



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS DE LA TIERRA
INSTITUTO DE GEOLOGÍA
CAMPO DE CONOCIMIENTO: GEOLOGÍA

**SEDIMENTOLOGÍA, PROCEDENCIA DEL RELLENO CLÁSTICO Y EVOLUCIÓN
TECTONOSEDIMENTARIA DE LA CUENCA TEPENENE, SUR DE PUEBLA,
MÉXICO**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

PRESENTA:

Yoalli Bianii Hernández Marmolejo

TUTOR:

Dr. Gilberto Silva Romo
(Facultad de Ingeniería, UNAM)

Miembros del comité:

Dr. Enrique A. González Torres (Facultad de Ingeniería, UNAM)
Dr. Gustavo Tolson Jones (Instituto de Geología, UNAM)
Dr. Michelangelo Martini (Instituto de Geología, UNAM)
Dr. Timothy F. Lawton (Centro de Geociencias, UNAM)

Ciudad de México, 2017
Septiembre



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

Declaro conocer el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, plasmado en la Legislación Universitaria. Con base en las definiciones de integridad y honestidad ahí especificadas, aseguro mediante mi firma al calce que el presente trabajo es original y enteramente de mi autoría. Todas las citas de, o referencias a, las obras de otros autores aparecen debida y adecuadamente señaladas, así como acreditadas mediante los recursos editoriales convencionales.

Atentamente

Yoalli Bianii Hernández Marmolejo

Septiembre, 2017

AGRADECIMIENTOS

Investigación realizada gracias al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la UNAM IN114613. Agradezco al CONACyT y a la DGAPA-UNAM por la beca recibida.

Agradezco al Dr. Gilberto Silva Romo, responsable del proyecto, quien me guio durante la realización de este trabajo. Por la confianza, paciencia, ayuda, por el tiempo, las experiencias y por compartir sus conocimientos conmigo, GRACIAS.

A los revisores, Dr. Enrique González Torres, Dr. Gustavo Tolson, Dr. Michelangelo Martini, Dr. Timothy Lawton, Dra. Claudia Mendoza, por ayudar a enriquecer y mejorar este trabajo.

A los participantes en el proyecto IN114613 por su apoyo para realizar esta investigación, Dra. Claudia Mendoza, M. en C. Emiliano Campos, Carlos Bonifacio S., Alam de la Torre G. (del pasado), Nallely López, Orestes de la Rosa.

A mis padres y hermana, por sus comentarios que me obligaron a ser algo que ustedes jamás esperaron de mí.

A Adriana Gómez, Sandra Mota, Maricela y Oscar González, por iniciar este camino juntos y estar siempre a mi lado.

José Luis Arcos, por su apoyo incondicional, por estar en las buenas y en las malas. Gracias.

A la Dra. Teresa Pi, Noé Santillán, Alfredo Victoria, Mayumy Cabrera, Gabriela Campirano, Eduardo Islas, Emmanuel Díaz, Elder, Alberto Romero, Zulleyka Hoyo, Ariz Canseco, Priscila Medina, Rodrigo Gutiérrez, Mildred Zepeda, a los que me regalaron de imágenes y a todos los que directa o indirectamente estuvieron presentes en este camino, gracias.

Yoalli Hdz

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.2. HIPÓTESIS	4
1.3. OBJETIVOS	4
1.4. METAS	4
1.5. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	5
2. METODOLOGÍA DE TRABAJO	6
2.1. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN PREVIA	6
2.2. CARTOGRAFÍA	6
2.3. MEDICIÓN DE COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS	7
2.4. ANÁLISIS MODAL DE LOS CONGLOMERADOS	7
2.5. SEPARACIÓN DE MINERALES, MUESTREO PARA CIRCONES.....	8
2.6. FECHAMIENTO POR LA-ICPMS	8
2.7. ESTUDIOS PETROGRÁFICOS	9
2.8. ANÁLISIS DE FACIES	10
2.9. ANÁLISIS CINEMÁTICO DE ESTRUCTURAS	10
2.10. MARCO TEÓRICO	11
3. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL	20
3.1. COMPLEJO ACATLÁN	21
3.2. FORMACIÓN PATLANOAYA	22
3.3. FORMACIÓN TECOMAZÚCHIL?	22
3.4. FORMACIÓN MORELOS	23
3.5. FORMACIÓN EL GATO.....	23
3.6. FORMACIÓN TEPEXCO	23
3.7. ANTECEDENTES DE LA FORMACIÓN RABOSO.....	24
4. RESULTADOS DE CAMPO.....	26
4.1. LITOFACIES	26
4.2. ASOCIACIÓN DE FACIES	27
4.3. COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS.....	31
4.4. DESCRIPCIÓN DE COLUMNAS MEDIDAS	32
4.5. ANÁLISIS MODALES DE CONGLOMERADO.....	38
5. ESTRATIGRAFÍA DE LA CUENCA TEPENENE.....	52
5.1. FORMACIÓN RABOSO.....	52
5.2. PÓRFIDO TEPENENE	54
5.3. INTRUSIVO ABELARDO RODRÍGUEZ.....	56
5.4. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO	58
6. GEOCRONOLOGÍA.....	59

