traquiandesitas o tobas (mismo volcanismo). Las unidades correspondientes a la fase II y fase III son meramente clásticas, siendo estos conglomerados polimícticos y arcosas o litarenitas. Petrográficamente la composición de los clastos de los conglomerados polimícticos es variado, con tendencias a contenidos dominantes de clastos correspondientes al complejo volcánico superior, siguiéndole en escala porcentual la de los granitos y andesitas del Complejo Volcánico Inferior, y por último clastos de rocas sedimentarias del Grupo Barranca o bien de la Unidad San Antonio. Estas concentraciones varían dependiendo de las rocas aledañas que se tengan.

En cuanto a sus características granulométricas se observan diferencias principalmente respecto al diámetro medio. Para la fase I se presenta el mayor diámetro promedio registrado (7.06 cm), siguiéndole la fase II con 6.84 cm, y finalmente la fase III cuyo diámetro promedio es de 4.9 cm.

Existen diferencias en el grado de clasificación de los clastos, observándose tendencias a una homogeneidad en cada una de las fases de la Formación Báucarit. Para la fase I se tiene una extremadamente mala clasificación de los clastos. Para la fase II la homogeneidad de los clastos se ubican en mal clasificados y para la fase III una muy mala clasificación.

En cuanto a su sesgo y curtosis no existe una diferencia muy marcada, sin embargo se observa que las curvas de frecuencia de tamaños de clastos de la Formación Báucarit en general, tienen una tendencia hacia sesgos positivos con formas extremadamente leptocúrticas.

En lo consiguiente a estructuras que se presentan en la Formación Baucarit, existen diferencias bien marcadas. En la fase I se presenta un conglomerado sostenido en una matriz fina, donde no existen estructuras laminares, solo se presenta una mezcla masiva. Para la fase II se tiene un sedimento fino (arenas) con estructuras laminares y cruzadas (escasas). En estos conglomerados no se presentan estructuras bien marcadas. Para la fase III existen estructuras laminares bien definidas y con clastos imbricados. En la fig. 15 se presenta la correlación de las 4 secciones.

En base a los resultados obtenidos de los seis difractogramas en las cuatro secciones. Se determinó que no existe metamorfismo de bajo grado, ya que no se encontró otro tipo de zeolitas, que pudiera marcar la facies de zeolitas. Solo se puede decir que la paragénesis de la heulandita encontrada es:

Tobas ——— > Smectitas ——— > Heulandita

TABLA 1 COMPARATIVA DE CADA UNA DE LAS FASES ENCONTRADAS EN LA CUENCA TONICHI - LA DURA.

Fase	Clasificación del Conglomerado	Diámetro Medio	Grado de Clasificación	Sesgo	Geometría de los Cuerpos Estratiformes
Fase I	Oligomóctico	7.06 cm	Extremadamente mal clasificado	+	Masiva
Fase II	Polimóctico	6.84 cm	mal clasificado	+	Estratificación horizontal gruesa y estructuras laminares y cruzadas en sedimento fino.
Fase III	Polimóctico	4.9 cm	muy mal clasificado	+	Estratificación horizontal laminar con clastos imbricados

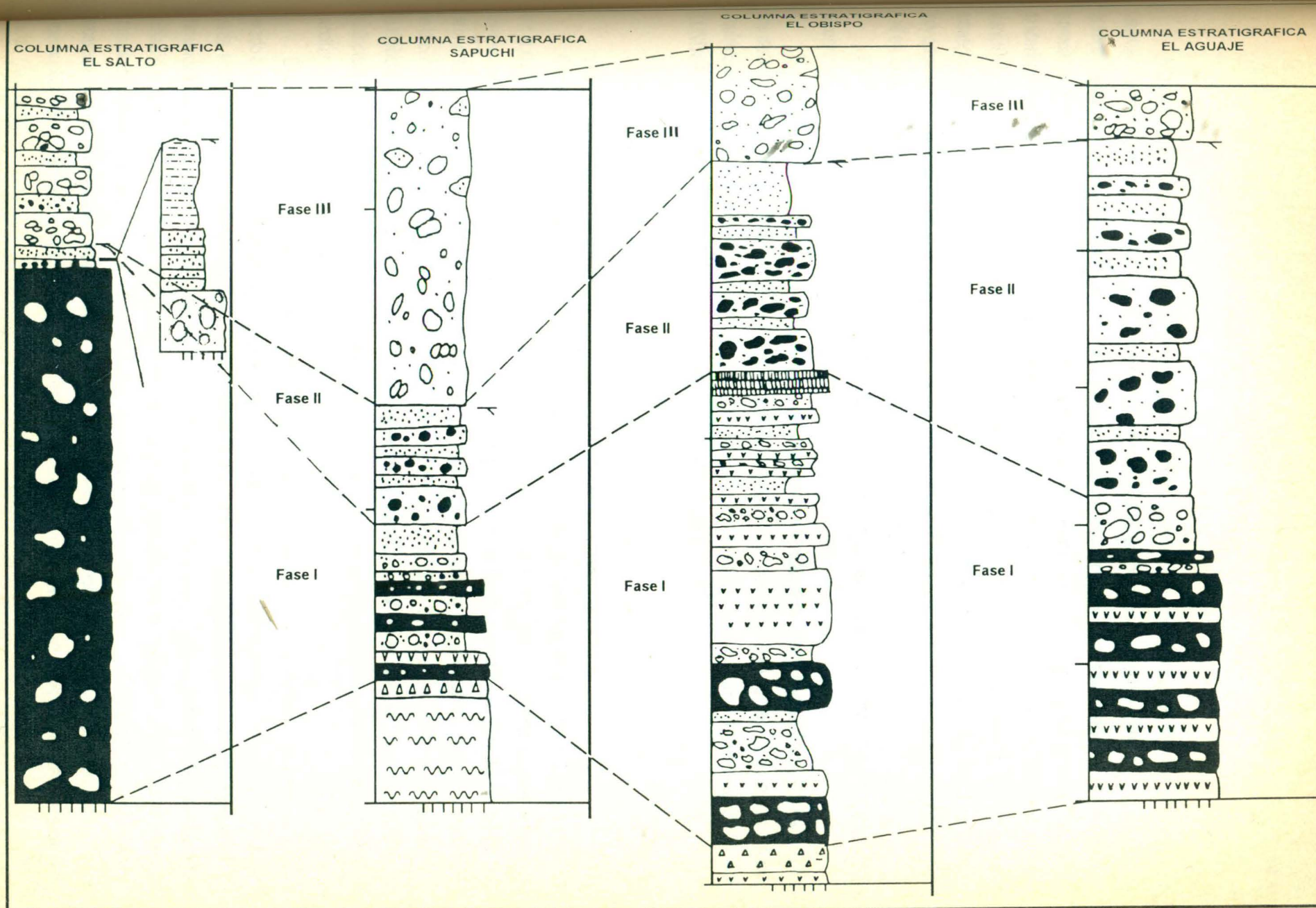


Fig. 15 Correlación Estratigráfica de las Cuatro Secciones hechas en la Cuenca Tónichi - La Dura.

6. ANALISIS DE CADENAS DE MARKOV

Algunos ambientes depositacionales nos dan bastante información, y podemos determinar sistemáticamente sus secuencias. Pero en otros ambientes se observa que no existe gran cantidad de información verticalmente y por lo tanto no se puede determinar con precisión que secuencia le precede o le sobreyace a una determinada unidad. Por lo que los geólogos utilizan las Cadenas de Markov (técnica estadística) para la detección de un proceso repetitivo en el espacio o tiempo. Manipulando así datos cualitativos que tiene una secuencia para predecir sus relaciones estratigráficas y correlaciones como en las secuencias encontradas de la Formación Báucarit es muy escasa la información estratigráfica que existe. Se pretende con esta técnica estadística, decir cuál es la secuencia vertical más real a los eventos que sucedieron.

Para poder obtener un modelo de facies es necesario expresar caminos diferentes como secuencias idealizadas, diagramas de bloques, gráficas, etc.

En este apartado se tratará de utilizar una técnica estadística para evaluar la presencia de una determinada "memoria" en una secuencia estratigráfica donde intervienen procesos físicos y químicos. Las condiciones que deben cumplir las secuencias en una columna estratigráfica son (LUNDSEN, 1971; MIAL, 1973; WALKER & CANT, 1984):

- Descripción detallada de la columna.
- Una marcada apreciación de las facies en la sección.
- Un dispositivo matemático que permita comparaciones.

Cumpliendo con estas condiciones se procede a realizar el método analítico. Se empezará con la definición de los signos con los que se etiquetarán cada uno de los eventos que se tienen con respecto al tiempo en la columna estratigráfica, ya que esto facilita la tabulación de transiciones de una facies en otra. Se utilizó la sección el Obispo por registrar el mayor número de eventos en la columna estratigráfica, (fig. 16). La secuencia de signos (fig. 17) se lee en forma de párrafo. El símbolo V (parte superior de la fig. 17), representa la subfacies V de la secuencia, siguiéndole la subfacies BV con un contacto bien definido. La secuencia se describe sucesivamente hasta concluir con la subfacies GM.

De esta secuencia se observa el número de transiciones que existen para pasar de un estado a otro o al mismo. De tal forma que se establece una matriz denominada matriz de frecuencia de transición. Los números de la derecha de esta matriz (Tabla 2a), indican el número total de transiciones de cada renglón, por ejemplo, se tienen 8 variaciones donde la subfacies V pasa a otras subfacies. Los números que se encuentran en la parte inferior de la matriz indican el número de transiciones de cada columna. El total de renglones y columnas que se da para las subfacies no necesariamente tienen que ser iguales, ya que desde el punto probabilístico se consideran eventos independientes. Dichas transiciones pueden ser ilustradas mediante un Diagrama de Relación de Facies (fig. 18a).

TABLA 2a
MATRIZ DE FRECUENCIA DE TRANSICION

	V	BV	GMS	FM	B	GMSp	GM	
V	-	1	6	1	-	-	-	8
BV	1	-	-	-	-	-	-	1
GMS	4	-	-	1	1	-	-	6
FM	2	-	-	-	-	1	1	4
B	-	-	-	-	-	1	-	1
GMSp	-	-	-	2	-	-	-	2
GM	-	-	-	-	-	-	-	0
	7	1	6	4	1	2	1	22

Se construye una segunda matriz para convertir el número de transiciones a Probabilidades de Transiciones (Tabla 2b), esto se obtiene dividiendo el número de transiciones de cada celda por el número total de transiciones de un renglón. La fracción resultante es la probabilidad condicional $P(ij)$, siendo esta la probabilidad de que una subfacies se encuentre "sobreyasciendo" o "infrayasciendo" a otra; por ejemplo, se tiene que la probabilidad de que la subfacies V esté sobreyasciendo a la subfacies GMS es de 0.66.

TABLA 2b
MATRIZ DE PROBABILIDAD DE TRANSICIONES

	V	BV	GMS	FM	B	GMSp	GM
V	-	0.125	0.75	0.125	-	-	-
BV	1	-	-	-	-	-	-
GMS	0.66	-	-	0.16	0.16	-	-
FM	0.5	-	-	-	-	0.25	0.25
B	-	-	-	-	-	1	-
GMSp	-	-	-	1	-	-	-
GM	-	-	-	-	-	-	-

Posteriormente se procede a construir una matriz de probabilidad de prueba independiente (Tabla 2c) basada en la suposición de que todas las transiciones de facies son aleatorias. Los elementos de la matriz (i.e los valores de cada celda) son calculados usando la ecuación.

$$R_{ij} = SC_j / (T - SC_i)$$

Donde R_{ij} es la probabilidad esperada de las transiciones de la facies i a la j ; SC_j es el número aleatorio de ocurrencias de las facies j (total de la columna para la facies j); T es el número total de transiciones para todas las facies y SC_i es el número de ocurrencias para la facies i (sumatoria total para la facies i).

TABLA 2c
MATRIZ DE PROBABILIDAD DE PRUEBA INDEPENDIENTE

	V	BV	GMS	FM	B	GMSp	GM
V	-	0.066	0.4	0.260	0.060	0.133	0.066
BV	0.333	-	0.285	0.190	0.047	0.095	0.047
GMS	0.4375	0.062	-	0.250	0.063	0.125	0.063
FM	0.389	0.055	0.333	-	0.056	0.111	0.056
B	0.333	0.048	0.286	0.191	-	0.095	0.048
GMSp	0.35	0.05	0.300	0.200	0.050	-	0.050
GM	0.333	0.047	0.286	0.190	0.047	0.095	-

Para ilustrar esto se evaluarán las transiciones de la subfacies V que pasa a la subfacies GMS (la ecuación anterior permite utilizar R_{ij} donde $i = V$ y $j = GMS$). De la Tabla 2a, se puede observar la sumatoria total de (SC_i) para la subfacies V y es igual a 7, la sumatoria total de (SC_j) para la facies GMS es 6, y el total de transiciones (T) es de 22. Usando estos valores, la probabilidad esperada de (R_{ij}) de V a GMS es $6/(22-7) = 0.4$. Este valor se encuentra en la primer fila y tercera columna en la Tabla 2c. En esta misma tabla se puede observar que existe una diagonal de 0 (cero) donde todas las demás celdas estructuralmente se encuentran llenas. Esta es una característica de Cadenas de Markov interestratificadas. Esta ocurre debido a que es imposible de reconocer las transiciones que se dan de las facies al pasar de una capa a otra de la misma facie (i.e. la transición de la subfacies GMS a la subfacies GMS).

Se construye una matriz de diferencia (Tabla 2d) la cual muestra la falta de (valores negativos) probabilidad esperada. Los valores usados en la construcción de la matriz son producidos por la substracción del valor de cada celda de la tabla 2b a la tabla 2d. El rango de valores es de + 1.0 a - 1.0. Los valores positivos indican transiciones que ocurren más frecuentemente. Los valores negativos indican las transiciones que ocurren menos frecuentemente que lo esperado. Para hacer una simplificación de los valores obtenidos y observar los valores altamente positivos se realiza un diagrama de relación de subfacies. En éste, los valores mayores a 0.1 se representan con línea continua, mientras que los que se encuentran entre 0.1 y 0.01 son con línea punteada (fig. 18b).

TABLA 2d
MATRIZ DE DIFERENCIA

	V	BV	GMS	FM	B	GMSp	GM
V	-	0.59	0.35	-0.135	-0.066	-0.133	-0.066
BV	0.667	-	-0.285	-0.190	-0.047	-0.095	-0.047
GMS	0.222	-0.062	-	-0.09	0.100	-0.125	-0.063
FM	0.112	-0.055	-0.333	-	-0.056	0.139	0.194
B	-0.333	-0.048	-0.286	-0.190	-	0.904	-0.048
GMSp	-0.35	-0.05	-0.30	0.8	-0.05	-	-0.05
GM	-0.333	-0.047	-0.285	-0.190	-0.048	-0.095	-

Algunos autores observan que los valores de la substracción de la probabilidad observada de la esperada no provee la diferencia que es estadísticamente significativa. Se puede decir que esto es uno de los principales y serios problemas del método descrito ya que existe gran incertidumbre para determinar cuales transiciones son significativas. Para solucionar este problema HARPER (1984) sugiere que se use la probabilidad binomial de al menos de los N_{obs} con éxito en N tiros, dado por:

$$\sum_{n=N_{obs}}^{n=N} C(N,n) p^n q^{N-n}$$

Donde $C(N, n)$ igual es el número de posibles combinaciones de N objetos que se toman en un tiempo n y esta dado por:

$$C(N, n) = \frac{N!}{(N-n)! n!}$$

y p es la probabilidad de un evento en una sola tirada dada (Tabla 2c). Donde $q = 1 - p$.

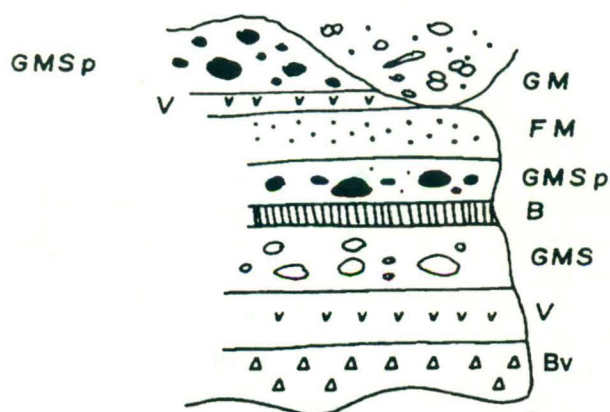
Para ilustrar este método se considerará la transición de la facies GMS a V (diferencia de probabilidad en la Tabla 2d en el renglón 3 es 0.222), donde p es igual a la probabilidad del suceso en un solo lanzamiento y es igual a 0.4375 y q igual a la probabilidad de fracaso en un solo lanzamiento igual a $1 - 0.4375 = 0.5625$. De la Tabla 2a se observa que existen 4 eventos (transiciones de la subfacies GMS a la V) en 6 transiciones de la subfacies GMS a otras; entonces $N_{obs} = 4$ y $N = 6$. Por lo tanto; la probabilidad binomial de al menos N_{obs} sucesos en N lanzamientos es 0.1738 (Tabla 2e). Esto significa que los cuatro eventos en 6 lanzamientos podrían ocurrir en un 17.38% del tiempo si las transiciones ocurren aleatoriamente. Si marcamos un nivel de significancia de 0.1 entonces la transición observada de la subfacies GMS a la subfacies V es significativa.

