

**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

**“ANÁLISIS DE FACIES Y PROCEDENCIA DE LAS SUCESIONES
MARINAS JURÁSICO-CRETÁICAS DEL ÁREA DE SAN
ANTONIO-VILLA BERNAL, ESTADO DE QUERÉTARO”**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO GEÓLOGO**

P R E S E N T A:

CHRISTIAN URIEL MOYA GARCÍA

DIRECTOR: DRA. ELENA CENTENO GARCÍA

CIUDAD UNIVERSITARIA, 2009.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

SR. CHRISTIAN URIEL MOYA GARCÍA
Presente

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN
60-I-1319

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso la profesora Dra. Elena Centeno García y que aprobó esta Dirección para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Geólogo:

**ANÁLISIS DE FACIES Y PROCEDENCIA DE LAS SUCESIONES MARINAS
JURÁSICO-CRETÁICAS DEL ÁREA DE SAN ANTONIO VILLA BERNAL, ESTADO
DE QUERÉTARO**

- I GENERALIDADES**
- II MARCO GEOLÓGICO REGIONAL**
- III ESTRATIGRAFÍA DE ÁREA DE ESTUDIO**
- IV RESULTADOS DEL ANÁLISIS PETROGRÁFICO**
- V INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS**
- VI CONCLUSIONES**
- BIBLIOGRAFÍA**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo, le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

CD. Universitaria, D. F., a 14 de Octubre de 2008
EL DIRECTOR

MTRO. JOSÉ GONZALO GUERRERO ZEPEDA

JGGZ*RJPYS*srs

A Dios, por estar conmigo siempre, guiándome con tu infinito amor en todo lo que realice.

A mi madre, por darme siempre todo de ti, por enseñarme con fortaleza como se debe andar en la vida.

A mis hermanos, por estar conmigo en los buenos y malos momentos, por ser los compañeros de mi vida.

A Raúl y Ofelia, por compartir su invaluable ejemplo de vida y apoyarme en todo momento.

A Myriam, por brindarme tu apoyo, tu cariño y por dar más que una mejor amiga.

A mis amigos, por que gracias a su experiencia, ayuda y amistad hemos crecido y madurado juntos.

AGRADECIMIENTOS

Quiero hacer patente mi agradecimiento a las personas que de alguna manera contribuyeron durante el proceso de elaboración de este trabajo. Primeramente a la Dra. Elena Centeno García, director de esta tesis, por su guía, apoyo y confianza, pues gracias a su paciente dedicación fue posible la realización de la tesis; al M.C. Víctor Manuel Dávila Alcocer, por sus enseñanzas así como su invaluable compañía, ayuda, discusiones en campo y críticas que ayudaron a mejorar esta obra.

Agradezco también al M.C. Gilberto Silva Romo, a la Ing. Claudia Mendoza Rosales y al M.C. Emiliano Campos Madrigal, por las revisiones y comentarios finales para la conclusión de este trabajo; al Ing. José Juan González López por su valiosa colaboración durante el trabajo de campo; al Ing. Teodoro Hernández, al Ing. Josué Salazar y al estudiante Daniel Villanueva por sus comentarios y colaboración durante el desarrollo del trabajo petrográfico.

Finalmente, un agradecimiento especial al Ing. Héctor Durán y al Ing. Julio Andrade quienes fueron fuente de apoyo a lo largo de la evolución y desarrollo de este escrito; al Lic. Jonathan Delgado por su colaboración en la edición final del manuscrito.

ÍNDICE

Resumen

Introducción	1
Capítulo I. Generalidades	2
I.1 Localización y geografía del área de estudio	2
I.2 Antecedentes	6
I.3 Objetivos	9
I.4 Metodología de trabajo	10
I.5 Marco teórico	11
Formación, origen y ciclo de las rocas sedimentarias.....	11
I.6 Sedimentología	14
Capítulo II. Marco Geológico Regional	17
II.1 Estratigrafía regional	18
II.2 Basamento pre-Jurásico?	18
II.3 Sistema Cretácico	22
II.4 Sistema Cenozoico indiferenciado	24
II.5 Evolución geológica de la región	25
Capítulo III. Estratigrafía del Área de Estudio	30
III.1 Complejo El Chilar (pre-Jurásico Superior)	30
III.2 Formación San Juan de la Rosa (Jurásico Superior)	31
III.3 Formación La Peña Azul (Cretácico Inferior)	32
III.4 Formación Tamaulipas Superior (Albiano-Cenomaniano)	32
III.5 Análisis de Facies	33
Capítulo IV. Resultados del Análisis Petrográfico	41
IV.1 Textura y composición de las areniscas	41
Complejo El Chilar	41
Formación San Juan de la Rosa	42
Formación La Peña Azul, Facies AF1	44
Formación La Peña Azul, Facies F2	44
Formación La Peña Azul, Facies F3	45
Formación La Peña Azul, Asociación de Facies AF4	46
Formación Tamaulipas Superior, Facies TS1	48
Cenozoico Volcánico	48
IV.2 Análisis modal	49

Capítulo V. Interpretación de los Resultados	59
V.1 Ambientes de Depósito	59
V.2 Procedencia	63
V.3 Evolución Tectónica del área de estudio	66
Capítulo VI. Conclusiones	69
Bibliografía	71
Apéndice 1. Descripciones Petrográficas	77

Índice de Figuras y Tablas

Figura 1. Ubicación del área de estudio	2
Figura 2. Imagen aérea que muestra las vías de acceso al área de estudio, principales ríos y algunos rasgos fisiográficos	5
Figura 3. Ubicación geográfica del área de estudio referenciada a los terrenos tectonoestratigráficos de México	17
Figura 4. Columna estratigráfica dentro del área de estudio	20
Figura 5. Mapa geológico donde se muestran las principales formaciones adyacentes al área de estudio	29
Figura 6. Columna estratigráfica "AB" generada en el trabajo de campo	35
Figura 7. Columna estratigráfica "CD" generada en el trabajo de campo	36
Figura 8. Mapa geológico que muestra la ubicación de las secciones estudiadas en campo	40
Figura 9. Diagrama ternario de Folk (1969) que muestra la clasificación de las rocas con base en sus componentes principales	53
Figura 10. Diagrama ternario que muestra la distribución por tamaño de grano con base en sus componentes principales	54
Figura 11. Diagrama de barras que muestra la variación de cuarzo y líticos totales de acuerdo con la facies correspondiente y su posición en la columna estratigráfica	55
Figura 12. Diagrama de barras que muestra la variación de cuarzo y líticos volcánicos de acuerdo con la facies correspondiente y su posición en la columna estratigráfica	56
Figura 13. Diagrama ternario que muestra la abundancia del tipo de fragmentos líticos de las muestras y su evolución	62
Figura 14. Modelo que muestra la interpretación de los ambientes en los cuales se depositaron las facies en el área de estudio y la posible procedencia de los sedimentos	66
Figura 15. Diagramas ternarios de Dickinson, et al. (1979) de acuerdo con su composición cuarzo-feldespato-fragmentos de roca	67
Tabla 1. Datos obtenidos del análisis modal, a partir de los cuales se construyeron los diagramas ternarios	57
Tabla 2. Tabla que muestra el resultado general del análisis modal	58

RESUMEN

En los límites del Eje Neovolcánico Transversal, la Sierra Madre Occidental y la Mesa Central, en la región de San Antonio – Villa Bernal, en el estado de Querétaro, aflora una secuencia clástica descrita como la formación La Peña Azul. Anteriormente se describía como una sola unidad, en este trabajo se propone diferenciar los componentes de dicha unidad en facies sedimentarias, caracterizadas con base en observaciones en el campo, análisis petrográficos y análisis modal de las areniscas que componen a tal formación.

De acuerdo a dichos análisis de facies realizados en columnas levantadas dentro del área de estudio, se diferenciaron y se proponen las facies y asociaciones de facies que componen a la Formación San Juan de la Rosa (SJR1 y SJR2), a la Formación La Peña Azul (AF1, F2, F3 y AF4) y a la parte basal de la Formación Tamaulipas Superior (TS1). De acuerdo a los resultados del análisis modal de las muestras analizadas, se construyeron diagramas que permiten observar la posible evolución de la cuenca para las facies de La Formación La Peña Azul, con base en la composición y abundancia de los componentes líticos que contienen. Se propone una procedencia de rocas sedimentarias principalmente para la facies F2, una procedencia de rocas ígneas para la facies F3 y una procedencia mezclada de rocas volcánicas y metamórficas para la asociación de facies AF4.

Acorde con esto, se planteó un modelo de sedimentación de una pequeña cuenca asociada a procesos de extensión en condiciones submarinas y levantamiento y erosión del basamento, representando al Complejo El Chilar como parte de dicho basamento, a la Formación San Juan de la Rosa como los depósitos calcáreos y vulcanosedimentarios asociados a las etapas tempranas de extensión, a La Formación La Peña Azul en su facies y asociación de facies carbonatadas de profundidad media AF1 y F2 como la primer etapa de subsidencia de la cuenca, a las areniscas de la facies F3 como la etapa de transición a ambientes más someros, a la asociación de facies AF4 como el relleno de la cuenca asociado al levantamiento del basamento en condiciones ya someras y a los carbonatos arenosos de la parte basal de la Formación

Tamaulipas Superior en su facies TS1 como la transición a una subsidencia mayor de toda la cuenca.

La secuencia sedimentaria aflorante en el área de estudio muestra muchas de las características de una de posiblemente varias cuencas pequeñas asociadas a un proceso extensional, cuya actividad pudo comenzar durante el Jurásico Tardío, afectadas posteriormente por una rápida subsidencia y transgresiones marinas relacionadas posiblemente con la apertura del Golfo de México, que formaron los gruesos espesores de carbonatos de la Sierra Madre Oriental.

Este tipo de cuencas asociadas a posiblemente etapas tempranas de rift por extensión y adelgazamiento cortical, descritas por varios autores, se forman a partir de extensión y levantamientos del basamento en los bordes de éstas cuencas. Las secuencias sedimentarias son generalmente similares a las facies en secuencias de plataforma adyacente a los cratones estables, aunque mucho más delgadas. La mineralogía de las areniscas generalmente refleja fuentes cratónicas maduras, aunque se pueden presentar clastos gruesos de naturaleza inmadura y de origen terrígeno debido a la actividad tectónica a lo largo de escarpes marginales originados por fallamiento.

INTRODUCCIÓN

Dentro del marco del proyecto PAPIIT IN109605-3, “Análisis de cuencas sedimentarias del Jurásico Tardío – Cretácico Temprano de Tehuacán, Puebla y Tolimán, Querétaro y su relación con la evolución tectono-sedimentaria del Golfo de México”, a cargo de la Dra. Elena Centeno García, cuyo objetivo es determinar la relación entre la tectónica y la sedimentación, la evolución y la caracterización de las cuencas sedimentarias del centro del país desarrolladas durante el proceso de apertura del Golfo de México, se realizó el presente trabajo de tesis.

Existen relativamente pocos estudios sobre la evolución tectónica, sedimentaria y paleogeográfica mesozoica del centro del país, en especial para antes del Cretácico Inferior. La mayoría de los estudios existentes se enfocan a las partes carbonatadas correspondientes al Cretácico Superior y a la cubierta ígnea más reciente. La mayoría de las cuencas estudiadas se han relacionado principalmente con retrocesos del nivel del mar y la emersión de la Sierra Madre Oriental, formada por estructuras de compresión (pliegues y cabalgaduras) asociadas a la orogenia Laramide a finales del Cretácico.

El área de estudio se encuentra en los límites del Eje Neovolcánico Transversal y la Sierra Madre Oriental, dentro de la Mesa Central, al oriente del estado de Querétaro. Se eligió la localidad de San Antonio-Villa Bernal, donde aflora la formación La Peña Azul, para un estudio semi-detallado de facies y procedencia, ya que ésta representa la transición entre las secuencias clásticas pre-jurásicas y jurásicas y los carbonatos Cretácicos predominantes en la mayoría del centro del país. Anteriormente se describía a la formación La Peña Azul como una sola unidad, sin embargo sus características físicas, petrológicas y litológicas permite un estudio de las diversas facies que la componen. Las areniscas registran en su composición y textura mucha información sobre la naturaleza de la roca fuente, las condiciones climáticas y los procesos de transporte y depósito. El presente trabajo se enfoca a registrar dichas características petrológicas de las areniscas con el fin de determinar dichos factores. Este trabajo representa el primer estudio de facies y procedencia en la formación La Peña Azul.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 Localización y geografía del área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en la parte centro-oriental del estado de Querétaro, en dirección N30°W a partir de la ciudad de Ezequiel Montes, N60°W a partir de la ciudad de Cadereyta de Montes y S30°W de San Pablo Tolimán, en el poblado de San Antonio de la Cal y en el límite norte de la Peña de Bernal, dentro del municipio de Tolimán. Geográficamente se encuentra limitada por las coordenadas UTM (Elipsoide de Clarke 1866) 2296000 m y 2298500 m al Norte y 14Q400500 m y 14Q404000 m al Este, cubriendo una superficie de aproximadamente 8.00 km² (Fig. 1). Esta área se encuentra en la margen suroeste de lo que se conoce como La Sierra Gorda o Sierra del Pinal.

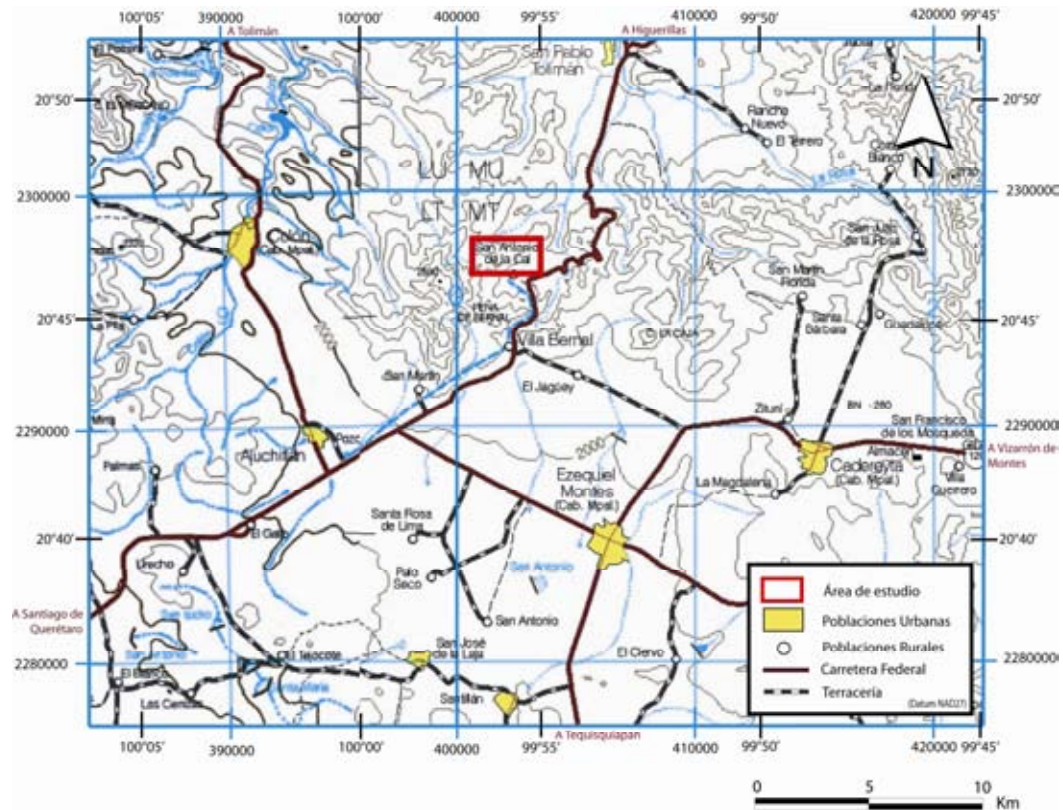


Figura 1. Ubicación del área de estudio, así como las rutas de acceso y poblados aledaños.

En la región donde se ubica el área de estudio, convergen la subprovincia de la Mesa Central y la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental.

Dentro del área de estudio, en el sector vecino a San Antonio de la Cal, la topografía se caracteriza por un conjunto de sierras con alturas sobre el nivel del valle no mayores a 500 m, desarrolladas en rocas marinas cretácicas, y sucesiones volcánicas y sedimentarias pertenecientes al Jurásico y el Cenozoico continental (Carrillo-Martínez y Monroy-Audelo, 1988). La subprovincia de la Mesa Central, forma parte de la provincia de Cuencas y Sierras en su porción más meridional (Nieto-Samaniego, et al., 2005), tal como fue descrita por Henry y Aranda-Gómez (2000), que se caracteriza en el área de estudio por la presencia de ignimbritas del Oligoceno y por fallas con orientación principal NNW. La mesa central, que se extiende desde Zacatecas y San Luis Potosí en el norte, hasta Guanajuato y Querétaro en su parte sur, se caracteriza por un vulcanismo Eoceno-Oligoceno que forma parte del arco volcánico de la Sierra Madre Occidental. La provincia de la Sierra Madre Oriental, consiste en un grupo de sierras altas paralelas con más de 2 km de relieve controladas morfológicamente por el arreglo de pliegues y cabalgaduras originadas por la deformación de finales del Cretácico (Orogenia Laramide), que afectó a toda una secuencia de rocas marinas depositadas desde el Jurásico Superior hasta el Cretácico Superior, cubierta discordantemente por la secuencia continental de edades cenozoicas.

El clima en toda la parte centro-oriental del estado de Querétaro es templado subhúmedo. La humedad aumenta hacia el noreste y ya en la Sierra Madre Oriental, el clima es templado húmedo. La temperatura media anual es de 18.7°C, con una precipitación media anual de 520.9 mm con lluvias en verano; el mes más caliente es mayo con 22°C y el más frío es enero con 14.8°C en promedio.

La actividad agrícola de la región está restringida a cultivos de temporal, en donde las cosechas son básicamente maíz, algunas hortalizas y principalmente forrajes que favorecen el desarrollo de la ganadería en el lugar.

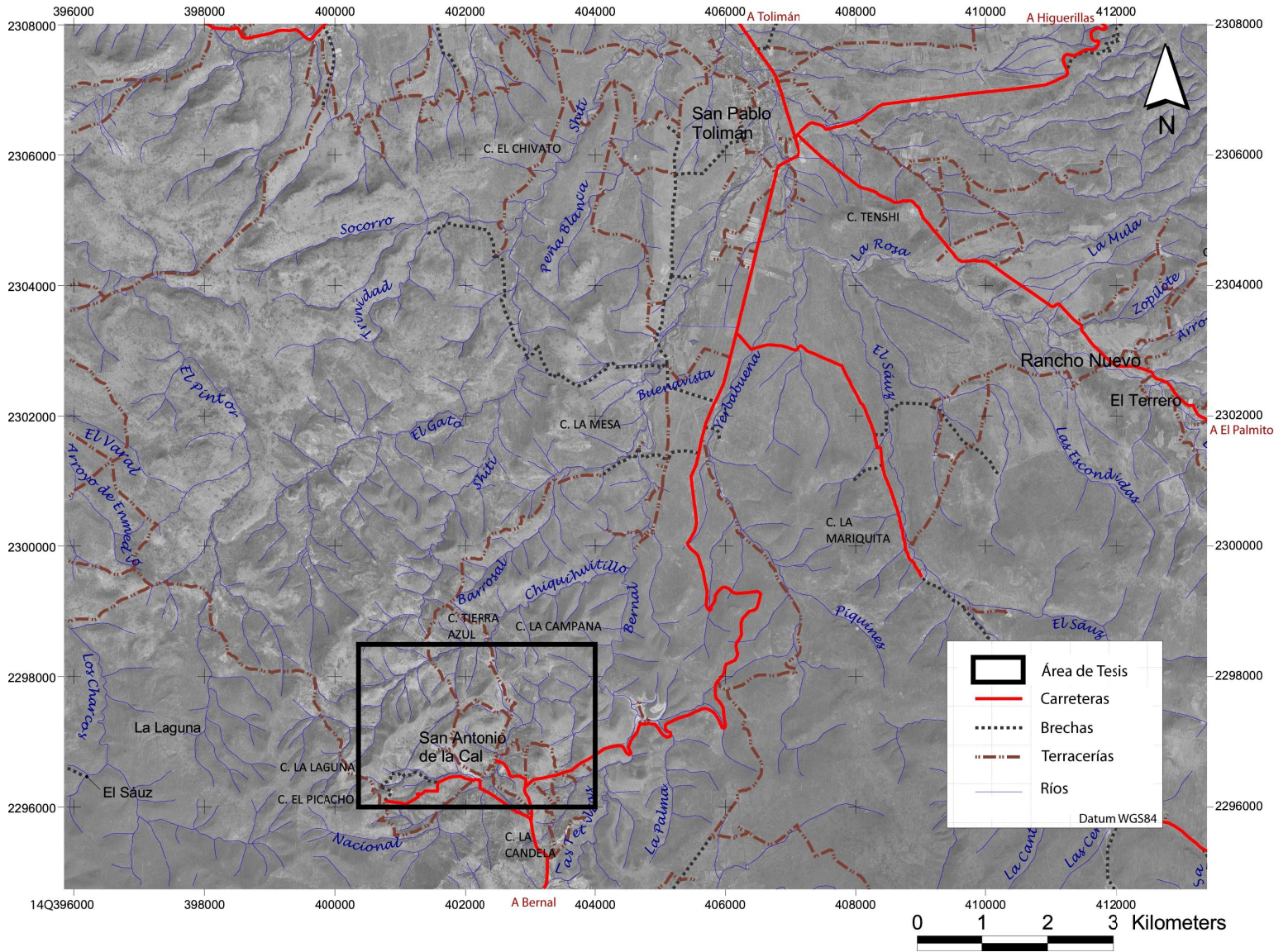
La vinicultura es prominente en el área aledaña a Ezequiel Montes. Es importante mencionar que la actividad industrial se restringe principalmente a las plantas de cal ubicadas en los alrededores de San Antonio de la Cal y la actividad turística en la Villa de Bernal.

Los principales drenajes pertenecen a la cuenca del sistema Moctezuma-Pánuco. Algunos ríos han cavado en las rocas profundos cañones, también existen amplias barrancas y valles con importancia agropecuaria (Fig. 2) como en las zonas aledañas al área de estudio en Cadereyta y Ezequiel Montes.

El acceso al área de estudio es por la carretera federal 120, conocida como la carretera San Juan del Río-Xilitla, tomando la desviación hacia Bernal, siguiendo el corredor turístico hacia Tolimán (Fig. 1).

Entre los principales poblados aledaños al área de estudio se encuentran Villa Bernal, San Pablo Tolimán, Ezequiel Montes y Cadereyta. El área de estudio se encuentra enmarcada dentro de la hoja topográfica del INEGI F14-C57 escala 1:50000.

Figura 2. Imagen aérea que muestra las vías de acceso al área de estudio, principales ríos y algunos rasgos fisiográficos (Imagen obtenida de ortofotos proporcionadas por INEGI).



1.2 Antecedentes

Existen algunos trabajos realizados sobre la geología a nivel regional, que tratan principalmente la estratigrafía y la geología estructural y muy pocos son los trabajos a detalle sobre el área, como es el caso del presente trabajo. Hasta hoy no se habían realizado estudios cuyo objetivo sea el análisis petrográfico, de procedencia y el análisis de facies sedimentarias de la Formación La Peña Azul descrita por primera vez por Chauvé, Fourcade y Carrillo-Martínez (1985), aflorante en el área de estudio.

En cuanto a la estratigrafía, existen muy pocas publicaciones en las cuales se describen las formaciones que conforman el relleno sedimentario en el área, la mayoría de los trabajos publicados se enfocan a la geología estructural a nivel regional. Entre los trabajos más relevantes se encuentran los siguientes:

Segerstrom (1961) en su artículo “Geology of Bernal-Jalpan area, Estado de Querétaro, México”, comienza con un estudio descriptivo de las características físicas, estructuras sedimentarias, contenido fósil y relaciones de contacto de las unidades litoestratigráficas que afloran en dicha área, así como la descripción de las estructuras formadas en éstas unidades, terminando con una interpretación de los posibles ambientes en las que se depositaron y formaron las unidades aflorantes en el área. Cabe destacar que en este trabajo, las rocas del área objetivo del presente estudio fueron asignadas a la Formación Las Trancas (Segerstrom, 1961), característica de la provincia fisiográfica contigua de la Sierra Madre Oriental y que originalmente se correlacionaba con la Formación Huizachal, que aflora cientos de kilómetros al norte del área y la cual se considera de edad Jurásico Medio a Jurásico Tardío (Segerstrom, 1961).

Carrillo-Martínez y Suter (1982) en el libro-guía de la excursión realizada a Zimapán y áreas circundantes, “Tectónica de los alrededores de Zimapán, Hidalgo y Querétaro” realizan un estudio en el área de Tolimán, describiendo a las secuencias sedimentarias que afloran al oriente del banco calcáreo de El Doctor como la Formación Las Trancas. Las descripciones litológicas al poniente de dicho banco, corresponden a las zonas vecinas al área de estudio y

corresponden a la Formación La Peña Azul. También hacen un bosquejo de la geometría estructural del lugar y presentan una interpretación paleogeográfica con base en estudios petrográficos, contenido fósil encontrado y los procesos tectónicos. En dicho modelo asocian la evolución de la región a la subducción de la Placa Farallón debajo de la Placa Americana durante el Jurásico Tardío, situando el arco magmático inferido en Sinaloa y una cuenca de post-arco y cuencas asociadas regionales adyacentes a la zona, la cual incluye el área de estudio.

Carrillo-Martínez y Monroy-Audelo, (1988) con el fin de presentar la evolución geológica del sector de San Antonio-Bernal, que sirviera como marco regional a los trabajos exploratorios de la Mina San Martín, aledaña al área de tesis y dentro de la Mesa Central, elaboraron un estudio apoyado por el trabajo de reconocimiento de la geología local en su artículo “Resumen de la geología del área de San Antonio Bernal, Estado de Querétaro”. Este artículo contiene una descripción de la litoestratigrafía regional y local junto con una interpretación de la evolución tectónica del área en cuestión. En él, se da un bosquejo de las rocas que alojan la mineralización existente en la Mina San Martín y el posible origen de las estructuras mineralizadas. En dicho artículo se consideran a las rocas que afloran en el área de estudio como una secuencia continua de rocas marinas que representan desde el Jurásico Superior hasta el Cretácico Superior junto con la secuencia cenozoica continental discordante y las interpretan como depósitos de transgresiones marinas, seguido de hiatus y subsidencia posterior, cubiertos después por facies de azolvamiento (Formaciones Mezcala y Soyatal, no aflorantes en el área de estudio).

Carrillo-Martínez (1989), presenta una sinopsis de la geología regional de la Sierra Madre Oriental en la parte centro-oriental del Estado de Querétaro y áreas vecinas en su publicación “Estratigrafía y tectónica de la parte centrooriental del Estado de Querétaro”. Según el autor, el área de estudio se encuentra en la región frontera entre la Sierra Madre Oriental y las rocas volcanosedimentarias mesozoicas del occidente, las cuales han sido interpretadas como otro dominio paleogeográfico, característico de arcos magmáticos y cuencas asociadas. En dicho trabajo, establece que aflora la

Formación La Peña Azul en el área de estudio y describe sus relaciones de contacto con las demás unidades aflorantes en el área. Por otra parte propone a la zona de San Antonio como la parte oriente del anticlinal El Chilar. Al respecto, Carrillo-Martínez (1989) sugiere que en el núcleo de dicho anticlinal se encuentran yuxtapuestos tectónicamente, un conjunto vulcanosedimentario Jurásico, asociado a un arco magmático, contra otro, parcialmente contemporáneo, perteneciente al borde occidental de la plataforma calcárea de América del Norte.

Carrillo-Martínez (2000) en el “Resumen de la Hoja Zimapán, estados de Hidalgo y Querétaro” precisa la litoestratigrafía de la hoja Zimapán (14Q-e7) a escala 1:100,000. También describe el marco geológico regional de yacimientos minerales y de zonas con indicios de mineralización y de canteras de materiales usados en la construcción, así como del campo geotérmico El Pathé. Este autor trata la zona de San Antonio como la parte poniente de la hoja en donde aflora la formación La Peña Azul, la describe y la designa como los depósitos previamente considerados como la parte superior de la Formación Las Trancas. También describe las plantas productoras de cal en San Antonio, cuyas rocas explotadas corresponden a las facies de cuenca de la Formación Tamaulipas.

Por último, Aguirre Díaz (2006) en su resumen “La Peña de Bernal, Qro. Un domo dacítico del Mioceno tardío”, describe las rocas sedimentarias afectadas por los procesos intrusivos que dieron origen a la Peña de Bernal, como la formación Las Trancas del Jurásico Superior, consistente de areniscas y lutitas que en partes presentan un ligero metamorfismo dinámico y ligeras deformaciones estructurales, debido a la intrusión en frío de dicho cuerpo.

1.3 Objetivos

Este trabajo tiene como objetivo general estudiar la zona a semi-detalle y medir la columna estratigráfica que aflora en el área, correspondiente a la sucesión clástica que subyace a las unidades calcáreas del Cretácico. En particular el trabajo se enfocan al estudio más detallado de la Formación La Peña Azul, así como la subdivisión de dicha formación en distintos miembros que, por su naturaleza y rasgos sedimentarios, requieren separarse para una mejor comprensión de los eventos que les dieron origen. Tal estudio incluye conocer la estratigrafía, la sedimentología y la petrografía de todos los componentes de dichas unidades.

Los objetivos particulares de este trabajo de tesis son los siguientes:

1. Elaborar un mapa estratigráfico y de facies a escala 1:5000, que muestre las diferentes facies que conforman a la Formación La Peña Azul dentro del área de estudio.
2. Proponer y caracterizar los tipos de facies que conforman a la Formación La Peña Azul y de ser necesario separarlos de acuerdo a su composición, características sedimentarias, relaciones de contacto y naturaleza de depósito en unidades distintas.
3. Determinar, con base en estudios petrográficos, la composición de las areniscas y contenido fósil de los componentes de la Formación La Peña Azul.
4. Reconstruir el escenario y el contexto geológico en donde posiblemente se depositaron las facies de dicha formación en espacio y tiempo, con apoyo de los datos obtenidos de la petrografía, además del apoyo bibliográfico.
5. Analizar e interpretar las distintas facies que conforman a la Formación La Peña Azul.

1.4 Metodología de trabajo

Las actividades generales realizadas para llevar a cabo el presente trabajo de investigación se describen a continuación:

- a) Selección el área de estudio que tuviera óptimas características que van desde calidad de afloramientos de roca, un grado adecuado de complejidad e interés, hasta vías de fácil acceso y condiciones sociales adecuadas que permitieran el desarrollo del trabajo de campo. El reconocimiento del área y el planteamiento del problema a resolver sólo requirió de unos cuantos días.
- b) Estudio fotogeológico del área seleccionada con fotografías aéreas y recopilación de información documental, bibliográfica y digital previo al trabajo de cartografía. Se realizaron los mapas base de apoyo al trabajo de campo a distintas escalas y se planeó una estrategia a seguir a fin de simplificar todo el trabajo de investigación.
- c) La etapa más larga de toda la investigación fue la de trabajo de campo ya que se registraron gran cantidad de datos, entre ellos datos estructurales, levantamiento de columnas, recolección y clasificación de muestras, descripción, ubicación y comprensión de distintos afloramientos que, a pesar de que se trata de un área pequeña, es muy compleja, por lo que requirió de varias visitas de campo a lo largo de todo el proceso de elaboración del presente trabajo de tesis.
- d) Se realizó la cartografía y caracterización de las facies de la formación La Peña Azul aflorante en el área, así como la caracterización de las estructuras principales. Con base en los datos de campo se trazaron los contactos, agrupando a las litologías aflorantes por colores y simbologías distintas, lo cual permite observar con más claridad la distribución de las facies en la columna estratigráfica del área de estudio.

- e) Se elaboraron 45 láminas delgadas de las muestras recolectadas durante el trabajo de campo a la vez que se realizó el trabajo de cartografía.
- f) Se realizaron los trabajos de petrografía de las 45 láminas delgadas obtenidas de las muestras y se procedió a clasificar, comparar y determinar la facies correspondiente a fin de caracterizar y proponer las separaciones entre facies de la columna estratigráfica, a la vez que se afinó el trabajo cartográfico.
- g) Se llevó a cabo el análisis modal de las muestras de areniscas con el fin de determinar la procedencia de las mismas, con base en los diagramas ternarios y de barras elaborados a partir de los resultados obtenidos de dicho análisis.
- h) Se integraron e interpretaron todos los resultados y se realizó la redacción de la tesis.

1.5 Marco Teórico

En este apartado se describen de manera general, las características y origen de las rocas sedimentarias, los principales procesos en la formación de éste tipo de rocas, el ciclo sedimentario, los mecanismos que controlan dicho ciclo (composición, textura y estructuras) y los demás factores que en conjunto definen a las facies sedimentarias observadas.

Formación, Origen y Ciclo de las rocas Sedimentarias

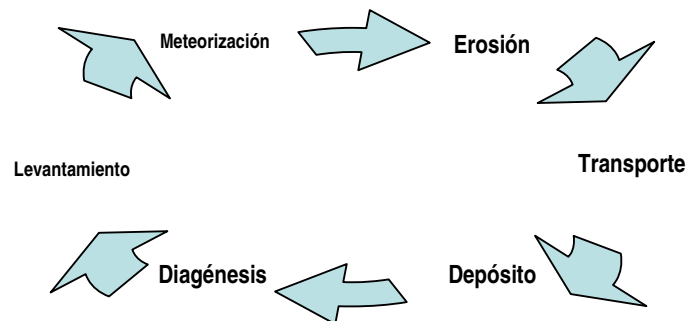
En contraste con los diferentes tipos de rocas que existen en la Tierra; rocas ígneas, rocas metamórficas y rocas sedimentarias, éstas últimas se forman en la superficie de la Tierra, por lo que sus condiciones de presión y temperatura son más bajas que en las ígneas ó metamórficas.

El material que constituye a las rocas sedimentarias se origina de dos maneras: los depósitos pueden ser acumulaciones de minerales y rocas

derivados de la erosión de rocas preexistentes o de los productos intemperizados de éstas rocas, tales rocas se llaman *rocas sedimentarias detríticas o clásticas*, mientras que por otro lado los depósitos pueden ser formados por procesos químicos y a las rocas formadas de esta manera se les llama *rocas sedimentarias químicas*. Aunque pueden distinguirse los dos grupos generales de rocas sedimentarias (detríticas y químicas), la mayor parte de ellas son mezclas de los dos tipos y generalmente por procesos inorgánicos, aunque también intervienen directa o indirectamente ciertos organismos que viven en los diferentes medios de depósito de este tipo de rocas ya sea aportando, segregando o fijando el material que conforma a los depósitos sedimentarios.

Los procesos sedimentarios dan lugar a movimientos de materiales de una posición geográfica a otra, en donde se tiene un medio sedimentario donde ocurre la acumulación del material.

El ciclo de las rocas se conforma de varias etapas que ocurren contemporáneamente, es decir, mientras se están formando rocas nuevas, otras ya preexistentes están aportando el material necesario a través de varios procesos, los cuales se ejemplifican en el siguiente diagrama:



Meteorización: Este proceso es la alteración física y química *“in situ”* de una roca por la propia exposición a los factores del medio ambiente, de acuerdo a dichos factores es el tipo de meteorización; intemperismo físico, químico y biológico.

Erosión: A diferencia del intemperismo, la erosión tiene factores dinámicos que cambian la morfología de la roca original y consiste en el grupo de factores exógenos que erosionaron a las rocas fuente, siendo los factores más importantes que afectaron a dichas rocas posiblemente el agua y el viento.

Transporte: Existen cuatro principales factores que llevan a cabo el transporte de material en el ciclo sedimentario: el agua, el viento, el hielo y la gravedad. Los mecanismos de transporte es importante tenerlos presentes ya que de éstos dependen las características texturales que van a presentar las partículas o granos que conforman a las rocas clásticas como la esfericidad, redondez, la fábrica, la selección, las gradaciones presentes, etc. y éstas características son las que nos ayudan a determinar el medio, el sentido, la dirección y las condiciones de energía en las cuales se llevó a cabo el transporte, importantes evidencias para plantear un modelo de sedimentación.

Depósito: Para determinar las características de cómo se llevó a cabo el depósito del material después de su transporte, además de las observaciones y los datos tomados durante el trabajo de campo (estructuras, litología, forma, dimensión, contenido fósil, etc.), es muy recomendable el estudio de las láminas delgadas de las muestras. Con esto es posible plantear un bosquejo de la forma y la geometría del lugar del depósito, así como el conjunto de condiciones físicas, químicas y biológicas que imperaban al momento de la depositación.

Diagénesis: Este proceso es el conjunto de cambios químicos, físicos y bioquímicos que sufren los sedimentos tras su depósito en una cuenca sedimentaria a presiones y temperaturas bajas (deshidratación, cementación, recristalización), hasta antes de que sufra metamorfismo.

Levantamiento: Es el último paso del ciclo sedimentario y es importante ya que este proceso expone a la superficie grandes volúmenes de roca permitiendo que vuelva a comenzar el ciclo nuevamente.

1.6 Sedimentología

Para este estudio es importante el conocimiento y la aplicación de la sedimentología, pues permite comprender y visualizar el conjunto de procesos que dieron origen no solo a las rocas objetivo de este trabajo, sino a las rocas sedimentarias en general. Además nos hace comprender el tipo de transporte que acarrió a los sedimentos desde su lugar de origen (roca madre ó roca fuente) hasta la cuenca de depósito, estudiando, como ya se mencionó, su textura, redondez, esfericidad, mineralogía, estructuras presentes, etc. El conocimiento también de los distintos ambientes sedimentarios, nos permitirá determinar el modelo más “*ad hoc*” para saber cual fue el ambiente sedimentario en el cual se llevó a cabo el depósito y el conjunto de condiciones físicas, químicas, biológicas y climáticas de ese entonces en la cuenca sedimentaria.

En apartados anteriores se describieron ya algunas de las características más importantes de las rocas sedimentarias y, aunque todas son parte de la sedimentología, aquí se menciona la importancia de cada una por separado, a fin de una mejor comprensión de los conceptos aquí expuestos.

Facies sedimentarias: Es el conjunto de características litológicas y paleontológicas que definen a una porción de una unidad estratigráfica o conjunto de estratos que permiten separarla y diferenciarla de las rocas adyacentes. Las facies se definen de tal manera que facilite la reconstrucción de los ambientes de depósito, esto es tomando en cuenta su afinidad genética. Las asociaciones de facies son un grupo o conjunto de facies que guardan una clara relación física, estratigráfica y genética entre sí, involucrando tanto a las relaciones laterales como a las verticales entre las facies. Esto quiere decir, que entre dos ó más facies agrupadas en una asociación, pueden cambiar de unas a otras en sentido vertical u horizontal mediante contactos transicionales, erosivos, acuñamientos, etc., que pueden ser de manera cíclica o sin repetirse. Generalmente, facies agrupadas dentro de una asociación se diferencian por variaciones progresivas en su granulometría y en la escala de su estratificación, aunque también se diferencian por una superficie muy neta y/o erosiva en su base o cima.

Textura: Ésta es una característica a definir primordial en el estudio de cualquier roca sedimentaria y más aún en las rocas clásticas por la valiosa información que nos aporta. En este trabajo se estudiarán todas las propiedades texturales de las rocas sedimentarias tales como granulometría, esfericidad, redondez, fábrica, selección y madurez de los componentes mayoritarios de la roca, ya que todas estas características serán de gran importancia para determinar desde la probable fuente de aporte, el tipo de transporte, el ambiente y las condiciones de energía del depósito, hasta la distancia aproximada desde la fuente de aporte hasta la cuenca de depósito. Todo esto apoyado por información complementaria como las principales estructuras observadas en campo, tipos de fósiles observados, etc.

Flujos de gravedad: Como su nombre lo indica, estos flujos se generan cuando existe un cambio de pendiente sobre la zona o área donde se están desplazando o un desequilibrio en la estabilidad de los sedimentos, lo cual genera el movimiento de grandes volúmenes de sedimento de manera casi “instantánea” (flujo de masas). Según la cantidad que contiene de agua, va a ser el comportamiento del flujo, su velocidad de transporte y turbulencia asociada. Estos van desde flujos muy densos con poco contenido de agua denominados como flujos de escombros (“*debris flows*”) hasta las turbiditas que contienen una proporción mayor de agua que de sedimento. Los flujos intermedios son flujos de grano (“*grain flows*”) y flujos fluidizados (“*fluidized flows*”). Dentro del área de estudio hay varias unidades donde se presume que la sedimentación se dio por flujos de gravedad, ya que se observan estructuras primarias e intercalaciones de material fino y grueso que hacen suponer que los sedimentos fueron transportados en masa.

Petrografía: Es necesario el uso de la petrografía en este caso y en general en casi todas las investigaciones de esta naturaleza, ya que la mayoría de las veces no es suficiente con clasificar las rocas en el campo con muestra de mano. Es indispensable conocer las características físicas y químicas de las rocas a nivel microscópico para su correcta clasificación e identificación mineralógica y paleontológica. Para la presente investigación la petrografía

aportó datos sobre la fuente del posible aporte, el medio de transporte y en general todas las características texturales, además de mostrarnos el ambiente de depósito.

Conteo de Puntos (Análisis Modal): Esta técnica permite clasificar las muestras recolectadas de manera precisa al favorecer la cuantificación de la proporción de los componentes esenciales de las rocas y de esa cuantificación obtener su clasificación, proporcionándole un nombre correcto. Además de que se puede obtener una tabla estadística y un diagrama ternario que nos muestre las relaciones que guardan unos minerales respecto de otros cuantitativamente y así poder proponer una interpretación de la posible fuente de aporte de los sedimentos y de los procesos tectónicos en la región.

CAPÍTULO II

MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

La mayoría de las unidades estratigráficas expuestas en el área de estudio, han sido descritas y definidas en localidades dentro de la Sierra Madre Oriental y han sido extendidas hasta la localidad de San Antonio de la Cal con base en la similitud litológica existente, su posición estratigráfica y su contenido fósil.

Gran parte de la Mesa Central queda dentro del terreno tectonoestratigráfico de Oaxaquia (Fig. 3), abarca una extensa superficie del Estado de Querétaro y se limita al norte por el Sector Transversal de Parras de la Sierra Madre Oriental, al este por el sistema de fallas Taxco San Miguel de Allende, al sur por la falla del Bajío y el graben de Aguascalientes, aunque hay una gran estructura que constituye el límite de las regiones norte y sur de la Mesa Central y buena parte de su límite occidental; ese gran sistema de fallas denominado San Luis-Tepehuanes (Nieto-Samaniego, et al., 2005).

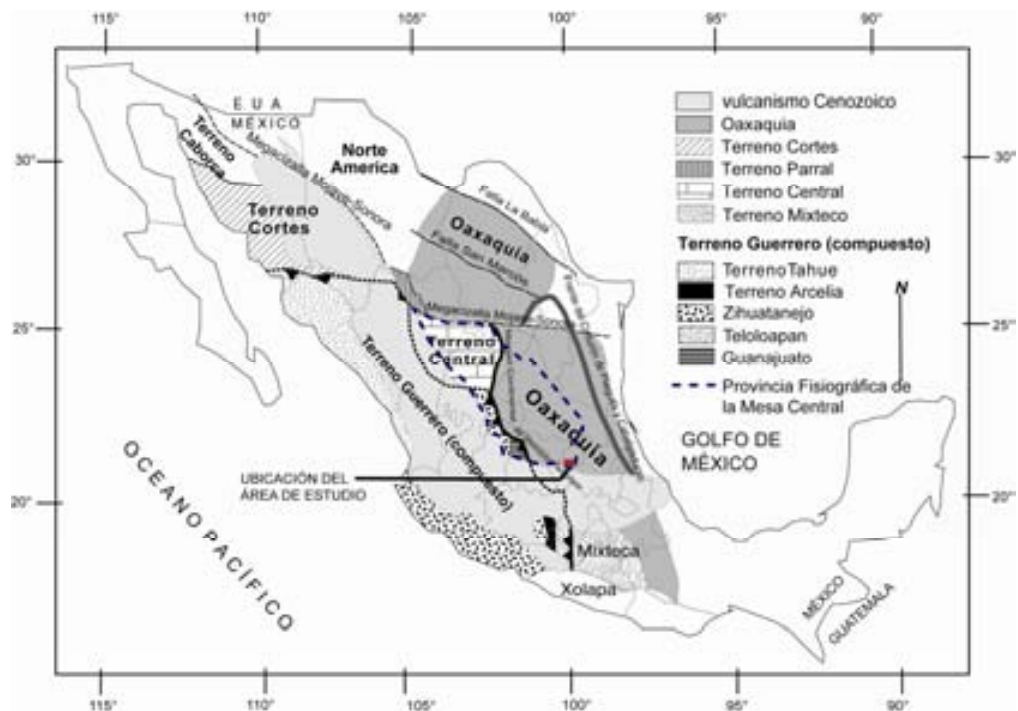


Figura 3. Ubicación geográfica del área de estudio referenciada a los terrenos tectonoestratigráficos de México (modificado de Centeno-García, 2008)

Dentro de la Mesa Central no hay afloramientos documentados de rocas de un basamento metamórfico, solo al noroccidente de la Mesa Central, en San Juan del Río y Durango, se han reportado afloramientos pequeños de esquistos de moscovita de edades de metamorfismo de 252 Ma (Iriondo, 2003), sin embargo rocas paleozoicas y precámbricas metamórficas si afloran dentro de la Sierra Madre Oriental (Ortega-Gutierrez et al., 1992; Sánchez-Zavala et al., 1999).