6.1.	MUESTRA TEP-06	63
6.2.	MUESTRA CTPNN-46	66
6.3.	MUESTRA TEP-07	66
6.4.	MUESTRA CTPNN-36	66
6.5.	MUESTRA CTPNN-51	67
7.	PROCEDENCIA.....	68
7.1.	MIEMBRO LOS AMATES	68
7.2.	MIEMBRO LA PALMA.....	70
8.	ESTRUCTURA GEOLÓGICA.....	72
8.1.	ENTORNO TECTÓNICO.....	72
8.2.	ESTRUCTURAS MAYORES QUE DIERON ORIGEN A LA CUENCA TEPENENE.....	74
8.3.	FALLAS LATERALES	74
8.4.	FALLAS NORMALES	75
8.5.	ESTRUCTURAS MENORES.....	76
8.6.	OTRAS ESTRUCTURAS MAYORES EN EL ÁREA DE ESTUDIO.	78
8.7.	ESTRUCTURAS INTRUSIVAS	79
8.8.	DEFORMACIÓN EN EL PÓRFIDO TEPENENE.....	81
9.	EVOLUCIÓN DE LA CUENCA TEPENENE	84
10.	CONCLUSIONES.....	96
11.	REFERENCIAS.....	98
	ANÁLISIS U-PB DE CIRCONES.....	103
	ANÁLISIS MODALES DE CONGLOMERADOS.....	114