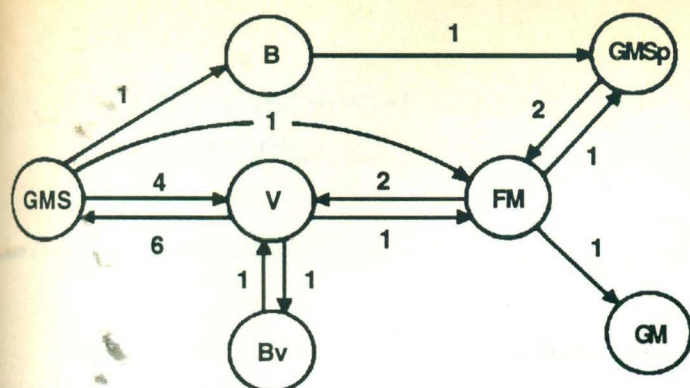
TABLA 2e
PROBABILIDAD BINOMIAL PARA LAS TRANSICIONES DE SUBFACIES

Transición Subfacies			C(N,n)	P	q	Probabilidad
BV	V	1	1	0.333	1	0.33
V	GMS	6	88	0.004	0.36	0.040
GMS	V	4	15	0.03663	0.3164	0.1738
FM	V	2	12	0.1517	0.3735	0.6773
FM	GMSp	1	4	0.111	0.7025	0.3119
B	GMSp	1	1	0.0952	1	0.0952
GMSp	FM	2	1	0.04	1	0.04
FM	GM	1	4	0.055	0.8439	0.1856
GMS	B	1	6	0.1	0.590	0.354

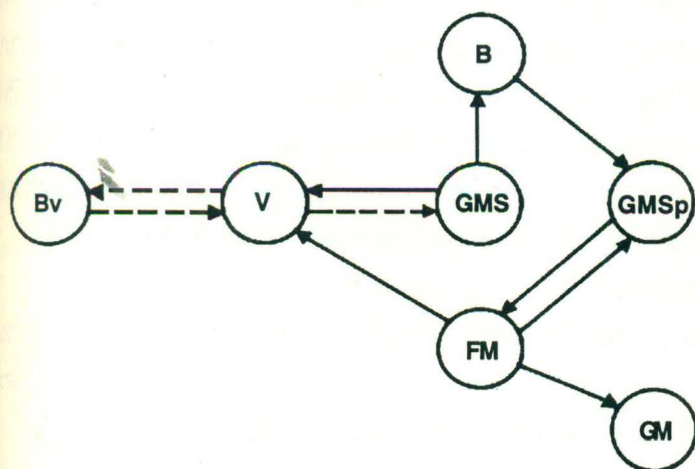
De todas las posibles transiciones para las 7 subfacies en la sección el Obispo, solo son altamente significantes (a un nivel de significancia de 0.1) 6, ya que se predicen para una secuencia aleatoria (Tabla 2e). Esto se puede ilustrar modificando el diagrama de la fig. 18b, con un nivel de significancia de 0.1 con líneas continuas (fig. 18c).

Este análisis estadístico puede concluir en que la sección estratigráfica puede ser de la siguiente manera:

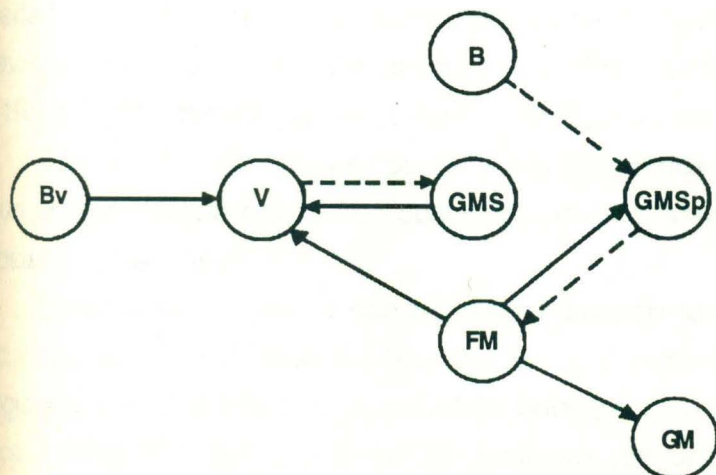




a.- Diagrama de relación de subfacies que muestra las transiciones observadas (Datos de la Fig. 17, Tabla 2a).



b.- Simplificación del diagrama de relación de subfacies que muestra las transiciones que ocurren más comúnmente que lo esperado. Las líneas continuas representan valores de ≥ 0.1 ; Las líneas punteadas < 0.1 .



c.- Simplificación del diagrama de relación de subfacies mostrando las transiciones que ocurren más comúnmente que lo esperado. Las líneas continuas indican transiciones de significancia a 0.1 (Ver Tabla 2d).

Fig. 18 Diagrama de Relación de Facies.

7. AMBIENTE DEPOSITACIONAL Y EVOLUCION ESTRUCTURAL DE LA FORMACION BAUCARIT EN LA CUENCA DE TONICHI-LA DURA

7.1.- Ambiente deposicional

Para interpretar las condiciones deposicionales de la cuenca es necesario analizar la información que arrojó cada una de las secciones hechas transversalmente en la cuenca de Tónichi-La Dura.

Se tiene como producto la combinación de procesos tanto volcánicos como sedimentarios, dando como resultado tres diferentes litofacies: facies I, donde predomina un vulcanismo calco-alcalino asociado con rocas clásticas que corresponden a conglomerados. Esta facies se manifiesta en un rango muy amplio en la sección el Obispo. La facies II corresponde a rocas clásticas que presenta una intercalación de conglomerados y areniscas y, facies III, que se caracteriza por ser solo conglomerados.

Facies volcánica I: esta se puede subdividir en 2 subfacies.

La primera de ellas corresponde a una secuencia de andesitas y traquiandesitas y la segunda es un conglomerado oligomítico, sostenido por una matriz que corresponde a tobas líticas.

Esta secuencia en su totalidad corresponde a un vulcanismo que se asocia a estructuras de calderas producidas en la Sierra Madre Occidental (WARK, et. al. 1990). Esta facies se deposita en las depresiones formadas por el colapsamiento de la cámara magmática de dichos cuerpos volcánicos. La parte Sur del área de estudio corresponde a la zona intermedia del vulcanismo y la parte Norte a la zona distal en base a que los sills y diques se presentan en el área de La Dura, Onavas y las tobas e ignimbritas en San Antonio de la Huerta. Se observa el estado inicial en la fig. 19a, b. Se considera para esta región condiciones climáticas de áridas a semiáridas.

Facies clástica II: esta se puede subdividir en dos subfacies. La primera de ellas consiste en un conglomerado polimítico sostenido por una matriz y la segunda subfacies consiste de arcosas o litarenitas.

Esta facies en general corresponde a un abanico aluvial, (como se observa en la fig. 19c) el cual puede subdividirse en tres zonas: la proximal que corresponde a la subfacies del conglomerado polimítico y la zona intermedia que es una alternancia de estratos de conglomerados (subfacies anterior) y litarenitas ó arcosas (segunda subfacies). La zonación del abanico aluvial en el área de estudio es de oeste a este. La porción de este abanico aluvial correspondiente a la zona distal se observa físicamente en Onavas.

Facies clástica III: esta facies no presenta subdivisiones, ya que solo son conglomerados polimicticos con estratificación horizontal soportados por clastos y con clastos imbricados.

Esta facies corresponde a la formación de nuevos abanicos aluviales, mismos que están interdigitados debido al estrechamiento de la cuenca. Esto da como resultado discordancias angulares sobre las rocas clásticas de los antiguos abanicos aluviales facies II, lo cual se observa en la facies III de la fig. 19d.

7.2.- Evolución estructural.

La fig. 20 muestra la historia polifacética de la cuenca Tónichi-La Dura mostrando sus características evolutivas de sedimentación y su significado tectónico.

Las secciones son orientadas oeste-este dando 3 fases evolutivas que fueron deducidas de los datos sedimentológicos y estructurales.

FASE A : Extensión; representa la fase inicial para la formación de graben (fig. 20), provocando un fallamiento normal con orientación NW-SE. Este fallamiento es más joven que rocas terciarias (Mioceno Medio) lo cual produjo un basculamiento hacia el Este en rocas del Complejo Volcánico Superior y la parte inferior y media de la Formación Báucarit.

FASE B : Está representada por un fallamiento a rumbo de tipo dextral con orientación NE-SW. Este fallamiento provocó una rotación del fallamiento normal hacia el Norte. Existe un segundo fallamiento a rumbo pero de tipo sinistral que tiene una orientación NW-SE. Este último fallamiento reactivó las fallas a rumbo NE-SW.

FASE C: Este está representado por el relleno de nuevo material clástico en las depresiones formadas por el basculamiento de la fase A. Este material corresponde a la formación de abanicos aluviales que presentan una discordancia angular con respecto a la parte inferior y media de la Formación Báucarit.

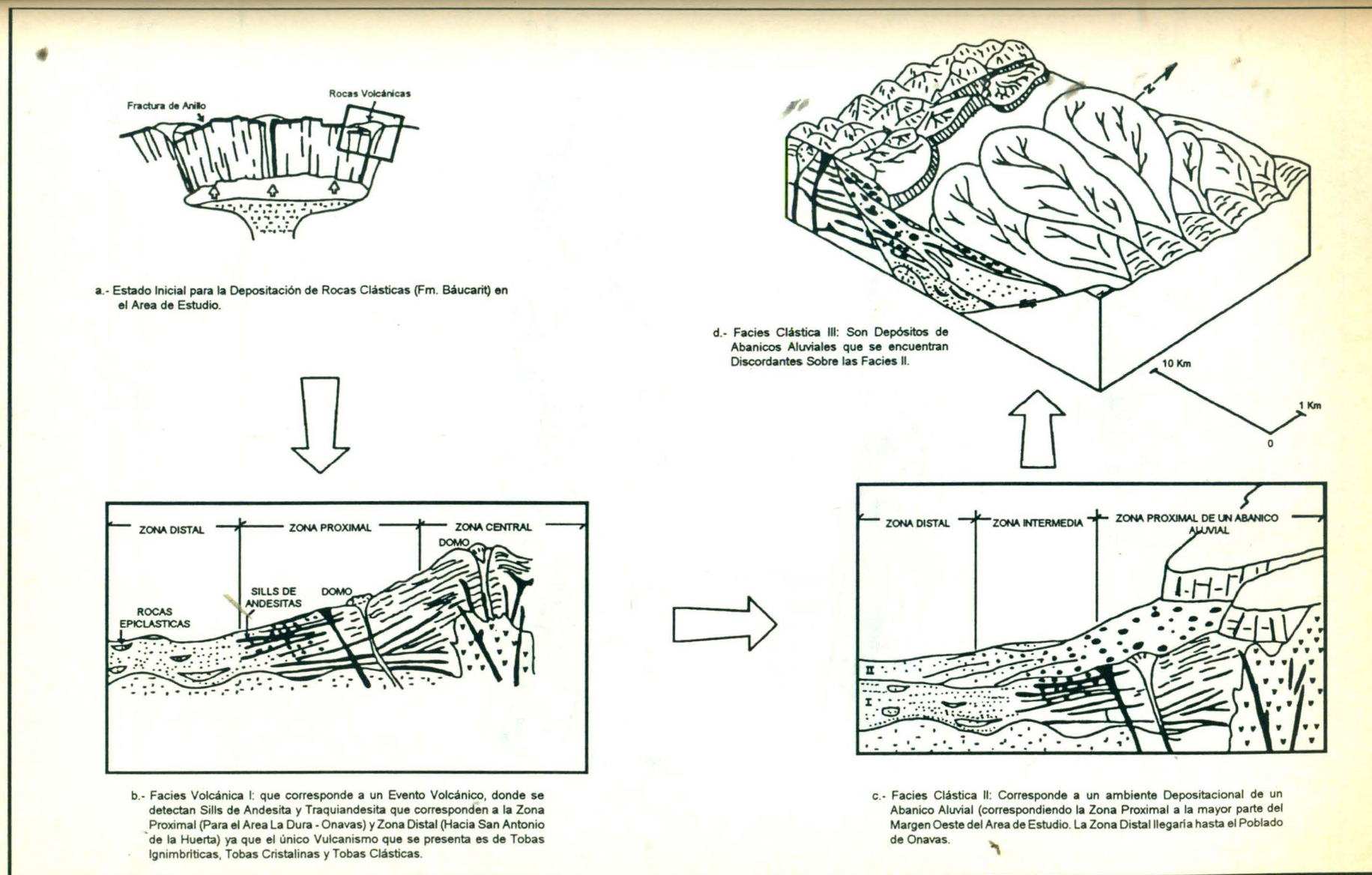


Fig. 19 Representación Esquemática del Ambiente Deposicional de la Formación Báucarit en la Cuenca Tónichi - La Dura.

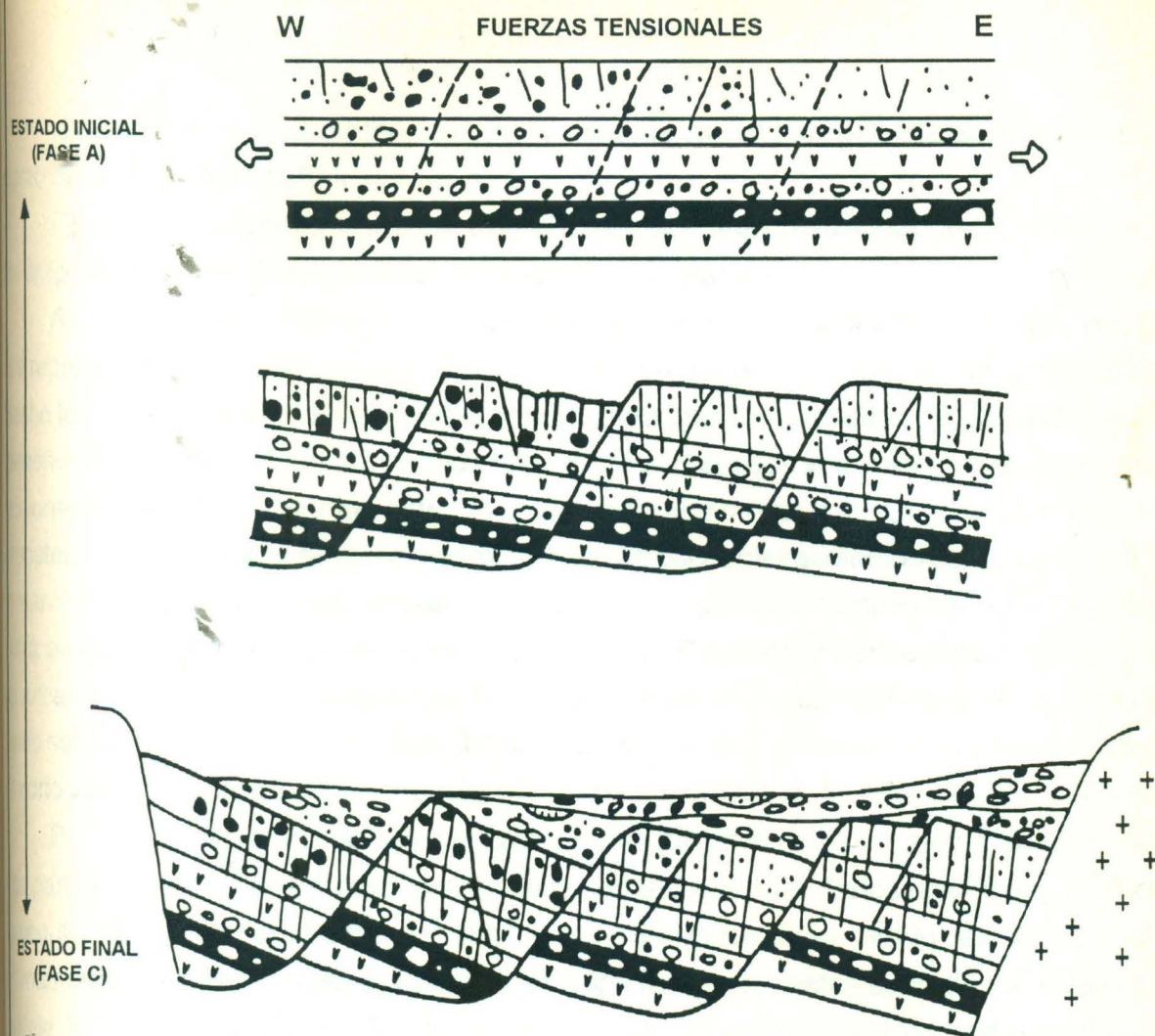


Fig. 20 Modelo Estructural de Evolución de la Cuenca Tónichi - La Dura Representando la Fase Extensional como la Causante de la Forma Actual.

CONCLUSIONES

- La cartografía a detalle realizada en la presente investigación ofrece un conocimiento más exacto de las rocas aledañas a la cuenca.

- El análisis sedimentológico y petrográfico en cada una de las secciones, define que existen tres etapas diferentes de sedimentación clástica y/o volcánica:

A). Esta primera etapa de sedimentación se encuentra asociada a procesos volcánicos. Está representada por un conglomerado oligomíctico el cuál se depositó en lapsos de tiempo donde cesaba la actividad ígnea. Este material se considera que son depósitos de "debris flows" o bien, pequeños lagos que se formaron debido a los mismos procesos volcánicos ya que en una de las secciones (Obispo) se observan estratos potentes de sedimento fino. Otra característica a favor de sostener esta hipótesis es que el conglomerado se encuentra sostenido por una matriz fina que no manifiesta ningún retrabajo de sus componentes. La principal composición mineralógica de la matriz es cuarzo, albita, montmorillonita y heulandita. De estos minerales el cuarzo es producto del vulcanismo, la albita es alteración de los feldespatos de las rocas volcánicas, y la montmorillonita puede ser producto de la descomposición de la albita. La heulandita es originada por la alteración de vidrio volcánico, para lo cual se requiere de una temperatura entre 100° a 125°C y pH = 9.

B). La segunda etapa se caracteriza por presentar un evento puramente clástico asociado a las partes proximal e intermedia de lo que es un abanico aluvial. Estos rasgos se evidencian en las peculiaridades del sedimento: primeramente se tiene un conglomerado polimíctico sostenido en una matriz arenosa (arcosa o litarenitas feldespáticas) con clastos subredondeados conforme se aleja del punto de origen (fig. 21), el sedimento presenta estratos alternados de conglomerados y sedimentos arenosos hasta potentes estratos de sedimento fino con estratificación horizontal y presencia ocasional de estratificación cruzada; la matriz es la misma que la anterior etapa, pero, en este caso, las zeolitas son producto de intemperismo.

C). La tercera secuencia se caracteriza por estar formada por conglomerados polimícticos que cubren discordantemente a la secuencia anterior. Estos conglomerados tienen la particularidad de presentar estratos horizontales bien marcados con clastos imbricados. Los componentes litológicos dependen de la composición de la roca madre de donde se origina el drenaje. El estudio petrogeológico y sedimentológico facilita la distinción de 4 diferentes depósitos de conglomerados (fig. 22), subdividiéndose tres de ellos en 2', 3' y 4' debido a que su drenaje es más grueso, aunque composicionalmente los clastos tienen la misma correspondencia que los del 2, 3 y 4, respectivamente. Esto indica que existe la formación de diferentes abanicos aluviales que no alcanzan su estadio final debido al estrechamiento de la cuenca. Estos abanicos interdigitan entre ellos mismos.