II.1 Estratigrafía Regional

Las formaciones que afloran en la región abarcan desde rocas pre-Jurásicas hasta rocas del Mioceno Superior. Además por encontrarse entre dos provincias distintas, las rocas presentes en este lugar registran una evolución tectónica asociada a la subducción en el Océano Pacífico y a la tectónica extensiva ligada a la apertura del Golfo de México (Salvador, 1991).

La región ha sido afectada por diversos eventos tectónicos y magmáticos en distintos periodos de tiempo, existen en el área evidencias de cizallas pre-laramídicas que afectaron a las rocas jurásicas y otras deformaciones laramídicas y post-laramídicas que también afectaron a toda la secuencia sedimentaria, cortando y redefiniendo a las estructuras y rocas más antiguas. Así mismo, existen evidencias de eventos magmáticos que sólo se observan en las rocas de edad jurásica, siendo estas cortadas y afectadas después por eventos magmáticos y volcánicos más recientes.

En apartados más adelante se aclarará la cronología, características de las estructuras y demás evidencias observadas durante el trabajo de campo de los procesos que afectaron a toda la secuencia presente en el área de estudio. Las formaciones presentes a nivel regional son las siguientes:

II.2 Basamento pre-Jurásico?

Con base en las observaciones de campo hechas durante el presente trabajo y otras realizadas por Dávila-Alcocer y Centeno-García (2006), se han encontrado diferencias en composición, deformación y asociación de la

secuencia de rocas pre-cretácicas descritas previamente por Carrillo-Martínez y Suter (1982), Chauvé et al. (1985) y Carrillo-Martínez (2000) como Formación San Juan de la Rosa. Por otro lado, Segerstrom (1961) y López-Ramos (1985) describieron rocas de posible edad pre-jurásica en los alrededores del área de estudio, las cuales fueron consideradas por López-Ramos (1985) de edad Paleozoico e informalmente nombradas por éste autor como formación El Chilar. Sin embargo, se encontró que se pueden diferenciar dos unidades distintas a partir de un evento de deformación importante, la más antigua, Dávila-Alcocer y Centeno-García (2006) la llaman Complejo El Chilar y la más reciente, separada por una discordancia angular importante, conserve el nombre de Formación San Juan de la Rosa.

Complejo El Chilar

Este complejo consta de una sucesión intensamente deformada de areniscas cuarcíticas y lutitas con algunos lentes conglomeráticos, esta sucesión forma la matriz donde se pueden encontrar bloques tectónicos de diferentes litologías en diferentes localidades. Los bloques se encuentran fuertemente deformados y localmente metamorfizados a facies de esquistos verdes de muy bajo grado, cizallados en sus contactos con la matriz y varían en dimensión de unos cuantos centímetros hasta decenas de metros, estos bloques son de la misma arenisca cuarcítica en el área de San Antonio, pero existen reportados bloques de pedernal negro y blanquecino, diabasa y diorita en varios afloramientos cercanos al área de estudio. La base de esta secuencia no aflora y la edad exacta de este complejo permanece aún desconocida aunque la estratigrafía regional sugiere una edad pre-Jurásico Superior (Triásico?).

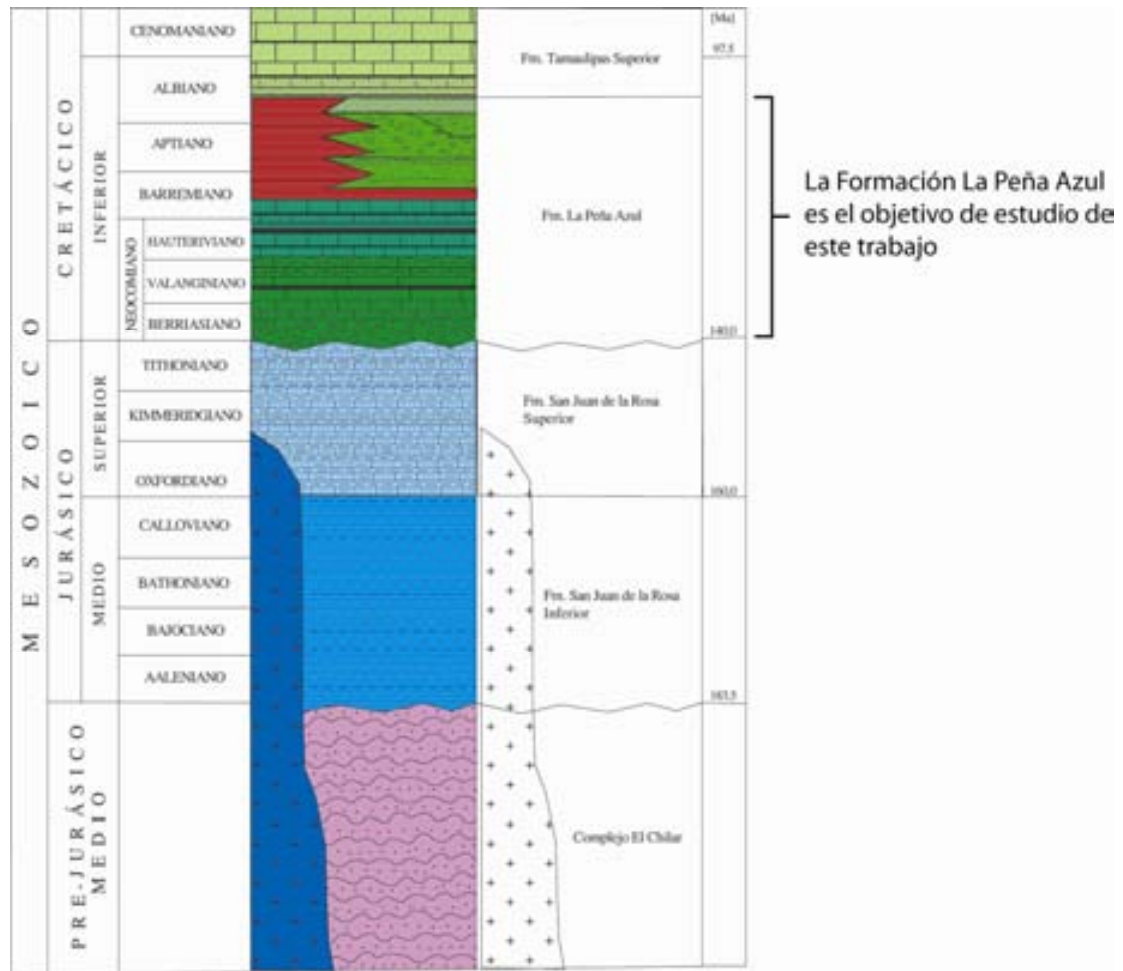


Figura 4. Columna estratigráfica dentro del área de estudio, donde se muestra la posición de la formación objetivo de estudio.

Dávila-Alcocer y Centeno-García (2006) sugieren que este Complejo puede representar un prisma de acreción, por lo tanto, ésta unidad sería el posible límite del margen oeste de el bloque continental de Oaxaquia (Fig. 3). Si se llegasen a encontrar más evidencias que apoyen que este Complejo se formó en un complejo de subducción, esto podría indicar que el conjunto Proterozoico de mayor importancia de México (Oaxaquia), es mucho más angosto de lo que se piensa y que por lo tanto todas las rocas del oeste de México fueron posiblemente acrecionadas. El Complejo El Chilar está cubierto discordantemente por la Formación San Juan de la Rosa.

Formación San Juan de la Rosa (Jurásico Medio-Jurásico Superior)

Esta formación fue descrita por Chauvé, et al. (1985) en la parte occidental del anticlinal El Chilar como una secuencia epimetamórfica vulcanosedimentaria calcoalcalina con radiolarios; en el área de estudio, Carrillo-Martínez et al. (1988), la describe como una secuencia con espesor de 70 m de estratos delgados de lutitas, limonitas, pedernal y areniscas de grano fino conteniendo mica blanca fina, de tonos oscuros y aspecto satinado que acusa un crucero penetrante. En el flanco oriente del anticlinal el Chilar, ésta formación esta constituida por una secuencia de brechas sedimentaria y volcánica, conglomerado, arcosa, grauvaca, toba, arenisca y lutita apizarrada de varios cientos de metros de espesor con amonites de la familia *Perisphinctidae* cuyo alcance estratigráfico va del Kimerigdiano Tardío al Titoniano Temprano (Carrillo-Martínez, 2000). Esta litología también se encuentra en las cercanías del poblado de Higuierillas, al noreste del área de estudio y en menor cantidad en el núcleo del anticlinal Bonanza, en forma lenticular.

Carrillo-Martínez, et al. (1986), correlacionan esta formación con la Formación Las Trancas (de composición predominantemente calcárea), de la cuenca de Zimapán, aunque existen contrastes estructurales y petrológicos importantes entre éstas unidades. Carrillo-Martínez y Suter (1982) consideran que la fuente de la Formación San Juan de la Rosa se encontraba al oeste con una influencia evidentemente volcánica. En afloramiento, es evidente que éstas areniscas son grauvacas con abundantes fragmentos volcánicos y litarenitas.

Dávila-Alcocer y Centeno-García (2006) describen a esta formación como productos de un vulcanismo félsico incluyendo turbiditas vulcano-sedimentarias, flujos piroclásticos y derrames riolíticos.

Esta formación fue interpretada por Chauvé, et al. (1985), como parte del dominio cordillerano y la asociaron con el Arco de Alisitos de Baja California. Esta correlación según Dávila-Alcocer y Centeno-García (2006) no es posible por que existen grandes paquetes de rocas volcánicas cretácicas del Terreno

Guerrero (Fig. 3), las cuales varían en composición de basálticas a andesíticas, de afinidad de arco oceánico y de edades más jóvenes que la formación San Juan de la Rosa, lo que indica discontinuidades mayores a nivel cortical.

En localidades cercanas al área de San Antonio, ésta formación subyace a la Formación La Peña Azul de manera transicional (Dávila-Alcocer, comunicación personal).

II.3 Sistema Cretácico

Formación La Peña Azul (Cretácico Inferior)

Segerstrom (1961) describe a esta formación como lutitas rojas, cubiertas por estratos de areniscas, lutitas, y calizas y lentes de areniscas y conglomerados con ostras hacia la parte superior que yacen sobre la formación San Juan de la Rosa (que para este autor, la formación San Juan de la Rosa, es la parte inferior de la Formación Las Trancas). Por otro lado Carrillo-Martínez (2000) la describe en el área de San Antonio como lutitas filíticas rojas con intercalaciones de bentonita grisácea y conglomerado polimíctico en una matriz detrítica que consiste en arenisca, lutita margá y toba. Además, las partes conglomeráticas alcanzan hasta 100 m de espesor en la Sierra La Peña Azul, describiendo el mismo autor los clastos de tales conglomerados de filita, grauvaca, pedernal, roca volcánica y cuarzo; mal clasificados y redondeados con matriz detrítica y carbonatada. La formación cambia gradualmente sección arriba a arenisca, lutita fósil, lutita y arenisca, lutita y margá laminadas y caliza. Estas rocas se encuentran según Carrillo-Martínez (2000), en discordancia angular ligera sobre la Formación San Juan de la Rosa; aunque en el área de San Antonio, según este autor, se encuentra en contacto tectónico con la formación San Juan de la Rosa. Carrillo-Martínez (2000) estima, para el área de estudio, un espesor de 100 m para la formación La Peña Azul.

Carrillo-Martínez y Monroy-Audelo (1988) plantean que esta formación se depositó durante un episodio de transgresión marina miogeosinclinal afectada

por depósitos continentales en discordancia angular ligera sobre la Formación San Juan de la Rosa durante el Cretácico Temprano.

Carrillo-Martínez en varias de sus publicaciones (1986, 1988, 2000) agrupa al conjunto de litologías de la formación La Peña Azul en una sola. Debido a las observaciones realizadas en campo y a las notorias diferencias litológicas en las diferentes unidades que componen a esta formación, es necesaria la separación de ésta en facies distintas, este es el objetivo principal de este trabajo, el cual se describe más adelante.

Formación Tamaulipas Superior (Cretácico Inferior-Cretácico Superior)

Esta Formación fue extendida y descrita por Carrillo-Martínez y Suter (1982) en la “paleocuenca de Zimapán”; que es la depresión cretácica epicontinental situada entre las plataformas El Doctor y Valles-San Luis Potosi, nombrándola sólo como Formación Tamaulipas y según Carrillo-Martínez (1989), consiste en estratos delgados a gruesos de caliza micrítica con nódulos y lentes de pedernal que representan depósitos de cuenca contemporáneos a los depósitos de talud (Fm. Tamabra) y de Plataforma (Fm. El Doctor).

La Formación Tamaulipas Superior se ha asignado al Albiano-Cenomaniano. En la región de estudio, consiste en calizas de estratificación delgada a gruesa de mudstones y packstones con nódulos y lentes de pedernal, intercalados con estratos siliciclásticos (arenas, limos y arcillas), hacia la parte superior consiste en calizas finas intercaladas con pedernal. Algunas estructuras sedimentarias evidentes que presentan los afloramientos de ésta roca en el área son estratificación gradada y laminaciones en horizontes con base erosiva, sugiriendo algunos depósitos de flujos de detritos calcáreos.

II.4 Sistema Cenozoico Indiferenciado

Dentro del área de estudio, las secuencias continentales cenozoicas corresponden principalmente a derrames riolíticos y andesíticos. Según Carrillo-Martínez, et al. (1988), las rocas volcánicas ácidas (de composición riolítica) se asignan a la Formación Las Espinas del Neógeno, que aflora en el contiguo estado de Hidalgo.

La base del Mioceno esta representada por la emisión de rocas de composición intermedia, principalmente derrames basálticos andesíticos compactos de textura porfídica (Carrillo-Martínez, 2000), pero estudios recientes de la Cia. Minera San Martín (ubicada en los alrededores del área de estudio) han modificado este concepto. Hacia la cima del Mioceno, se tienen emisiones de un vulcanismo compuesto por tobas andesíticas y basaltos andesíticos.

La Peña de Bernal, que aflora en la margen sur-poniente del área de estudio, es un domo volcánico endógeno de composición dacítica de edad Mioceno Tardío (Aguirre-Díaz, 2006). En conjunto se trata de un cuerpo semi lenticular alargado de 6 km de longitud aproximadamente y con un rumbo NE40°. Esta estructura intrusiva a la secuencia terrígena y carbonatada jurásica y a las rocas carbonatadas cretácicas provocando un ligero metamorfismo dinámico en su entorno.

El domo se encuentra fuertemente fracturado en sus márgenes sin llegar a brecharse y la roca encajonante presenta cizalla, incluso con estrías en las zonas de contacto, lo que indica que el domo se emplazó relativamente frío y prácticamente sólido (*forcefully injected*) (Aguirre-Díaz, 2006).

Dentro del área de estudio hay evidencias de deformación muy intensa que va desde fuertes zonas de cizalla hasta fallas inversas en periodos de tiempos diferentes, las cuales no han sido del todo descritas y cartografiadas. Los tipos de deformación, la mecánica de los mismos y su respectiva interpretación no se resuelven y describen a detalle por alejarse de los objetivos

de este trabajo y por que requieren de un estudio mucho más cuidadoso y cartografía geológica y estructural a mayor escala y detalle.

II.5 Evolución Geológica de la Región

Existe discrepancia en los modelos evolutivos propuestos por varios autores para el área de estudio y en general para el centro de México en lo referente a los eventos tectónicos, definiciones, rasgos estructurales y edad de las unidades estratigráficas que subyacen a la secuencia clástica y calcárea del Cretácico Inferior (formaciones La Peña Azul y Tamaulipas).

Durante el Triásico Tardío y hasta el Jurásico Medio, a pesar de que no existe evidencia directa, la parte norte-centro y este de México se caracterizó por un continuo levantamiento relacionado con el rompimiento de Pangea y la apertura del Golfo de México, el cual estuvo acompañado por una tectónica extensional y de rifting la cual parece haber producido erosión masiva de las rocas precámbricas y paleozoicas aparentemente acrecionadas a Norte América en el Paleozoico Tardío por la colisión de Norte y Sur América durante la formación de Pangea (Yañez, et al., 1991; Stewart, et al., 1999; Centeno-García, et al., 1997; Centeno-García, 2005). Este evento erosivo originó grandes volúmenes de sedimentos siliciclásticos provenientes de un cinturón orogénico; cinturón de sutura por colisión y/o áreas cratónicas expuestas, transportados por ríos a cuencas relacionadas marinas producidas por el fallamiento normal activo durante el Triásico-Jurásico (Centeno-García y Silva-Romo, 1997).

Estos sedimentos se depositaron en el margen occidental de Oaxaquia, en un dominio de talud continental como la parte distal de un abanico submarino (Fig. 3).

En este escenario se depositó la Formación La Ballena (Centeno-García y Silva-Romo, 1997), que aflora en Zacatecas, en Peñón Blanco y en San Luis Potosí, la Formación Taray (Anderson et al., 2005) y la matriz que conforma el Complejo el Chilar y que aflora en la región de Tolimán y en el área de estudio.

La deformación en el Complejo El Chilar y en las otras unidades similares, sugieren un importante evento tectónico cuya edad exacta no se conoce. Centeno-García y Silva-Romo (1997) sugieren que pudo ocurrir en el Jurásico Temprano pero previo al Jurásico Tardío (Bajociano a Oxfordiano) y que aparentemente involucró un acortamiento considerable basándose en el hecho que la subducción ya había comenzado para ese tiempo.

Evidencias de éste proceso de subducción se observan en las características estructurales del Complejo el Chilar, características que sugieren que ésta unidad puede representar el prisma de acreción asociado al proceso de subducción antes mencionado.

Durante Jurásico Medio al Jurásico Superior, debido al proceso de subducción en la paleomargen Pacífica, la deformación estuvo seguida por un magmatismo de arco continental ampliamente distribuido a lo largo de la margen oeste de Oaxaquia. Los sedimentos volcanoclásticos se depositaron en discordancia angular sobre las rocas triásicas deformadas (Complejo El Chilar).

En este contexto se depositó la Formación San Juan de la Rosa presente en la región, así como otros paquetes importantes de rocas ígneas félsicas de la misma edad, entre las cuales se encuentran las Formaciones Nazas, Caopas, Rodeo, Huizachal, etc., siendo San Juan de la Rosa la posible continuidad hacia el sur de dicho arco volcánico continental Jurásico, pero como ya se mencionó, el magmatismo se desarrolló en condiciones submarinas y se extendió hasta el Cretácico Inferior.

Varios autores (Silva-Romo, 1993; Jones et al., 1995; García-Díaz et al., 2004; Anderson et al., 2005; Anderson y Silver, 2005; Centeno-García, 2005; Centeno-García, 2008) han propuesto que todas las localidades donde afloran dichas formaciones, pertenecieron al arco continental asociado a la subducción en la margen pacífica de Norteamérica y que se encontraba más al norte de su posición actual, siendo el mecanismo que las trasladó al sur-oriente la Megacizalla Mojave-Sonora (Fig. 3) de probable edad Jurásico Medio-Jurásico Tardío. La hipótesis de reposicionar las secuencias pre-Jurásico Superior del centro del país con respecto a Norteamérica es aún debatida y aunque las

propuestas para desacreditarla no son definitivas, el proponer la idea de un desplazamiento latitudinal, o un sistema de fallas similares durante el Jurásico no son la única alternativa (Molina e Iriondo, 2005).

Con el cese del magmatismo posiblemente en el Kimmerigiano (Centeno-García y Silva-Romo, 1997), ocurre un importante cambio en el escenario tectónico antes mencionado, pues la parte marginal del oeste de Oaxaquia (Terreno Sierra Madre) (Fig.3) no presenta evidencia de vulcanismo del Jurásico Tardío al Cretácico Tardío (Centeno-García y Silva-Romo, 1997). Durante este periodo la sedimentación carbonatada se desarrolló dentro de una relativamente profunda plataforma continental marina en continua subsidencia. La evolución cretácica en esta zona parece controlarse en parte por los cambios en los niveles eustáticos del mar y el proceso de rifting en el Atlántico, como se indica por la distribución de facies en las plataformas carbonatadas.

A partir de este periodo (Kimmerigiano) y hasta el Aptiano, el área de San Antonio se caracteriza por el depósito de manera transicional por una secuencia que Chauvé, et al. (1985) y Carrillo-Martínez (1989) denominaron formación La Peña Azul y que para Segerstrom (1961) corresponde a la Formación Las Trancas, equivalente a la Formación San Juan de la Rosa y a la formación La Peña Azul, la cual es el objetivo del presente trabajo de tesis. Esta secuencia esta compuesta por un conjunto de facies que sin duda representan diferentes eventos tectónicos en un relativamente corto periodo de tiempo y que no se pueden agrupar como un solo paquete litológico, situación que se propondrá en apartados mas adelante.

En el Albiano-Cenomaniano, continúa la subsidencia de la cuenca en un dominio de margen pasivo, caracterizado por sedimentación carbonatada en gruesos paquetes de caliza micrítica en varias paleogeografías diferentes marcadas por los pronunciados cambios de facies, dando origen a la Formación El Abra (facies de plataforma) (Carrasco, 1970), Tamabra (facies de talud) (Enos, 1974) y Tamaulipas (facies de cuenca), todas contemporáneas y dependiendo de la localidad y el autor que se consulte, la nomenclatura puede

variar. En el área de San Antonio se depositó transicionalmente a la Formación La Peña Azul, la Formación Tamaulipas Superior.

Durante el Turoniano y hasta el Maastrichtiano, se depositó la Formación Soyatal (Wilson et al., 1955) y según Carrillo-Martínez (2000) se depósito por el relieve probable más alto que existió en la cima de la plataforma del Doctor contigua, relieve que fue azolvado por los depósitos de la Formación Soyatal. En la cima del banco calcáreo del Doctor, se observa un desarrollo notable de paleocarsticidad previa al depósito de la Formación Soyatal (Carrillo-Martínez, 2000). Esta Formación ya no aflora en el área de San Antonio.

En el Cretácico Superior y probablemente hasta el Eoceno Medio, La orogenia Laramide dio origen a un levantamiento y a la deformación de las secuencias jurásicas y cretácicas provocando esfuerzos compresivos que dieron por resultado plegamientos sinclinales y anticlinales muy apretados y cabalgaduras en las unidades sedimentarias, dificultando su cartografía (Segestrom, 1961; Carrillo-Martínez et al., 1986; Carrillo-Martínez, 2000).

Los eventos post-Laramide se manifiestan por fallas de carácter distensivo, provocando lineamientos preferenciales NW-SE y en menor proporción NE-SW, el primero desarrollándose principalmente en rocas sedimentarias cretácicas y el segundo tanto en rocas sedimentarias como ígneas (Carrillo-Martínez et al., 1986; Carrillo-Martínez, 2000).

Así mismo, durante Oligoceno y el Mioceno principalmente, la generación de los planos estructurales mencionados anteriormente, favorecen el emplazamiento de rocas ígneas tanto intrusivas como extrusivas.

Finalmente, del Plioceno al reciente se tienen únicamente depósitos continentales, principalmente conglomerados polimícticos y arenas con algunos depósitos aluviales sin consolidar.

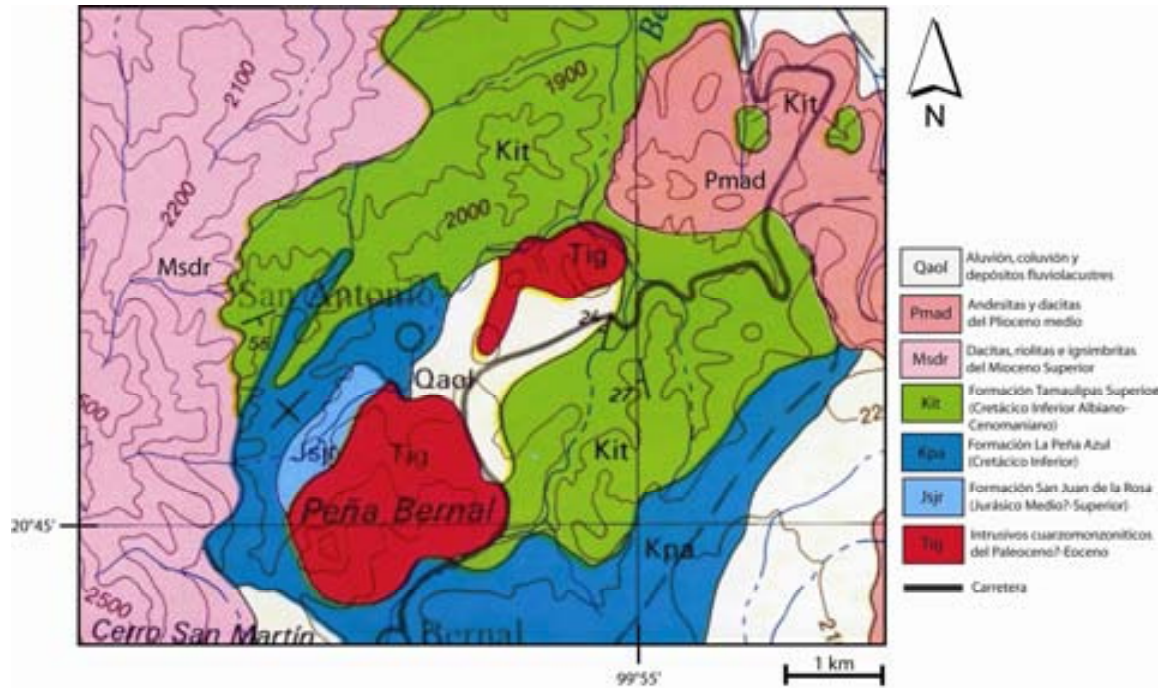


Fig 5. Mapa geológico donde se muestran las principales formaciones adyacentes al área de estudio. (modificado de Carrillo-Martínez (2000))

CAPÍTULO III

ESTRATIGRAFÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

En el presente trabajo se identificaron en el área de estudio cuatro unidades estratigráficas en lugar de solo tres como lo describieron autores anteriores y que además las asignaban a otras unidades estratigráficas. En el presente trabajo se propone que afloran el Complejo el Chilar, la Formación San Juan de la Rosa, la Formación La Peña Azul y la Formación Tamaulipas Superior. De éstas cuatro, sólo se presenta a detalle lo correspondiente a la formación La Peña Azul, aunque también se realizó el muestreo y el levantamiento indirecto (secciones estructurales (Fig. 8)) de las columnas estratigráficas a semi-detalle de las demás formaciones. Esto para ayudar a entender las características, origen y contexto geológico de las formaciones supra e infrayacentes a la Formación La Peña Azul. A continuación se describen brevemente las cuatro formaciones:

III.1 Complejo el Chilar (Pre-Jurásico Superior)

En el área de estudio el afloramiento de esta unidad tiene un espesor aproximado de 635 m, se encuentra muy deformada, presenta boudinage y porfidoclastos de arenisca que alcanzan varios metros de diámetro en una matriz lutítica y de arenisca muy foliada. Se observaron algunos relictos de estratificación y los espesores originales de los estratos parecen ser de 10 a 15 cm, estos estratos consisten en areniscas cuarcíticas verdosas de grano medio a grueso con algunos horizontes conglomeráticos con bloques cuarzo lechoso principalmente y de lutitas de grano muy fino (ver Apéndice 1 para descripciones detalladas). Presenta pliegues isoclinales y cizallamiento interno con estrías horizontales y subhorizontales, además de más de dos sistemas de fracturas rellenas de carbonato y sílice. No se observaron restos fósiles ni estructuras sedimentarias. La foliación presente es muy errática, pero el rumbo preferencial es de SW60°60°NW. Presenta una discordancia angular en el contacto superior con la formación San Juan de la Rosa y en algunas partes el contacto es tectónico.

III.2 Formación San Juan de la Rosa (Jurásico Superior)

Esta unidad en el área de estudio tiene un espesor aproximado de 275 m y se encuentra muy deformada. En particular en el contacto con el Complejo El Chilar presenta deformación intensa producto de fallas laterales derechas (principalmente en el sector sur-oeste del área de estudio) que obliteraron el contacto discordante original apreciable en la zona sureste del área. Esta formación consiste en una alternancia de areniscas y lutitas calcáreas y areniscas volcánicas, muy feldespáticas en estratos delgados muy alteradas, de color marrón y beige cortadas por un cuerpo ígneo, al parecer de naturaleza hipabisal y contemporáneo a las areniscas, de 71 m aprox. medido en la columna "AB" (Fig. 6) y de color verdoso; dicho cuerpo ígneo contiene abundantes fracturas rellenas de cuarzo. Diques tabulares de no muy grandes dimensiones (centímetros de espesor) con una composición muy similar afloran en regiones contiguas, fuera del área de estudio, que cortan a la parte basal de la formación San Juan de la Rosa, dando una morfología muy parecida a diques y sill. La parte superior consta de areniscas de grano medio feldespáticas carbonatadas y algunos estratos delgados de caliza de color café rosado, que se encuentra menos deformada que las partes basales cercanas al contacto con el Complejo El Chilar. Hacia la cima cambia transicionalmente a una alternancia de calizas en estratos laminados y lutitas, repitiéndose la litología de las partes basales de esta formación pero presentando deformación y foliación intensa debido a una falla lateral izquierda más antigua que el sistema de fallas laterales derechas, que brecha y altera esta roca en las zonas cercanas al contacto con la Formación La Peña Azul por cizalla, que se observa principalmente en el sector surponiente del área de estudio (Fig. 8).

El contacto inferior con el Complejo El Chilar es discordante y el superior es también discordante con la formación La Peña Azul, ambos en varios sectores del área están tectonizados.

III.3 Formación La Peña Azul (Cretácico Inferior)

Antecedentes: Como se mencionó anteriormente fue Chauvé et al. (1985) quien describe a las rocas de esta formación por primera vez como lutitas rojas, cubiertas por estratos de areniscas, lutitas y calizas y lentes de areniscas y conglomerados con ostreas hacia la parte superior que yacen sobre la Formación San Juan de la Rosa (que para Segerstrom (1961) formaban la parte superior de la Formación Las Trancas). Por otro lado Carrillo-Martínez (2000) la describe en el área de San Antonio como lutitas filíticas rojas con intercalaciones de bentonita grisácea y conglomerado polimíctico en una matriz detrítica que consiste en arenisca, lutita marga y toba. En el área de estudio, los espesores de los distintos componentes litológicos de ésta formación varía debido a la intensa deformación y plegamiento que presentan (Fig. 8), lo que también dificulta su cartografía.

La Formación La Peña Azul en el área de estudio, se encuentra en contacto discordante con la Formación San Juan de la Rosa, y en algunas zonas éste contacto es tectónico (principalmente en el sector centro-este del área de estudio), mientras que el contacto Superior con la Formación Tamaulipas es transicional (Fig. 8).

III.4 Formación Tamaulipas Superior (Albiano-Cenomaniano)

Para éste estudio sólo se consideró la parte basal de la Formación Tamaulipas Superior, que consta de estratos con laminaciones de limonitas calcáreas de color rosado y que gradualmente aumenta su contenido de estratos delgados de caliza arenosa color gris con bandas y nódulos de pedernal, hacia la cima se observa caliza de grano muy fino (mudstone) con horizontes continuos de pedernal y la estratificación se torna más delgada. Los estratos varían de 10 a 30 cm en esta columna con actitud promedio de SW3°53'NW. El contacto con La formación La Peña Azul es transicional.

III.5 Análisis de Facies

Las columnas estratigráficas que se levantaron en el campo (Fig. 13) y que se midió el espesor estructural, debido a la intensa deformación que presentan, se muestran en las figuras 6 y 7. En estas columnas se representa la litología, el espesor calculado, algunas estructuras sedimentarias observadas, las zonas con mucha deformación y foliación, las fallas que cortan a estas estructuras y el contenido fósil.

En las columnas estratigráficas “AB” y “CD” (Fig. 6 y 7 respectivamente) (Fig. 8), se midieron tanto las rocas pertenecientes al Complejo el Chilar, como aquellas de la formación San Juan de la Rosa, descritas anteriormente y proponiéndose dos facies (SJR1 Y SJR2). Además, se midió la columna de la formación La Peña Azul y en esta se proponen dos facies (F2 y F3) y dos asociaciones de facies (AF1 y AF4), también se registraron la facies de la base de la Formación Tamaulipas Superior (TS1). A continuación se describen dichas facies y asociaciones de facies.

Facies SJR1, formación San Juan de la Rosa

Esta facies tiene un espesor aproximado de 10 m en la columna “AB” (Fig. 6) y de 20 m en la columna “CD” (Fig. 7) y se caracteriza por estar compuesta de estratos delgados de caliza color gris rosado, caliza arenosa color marrón y areniscas de grano medio feldespáticas carbonatadas color marrón con tonalidades rosadas intercaladas con lutitas calcáreas con espesores no mayores a 6 cm. Esta unidad se encuentra bastante deformada y con foliación generalmente paralela al plano de estratificación. La actitud de los planos de estratificación de esta facies es muy errática y esta controlada por los accidentes estructurales que la afectan, no se observaron estructuras sedimentarias primarias que aportaran datos importantes, solo se observaron algunas laminaciones paralelas en las zonas con menos deformación. Además en el sector suroeste del área de estudio, presenta una intrusión de un cuerpo ígneo de la misma edad e interacciones sinsedimentarias con la facies SJR2 descritas más adelante y con mejor detalle en el apartado de análisis petrográfico. Esta

facies esta en contacto discordante con las rocas del Complejo El Chilar y en bastantes zonas este contacto esta tectonizado (principalmente en la zona sur-poniente (Fig. 8)) además cambia gradualmente a la facies SJR2 de esta misma formación.

Facies SJR2, formación San Juan de la Rosa

Esta facies tiene un espesor aproximado de 200 m en la columna "AB" (Fig. 6) y de 120 m en la columna "CD" (Fig. 7) y se caracteriza por estar compuesta de areniscas de grano fino a medio muy feldespáticas (arcosas) de colores rojizos y marrón, con espesores de no más de 6 cm. Al igual que la facies SJR1, presenta intensa deformación y foliación paralela a los planos de estratificación, intrusiones por cuerpos ígneos de la misma edad y no se observaron estructuras primarias que aportaran información importante. Además presenta interacciones sinsedimentarias con la facies SJR1 formando estructuras peperíticas en el contacto con esta facies de la misma formación. En toda el área presenta cambios transicionales a la facies SJ1 nuevamente.

Asociación de Facies AF1, Formación La Peña Azul

Esta asociación de facies tiene un espesor aproximado de 25 m en la columna "AB" (Fig 6) y 435 m en la columna "CD" (Fig. 7), empezando la medición en diferentes niveles estratigráficos y se caracteriza por estar compuesta en su base (litofacies D) de flujos de escombros calcáreos con bloques angulosos de hasta 30 cm de espesor en una matriz de lodo calcáreo y que además contiene bloques de pedernal angulosos (debris flows). Presenta también, cerca del contacto con San Juan de la Rosa, una foliación intensa producto de la cizalla lateral izquierda más antigua que el sistema de fallas laterales derechas, observable en la parte sur-poniente del área (Fig. 8), que tectoniza este contacto. Gradualmente, en la parte superior, esta asociación comienza a estratificarse en estratos de caliza arenosa de 10 cm de espesor con abundantes lentes y nódulos de pedernal (litofacies T) que presenta características de turbiditas y que algunos presentan sigmoides debido a la cizalla contigua. Toda esta unidad esta intensamente fracturada y rellena de

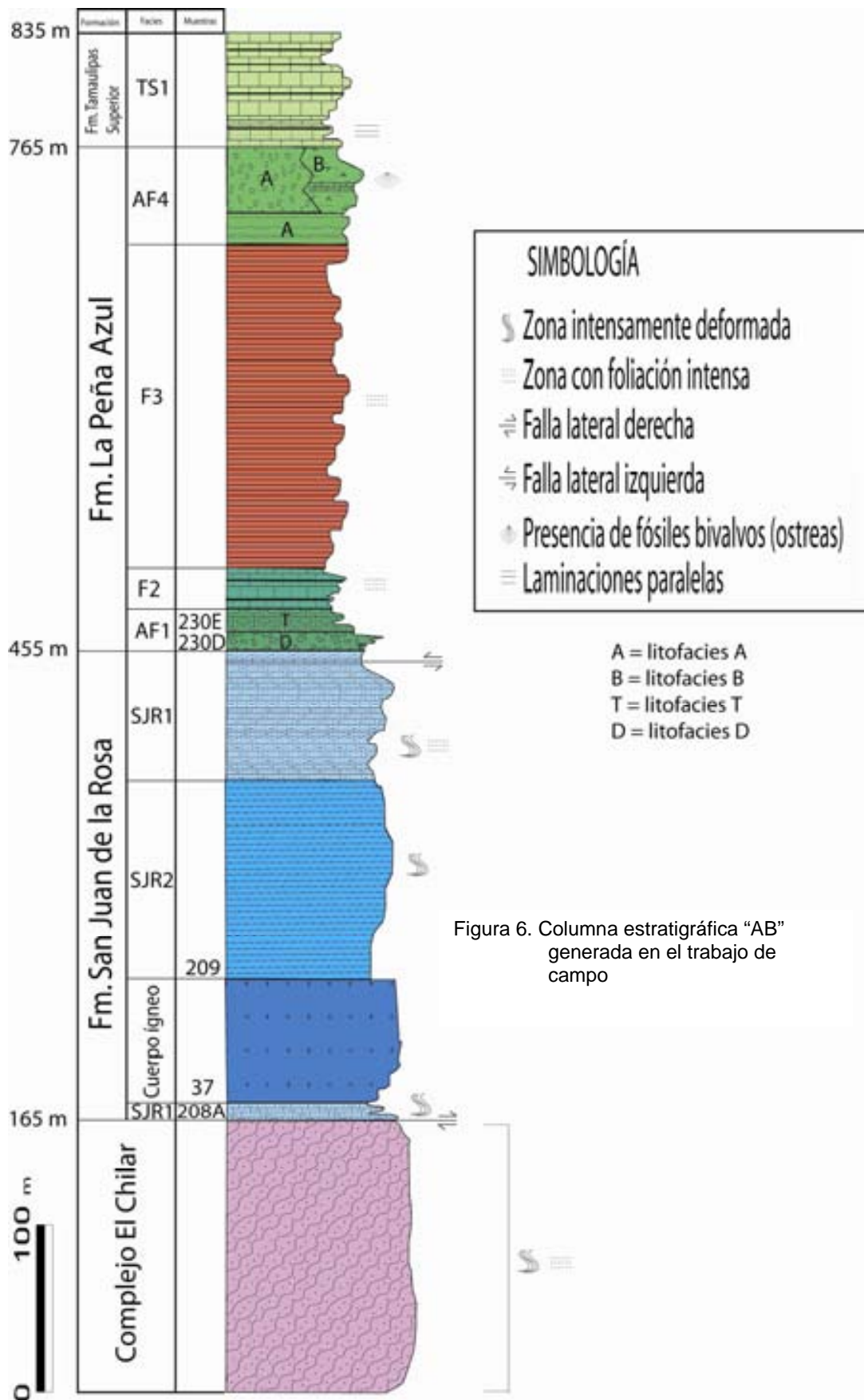


Figura 6. Columna estratigráfica "AB" generada en el trabajo de campo

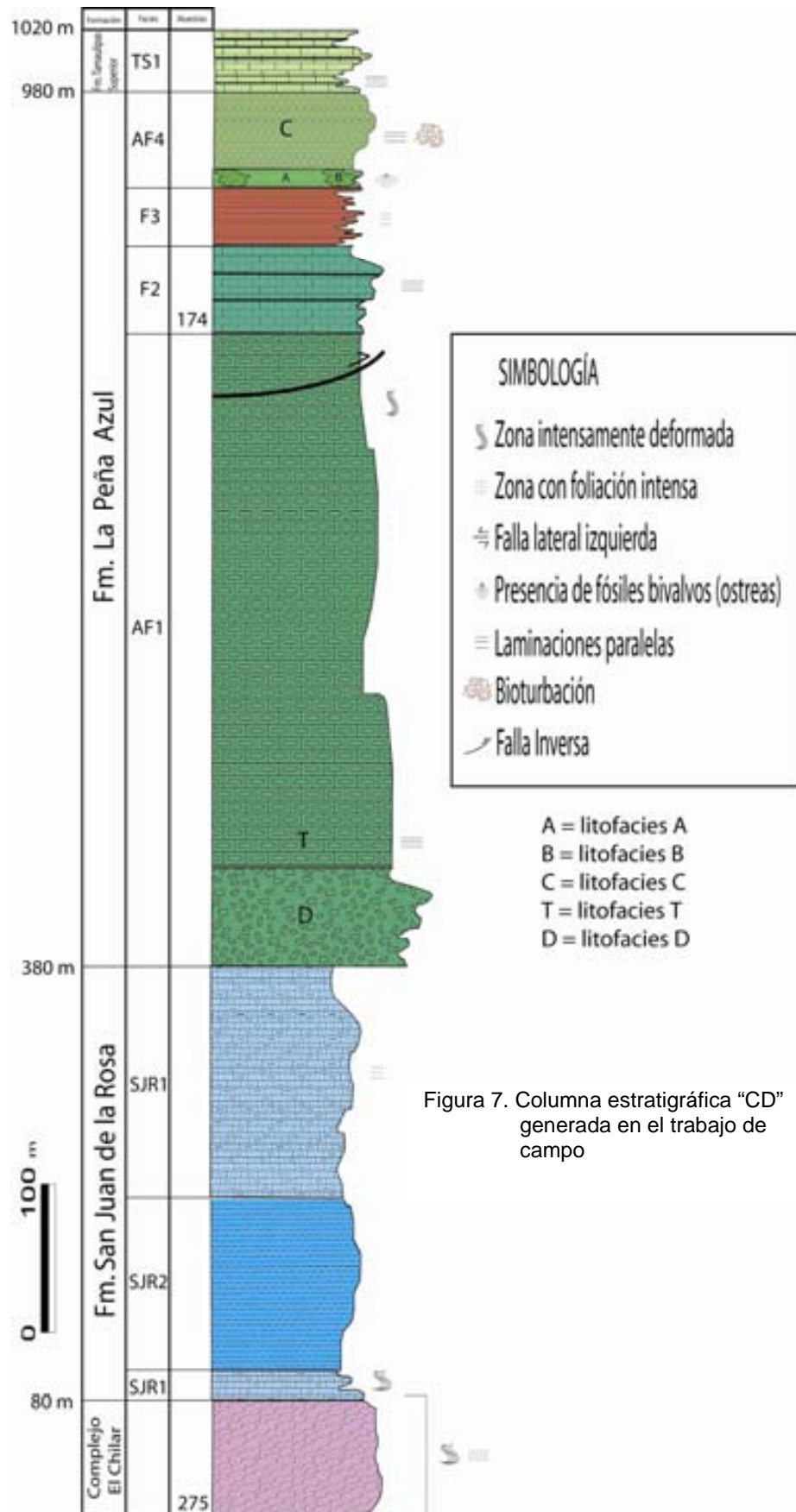


Figura 7. Columna estratigráfica "CD" generada en el trabajo de campo

calcita en lo que parece ser dos sistemas de fracturamiento. La actitud de las capas es en promedio SW23°70'NW. No se observaron fósiles a nivel megascópico y sólo se observaron pocos horizontes muy delgados de material arcilloso de color rosado entre la estratificación.