TABLA DE FIGURAS

FIGURA 1.1. LOCALIZACIÓN Y VÍA DE ACCESO DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	5
FIGURA 2.1. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO EN EL MARCO DE REFERENCIA DE LAS CARTAS TOPOGRÁFICAS 1:50000 EN LA PROYECCIÓN UTM.....	6
FIGURA 2.2. TAMIZADO DE MUESTRAS PARA OBTENCIÓN DE FRACCIONES 100, 200 Y <200.....	8
FIGURA 2.3. SEPARACIÓN DE MINERALES PESADOS MEDIANTE EL SEPARADOR HIDRÁULICO Y VIBRATORIO.....	8
FIGURA 2.4. MICROSCOPIO ESTEREOSCÓPICO	10
FIGURA 2.5. INDICADORES CINEMÁTICOS RECONOCIDOS EN ESTE TRABAJO. DOBLAS (1998).....	11
FIGURA 2.6. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UN ABANICO ALUVIAL. (COLOMBO, 2010)	12
FIGURA 2.7. ESQUEMA EN PLANTA Y PERFIL DE UN ABANICO ALUVIAL, (COLOMBO, 2010).....	13
FIGURA 2.8 ESQUEMA IDEALIZADO DE UNA CUENCA PULL-APART, MODIFICADA DE CROWELL (1974).....	16
FIGURA 3.1. MAPA GEOLÓGICO DEL SUR DE MÉXICO, ENMARCANDO LAS CUENCAS CENOZOICAS. TOMADO DE SILVA-ROMO ET.AL. (SOMETIDO).	20
FIGURA 3.2. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO EN EL MARCO DE REFERENCIA DE LOS TERRENOS TECTONOESTRATIGRÁFICOS (SEDLOCK, 1993).	21
FIGURA 4.1. COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS MEDIDAS	28
FIGURA 4.2. . DETALLE DEL CORTE CARRETERO DONDE SE MIDió LA COLUMNA ESTRATIGRÁFICA 1.	29
FIGURA 4.3. DETALLE DE LA COLUMNA ESTRATIGRÁFICA 2.....	30
FIGURA 4.4. A DETALLE DE LA COLUMNA ESTRATIGRÁFICA 6.....	30
FIGURA 4.5. DETALLE DE LA COLUMNA ESTRATIGRÁFICA 6.....	31
FIGURA 4.6 UBICACIÓN DE LAS COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS MEDIDAS A LO LARGO DE LA CARRETERA 190.....	32
FIGURA 4.7. DETALLES DE LA COLUMNA 1.....	33
FIGURA 4.8. DETALLES DE LA COLUMNA 3.....	35
FIGURA 4.9. DETALLE EN LA COLUMNA 4.....	36
FIGURA 4.10. FACIES EN EL PAQUETE BASAL DE LA COLUMNA	36
FIGURA 4.11. NIVEL ANTERIOR A LA DISCORDANCIA EN EL CONJUNTO BASAL DE LA COLUMNA 6.....	37
FIGURA 4.12. PORCENTAJES DE CLASTOS Y ESTACIONES DE CONTEO EN LA COLUMNA 1.....	40
FIGURA 4.13. PORCENTAJES DE CLASTOS Y ESTACIONES DE CONTEO EN LA COLUMNA 2.....	41
FIGURA 4.14. PORCENTAJES DE CLASTOS Y ESTACIONES DE CONTEO EN LA COLUMNA 3.....	43
FIGURA 4.15. PORCENTAJES DE CLASTOS Y ESTACIONES DE CONTEO EN LA COLUMNA 4.....	44
FIGURA 4.16. PORCENTAJES DE CLASTOS Y ESTACIONES DE CONTEO EN LA COLUMNA 5.....	45
FIGURA 4.17. PORCENTAJES DE CLASTOS Y ESTACIONES DE CONTEO EL MIEMBRO LOS AMATES EN LA COLUMNA 6.....	47
FIGURA 4.18. PORCENTAJES DE CLASTOS Y ESTACIONES DE CONTEO EN EL MIEMBRO LA PALMA N LA COLUMNA 6.	49
FIGURA 4.19. PORCENTAJES DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES EN CADA COLUMNAS ESTRATIGRÁFICA, SE ENCUENTRAN EN SENTIDO NORTE-SUR.....	50
FIGURA 4.20. TAMAÑO DE LOS CLASTOS DEL COMPONENTE PRINCIPAL EN CADA COLUMNA ESTRATIGRÁFICA.	51
FIGURA 5.1. SECCIONES DELGADAS DE LA MUESTRA DEL PÓRFIDO TEPENENE	54
FIGURA 5.2. BANDEAMIENTOS Y FOLIACIÓN PRIMARIA EN EL PÓRFIDO TEPENENE.	55
FIGURA 5.3. AUTOBRECHAS EN EL PÓRFIDO TEPENENE.....	56
FIGURA 5.5. INTRUSIVO ABELARDO RODRÍGUEZ, AFLORAMIENTO EN LA LOCALIDAD DE CERRO COLORADO.....	57
FIGURA 5.6. SECCIÓN DELGADA DEL INTRUSIVO ABELARDO RODRÍGUEZ.....	57
FIGURA 5.7. COLUMNA ESTRATIGRAFICA DE LA CUENCA TEPENENE.....	58
FIGURA 6.1. UBICACIÓN DE LAS MUESTRAS FECHADAS POR EL MÉTODO U-Pb.....	60
FIGURA 6.2. EDADES PROMEDIO OBTENIDAS PARA CADA MUESTRA.....	61
FIGURA 6.3. DIAGRAMA DE CONCORDIA DE WETHERILL DE LAS MUESTRAS FECHADAS PARA ESTE TRABAJO	62
FIGURA 6.4. POBLACIONES DE CIRCONES POR MUESTRA, IMÁGENES DE CATODOLUMINISCENCIA	64
FIGURA 7.1. P ROCEDENCIA DE LOS CLASTOS QUE PREDOMINAN EN EL MIEMBRO LOS AMATES	69
FIGURA 7.2. PROCEDENCIA DE LOS CLASTOS QUE PREDOMINANTES EN EL MIEMBRO LA PALMA	71