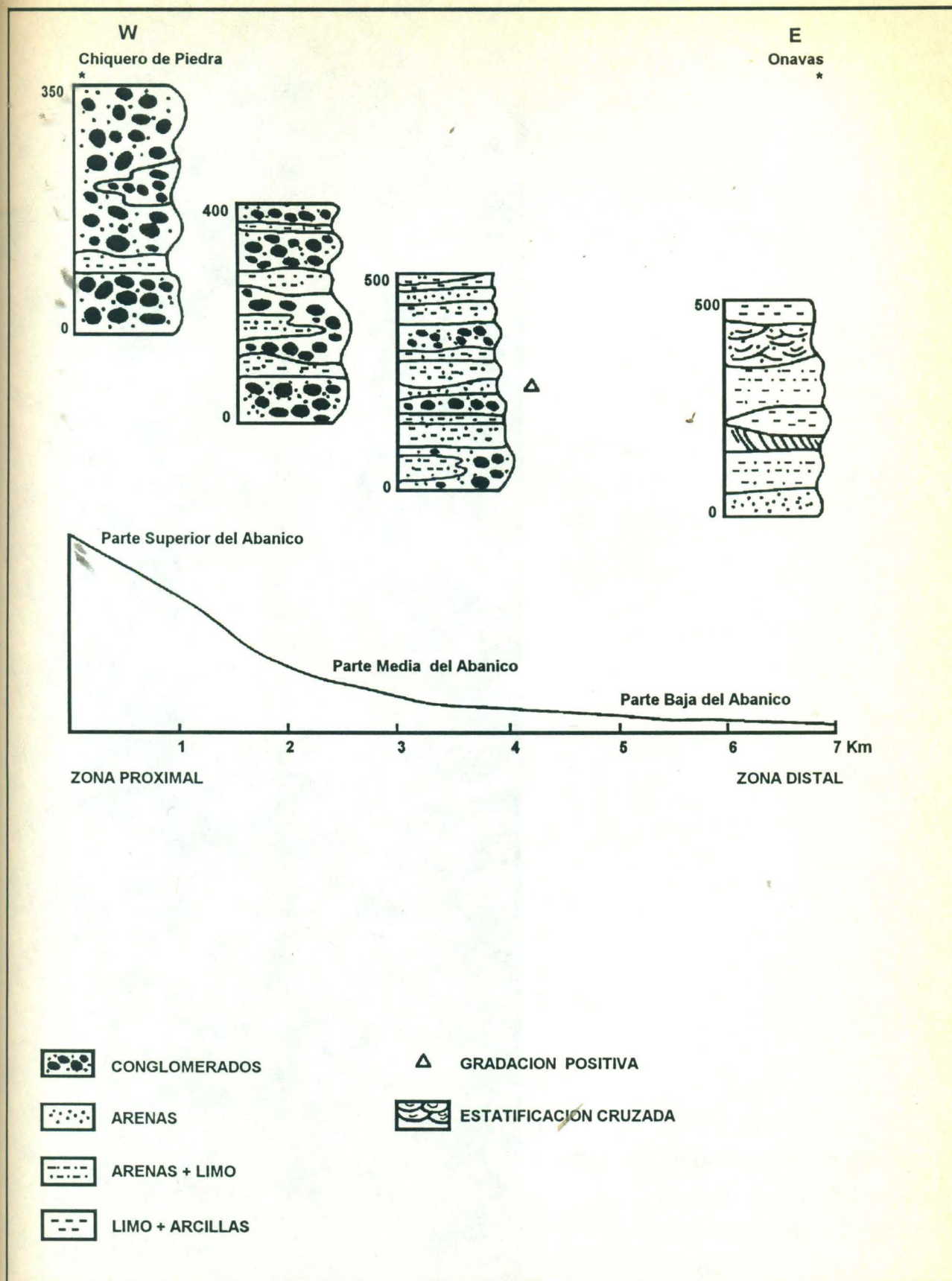
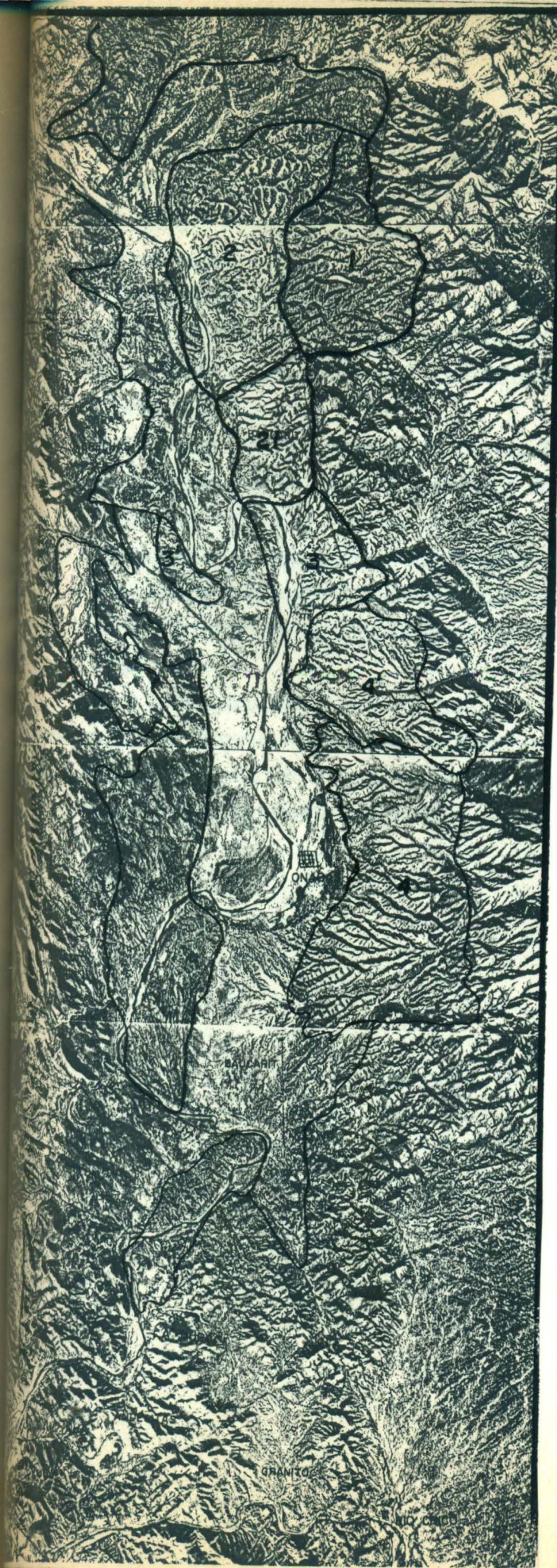


Fig. 21 Variación de las Facies Clástica I, que Corresponde al Desarrollo de un Abanico Aluvial en la Sección El Obispo.



MOSAICO DE FOTOGRAFIAS
DEL AREA DE ESTUDIO DONDE
SE MUESTRAN:

POBLADO

LINEAMIENTO

CONTACTO GEOLOGICO

Fig. 22 Representación Fotogeo-
lógica de 4 Diferentes
Depósitos de Conglome-
rados.

- Se determinó probabilísticamente la secuencia a seguir en la cuenca de Tónichi-La Dura.

- Estructuralmente se interpretó que el evento que más influyó para dar las características actuales fue la fase distensiva que originó un semigraben formado por una serie de pequeños bloques imbricados.

- Estratigráficamente, se propone que a la Formación Báucarit se le trate como Unidad aloestratigráfica debido a que cumple el hecho de ser un cuerpo estratiforme y mapeable de rocas sedimentarias que está identificado y definido sobre bases donde sus límites son discontinuos. Esto se fundamenta en lo siguiente:

- * Primeramente existe discontinuidad en sus límites de los estratos superpuestos, aunque su litología sea parecida. Se tiene también una discontinuidad horizontalmente, ya que sus límites son rocas más antiguas que facilitan el trazo de dicha discontinuidad.
- * Puede ser mapeable a una escala práctica
- * Sus características internas (físicas y químicas) varían lateralmente y verticalmente
- * La relación genética para cada cuenca es diferente ya que éstas tienen sus características propias.

Por lo tanto, se puede considerar que jerárquicamente esta Unidad aloestratigráfica se divide en general como un Alogrupo donde se abarque la historia geológica para la formación de estas cuencas en todo el Estado de Sonora. Este Alogrupo puede tener subdivisiones de Aloformaciones para cada lugar geográfico.

BIBLIOGRAFIA

- ALENCASTER, D.G., (1961): Estratigrafía del Triásico Superior de la parte central del Edo. de Sonora. *Paleontología Mexicana* 11(1): 1- 18, 6 lám.
- BARRERA, M.E. & DOMINGUEZ, (1987): Geología de la Carta Tónichi (H12D65) con Enfoque en el Paleozoico en la porción Central del Edo. de Sonora. -Tesis Profesional, Universidad de Sonora, 63 p., 26 fig., 1 tab.
- BARTOLINI, C. (1988): Regional Structure and Stratigraphy of Sierra El Aliso, Central Sonora, Mexico, Department of Geosciences, University of Arizona, M.S. Thesis, 190 pp., 30 fig., 12 dib., 1 map.
- CHAULOT-TALMON, J.F. (1984): Etude Geologique et Structurale des ignimbrites du Tertiaire de la Sierra Madre Occidental, entre Hermosillo et Chihuahua, Mexique. -Univ. de Paris-Sud., These de Docteur, 272 pp., 3 anexes.
- COACHEME, J.J. (1985): Le magmatisme Cenozoique dans le Nord-Ouest du Mexique Cartographie de la Region de Yecora-Maicoba-Mulatos, Illustration magmatique de la fin d'un regime en subduction et du passage a un regime distensi. -Université de Droit d'Economie et des Sciences D'Aix-Marseille, Faculté des Sciences et Techniques de St. Jérôme. These de Docteur de Sciences, 209 pp., 107 fig., 20 tab.
- CRUZ-FRISBY, P. (1989): Reconocimiento geológico de la Hoja "La Dura" (H12075) en el Sureste de Sonora, México. -Inst. Pol. Nal. Esc. Sup. de Ing. y Arq. Ciencias de la Tierra, Tesis Prof., 65 pp., 12 fig., 2 tab.
- DAMON, F., CLARK, K., SHAFIQUILLAH, M., ROLDAN, J. & ISLAS, J., (1981): Geology and mineral deposits of Southern Sonora and the Sonora Sierra Madre Occidental. -[In:] ORTLIEB, L. & ROLDAN-Q. (Ed): Geologia of Northwestern Mexico and Southern Arizona. -Geol. Soc. of Am., Field Trip and paper: 364-426.
- DAMON, P., SHAFIQUILLAH, M., ROLDAN, J. & COACHEME, J. (1983): El Batolito Laramide (90-40 m.a.) de Sonora. -Memoria XV de la Convención Nacional A.I.M.M.G.M., A.C.: 63-95.
- DUMBLE, E.T. (1900): Notes on the Geology of Sonora, Mexico. -Am. Inst. Min. Met. Trans. 29: 122-152.
- FENNEMAN, M.N. (1931): Physiography of western United States. -McGraw-Hill., 543 pp.
- FOLK, R.L. (1980): Petrology of sedimentary rock. -Austin, Tex.: Hemphill. 215 pp.
- HARPER, C.W. (1984): Improved methods of facies sequence analysis. -[In:] Facies models, 2 Ed., R.G. Walker (ed.), 11-13. Repr. Ser., 1:71-89.
- KETNER, B.K. & NOLL, H.J.J. (1987): Preliminary Geologic Map of the Cerro Cobachi area, Sonora, Mexico. -U.S. geological Survey.

- KING, R.E. (1939). Geological reconnaissance in northern Sierra Madre Occidental of Mexico. - Geol. Soc. Amer. Bull., 50(11): 1625-1722, 16 fig., 8 tab.
- LINDNALL, R.C. (1987): A practical approach to sedimentology. - Allen and Unwin (Australia), 212 pp.
- LUNDSEN, D.N. (1971): Markov Chain Analysis of Carbonate Rocks: Application, (limitations, and implications as exemplified by the Pennsylvania System in Southern Nevada. - Geol. Soc. Amer. Bull., 82: 447-462, 7 fig.
- MCDOWELL, F.W. & CLABAUGH, S.L. (1979): Ignimbrites of the Sierra Madre Occidental and their relation to the tectonic history of western Mexico. - Geol. Soc. Amer., Special Paper, 180: 113-124.
- MIALL, A.D. (1973): Markov chain analysis applied to an ancient alluvial plain succession. - Sedimentology, 20:347-364.
- MONTIJO, G.A. & TERAN, O., L.A. (1988): Geología del Area de Rebeico con Enfasis en el Paleozoico. - Uni-Son., Depto. de Geol., Tesis Profesional, 94 pp., 21 fig.
- NOLL, J.H. (1981): Geology of the Picacho Colorado Area, Northern Sierra de Cobachi, Central Sonora, Mexico. - Thesis of Northern Arizona University, 165 pp.
- POOLE, F.G. & MADRID, R.J. (1968): Paleozoic rocks in Sonora (Mexico) and their relation to the southwestern continental margin of north America. - Geol. Soc. Amer. Abstracts with Programs, annual meeting,
- RAISZ, E. (1964): Landforms of Mexico, Morphological Map prepared for the geography Branch of the Office of Naval Research. - Cambridge, Mass., U.S.A.,
- ROLDAN, Q.J. (1991): Geology and chemical composition of the Jaralito and Aconchi Batholiths Coast-central Sonora, Mexico. -(In:) PEREZ-SEGURA E. & JACQUES-AYALA, (Ed): Studies of Sonora Geology. - Geol. Soc. Amer., Special Paper, 254: 69-80, 6 fig., 4 tab.
- STEWART, J. H. & ROLDAN, Q.J. (1991). Upper Triassic Barranca Group; Nonmarine and Shallow-marine rift-basin deposits of north western Mexico. (In:) PEREZ-SEGURA E. & JACQUES-AYALA, (Ed.): Studies of Sonora Geology.- Geol. Soc. Amer., Special paper, 254: 19-36, 17 fig., 2 tab.
- WALKER, R.S. & CANT, D.I. (1984): Sandy fluvial systems. -(In:) WALKER, R.S. (Ed.): Facies models, 2 ed. - Geosci. Canad. Repr. Ser., 1:71-89.
- WARK, D.A., KEMPTER, K.A. & MCDOWELL, F.W. (1990): Evolution of warming, subduction-related magmatism, Northern Sierra Madre Occidental, Mexico. - Geol. Soc. Amer. Bull., 102: 1555-1564, 3 figs., 2 tab.
- WEBB, W.H. & POTTER, P.E. (1969): Petrology and geochemistry of modern sands derived from a volcanic terrain, western Chihuahua. - Bol. Soc. Mexicana, 32: 45-61.
- WILSON, I.F. & ROCHA, V.S. (1946): Los yacimientos de carbón de la región de Sta. Clara, Mpio. de San Javier, Edo. de Sonora. - Com. Dir. para la Inv. de los Rec. Min. de México, 9: 108 pp.

APENDICE

(Análisis Petrográfico)

ANALISIS PETROGRAFICO

NO. MUESTRA: 1

LOCALIZACION: Porción SW de la mina Luz del Cobre (hoja Tónichi, coordenadas $28^{\circ} 32' 28''$
- $109^{\circ} 38' 37''$)

DESCRIPCION MICROSCOPICA: Mosaico de cristales de calcita.

MINERALOGIA:

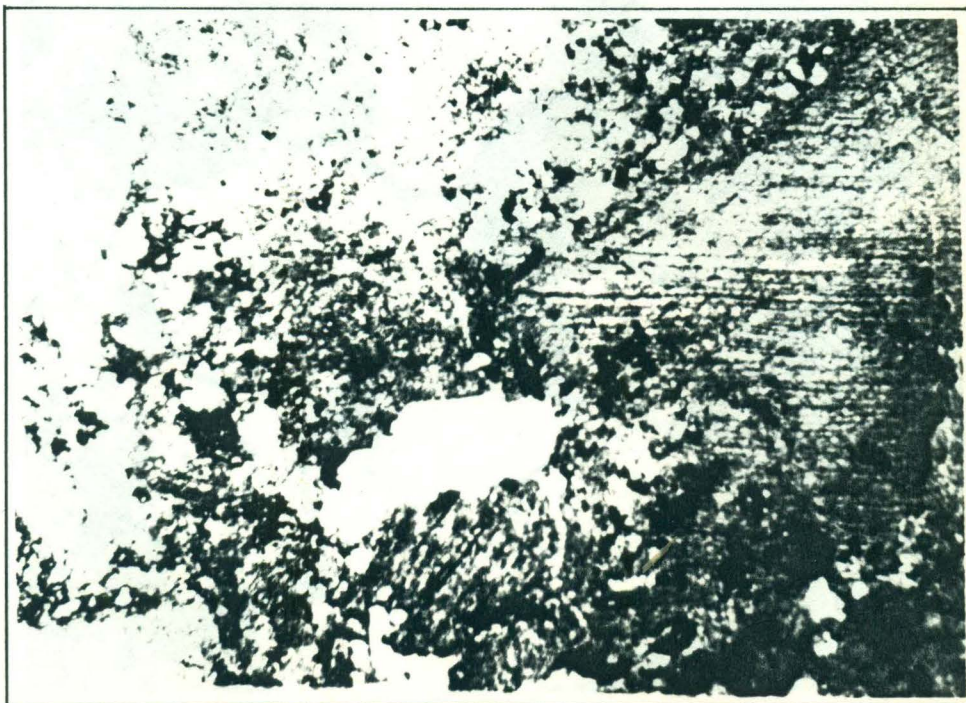
ESENCIALES:

ACCESORIOS:

SECUNDARIOS:

Calcita 100%

NOMBRE DE LA ROCA: Caliza



0 1000 μ

ANALISIS PETROGRAFICO

NO. MUESTRA: 2

LOCALIZACION: Porción SW de la mina Luz del Cobre (hoja Tónichi, coordenadas $28^{\circ} 32' 28''$
- $109^{\circ} 38' 51''$).

DESCRIPCION MICROSCOPICA: Se caracteriza por presentar granos de cuarzo de subangulosa a subredondeados, con un tamaño de grano grueso, el tipo de cuarzo que se presenta es monocristalina.