Facies F2, formación La Peña Azul

Esta facies tiene un espesor aproximado de 25 m en la columna "AB" (Fig. 6) y 60 m en la columna "CD" (Fig. 7), esta constituida por areniscas de grano fino a medio carbonatadas color café claro y beige blanquecino de hasta 7 cm de espesor, intercaladas con lutitas también carbonatadas y bandas de pedernal. Estas capas tienen una actitud de NE34°SE80° en promedio y cambia la actitud de los planos debido a la deformación, que aunque no es tan intensa en ambas columnas, los planos de estratificación cambian bruscamente en algunas zonas. Sólo se observaron laminaciones paralelas en los estratos de arenisca. No se pudo distinguir la base y la cima de los estratos.

Facies F3, formación La Peña Azul

Esta facies tiene un espesor aproximado en la columna "AB" (Fig. 6) de 200 m y 40 m en la columna "CD" (Fig. 7), consiste de lutitas con un característico color rojo, aunque en algunas partes se torna de colores verde intenso y verde olivo, producto de la diagénesis y la alteración hidrotermal que prevalece en esta zona. La actitud de la estratificación en los afloramientos de estas columnas es de SW45°50'NW y presenta foliación intensa en toda la extensión que aflora, que al parecer es paralela a la estratificación. En zonas más al sureste, esta facies se interdigita con areniscas y conglomerados, pero en ambas columnas aparece como la base de estos.

Asociación de Facies AF4, formación La Peña Azul

Esta asociación de facies tiene un espesor aproximado de 60 m en la columna "AB" y 65 m en la columna "CD", consiste de areniscas de grano fino masivas de color verdoso, estratos de conglomerados con clastos de hasta 5 cm

que van de subangulosos a bien redondeados con matriz detrítica fina (litofacies A), bancos lenticulares de areniscas carbonatadas de grano medio, de color beige con bivalvos fósiles (ostreas) (litofacies B) y arenas medias color rojizo a marrón con estratificación delgada (de hasta 7 cm) intercaladas con lutitas, de naturaleza principalmente feldespática y con algunos horizontes de tobas (litofacies C) (ver Apéndice 1 para descripciones más detalladas). Los espesores varían de algunos cm hasta 15 cm de espesor y la actitud de estos estratos es en promedio SW52°NW43°. Los conglomerados se presentan a veces estratificados con las areniscas y otras veces como bancos lenticulares masivos (posibles rellenos de canal). Los bancos lenticulares de areniscas carbonatadas con ostreas se presentan intercalados ya sea con las areniscas o con los conglomerados, principalmente se les encuentra asociadas a los conglomerados y también presenta algunas concreciones calcáreas. En la columna "AB" esta ausente la parte que corresponde a areniscas de estratificación delgada con lutitas y algunas tobas (litofacies C), mientras que en la "CD" son el componente principal.

Facies T1, Formación Tamaulipas Superior

La facies T1 corresponde a la parte basal de la Formación Tamaulipas Superior en el área de estudio y consiste en limolitas violáceas carbonatadas con bandas muy delgadas de pedernal en el contacto transicional con la facies AF4, que gradualmente se tornan en estratos delgados de caliza arenosa color gris marrón y pasa en pocos metros a estratos de hasta 30 cm de caliza de grano muy fino (mudstone) color gris claro que comienza a presentar nódulos y bandas de pedernal negro cada vez más gruesos de hasta 10 cm de espesor. En la columna "AB" (Fig. 6) se midieron 70 m de ésta facies mientras que en la columna "CD" (Fig. 7) sólo se midieron 40 m. El contacto inferior es transicional con la formación La Peña Azul y discordante con la secuencia ígnea cenozoica.

Cuerpos ígneos de la región de estudio

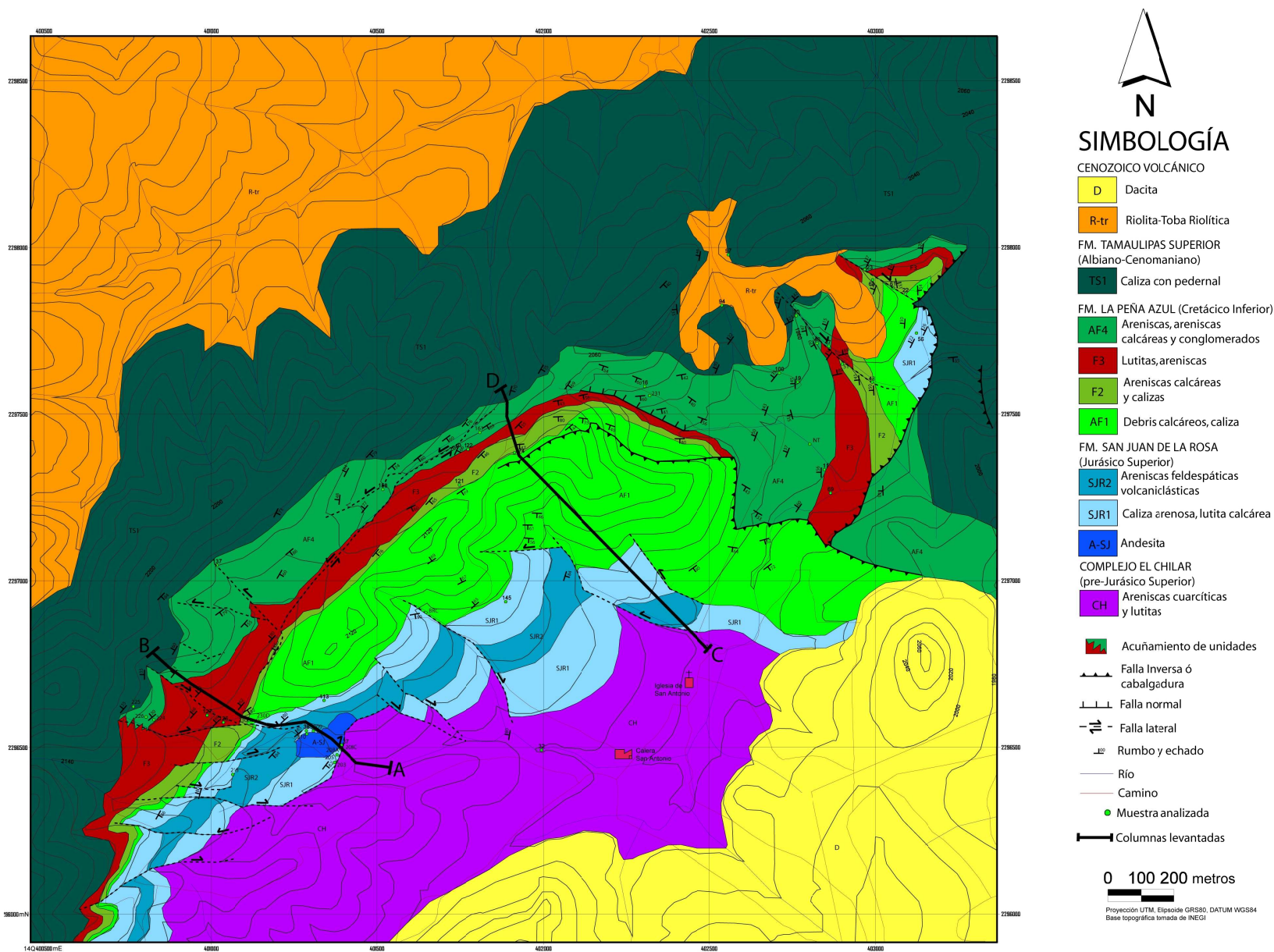
Existen tres principales cuerpos ígneos dentro del área de estudio, el primero en la Formación San Juan de la Rosa (parte sur-poniente del área de

estudio) y de posible edad Jurásico Superior, el cual se encuentra emplazado en las facies de ésta formación (SJR1 y SJR2) (Fig. 8) y consiste en un cuerpo hipabisal de composición andesítica de color verde oscuro y textura porfídica con cristales de plagioclasa y piroxenos. Este cuerpo se encuentra bastante alterado y presenta fracturas rellenas de cuarzo y muy pocas fracturas pequeñas rellenas de carbonato secundario. Este cuerpo presenta texturas de mezcla magmática con los sedimentos que se emplaza, con texturas peperíticas, como se describe en el Apéndice 1. Por lo tanto, se infiere que el emplazamiento de este cuerpo es contemporáneo a la sedimentación.

El segundo consiste en un cuerpo intrusivo dacítico en la parte suroriental del área, tiene textura porfídica, es de color beige y no presenta alteración importante, algunos autores le asignan edades que van desde el Paleoceno-Mioceno (Carrillo-Martínez, 2000) hasta el Mioceno Superior con base en fechamientos $40\text{Ar}-39\text{Ar}$ (Aguirre-Díaz, 2006).

El tercero se trata de una serie de rocas volcánicas extrusivas principalmente ácidas consistentes en tobas riolíticas, ignimbritas y dacitas de colores marrón a pardo que se encuentran discordantemente por encima de las rocas calizas de la Formación Tamaulipas Superior y que según Carrillo-Martínez (2000) son del Mioceno Superior.

Figura 8. Mapa geológico que muestra la ubicación de las secciones estudiadas en campo



CAPÍTULO IV

RESULTADOS DEL ANÁLISIS PETROGRÁFICO

IV.1 Textura y composición de las areniscas

De las muestras de roca colectadas durante el trabajo de campo, se elaboraron 46 láminas delgadas para su descripción petrográfica. La mayoría de las muestras estudiadas son areniscas (31 muestras), el resto son calizas y rocas ígneas. El resultado del estudio de estas láminas se presenta en éste capítulo y la ubicación de las muestras colectadas se muestra en el mapa geológico. La mayoría de estas láminas pertenecen a la Formación La Peña Azul que fueron estudiadas con el fin de tratar de caracterizar las distintas facies y asociaciones de facies que la componen. Se analizaron cuatro muestras del Complejo El Chilar, once muestras de la Formación San Juan de la Rosa, treinta muestras de la Formación La Peña Azul y una de la Formación Tamaulipas Superior, cuyas descripciones detalladas se presentan en el Apéndice I.

Complejo El Chilar

El tamaño de grano varía de estrato a estrato, las muestras estudiadas van de arenisca conglomerática-conglomerado a arenisca fina. Todas las muestras están mal seleccionadas, y los granos van de muy angulares a subredondeados y de formas esféricas a discoidales con algunos clastos irregulares, los contactos entre granos varían mucho, los más abundantes son rectos y elongados, aunque también se presentan algunos granos flotantes, contactos suturados y puntuales. La matriz es clástica fina (limolita-arenisca) y por su abundancia las muestras pueden clasificarse como wacas.

La composición de todas las muestras es muy homogénea, su constituyente más abundante es el cuarzo, seguido de feldespatos y por último algunos fragmentos líticos y escasos minerales accesorios (moscovita, biotita y zircón). El cuarzo predominante varía de muestra a muestra, en algunas es el cuarzo monocristalino de extinción recta, con vacuolas y microlitos, o con inclusiones, y en otras es cuarzo policristalino de extinción ondulante. También

contiene cuarzo monocristalino de extinción ondulante, con vacuolas y microlitos; cuarzo policristalino de extinción ondulante y cuarzo policristalino de extinción ondulante y contactos suturados (cuarzo metamórfico?). El feldespato potásico es relativamente abundante en una muestra, y esta representado por la presencia de microclina con maclas enrejadas y fragmentos de pertitas. Las plagioclasas varían en abundancia y son el feldespato más común en todas las muestras. Por su ángulo de extinción oscilan entre andesina-labradorita, están poco alteradas y a pesar de estar redondeadas, la mayoría conservan su forma tabular. Los fragmentos líticos presentan abundante cuarzo y son principalmente fragmentos ígneos félsicos (granitos y felsitas), metamórficos y de arenisca cuarcítica.

En cuanto a la diagénesis, es muy variable, algunas muestras presentan un mínimo de reemplazamiento, principalmente de la matriz y los bordes de los clastos. El mineral autigénico más común es calcita, seguido de minerales arcillosos, sericita, y óxidos de hierro, estos últimos se presentan como rellenos de grietas o reemplazando la matriz. Una de las muestras está cizallada y contiene clastos deformados (estirados).

Formación San Juan de la Rosa

El tamaño de grano varía de estrato a estrato, las muestras estudiadas van de arcosas de grano fino a arcosas de grano medio y grueso, así como calizas arenosas. Además contiene tobas y cuerpos ígneos hipabisales y diques que fueron emplazados cuando el sedimento no estaba litificado ya que están bordeados por peperitas. Todas las muestras de areniscas presentan una mala a moderada selección de los granos, y estos van de muy angulares a subredondeados y de formas esféricas a discoidales con algunos clastos irregulares, los contactos entre granos varían mucho, los más abundantes son puntuales, aunque también es común la textura de granos flotantes y algunos contactos alargados. La matriz es principalmente calcárea (micrítica) en la mayoría de las muestras y clástica fina (limolita-arenisca), por su abundancia las muestras pueden clasificarse como calizas arenosas, algunas arcosas y litarenitas volcánicas.

La composición de todas las muestras es heterogénea, en algunas muestras el constituyente más abundante es el cuarzo, en otras es el feldespato y por último los fragmentos en tercer lugar de abundancia son los líticos y escasos minerales accesorios (moscovita, sericita y minerales arcillosos). El cuarzo predominante casi no varía de muestra a muestra, en la mayoría es el cuarzo monocristalino de extinción recta, con vacuolas y microlitos. También contiene muy poco cuarzo monocristalino de extinción ondulante, con vacuolas y microlitos. El feldespato potásico es relativamente abundante en todas las muestras, y está representado por la presencia de posible ortoclasa y muy pocos fragmentos de perfitas. Las plagioclasas varían en abundancia y son el feldespato más común y más abundante en todas las muestras. Por su ángulo de extinción oscilan entre andesina-labradorita, están la mayoría alteradas y a pesar de que algunas están redondeadas, la mayoría conserva su forma tabular. Los fragmentos líticos presentan abundante cuarzo y son principalmente fragmentos ígneos (traquita) argílicos (argilitas), félsicos (felsitas), pedernal, caliza y otros no bien identificables por su diagénesis. Una de las muestras presenta texturas peperíticas (muestra 208A) con minerales arcillosos, y otras dos corresponden al cuerpo ígneo que corta a las rocas sedimentarias de ésta formación mencionado anteriormente (muestras 37 y 113).

En cuanto a la diagénesis, es generalizada, algunas muestras presentan grados moderados de reemplazamiento, principalmente de la matriz, de los feldespatos y algunas márgenes de los clastos. El mineral autigénico más común es calcita, seguido de minerales arcillosos, sericita, y óxidos de hierro, estos últimos se presentan como rellenos de grietas o reemplazando la matriz. Las muestras de peperitas presentan un fuerte reemplazamiento por calcita.

Formación La Peña Azul, Facies AF1

Se analizaron tres muestras de la facies AF1. El tamaño de grano en la única arenisca analizada en esta facies (muestra 230E), es grueso. Esta muestra tiene granos moderadamente seleccionados, y van de muy angulares a subredondeados y de formas esféricas a discoidales con algunos clastos

irregulares, los contactos entre granos son escasos por la abundancia de la matriz calcárea, los más comunes son puntuales con pocos elongados, aunque también se presentan algunos granos flotantes. La matriz es calcárea fina (micrita) y se clasifica como una arenisca calcárea gruesa. Las demás muestras consisten en lodos calcáreos con abundantes aloquímicos y en la muestra "Brecha" la roca se encuentra cizallada formando pequeños bloques angulosos de hasta 0.7 cm.

La composición de todas las muestras es calcárea principalmente, su constituyente más abundante son fragmentos bioclásticos (foraminíferos y calciesferas), seguido de fragmentos de pedernal y escasos minerales accesorios (minerales arcillosos y óxidos de hierro). Se pueden clasificar como arenisca calcárea gruesa y calizas lodosas.

En cuanto a la diagénesis, es muy variable, algunas muestras presentan un mínimo de reemplazamiento, principalmente por la recristalización del carbonato de calcio. El mineral autigénico más común es calcita, seguido de minerales arcillosos y óxidos de hierro, estos últimos se presentan como rellenos de grietas o reemplazando la matriz. Una de las muestras (muestra Brecha) está cizallada y contiene clastos deformados (pequeños bloques angulosos).

Formación La Peña Azul, Facies F2

Se analizaron ocho muestras de esta facies. El tamaño de grano varía de estrato a estrato, las muestras estudiadas van de arenisca media a arenisca fina con sólo una de grano grueso y otra que sólo es lodo calcáreo. Todas las muestras tienden a estar mal seleccionadas, y los granos van de muy angulares a subredondeados y de formas esféricas a discoidales con algunos clastos irregulares, los contactos entre granos son principalmente puntuales y elongados, aunque también se presentan algunos granos flotantes. La matriz es calcárea fina (micrita) y por su abundancia las muestras pueden clasificarse como areniscas calcáreas medias.

La composición de todas las muestras es homogénea, su constituyente más abundante es el cuarzo, seguido de líticos sedimentarios e ígneos (areniscas, traquitas y felsitas) y por último algunos feldespatos bastante alterados, de los cuales las plagioclasas son más abundantes. Los minerales accesorios son escasos (algo de biotita y minerales arcillosos). El cuarzo predominante varía de muestra a muestra, en algunas es el cuarzo monocristalino de extinción recta, con vacuolas y microlitos, o con inclusiones, y en otras es cuarzo monocristalino de extinción ondulante. Presentan también una importante cantidad de bioclásticos (foraminíferos, calciesferas y posiblemente calpionélidos)

En cuanto a la diagénesis, es variable, algunas muestras presentan una cantidad moderada de reemplazamiento, principalmente de la matriz y de algunos componentes líticos. El mineral autigénico más común es calcita de relleno de fracturas, seguido de minerales arcillosos y óxidos de hierro, estos últimos se presentan como rellenos de grietas o reemplazando la matriz.

Formación La Peña Azul, Facies F3

Se analizaron cuatro muestras de esta facies. El tamaño de grano varía a lo largo de los afloramientos, las muestras estudiadas van de areniscas muy finas a areniscas medias. Todas las muestras están moderadamente seleccionadas a bien seleccionadas, y los granos van de muy angulares a subredondeados y de formas esféricas a discoidales con algunos clastos irregulares, los contactos entre granos varían mucho, los más abundantes son cóncavo-convexos, aunque también se presentan algunos granos flotantes, contactos alargados y puntuales. La matriz es clástica fina (limolita-arenisca) y por su abundancia las muestras pueden clasificarse como arenas finas.

La composición de todas las muestras es homogénea, su constituyente más abundante es el cuarzo, seguido de feldespatos y por último algunos fragmentos líticos y minerales accesorios (principalmente óxidos de hierro y algunas biotitas). El cuarzo predominante varía de muestra a muestra, en algunas es el cuarzo monocristalino de extinción recta, con vacuolas y microlitos,

o con inclusiones, y en otras es cuarzo monocristalino de extinción ondulante. También contiene en menor proporción cuarzo monocristalino de extinción ondulante, con vacuolas y microlitos; cuarzo policristalino de extinción ondulante y cuarzo policristalino de extinción ondulante y contactos suturados (cuarzo metamórfico?). El feldespato potásico es relativamente escaso y se encuentra en fragmentos bastante pequeños difíciles de identificar. Las plagioclasas varían en abundancia y son el feldespato más común en todas las muestras. Por su ángulo de extinción oscilan entre andesina-labradorita, están algunas poco alteradas y la mayoría conservan su forma tabular. Los fragmentos líticos presentan abundante cuarzo y son principalmente fragmentos de cuarzo policristalino y fragmentos ígneos félsicos (granitos y felsitas), algunos muy pequeños de arenisca.

En cuanto a la diagénesis, es muy variable, algunas muestras presentan un mínimo de reemplazamiento, principalmente de la matriz con óxidos de hierro y carbonatos. El mineral autigénico más común es calcita, seguido de óxidos de hierro y algunos crecimientos secundarios de cuarzo en la matriz, presentándose como rellenos de grietas o reemplazando la matriz. Una de las muestras está cizallada y contiene clastos orientados.

Formación La Peña Azul, Asociación de Facies AF4

Se analizaron quince muestras de esta asociación de facies. El tamaño de grano varía de estrato a estrato y la litofacies dentro de esta asociación (litofacies A, B y C), las muestras estudiadas van de arenisca fina y arenisca conglomerática-conglomerado (litofacies A), areniscas medias carbonatadas con bioclastos (litofacies B), areniscas medias feldespáticas intercaladas con limos y tobas (litofacies C). Todas las muestras están mal seleccionadas, con excepción de las areniscas finas y las limolitas, los granos van de muy angulares a subredondeados y de formas esféricas a discoidales con algunos clastos irregulares, los contactos entre granos varían mucho, los más abundantes son puntuales, rectos y alongados, aunque también se presentan algunos cóncavo-convexos. La matriz es clástica fina (limolita-arenisca) en las arenas conglomeráticas y algunas medias, en algunas arenas medias, finas y limolitas

la matriz es de carbonato y por su abundancia las muestras pueden clasificarse como conglomerados, areniscas finas y medias carbonatadas, limolitas carbonatadas y una muestra de arenisca media tobácea.

La composición de todas las muestras es bastante heterogénea, su constituyente más abundante son los fragmentos líticos, seguido de cuarzo y por último algunos feldespatos y escasos minerales accesorios (moscovita, biotita y minerales arcillosos principalmente). El cuarzo predominante varía de muestra a muestra, en todas es el cuarzo monocristalino de extinción recta, con vacuolas y microlitos, o con inclusiones, y en otras el cuarzo monocristalino de extinción ondulante aumenta su proporción. También contiene cuarzo policristalino de extinción ondulante, con vacuolas y microlitos; cuarzo policristalino de extinción ondulante y cuarzo policristalino de extinción ondulante y contactos suturados (cuarzo metamórfico?). El feldespato potásico es muy escaso en casi todas las muestras, y está representado principalmente por fragmentos de pertitas. Las plagioclasas varían en abundancia y es el feldespato más escaso en casi todas las muestras. Por su ángulo de extinción oscilan entre andesina-labradorita, están poco alteradas y a pesar de estar algunas bastante redondeadas, la mayoría conservan su forma tabular. Los fragmentos líticos presentan abundante cuarzo y son principalmente fragmentos de lutitas y areniscas cuarcíticas, ígneos félsicos (granitos y felsitas), algunos argilíticos y metamórficos (esquistos de moscovita). En una muestra de arenisca media carbonatada, se observan bioclástonos (posibles fragmentos de ostreas).

En cuanto a la diagénesis, es muy variable, algunas muestras presentan un mínimo de reemplazamiento, principalmente de la matriz y las márgenes de los clastos líticos. El mineral autigénico más común es calcita, seguido de minerales arcillosos, sericita, y óxidos de hierro, estos últimos se presentan como rellenos de grietas o reemplazando la matriz. Una de las muestras presenta ligero metamorfismo y contiene clastos deformados (estirados).

Formación Tamaulipas Superior, Facies TS1

Esta muestra (muestra 225) se compone de lodo calcáreo (micrita) con abundantes aloquímicos (microfósiles) flotando en la matriz, clasificándolo como un mudstone de foraminíferos y calciesferas. Presenta escasos pequeños clastos de cuarzo monocristalino de extinción recta, algo de fragmentos de pedernal y feldespato potásico principalmente. Los microfósiles consisten principalmente de foraminíferos planctónicos (globigerinas), foraminíferos bentónicos uniseriales, pequeños fragmentos de moluscos, calciesferas y parece haber radiolarios totalmente calcificados (espumeláridos).

En cuanto a la diagénesis, sólo se observó recristalización de la matriz calcárea, el mineral autogénico más abundante es la calcita, seguido de minerales arcillosos y óxidos de hierro, rellenando fracturas, grietas o reemplazando la matriz.

Cenozoico Volcánico

Esta muestra no pertenece al grupo de rocas mesozoicas objetivo de este trabajo, sin embargo aflora en el área de estudio y se presenta una breve descripción petrográfica de la muestra colectada (muestra 99).

Esta roca tiene una matriz microcristalina de tonalidades verdosas con patrones fluidales. Los cristales de esta roca tienen formas irregulares y varían en tamaño, contiene principalmente cristales grandes muy abundantes de feldespato potásico y cuarzo con bordes en bahías con microlitos y vacuolas, cuarzo policristalino con extinciones radiales y plagioclasas (andesina) muy escasa. La textura fluidal se define por el vidrio volcánico.

En cuanto a la diagénesis, hay muchísimos minerales arcillosos reemplazando a los feldespatos y a la matriz, tiene abundantes fracturas rellenas de cuarzo y bastante óxido de hierro entre la matriz.

IV.2 Análisis Modal

Con el objetivo de conocer las proporciones de los distintos componentes en las muestras de areniscas colectadas y las variaciones de dichos componentes a través de la columna estratigráfica aflorante dentro del área de estudio y su posible origen o procedencia, se realizó el análisis modal de 16 láminas delgadas. Debido a la deformación, hidrotermalismo y zonas de gran reemplazamiento presentes en la mayoría de las láminas delgadas, no fue posible analizar cada una de ellas por lo cual se realizó la selección de las muestras con menor grado de alteración y tamaño de grano adecuado para su correcta identificación y cuantificación.

En éste análisis modal se contaron un mínimo de 176 puntos en las muestras con el tamaño de grano más grueso y un máximo de 250 puntos en las muestras de grano más fino, variando el número de puntos según el tamaño de grano, debido a que las muestras no son homogéneas ni en composición ni en tamaño de grano y maximizando el número de puntos en las muestras de mayor tamaño de grano, tratando evitar una variación considerable en el promedio de la cantidad de los minerales debido a un conteo insuficiente o muy cerrado para cada muestra.

La composición total de cada muestra varía según las facies y la posición estratigráfica en dónde se colectó. Los componentes y sus porcentajes calculados para elaborar los diagramas analíticos se muestra en la Tabla 1; y el conteo general de muestra en la Tabla 2, al final de éste apartado. Resumiendo el resultado del conteo de todas las facies en distintos niveles, se tiene lo siguiente:

En las facies del Complejo El Chilar (muestras CH1, 103, 32 y 208C), el cuarzo es el componente más abundante, dentro de este el de mayor porcentaje es el cuarzo monocristalino de extinción ondulante y va de 23.18% a 28.51%, exceptuando la muestra del patrón del Chilar, que no se tomó dentro del área, sino cerca de su localidad tipo, en esta muestra el más abundante es el cuarzo monocristalino de extinción recta con 20.48%, reflejando variaciones

composicionales entre éstas dos áreas, el porcentaje de feldespatos máximo en éstas muestras es de 12.38% y corresponde a la muestra tomada cerca de la localidad tipo (muestra CH1), las muestras tomadas dentro del área de estudio muestran porcentajes similares que se mantienen y van de 10.53% a 11.11%, siendo las plagioclasas más abundantes.

Los fragmentos líticos de las muestras del Complejo El Chilar, varían según la posición estratigráfica en dónde se tomó la muestra, van de 21.91% a 4.54% y los fragmentos más abundantes son los fragmentos plutónicos en todas las muestras excepto en la muestra obtenida en el contacto con la Formación San Juan de la Rosa (muestra 208C), donde el porcentaje de líticos es bajo (4.54%). Los minerales accesorios van de 14.99% a 22.26%, siendo el más abundante la moscovita y los aglutinados de arcillas en todas las muestras.

En las facies de San Juan de la Rosa, sólo se realizó el análisis modal a una muestra (muestra 38A), debido al intenso reemplazamiento que impera en toda la Formación dentro del área de estudio, siendo esta muestra la más apta para el análisis. El cuarzo más abundante en esta muestra es el cuarzo monocristalino de extinción recta y corresponde a casi el cuarzo total presente (4.29% de 4.27%). Los feldespatos totales en la muestra son de 11.43%, siendo mucho más abundantes las plagioclasas. Los fragmentos líticos en esta muestra son los más abundantes (27.14%) y consisten principalmente en clastos volcánicos argilíticos, seguidos de elementos líticos que por su fuerte alteración y reemplazamiento no fueron reconocidos claramente.

En las facies de la formación La Peña Azul, existen facies que contienen areniscas aptas para su estudio, que se les realizó el análisis modal y que reflejan las siguientes características:

En la facies F2 (muestras 121, 22 y 48), el cuarzo presente va de 12.34% a 18%, siendo el más abundante el cuarzo monocristalino de extinción recta comportándose homogéneamente en todas las muestras. El contenido de feldespatos va de 4.5% a 7.73%, excepto por la muestra 121 que contiene 35.32% de feldespatos y que corresponde a la parte basal de esta facies,

reflejando una variación considerable en éste rubro respecto a las demás muestras, siendo las plagioclasas más abundantes. Los fragmentos líticos en estas muestras varían según la columna estratigráfica, se tienen valores de 14.47%, 28.63% y 43.6%, valores que van de base a cima de esta facie, los más abundantes en la base son clástos sedimentarios (calcáreos y areniscas) y conforme se llega a la cima se tiene predominancia de clástos volcánicos argilíticos. Los minerales accesorios predominantes son la sericita y los minerales arcillosos y van de 7.73% a 8.94%, excepto por la muestra 48 cuyo porcentaje es de 18.4%, posiblemente por estar sujeta a una mayor diagénesis o alteración.

En las facies F3 (muestras 126, 69 y 122), el cuarzo presente va de 18.58% a 32.86%, siendo el más abundante el cuarzo monocristalino de extinción recta, notándose una ligera variación en la muestra 126 que tiene un poco más de cuarzo monocristalino de extinción ondulante que las otras muestras y que corresponde a las partes basales de esta facies. El contenido de feldespatos resulta homogéneo, de 20.45% a 20.95%, excepto por la muestra 122 que presenta 38.85% y que estratigráficamente se encuentra por encima de las demás muestras, dándonos una considerable variación en este rubro hacia la cima de esta facies, el feldespato potásico es el más abundante en éstas muestras. Los fragmentos líticos van de 8.18% a 13.34%, siendo el lítico más abundante los fragmentos volcánicos argilíticos. El mineral accesorio más abundante es la sericita, los minerales accesorios van de 9.06% a 14.55%, excepto por la muestra 122, que presenta un 20.48% y un notable aumento en el contenido de sericita, esto debido al incremento en feldespato de ésta muestra antes mencionado.

En la asociación de facies AF4, las cuales a su vez comprenden las litofacies A, litofacies B y litofacies C, que van en ese orden de base a cima de esta asociación, aunque hay zonas del área de estudio en dónde se encuentran en distinta posición estratigráfica, se compararon las muestras de acuerdo a cada tipo de facies y arrojan las siguientes observaciones:

Para la litofacies A (muestra 224), el cuarzo ocupa un 5.14% siendo el más abundante el cuarzo monocristalino de extinción recta, las plagioclasas ocupan un 0.47% y los más abundantes fragmentos líticos con un 69.16%, predominando los fragmentos de arenisca. Los minerales accesorios ocupan 14.95% y consisten en aglutinados arcillosos.

Para la litofacies B (muestras 30, 19, 100 y 226) el cuarzo va según la posición estratigráfica, 12.97%, 22.28%, 30.95% y 17.04% respectivamente notándose una fuerte variación entre las partes basales y casi el contacto de esta facies con las areniscas de la facies C. Los feldespatos van de 1.43% a 7.73%, excepto por la muestra 226 que contiene 11.36%, siendo el feldespato potásico el predominante, además de presentar matriz de carbonato y bioclóstos (ostreas).

Para la litofacies C (muestra 11) el cuarzo tiene un 13.63%, siendo el más abundante el cuarzo monocristalino de extinción recta. El feldespato tiene 4.09% variando muy poco entre feldespato potásico y plagioclasa, aunque en el caso de la muestra 11, hacia la cima de esta facies el aumento de feldespato por la presencia de tobas es notable. Los fragmentos líticos son los más abundantes con un 51.81%, con variaciones mínimas en la abundancia predominante de clástos volcánicos argílicos y clástos felsíticos plutónicos. Los minerales arcillosos son bajos (6.36%).

La cantidad de fragmentos líticos es muy homogénea en estas muestras es de 32.87% con abundancias similares entre clástos volcánicos argílicos, clástos plutónicos y clástos metamórficos consistentes en esquistos de moscovita. El mineral accesorio más abundante es la moscovita y los aglutinados arcillosos.

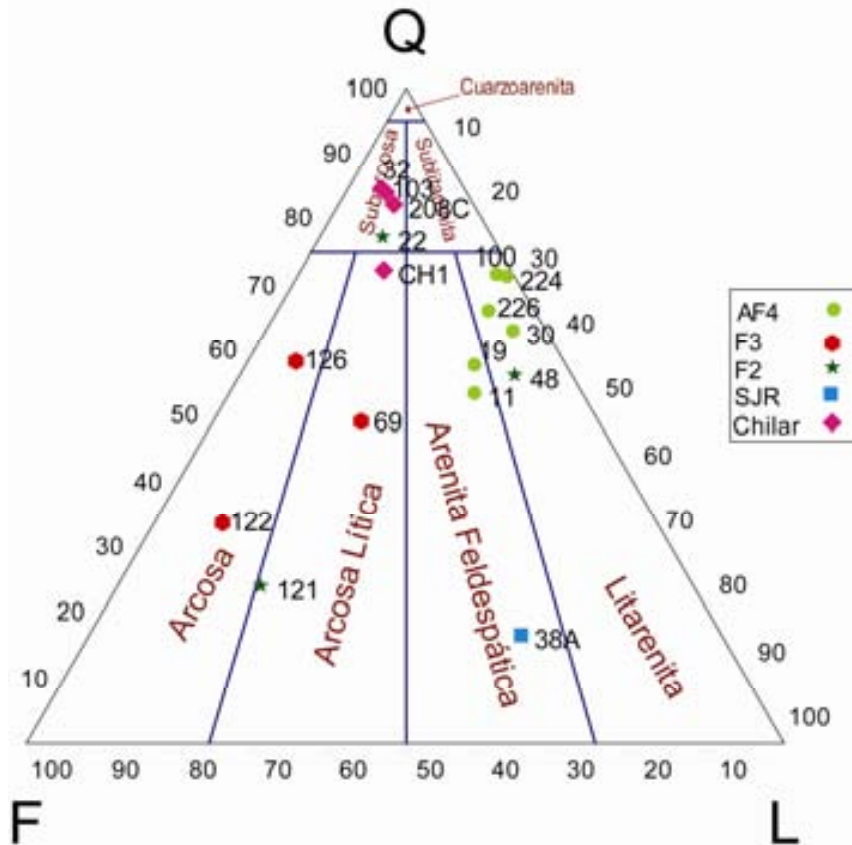


Figura 9. Diagrama ternario de Folk (1969) que muestra la clasificación de las rocas con base en sus componentes principales.

Los datos obtenidos se graficaron en el diagrama de Folk (1969) para obtener la clasificación de cada una de estas areniscas. La figura 9 muestra el diagrama construido a partir de la Tabla 2, donde se observa el contenido de cuarzo (Q), feldespatos (F) y fragmentos de roca (L) obtenidos durante el estudio del análisis modal. Según este diagrama, las variaciones en composición agrupan a las areniscas con tendencias similares de acuerdo a la facies a la que pertenecen. Se observa que las facies del Complejo el Chilar en el área de estudio consisten principalmente en subarcosas, la muestra de la Formación San Juan de la Rosa es una arenita feldespática, las muestras de la facies F2 de la formación La Peña Azul difieren bastante en su composición de acuerdo con su posición en la columna estratigráfica por lo que bajo este criterio es difícil establecer su clasificación generalizada. Las muestras de la facies F3 de la formación La Peña Azul, consisten principalmente en arcosas aunque una de las muestras resulte un poco enriquecida en fragmentos líticos y se clasifique como

una arcosa lítica y la asociación de facies AF4 se clasifique en litarenitas, quedando fuera dos muestras por ligeros incrementos en la cantidad de feldespatos, causados probablemente por procesos de albitización (diagénesis).

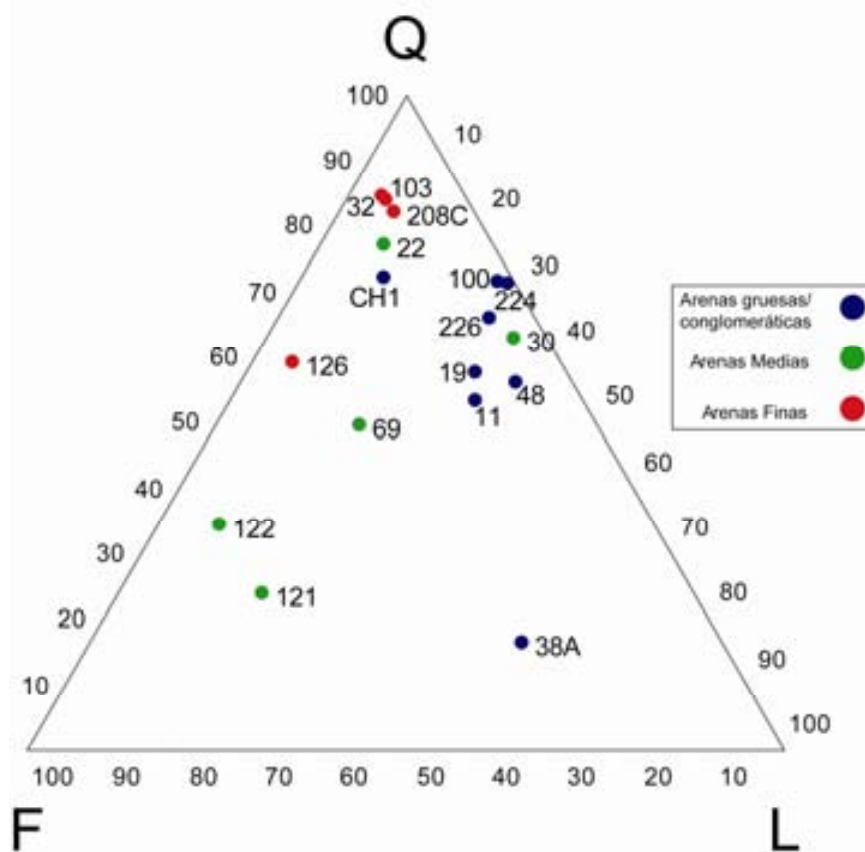


Figura 10. Diagrama ternario que muestra la distribución por tamaño de grano con base en sus componentes principales.

Además de las variaciones en composición existentes entre las posiciones estratigráficas de cada uno de los componentes de la columna estratigráfica del área de estudio, gráficamente se compararon las muestras por composición y tamaño de grano, con el objetivo de analizar si existe una variación selectiva o una preferencia de composiciones asociada con el tamaño de grano que alterara el análisis modal. En la figura 10, se observan ligeras preferencias de las arenas finas por contener más porcentaje de cuarzo que feldespatos y líticos, mientras que las arenas gruesas y conglomeráticas tienden a concentrar más fragmentos de roca, variación natural debido a la pérdida de fragmentos estables cuando el tamaño disminuye, proceso que generalmente

ocurre durante el intemperismo y transporte de los sedimentos, no por diagénesis. Las arenas de grano medio no reflejan ninguna variación debido al tamaño de grano, ya que en general, no altera la composición ni las interpretaciones del análisis modal.

Para mejorar la interpretación de los resultados, que diera una idea más clara de la posible procedencia y los factores que controlaron la composición de las areniscas en el área de estudio se realizaron esquemas comparativos entre cada una de las muestras de las facies y su posición estratigráfica. Se compararon las cantidades de cuarzo total contra líticos totales y líticos volcánicos para tratar de visualizar la evolución de las facies con base en la abundancia entre éstos componentes.

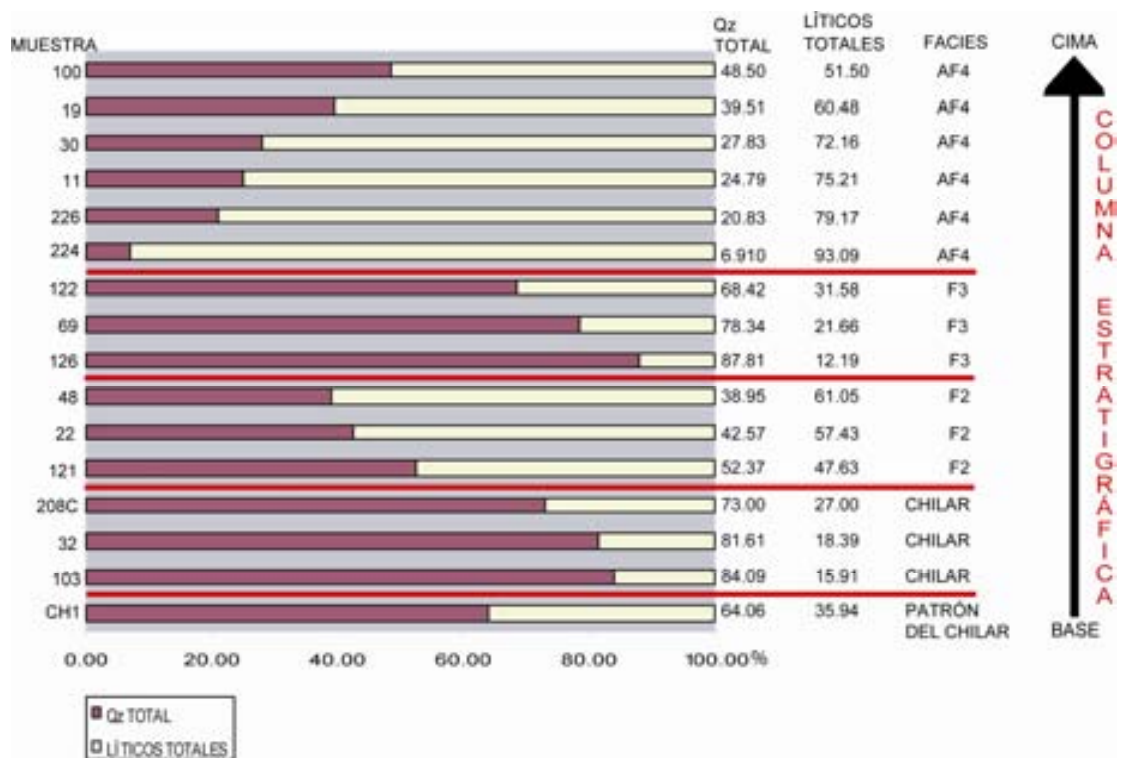


Figura 11. Diagrama de barras que muestra la variación de cuarzo y líticos totales de acuerdo con la facies correspondiente y su posición en la columna estratigráfica.

La figura 11 muestra el gráfico construido a partir del contenido de cuarzo y el contenido de líticos totales, se observa para la asociación de facies AF4 (parte superior de la Formación La Peña Azul), aumentos casi graduales en el

contenido de fragmentos líticos a partir de la base de ella, en las facies del Complejo El Chilar, F2 y F3 (partes basales de la Formación La Peña Azul), por el contrario se observa una disminución de los fragmentos líticos; cada una de estas disminuciones también de manera casi gradual.