FIGURA 8.1. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO EN EL MARCO DE LOS TERRENOS TECTONOESTRATIGRÁFICOS LIMITADOS POR LAS FALLAS REGIONALES.....	72
FIGURA 8.2. ESQUEMA ESTRUCTURAL DE LAS CUENCAS TEPENENE Y TEHUITZINGO..	73
FIGURA 8.3. MAPA DE LA CUENCA TEPENENE DESARROLLADA EN EL EXTREMO NORTE DEL SISTEMA DE LAS CASITAS-JAULILLAS.	75
FIGURA 8.4. IMAGEN ESTEREOSCÓPICA DE CLASTO DISLOCADO EN LA COLUMNA ESTRATIGRÁFICA 2	76
FIGURA 8.5. DIAGRAMA DONDE SE MUESTRA EL PLANO DE DESPLAZAMIENTO EN LOS CLASTOS DE CALCÁREOS.....	77
FIGURA 8.6. DIAGRAMA DONDE SE MUESTRA EL PLANO DE UNA FALLA CONJUGADA A LA FALLA EL PALMAR, Y EL PITCH DE DOS FAMILIAS UNA CON DESPLAZAMIENTO NORMAL Y OTRA CON CINEMÁTICA IZQUIERDA	77
FIGURA 8.7. EN LA PARTE MÁS ALTA DEL MIEMBRO LA PALMA, FALLAS CON INDICADORES CINEMÁTICOS ST-03.	78
FIGURA 8.8. DIAGRAMA SE MUESTRAN LA TENDENCIA GENERAL DE LOS PLANOS DE FALLA INVERSA Y LOS INDICADORES CINEMÁTICOS CORRESPONDIENTES.....	78
FIGURA 8.9. EL PÓRFIDO TEPENENE PRESENTA DIQUES DE COMPOSICIÓN SEMEJANTE.....	80
FIGURA 8.10. MAPA DE LOS CUERPOS INTRUSIVOS DACÍTICOS.....	81
FIGURA 8.11. AUTOBRECHA Y SU ORIENTACION PREFERENCIA EN EL PÓRFIDO TEPENENE.....	82
FIGURA 8.12. DEFORMACIÓN DÚCTIL EN EL PÓRFIDO TEPENENE	82
FIGURA 8.13. FOLIACIÓN GENERAL DEL PÓRFIDO TEPENENE.	83
FIGURA 9.1. EDADES DE LAS MUESTRAS DE ROCAS ÍGNEAS FECHADAS POR EL MÉTODO U-Pb.....	85
FIGURA 9.2. ESTRUCTURAS DE LA CUENCA TEPENENE Y LAS DE LA CABECERA DE LA CUENCA TEHUITZINGO.....	85
FIGURA 9.3. MAPA REGIONAL. ESTRUCTURAS DE LA CUENCA TEPENENE Y LA CABECERA NORTE DE LA CUENCA TEHUITZINGO.	87
FIGURA 9.4. ROSETA ESTRUCTURAL, ALINEACIONES PRINCIPALES DE LOS CUERPOS INTRUSIVOS.....	88
FIGURA 9.5. DIAGRAMA DONDE SE MUESTRA EL PLANO DE LA FALLA EL PALMAR, Y EL PITCH DE DOS FAMILIAS CON DIFERENTE DESPLAZAMIENTO	88
FIGURA 9.6. DIAGRAMA ESTEREOGRÁFICO. FALLAS INVERSAS MENORES QUE AFECTAN A LA FORMACIÓN	89
FIGURA 9.7. DIAGRAMA ESTEREOGRAFICO. PLANO DE DESPLAZAMIENTO EN LOS CLASTOS DE CALCÁREOS.....	89
FIGURA 9.8. GRÁFICA COMPARATIVA DEL TAMAÑO DE LOS CLASTOS DE CALIZA VS DISTANCIA ENTRE LOCALIDADES DE COLUMNAS MEDIDA	91
FIGURA 9.9. PALEOCORRIENTES DEL MIEMBRO BASAL, SIN CORRECCIÓN ESTRUCTURAL.....	91
FIGURA 9.10. DISPERSIÓN DE LAS PALEOCORRIENTES MEDIDAS EN EL MIEMBRO LA PALMA	92
FIGURA 9.11. ESTRUCTURAS QUE FORMARON LA CUENCA TEPENENE.....	93
FIGURA 9.12. EMPALME DE DOS SISTEMAS DE FALLAS CONJUGADAS.....	95