MATRIZ CEMENTANTE: Como cementante calcita (15%)

MINERALOGIA:

ESENCIALES:

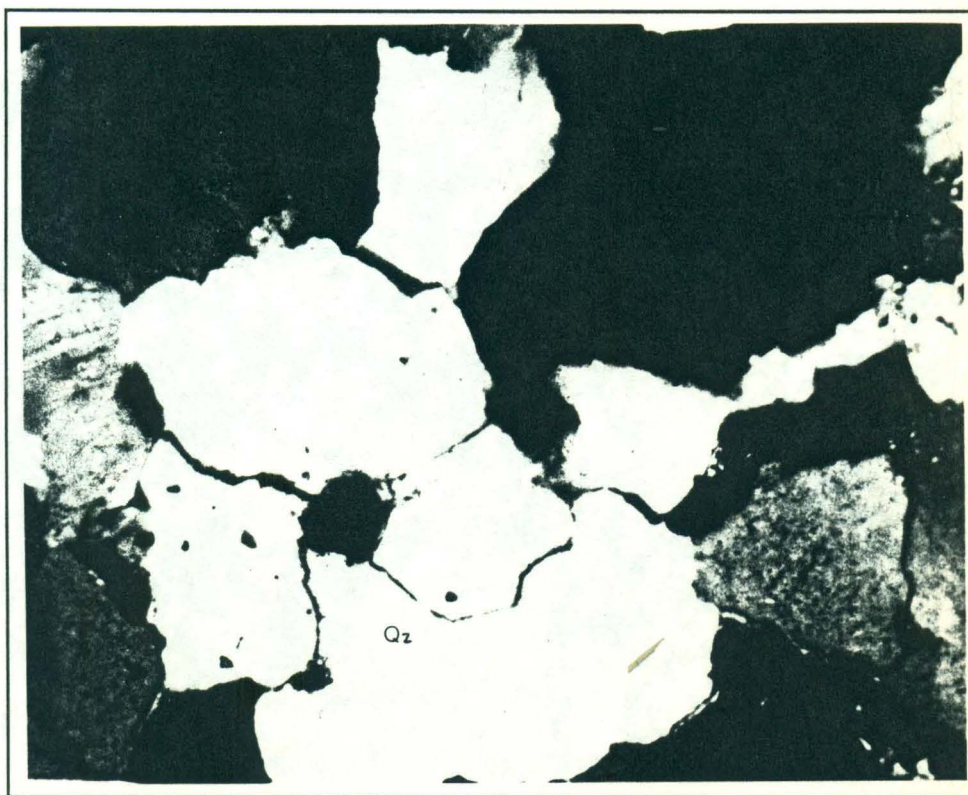
Cuarzo (100%)

ACCESORIOS:

Muscovita

SECUNDARIOS:

NOMBRE DE LA ROCA: Cuarzo arenita. (FOLK, 1980).



0 1000 μ

ANALISIS PETROGRAFICO

NO. MUESTRA: 3

LOCALIZACION: Porción SW de la Mina Luz del Cobre (hoja Tónichi, coordenadas 28° 32' 28" - 109° 39' 28")

DESCRIPCION MICROSCOPICA: Granos de cuarzo angulosos y pequeñas hojuelas de micas. Se presenta en su matriz arcilla y calcita.

MINERALOGIA:

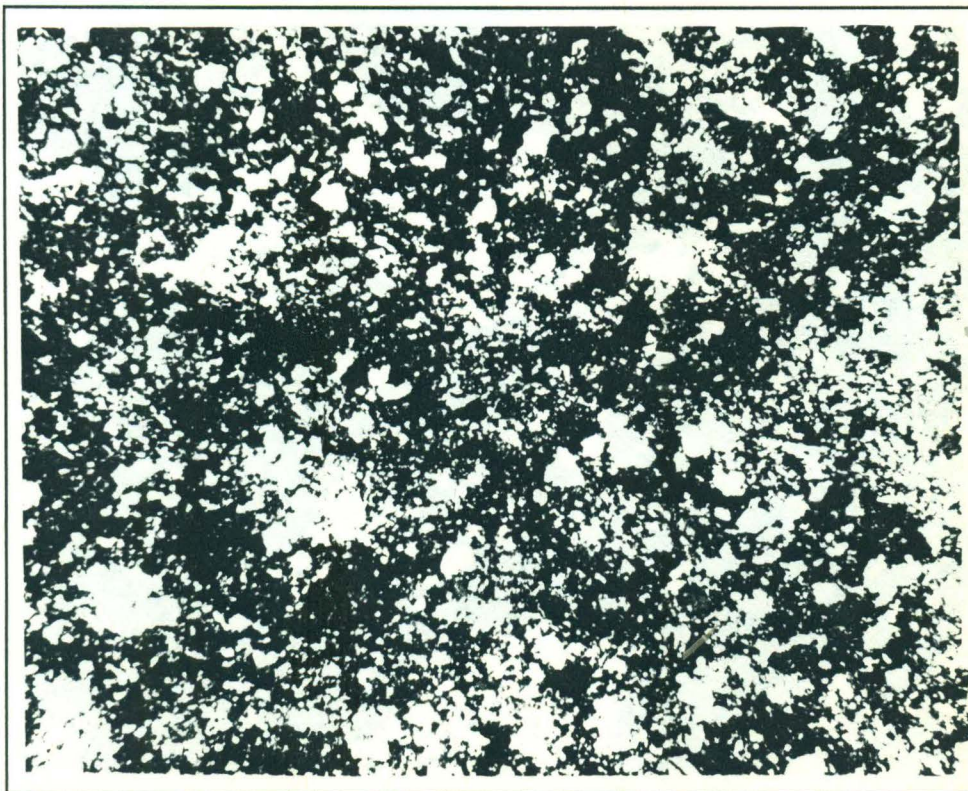
ESENCIALES:

ACCESORIOS:

SECUNDARIOS:

Matriz fina de calcita (85%), cuarzo (15%)

NOMBRE DE LA ROCA: Lutita calcárea



0 1000μ

CAPILLA ALFONCINA

ANALISIS PETROGRAFICO

NO. MUESTRA: 4

LOCALIZACION: Arroyo los Arrayanes (hoja Tónichi, coordenadas 28° 36' 21" - 109° 37' 28").

DESCRIPCION MICROSCOPICA: Los granos son subredondeados de tamaño grueso. Se presenta una matriz fina que corresponde a sericita.

MINERALOGIA:

ESENCIALES:

Cuarzo 90%

Feldespato 10%

ACCESORIOS:

Oxidos

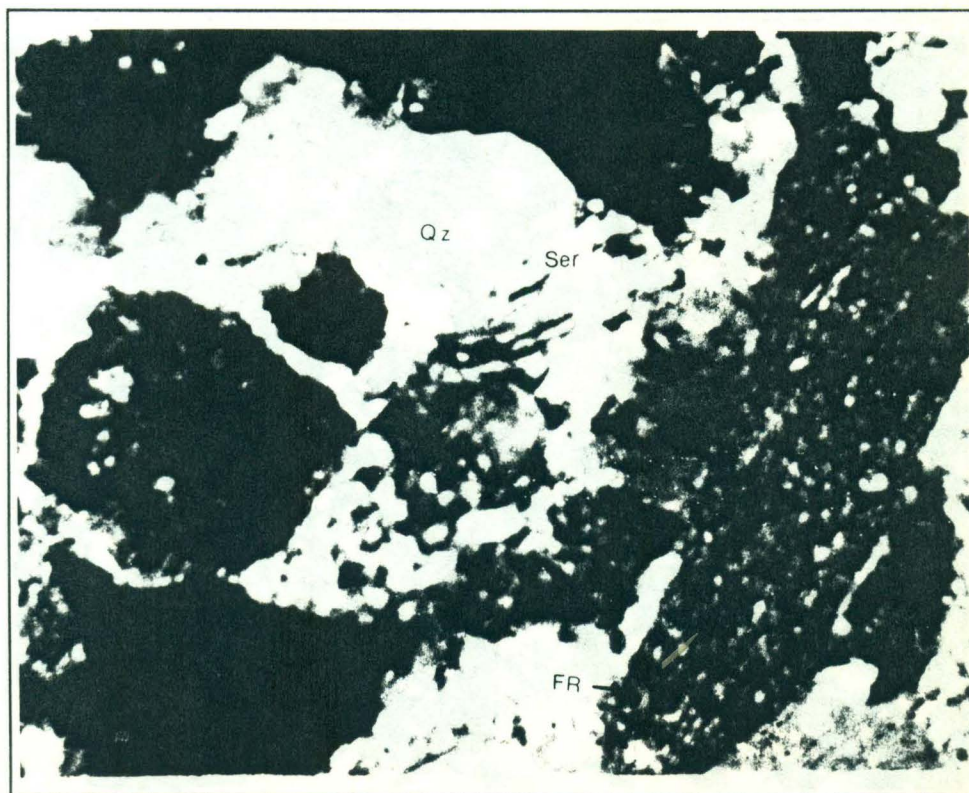
Muscovita

SECUNDARIOS:

Cuarzo policristalino

Sericita

NOMBRE DE LA ROCA: Subarcosa. (FOLK 1980).



0 1000μ

ANALISIS PETROGRAFICO

NO. MUESTRA: 5

LOCALIZACION: Arroyo Arrayanes (hoja Tónichi, coordenadas 28° 36' 21" - 109° 37' 45").

DESCRIPCION MICROSCOPICA: El tamaño de grano es menor de 0.05 mm con abundancia de granos angulosos de cuarzo. Se observa gran cantidad de hojuelas de muscovita. El sedimento se encuentra cementado por sericita.

MINERALOGIA:

ESENCIALES:

Cuarzo 20%

Arcillas 70%

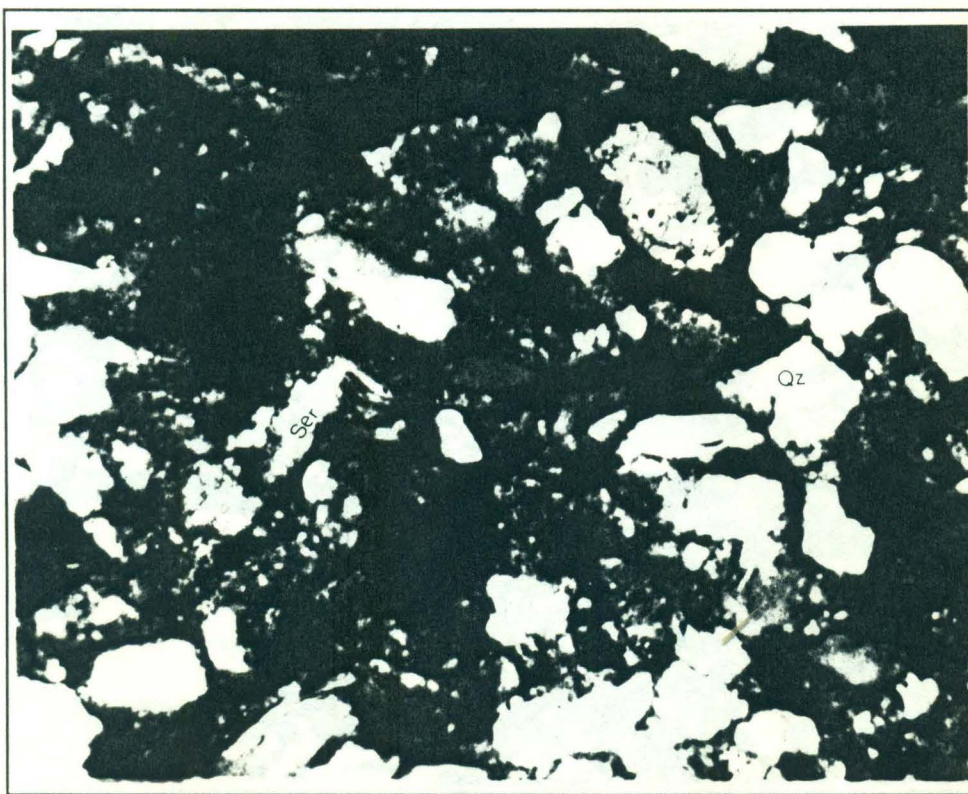
ACCESORIOS:

Oxidos

SECUNDARIOS:

Muscovita

NOMBRE DE LA ROCA: Limolita de grano grueso.



0 1000μ

ANALISIS PETROGRAFICO

NO. MUESTRA: 6

LOCALIZACION: El Recodo (hoja la Dura, coordenadas $28^{\circ} 25' 29''$ - $109^{\circ} 31' 6''$).

DESCRIPCION MICROSCOPICA: Se presenta una matriz porfídica donde las plagioclasas se encuentran alteradas a sericita. Se presenta gran cantidad de laminillas de plagioclasas y la pirita se presenta en forma ehedral y diseminada.

MINERALOGIA:

ESENCIALES:

Oligoclasa-

Andesina 70%

Cuarzo 5%

Augita 8%

ACCESORIOS:

Pirita diseminada (5%)

SECUNDARIOS:

Sericita

NOMBRE DE LA ROCA: Andesita porfídica.



0 500 μ

ANALISIS PETROGRAFICO

NO. MUESTRA: 7

LOCALIZACION: Arroyo Sapuchi (hoja Tónichi, coordenadas $28^{\circ}23'33''$ - $109^{\circ}37'30''$)

DESCRIPCION MICROSCOPICA: Cristales de calcita de origen sedimentario y probablemente valvas de ostracodos, así como texturas fluidales indicando la introducción de una roca volcánica (toba), presentándose fenocristales de cuarzo y plagioclasa.

MINERALOGIA:

ESENCIALES:

Calcita 40%

Cuarzo 20%

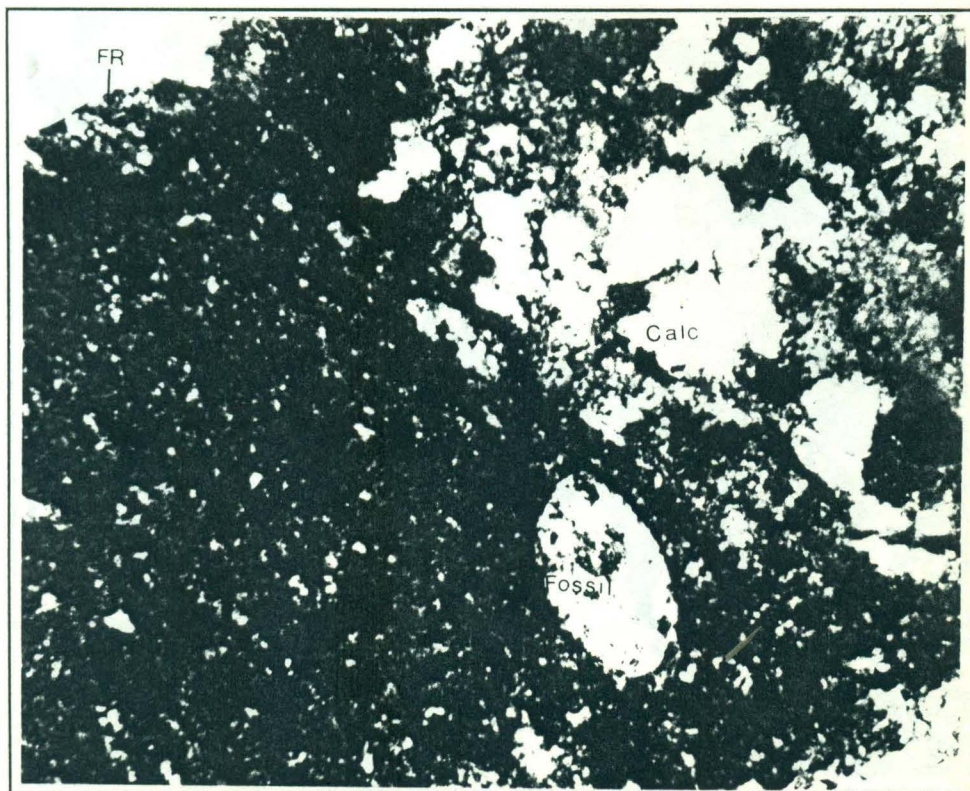
Plagioclasa 5%

ACCESORIOS:

Muscovita

SECUNDARIOS:

NOMBRE DE LA ROCA: Toba vulcanosedimentaria.



0 1000 μ

ANALISIS PETROGRAFICO

NO. MUESTRA: 8

LOCALIZACION: Arroyo Sapuchi (hoja Tónichi, 28° 23' 33" - 109° 37' 52").

DESCRIPCION MICROSCOPICA: Presenta un tamaño de grano medio, los granos son angulosos y muy fracturados y con corrosión parcial. La matriz se encuentra sericitizada.

MINERALOGIA:

ESENCIALES:

Cuarzo 70%

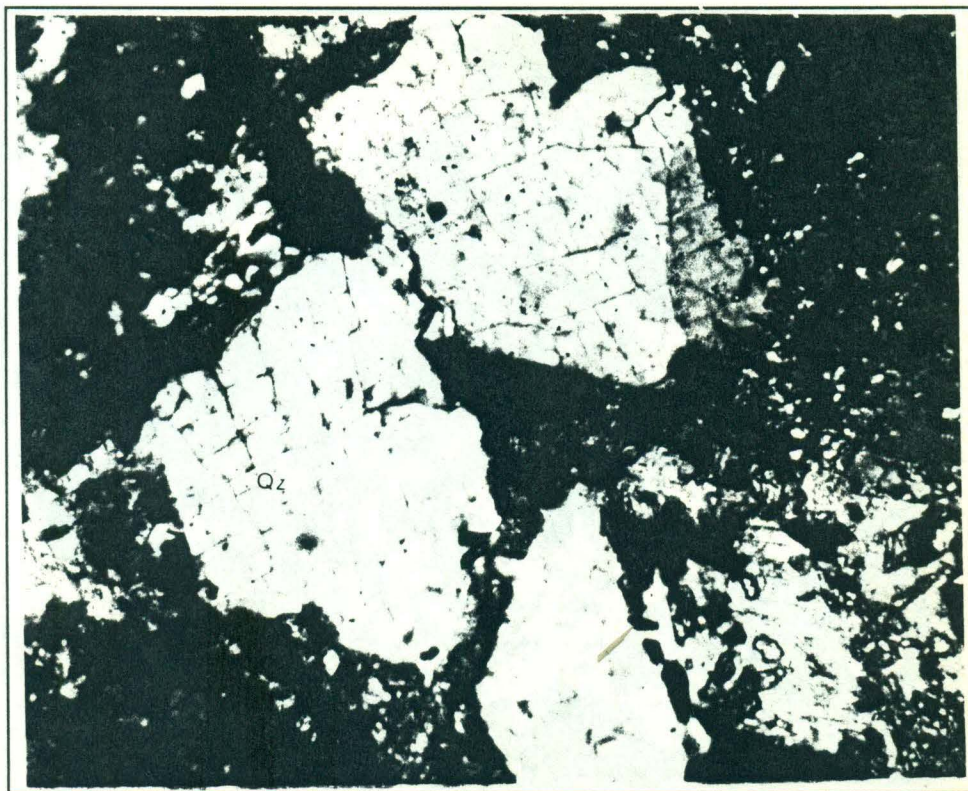
Feldespatos 30%

ACCESORIOS:

Muscovita

SECUNDARIOS:

NOMBRE DE LA ROCA: Arcosa de grano medio.