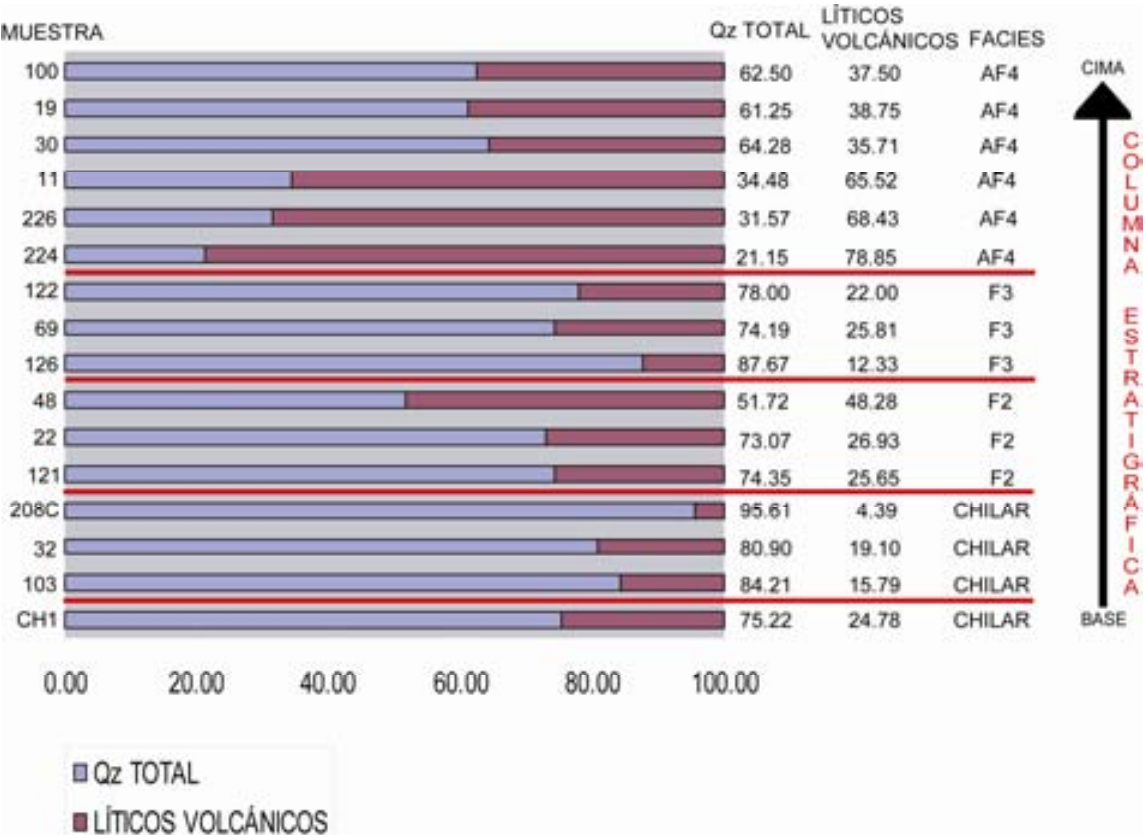


Figura 12. Diagrama de barras que muestra la variación de cuarzo y líticos volcánicos de acuerdo con la facies correspondiente y su posición en la columna estratigráfica.

Como complemento de esto la figura 12, construida comparando el contenido de cuarzo contra los líticos de origen volcánico, muestra los episodios de adición de material ígneo clástico en cada una de las facies muestreadas. Estas variaciones y los datos obtenidos del análisis modal serán discutidos en el apartado de interpretación de los resultados.

MUESTRA	FRAGMENTOS LÍTICOS						Q	F		L		Qm		F		Lt			
	IGNEOS		SEDIMENTARIOS		METAMÓRFICOS			PTS	%	PTS	%	PTS	%	PTS	%	PTS	%	PTS	%
	PTS	%	PTS	%	PTS	%		PTS	%	PTS	%	PTS	%	PTS	%	PTS	%	PTS	%
CH1	27	28.42	57	60.00	11	11.58	111	72.08	26	16.88	17	11.04	51	32.90	26	16.77	78	50.32	
103	18	54.55	15	45.45	0	0.00	124	83.78	16	10.81	8	5.41	85	57.43	16	10.81	47	31.76	
32	21	47.73	23	52.27	0	0.00	129	84.31	17	11.11	7	4.58	83	54.25	17	11.11	53	34.64	
208C	5	8.33	55	91.67	0	0.00	109	81.95	14	10.53	10	7.52	107	80.45	14	10.53	12	9.02	
38A	11	26.83	28	68.29	2	4.88	15	16.48	24	26.37	52	57.14	9	10.00	24	26.67	57	63.33	
121	10	29.41	24	70.59	0	0.00	35	23.97	83	56.85	28	19.18	29	19.86	83	56.85	34	23.29	
22	14	24.56	43	75.44	0	0.00	90	76.92	17	14.53	10	8.55	36	30.51	17	14.41	65	55.08	
48	42	41.18	60	58.82	0	0.00	84	56.00	11	7.33	55	36.67	43	26.06	11	6.67	111	67.27	
126	9	50.00	9	50.00	0	0.00	75	59.06	45	35.43	7	5.51	53	41.73	45	35.43	29	22.83	
69	17	65.38	8	30.77	1	3.85	70	49.65	44	31.21	27	19.15	53	37.59	44	31.21	44	31.21	
122	11	61.11	7	38.89	0	0.00	46	34.33	77	57.46	11	8.21	35	26.12	77	57.46	22	16.42	
224	41	27.70	92	62.16	15	10.14	123	71.10	1	0.58	49	28.32	11	6.88	1	0.63	148	92.50	
226	65	57.02	40	35.09	9	7.89	101	66.01	9	5.88	43	28.10	30	19.61	9	5.88	114	74.51	
11	45	49.45	39	42.86	7	7.69	75	53.19	20	14.18	46	32.62	24	17.02	20	14.18	97	68.79	
30	18	25.71	32	45.71	20	28.57	59	62.77	4	4.26	31	32.98	23	22.77	4	3.96	74	73.27	
19	31	41.33	30	40.00	14	18.67	81	57.45	17	12.06	43	30.50	45	31.91	17	12.06	79	56.03	
100	39	56.52	11	15.94	19	27.54	98	71.53	3	2.19	36	26.28	46	33.58	3	2.19	88	64.23	

Tabla 1. Datos obtenidos del análisis modal, a partir de los cuales se construyeron los diagramas ternarios (Fig. 15, 14 y 20)

TIPO DE CLÁSTOS / MUESTRA	CH1	103	32	208C	38A	121	22	48	126	69	122	224	226	11	30	19	100
	PTS. %	PTS. %	PTS. %	PTS. %	PTS. %	PTS. %	PTS. %	PTS. %	PTS. %	PTS. %	PTS. %	PTS. %	PTS. %	PTS. %	PTS. %	PTS. %	PTS. %
CUARZO																	
Qz monocristalino, ext. recta	43 20.48	18 7.66	23 10.45	56 25.45	9 4.29	29 12.34	24 10.91	35 14.00	25 11.36	43 20.48	32 15.24	9 4.21	16 7.27	19 10.80	20 9.62	28 12.73	34 16.19
Qz monocristalino, ext. ondulante	8 3.81	67 28.51	60 27.27	51 23.18	0 0.00	0 0.00	12 5.45	8 3.20	28 12.73	10 4.76	3 1.43	2 0.93	14 6.36	5 2.84	3 1.43	17 7.73	12 5.71
Qz policristalino, 2-3 subgranos	6 2.86	6 2.55	2 0.91	2 0.91	0 0.00	0 0.00	2 0.91	0 0.00	10 4.55	6 2.86	3 1.43	0 0.00	0 0.00	3 1.70	3 1.44	4 1.82	6 2.86
Qz policristalino, 4-10 subgranos	8 3.81	3 1.28	3 1.36	0 0.00	0 0.00	0 0.00	0 0.00	1 0.40	1 0.45	8 3.81	1 0.48	0 0.00	0 0.00	0 0.00	0 0.00	0 0.00	9 4.29
Qz policristalino, más de 10 subgranos	17 8.10	2 0.85	1 0.45	0 0.00	1 0.48	0 0.00	0 0.00	1 0.40	0 0.00	2 0.95	0 0.00	0 0.00	0 0.00	3 1.70	1 0.48	0 0.00	4 1.90
FELDESPATOS																	
Feldespatos K	13 6.19	4 1.70	7 3.18	6 2.73	8 3.81	18 7.66	4 1.82	9 3.60	25 11.36	10 4.76	46 21.90	0 0.00	6 2.73	9 5.11	1 0.48	15 6.82	2 0.95
Plagioclasa	13 6.19	12 5.11	10 4.55	8 3.64	16 7.62	65 27.66	13 5.91	2 0.80	20 9.09	34 16.19	31 14.76	1 0.47	3 1.36	11 6.25	3 1.44	2 0.91	1 0.48
FRAGMENTOS LÍTICOS																	
Pedernal	0 0.00	15 6.38	22 10.00	0 0.00	5 2.38	4 1.70	5 2.27	15 6.00	8 3.64	7 3.33	7 3.33	0 0.00	2 0.91	0 0.00	17 8.10	10 4.55	1 0.48
Lutita	1 0.48	0 0.00	0 0.00	0 0.00	0 0.00	0 0.00	0 0.00	12 4.80	0 0.00	0 0.00	0 0.00	12 5.61	0 0.00	0 0.00	1 0.48	0 0.00	1 0.48
Arenisca	6 2.86	0 0.00	1 0.45	0 0.00	0 0.00	2 0.85	34 15.45	18 7.20	1 0.45	1 0.48	0 0.00	80 37.38	31 14.09	27 15.34	7 3.33	10 4.55	9 4.29
Calcareos	0 0.00	0 0.00	0 0.00	5 2.27	6 2.86	18 7.66	4 1.82	15 6.00	0 0.00	0 0.00	0 0.00	0 0.00	7 3.18	0 0.00	7 3.37	10 4.55	0 0.00
Félsicos	1 0.48	0 0.00	0 0.00	0 0.00	4 1.90	0 0.00	0 0.00	0 0.00	0 0.00	0 0.00	0 0.00	0 0.00	0 0.00	0 0.00	3 1.43	0 0.00	13 6.19
Argílicos	4 1.90	5 2.13	4 1.82	5 2.27	24 11.43	10 4.26	1 0.45	36 14.40	7 3.18	17 8.10	11 5.24	22 10.28	27 12.27	39 22.16	7 3.37	19 8.64	3 1.43
Plutónicos	23 10.95	13 5.53	17 7.73	0 0.00	0 0.00	0 0.00	13 5.91	6 2.40	2 0.91	0 0.00	0 0.00	19 8.88	38 17.27	18 10.23	8 3.85	12 5.45	23 10.95
Metamórficos	11 5.24	0 0.00	0 0.00	0 0.00	2 0.95	0 0.00	0 0.00	0 0.00	0 0.00	1 0.48	0 0.00	15 7.01	9 4.09	7 3.98	20 9.52	14 6.36	19 9.05
No Identificables	0 0.00	3 1.28	3 1.36	0 0.00	16 7.62	0 0.00	6 2.73	7 2.80	0 0.00	2 0.95	0 0.00	0 0.00	0 0.00	0 0.00	0 0.00	0 0.00	0 0.00
MINERALES ACCESORIOS																	
Muscovita	23 10.95	6 2.55	12 5.45	5 2.27	0 0.00	2 0.85	2 0.91	9 3.60	8 3.64	1 0.48	0 0.00	0 0.00	0 0.00	3 1.70	5 2.38	15 6.82	23 10.95
Biotita	0 0.00	2 0.85	0 0.00	1 0.45	0 0.00	0 0.00	0 0.00	3 1.20	0 0.00	0 0.00	0 0.00	0 0.00	0 0.00	1 0.57	1 0.48	4 1.82	0 0.00
Clorita	0 0.00	0 0.00	0 0.00	0 0.00	8 3.81	0 0.00	0 0.00	0 0.00	0 0.00	0 0.00	0 0.00	0 0.00	0 0.00	0 0.00	0 0.00	5 2.27	0 0.00
Sericita	0 0.00	20 8.51	18 8.18	0 0.00	0 0.00	10 4.26	2 0.91	13 5.20	13 5.91	6 2.86	32 15.24	0 0.00	0 0.00	2 1.14	0 0.00	12 5.45	0 0.00
Minerales arcillosos aglutinados	1 0.48	15 6.38	18 8.18	27 12.27	28 13.33	4 1.70	9 4.09	16 6.40	6 2.73	11 5.24	5 2.38	32 14.95	14 6.36	0 0.00	19 9.05	11 5.00	10 4.76
Manchas de Fe	0 0.00	0 0.00	1 0.45	0 0.00	8 3.81	5 2.13	4 1.82	5 2.00	5 2.27	1 0.48	5 2.86	0 0.00	0 0.00	0 0.00	5 2.40	4 1.82	0 0.00
CEMENTANTE Y/O MATRIZ																	
Cementante/Matriz	31 14.76	33 14.04	11 5.00	34 15.45	37 17.62	21 8.94	11 5.00	25 10.00	25 11.36	41 19.52	18 8.57	17 7.94	21 9.55	14 7.95	45 21.43	8 3.64	22 10.48
Cementante	1 0.48	0 0.00	0 0.00	8 3.64	24 11.43	11 4.68	12 5.45	11 4.40	16 7.27	0 0.00	5 2.86	1 0.47	8 3.64	11 6.25	19 9.13	0 0.00	0 0.00
Reemplazamiento	0 0.00	11 4.68	7 3.18	12 5.45	14 6.67	36 15.32	62 28.18	3 1.20	20 9.09	9 4.29	9 4.29	4 1.87	24 10.91	4 2.27	13 6.19	20 9.09	18 8.57
TOTALES																	
Total de clástos	178 84.76	191 81.28	202 91.82	166 75.45	135 64.29	167 71.06	135 61.36	211 84.40	159 72.27	160 76.19	177 84.29	192 89.72	167 75.91	147 83.52	131 62.98	192 87.27	170 80.95
Total de no clástos	32 15.24	44 18.72	18 8.18	54 24.55	75 35.71	68 28.94	85 38.64	39 15.60	61 27.73	50 23.81	33 15.71	22 10.28	53 24.09	29 16.48	77 36.67	28 12.73	40 19.05
Total de puntos	210	235	220	220	210	235	220	250	220	210	210	214	220	176	208	220	210

Tabla 2. Tabla que muestra el resultado general del análisis modal (conteo de puntos).

CAPÍTULO V

INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Con base en el trabajo realizado en el campo; descripción de la columna estratigráfica del área de estudio, análisis y descripción de las facies, cartografía del área de estudio y a todos los datos generados con los análisis petrográficos realizados, además de la integración de toda la información bibliográfica obtenida, se presenta a continuación la interpretación de dichos resultados y la discusión sobre la reconstrucción de los ambientes y probable procedencia.

V.1 Ambientes de Depósito

La facies del Complejo El Chilar, consisten en areniscas, lutitas y lentes de conglomerados intensamente deformados, asociados a un complejo de subducción de edad pre-Jurásico Medio (Dávila-Alcocer y Centeno-García, 2006) el cual forma el basamento del área de estudio.

Las facies de la fm. San Juan de la Rosa, se interpretan como depósitos volcanoclásticos intermedios (epiclásticos y algunos piroclásticos) intermedios con base en las descripciones petrográficas. Las características sedimentológicas, sugieren que el magmatismo fue instaurado en condiciones submarinas ya que presenta interacción de actividad volcánica y sedimentación carbonatada. Las rocas de esta formación dentro del área de estudio se encuentran intrusionadas por rocas ígneas hipabisales (diques y cuerpos intrusivos), ligeramente más basálticos que las rocas volcanoclásticas, y de la misma edad, ya que presentan estructuras peperíticas, resultado de la mezcla de material ígneo con el sedimento (Busby-Spera et al., 1987; Skilling et al., 2002). También se encontraron restos de fósiles marinos no identificables en forma de bioclastos. Debido al intenso reemplazamiento y deformación del área no se lograron distinguir estructuras sedimentarias que arrojaran datos sobre las posibles condiciones de profundidad.

La asociación de facies AF1 y la facies F2 de la Formación Peña Azul, se compone de depósitos carbonatados en condiciones relativamente profundas, esto se infiere por el abundante contenido de fósiles calcáreos planctónicos (principalmente foraminíferos y calciesferas), aunque contiene algunos fragmentos de fósiles de menores profundidades transportados posiblemente por flujos de escombros calcáreos. Esta facies y asociación de corresponde al comienzo del periodo de subsidencia y el fin de la actividad volcánica. Por la composición de los clastos se infiere que el área fuente sufrió levantamiento, de donde se erosionaron y depositaron los clastos de carbonatos presentes en ambas facies y principalmente en la asociación de facies AF1, ya que no todos son intraclastos. Contiene algunos componentes ígneos retrabajados derivados de las rocas depositadas previamente. En la figura 11 y 12, se muestra la abundancia relativa de los fragmentos de roca, el cuarzo total y los líticos volcánicos respectivamente, estas variaciones reflejan el retrabajo de los fragmentos de roca y la adición de material volcánico retrabajado y detrítico. Conjuntamente en la figura 15 se muestra la variación de los tipos de fragmentos líticos, se observa una mayor abundancia de líticos sedimentarios hacia la base y un incremento de líticos ígneos hacia la cima de la facies F2 debido posiblemente a la erosión del material ígneo antes mencionado.

La facies F3 de la formación La Peña Azul corresponde al depósito formado en condiciones transicionales a la facies más somera. Esto se infiere por el gran retrabajo y la presencia de facies de aguas profundas con sedimentación carbonatada con pedernal (facies F2) debajo de la facies F3 y facies de aguas someras con areniscas, conglomerados y bancos de ostras por encima (asociación de facies AF4).

Estas condiciones parecen obedecer a una regresión marina aunada a la erosión provocada por los primeros episodios de levantamiento de los bordes de la cuenca, erosionando rocas previamente formadas y redepositándolas en el área de estudio, disminuyendo la cantidad de fragmentos inestables (líticos), transformándolos en fragmentos monominerálicos, con menor tamaño de grano y mayor selección. En la figura 13, se observa el dominio de los componentes líticos ígneos derivados de dicho proceso y las figuras 11 y 12, muestran las

variaciones composicionales de esta facies respectivamente, en ambos diagramas se observa la disminución de los componentes líticos volcánicos con respecto a las demás facies por fragmentarse en componentes más estables (cuarzo volcánico, feldespato y plagioclasa).

La asociación de facies AF4, en la parte superior de la cuenca, se compone principalmente de rocas de grano grueso a conglomerados, que se caracterizan por ser pobremente seleccionados e incluso tener bases cóncavas de canales fluviales (fanglomerados). Esta asociación de facies presenta conglomerados polimícticos (facies A), canales y barras de areniscas con ostras (facies B) y areniscas y lutitas con huellas icnofósiles y algunas tobas (facies C). Esta unidad, tiene espesores variables, además de que las distintas facies que lo componen no son continuas lateralmente, debido posiblemente a su depósito sobre la topografía irregular existente y a la repetida proximidad de los sitios de depósito debido al posible fallamiento en bloques y subsidencia dentro de la cuenca. Las características conjuntas de esta asociación de facies, hace suponer que fueron derivadas de la erosión y levantamiento del basamento principalmente y del retrabajo de las unidades expuestas durante tal levantamiento, observándose diferentes mecanismos de transporte como canales y corrientes turbidíticas. En las figuras 11 y 12, se observa el retrabajo de éstas rocas y el aumento de fragmentos cristalinos estables como el cuarzo, además en la figura 13 se nota un claro aumento en los fragmentos líticos metamórficos derivados principalmente de la erosión por levantamiento del basamento y de fragmentos ígneos intrusivos posiblemente por estructuras remanentes de la actividad magmática inicial, todo esto en condiciones de alta energía.

La facies TS1 de la Fm. Tamaulipas Superior, compuestas por estratos delgados de caliza micrítica y pedernal, corresponden al periodo de transgresión y subsidencia para la mayor parte del territorio de México. Esta facies contiene principalmente foraminíferos planctónicos y bentónicos, fragmentos de moluscos y calciesferas, depositados en ambientes marinos de profundidad media (Ápndice 1).

La figura 14, muestra las interpretaciones de las facies identificables estudiadas en éste trabajo y su posible ambiente de depósito de acuerdo a los modelos existentes para las cuencas formadas por procesos de extensión y su relativa posición con los bordes levantados.

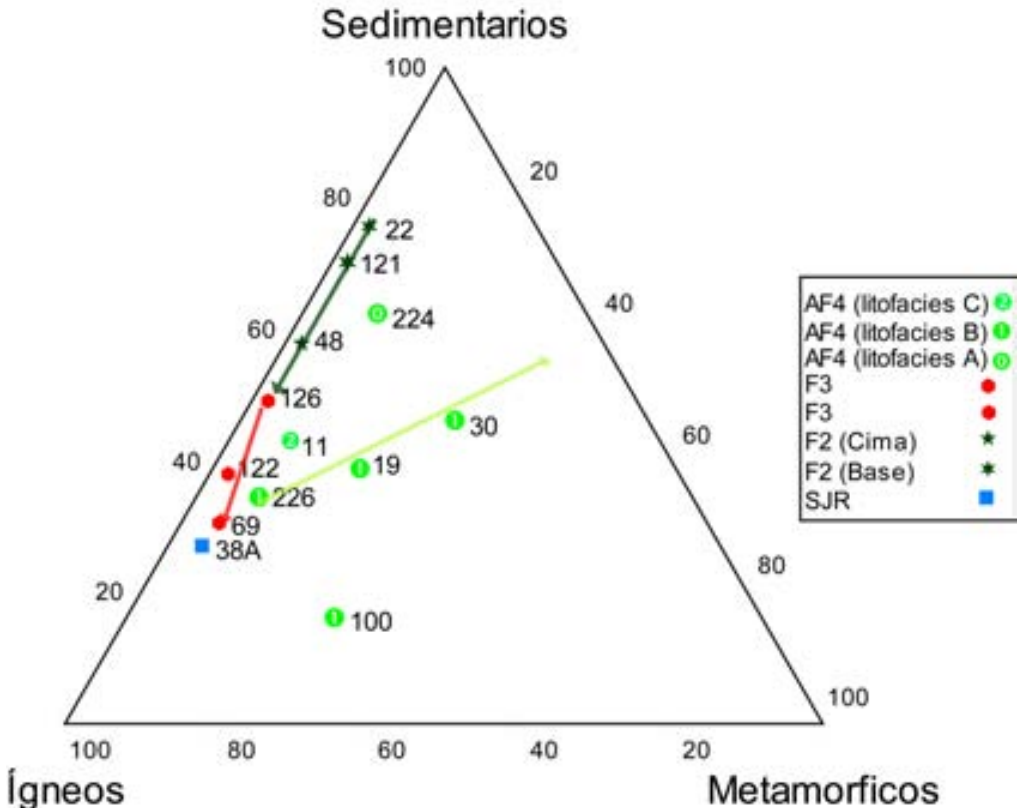


Figura 13. Diagrama ternario que muestra la abundancia del tipo de fragmentos líticos de las muestras y su evolución.

En él área de estudio se observa el intervalo de actividad magmática inicial durante el Jurásico Superior, representado por la fm. San Juan de la Rosa (1), el intervalo entre este periodo y el primer episodio de subsidencia, representado por las facies AF1 y F2 (2), la etapa de transición entre rocas de facies profundas y someras, representado por la facies F3 (3) y la exhumación del basamento, retrabajo de las rocas preexistentes y depósito del material en ambientes marinos someros, representado por la facies AF4 (4), sobre esta descansan la facies marinas de la Fm. Tamaulipas Superior, derivada de la

transgresión y subsidencia de todo el centro del país para el Albiano-Cenomaniano (5).

V.2 Procedencia

De acuerdo a los análisis petrográficos de cada una de las muestras y de cada facies se definieron las fuentes para cada una de ellas. Hay que tomar en cuenta la intensa deformación y diagénesis imperante en toda el área de estudio, lo que provoca algunas variaciones en la composición y enriquecimiento de minerales en las areniscas.

Para el Complejo El Chilar, se tiene una predominancia de cuarzo con inclusiones y de extinción ondulante, feldespato potásico y las plagioclasas resultaron principalmente de albitas a andesinas, proviniendo posiblemente de cuerpos graníticos. Además la relativa alta presencia de moscovita, reafirma la hipótesis del tipo de área fuente del que se derivaron éstos sedimentos.

Para la formación San Juan de la Rosa, el principal componente de la muestra analizada (muestra 38A) son los líticos argilícos, las plagioclasas (principalmente andesinas) y cuarzo con vacuolas y microlitos, además de la presencia de cuerpos volcánicos cortando hasta estas unidades. Esto hace suponer una fuente volcánica, en este caso derivada del magmatismo bimodal (depósitos volcanoclásticos riolíticos y andesitas) presente en las primeras etapas de extensión en condiciones submarinas. Aunque no se sabe la posición exacta en dónde comenzó el proceso de extensión y dónde se formó la cuenca de depósito, se supone cercana a los bordes levantados, debido a la actividad volcánica y cuerpos ígneos que cortan a esta formación (diques y sill) de composición principalmente intermedia (Apéndice 1).

Para la facies F2, se definieron dos principales fuentes, una de origen sedimentario consistente en areniscas, pedernal y clastos calcáreos micríticos y otra volcánica, constituyéndose principalmente de plagioclasas y fragmentos argilíticos. Para los componentes clásticos sedimentarios, se supone un retrabajo de las unidades sedimentarias preexistentes (Complejo El Chilar y fm.

San Juan de la Rosa) conjuntamente con la adición de material volcánico compuesto de cuarzo casi limpio con inclusiones fluidas y plagioclasas principalmente andesinas, que de manera general provienen del volcanismo remanente o de erosión de rocas andesíticas-riolíticas.

Para las facies F3, el componente principal es el cuarzo con abundantes vacuolas y microlitos, seguido de feldespato potásico y muy pocos fragmentos volcánicos argílicos con abundantes plagioclasas, esta composición hace suponer el retrabajo de las unidades clásticas anteriores y el posible aporte de rocas ricas en feldespato potásico (posibles cuerpos graníticos) o debido a la erosión del basamento asociado con los primeros episodios de levantamiento. No se observaron en el campo, indicadores como marcas de corriente o canales que nos indiquen la dirección de la cual pudieron llegar dichos sedimentos a la cuenca.

La asociación de facies AF4, presenta varias fuentes de aporte, los componentes principales de estas rocas son fragmentos líticos de texturas gruesas y cuarzo de extinción recta. Los principales componentes líticos constan de fragmentos ígneos de naturaleza intrusiva, areniscas cuarcíticas y algunos clastos metamórficos de esquistos de moscovita. Esta composición refleja una fuente principalmente asociada al basamento, consistente de areniscas cuarcíticas, conglomerados y areniscas metamorfizadas a esquistos de moscovita. Estos componentes hacen suponer la exhumación de las rocas del basamento del Complejo El Chilar ya intensamente deformadas y en partes metamorfizadas, además del aporte de fragmentos de rocas ígneas cristalinas graníticas, derivadas de cuerpos emplazados anteriormente dentro del basamento. Cabe mencionar, que para las últimas etapas del desarrollo de la cuenca el basamento ya se encontraba en proceso de erosión, dejando espacio para el aporte de material de diferentes lugares alejados de la cuenca y depositándolos dentro, por lo que el material puede proceder de múltiples fuentes.

De manera general, éstos son los clastos que dan mayor información para determinar las posibles fuentes de aporte, ya que son los más abundantes,

aunque la presencia de algunos otros componentes de éstas rocas nos ayudan a determinar con mayor exactitud el tipo de roca de la cual se generaron éstos sedimentos. La figura 13, muestra la evolución en la procedencia de acuerdo con el tipo de fragmentos líticos que se contaron, esta evolución se refleja en el modelo mostrado en la figura 14.

De acuerdo con los diagramas propuestos por Dickinson et al., (1979) mostrados en la figura 15, la pequeña cuenca sedimentaria dónde se depositaron los sedimentos que dieron lugar a las rocas por encima del Complejo El Chilar; las formaciones San Juan de la Rosa y La Peña Azul, pudieron haber estado relacionada tectónicamente en diferentes escenarios.

Los componentes clásticos de el Complejo El Chilar pudieron haber estado relacionado tectónicamente con cratones estables o cinturones orogénicos (figura 15). La muestra de la formación San Juan de la Rosa, presenta una clara relación con un arco transicional. Las muestras de la Formación La Peña Azul, presentan una procedencia no muy clara, aunque se pueden establecer tendencias de acuerdo a los puntos con mayor orden. Para la facies F3, se observa en el diagrama QmFLt una tendencia en la procedencia de arco disectado, cabe señalar que dentro de las zonas con vulcanismo activo, las áreas fuente consisten de rocas volcánicas encima de cinturones metamórficos ó igneos y de plutones graníticos que cortan al basamento, lo cual es evidente por la naturaleza lítico-feldespática de sus componentes, además de la composición de los fragmentos de roca. Las demás facies analizadas (F2 y AF4), muestran una tendencia dominante de orógeno reciclado, cuyas áreas fuentes consisten en rocas sedimentarias y metamórficas con cantidades menores de rocas volcánicas erosionadas como resultado de levantamientos orogénicos de rocas muy deformadas dentro de varios marcos tectónicos.

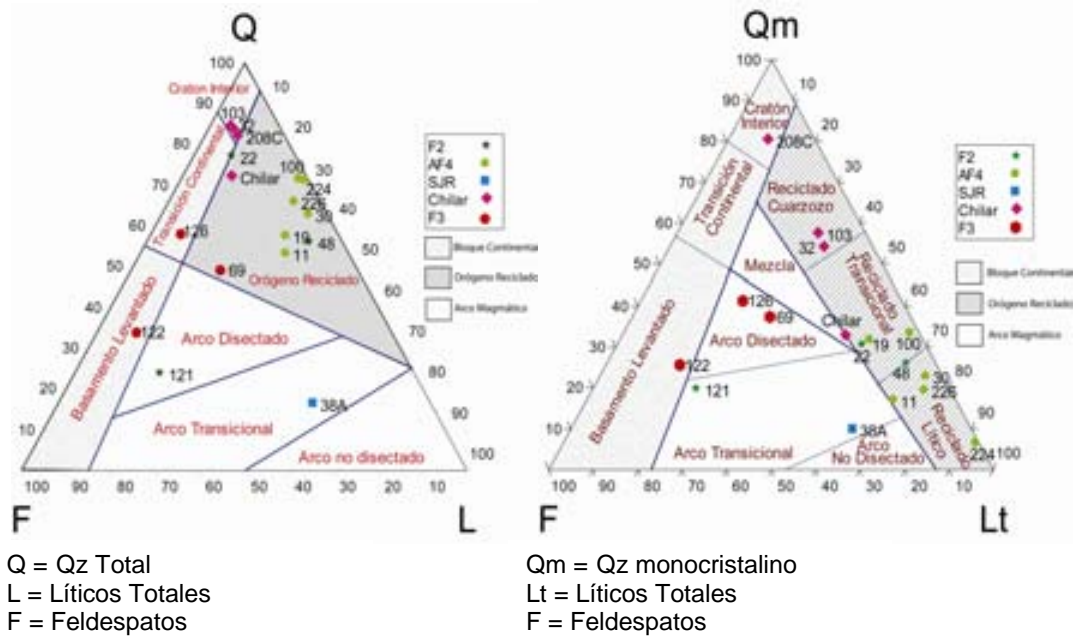


Figura 15. Diagramas ternarios de Dickinson et al. (1979) en los cuales de acuerdo con su composición cuarzo-feldespato-fragmentos de roca, se interpreta el ambiente tectónico al que estaban relacionadas las rocas fuente de los sedimentos que conforman las areniscas aflorantes en el área de estudio.

V.3 Evolución Tectónica del área de estudio

La secuencia sedimentaria aflorante en el área de estudio muestra muchas de las características de una de posiblemente varias cuencas pequeñas asociadas a un proceso extensional, cuya actividad pudo comenzar durante el Jurásico Tardío, afectadas posteriormente por una rápida subsidencia y transgresiones marinas relacionadas posiblemente con la apertura del Golfo de México, que formaron los gruesos espesores de carbonatos de la Sierra Madre Oriental.

Este tipo de cuencas asociadas a posiblemente etapas tempranas de rift por extensión y adelgazamiento cortical, descritas por varios autores, se forman a partir de extensión y levantamientos del basamento en los bordes de éstas cuencas. Las secuencias sedimentarias son generalmente similares a las facies en secuencias de plataforma adyacente a los cratones estables, aunque mucho más delgadas. La mineralogía de las areniscas generalmente refleja fuentes

cratónicas maduras, aunque se pueden presentar clastos gruesos de naturaleza inmadura y de origen terrígeno debido a la actividad tectónica a lo largo de escarpes marginales originados por fallamiento.

En secuencias estratigráficas asociadas a etapas tempranas del desarrollo de una cuenca, formada por procesos de extensión, el material volcánico y volcanoclástico liberado en un ambiente marino somero y producido generalmente por magmatismo bimodal activo hacia la base, puede ser bastante prominente. Una vez cesada la actividad volcánica, la sedimentación química carbonatada mezclada con detrítica hacia la cima de la cuenca predomina y en el caso del área de estudio, se ve afectada posteriormente por una rápida subsidencia de la cuenca (Fig. 14).

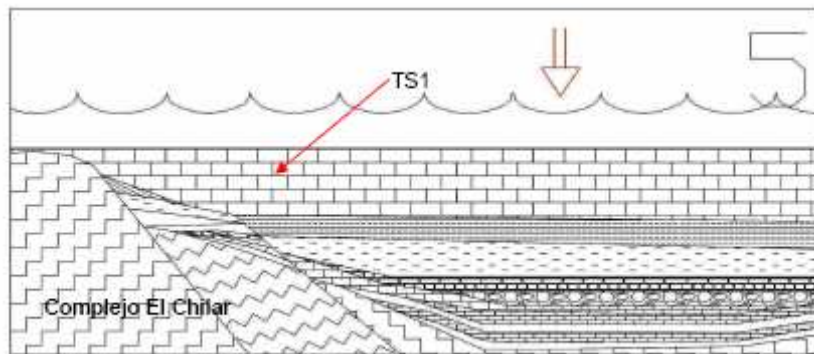
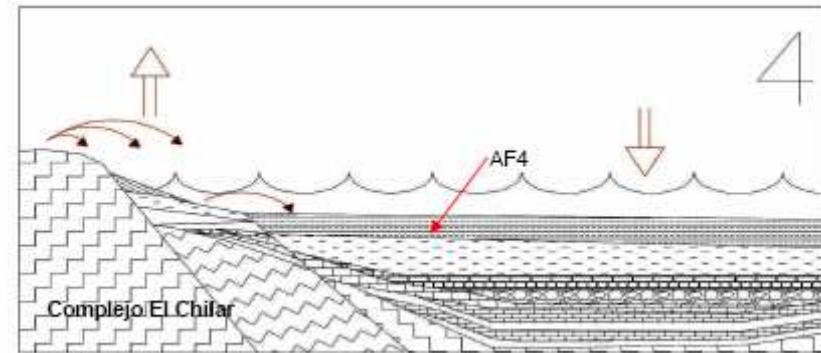
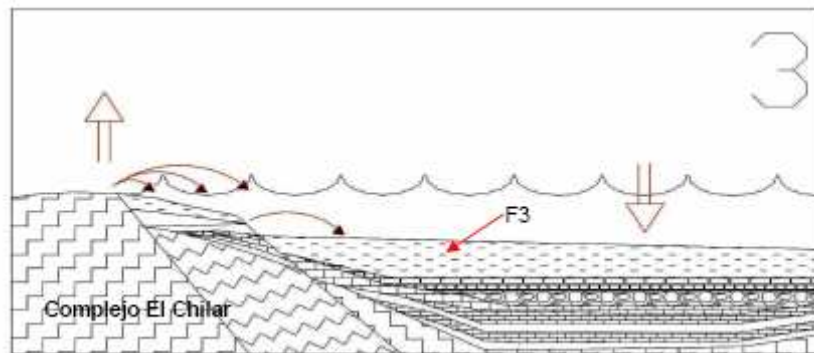
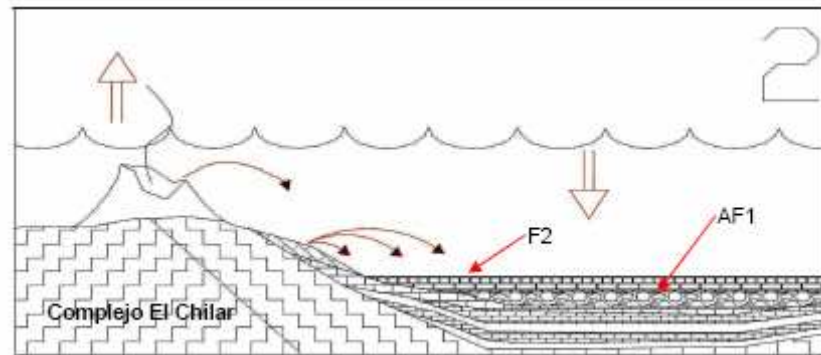
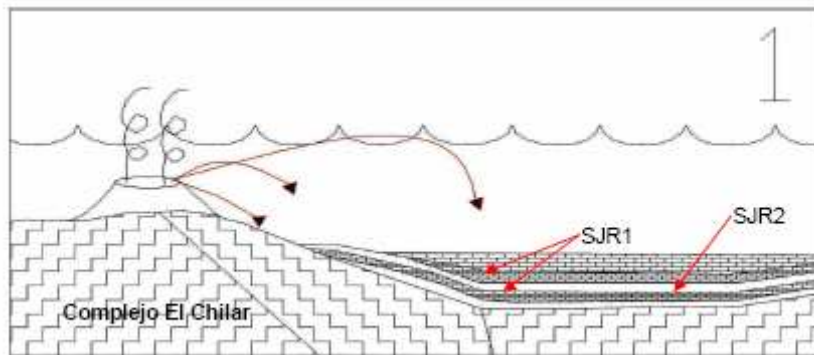


Figura 14. Modelo que muestra la interpretación de los ambientes en los cuales se depositaron las facies en el área de estudio y la posible procedencia de los sedimentos.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

1. Se realizó un estudio a semi-detalle del área de San Antonio-Villa Bernal, Estado de Querétaro que forma parte de las formaciones que anteriormente se describían como formaciones Las Trancas (Segerstrom, 1961), San Juan de la Rosa (Chauvé et al., 1985) y La Peña Azul (Chauvé et al., 1985). En las columnas levantadas y en la cartografía hecha, se diferenciaron litologías diferentes a las descritas anteriormente por éstos autores: El Complejo El Chilar, La Formación San Juan de la Rosa, La Formación La Peña Azul y La Formación Tamaulipas Superior.
2. De acuerdo al análisis de facies realizado en las columnas levantadas dentro del área de estudio, se diferenciaron y se proponen las facies y asociaciones de facies que componen a la Formación San Juan de la Rosa (SJR1 y SJR2), a la Formación La Peña Azul (AF1, F2, F3 y AF4) y a la parte basal de la Formación Tamaulipas Superior (TS1), con base en observaciones en el campo, análisis petrográficos y análisis modal de las areniscas que las componen.
3. Se definieron las diferentes facies que componen a la Formación San Juan de la Rosa (SJR1 y SJR2) y principalmente a La Formación La Peña Azul (AF1, F2, F3 y AF4), separando cada uno de sus componentes, describiendo a la fm. La Peña Azul como un conjunto de facies y no como un solo miembro, como se describía anteriormente.
4. De acuerdo a los resultados del análisis modal de las muestras analizadas, se construyeron diagramas que permiten observar la posible evolución de la cuenca para las facies de la formación La Peña Azul, con base en la composición y abundancia de los componentes líticos que contienen. Se propone una procedencia de rocas sedimentarias principalmente para la facies F2, una procedencia de rocas ígneas para la

facies F3 y una procedencia mezclada de rocas volcánicas y metamórficas para la asociación de facies AF4.

5. Con base en la petrografía, el análisis modal y el estudio de procedencia que se realizó a cada una de las muestras analizadas se construyó un diagrama con los resultados, con el fin de obtener su posible ambiente de depósito. Se planteó un modelo de sedimentación de una pequeña cuenca asociada a procesos de extensión en condiciones submarinas y levantamiento y erosión del basamento, representando al Complejo El Chilar como parte de dicho basamento, a la Formación San Juan de la Rosa como los depósitos calcáreos y vulcanosedimentarios asociados a las etapas tempranas de extensión, a La Formación La Peña Azul en su facies y asociación de facies carbonatadas de profundidad media AF1 y F2 como la primer etapa de subsidencia de la cuenca, a las areniscas de la facies F3 como la etapa de transición a ambientes más someros, a la asociación de facies AF4 como el relleno de la cuenca asociado al levantamiento del basamento en condiciones ya someras y a los carbonatos arenosos de la parte basal de la Formación Tamaulipas Superior en su facies TS1 como la transición a una subsidencia mayor de toda la cuenca.

BIBLIOGRAFÍA

Adams A. E., MacKenzie, W.S. and Guilford C. 1984, "Atlas of sedimentary Rocks under the microscope". Ed. Logman Scientific and Technical, 104 pp.

A. Davis, Richard. 1983. "Depositional systems: a genetic approach to sedimentary geology". Prentice Hall, New Jersey USA.

Aguirre-Díaz, G., et. al. 2006. "La Peña de Bernal, Qro. Un domo dacítico del Mioceno Temprano, GEOS, 26, pag. 161-163.

Anderson, T.H., McKee, J.W., McKee, M.B., and Nourse, J.A. 1995. "Coarse clastic deposits of Late Jurassic age in southwestern North America: a record of pull-apart basins" Geological Society of America Abstracts with Programs, vol. 27, no. 6, pag. A-75.

Anderson, T.H., and Silver, L.T. 2005. "The Mojave-Sonora megashear—Field and analytical studies leading to the conception and evolution of the hypothesis". in Anderson, T.H., et al., eds., The Mojave-Sonora Megashear Hypothesis: Development, Assessment, and Alternatives: Geological Society of America Special Paper 393, p. 1–50.

Anderson, T.H., Jones, N.W. and McKee J.W. 2005. "The Taray Formation: Jurassic(?) mélangé in northern México-Tectonic implications" in Anderson, T.H., Nourse, J.A., McKee, J.W. and Steiner, M.B. eds., The Mojave-Sonora Megashear hypothesis: Development, assessment and alternatives. Geological Society of America Special Paper 393, pag. 427-455.

Blatt, Harvey. 1991. "Principles of stratigraphic analysis". Blackwell Scientific Publications, Boston, 512 pp.

Blatt, Harvey. 1992. "Sedimentary Petrology" 2nd. Edition. Freeman and Company, New York USA.

Boggs, Sam. 1995. "Principles of Sedimentology and Stratigraphy". University of Oregon USA. 774 pp.

Busby-Spera, C. J., and White, J. D. L. 1987. "Variation in peperite textures associated with differing host sediment properties". Bull. Volcanology, v. 49, no. 6, p. 765-776.

Carrasco, Baldomero. 1970. "La Formación El Abra (Formación El Doctor) en la Plataforma Valles-San Luis Potosí". Revista del Instituto Mexicano del Petróleo, v. 2, num. 3, pags. 97-99.

Carrillo-Martínez, M. 1981. "Contribución al estudio geológico del macizo calcáreo El Doctor, Querétaro". Revista del Instituto de Geología, vol. 5, num 1, pag. 145-156.