RESUMEN

En este trabajo se propone designar como Formación Raboso a la sucesión conglomerática expuesta al sur de San Juan Raboso, municipio de Izúcar de Matamoros, Puebla. Para ello, se describen las facies de un abanico aluvial que, se infiere, representa el inicio del relleno de una cuenca del Eoceno tardío - Oligoceno temprano denominado Cuenca Tepenene. La caracterización tectono-sedimentaria y de procedencia se obtuvo con base en la medición detallada de seis columnas estratigráficas, el análisis cinemático de las fallas y el fechamiento mediante circones magmáticos de cinco unidades clave.

La Formación Raboso es una sucesión conglomerática con horizontes arenosos de color pardo rojizo tenue. Se proponen dos miembros para la Formación, los cuales se encuentran separados por una discordancia angular. El miembro basal, Los Amates, está compuesto por clastos de origen metamórfico con granulometría de gravas finas a medias. En tanto, el miembro cimero, La Palma, tiene matriz arenosa con clastos de caliza y de pórfido dacítico. Los clastos de caliza tienen tamaños de cantos y de bloques. En general, el conglomerado es masivo, pobremente seleccionado y soportado por matriz. Además, la Formación Raboso, está cubierta concordantemente por depósitos volcanoclásticos y piroclásticos para los que se obtuvo una edad U-Pb en circones magmáticos de 33.52 ± 0.32 Ma. Esta se considera la edad mínima de depósito de la Formación Raboso.

Para la determinación de la procedencia de los clastos en las columnas medidas se realizaron análisis modales de los conglomerados. Dichos análisis mostraron un decremento en el tamaño de los clastos de caliza hacia el sur en muy pocos kilómetros. Algunos canales y paleocorrientes indican que la dirección de flujo se produjo en ese mismo sentido. Así, se infiere que los clastos calcáreos proceden de los afloramientos de la Formación Morelos expuesta en el borde norte de la cuenca. Por otra parte, las paleocorrientes en el miembro La Palma indican una dirección al sur con una dispersión de 140° . De tal forma, se interpreta que la Formación Raboso se acumuló como abanicos aluviales con sus facies proximales en el sector norte de la Cuenca Tepenene.

Al norte de la cuenca se reconoce un cuerpo porfídico denominado Intrusivo Abelardo Rodríguez. Este cuerpo corta el basamento y es, posiblemente, el responsable de aportar los clastos de pórfido del miembro cimero. Los clastos de pórfido tienen una edad U-Pb en circones magmáticos de 136 ± 1 Ma.

La Cuenca Tepenene es una cuenca de tipo *pull-apart* alargada en sentido norte-sur. La cuenca está delimitada al norte por la falla Las Piedras y al sur por la Falla Las Piletas; ambas fallas son normales. En tanto, la cuenca se delimita al occidente por las Fallas Los Lobos-El Palmar y al oriente por las Fallas Las Casitas-Jaulillas; dichas fallas son laterales izquierdas. La cuenca se encuentra definida, en su mayor parte, en las rocas del Complejo Acatlán. En los sectores norte y sur de la cuenca se observan límites estructurales que, a su vez, alojan diques dacíticos, correlativos al tronco conocido como Pórfido Tepenene. Para este último se obtuvo una edad U-Pb de 31.7 ± 0.52 Ma en circones magmáticos. Los diferentes cuerpos intrusivos de composición dacítica presentan dos orientaciones principales: sureste-noroeste y suroeste-noreste. Estos se encuentran emplazados tanto en el Complejo Acatlán como en la Formación Raboso.

ABSTRACT

The Raboso Formation is a new stratigraphic name proposed for a conglomeratic succession south of San Juan Raboso, Izucar de Matamoros, Puebla. The Raboso Formation consists of proximal alluvial-fan facies, which are described and interpreted as the beginning of basin filling of late Eocene-early Oligocene Tepenene basin. The characterization of the formation and provenance are obtained, based on detailed stratigraphic reconnaissance of six columns, kinematic fault analysis and zircon dating on five units.