0 1000μ

ANALISIS PETROGRAFICO

NO. MUESTRA: 9

LOCALIZACION: Cerro El Soberbio (hoja Tónichi, coordenadas $28^{\circ}35'58''$ - $109^{\circ}29'37''$).

DESCRIPCION MICROSCOPICA: Presenta una textura granular, donde las plagioclasas son hipidiomorfas con gran alteración. El tamaño de grano es 1 - 10 mm. El feldespato se encuentra sericitizado.

MINERALOGIA:

ESENCIALES:

Feldespato potásico 40%

Plagioclasea 20%

Cuarzo 30%

ACCESORIOS:

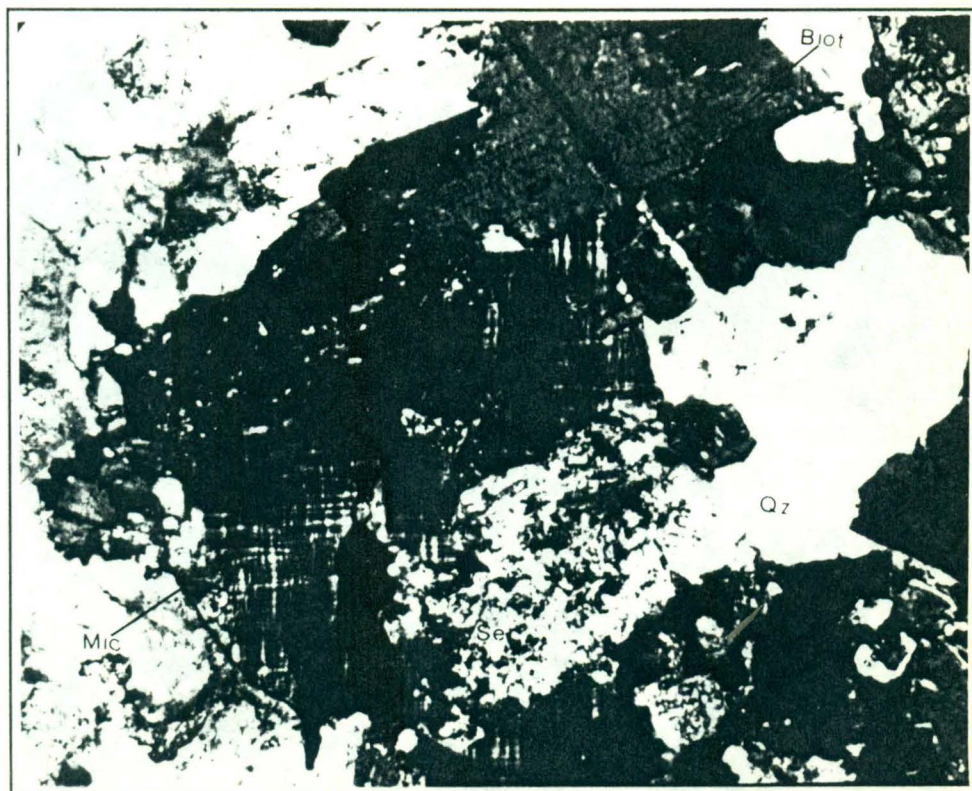
Opacos 1%

Biotita 3%

SECUNDARIOS:

Hornblenda 6%

NOMBRE DE LA ROCA: Granito alcalino.



0 500μ

ANALISIS PETROGRAFICO

NO. MUESTRA: 10

LOCALIZACION: Arroyo Hondo (hoja Tónichi, coordenadas $28^{\circ} 35' 34''$ - $109^{\circ} 36' 55''$).

DESCRIPCION MICROSCOPICA: Presenta una estructura vitrofídica, textura isótropa y una matriz afanítica. Presenta pequeñas flamas sin ningún arreglo preferencial. El Cuarzo presenta golfos de corrosión y fragmentos de roca. Existe la formación de calcita y arcillas en las cavidades de la roca.

MINERALOGIA:

ESENCIALES:

Plagioclasas 25%

Feldespatos 25%

Vidrio volcánico 5%

ACCESORIOS:

Calcita (rellenando
cavidades)

Fragmentos de roca

SECUNDARIOS:

NOMBRE DE LA ROCA: Toba riolítica ó transicional a ignimbrita



0 500 μ

CAPILLA ALFONSO

ANALISIS PETROGRAFICO

NO. MUESTRA: 11

LOCALIZACION: Sección Sapuchi (hoja Tónichi, coordenadas $28^{\circ}34'12''$ - $109^{\circ}36'13''$).

DESCRIPCION MICROSCOPICA: Presenta un tamaño de grano medio. Bien redondeados, que dan la apariencia de una arenisca oxidada.

MINERALOGIA:

ESENCIALES:

Cuarzo 5% ?

Plagioclasa + Feldespatos 20%

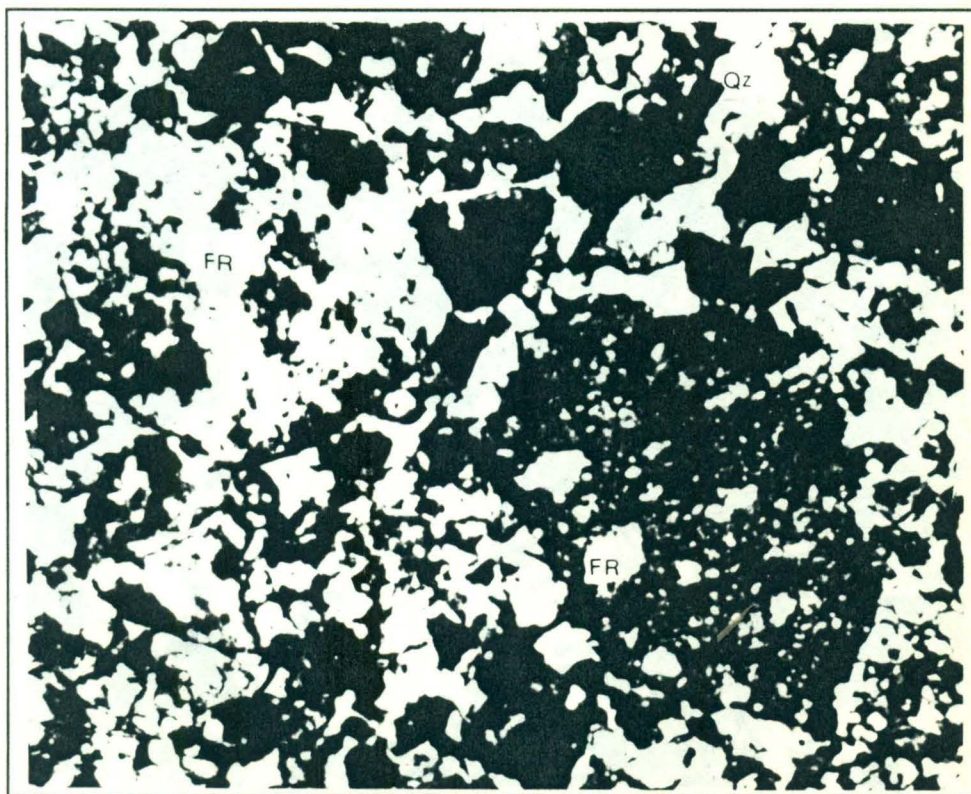
Vidrio volcánico ?

ACCESORIOS:

Opacos 30%

SECUNDARIOS:

NOMBRE DE LA ROCA: Toba granular.



0 500μ

ANALISIS PETROGRAFICO

NO. MUESTRA: 12

LOCALIZACION: Rancho El Salto (hoja Tónichi, coordenadas $28^{\circ}39'59''$ - $109^{\circ}34'55''$).

DESCRIPCION MICROSCOPICA: Los cristales de cuarzo, plagioclasa y feldespatos, en general se encuentran agrietados con corrosión parcial. Los fragmentos son angulosos.

MINERALOGIA:

ESENCIALES:

Cuarzo 56%

Plagioclasa 28%

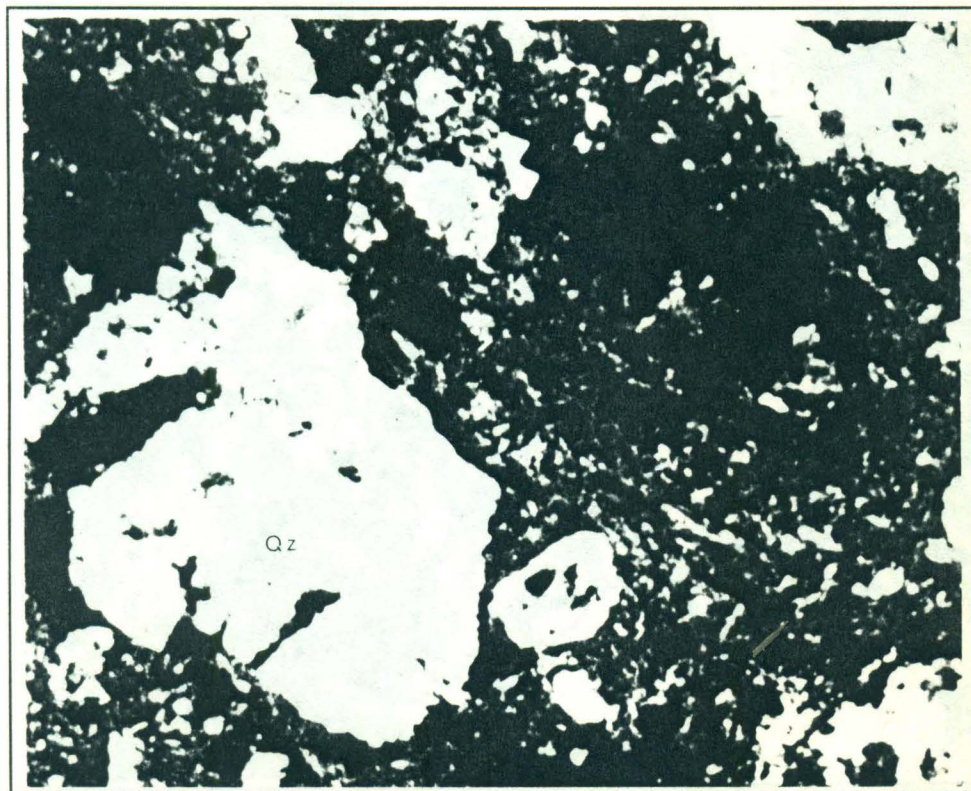
Vidrio volcánico 12%

ACCESORIOS:

Minerales opacos 6%

SECUNDARIOS:

NOMBRE DE LA ROCA: Toba cristalina.



0 500 μ

CAPITULO I A FONSIANA

ANALISIS PETROGRAFICO

NO. MUESTRA: 13

LOCALIZACION: El Salto (hoja Tónichi, coordenadas $28^{\circ} 39' 54''$ - $109^{\circ} 34' 49''$).

DESCRIPCION MICROSCOPICA: Sus granos se presentan con un tamaño de grano medio con un cementante calcítico.

MINERALOGIA:

ESENCIALES:

Cuarzo 38%

Feldespatos 42%

Fragmentos de roca 20%

ACCESORIOS:

Minerales opacos

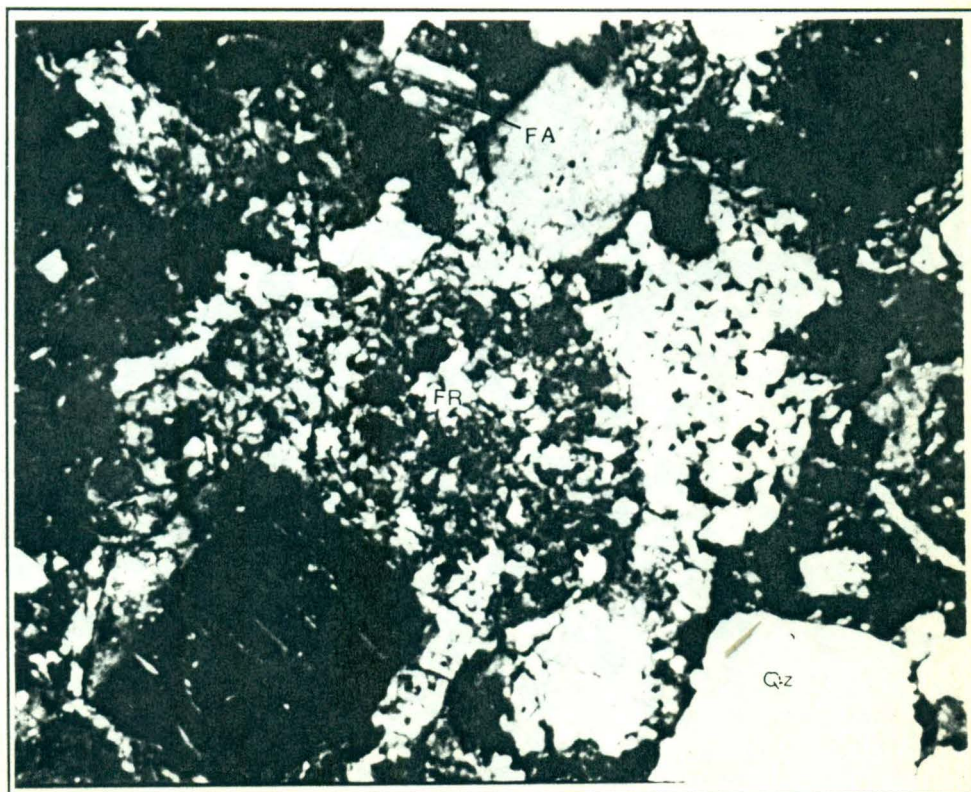
Biotita

Calcita

SECUNDARIOS:

Arcillas

NOMBRE DE LA ROCA: Arcosa lítica (FOLK, 1980).



0 500 μ

ANALISIS PETROGRAFICO

NO. MUESTRA: 14

LOCALIZACION: El Salto (hoja Tónichi, coordenadas $28^{\circ} 39' 54''$ - $109^{\circ} 34' 48''$).

DESCRIPCION MICROSCOPICA: Presenta granos de cuarzo subredondeados con un tamaño medio 0.056 mm. Embebidos en una matriz arcillosa y presenta pequeñas hojuelas de micas.

MINERALOGIA:

ESENCIALES:

Cuarzo 25%

Arcillas 50%

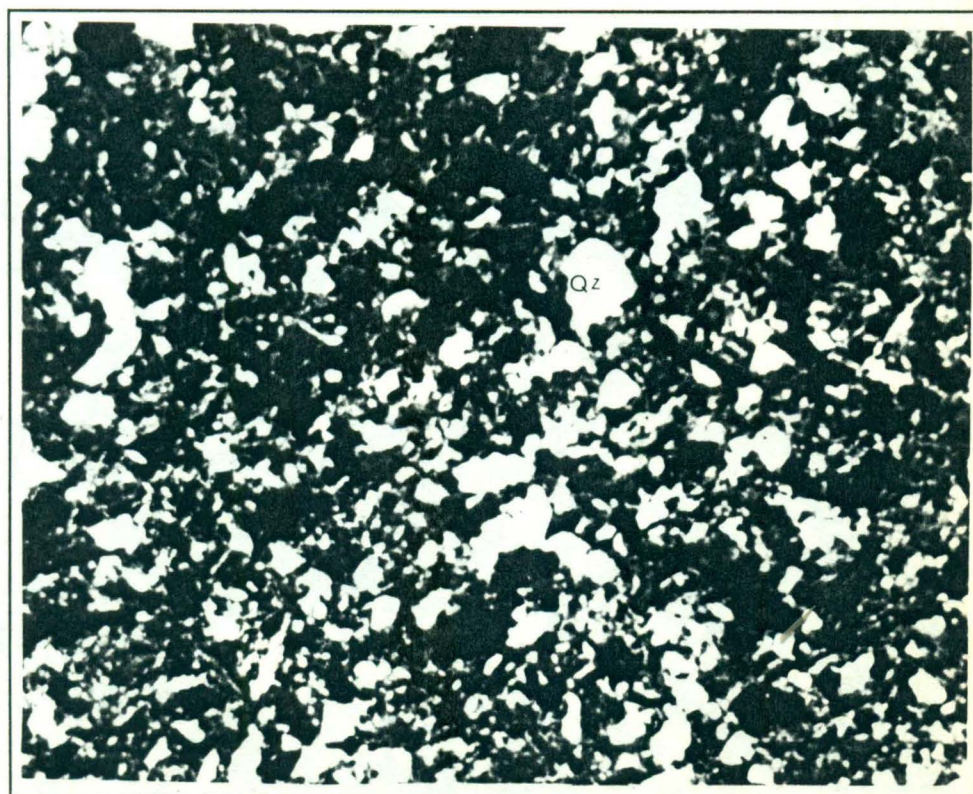
ACCESORIOS:

Opacos 2%

SECUNDARIOS:

Muscovita

NOMBRE DE LA ROCA: Limolita.



0 500 μ

ANALISIS PETROGRAFICO

NO. MUESTRA: 15

LOCALIZACION: La Misión (hoja Tónichi, coordenadas $28^{\circ} 40'$ - $109^{\circ} 32' 30''$).

DESCRIPCION MICROSCOPICA: Los granos se encuentran de subangulosos a subredondeados. El mayor porcentaje corresponde a fragmentos de roca correspondiente a tobas y andesitas. Se presenta un tamaño de grano medio.