- Carrillo-Martínez, M.** 1989. "Estratigrafía y tectónica de de la parte centrooriental del estado de Querétaro". Universidad Nacional Autónoma de México, Revista del Instituto de Geología, v. 8, num. 5, pag. 188-193.
- Carrillo-Martínez, M.** 1990. "Geometría estructural de la Sierra Madre Oriental, entre Peña Miller y Jalpan, Edo. de Querétaro". Revista del Instituto de Geología, vol. 9, no. 1, pag. 269-271.
- Carrillo-Martínez, M.** 2000. "Resumen de la geología de la hoja Zimapán, Estados de Hidalgo y Querétaro". Instituto de Geología, UNAM.
- Carrillo-Martínez, M y Suter, M.** 1982. "Tectónica de los alrededores de Zimapán, Hidalgo y Querétaro". Sociedad Geológica Mexicana, Libro guía de la excursión geológica a la región de Zimapán y áreas circundantes. pages 1-20.
- Carrillo-Martínez, M., Velásquez G., G., Cepeda-Dávila, L.** 1986. "Contribución al estudio petrográfico y químico de areniscas del Jurásico Superior, Edos. de Querétaro e Hidalgo". Revista del Instituto de Geología, vol. 7, num. 1, pag. 119-122.
- Carrillo-Martínez, M. y Monroy-Audelo, E.** 1988. "Resumen de la Geología del área de San Antonio Bernal, Estado de Querétaro". Revista del Instituto de Geología, vol 7, num. 1, pag. 119-122.
- Carozzi, V. Albert.** 1993. "Sedimentary Petrography". Prentice-Hall, USA, 263 pp.
- Centeno-García, E.** 2005. "Review of Upper Paleozoic and Lower Mesozoic stratigraphy and depositional environments of central and west Mexico: constraints on terrane analysis and paleogeography". in Anderson, T.H., Nourse, J.A., McKee, J.W., and Steiner, M.B., eds., The Mojave-Sonora megashear hypothesis: Development, assessment, and alternatives: Geological Society of America Special Paper 393, p. 233–258.
- Centeno-García, E., Ruiz, Joaquín, Coney, P.J., Patchett, P.J. and Ortega-Gutierrez, F.** 1993. "Guerrero Terrane of México: Its role in the southern cordillera from new geochemical data", *Geology*, vol. 21, pag. 419-422.
- Centeno-García, E. and Silva-Romo, G.** 1997. "Petrogenesis and tectonic evolution of central Mexico Turing Triassic-Jurassic time". *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, vol. 14, num. 2, pag. 244-260.
- Centeno-García, E., Guerrero-Suastegui, M., and Talavera-Mendoza, O.** 2008. "The Guerrero Composite Terrane of western Mexico: Collision and subsequent rifting in a supra-subduction zone". in Draut, A., Clift, P.D., and Scholl, D.W., eds., Formation and Applications of the Sedimentary Record in Arc Collision Zones. Geological Society of America Special Paper 436, p. 279–308

- Centeno García, E. y Sánchez Zavala J.L.** "Técnicas y aplicaciones en el estudio de los sedimentos terrígenos de grano fino: procedencia y tectónica". Instituto de Geología, UNAM.
- Chauvé, P., Fourcade, E. y Carrillo-Martínez, M.** 1985. "Les rapports structuraux entre les domaines cordillérain et mésogéen dans la partie centrale du Mexique". Comptes rendís hebdomadaires de séances de l'Académie des Sciences (Paris), ser. 2, t. 301, p. 335-340.
- Corrales Zarazua, I.** 1977. "Estratigrafía". Ed. Rueda, Madrid, España.
- Dávila-Alcocer, V.M. and Centeno-García, E.** 2006. "Stratigraphy of Tolimán region, Querétaro State, Central México and its role in the evolution of the continental margin and terrane accretion". Geological Society of America Abstracts with Programs, vol 8, no. 5, p. 35.
- Dickinson, W.R. and Suzcek, C.A.** 1979. "Plate tectonics and sandstone compositions" American Association of Petroleum Geologists Bull., vol. 63, pages. 2164-2182.
- Dickinson, W.R.** 1988. "Provenance and sediment dispersal to paleotectonics and paleogeography of sedimentary basin in K.L." in Kleispehn and C. Paola, eds., New perspectives in basin analysis. Springer-Verlag. New York, USA.
- Eguiluz de Antuñano, S., Aranda-García, M. y Marrett, R.** 2000. "Tectónica de la Sierra Madre Oriental, Mexico". Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana 53, pag. 1-26.
- Eldridge, Moores M. et. al.** 1995 "Tectonics", Freeman, USA, 415 pp.
- Enos, Paul.** 1974. "Reefs, platforms and basins of middle Cretaceous in north-east Mexico". AAPG Bull., vol. 58, pag. 800-809.
- Enos, Paul, et. al.** 1993. "Mid-Cretaceous basin margin carbonates, East-central México". Sedimentology, vol 40, no. 3, pag. 539-556.
- Folk, Robert L.** 1969. "Petrología de las rocas sedimentarias", 405 pp.
- Gaines, R.V., Skinner, C.W., Foord, E.E., Mason, B. and Rosenzweig, A.** 1997 "Dana's new mineralogy". 8a. Ed. John Wiley and sons, Inc.
- García-Díaz, J.L., Tardy, M., Campa Uranga, M.F., and Lapierre H.** 2004. "Geología de la Sierra Madre del Sur en la región de Chilpancingo y Olinalá, Guerrero, una contribución al conocimiento de la evolución geodinámica del margen Pacífico mexicano a partir del Jurásico". Unión Geofísica Mexicana, Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra, GEOS, v. 24, p. 173.
- Henry, C. D. and Aranda-Gómez, J. J.** 2000. "Plate interactions control middlelate Miocene, proto-Gulf and Basin and Range extension in the southern Basin and Range". Tectonophysics, 318, pag. 1-26.

- Ingersoll, R.V. and Busby, C.J.** 1995. "Tectonics of sedimentary basins". in Busby, .C.J. and Ingersoll, R.V. Eds., Tectonics of Sedimentary Basins, Blackwell Science, pag. 1-52.
- Iriondo, A., Kunk, M. J., Winick, J. A.** 2003. "40Ar/39Ar dating studies of minerals and rocks in various areas in Mexico". USGS/Coremi scientific collaboration (Part I): U. St. Geological Survey, Open-File Report, (03-020), 79 p. on-line edition: <<http://pubs.usgs.gov/of/2003/ofr-03-020/>>
- Jones, N.W., McKee, J.W., Anderson, T.H., and Silver, L.T.** 1995. "Jurassic volcanic rocks in northeastern Mexico: A possible remnant of a Cordilleran magmatic arc". in Jacques-Ayala, C., González-León, C.M., and Roldán-Quintana, J., eds., 1996, Studies on the Mesozoic of Sonora and adjacent areas: Geological Society of America Special Paper 301, p. 179–190.
- Kerr, Paul F.** 1959 "Optical Mineralogy". 3a. Ed. International Student Edition. McGraw-Hill.
- Krumbein, W.C. and Sloss L.L.,** 1951. "Estratigrafía y Sedimentología". San Francisco, Freeman. 497 pp.
- Mackenzie, W.S. and Guilford C.** 1980. "Atlas of rock-forming minerals in thin section". Ed. Longman, 98 pp.
- Mattews, R.K.** 1984. "Dynamic Stratigraphy" 2nd. Ed. Prentice-Hall, New Jersey, 489 pp.
- Molina Garza, R.S. e Iriondo A.** 2005. "La Megacizalla Mojave-Sonora: la hipótesis, la controversia y el estado actual de conocimiento" Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Volumen del Centenario, tomo LVII, num. 1, pag 1-26.
- Morán, Z. J.,** 1984. "Geología de la República Mexicana" 88 pp.
- Nieto-Samaniego, A.F., Alaniz-Álvarez, S.A. y Camprubi, C.A.** 2005. " La Mesa Central de México: estratigrafía, estructura y evolución tectónica cenozoica". Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, vol. 57, num. 3, pag. 285-318.
- Nilsen, Tor H.** "Alluvial Fan Deposits" in Scholle A. Peter ed., Sandstone Depositional Enviroments. AAPG Memoir 31, USA, pag. 49-60
- Ortega-Gutiérrez, F., Mitre-Salazar, L. M., Roldán-Quintana, J., Aranda-Gómez, J. J., Morán-Zenteno, D.J., Alaniz-Álvarez, S.A., Nieto-Samaniego, Á.F.** 1992. "Carta geológica de la República Mexicana, 5a Ed., esc. 1:2000000" México, D. F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología; Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, Consejo de Recuros Minerales, 1 mapa.

Ortiz-Hernández, L.E. y Solis-Pichardo, G.N. 1986. "Mineralogía y paragénesis de las brechas auroargentíferas de la mina San Martín, Municipio de Colón, Querétaro". Boletín de Mineralogía, 2, no. 1, pag. 1-12.

Pettijohn, F.J. 1963. "Rocas Sedimentarias". Ed. EUDEBA, 731 pp.

Reading, H.G. 1986. "Sedimentary Environments and Facies". 2nd. Ed. Blackwell-Scientific Publications, Cambridge, 615 pp.

Salvador, Amos. 1991. "Origin and development of the Gulf of Mexico basin" in Salvador, A., ed. The Gulf of Mexico Basin, Boulder, Colorado, Geological Society of America, The Geology of North America, vol. J.

Sánchez-Zavala, J. L., Centeno-García, E., Ortega-Gutiérrez, F. 1999. "Review of Paleozoic stratigraphy of Mexico and its role in the Gondwana-Laurentia connections", in Ramos, V. A., Keppie, J. D., eds., Laurentia-Gondwana connections before Pangea. Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper, 336, pag. 211-226.

Sight, Reineck. 1980. "Depositional Sedimentary Environments". 2nd. Ed. Springer-Verlag, New York, USA.

Seegerstrom, K. 1961. "Geology of the Bernal-Jalpan area, Estado de Querétaro, México". U.S. Geological Survey Bull., 1104-B, pag. 18-85.

Skilling, I.P., White, J.D.L. and McPhie, J. 2002. "Peperite: a review of magma-sediment mingling". Journal of Volcanology and Geothermal Research. num. 114. pag. 1-17.

Stewart, J.H., Blodgett, R.B., Boucot, A.J., Carter, J.L., and Lopez, R. 1999. "Exotic Paleozoic strata of Gondwanan provenance near Ciudad Victoria, Tamaulipas, Mexico". in Ramos, V.A., and Keppie, J.D., eds., Laurentia-Gondwana Connections before Pangea: Geological Society of America Special Paper 336, pag. 227-252.

Suter, Max. 1987. "Structural traverse across the Sierra Madre Oriental fold-thrust Belt in East-central Mexico". Geological Society of America Bull., 98, no. 3 (198703), pag. 249-264.

Vera Torres, J.A. 1994 "Estratigrafía: Principios y Métodos". Ed. Rueda, Madrid, 806 pp.

Walker, A.E. and James, N.P. 1992. "Facies Models". Geological Association of Canada.

Wilson, B.W., Hernández-M., J.P. y Meave, T.E. 1955. "Un banco calizo del Cretácico en la parte oriental del estado de Querétaro". Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, v. 18, pag. 1-10.

Yañez, P., Ruíz, J., Patchett, P.J., Ortega-Gutiérrez, F., and Gehrels, G. 1991. "Isotopic studies of the Acatlan Complex, southern México: Implications for Paleozoic North American Tectonics". *Geological Society of America Bulletin*, v. 103, no. 6, pag. 817–828.

APÉNDICE I

DESCRIPCIONES PETROGRÁFICAS

Muestra CH-1 (Complejo El Chilar)

Esta muestra fue tomada fuera del área de estudio, cerca de la localidad tipo, con la finalidad de compararla con las muestras dentro del área de estudio.

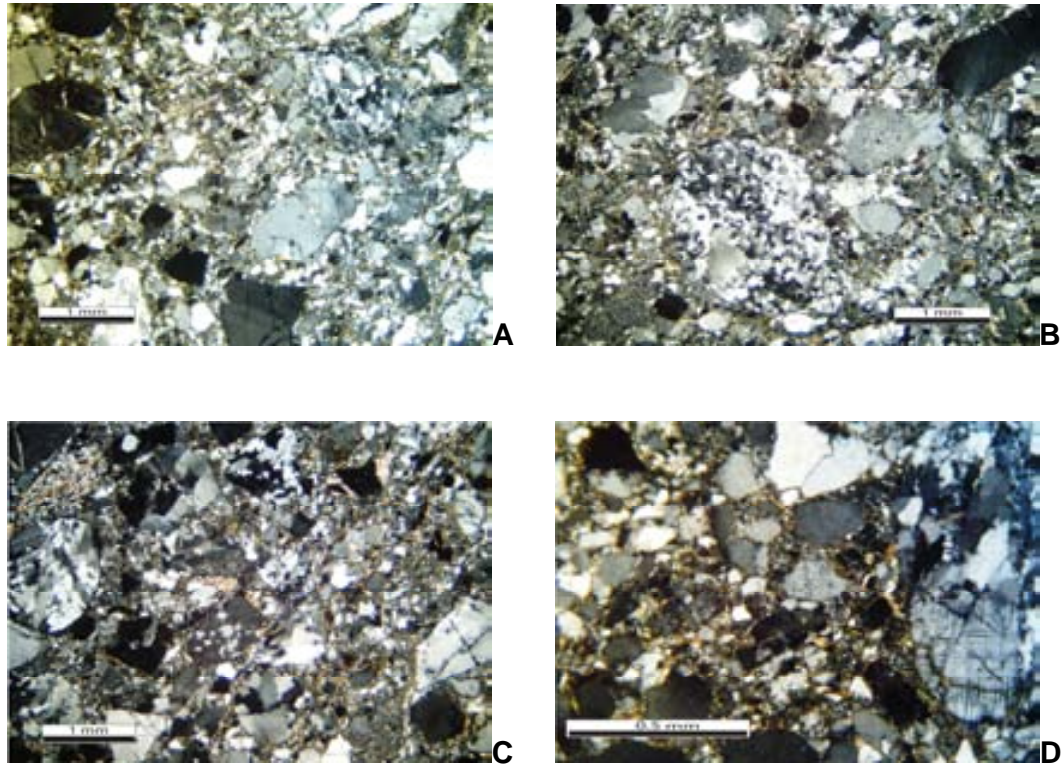
TEXTURA: Arenisca formada por granos de 0.03 a 2.5 mm, equivalente a arenisca conglomerática-conglomerado (arcosa lítica), mal seleccionada y los granos van de muy angulares a subredondeados y de esféricos a discoidales. Los contactos entre granos son principalmente suturados en el cuarzo y rectos y elongados en los demás componentes. La matriz es principalmente clástica con algunas arcillas presentes (15%).

COMPOSICIÓN: Esta muestra contiene principalmente cuarzo policristalino de extinción ondulante (A,C,B), también contiene cuarzo monocristalino de extinción recta con microlitos e inclusiones (39%) (D).

El feldespato potásico es relativamente abundante y esta representado por la presencia de microclina con maclas enrejadas y fragmentos de pertitas (D,B). Las plagioclasas son las menos abundantes y oscilan entre andesina-oligoclasa por su ángulo de extinción, están poco alteradas y a pesar de estar redondeadas, la mayoría conservan su forma tabular (C,B) (12%).

Los fragmentos de roca (23%) consisten en fragmentos con alto contenido de cuarzo al parecer metamórficos y algunos de posible procedencia ígnea y son los clastos de mayor tamaño en ésta lámina (C,D). Contiene escasos minerales opacos y moscovita como minerales accesorios (11%).

DIAGÉNESIS: Esta muestra presenta poca alteración química, pero si una deformación muy intensa, no existen carbonatos de reemplazamiento y la matriz está casi intacta, solo contiene minerales arcillosos autigénicos entre la matriz (D).



Fotomicrografías de la muestra CH-1.

Muestra 32 (Complejo El Chilar)

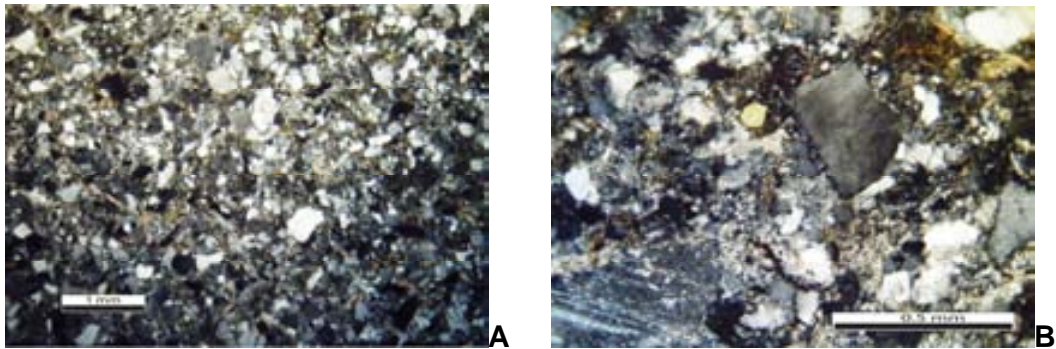
TEXTURA: El tamaño de grano en esta muestra varía de 0.05 hasta 0.5 mm, clasificándola como arenisca media (subarcosa), moderadamente seleccionada, con clastos de muy angulosos a redondeados con formas predominantemente irregulares, esféricos y discoidales en una matriz detrítica fina. Los contactos entre granos son principalmente cóncavo-convexos y longitudinales, aunque hay muy pocos puntuales, la matriz representa un 9% de la muestra (A).

COMPOSICIÓN: El cuarzo presente en esta muestra es principalmente monocristalino de extinción recta con vacuolas y microlitos, menos abundante es el cuarzo monocristalino de extinción ondulante, cuarzo policristalino de extinción ondulante y contactos suturados (41%) (A). El feldespato potásico es escaso y contiene clastos rotos de plagioclasas (andesina-labradorita) (8%) (B).

Los fragmentos de roca consisten principalmente en líticos ígneos de naturaleza intrusiva de cuarzo policristalino con plagioclasas y escasos fragmentos de areniscas de grano medio (21%) (B). Como minerales accesorios

esta muestra contiene en proporciones altas moscovita y sericita principalmente (21%) (B).

DIAGÉNESIS: Esta muestra presenta evidencias de mucha deformación en afloramiento, en lámina delgada hay algunas zonas de deformación con clastos alargados. Presenta también reemplazamiento de la matriz y los contornos de los granos por minerales arcillosos y carbonato, además de abundantes óxidos de hierro como relleno de fracturas y reemplazando la matriz (B).



Fotomicrografías de la muestra 32

Muestra 103 (Complejo EL Chilar)

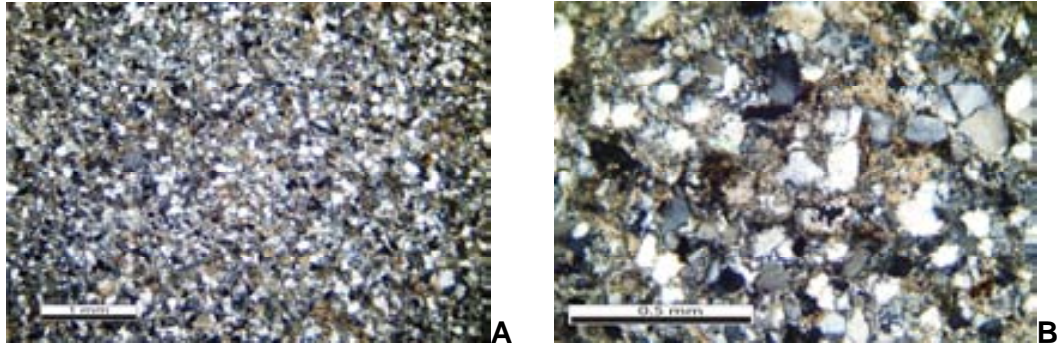
TEXTURA: El tamaño de grano varía de 0.02 a 0.2 mm, equivalente a arenisca fina (subarcosa), moderadamente seleccionada, con clastos desde muy angulosos hasta redondeados, de formas irregulares, esféricas y algunas discoidales, en una matriz detrítica fina (19%) (A). Los contactos entre los granos son principalmente cóncavo-convexos y longitudinales (B).

COMPOSICIÓN: El cuarzo predominante en esta muestra es cuarzo monocristalino de extinción recta, con vacuolas y microlitos, también hay cuarzo monocristalino de extinción ondulante, cuarzo policristalino de extinción ondulante y contactos suturados (41%) (B). Hay muy poco feldespato potásico en la muestra, en clastos principalmente de menor tamaño. La plagioclasa presente es labradorita-andesina por su ángulo de extinción (7%).

Los fragmentos de roca son muy pequeños y parecen ser de origen volcánico principalmente y otros de areniscas cuarcíticas de grano fino (16%).

Los minerales accesorios de esta muestra consisten en micas principalmente; moscovita y muy poca biotita (17%).

DIAGÉNESIS: Esta muestra presenta un grado de diagénesis más avanzado, con abundantes minerales arcillosos y carbonato de calcio afectando a la matriz y abundante óxidos de hierro reemplazando la matriz (B) y como relleno en algunas fracturas.



Fotomicrografías de la muestra 103

Muestra 208C (Complejo El Chilar)

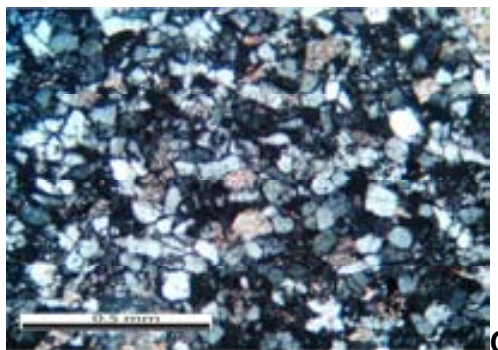
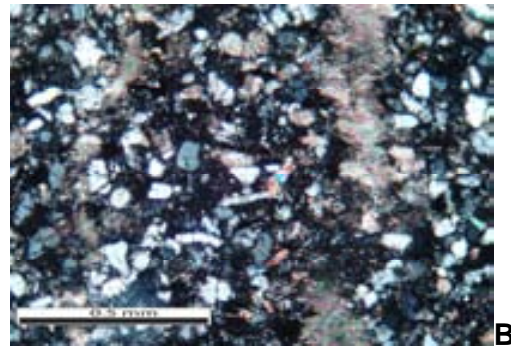
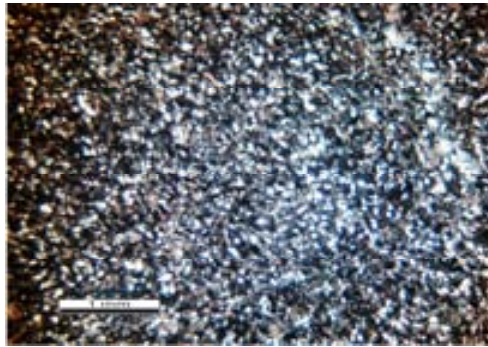
TEXTURA: El tamaño de grano de esta muestra varía de 0.2 mm a 0.02 mm, catalogándola como arenisca muy fina (subarcosa), los granos están muy bien seleccionados, de redondeados a angulosos, con formas subesféricas, discoidales e irregulares, en una matriz limolítica (25%) (A). Los contactos entre los granos son principalmente longitudinales y cóncavo-convexos, formando una fábrica muy compacta (C).

COMPOSICIÓN: El cuarzo de ésta muestra es monocristalino de extinción recta con vacuolas y microlitos y monocristalino de extinción ondulante, dominando el cuarzo monocristalino de extinción recta (50%) (C). Hay poco feldespato potásico y plagioclasas, que por su tamaño tan pequeño es difícil de determinar el tipo (6%) (B).

Los fragmentos líticos son también escasos y son principalmente volcánicos de composición félsica y pocos de origen principalmente volcánico (5%) (B). Es importante resaltar la presencia de moscovita como el principal mineral accesorio en ésta muestra (14%) (B).

DIAGÉNESIS: El grado de intemperismo en ésta muestra es bajo, hay fracturas muy pequeñas rellenas de carbonato, otras en menor proporción rellenas de sílice y otras fracturas pequeñas rellenas con arcillas y óxidos de hierro formadas por cizallamiento, incluso existe incipiente metamorfismo en

éstas zonas generándose minerales micáceos sin llegar a formarse una esquistosidad bien desarrollada. Existe también reemplazamiento de algunos clástos y de la matriz por carbonato (B,C).



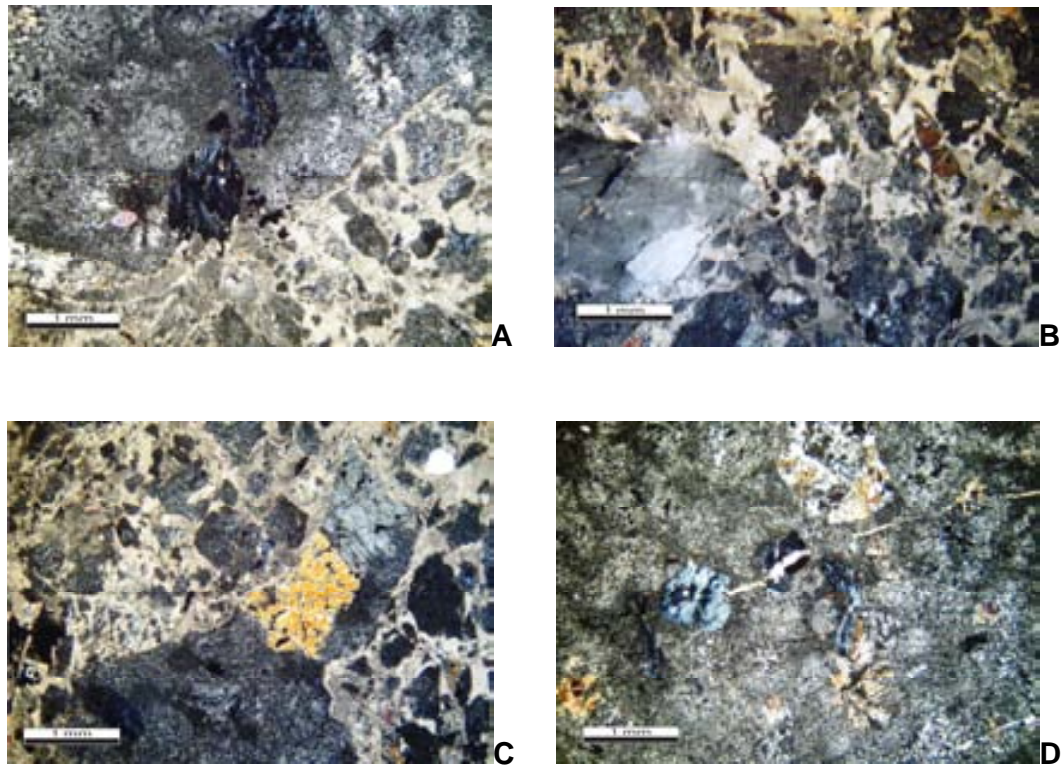
Fotomicrografías de la muestra 208C

Muestra 113 (fm. San Juan de la Rosa)

Esta muestra se obtuvo de un cuerpo ígneo hipabisal que se encuentra emplazado en las rocas volcánicas de la Formación San Juan de la Rosa (ver Capítulo III).

TEXTURA Y COMPOSICIÓN: La textura de esta roca es traquítica (A,D). Esta es compuesta por una matriz microcristalina formada por plagioclasa, con fenocristales de feldespato potásico (ortoclasa) y algunas perfitas. Además contiene cuarzo monocristalino de extinción recta con vacuolas y microlitos, y minerales máficos muy alterados como augita e hiperstena (B,C). Como minerales de alteración (hidrotermalismo asociado a los intrusivos más jóvenes) se presentan feldespatos reemplazados por clorita y lo que parece ser zoicita, un mineral del grupo de la epidota que proviene, en este caso, posiblemente de la alteración hidrotermal de los feldespatos (A,D), otro mineral autigénico es la

pirita. En parte tiene vetillas de calcita que le da una apariencia brechoide originada por posible hidrotermalismo (A,B,C).

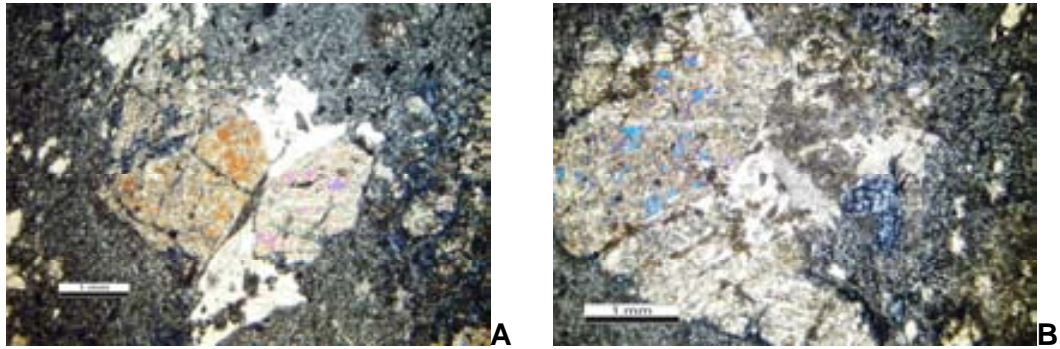


Fotomicrografías de la muestra 113

Muestra 37 (fm. San Juan de la Rosa)

Esta muestra se obtuvo del mismo cuerpo ígneo hipabisal que la muestra anteriormente descrita que se encuentra emplazado en las rocas volcanoclásticas de la Formación San Juan de la Rosa (ver Capítulo III).

TEXTURA Y COMPOSICIÓN: Solo se observan relictos de una textura aparentemente traquítica, ya que la muestra presenta un intenso reemplazamiento (A). La matriz afanítica formada por plagioclasa, se encuentra reemplazada por clorita, kaolinita y calcita. Contiene escasos fenocristales de feldespato y probablemente hornblenda que fueron reemplazados por clorita, sericita y calcita (A,B), y solo se reconocen por el pseudomorfismo de los minerales autigénicos, además contiene pirita, minerales arcillosos y opacos también secundarios.



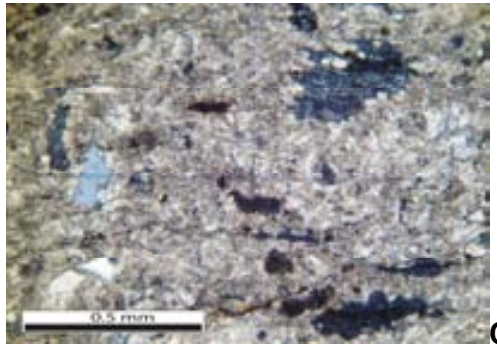
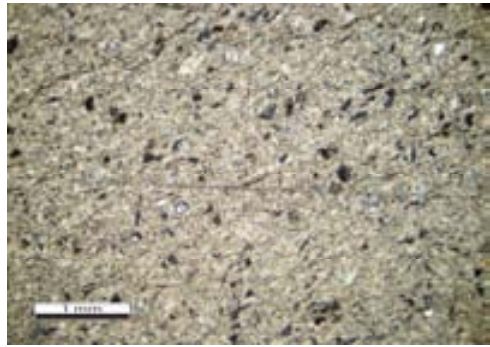
Fotomicrografías de la muestra 37

Muestra 38B (fm. San Juan de la Rosa)

TEXTURA: La muestra corresponde a una caliza arenosa, muy fina, con clastos de 0.05 a 0.13 mm; es moderadamente seleccionada de muy angulosos a subredondeados con formas predominantemente irregulares y algunas alargadas discoidales. El porcentaje de clastos es menor al 35% por lo cual todos los granos están flotando en la matriz, que es micrítica con partes cementadas y recristalizadas (A). Se observa cierta orientación de los clastos causada por posible cizallamiento (A,B).

COMPOSICIÓN: Los granos más abundantes son los de fragmentos de roca y se componen de fragmentos de rocas ígneas extrusivas con agujas de plagioclasas (B), le siguen en abundancia los fragmentos de cuarzo policristalino y algunas felsitas (C). El cuarzo presente en esta muestra es muy escaso y sólo es cuarzo monocristalino de extinción recta y con algunas vacuolas y otros con microlitos. Se infiere que contenía abundantes plagioclasas pero que fueron reemplazadas por calcita ya que contiene pseudomorfos (C,B).

DIAGÉNESIS: El grado de diagénesis es alto, contiene cuarzo autigénico y abundante recristalización de la matriz y de algunos clastos, las fracturas asociadas a la cizalla están rellenas de minerales arcillosos y algunos óxidos de hierro.



Fotomicrografías de la muestra 38B

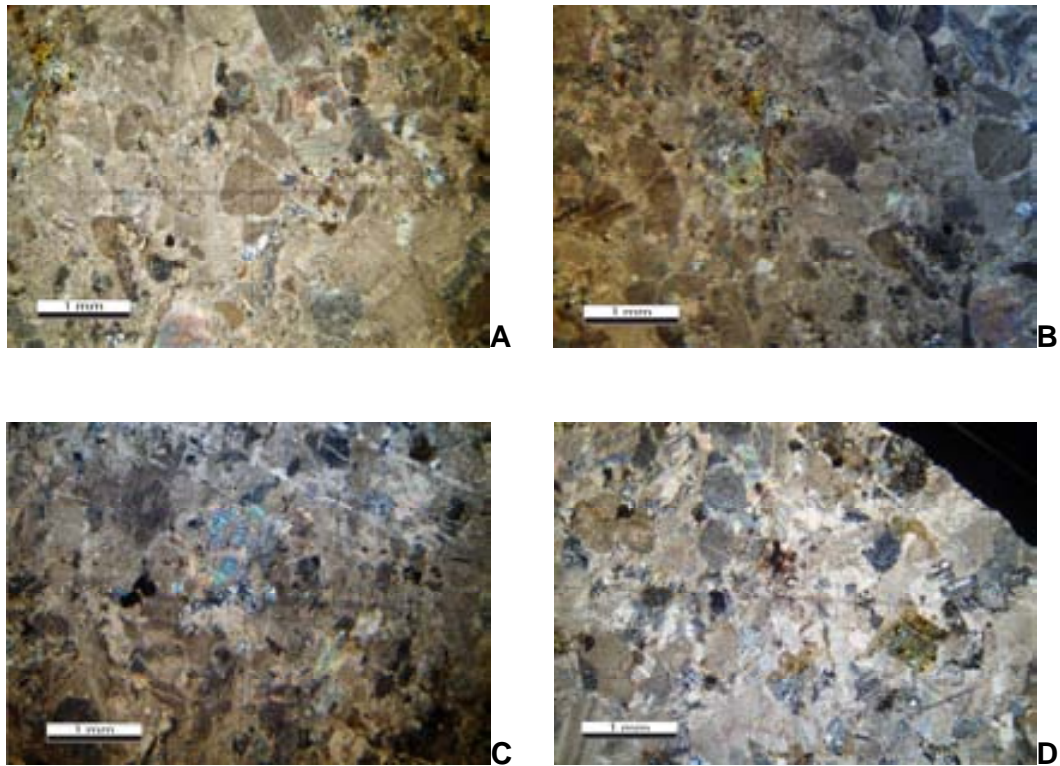
Muestra 38A (fm. San Juan de la Rosa)

TEXTURA: El tamaño de grano varía de 0.01 hasta 1.8 mm, equivalente a una caliza arenosa gruesa (A), mal seleccionada, los clastos que se preservaron varían de bien redondeados a subangulosos y con formas principalmente irregulares y discoidales en una matriz micrítica (36%). Hay muy pocos granos en contactos puntuales, la mayoría son longitudinales y cóncavos convexos.

COMPOSICIÓN: Esta muestra presenta reemplazamiento por calcita en un 40%. Los clastos líticos (30%) que no han sido totalmente reemplazados están compuestos por caliza (micrita), algunos bioclásticos (A,B,C), clastos volcánicos (traquita y felsita) (D), algunos argilíticos y pedernal muy escaso. Los granos monominerales son principalmente plagioclasas, algunas conservaron sus formas tabulares y alargadas, varían en albita-oligoclasa y no se pudo distinguir el escaso feldespato potásico (12%). Contiene escaso cuarzo policristalino de extinción ondulante y cuarzo monocristalino de extinción recta (5%). Contiene algunas cloritas y arcillas como minerales accesorios (17%).

DIAGÉNESIS: El grado de diagénesis de esta roca es variable a escala de lámina delgada, existen zonas de la lámina con recristalización total de la matriz y reemplazamiento de los clastos (D), en algunas zonas la recristalización

de la cacita produjo texturas poikilotópicas, además presenta abundantes minerales arcillosos autigénicos y fracturas por cizalla rellenas de calcita (B,C).



Fotomicrografías de la muestra 38A

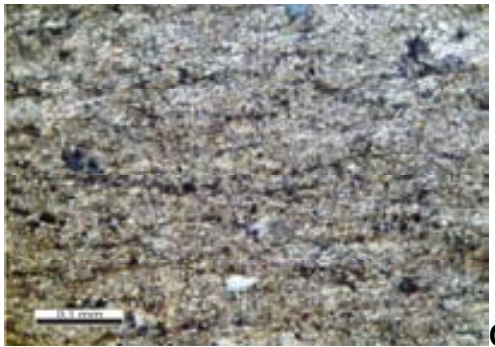
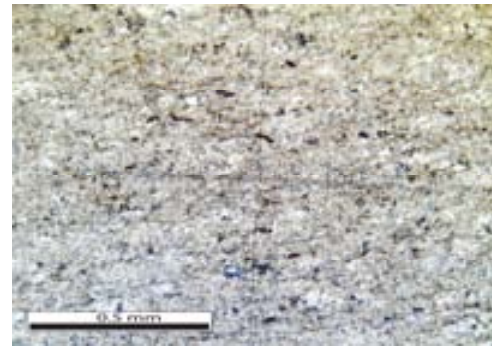
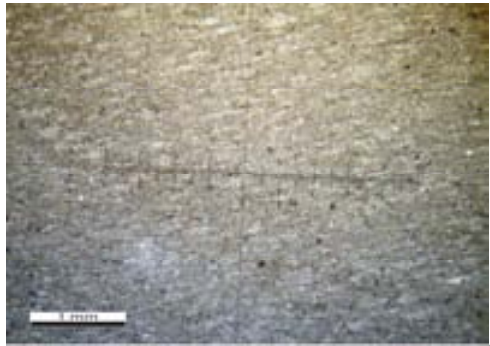
Muestra 145 (fm. San Juan de la Rosa)

TEXTURA: El tamaño de grano en esta muestra es de 0.01 , en promedio, clasificándola como una caliza ligeramente arenosa, ya que se compone principalmente de matriz de micrita (más del 80%) (A). Los clastos son muy escasos y se encuentran bien seleccionados, algunos angulosos y pocos bien redondeados con formas irregulares, discoidales y subesféricas (B,C).

COMPOSICIÓN: Esta caliza micrítica contiene granos de cuarzo muy pequeños, monocristalino y de extinción recta y a algunos fragmentos se les pueden distinguir algunas vacuolas, también hay cuarzo policristalino de extinción ondulante (C). Parece haber algo de feldespato potásico, pero por el tamaño tan pequeño no se puede distinguir con claridad.

DIAGÉNESIS: La muestra presenta recristalización de la caliza, contiene algunas fracturas asociadas a la cizalla rellenas de carbonato de calcio y óxidos

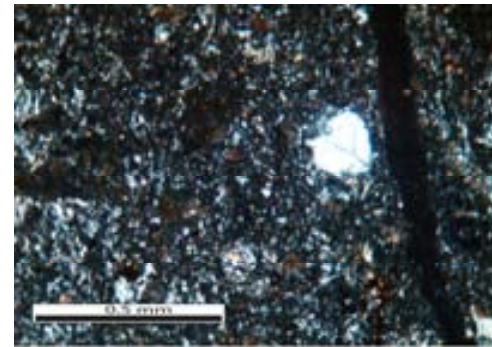
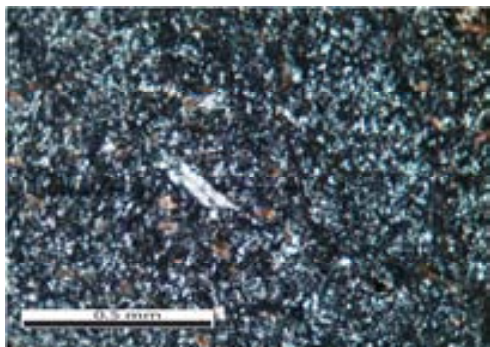
de hierro. Existe evidencia de deformación provocando el aplastamiento de clastos y una foliación incipiente (B,C).

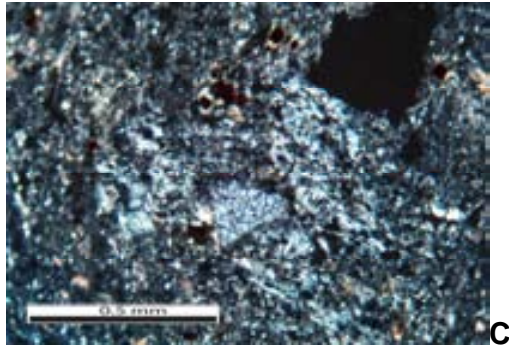


Fotomicrografías de la muestra 145

Muestra 205 (fm. San Juan de la Rosa)

Esta muestra se tomo de la Fm. San Juan de la Rosa en su parte volcaniclástica y corresponde a una toba fina, intensamente deformada, que presenta desarrollo de estructuras S-C. Contiene algunos fenocristales de cuarzo y feldespato (A,B). La matriz es microcristalina, reemplazada por minerales arcillosos (sericita y otros minerales microcristalinos) (C).





Fotomicrográficas de la muestra 205

Muestra 209 (fm. San Juan de la Rosa)

Esta muestra se tomo en el contacto entre la Fm. San Juan de la Rosa y el cuerpo ígneo emplazado en esta Formación (ver Capítulo III), con el objetivo de determinar si el cuerpo subvolcánico se emplazo cuando el sedimento no estaba litificado o si ocurrió posterior a la litificación de la arenisca.

La porción volcanosedimentaria de la muestra tiene un tamaño de grano que varía de 2.5 mm a 0.03 mm, lo que equivale a una arenisca gruesa (arcosa), con granos mal seleccionados, de muy angulosos a subredondeados y con formas irregulares y subesféricas en una matriz detrítica de composición predominantemente ígnea fina (30%). Los contactos entre los granos son principalmente puntuales y alargados, formando una fábrica poco compacta. La porción ígnea de la muestra presenta una textura brechoide (B).

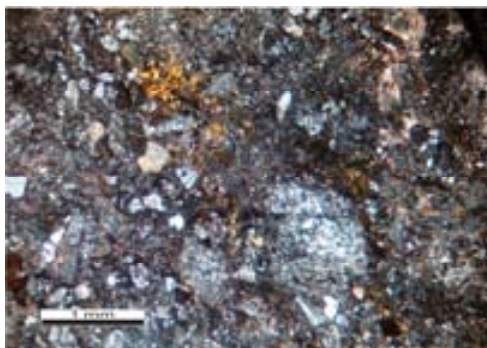
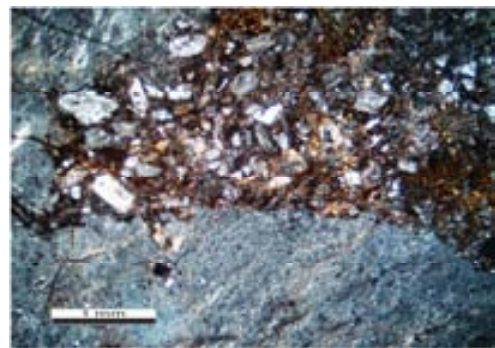
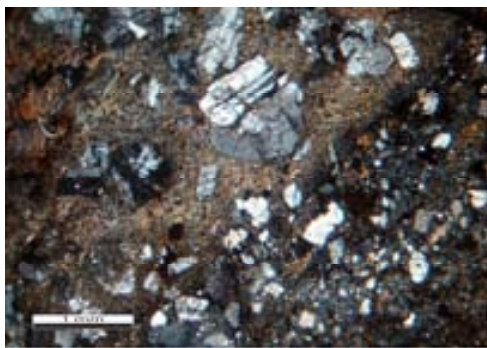
COMPOSICIÓN: El cuarzo presente en la muestra es principalmente cuarzo monocristalino de extinción recta con vacuolas y microlitos y cuarzo monocristalino de extinción ondulante (20%).

El feldespato potásico es relativamente abundante y presenta alteración, las plagioclasas (principalmente andesina) son bastante abundantes y alteradas (30%).

Los fragmentos de roca existentes (15%) (A,C) son principalmente volcánicos argilíticos muy alterados con plagioclasas, aunque también hay areniscas de grano fino cuarcíticas y algunos fragmentos de pedernal ó vidrio volcánico. El cuerpo ígneo con el que está en contacto esta arenisca volcaniclástica (B) tiene abundantes plagioclasas (andesinas principalmente) en una matriz de textura fluidal microcristalina muy alterada, el contacto no tiene

evidencias de alguna reacción entre las dos unidades (B). Los minerales accesorios están representados principalmente por arcillas y cloritas (5%) (C).

DIAGÉNESIS: La muestra presenta un grado de alteración bastante alto, los fragmentos líticos y las plagioclasas están muy alteradas, además de que la roca tiene evidencias de fracturamiento provocado por cizalla, desarrollando formas porfidoclásticas en los componentes de esta roca y un incipiente metamorfismo, las fracturas de éste tipo tienen arcillas, cloritas y algunos óxidos de hierro (B,C). Además hay otras fracturas rellenas con carbonato de calcio.