The Raboso Formation is a conglomeratic succession with red-brownish sandy layers. In this work, two members, separated by an angular unconformity, are proposed. The lower member, Los Amates, is a metamorphic-clast conglomerate unit composed of medium gravel to pebbles. The upper member, La Palma, is a sandy matrix conglomerate with limestone and porphyritic clasts. A detrital sample of the igneous clasts yielded a zircon U-Pb age of 136 ± 1 Ma. The limestone clasts are pebbles to Boulder size. The conglomerate is massive, poorly sorted and matrix supported. The Raboso Formation is overlain by volcanoclastic and pyroclastic deposits with a U-Pb zircon magmatic age of 33.52 ± 0.32 Ma, considered as the minimum depositional age for The Raboso Formation.

For provenance clastic determination, a modal analysis in conglomerates was undertaken. The results show a southward decrease in the abundance of limestone clasts in few kilometers. A channel flow and paleocurrents analysis confirms the same river-flow direction. The source of the limestone clasts unit is inferred to be the Morelos Formation, which is exposed northern of the basin. Moreover, paleocurrents of La Palma member show a southern flow direction with a dispersion of 140° . These data indicate that Raboso Formation was accumulated as the result of an alluvial fan system with proximal facies to the north part of Tepene Basin.

At the north of the basin there is a porphyritic body termed as Abelardo Rodriguez intrusive. This body crosscuts the basement and is interpreted as the source of the porphyritic conglomerate clasts of La Palma member. Such clasts yielded an Early Cretaceous age.

The Tepenene basin is a pull-apart basin with an elongate north-south orientation, bounded by the Izúcar-Tecolutla-Boqueroncito left-lateral fault system, and part of the Acatlán Complex rocks. At the northern and southern structural limits of the basin, there are dacitic dykes correlative to the Tepene Porphyry with magmatic zircon U-Pb ages of 31.7 ± 0.52 . The intrusive bodies have a dacitic composition with two main emplacement orientations, SE-NW and SW-NE, both of which are present on Acatlan Complex and The Raboso Formation.

1. INTRODUCCIÓN

La evolución geológica pre-cenozoica del noreste de Oaxaca y sur de Puebla ha sido estudiada en diferentes ámbitos. Silva-Romo (2010) estudió la evolución tectonosedimentaria de la Cuenca Tehuitzingo-Tepexi para reconocer la extensión cortical cenozoica de este sector. Su estudio propone que dicha cuenca se formó en el marco de una cizalla izquierda con orientación general noreste-sudoeste asociada al transporte tectónico del bloque Mixteco-Zapoteco hacia el este, el cual deformó al Terreno Cuicateco.

En el sur de México se han descrito sucesiones conglomeráticas cenozoicas que, en algunas ocasiones, se encuentran intercaladas con depósitos lacustres y/o rocas ígneas. Distintos autores han descrito estos depósitos, asignándoles nombres como: Capas Huajuapán (Salas, 1949), Balsas (Fries, 1960), Formación Tepetlapa (Morán-Zenteno et al., 2007), Conglomerado Tecamatlán (Schlaepfer, 1970), Conglomerado Tamazulapán (Ferrusquia-Villafranca, 1970), Conglomerado Huajuapán (Martiny-Kramer, 2008), o Formación Oapan (Molina-Garza, *et.al.* 2006). En el área de Tepenene, al sur de Izúcar de Matamoros, Rodríguez-Torres (1970) describe a lo largo de la carretera 190 un gran espesor de conglomerados calcáreos con diferentes espesores, los cuales considera como parte de la Formación Huajuapán. Este autor interpreta dichas rocas como parte del flanco de una estructura anticlinal con base en las inclinaciones fuertes hacia el poniente que presenta la sucesión. En el área de Tepexi de Rodríguez-Tehuítzingo, Puebla, Silva-Romo (2010) describe una sucesión clástica pre-Oligoceno que denomina Formaciones Tepexi y Barranca Risco. La primera consiste en clastos de rocas metamórficas; la segunda en clastos calcáreos. Esta sucesión forma parte del relleno de la Cuenca Tehuitzingo-Tepexi.