MINERALOGIA:

ESENCIALES:

Cuarzo 25%

Feldespatos 25%

Fragmentos de rocas 50%

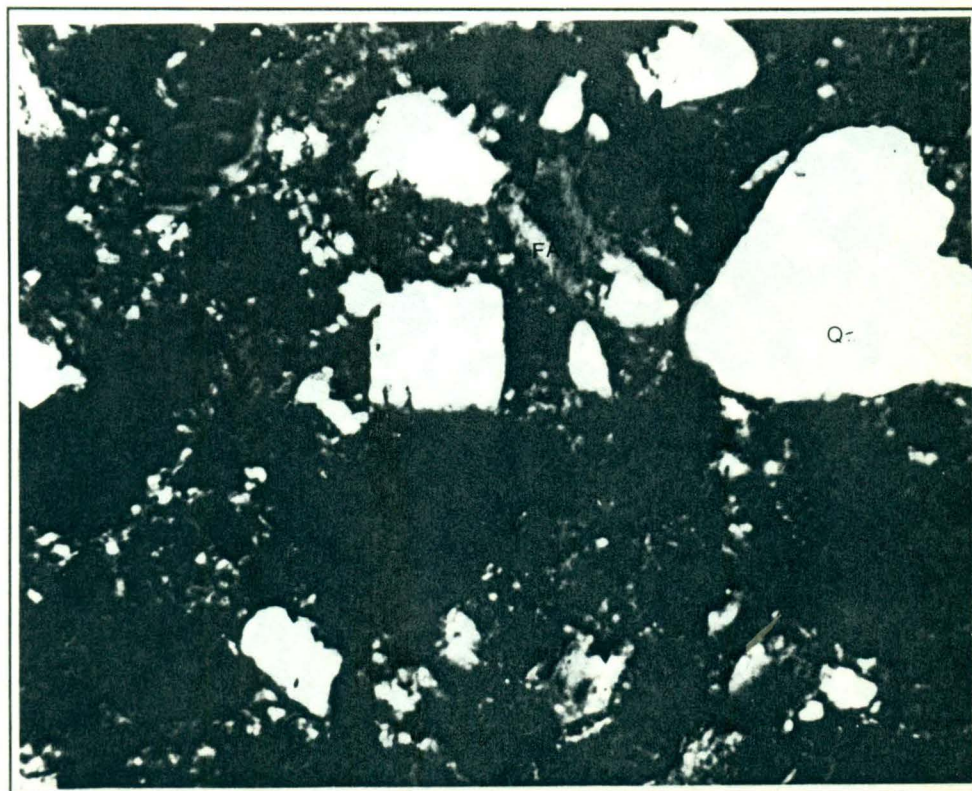
ACCESORIOS:

Minerales opacos 2%

SECUNDARIOS:

Arcillas

NOMBRE DE LA ROCA: Litarenita feldespática. (FOLK, 1980).



0 1000 μ

ANALISIS PETROGRAFICO

NO. MUESTRA: 16

LOCALIZACION: El Datil (hoja Tónichi, coordenadas 28° 40' - 109° 31' 22").

DESCRIPCION MICROSCOPICA: Granos subangulosos a angulosos mal clasificados.

MINERALOGIA:

ESENCIALES:

Cuarzo 56%

Feldespatos 26%

Fragmentos 18%

ACCESORIOS:

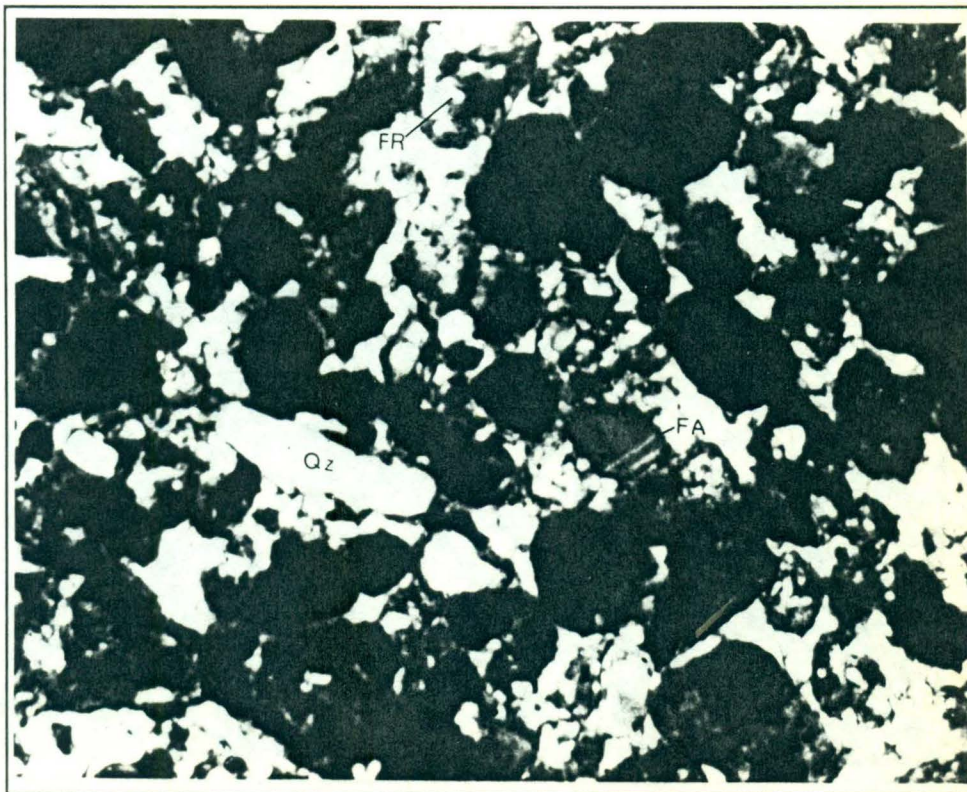
Opacos 2%

Muscovita

SECUNDARIOS:

Arcillas

NOMBRE DE LA ROCA: Toba lítica.



0 500μ

ANALISIS PETROGRAFICO

NO. MUESTRA: 17

LOCALIZACION: Arroyo Sapuchi (hoja Tónichi, coordenadas $28^{\circ}34'12''$ - $109^{\circ}36'$).

DESCRIPCION MICROSCOPICA: Roca con una matriz afanítica con pequeñas manchitas de calcita, probablemente relleno de cavidades.

MINERALOGIA:

ESENCIALES:

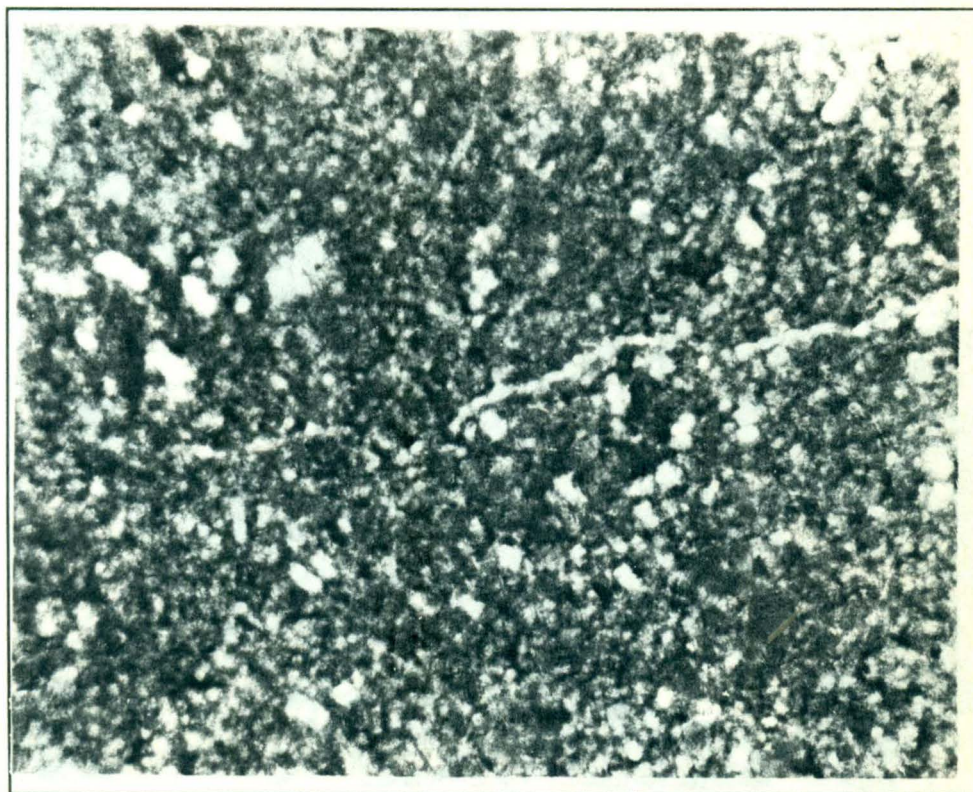
Matriz afanítica 100%

ACCESORIOS:

Calcita

SECUNDARIOS:

NOMBRE DE LA ROCA: Brecha andesítica.



0 500 μ

ANALISIS PETROGRAFICO

NO. MUESTRA: 18

LOCALIZACION: Sección Sapuchi (hoja Tónichi, coordenadas 28° 34' 22" - 109° 35' 55").

DESCRIPCION MICROSCOPICA: Fenocristales de feldespatos y plagioclasas en una matriz afanítica con partes de textura hialofílica.

MINERALOGIA:

ESENCIALES:

Plagioclasas + feldespatos 30%

ACCESORIOS:

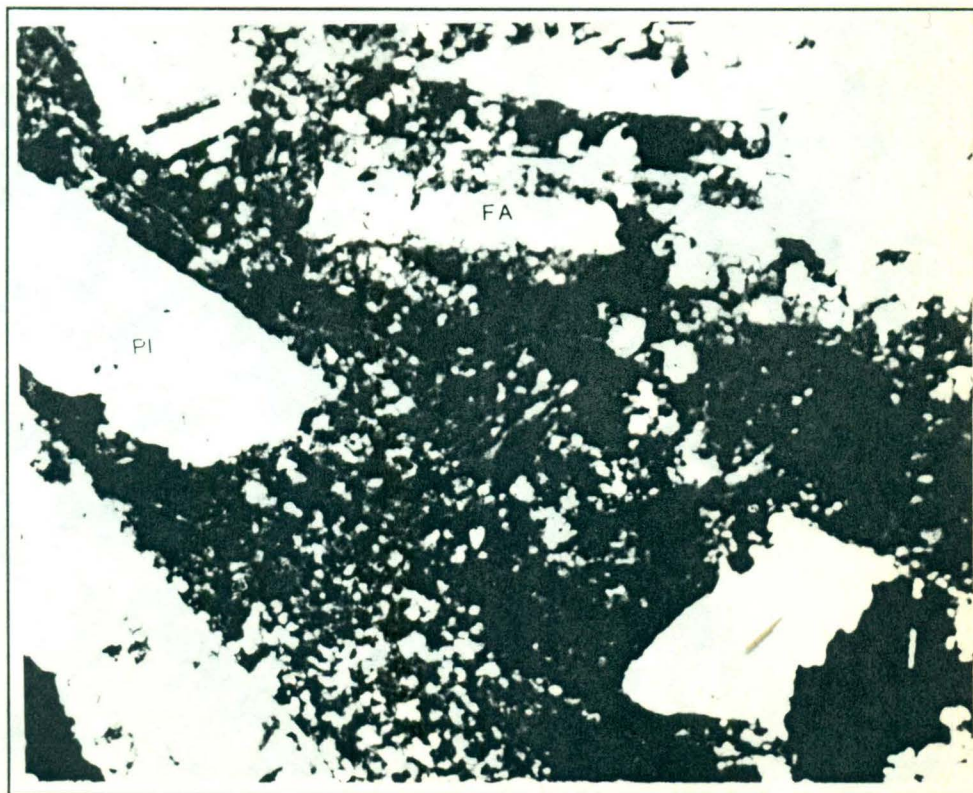
Opacos 1%

SECUNDARIOS:

Calcita

Sericita

NOMBRE DE LA ROCA: Toba cristalina.



0 500μ

ANALISIS PETROGRAFICO

NO. MUESTRA: 19

LOCALIZACION: Arroyo Sapuchi (hoja Tónichi, coordenadas 28° 34' 24" - 109° 35' 40").

DESCRIPCION MICROSCOPICA: Cristales idomórficos con una textura porfídica. Los feldespatos se encuentran zoneados. La matriz es fina compuesta por plagioclasa.

MINERALOGIA:

ESENCIALES:

Plagioclasa 60%

Piroxenos 5%

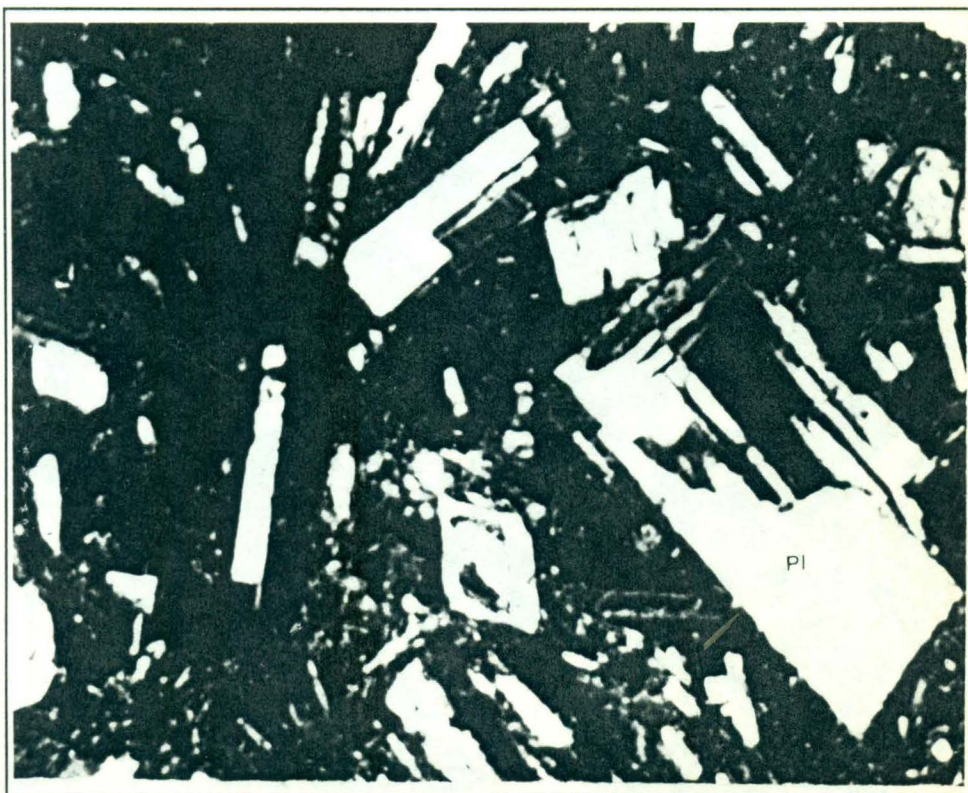
Hornblenda 2%

ACCESORIOS:

Opacos 10%

SECUNDARIOS:

NOMBRE DE LA ROCA: Andesita.



0 500μ

ANALISIS PETROGRAFICO

NO. MUESTRA: 20

LOCALIZACION: Arroyo Sapuchi (hoja Tónichi, coordenadas $28^{\circ} 34' 28''$ - $109^{\circ} 34' 41''$).

DESCRIPCION MICROSCOPICA: Granos subredondeados a redondeados con buena clasificación y gran porosidad. Presenta una matriz muy fina alrededor de los cristales (arcillas o zeolitas).

MINERALOGIA:

ESENCIALES:

Cuarzo

Feldespatos

Fragmentos de roca

ACCESORIOS:

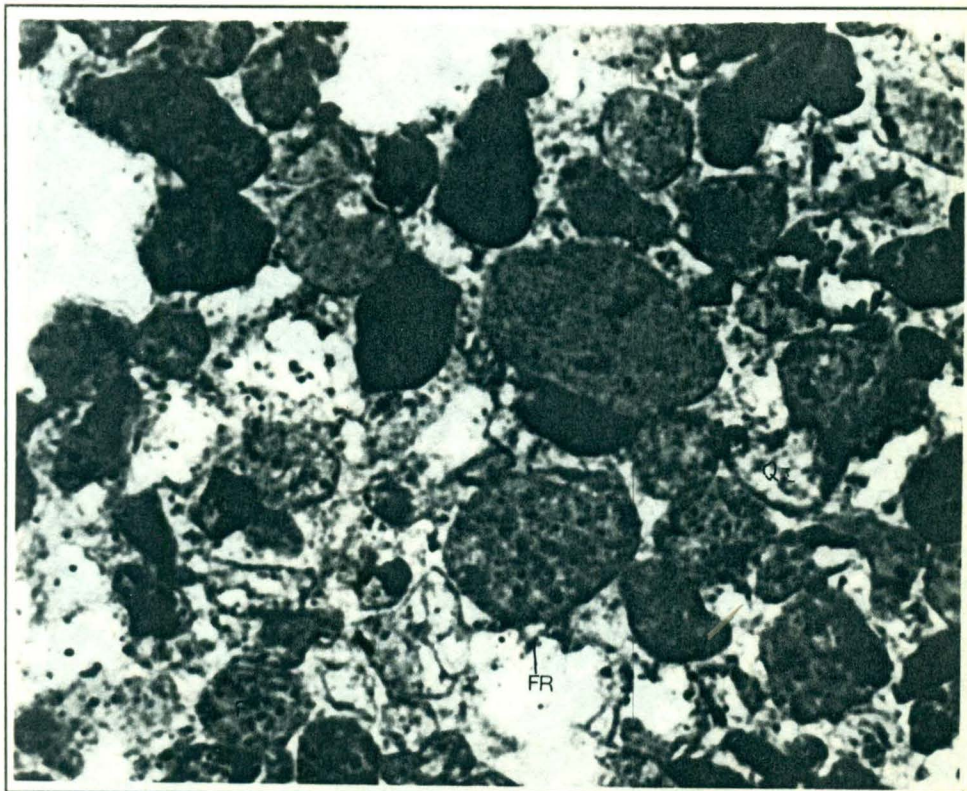
Opacos 4%

Heulandita

SECUNDARIOS:

Montmorillonita

NOMBRE DE LA ROCA: Litarenita. (FOLK, 1980).