Fotomicrografías de la muestra 209

Muestra 215 (fm. San Juan de la Rosa)

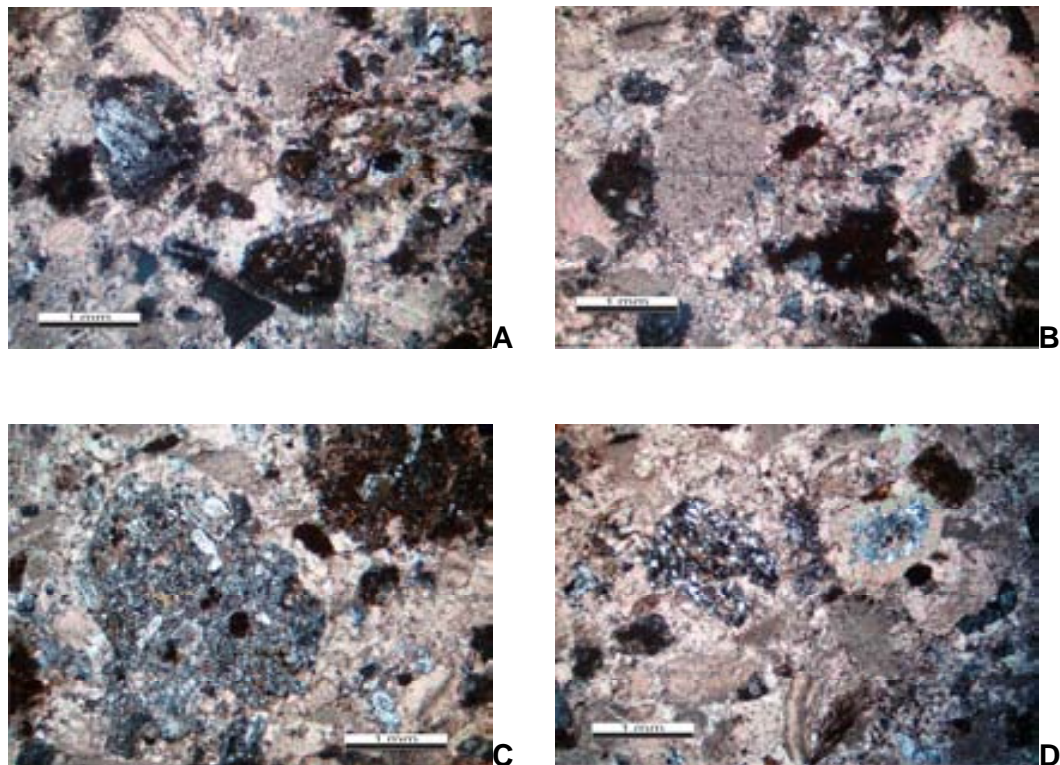
Esta muestra corresponde a la parte calcárea y que se encuentra interestratificada con los estratos volcánoclasticos (ver Capítulo III).

TEXTURA: El tamaño de grano varía de 4 mm a 0.2 mm, dando un tamaño promedio de caliza arenosa gruesa. Aunque zonas amplias presentan reemplazamiento, en las partes con menor diagénesis se pudo observar la textura original, en ellas los granos son mal seleccionados, de redondeados a subangulosos y con formas que van de subesféricas, discoidales e irregulares,

en una matriz calcárea micrítica (40%). Los contactos entre los granos son escasos puntuales y pocos elongados, formando una fábrica poco compacta.

COMPOSICIÓN: Los fragmentos de roca son los más abundantes (25%) y consisten mayormente en fragmentos ígneos con texturas porfídicas, donde los fenocristales son plagioclasas y poco feldespato potásico (C), clastos latíticos (A,B), argilíticos (A,B), clastos de areniscas cuarcíticas de grano fino (D), pedernal ó vidrio volcánico (D) y fragmentos de calizas (B). El cuarzo de ésta muestra es principalmente monocristalino de extinción recta con vacuolas y microlitos (10%). El feldespato potásico es pequeño y poco abundante, en cambio las plagioclasas (andesina-albita) son muy abundantes, bastante alteradas y reemplazadas (20%). Existe muy poca moscovita y sericita como mineral accesorio (5%) (D).

DIAGÉNESIS: Existe una abundante recristalización de la matriz calcárea, se observa también una alteración previa al depósito de los fragmentos volcánicos con óxidos de hierro y arcillas (D). Hay reemplazamiento de las plagioclasas por carbonato de calcio. También hay fracturas rellenas de carbonato de calcio y algunas arcillas. Se observo muy poca sericita.



Fotomicrografías de la muestra 215

Muestra 203 (fm. San Juan de la Rosa)

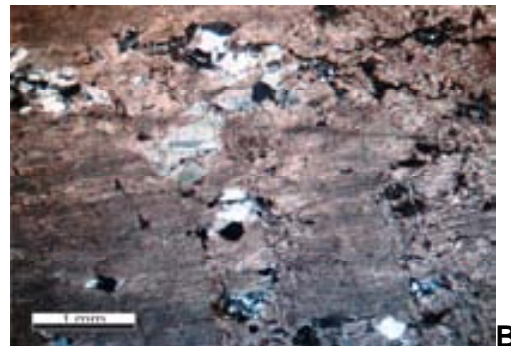
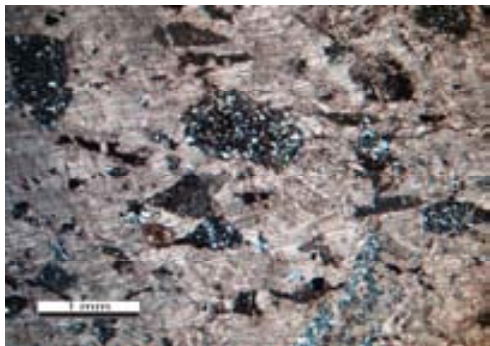
Esta muestra corresponde a la parte calcárea que se encuentra alternando con las partes volcanoclásticas de ésta misma formación.

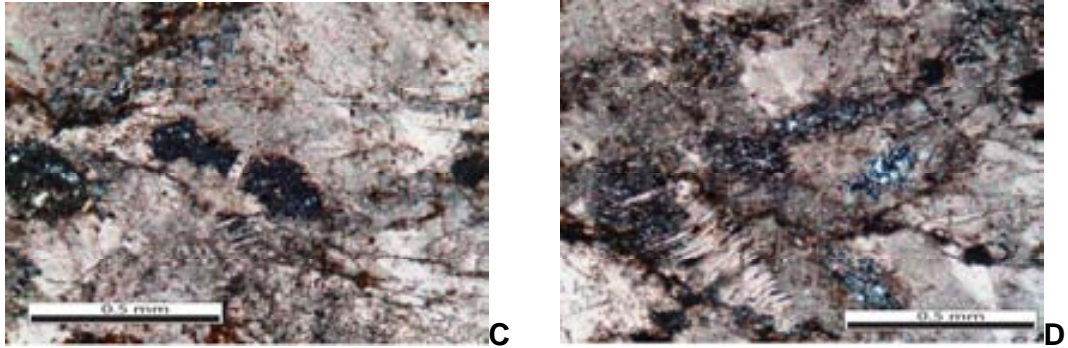
TEXTURA: La muestra es una caliza arenosa, cuyos granos varían de tamaño de 2.5 mm a 0.04 mm, clasificándola como una caliza arenosa media, los granos están flotando en la matriz micrítica (50% del total de la muestra) y por la diagénesis y deformación no es posible determinar sus características texturales primarias (A,B).

COMPOSICIÓN: Los fragmentos de roca son los más abundantes (25% del total de los granos) y se componen de areniscas de grano fino cuarcíticas (A), fragmentos ígneos intrusivos (B), escasos fragmentos volcánicos con plagioclasas alargadas y argilíticos (C), calcedonia y pedernal que pudiera ser de origen secundario (D).

El cuarzo de ésta muestra (10%) es monocristalino de extinción recta con vacuolas y microlitos y cuarzo mono y policristalino de extinción ondulante. El feldespato potásico es muy escaso, así como las plagioclasas (5%) y por estar extensamente reemplazadas es difícil determinar el tipo. Los minerales accesorios principales son la sericita, arcillas y el óxido de hierro (10%).

DIAGÉNESIS: La muestra presenta bastante diagénesis, con casi una total recristalización de la matriz calcárea y amplio reemplazamiento de los fragmentos líticos por calcita, dando lugar a texturas poikilotópicas (B,D). Otros minerales autigénicos abundantes son arcillas y óxidos de hierro, las abundantes fracturas están rellenas de carbonato de calcio y algunas con arcillas y óxidos de hierro.





Fotomicrografías de la muestra 203

Muestra 210 (fm. San Juan de la Rosa)

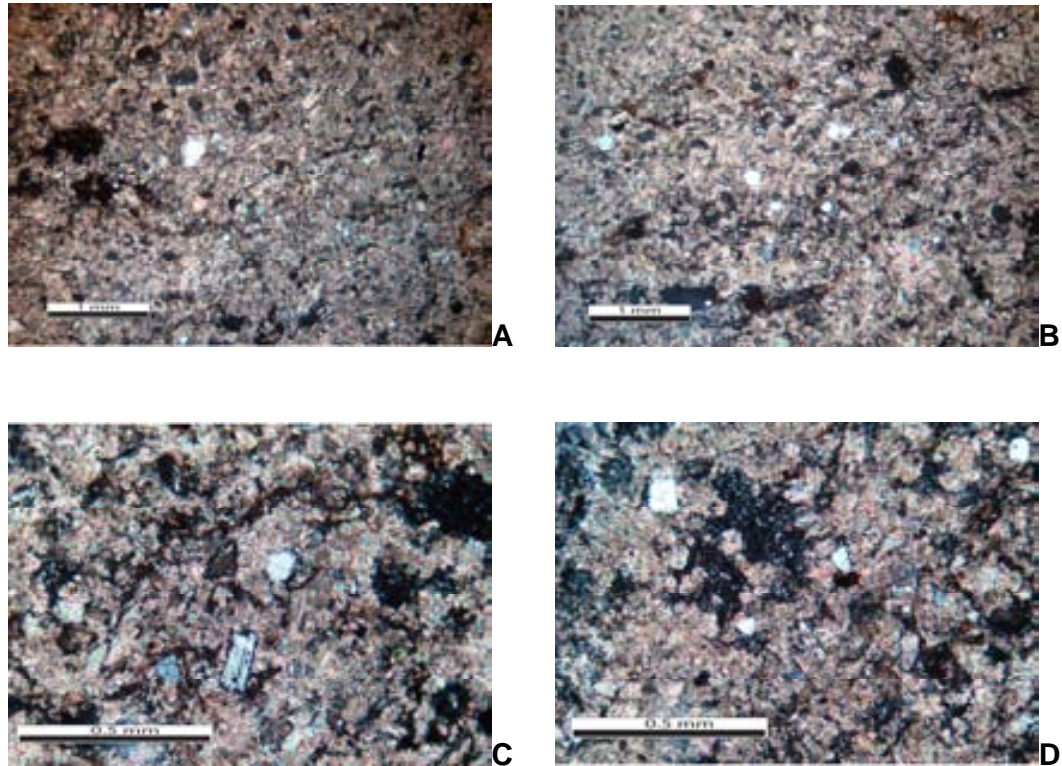
Esta muestra corresponde a las facies calcáreas en la parte basal que presenta ésta formación.

TEXTURA: El tamaño de grano en ésta muestra varía de 0.5 mm a 0.02 mm, equivalente a una caliza muy arenosa media, los granos están moderadamente seleccionados, de subredondeados a muy angulosos y con formas subesféricas, discoidales e irregulares en una matriz micrítica calcárea (40%) (A,B). Pocos granos están en contacto y éstos son principalmente puntuales, la mayoría están flotando en la matriz (C,D).

COMPOSICIÓN: El cuarzo (20%) dominante en ésta muestra es cuarzo monocristalino de extinción recta con vacuolas y microlitos y muy poco cuarzo monocristalino de extinción ondulante (C,D). El feldespato potásico es escaso y las plagioclasas (principalmente andesina) también están en baja proporción (5%) (C).

Los fragmentos líticos son los más abundantes (30%), en especial los fragmentos ya de composición calcárea, incluyendo los totalmente reemplazados por calcita, los fragmentos de pedernal y muy pocos fragmentos volcánicos con plagioclasas alargadas en una matriz microcristalina o de composición argilítica (D). El principal mineral accesorio son las arcillas, aunque hay sericita en menor proporción (5%).

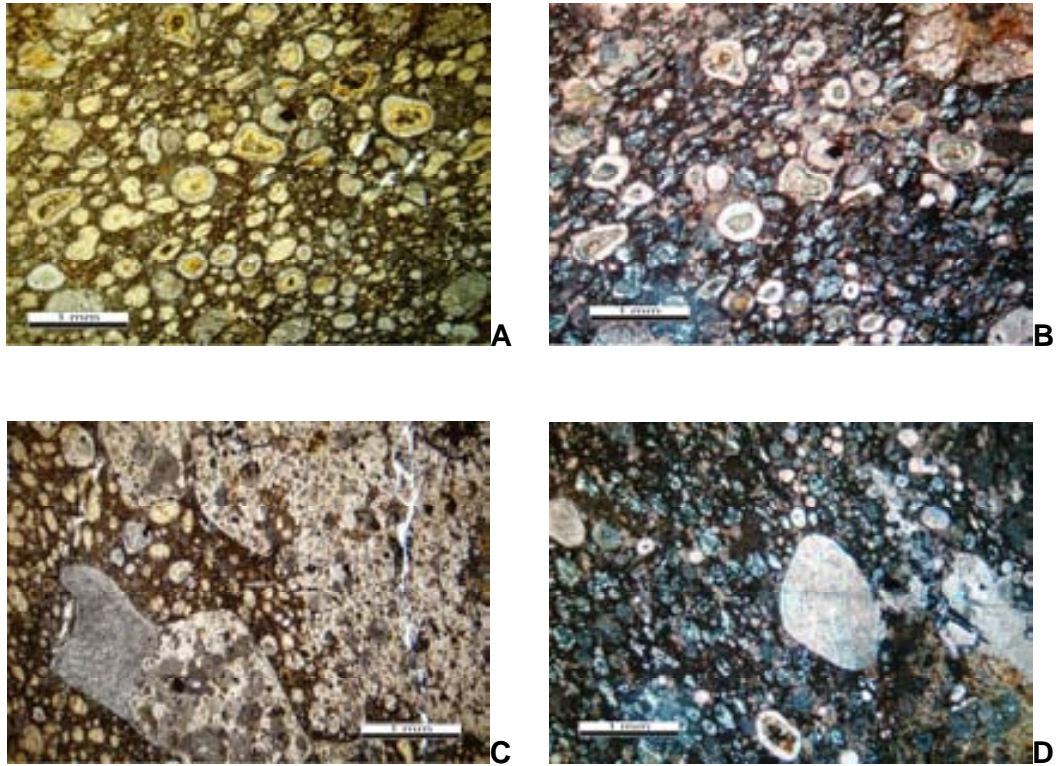
DIAGÉNESIS: Principalmente hay recristalización de la matriz calcárea, fracturas pequeñas rellenas de arcilla, óxidos de hierro en la matriz y reemplazamiento por carbonato de calcio de algunos clastos, principalmente los argilíticos (D).



Fotomicrografías de la muestra 210

Muestra 208A (fm. San Juan de la Rosa)

Esta muestra fue colectada del cuerpo ígneo hipabisal, justo al contacto con la porción calcárea y que se tomó con la finalidad de determinar el tipo de contacto (ver Capítulo III). Sus características texturales sugieren que esta roca es una mezcla de magma con sedimento calcáreo conocida como peperita (Busby-Spera, et.al, 1987; Skilling, et al., 2002) que se originan por la intrusión y ocurre cuando aún no se ha consolidado el sedimento. Dentro de las texturas pertenecientes a este tipo de roca, la muestra presenta texturas globulares de devitrificación (A,B) y algunas formas de “blocky peperite” en la zona del contacto magma-sedimento (C,D), también se observan “burbujas” o texturas amigdaloides formadas por el sedimento calcáreo recristalizado (C,D). La roca es una andesita con algunas plagioclasas alargadas mezcladas con el sedimento micrítico.

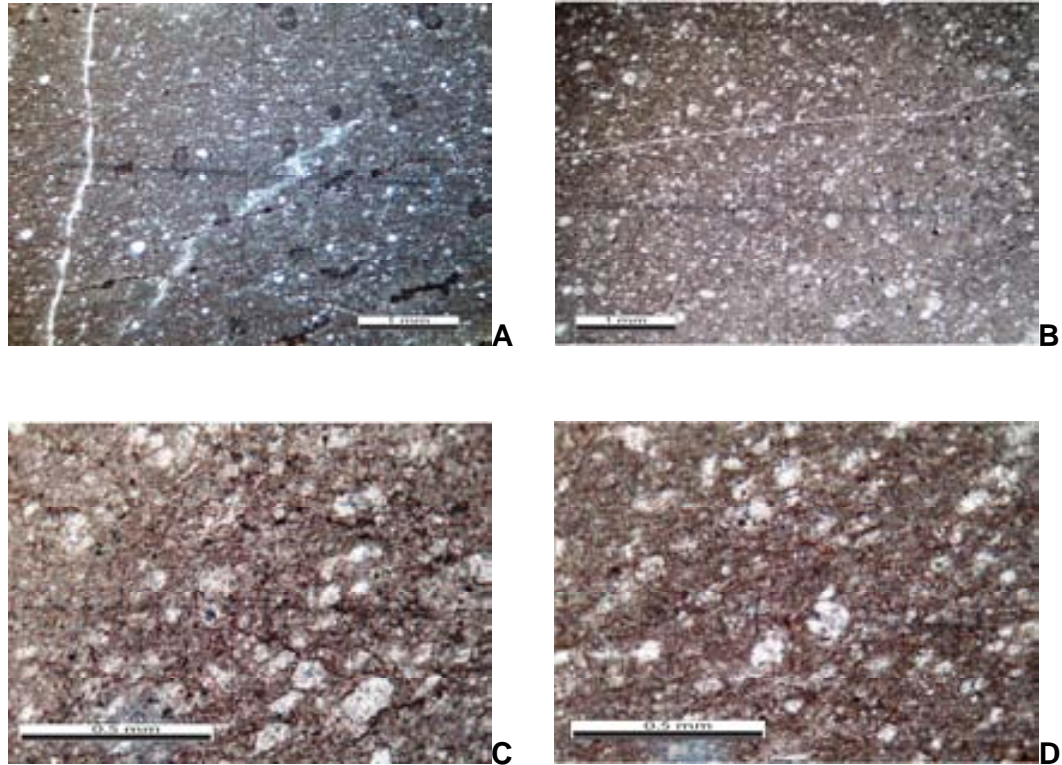


Fotomicrografías de la muestra 208A

Muestra 230D (facies AF1 formación La Peña Azul)

TEXTURA Y COMPOSICIÓN: Esta muestra se compone de caliza limosa con abundantes fósiles (principalmente microfósiles) flotando en la matriz (A,B). Los principales componentes aloquímicos de esta muestra se identificaron como foraminíferos bentónicos, algunos planctónicos y calciesferas (C,D). Por lo cual la roca se clasifica como wackestone de foraminíferos y calciesferas.

DIAGÉNESIS: La muestra presenta recristalización moderada, se observaron fracturas rellenas de carbonato de calcio, algunas fracturas originadas por cizallamiento pequeñas rellenas de material arcilloso y óxidos de hierro (A).



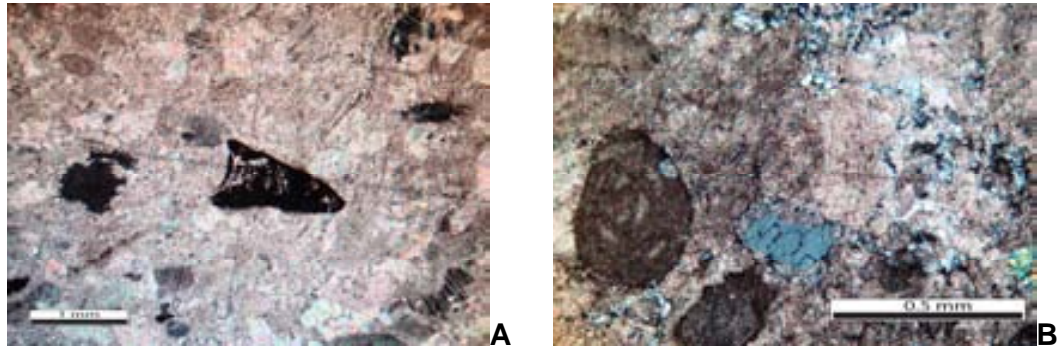
Fotomicrografías de la muestra 230D

Muestra 230E (facies AF1 formación La Peña Azul)

TEXTURA: Los granos de esta muestra varían de 1.5 mm a 0.05 mm, clasificándola como un wackestone de intraclastos, con granos moderadamente seleccionados, de redondeados a muy angulosos y con formas que van entre irregulares, discoidales y esféricas en una matriz micrítica calcárea (70% del total de la muestra). Por la abundancia de la matriz, los contactos son escasos, puntuales y pocos alargados, formando una fábrica poco compacta (B).

COMPOSICIÓN: La muestra se compone principalmente de matriz calcárea micrítica, foraminíferos bentónicos (miliólodos) (B), escasos clastos de pedernal, muy poco cuarzo monocristalino de extinción recta (B) y algunos fragmentos de equinodermos (A).

DIAGÉNESIS: Presenta una proporción considerable de recristalización de la matriz (texturas poikilotópicas) y reemplazamiento de algunos clastos a calcita (A), además contiene fracturas rellenas de carbonato de calcio y poco material arcilloso.



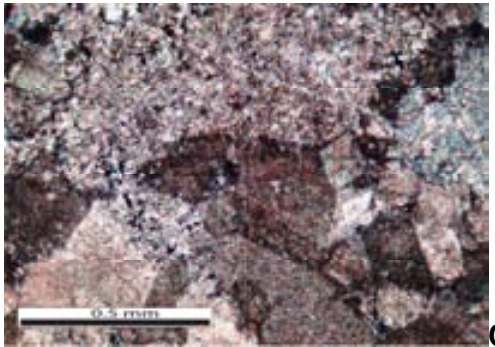
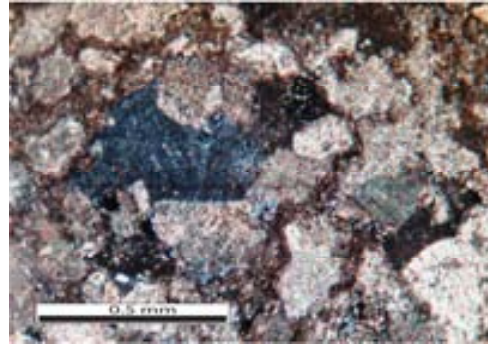
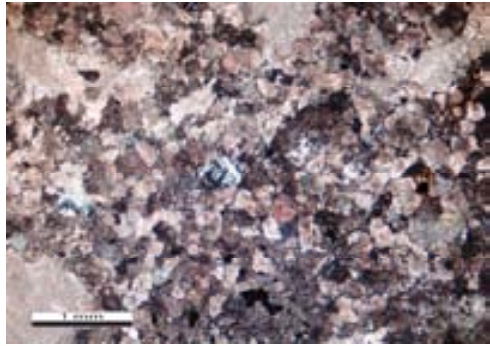
Fotomicrografías de la muestra 230E

Muestra BRC (facies AF1 formación La Peña Azul)

Esta muestra se tomó de la facies AF1 de composición calcárea, en una zona de cizalla izquierda muy intensa que separa a las unidades de la Fm. San Juan de la Rosa y las facies aquí descritas como AF1 (ver Capítulo III).

TEXTURA Y COMPOSICIÓN: Los clastos de ésta brecha son de 0.7 cm a 0.02 mm, clasificándola, como se menciona anteriormente, como una brecha calcárea de falla provocada por una cizalla izquierda (A). Los componentes principales de la muestra son clastos calcáreos micríticos aunque también se identificaron clastos volcánicos de composición argilítica con plagioclasas, muy poco pedernal y algunos fragmentos de calcedonia (B).

DIAGÉNESIS: Por ser una zona de cizalla, la alteración es bastante notable, hay una intensa recristalización de la matriz, reemplazamiento de los pocos clastos argilíticos por carbonato de calcio (C), fracturas posteriores a la cizalla rellenas por carbonato, minerales arcillosos y óxidos de hierro autigénicos como relleno de las fracturas provocadas por la cizalla y un notable crecimiento de minerales opacos; hematita y pirita.



Fotomicrografías de la muestra BRC

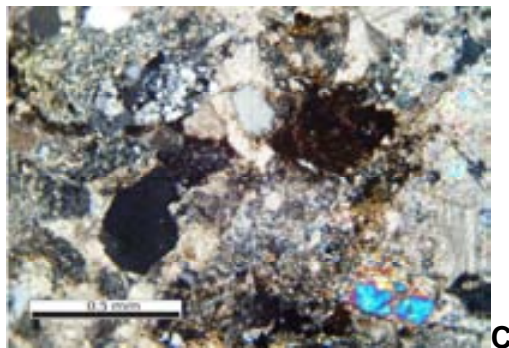
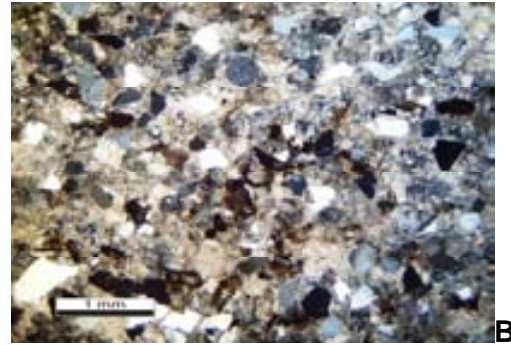
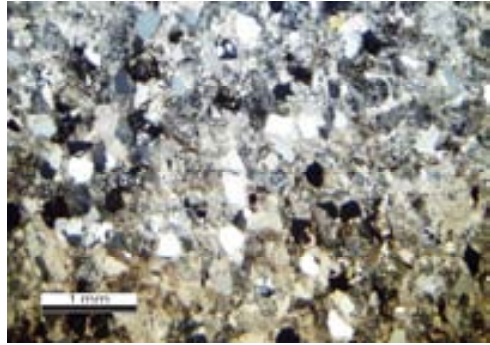
Muestra 22 (facies F2 formación La Peña Azul)

TEXTURA: Corresponde a una arenisca calcárea (calcarenita), el tamaño de los granos varía de 0.05 a 0.8 mm, está moderadamente seleccionada, y sus clastos van de muy angulosos a redondeados con formas irregulares, subesféricas y discoidales en una matriz calcárea fina (39% del total de la muestra). Por la abundancia de la matriz, los granos están flotando en ésta y con escasos contactos puntuales entre granos (A,B).

COMPOSICIÓN: La muestra contiene cuarzo monocristalino de extinción recta con algunas vacuolas y microlitos, cuarzo monocristalino de extinción ondulante y en menor proporción cuarzo policristalino de extinción ondulante con contactos rectos o suturados (18%).

El feldespato potásico es escaso y se encuentran también algunos fragmentos perfiticos. Las plagioclasas son más abundantes y por su ángulo de extinción consisten en labradorita-andesina en fragmentos rotos principalmente (8%). Los fragmentos de roca (28%) son areniscas de cuarzo de grano fino, fragmentos ígneos de cuarzo policristalino con algunas plagioclasas alargadas y algunos fragmentos de perfitas (C). Contiene biotita como principal mineral accesorio (7%) (C).

DIAGÉNESIS: La muestra presenta una diagénesis de moderada a avanzada , la matriz se encuentra recristalizada a calcita espática en algunas partes, con algunas fracturas rellenas de calcita y abundantes óxidos de hierro (C).



Fotomicrografías de la muestra 22

Muestra 121 (facies F2 formación La Peña Azul)

TEXTURA: Esta muestra corresponde a una arenisca calcárea (calcarenita) que contiene granos moderadamente clasificados, de 0.6 a 0.02 mm, las formas de los granos van de irregulares, discoidales a subesféricas. no se pudo determinar el grado de redondeamiento de la mayoría de los clastos por el reemplazamiento, aunque algunos son muy angulosos a redondeados y los tipos de contactos son principalmente puntuales y algunos rectos en una matriz micrítica, en partes recristalizada (28%) (A).

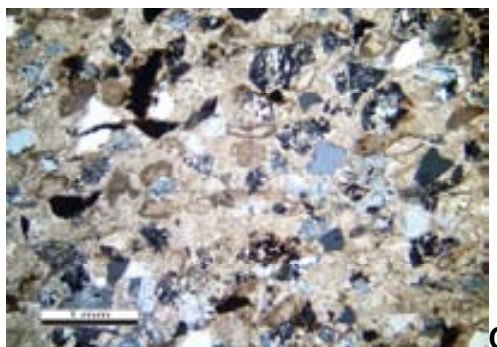
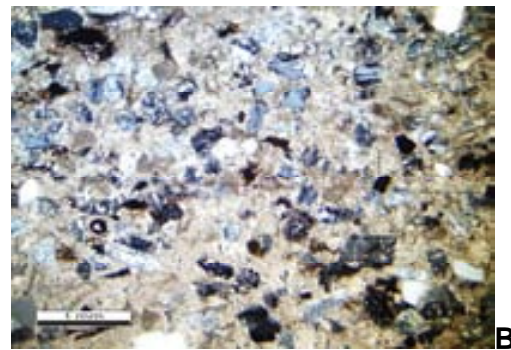
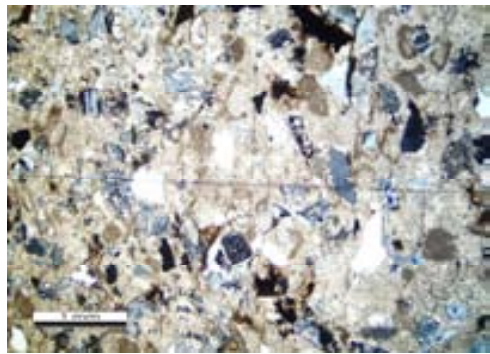
COMPOSICIÓN: Esta muestra contiene cuarzo monocristalino de extinción recta con vacuolas y microlitos, parece haber fragmentos de cuarzo policristalino de pocos cristales (por el tamaño de grano) que entre ellos tienen contactos rectos y cóncavo-convexos (13%) (A,C).

El feldespato potásico se encuentra en granos subredondeados muy escasos, con alteraciones a minerales arcillosos y carbonato. Las plagioclasas

son más abundantes y también muy alteradas, el tipo de plagioclasa oscila entre albita andesina por su bajo ángulo de extinción y muy pocos conservan su forma tabular y tienen extremos irregulares (35%) (B).

Los fragmentos de roca (15%) son principalmente ígneos de composición intermedia (andesita-dacita), también parece haber minerales máficos como augita muy alterados, contiene fragmentos de arenisca de cuarzo de grano muy fino con clastos angulosos muy alterados. Se observan además algunas estructuras orgánicas fosilizadas de carbonato de calcio (9%) (C).

DIAGÉNESIS: Esta muestra tiene un alto grado de reemplazamiento, la matriz está casi completamente recristalizada y en partes reemplazada por minerales arcillosos. En algunos clastos de cuarzo se observan sobrecrecimientos y la presencia de minerales opacos es considerable (C).



Fotomicrografías de la muestra 121

Muestra 48 (facies F2 formación La Peña Azul)

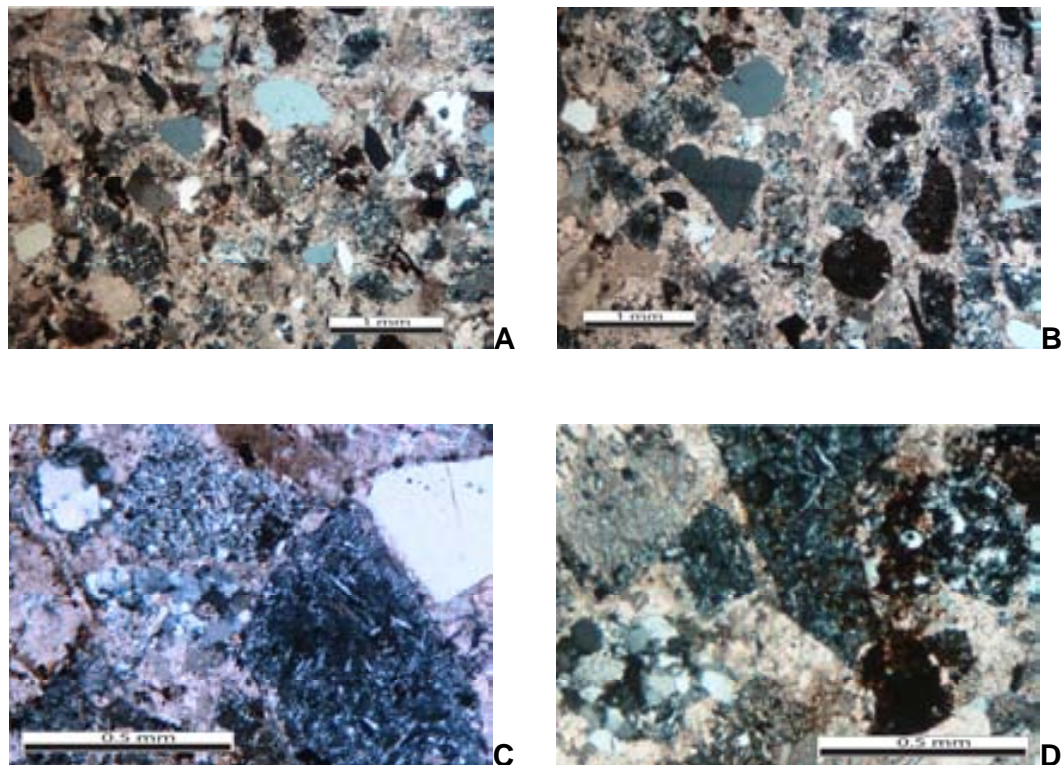
TEXTURA: Esta muestra corresponde a una arenisca calcárea gruesa (calcarenita) que tiene granos de tamaño que va de 0.05 hasta 1 mm, la roca está mal seleccionada, los clastos varían de muy angulosos a subredondeados y

con formas irregulares, subesféricas y algunas discoidales en una matriz micrítica (16%) y en algunas zonas la muestra esta reemplazada por calcita espática. Los contactos entre los granos son principalmente puntuales y algunos elongados (A,B).

COMPOSICIÓN: El cuarzo es principalmente monocristalino de extinción recta con vacuolas y microlitos y también hay cuarzo policristalino de extinción ondulante con contactos suturados (18%) (A,B). Además hay plagioclasas (albita-andesina) pequeñas y rotas (5%).

Los fragmentos de roca son muy abundantes (43%) y consisten en areniscas cuarcíticas de grano fino y de grano medio (C,D) y fragmentos de rocas volcánicas constituídas por cuarzo policristalino con algunas plagioclasas pequeñas alargadas (C,D). Contiene sericita como el principal mineral accesorio (18%).

DIAGÉNESIS: La matriz micrítica esta en partes recristalizada por calcita espática, hay fracturas rellenas de calcita espática y se observó también que hay algunos líticos que presentan abundante alteración con mucho oxido de hierro (D) y minerales arcillosos.



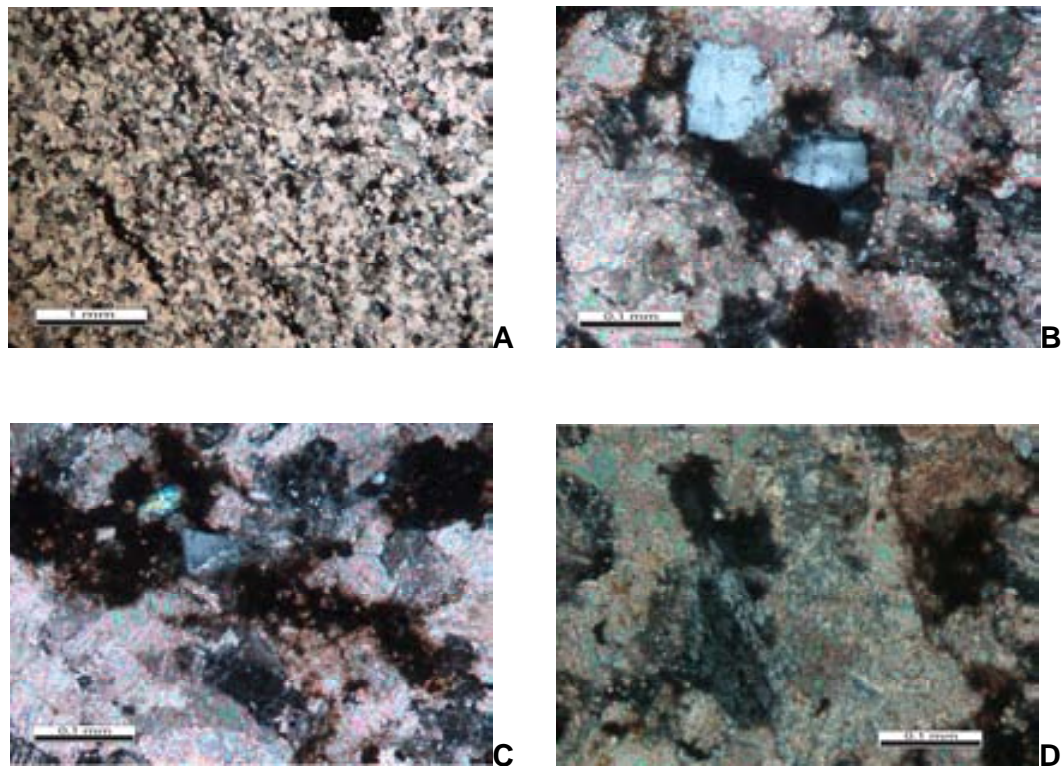
Fotomicrografías de la muestra 48

Muestra 61 (facies F2 formación La Peña Azul)

TEXTURA: Esta muestra presenta un reemplazamiento al 60% aproximadamente (A). Los granos preservados tienen un tamaño de entre 0.02 y 0.2 mm, equivalente a arenisca fina, bien seleccionados, de muy angulares a algunos redondeados y con formas irregulares y subesféricas. La matriz micrítica está en partes, bastante recristalizada. La mayor parte de la muestra presenta textura de granos flotando en la matriz (70 %), clasificándola como una caliza ligeramente arenosa (A).

COMPOSICIÓN: Son pocos los componentes clásticos, hay cuarzo monocristalino de extinción recta con vacuolas y cuarzo policristalino de extinción ondulante (20%) (B,C). Parece haber poco feldespato (5%) que por su pequeño tamaño es difícil de distinguir (D), además de presentar abundante reemplazamiento por calcita y sericita (5%).

DIAGÉNESIS: La muestra tiene una recristalización extensa de la matriz a calcita espática y abundantes óxidos de hierro y arcillas (B,C,D).



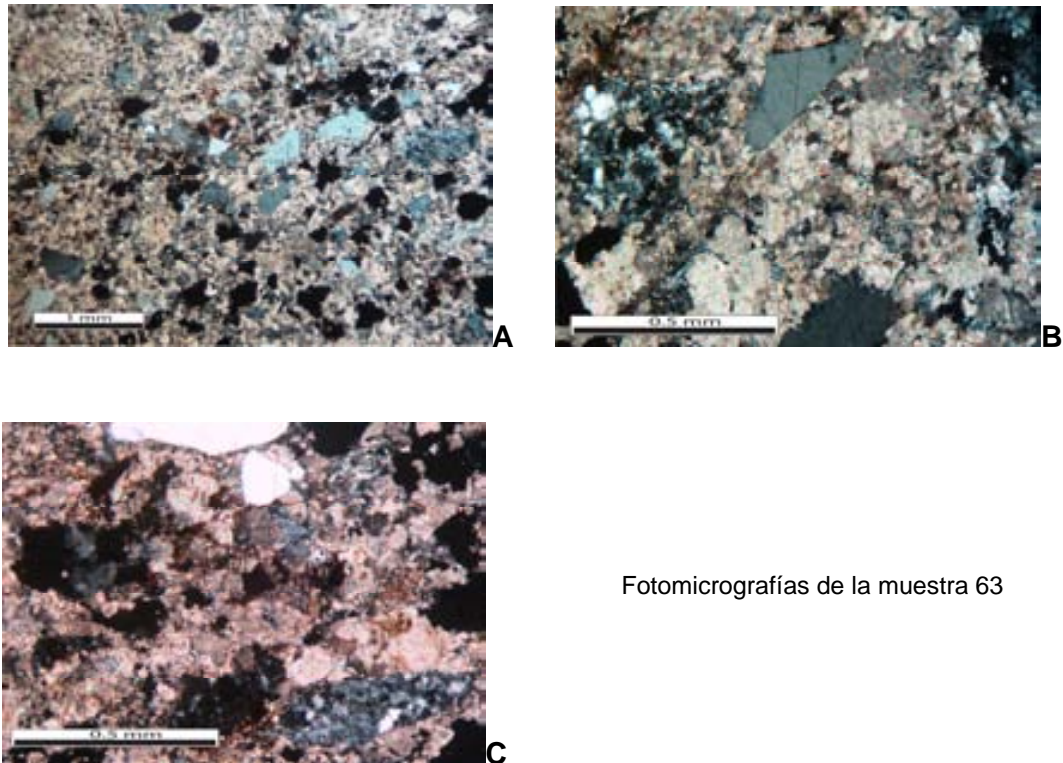
Fotomicrografías de la muestra 61

Muestra 63 (facies F2) formación La Peña Azul

TEXTURA: Es una arenisca calcárea (calcarenita) cuyo tamaño de grano es de 0.05 a 0.75 mm, clasificándola como arenisca media, por la cantidad de matriz se considera como una grauvaca. Los granos son moderadamente seleccionados, de muy angulosos a subredondeados y con formas irregulares, discoidales y subesféricas. La matriz esta constituida por carbonato de calcio (35%) (A). Hay muy pocos clastos en contacto, y en esos casos los contactos son puntuales.

COMPOSICIÓN: Está formada por cuarzo microcristalino de extinción recta con vacuolas y microlitos, cuarzo policristalino de extinción ondulante y cuarzo policristalino de extinción recta con contactos suturados (30%) (B). Hay abundantes fragmentos de roca, principalmente ígneos (latitas, traquitas y felsitas) (A,C) y fragmentos de areniscas al parecer cuarcíticas (20%) (C). La sericita es el principal mineral accesorio (15%).

DIAGÉNESIS: La muestra presenta una diagénesis moderada, con pocas fracturas rellenas de carbonato de calcio, óxidos de hierro y arcillas, generalmente en la matriz y alrededor de los clastos.

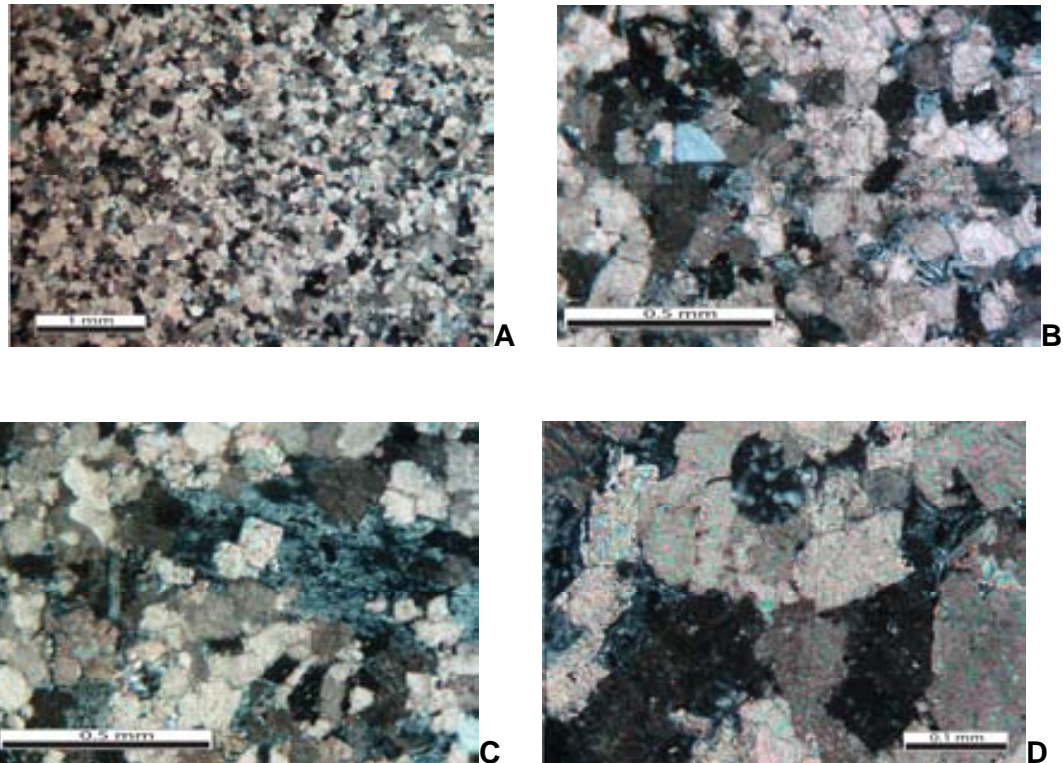


Muestra 51 (facies F2 formación La Peña Azul)

TEXTURA: El tamaño de grano en esta muestra es de 0.04 a 0.3 mm, equivalente a una caliza arenosa fina, granos bien seleccionados, de muy angulosos a subredondeados y con formas irregulares y subesféricas cementados y/o parcialmente reemplazados por calcita espática con pocas partes donde se preserva la matriz micrítica (50%) (A).