0 500 μ

ANALISIS PETROGRAFICO

NO. MUESTRA: 21

LOCALIZACION: Arroyo Sapuchi (hoja Tónichi, coordenadas $28^{\circ} 34' 45''$ - $109^{\circ} 33' 48''$).

DESCRIPCION MICROSCOPICA: Granos de subredondeados a subangulosos, con un tamaño de grano que varía desde 4 a 0.09 mm. La matriz es arcillosa compuesta por montmorillonita y heulandita constituyendo un 40%.

MINERALOGIA:

ESENCIALES:

Cuarzo 44%

Feldespatos 6%

Fragmentos de roca 50%

ACCESORIOS:

Opacos 5%

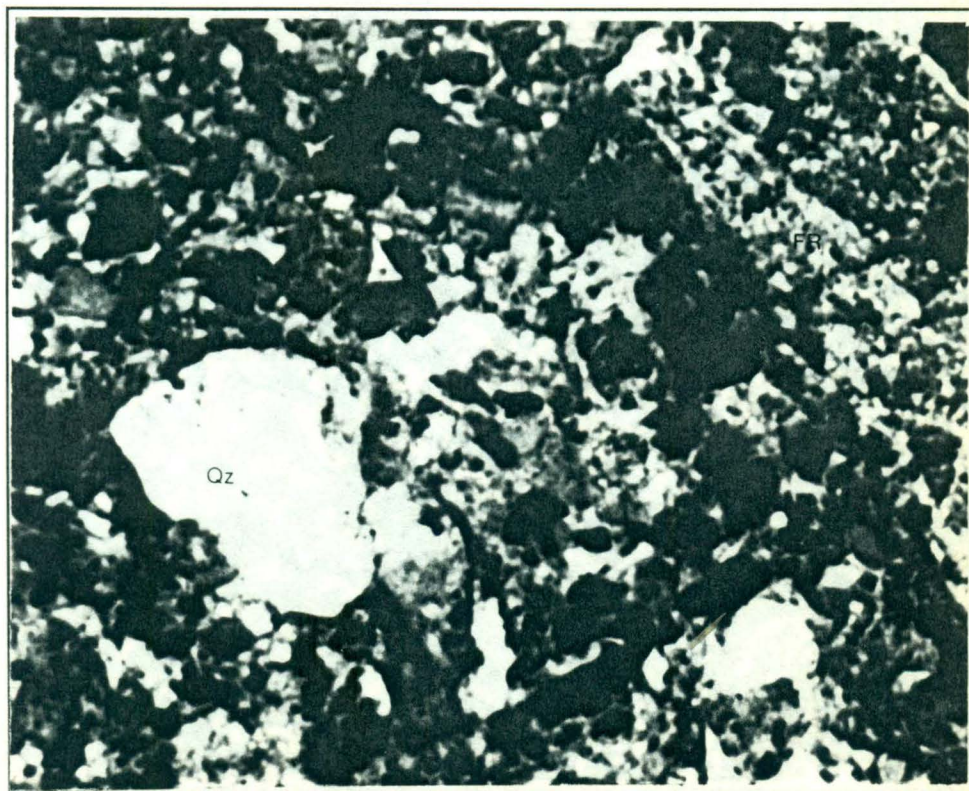
Epidota

Biotita

SECUNDARIOS:

Calcita

NOMBRE DE LA ROCA: Litarenita. (FOLK, 1980).



0 500 μ

ANALISIS PETROGRAFICO

NO. MUESTRA: 22

LOCALIZACION: Arroyo Hondo (hoja Tónichi, coordenadas $28^{\circ}35'34''$ - $109^{\circ}36'13''$).

DESCRIPCION MICROSCOPICA: Los fenocristales de plagioclasas se encuentran muy alterados. La matriz es afanítica. La roca se presenta parcialmente sericitizada y cloritizada.

MINERALOGIA:

ESENCIALES:

Plagioclasas 80%

ACCESORIOS:

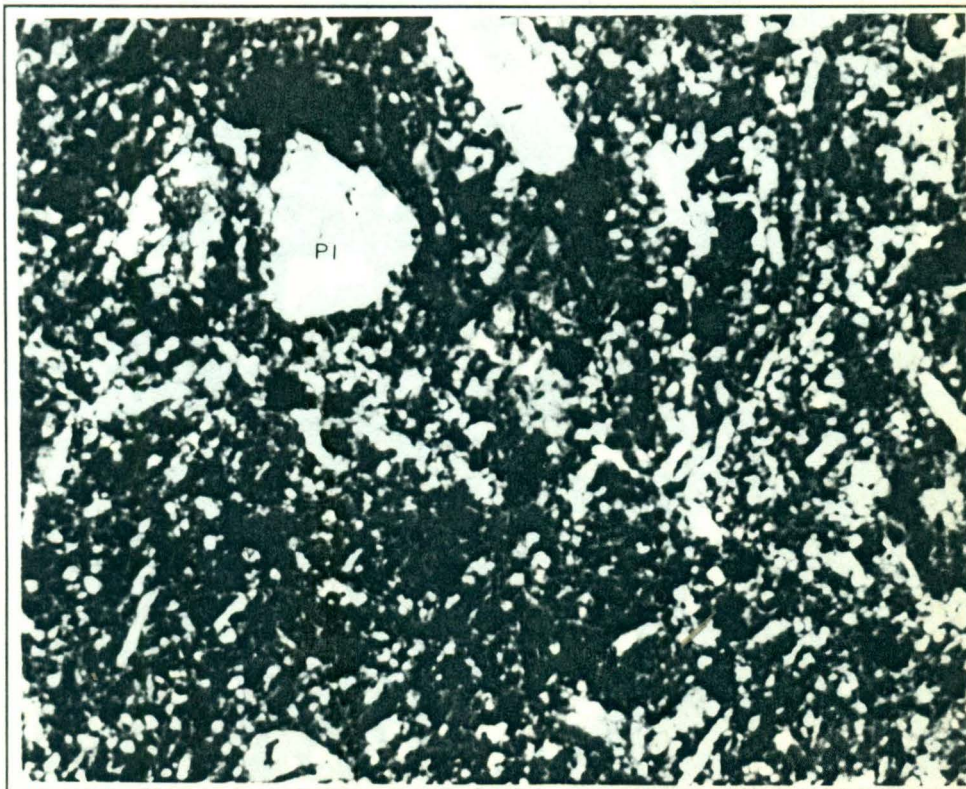
Opacos 2%

SECUNDARIOS:

Sericita

Clorita

NOMBRE DE LA ROCA: Andesita.



0 500 μ

ANALISIS PETROGRAFICO

NO. MUESTRA: 23

LOCALIZACION: Arroyo el Obispo (hoja La Dura, coordenadas 28° 26' 29" - 109° 36' 35").

DESCRIPCION MICROSCOPICA: Textura porfídica con una matriz fina. Fenocristales de plagioclasa parcialmente alterados. La augita se encuentra alterada a tremolita (hidrotermalismo).

MINERALOGIA:

ESENCIALES:

Plagioclasa 20%

Augita 10%

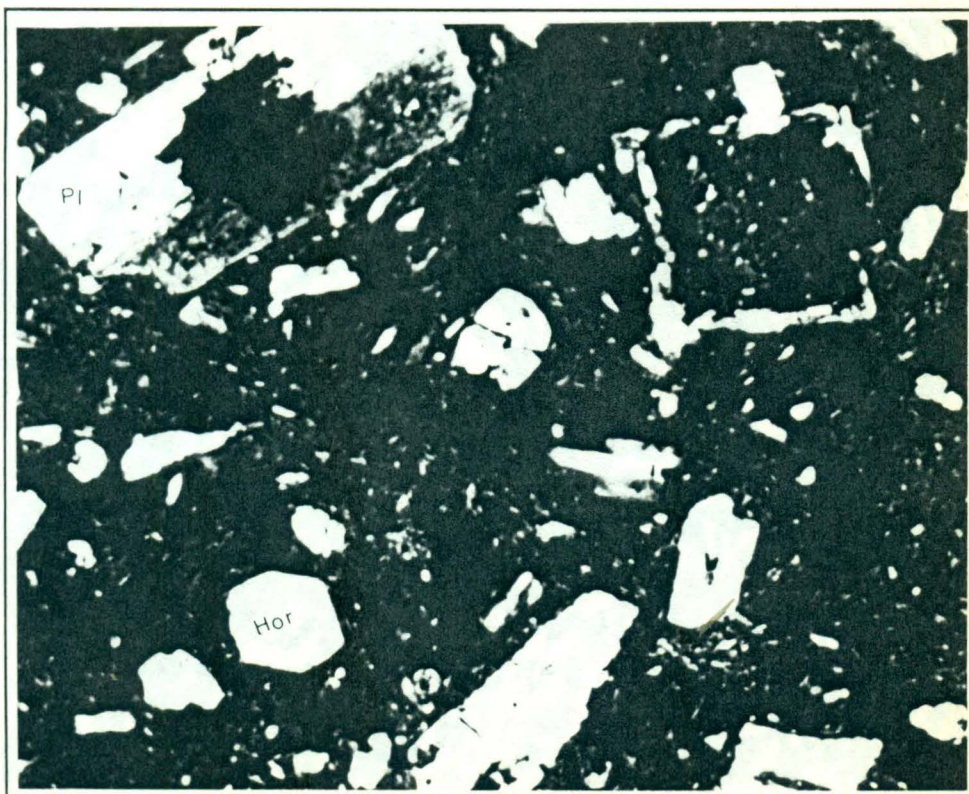
Hornblenda 5%

ACCESORIOS:

Opacos (1%)

SECUNDARIOS:

NOMBRE DE LA ROCA: Andesita.



0 500μ

ANALISIS PETROGRAFICO

NO. MUESTRA: 24

LOCALIZACION: Arroyo El Obispo (hoja La Dura, coordenadas 28° 26' 11" - 109° 36' 11").

DESCRIPCION MICROSCOPICA: Presenta una textura traquítica. Existe una homogenidad de cristales de plagioclasa. Se observa poca cantidad de fenocristales (<1%).

MINERALOGIA:

ESENCIALES:

ACCESORIOS:

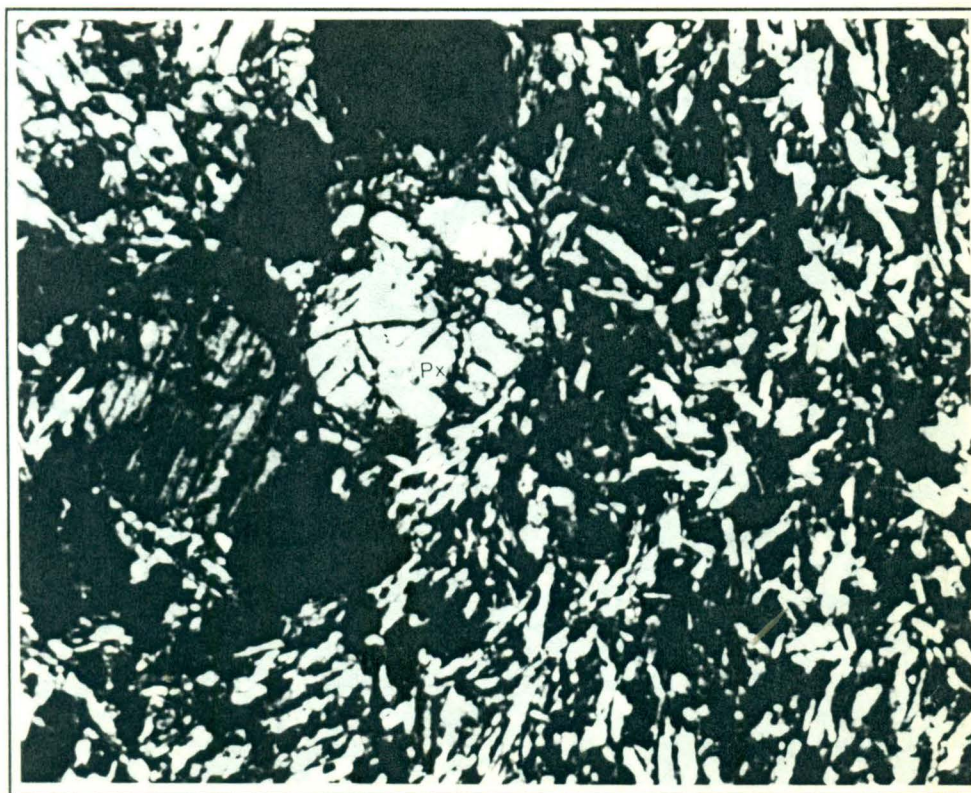
SECUNDARIOS:

Plagioclasa (Oligoclasa) 90%

Opacos 10%

Piroxenos

NOMBRE DE LA ROCA: Traquiandesita.



0 500 μ

ANALISIS PETROGRAFICO

NO. MUESTRA: 25

LOCALIZACION: Arroyo El Obispo (hoja La Dura, coordenadas $28^{\circ} 26' 21''$ - $109^{\circ} 35' 55''$)

DESCRIPCION MICROSCOPICA: Fragmentos angulosos a subangulosos que varían en tamaño desde 0.06 mm - 1.3 mm.

MINERALOGIA:

ESENCIALES:

Cuarzo 15%

Plagioclasa 10%

Fragmentos de roca 30%

ACCESORIOS:

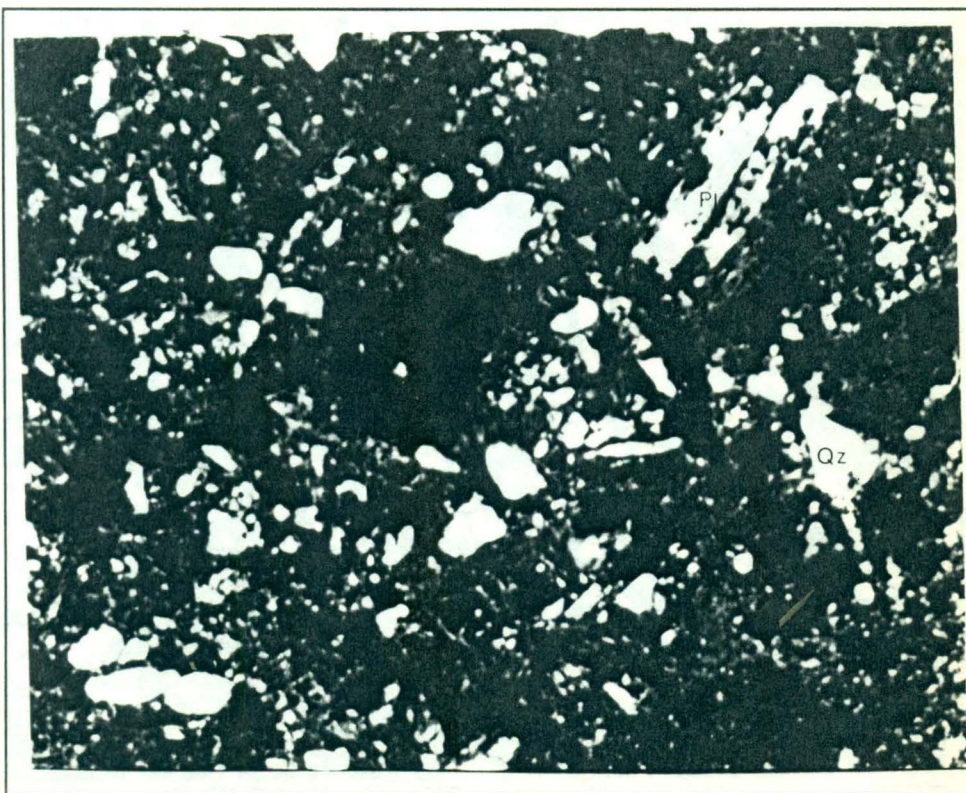
Oxidos 20%

Biotita

SECUNDARIOS:

Hornblenda

NOMBRE DE LA ROCA: Toba lítica.



0 500 μ

ANALISIS PETROGRAFICO

NO. MUESTRA: 26

LOCALIZACION: Arroyo El Obispo (hoja La Dura, coordenadas $28^{\circ}26'21''$ - $109^{\circ}35'27''$).

DESCRIPCION MICROSCOPICA: Presenta una textura traquítica en una matriz hipidiomórfica con fenocristales subhedrales y zoneados.

MINERALOGIA:

ESENCIALES:

Plagioclasa 80%

Augita 5%

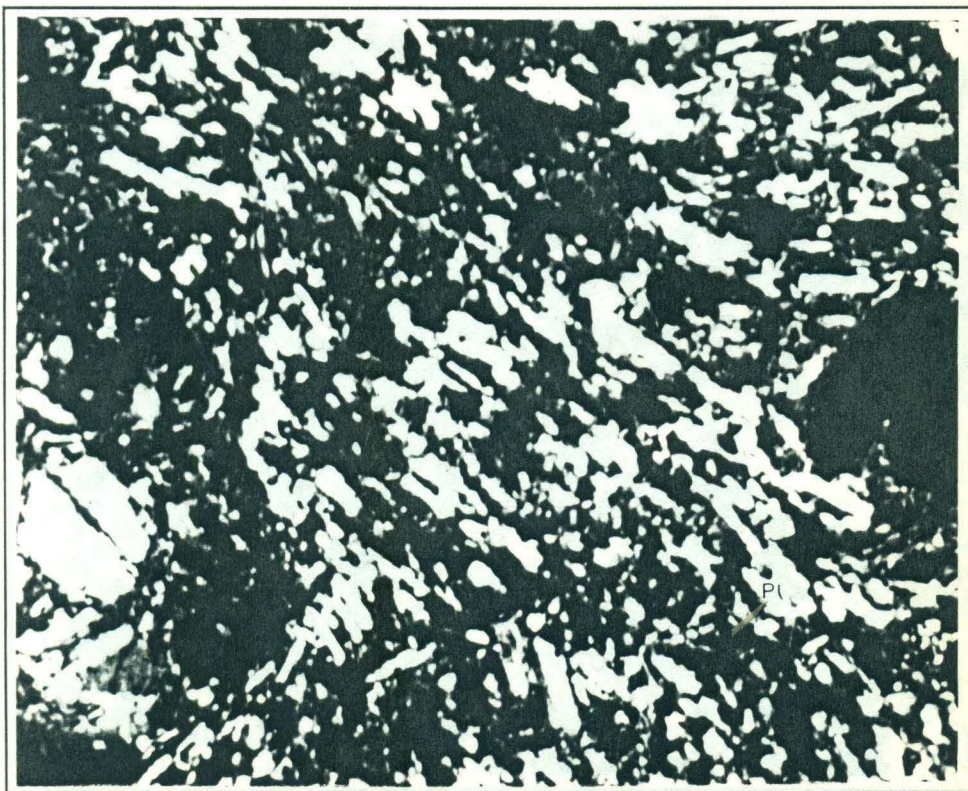
Olivinos (se encuentran alterados a iddingsita) 10%

ACCESORIOS:

Opacos 20%

SECUNDARIOS:

NOMBRE DE LA ROCA: Traquiandesita.



0 500 μ

ANALISIS PETROGRAFICO

NO. MUESTRA: 27

LOCALIZACION: Arroyo El Obispo (hoja La Dura, coordenadas $28^{\circ}26'19''$ - $109^{\circ}35'18''$).

DESCRIPCION MICROSCOPICA: Granos de subredondeados a redondeados, con un tamaño grueso (0.57 mm). Las rocas se encuentran muy sericitizada. Matriz arcillosa (montmorillonita), y heulandita.

MINERALOGIA:

ESENCIALES:

Cuarzo 10%

Feldespatos 20%

Fragmentos de roca 70%

ACCESORIOS:

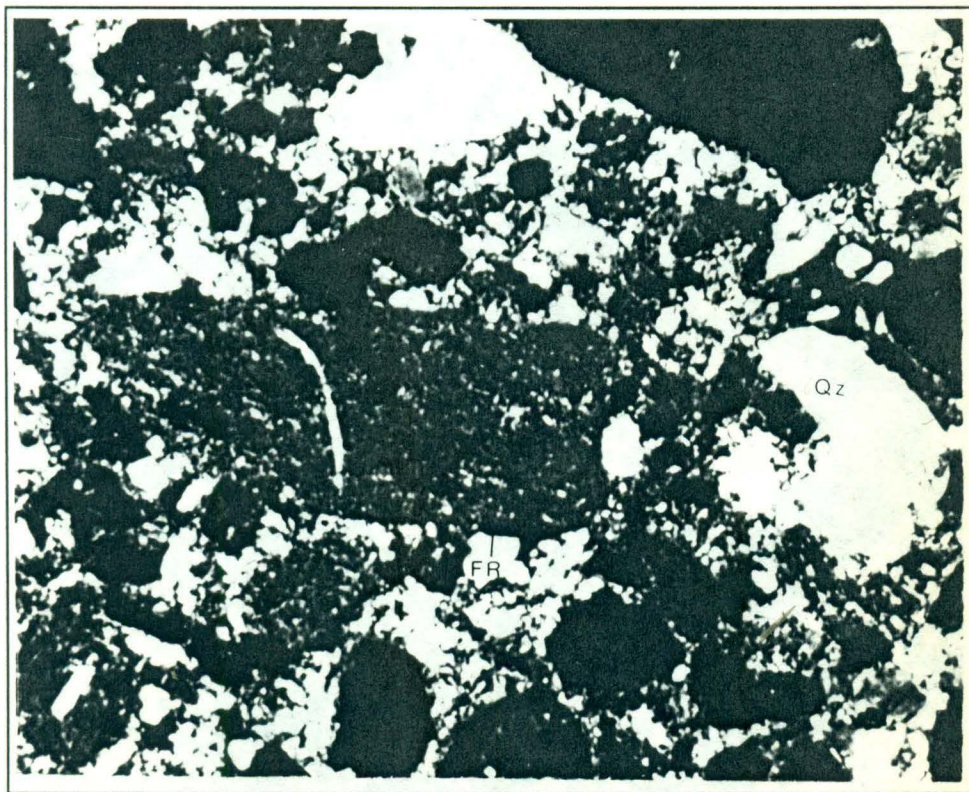
Opacos 2%

SECUNDARIOS:

Calcita

Biotita

NOMBRE DE LA ROCA: Litarenita. (FOLK, 1980).



0 500 μ

ANALISIS PETROGRAFICO

NO. MUESTRA: 28

LOCALIZACION: Arroyo El Obispo (hoja La Dura, coordenadas $28^{\circ} 26' 21''$ - $109^{\circ} 35'$).

DESCRIPCION MICROSCOPICA: Granos subredondeados de tamaño fino (0.18 mm). La matriz es arcillosa, pero existen cristales regulares de calcita. La roca se encuentra oxidada.

MINERALOGIA:

ESENCIALES:

Cuarzo 50%

Feldspatos 30%

Fragmentos de roca 20%

ACCESORIOS:

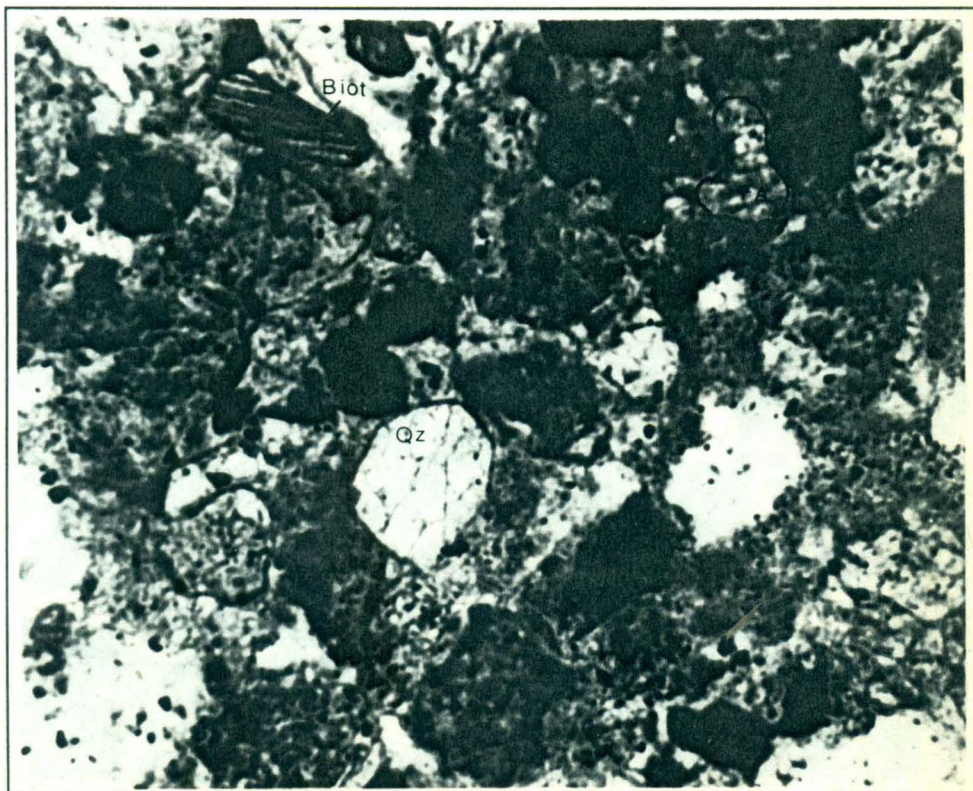
Opacos 3%

SECUNDARIOS:

Biotita, Calcita

Arcillas

NOMBRE DE LA ROCA: Arcosa lítica (FOLK, 1980).



0 1000 μ

ANALISIS PETROGRAFICO

NO. MUESTRA: 29

LOCALIZACION: Arroyo Obispo (hoja La Dura, coordenadas $28^{\circ} 26' 29''$ - $109^{\circ} 34' 50''$).

DESCRIPCION MICROSCOPICA: Textura traquítica, con cristales de plagioclasas subhedrales.

Los olivinos se encuentran iddingsitizados y la epidota es producto de hidrotermalismo.

MINERALOGIA:

ESENCIALES:

Plagioclasa (Labradorita) 80%

Iddingsita 20%

ACCESORIOS:

SECUNDARIOS:

Epidota

NOMBRE DE LA ROCA: Basalto.



0 500 μ

ANALISIS PETROGRAFICO

NO. MUESTRA: 30

LOCALIZACION: Arroyo el Aguaje (hoja La Dura, coordenadas $28^{\circ}23'51''$ - $109^{\circ}35'23''$).

DESCRIPCION MICROSCOPICA: Textura traquítica. Los cristales de plagioclasas son muy pequeños y presenta cristales de epidota.

MINERALOGIA:

ESENCIALES:

Plagioclasea 80%

ACCESORIOS:

Opacos 20%

SECUNDARIOS:

Epidota 5%

NOMBRE DE LA ROCA: Traquiandesita.



0 500 μ

ANALISIS PETROGRAFICO

NO. MUESTRA: 31

LOCALIZACION: Arroyo El Aguaje (hoja La Dura, coordenadas $28^{\circ} 23' 51''$ - $109^{\circ} 35'$).

DESCRIPCION MICROSCOPICA: Fenocristales de plagioclasas en una matriz fina de andesina.

Posee textura porfídica, cristales de plagioclasa zoneadas y amfíboles oxidados.

MINERALOGIA:

ESENCIALES:

ACCESORIOS:

SECUNDARIOS:

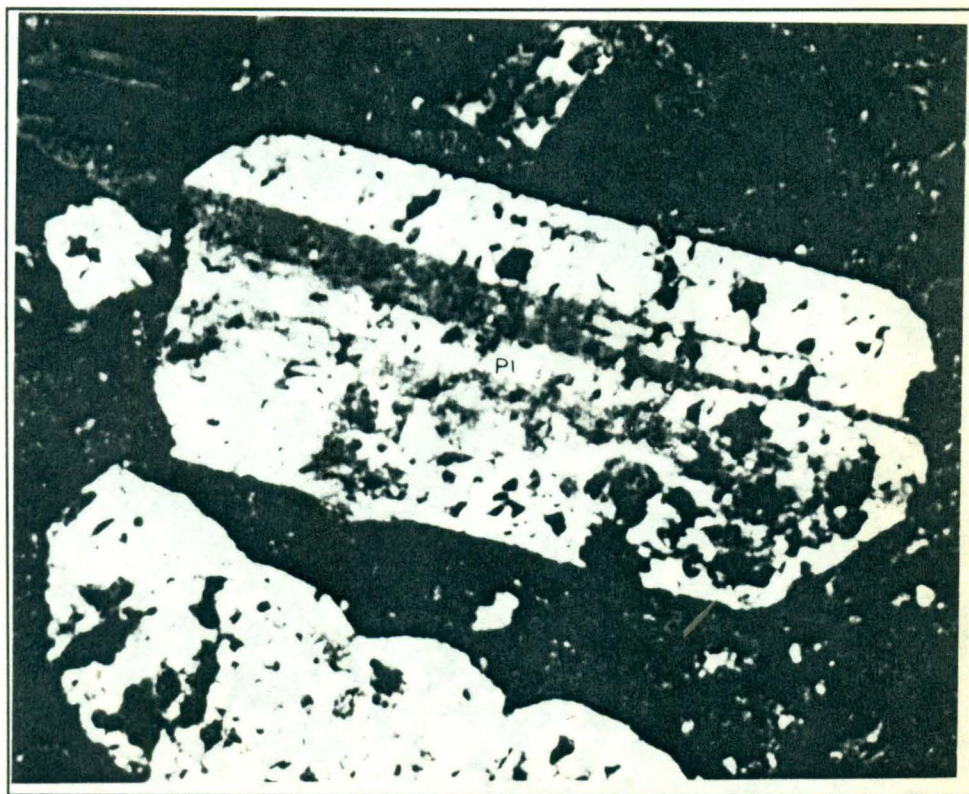
Plagioclasas (Oligoclasa-

Andesina) 30%

Hornblenda

Matriz 60%

NOMBRE DE LA ROCA: Andesita porfídica.



0 500 μ

ANALISIS PETROGRAFICO

NO. MUESTRA: 32

LOCALIZACION: El Aguaje (hoja La Dura, coordenadas $28^{\circ} 23' 51''$ - $109^{\circ} 34' 39''$).

DESCRIPCION MICROSCOPICA: Presenta una matriz fina con cristales de cuarzo angulosos. Presenta vidrio volcánica y fragmentos de roca de mayor tamaño que el cuarzo. Se observa gran oxidación de la roca con plagioclasas muy alteradas.

MINERALOGIA:

ESENCIALES:

Cuarzo 15%

Fragmentos de roca 30%

Plagioclasas 10%

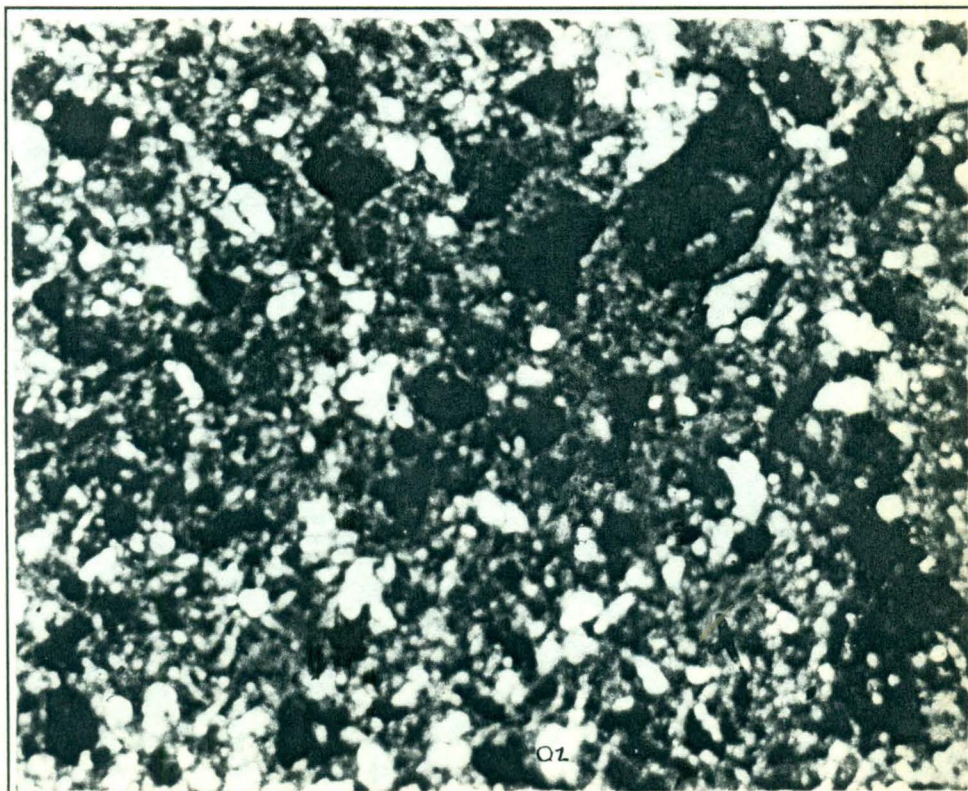
ACCESORIOS:

Matriz

SECUNDARIOS:

Epidota

NOMBRE DE LA ROCA: Toba lítica.



0 500 μ

ANALISIS PETROGRAFICO

NO. MUESTRA: 33

LOCALIZACION: El Aguaje (hoja La Dura, coordenadas $28^{\circ} 23' 51''$ - $109^{\circ} 33' 46''$).

DESCRIPCION MICROSCOPICA: Granos subredondeados a subangulosos con un tamaño que varía desde 3 mm hasta 0.15 mm. La matriz es arcillosa compuesta por montmorillonita y heulandita.

MINERALOGIA:

ESENCIALES:

Cuarzo 20%

Feldespatos 15%

Fragmentos de roca 65%

ACCESORIOS:

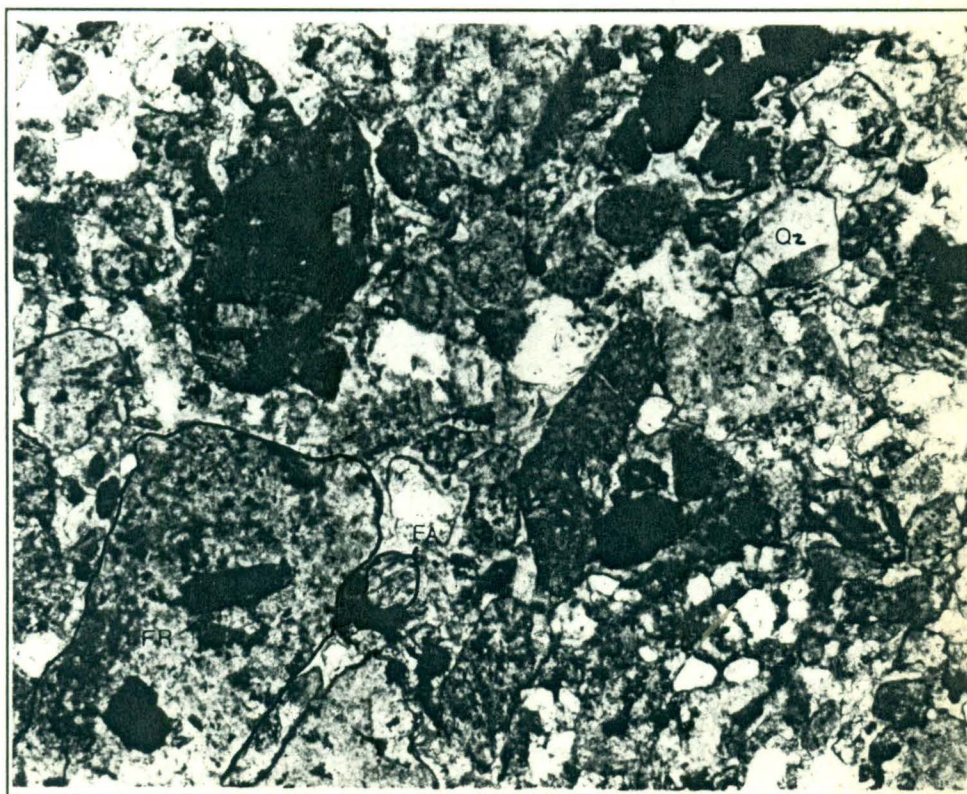
Opacos 5%

SECUNDARIOS:

Matriz (Montomori-
llonita)

Heulandita

NOMBRE DE LA ROCA: Litarenita (FOLK, 1980).



0 500 μ

L A M I N A S 1-4

(Lámina 1 Sección El Salto).

(Lámina 2 Sección Sapuchi).

(Lámina 3 Sección Obispo).

(Lámina 4 Sección Aguaje).

MAPAS 1-