COMPOSICIÓN: Un número considerable de los clastos fueron reemplazados por calcita, las estructuras relictas que preservan sugieren que fueron originalmente posibles clastos de caliza y feldespatos (D). El cuarzo presente es principalmente cuarzo monocristalino de extinción recta con vacuolas y microlitos muy alterados (B) y cuarzo policristalino de extinción ondulante (25%). Contiene algunas plagioclasas (oligoclasa-andesina) alargadas y otras rotas o redondeadas (10%). Los fragmentos de roca son principalmente ígneos (traquitas y felsitas) y pedernal (15%) (C,D).

DIAGÉNESIS: La matriz esta moderadamente recristalizada, presenta reemplazamiento por calcita, y hay zonas con arcillas, oxido de hierro autigénicas y algunas fracturas rellenas de calcita.

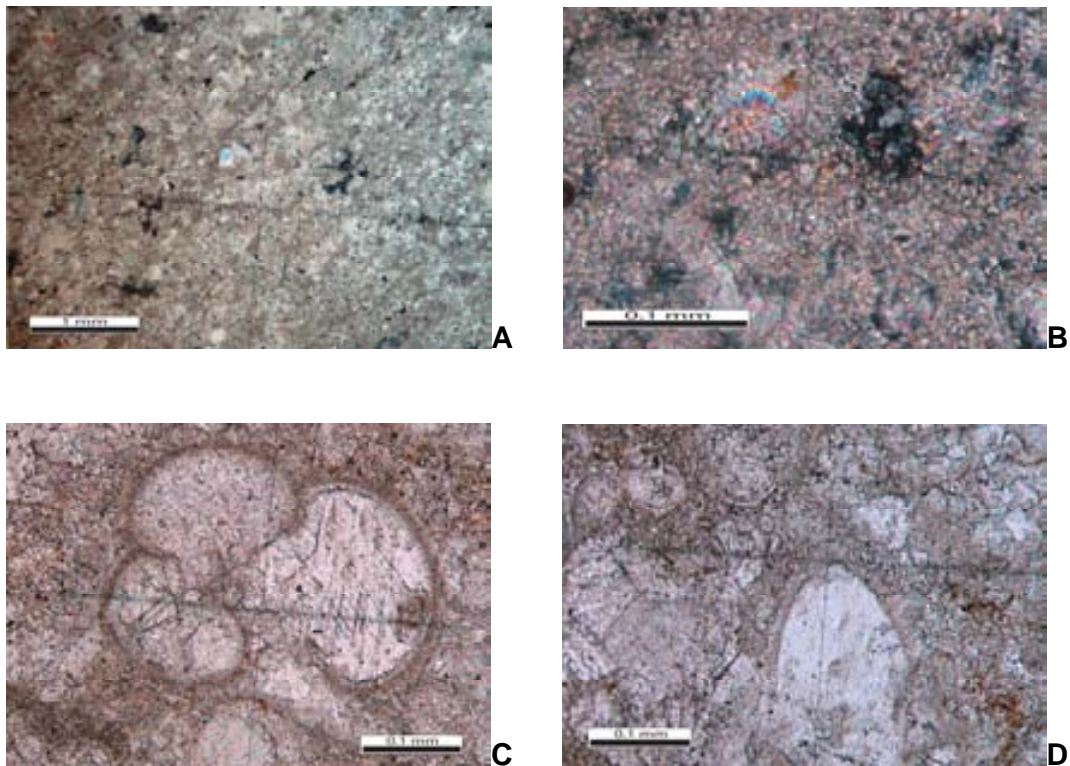


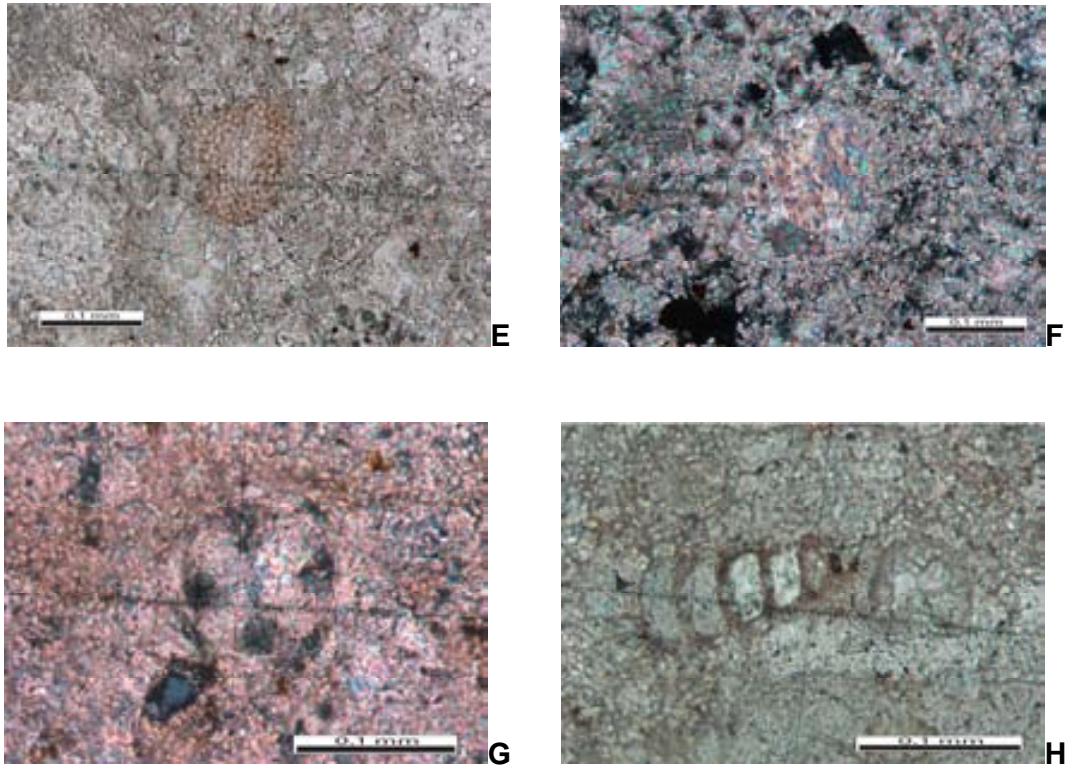
Fotomicrografías de la muestra 51

Muestra 56 (facies F2 formación La Peña Azul)

TEXTURA Y COMPOSICIÓN: Esta muestra es una caliza con textura micrítica, en partes espática con abundantes bioclastos y microfósiles (B,E,F), clasificándola como un wackestone de foraminíferos y calciesferas (A). Contiene abundantes foraminíferos plantónicos (globigerinas) (C) y otros foraminíferos bentónicos uniseriales (H), abundantes calciesferas de pared hialina radial (G) y posiblemente calpionélidos (D).

DIAGÉNESIS: Esta muestra casi no presenta diagénesis, los microorganismos esta bien preservados y sólo se observan porciones de la matriz con recristalización. Contiene también algunos pequeños cristales de cuarzo autigénico (B,G).





Fotomicrografías de la muestra 56

Muestra 174 (facies F2 formación La Peña Azul)

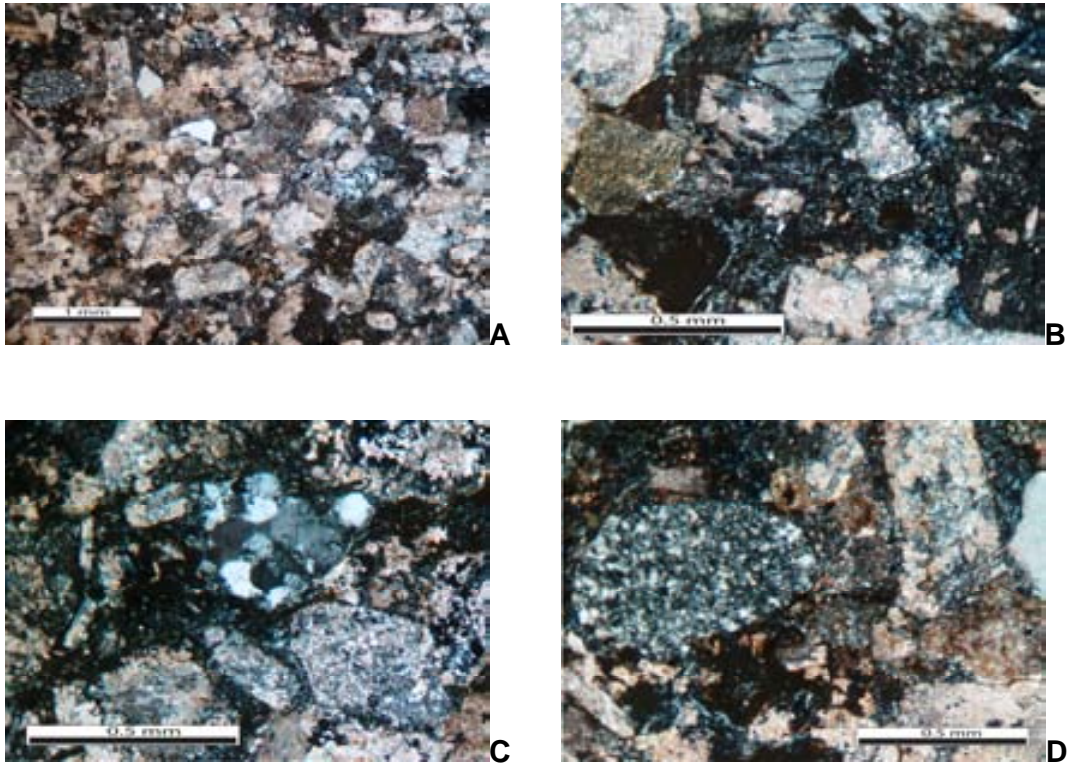
TEXTURA: El tamaño de grano va de 0.05 a 0.6 mm, clasificándola como una arenisca calcárea gruesa (litarenita), granos mal seleccionados, de muy angulosos a subredondeados y con formas irregulares, discoidales y subesféricas en una matriz micrítica (25%). Los contactos entre los granos son puntuales y alargados (A).

COMPOSICIÓN: El cuarzo presente en esta muestra es monocristalino de extinción recta con vacuolas y microlitos, cuarzo policristalino de extinción ondulante, cuarzo policristalino de extinción ondulante y contactos susturados (25%) (A,C).

El feldespato potásico es muy difícil de distinguir y en clastos grandes, las plagioclasas resultan oligoclasa-andesina y están en fragmentos alargados, redondeados y rotos muy alterados, algunos reemplazados por calcita (10%).

Los fragmentos de roca (40%) consisten en areniscas de grano medio (C,D), fragmentos ígneos de cuarzo con plagioclasas alargadas muy alterados (B,C) y posiblemente algunos fragmentos de caliza micrítica (A).

DIAGÉNESIS: La muestra esta bastante alterada y recristalizada, hay óxidos de hierro entre la matriz y algunas fracturas rellenas de calcita.



Fotomicrografías de la muestra 174

Muestra 127 (facies F3 formación La Peña Azul)

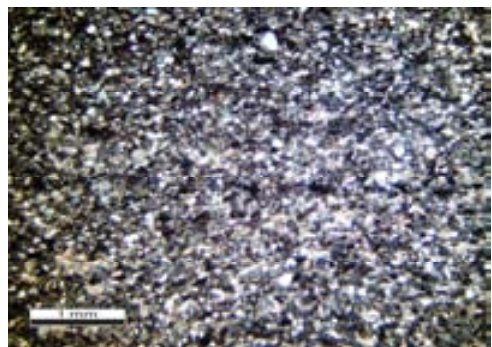
TEXTURA: El tamaño de grano varía de 0.02 a 0.2 mm, clasificándola como arenisca muy fina (subarcosa), con granos bien seleccionados de muy angulosos a subredondeados y formas predominantemente irregulares y pocas subesféricas. Se observa también que el material tiende a estar suborientado horizontalmente posiblemente por el ambiente de depósito o por causa de la deformación que presenta esta roca (A,B). Existen pocos contactos entre los clastos y son cóncavo-convexos o alargados (C). La matriz es clástica fina en partes afectada y reemplazada por carbonatos (25%).

COMPOSICIÓN: El tipo de cuarzo presente en la muestra es cuarzo monocristalino de extinción ondulante con presencia de algunas vacuolas aunque en clastos más pequeños se observa también cuarzo monocristalino de extinción recta en menor abundancia (40%).

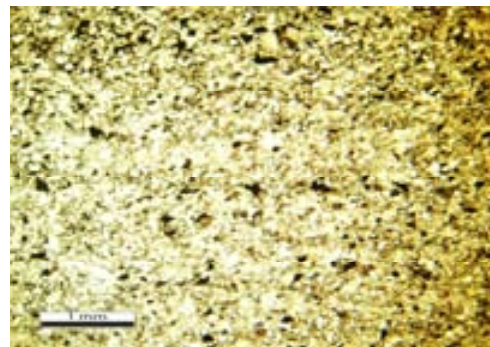
Los feldespatos potásicos parecen estar presentes en fragmentos demasiado pequeños y muy escasos, los fragmentos de plagioclasas parecen ser andesinas y/o albitas y se encuentran distribuidos en menor proporción que el cuarzo (20%).

Los fragmentos de roca en esta muestra son pocos (10%) y consisten en fragmentos de cuarzo con contactos suturados de extinción ondulante, intercrecidos con feldespato y fragmentos volcánicos de cuarzo con plagioclasas y algunos fragmentos de posibles remanentes de pertitas en clastos muy pequeños. El principal mineral accesorio es la moscovita, aunque parece ser autigénica (5%).

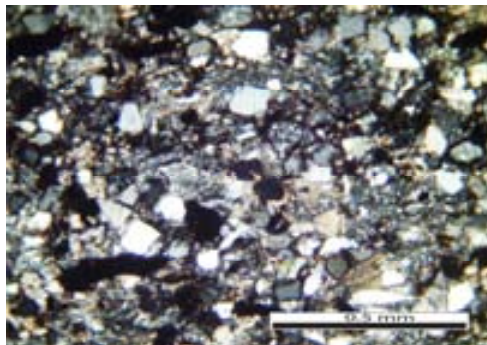
DIGÉNESIS: El intemperismo y reemplazamiento en esta muestra no es muy intenso, llega a cubrir un 30 % de la muestra y consiste en algunas fracturas rellenas de calcita, algunas partes de la matriz reemplazada por carbonato de calcio y abundantes puntos de óxidos de hierro entre la matriz, lo que da la característica tonalidad rojiza (B). La muestra presenta orientaciones de los clastos horizontales y algunas microfracturas sigmoidales por causa de cizallamiento.



A



B



C

Fotomicrografías de la muestra 127

Muestra 126 (facies F3 formación La Peña Azul)

TEXTURA: El rango del tamaño de grano varía de 1.5 a 0.02 mm, equivalente a arenisca fina (arcosa), de muy angulosos a subredondeados, con formas discoidales irregulares y algunos subesféricos y moderadamente seleccionados. Los granos también se encuentran en una fábrica compacta embebidos en una matriz detrítica fina con zonas cementadas con sílice (28%) (A,C). Los contactos entre los granos de esta muestra son principalmente puntuales, concavo-convexos y pocos contactos alargados.

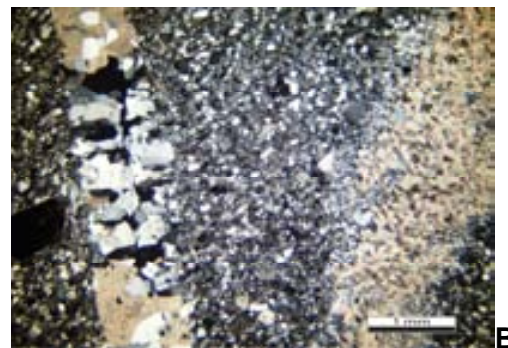
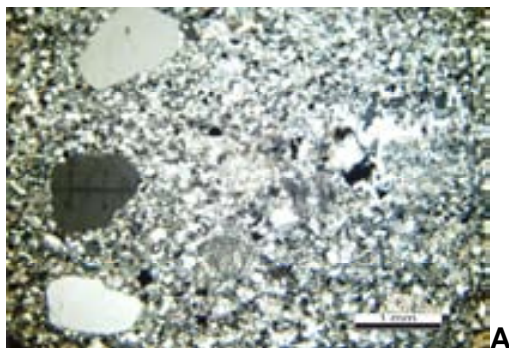
COMPOSICIÓN: Esta muestra presenta principalmente cuarzo extinción ondulante y cuarzo con vacuolas y microlitos de extinción recta (29%).

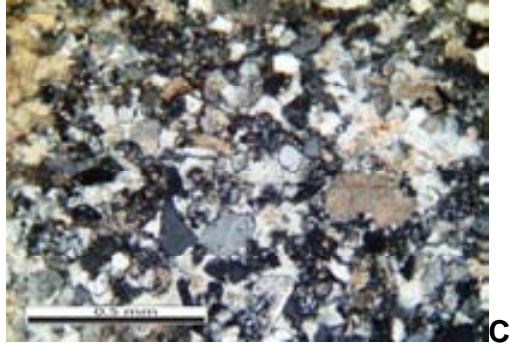
El feldespato potásico se encuentra en granos muy pequeños y muy escasos. Las plagioclasas están entre andesina-labradorita en clastos relativamente grandes y alargados, aunque también los hay pequeños y algunos cristales presentan bastante alteración (20%).

Los líticos son principalmente de cuarzo con contactos suturados de extinción ondulante, de cuarzo con plagioclasas de naturaleza ígnea y de cuarzo con feldespatos potásicos que presentan abundantes inclusiones (8%).

También hay algunos minerales accesorios como biotita y posiblemente fragmentos de hornblendas, que por su alteración no se distingue con claridad (15%).

DIAGÉNESIS: Esta muestra presenta alteración moderada, existen algunos sobrecrecimientos de cuarzos y clastos de cuarzo y plagioclasas que parecen previamente afectados por alteración antes del depósito. Existen también fracturas rellenas de cuarzo y de calcita (B).





Fotomicrografías de la muestra 126

Muestra 122 (facies F3 formación La Peña Azul)

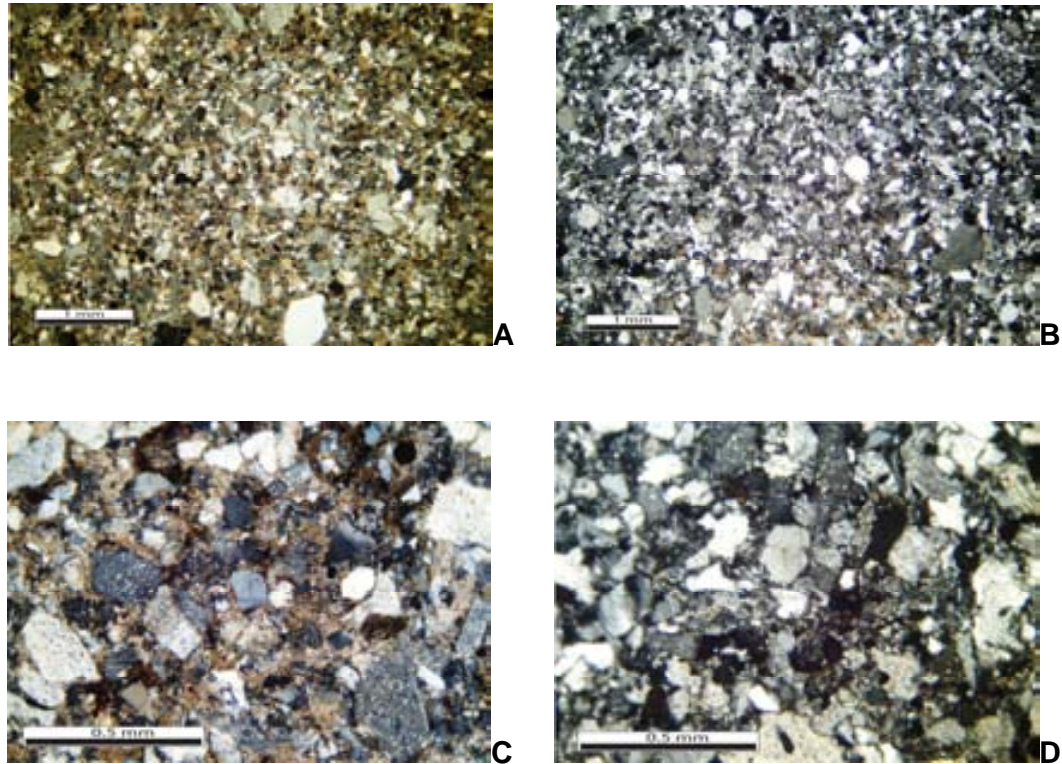
TEXTURA: Los granos de esta muestra están muy mal clasificados, con dimensiones de 0.8 a 0.02 mm, clasificándola como arenisca media (arcosa), su forma es muy irregular y van de muy angulosos a subredondeados. Los tipos de contacto entre granos son principalmente rectos, concavo-convexos y pocos son saturados, aunque hay escasos contactos puntuales (A,B). La matriz es clástica fina (16%).

COMPOSICIÓN: Esta muestra contiene los tres tipos de cuarzo; monocristalino con extinción recta con vacuolas y microlitos, cuarzo monocristalino de extinción ondulante casi sin microlitos y cuarzo policristalino con rasgos de alteración mayor a los demás tipos de cuarzo (19%) (D).

Hay pocos granos de feldespato potásico, de subredondeados a redondeados muy reemplazados en partes puntuales por calcita y minerales arcillosos (C). Las plagioclasas van de andesina a albita por su bajo ángulo de extinción muy alteradas a minerales arcillosos y algunas reemplazadas por carbonatos, algunas conservan su forma tabular (36%).

Hay fragmentos de roca de menor tamaño que los componentes minerales pero que se pueden distinguir, como pedernal, pertitas y fragmentos de rocas ígneas al parecer intermedias (11%). El principal mineral accesorio es la sericita (18%), aunque pudiera ser autigénica.

DIAGÉNESIS: El reemplazamiento es muy abundante en esta lámina. Casi toda la lámina esta cementada por carbonato y casi no se observa la matriz (C), al parecer por la abundancia de los contactos suturados, se presume una gran compactación de estas arenas.



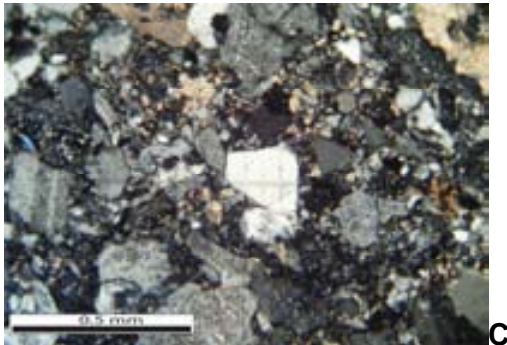
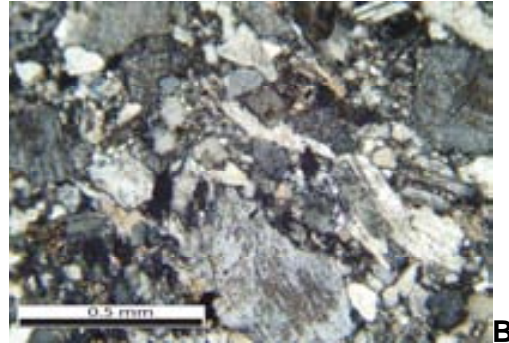
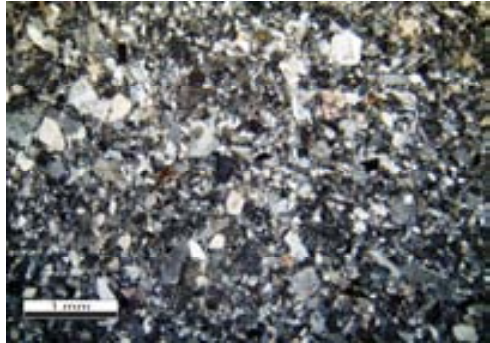
Fotomicrografías de la muestra 122

Muestra 69 (facies F3 Formación La Peña Azul)

TEXTURA: El tamaño de grano varía de 0.05 a 0.7 mm, equivalente a arenisca media (arcosa lítica), mal seleccionados y de muy angulosos a algunos redondeados con formas irregulares, discoidales y subesféricas, en una matriz detrítica media (24%) con algunas zonas reemplazadas por carbonato (A). Los granos se encuentran en contacto principalmente alargado y algunos cóncavo-convexos.

COMPOSICIÓN: El cuarzo en esta muestra es principalmente monocristalino de extinción recta con algunas vacuolas y microlitos y en menor proporción cuarzo monocristalino con extinción ondulante y cuarzo policristalino de extinción ondulante (33%) (C). El feldespato potásico en esta muestra parece ser abundante, presenta puntos de alteración y algunas vacuolas (B). En menor proporción están presente algunos clastos tabulares de plagioclasa (labradorita-andesina) (21%) y algunos fragmentos de roca de cuarzo policristalino con plagioclasas y otras de textura al parecer traquítica (14%). El mineral accesorio principal es la moscovita (8%) (C).

DIAGÉNESIS: La alteración de esta roca es baja, no se observaron fracturamientos pero si algo de carbonato entre la matriz y algunos puntos de óxidos de fierro (A,C). Se observaron sobrecrecimientos en los fragmentos de cuarzo y puntos de alteración con minerales arcillosos en los fragmentos de plagioclasas, feldespato y algunos líticos al parecer originados previamente al depósito (B).



Fotomicrografías de la muestra 69

Muestra 11 (facies AF4 formación La Peña Azul)

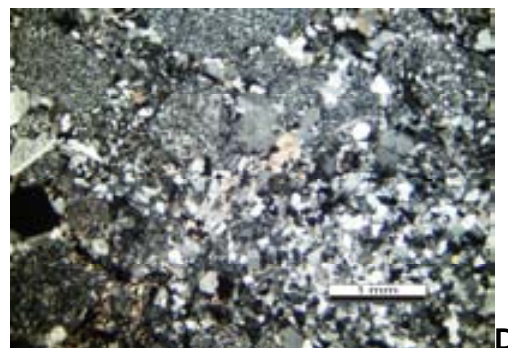
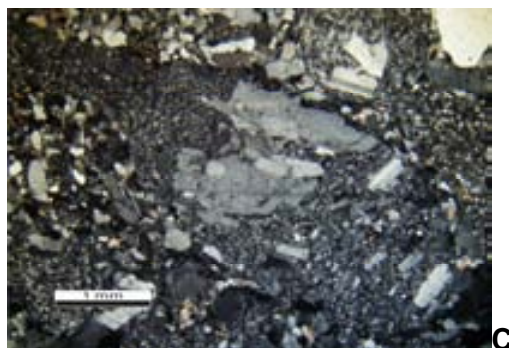
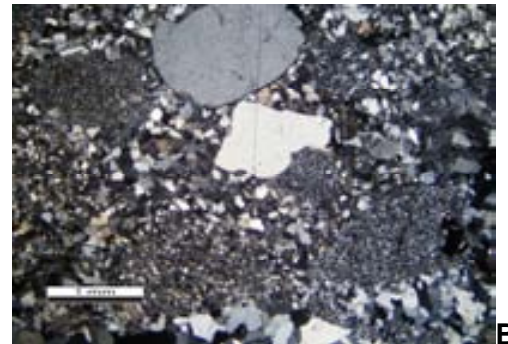
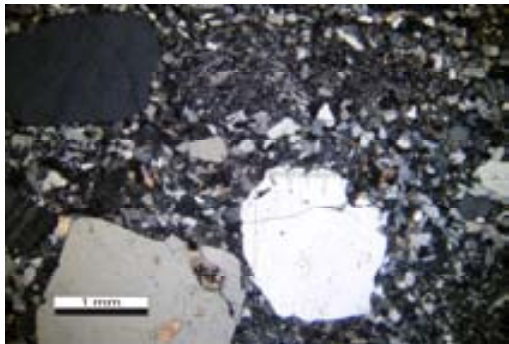
TEXTURA: Los granos de esta muestra están muy mal clasificados, de 3 a 0.02 mm, equivalente a arenisca conglomerática-conglomerado (arenita feldespática), sus formas van de irregulares a discoidales y de muy angulosos a muy pocos subredondeados (A,B). Los tipos de contactos entre grano son principalmente puntuales, rectos y muy pocos cóncavo-convexos en una matriz clástica fina (16%).

COMPOSICIÓN: Esta muestra contiene cuarzo monocristalino con extinción recta, vacuolas y microlitos, cuarzo monocristalino de extinción ondulante casi sin microlitos y abundante cuarzo policristalino de pocos y muchos cristales que entre ellos presentan contactos rectos y saturados (17%).

Los granos de feldespato potásico son pequeños y escasos, subangulosos y algunos bastante alterados a minerales arcillosos. Las plagioclasas están poco alteradas y algunas conservan su forma alargada, predominan los clastos de menor tamaño y éstos oscilan entre 20° y 30° del ángulo de extinción (andesina-oligoclasa) (12%).

Los fragmentos de roca (52%) son principalmente volcánicos con texturas vitrofídicas con abundantes plagioclasas de composición intermedia (C), areniscas subredondeadas de grano fino (B,D), fragmentos de cuarzo policristalino o pedernal y fragmentos de rocas con cuarzos con contactos saturados de extinción ondulante (metamórficos). Presenta también abundante cuarzo de relleno de fracturas. El mineral accesorio principal es la moscovita (3%).

DIAGÉNESIS: El reemplazamiento es escaso en esta lámina, se ve poco por carbonatos y mucha cristalización por relleno de fracturas. Hay abundante desarrollo de minerales opacos (D).



Fotomicrografías de la muestra 11

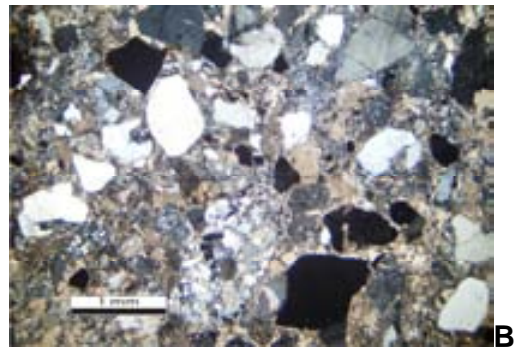
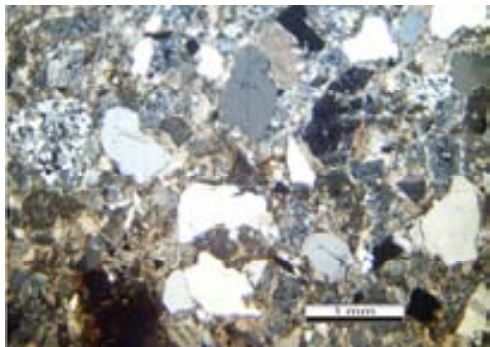
Muestra 19 (facies AF4 formación La Peña Azul)

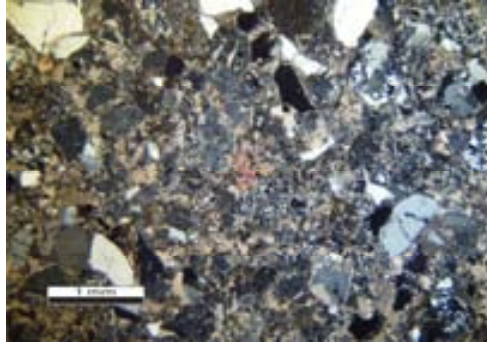
TEXTURA: El tamaño de grano en esta muestra varía de 0.05 hasta 2 mm, clasificándola como arenisca muy gruesa calcárea (arenita feldespática), con granos mal seleccionados, de muy angulosos a subredondeados con formas irregulares y algunas esféricas en una matriz calcárea fina (13%). Casi no hay granos en contacto excepto algunos puntuales o largados (A,B,C).

COMPOSICIÓN: El cuarzo de esta muestra es principalmente monocristalino de extinción recta con vacuolas y algunos microlitos, cuarzo monocristalino de extinción ondulante y en menor proporción cuarzo policristalino de extinción ondulante, también hay cuarzo policristalino de extinción ondulante en contactos suturados (23%).

El feldespato es escaso y se encuentra también en fragmentos perfiticos. Hay escasos fragmentos rotos de plagioclasa (labradorita-andesina) (8%). Los fragmentos de roca (34%) consisten en areniscas de grano fino muy compactas, en partes cementadas con sílice (A,B) y algunos fragmentos de cuarzo policristalino de origen ígneo o tal vez sedimentario (B). Existe moscovita y biotita como los principales minerales accesorios (22%), además de carbonatos y óxidos de hierro (C).

DIAGÉNESIS: El grado de intemperismo de la muestra es moderado, existe bastante recristalización de la matriz a calcita espática, abundantes óxidos de hierro y minerales arcillosos también.





Fotomicrografías de la muestra 19

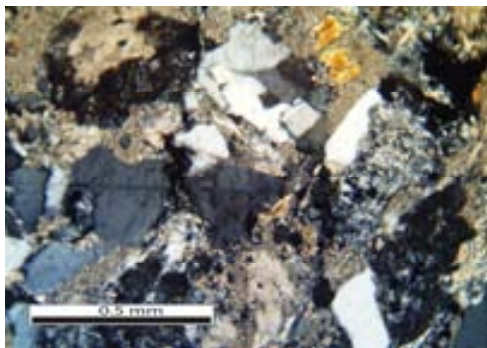
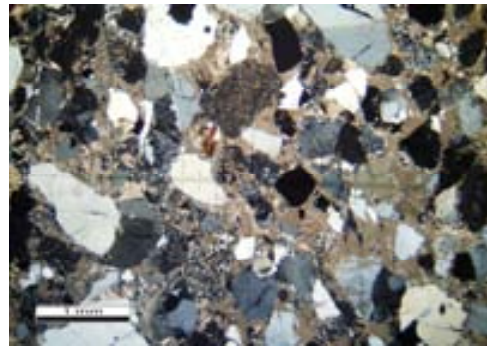
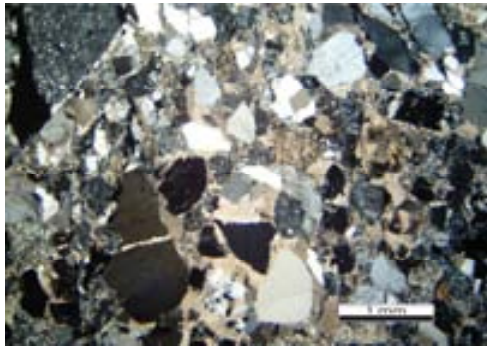
Muestra 100 (facies AF4 formación La Peña Azul)

TEXTURA: El tamaño de grano varía de 0.06 hasta 4mm, clasificándola como arenisca conglomerática-conglomerado calcáreo (litarenita), con clastos mal seleccionados, de muy angulosos a algunos redondeados con formas irregulares y pocas subsféricas en una matriz calcárea fina (19%). Los granos se encuentran en contactos principalmente cóncavo-convexo, alargado y muy pocos puntuales (A,B,C).

COMPOSICIÓN: El cuarzo es principalmente monocristalino de extinción recta con algunas vacuolas y microlitos, cuarzo policristalino de extinción ondulante y cuarzo monocristalino de extinción ondulante con contactos suturados en menor proporción (31%). El feldespato potásico es escaso y se trata de ortoclasa, además del feldespato en fragmentos perfiticos (2%). Los líticos se componen de fragmentos grandes de areniscas de grano fino algo alteradas (B), fragmentos de naturaleza ígnea de cuarzo policristalino con plagioclasas (C), feldespato perfitico y pocos fragmentos de arenisca de grano medio con cuarzo y plagioclasas (B) (33%).

Se observo moscovita y algo de biotita como minerales accesorios principales (C) (15%), carbonatos y algunos minerales arcillosos.

DIAGÉNESIS: El grado de intemperismo de esta muestra es moderado y se observan algunos fragmentos líticos previamente alterados (C), poco reemplazamiento y recristalización por carbonato y minerales arcillosos.



Fotomicrografías de la muestra 100

Muestra 30 (facies AF4 formación La Peña Azul)

TEXTURA: Los tamaños de grano varían de 0.01 a 1.5 mm, equivalente a arenisca gruesa calcárea (litarenita), con granos mal seleccionados, de muy angulosos a algunos subredondeados con formas discoidales, irregulares y otras pocas esféricas en una matriz calcárea fina (36%). Los contactos entre granos son principalmente puntuales y alargados (A).

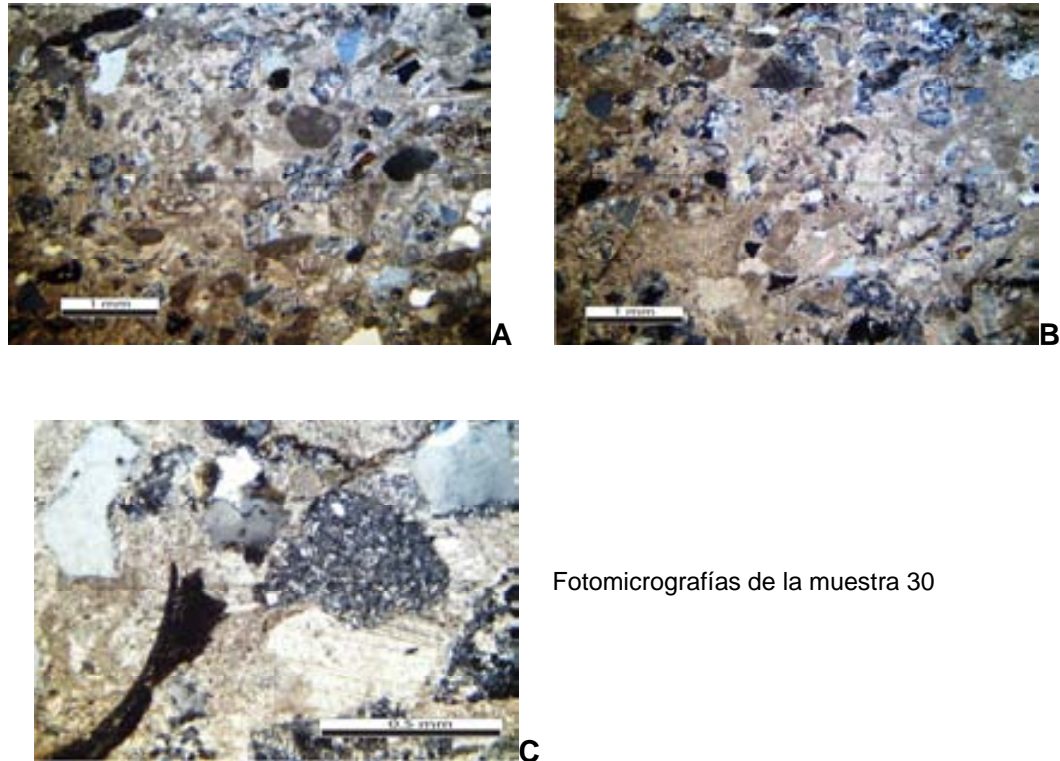
COMPOSICIÓN: El cuarzo en esta muestra se presenta en cuarzo monocristalino de extinción recta con vacuolas y algunos microlitos, más abundante que monocristalino de extinción ondulante, también hay cuarzo policristalino de extinción ondulante y cuarzo policristalino de extinción ondulante con contactos suturados (13%).

Parece haber pocos fragmentos de feldespato potásico, que por su tamaño es difícil de precisar, existen también feldespato en clastos con plagioclasas tabulares. Los fragmentos de plagioclasa (albita-andesina) son escasos y rotos (3%).

Los fragmentos de roca (33%) consisten en clastos ígneos con feldespato, cuarzo y plagioclasas tabulares, fragmentos de areniscas de grano fino (C) y otras areniscas con biotita como mineral accesorio. Existen también

abundantes bioclásticos no identificables de carbonato de calcio (B,C) y moscovita como el mineral accesorio principal (15%).

DIAGÉNESIS: El grado de intemperismo de esta muestra es bajo, existe abundante recristalización de la matriz calcárea y abundantes zonas con óxidos de hierro y minerales arcillosos (B).



Fotomicrografías de la muestra 30

Muestra 226 (facies AF4 formación La Peña Azul)

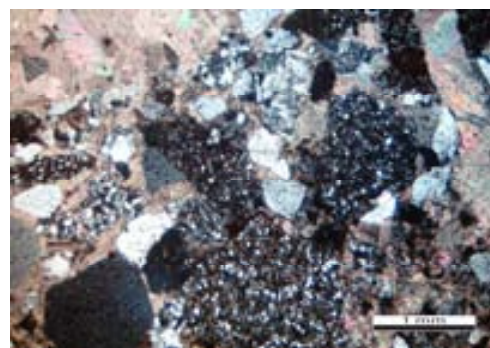
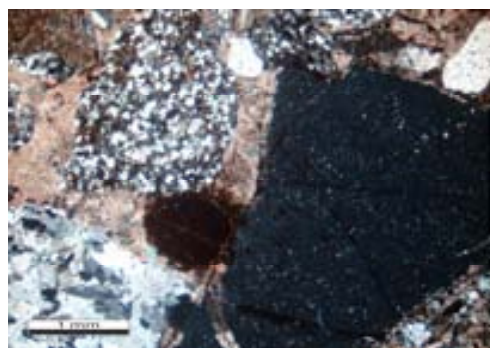
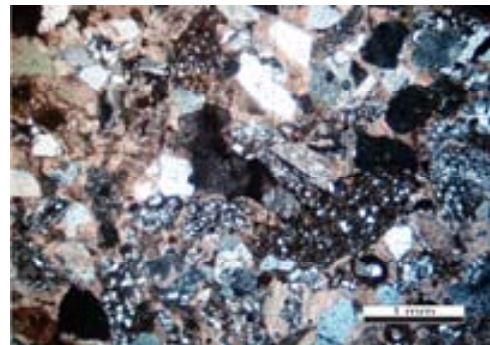
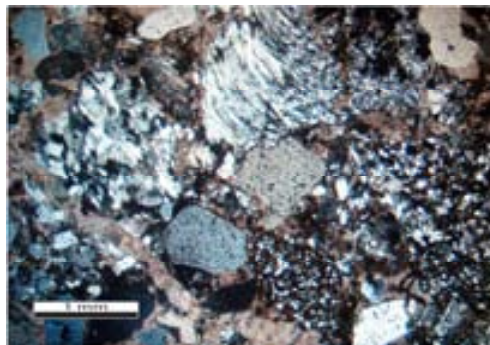
TEXTURA: El tamaño de grano de la muestra varía de 0.7 cm a 0.2 mm, clasificándola como una arenisca gruesa (litarenita), los clastos están muy mal clasificados, de subredondeados a muy angulosos, con formas subesféricas, discoidales e irregulares en una matriz micrítica calcárea (24%). Los contactos entre los granos son principalmente alargados pero también hay puntuales y cóncavo-convexos, formando una fábrica poco compacta (A,D).

COMPOSICIÓN: El cuarzo en ésta muestra es monocristalino de extinción recta con vacuolas y microlitos, cuarzo monocristalino de extinción ondulante y también hay fragmentos de cuarzo policristalino de extinción ondulante (14%). El

feldespato potásico e escaso y las plagioclasas (principalmente albita), se encuentran en aún más baja proporción (4%).

Los fragmentos líticos son los más abundantes (56%) y de diversas fuentes; existen clastos de esquistos de muy bajo grado (B,D), areniscas de grano medio y de grano fino muy abundantes (A,B,C,D), fragmentos ígneos intrusivos principalmente de cuarzo policristalino de extinción ondulante con feldespato (A, C), fragmentos volcánicos de composición argilítica con poca plagioclasa (C), fragmentos de pedernal ó vidrio volcánico y clastos de composición casi totalmente calcárea debido al reemplazamiento. El mineral accesorio principal son las arcillas (2%).

DIAGÉNESIS: El grado de intemperismo de ésta muestra es bajo, existen fracturas rellenas de carbonato de calcio, pequeñas fracturas con material arcilloso y óxido de hierro, clastos argilíticos con bastantes manchas de óxidos de hierro previamente alterados y fracturados (C) y abundante reemplazamiento de algunos clastos por carbonato, arcillas y óxidos.



Fotomicrografías de la muestra 226

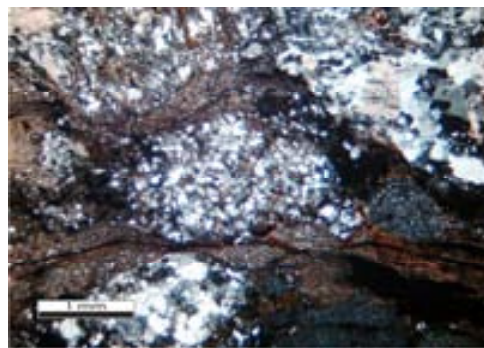
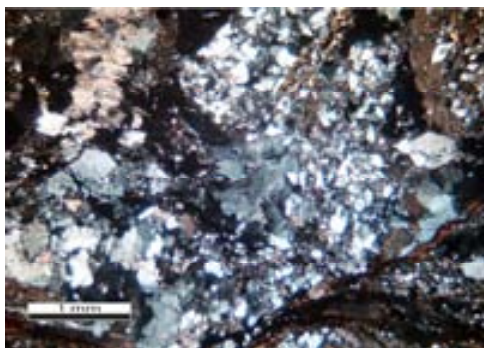
Muestra 224 (facies AF4 formación La Peña Azul)

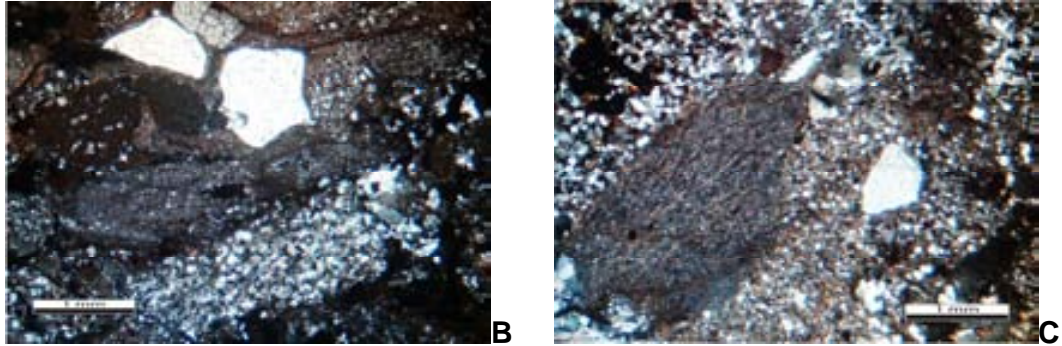
TEXTURA: El tamaño de grano varía desde 1 cm a 0.5 mm, clasificándola como una arenisca conglomerática-conglomerado (litarenita), los granos están muy mal seleccionados, de subangulosos a redondeados, con formas discoidales y subesféricas en una matriz detrítica fina (10%). Los contactos entre los granos son alargados principalmente y cóncavo-convexos, formando una fábrica poco compacta.

COMPOSICIÓN: El cuarzo en esta muestra es monocristalino de extinción recta con vacuolas y microlitos, monocristalino de extinción ondulante y policristalino de extinción ondulante (6%) (A). El feldespato potásico además de en fragmentos, se encuentra en pertitas y las plagioclasas (principalmente albita) son escasas (1%).

Los fragmentos líticos son los más abundantes (69%) y se componen de líticos volcánicos argilíticos con plagioclasas alargadas (C), areniscas de grano fino y de grano medio (B,C), fragmentos ígneos intrusivos de cuarzo con feldespato (A,B), fragmentos de esquisto de bajo grado (D) y algunos fragmentos de pedernal ó vidrio volcánico. Las arcillas son el mineral accesorio principal (14%).

DIAGÉNESIS: La muestra tiene un grado de intemperismo alto, existe un abundante fracturamiento por cizalla aparentemente formando algunos porfidoclástos con arcillas y óxidos de hierro (B), además de reemplazamiento de algunos fragmentos líticos con carbonato.





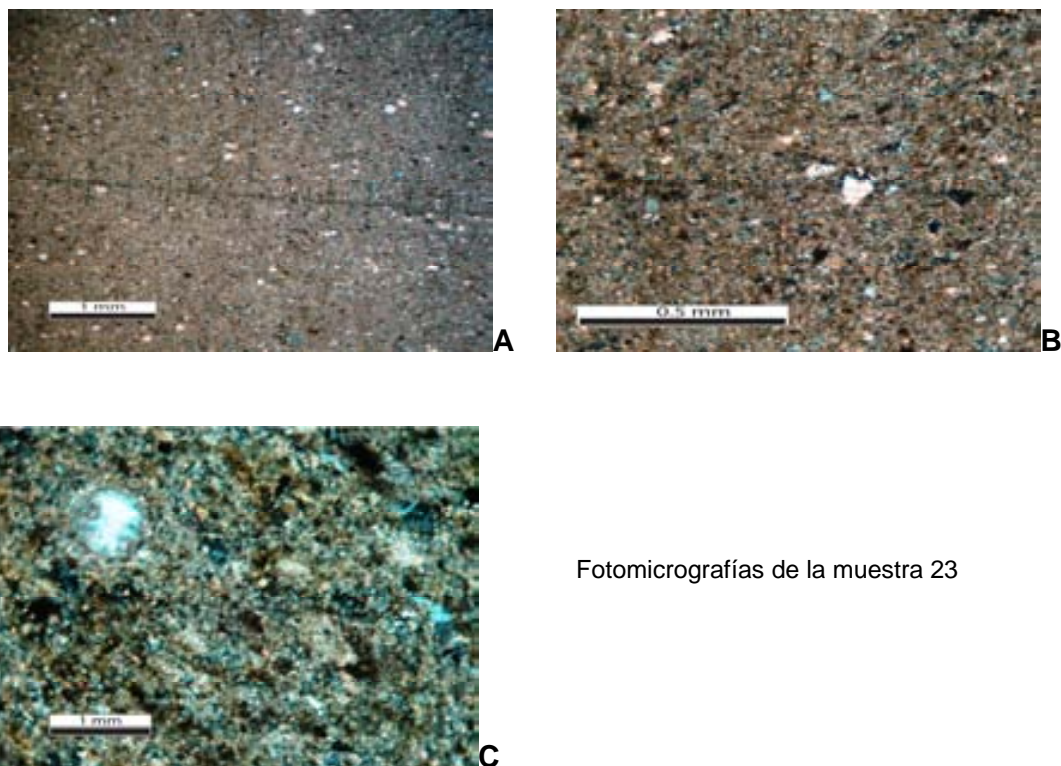
Fotomicrografías de la muestra 224

Muestra 23 (facies AF4 formación La Peña Azul)

TEXTURA: El tamaño de grano en esta muestra va de 0.01 hasta 0.025 mm, clasificándolo como una limolita calcárea (wakestone de intraclastos), con clastos muy bien seleccionados y de subredondeados a bien redondeados con formas discoidales y esféricas en una matriz micrítica muy fina (70%). Los granos no alcanzan a estar en contacto y se nota cierta orientación horizontal en la fábrica de la muestra (A,B) que pudiera haberse generado por la foliación que muestra a nivel macroscópico.

COMPOSICIÓN: La matriz ocupa la mayor parte de la lámina (A). Existe principalmente cuarzo monocristalino de extinción recta con algunas vacuolas (C) y cuarzo policristalino de extinción ondulante (10%). Por lo pequeño de los clastos no se puede distinguir con claridad si hay feldespato potásico aunque parece que haber pocos, muy pequeños e irregulares (B). Los fragmentos de roca consisten en clastos de cuarzo policristalino con lo que parece ser feldespatos (5%) (C). Además hay óxidos de hierro y minerales arcillosos (15%)

DIAGÉNESIS: La roca esta moderadamente intemperizada, tiene fracturas rellenas de carbonato de calcio y bastantes puntos con óxidos de hierro, además hay bastante recristalización de la matriz calcárea, las fracturas provocadas por la foliación favorecen el desarrollo de los óxidos y de algunos minerales arcillosos.



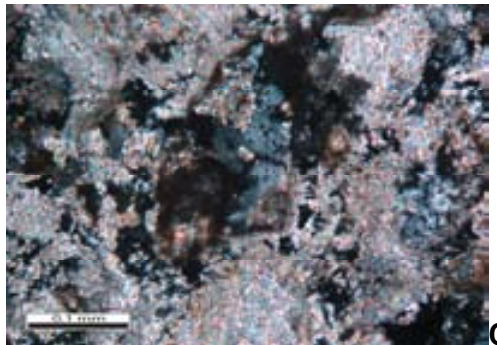
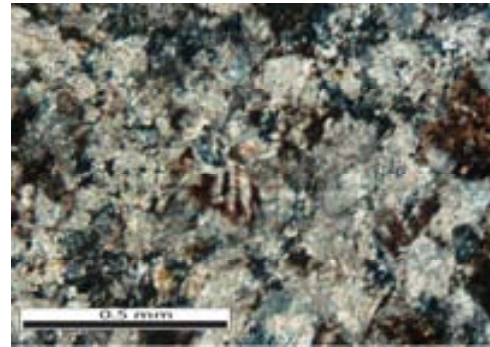
Fotomicrografías de la muestra 23

Muestra 137 (facies AF4 formación La Peña Azul)

TEXTURA: El tamaño de grano en esta muestra es muy fino los clastos más pequeños son menores a 0.01 mm y los mas grandes cercanos a 0.45 mm, clasificándolo como un wackestone de intraclastos, con clastos bien seleccionados. Además de que la matriz micrítica es lo que más abunda, por lo que los granos no están en contacto y llega a cubrir parcialmente los componentes de esta roca (A).

COMPOSICIÓN: Se alcanzan a distinguir granos de cuarzo monocristalino de extinción recta (5%) (B) y algunos líticos ígneos con plagioclasa, no se aprecian formas y tipos (10%) (B,C). La matriz de carbonato de calcio es casi el 85% aproximadamente de esta muestra, se trata de una caliza de textura ligeramente arenosa.

DIAGÉNESIS: El grado de intemperismo de esta muestra es alto y se observa abundante recristalización de la matriz micrítica a calcita espática, además hay abundantes óxidos de hierro distribuidos en toda la muestra (A,B).



Fotomicrografías de la muestra 137

Muestra 16 (facies AF4 formación La Peña Azul)

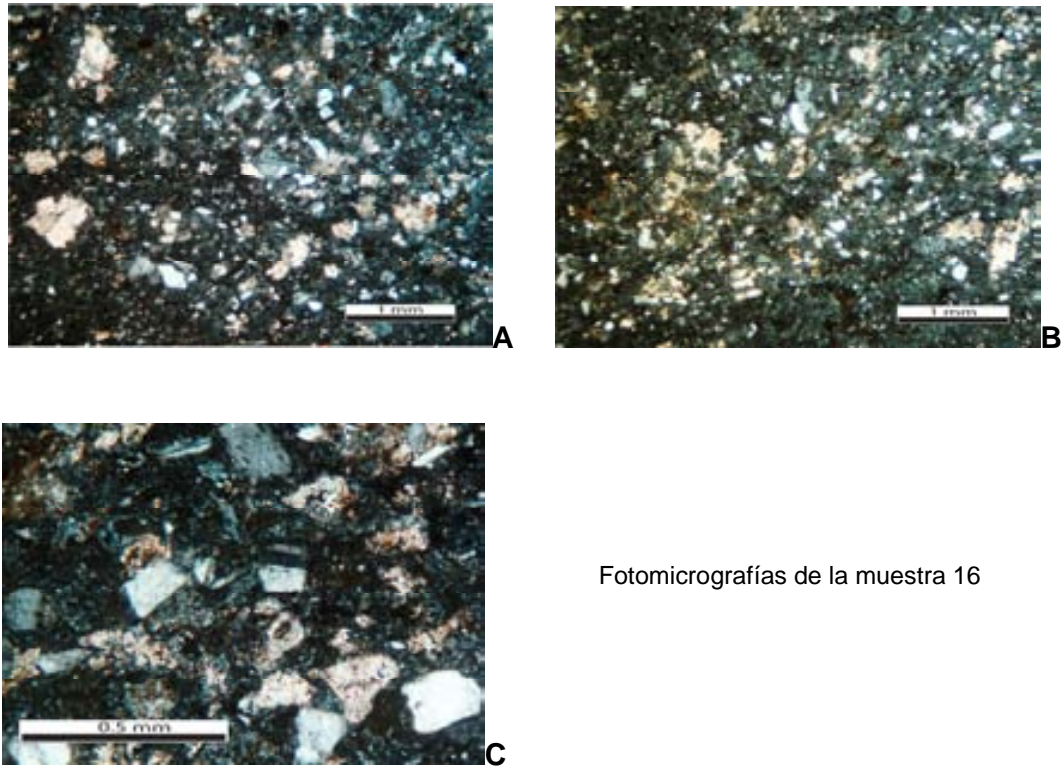
TEXTURA: Los granos varían en tamaño de 0.02 hasta 0.6 mm, equivalente a arenisca media (arenita feldespática), moderadamente seleccionados, de muy angulosos a subredondeados y con formas irregulares, discoidales y algunos subesféricos. La matriz es detrítica fina (30%), en partes reemplazada por carbonatos. Pocos granos están en contacto, la mayoría son puntuales y algunos alargados (A,B).

COMPOSICIÓN: Esta muestra presenta cuarzo monocristalino de extinción recta con vacuolas y microlitos y cuarzo policristalino de extinción ondulante (30%) (C). El feldespato potásico de esta muestra está muy alterado y algunos cristales presentan inclusiones, las plagioclasas (albita-andesina) son muy abundantes y se presentan en clastos alargados, redondeados y algunos están intercrecidos (25%) (C).

Los fragmentos de roca se componen de líticos ígneos (felsita, espilita y traquita) (15%).

DIAGÉNESIS: La muestra presenta una diagénesis moderada y abundante reemplazamiento de la matriz por carbonato de calcio micrítico (A,B) y poco espático, también tiene óxidos de hierro entre las fracturas y minerales

arcillosos. Los cuarzos, feldespatos y plagioclasas presentan algunos puntos de alteración.



Fotomicrografías de la muestra 16

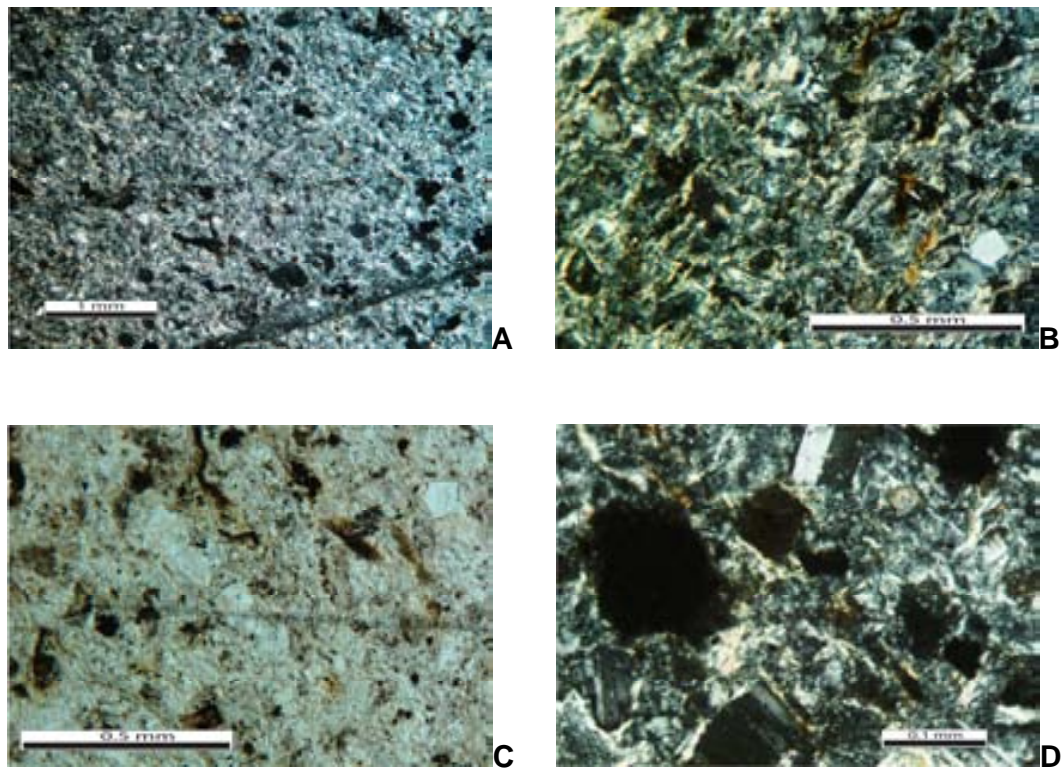
Muestra 47 (facies AF4 formación La Peña Azul)

TEXTURA: El tamaño de grano en esta muestra varía de 0.02 hasta 0.75 mm, equivalente a arenisca media (arcosa lítica), los clastos están mal seleccionados, de angulares a redondeados y con formas irregulares y tabulares, en una matriz detrítica fina muy alterada (30%) (A). Los contactos entre granos son principalmente puntuales, alargados y muy pocos cóncavo-convexos.

COMPOSICIÓN: Los cuarzos en esta muestra son monocristalinos de extinción recta con vacuolas y microlitos, que son el tipo más abundante y pocos monocristalinos de extinción ondulante (D) (20%). Hay también cuarzo policristalino de extinción ondulante y algo de calcedonia; cuarzo policristalino de extinción radial. Contiene pocos cristales de feldespato potásico que, por su pequeño tamaño y alteración es difícil distinguirlos. Las plagioclasas son muy abundantes y oscilan entre albita-andesina (B,C) (30%).

Los fragmentos líticos consisten en clastos volcánicos (espilita, felsita y traquita), los cuales son muy abundantes (20%).

DIAGÉNESIS: Esta roca está sumamente alterada, parece estar afectada por procesos de cizalla, hay abundantes minerales arcillosos y sericita entre la matriz y entre las fracturas, también se observaron fragmentos líticos totalmente reemplazados con óxidos de hierro (C). Hay poco carbonato de calcio relleno de fracturas.



Fotomicrografías de la muestra 47

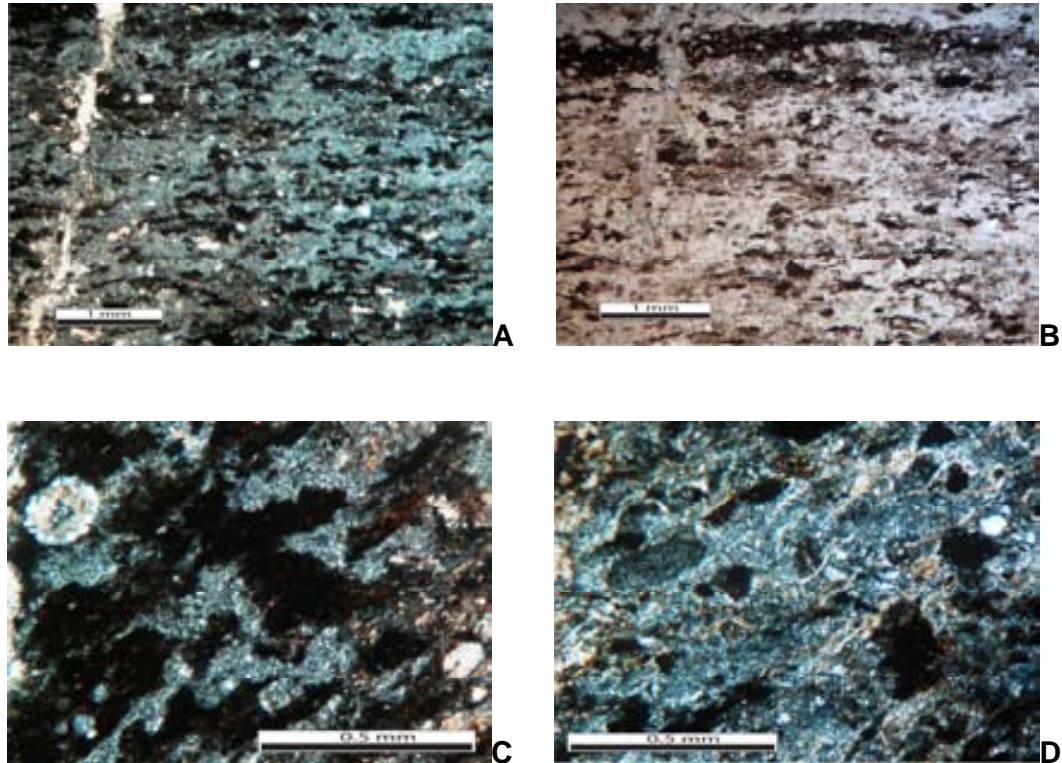
Muestra 46 (facies AF4 formación La Peña Azul)

TEXTURA Y COMPOSICIÓN: Es una caliza arenosa (wackestone de intraclastos). Los escasos clastos varían en tamaño de 0.02 a 0.2 mm, los clastos están bien seleccionados, de muy angulosos a subredondeados con formas irregulares debido a la deformación que presenta. Los granos no están en contacto por la abundancia de la matriz (35%).

Hay cuarzo monocristalino de extinción recta con vacuolas en clastos muy pequeños, también hay cuarzo policristalino con extinción ondulante en formas completamente esféricas (15%) (A,D).

Los fragmentos de roca parecen ser ígneos muy alterados y reemplazados por arcillas y óxidos de hierro (20%) (C,D). El mineral accesorio autigénico más abundante es el óxido de hierro (B) (30%)

DIAGÉNESIS: Esta muestra esta muy deformada y presenta una recristalización-reeemplazamiento extensivo (D). Con abundantes minerales arcillosos y calcita que reemplazan matriz y clastos.



Fotomicrografías de la muestra 46

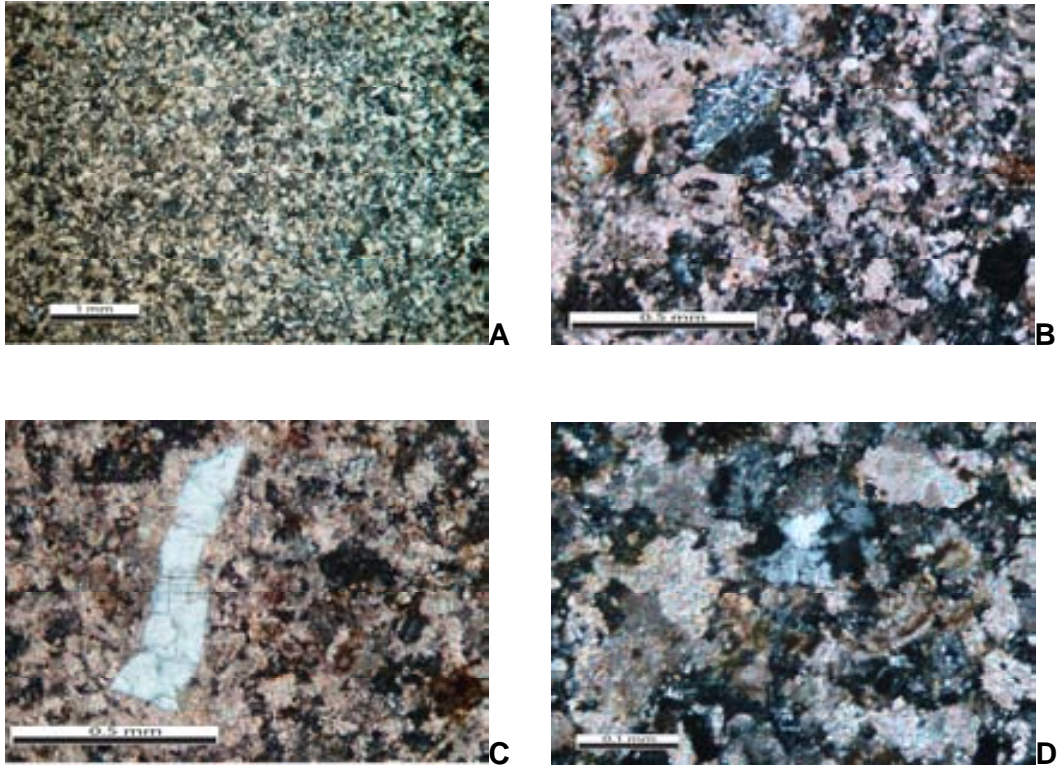
Muestra 158 (facies AF4 formación La Peña Azul)

TEXTURA: Es una caliza arenosa (wackestone de intraclastos) cuyo tamaño de grano es de 0.01 a 0.4 mm, bien seleccionados, de muy angulosos a subredondeados y con formas irregulares, en una matriz micrítica en partes recristalizada (70%). Los granos no se observan en contacto (A).

COMPOSICIÓN: El cuarzo presente en esta muestra es principalmente monocristalino de extinción recta con vacuolas y microlitos, pocos cristales de cuarzo monocristalino de extinción ondulante y de cuarzo policristalino (10%) (C). Se observan algunas plagioclasas muy pequeñas y reemplazadas por carbonato de calcio y arcillas, por lo que se dificulta identificar el tipo (5%).

Contiene abundantes fragmentos de roca ígnea (felsita y espilita) (15%)(B,D).

DIAGÉNESIS: La muestra esta bastante alterada, se observa extensa recristalización de la matriz a esparita, con texturas poikilitópicas, arcillas y óxidos de hierro entre ella (B,D).



Fotomicrografías de la muestra 158

Muestra 161 (facies AF4 formación La Peña Azul)

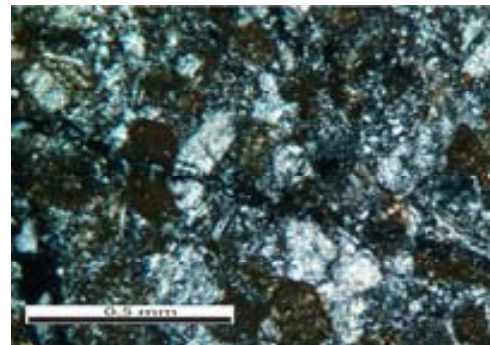
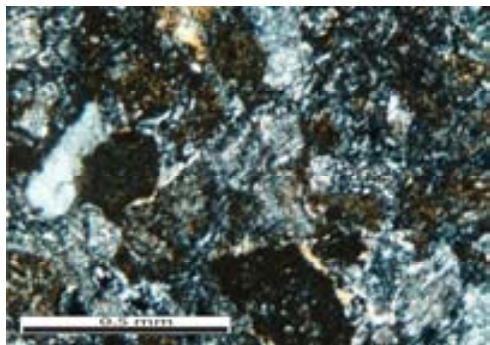
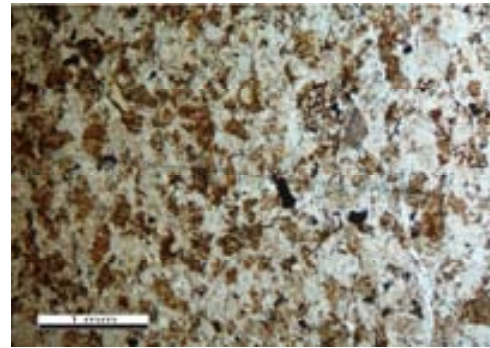
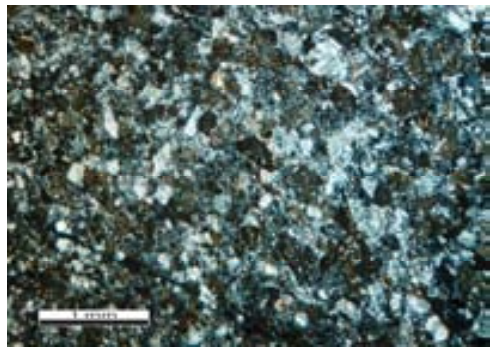
TEXTURA: El tamaño de grano varía de 0.05 hasta 0.5 mm, equivalente a arenisca media (arcosa lítica), granos moderadamente seleccionados, de muy angulosos a bien redondeados, con formas irregulares y esféricas en una matriz detrítica fina con abundantes arcillas (20%) presentando una ligera alineación paralela de los granos provocada por cizalla (A). Los contactos entre los granos son puntuales y alargados.

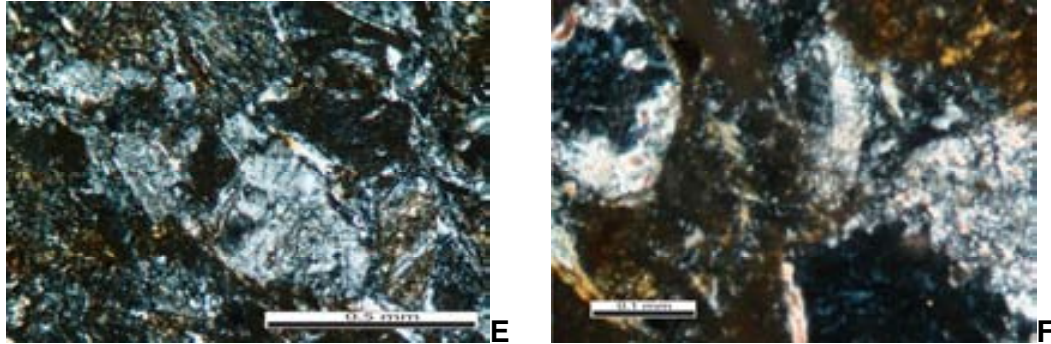
COMPOSICIÓN: El cuarzo presente es monocristalino de extinción recta con vacuolas y microlitos, pocos de cuarzo monocristalino de extinción ondulante y de cuarzo policristalino de extinción ondulante (C) (15%).

El feldespato potásico se encuentra bastante alterado y las plagioclasas conservan su forma tabular, aunque presenta mayor alteración y no se distingue con claridad el tipo (D,E) (30%).

Los fragmentos líticos consisten en clastos de origen volcánico (felsitas, espilita y traquita) (C,D,F). Algunos de éstos líticos presentan abundante óxido de hierro y minerales arcillosos (20%). Los minerales accesorios auigénicos principales son las arcillas y la sericita (15%).

DIAGÉNESIS: La muestra tiene una diagénesis considerable y está afectada por cizallamiento; fracturada y con reemplazamiento de la matriz y algunos clastos por minerales arcillosos y óxidos de hierro (D, F). Presenta fracturas rellenas de cuarzo.





Fotomicrografías de la muestra 161

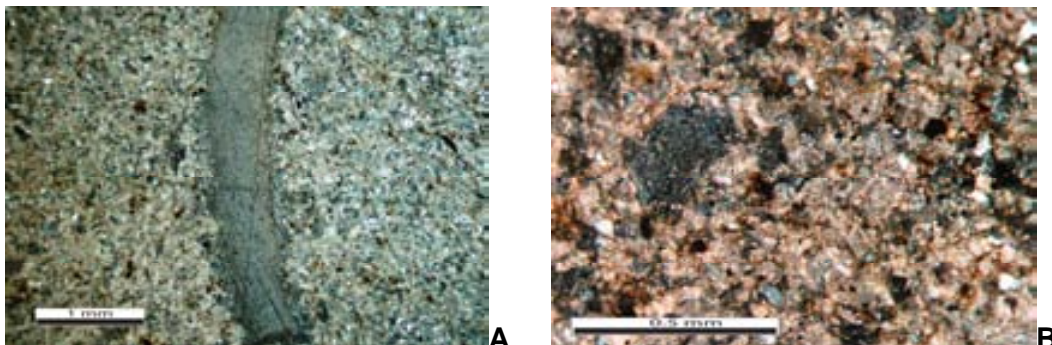
Muestra INT (facies AF4 formación La Peña Azul)

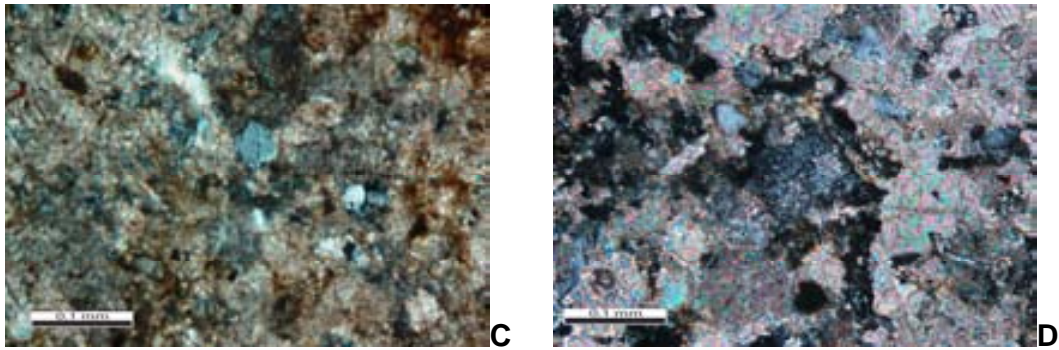
Esta muestra se tomo de pequeñas concreciones arenosas muy finas que se encuentran en las areniscas calcáreas de la asociación de facies 4 (AF4).

TEXTURA: El tamaño de grano va de 0.02 hasta 0.1 mm, equivalente a un wackestone de intraclastos, con granos bien seleccionados, de angulosos a subredondeados y con formas irregulares, discoidales y subesféricos en una matriz predominante micrítica, en partes recristalizada (70%) por lo que los granos no están en contacto y algunos bioclastos son visibles pero no identificables (A).

COMPOSICIÓN: El cuarzo presente es monocristalino de extinción recta, algunos con vacuolas y se alcanzan a distinguir algunos fragmentos pequeños de cuarzo policristalino de extinción ondulante (C,D) (15%). No se logró identificar feldespato potásico y las plagioclasas son muy pequeñas y bastante escasas, además de difíciles de precisar (B,D) (5%). Se observan bioclastos no identificables de carbonato de calcio (A) (10%).

DIAGÉNESIS: La muestra esta poco alterada y sólo presenta algunas recristalizaciones en la matriz y puntos de óxidos de hierro pequeños.





Fotomicrografías de la muestra Intra

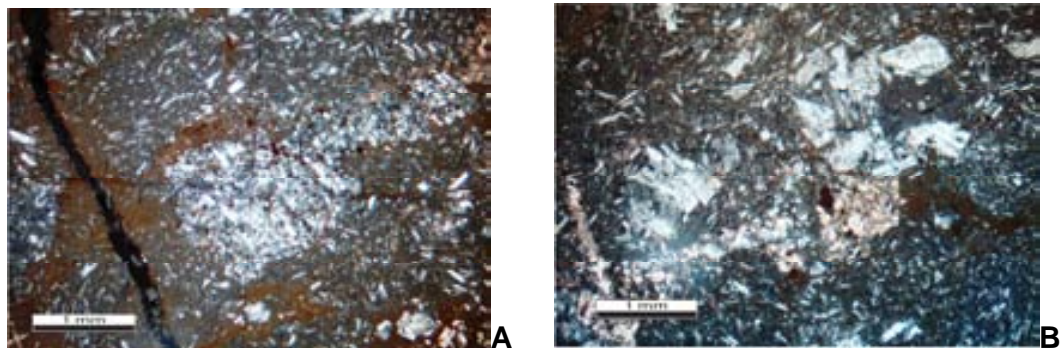
Muestra 231 (facies AF4 formación La Peña Azul)

Ésta muestra se tomó de un horizonte tobáceo interestratificado con las areniscas de las partes superiores de la asociación de facies AF4.

TEXTURA: El tamaño de los granos van de 5 mm a 0.04 mm, clasificándola como una toba andesítica gruesa, con granos mal seleccionados, de angulosos a subredondeados en una matriz fina de textura traquítica (A,B).

COMPOSICIÓN: La matriz traquítica es predominante. Ésta muestra contiene muy poco cuarzo monocristalino de extinción recta con algunas vacuolas. El feldespato potásico es bastante escaso y abundan las plagioclasas (andesinas principalmente) de formas alargadas (B).

DIAGÉNESIS: El grado de diagénesis de ésta muestra es moderado y presenta fracturas rellenas de carbonato. Los pocos feldespatos potásicos y las plagioclasas están reemplazadas parcialmente con material arcilloso y algunos otros con óxidos de hierro (A), también hay abundantes minerales arcillosos y óxidos entre la matriz.



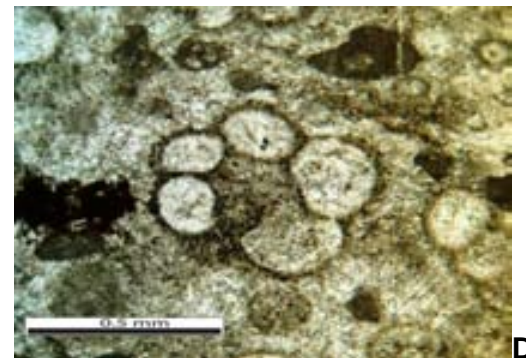
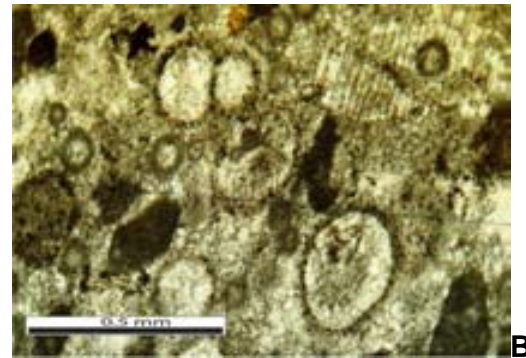
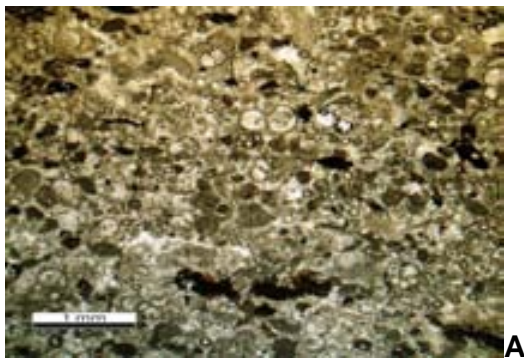
Fotomicrografías de la muestra 231

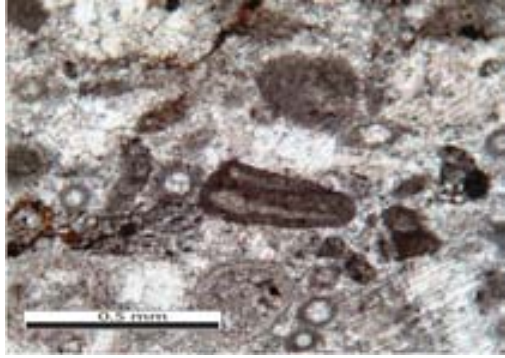
Muestra 225 (facies TS1 Fm. Tamaulipas Superior)

TEXTURA Y COMPOSICIÓN: Esta muestra se compone de lodo calcáreo (micrita) con abundantes microfósiles flotando en la matriz (50%), clasificándolo como un wackestone de foraminíferos (A). Los microfósiles son los principales componentes de ésta muestra, además de los escasos intraclastos que presenta, se identificaron principalmente foraminíferos planctónicos (globigerinas) (D), foraminíferos bentónicos uniseriales (B,E), pequeños fragmentos de moluscos (E), calciesferas y parece haber radiolarios totalmente calcificados (espumeláridos).

Esta muestra se compone principalmente de carbonato micrítico, escasos fragmentos muy pequeños de cuarzo monocristalino de extinción recta y posible feldespato potásico, además de escaso pedernal (A) (menos del 5%).

DIAGÉNESIS: La muestra presenta recristalización de la matriz calcárea y de algunos bioclastos por calcita espática, con fracturas rellenas de carbonato de calcio y algunas fracturas menores con arcillas y óxidos de hierro.





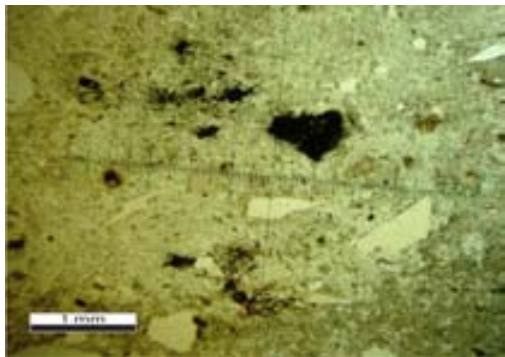
Fotomicrografías de la muestra 225

E

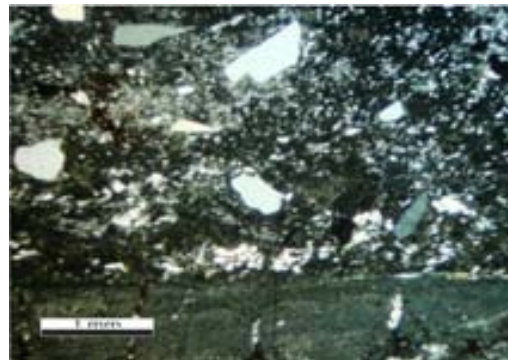
Muestra 94 (Cenozoico volcánico)

Esta muestra corresponde a las rocas volcánicas cenozoicas aflorantes dentro del área de estudio, por lo que se presenta una breve descripción petrográfica.

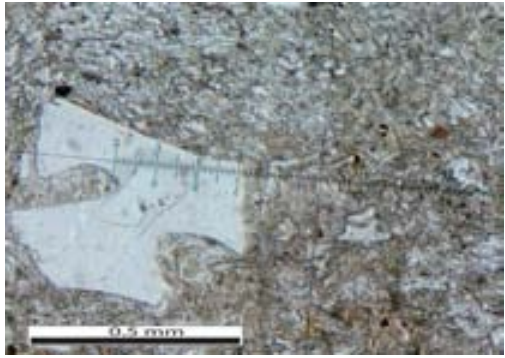
Esta roca tiene una matriz microcristalina de tonalidades verdosas con patrones fluidales (A,C). Contiene fenocristales grandes y muy abundantes de feldespato potásico (B, E) y cuarzo con bordes en bahías con microlitos y vacuolas (D), cuarzo policristalino con extinciones radiales y plagioclasas (andesina) muy escasa. La textura fluidal se define por el vidrio volcánico (A,B,C,D). Por sus características se clasifica como una lava riolítica-dacítica.



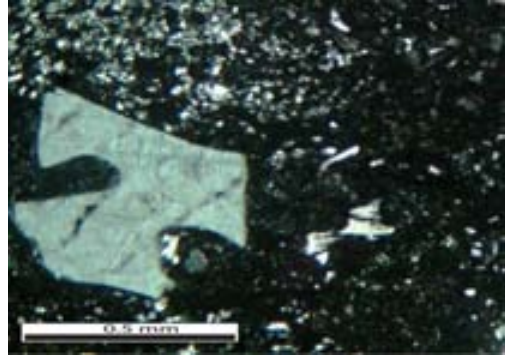
A



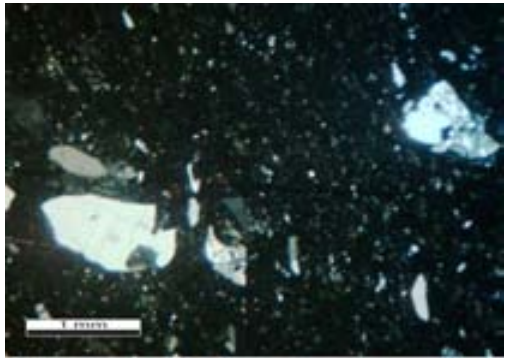
B



C



D



E

Fotomicrografías de la muestra 94



SIMBOLOGÍA

CENOZOICO VOLCÁNICO

- D** Dacita
- R-tr** Riolita-Toba Riolítica

FM. TAMAULIPAS SUPERIOR (Albiano-Cenomaniano)

- TS1** Caliza con pedernal

FM. LA PEÑA AZUL (Cretácico Inferior)

- AF4** Arenas, areniscas calcáreas y conglomerados
- F3** Lutitas, areniscas
- F2** Areniscas calcáreas y calizas
- AF1** Debris calcáreos, caliza

FM. SAN JUAN DE LA ROSA (Jurásico Superior)

- SJR2** Areniscas feldespáticas volcanoclásticas
- SJR1** Caliza arenosa, lutita calcárea
- A-SJ** Andesita

COMPLEJO EL CHILAR (pre-Jurásico Superior)

- CH** Areniscas cuarcíticas y lutitas

- Acuñamiento de unidades
- Falla Inversa ó cabalgadura
- Falla normal
- Falla lateral
- Falla lateral
- Rumbo y echado
- Río
- Camino
- Muestra analizada
- Columnas levantadas

0 100 200 metros

Proyección UTM, Elipsoide GRS80, DATUM WGS84
Base topográfica tomada de INEGI

Esc. 1:5000