En el presente estudio se examinó la sucesión conglomerática expuesta en los cortes de la carretera 190, entre San Juan Raboso y Puerto La Palma. Conformada por 2 miembros conglomeráticos: 1) Los Amates y 2) La Palma, este trabajo propone denominar a esta sucesión como Formación Raboso. Los miembros que la conforman están separados por una discordancia angular; la principal diferencia entre ellos es la composición de sus clastos.

La Formación Raboso se acumuló como abanicos aluviales en la cuenca tectónica Tepenene, la cual se desarrolló durante las primeras etapas de desplazamiento del Sistema de Fallas Izúcar-Tehuítzingo-Boqueroncito. En dicho sistema se localiza en la Cuenca Tehuitzingo y se encuentra alineado en sentido norte-sur de manera escalonada. El análisis cinemático de las estructuras tectónicas muestra un sistema extensional en sentido norte-sur que está alineado con el Sistema de Fallas Izúcar-Tehuítzingo-Boqueroncito. El Pórfido Tepenene se emplazó a lo largo de diversos planos de fallas con dos orientaciones preferenciales. Además, este cuerpo presenta estructuras de deformación contemporáneas a su emplazamiento.

1.1. Planteamiento del problema

En la región sur del estado de Puebla se ha propuesto que la Cuenca Tehuiztzingo se desarrolló en el Paleogeno como una cuenca *pull-apart* en el marco del desplazamiento del sistema de cizalla norte-sur, Izúcar-Tehuiztzingo-Boqueroncito (Silva-Romo, 2010). Lo anterior se infiere a partir del reconocimiento de un depocentro en la región de Tepenene, al sur del poblado de San Juan Raboso y al noreste de la Cuenca de Tehuiztzingo, el cual es burdamente colineal a dicha cuenca (Silva-Romo, 2010). Por otro lado, en el área de estudio se han descrito estructuras tectónicas y formaciones que se han correlacionado con la Formación Balsas. Sin embargo, no se ha realizado un estudio detallado en donde se establezca la geocronología, la estratigrafía y evolución tectónica en esta área. El presente estudio se ocupa de llenar ese vacío en el conocimiento geológico. El estudio se realizó gracias a las obras de la ampliación de la carretera 190, en el trayecto Izúcar de Matamoros-Puerto El Gato, las cuales implicaron la modificación del trazo, así como el labrado de cortes hasta de 20 metros de altura. En estos últimos pueden observarse claramente los atributos de la sucesión expuesta y los rasgos estructurales sinsedimentarios.

1.2. Hipótesis

La sucesión clástica expuesta al sur de Izúcar de Matamoros se acumuló en una depresión tectónica similar a una cuenca *pull-apart* durante el Paleógeno y por medio de abanicos aluviales.

La Cuenca Tepenene se formó en el marco del sistema de fallas que formó la Cuenca Tehuiztzingo-Tepexi con movimiento de cizalla izquierda.

1.3. Objetivos

Caracterizar la sucesión clástica expuesta al sur de San Juan Raboso desde el punto de vista sedimentológico, estratigráfico y geocronológicos, identificar las fuentes de procedencia de sus detritos, y establecer el ambiente tectonosedimentario en el que se acumuló.

1.4. Metas

- Elaborar un mapa geológico escala 1:50,000 del área al sur de San Juan Raboso
- Medir columnas estratigráficas e identificar las facies.
- Identificar la naturaleza, proporción y cuantificar la granulometría de los clastos en las columnas estratigráficas medidas.
- Establecer la cronología del relleno de la Cuenca Tepenene, con base en fechamientos de los cuerpos magmáticos con el método U-Pb por ablación láser.
- Determinar el ambiente de depósito de la Formación Raboso.
- Proponer un modelo tectonosedimentario de la Cuenca Tepenene.

1.5. Localización del área de estudio

El área de estudio se localiza entre las coordenadas geográficas $98^{\circ}15'W$, $18^{\circ}15'N$ y $98^{\circ}45' W$, $18^{\circ}45'N$ y en las cercanías de los poblados Izúcar de Matamoros, San Juan Raboso, El Tepenene, Los Amates y Tehuiztzingo, en el estado de Puebla (Figura 1.1). Las columnas estudiadas se localizan en los cortes de la Carretera 190 Izúcar de Matamoros – Acatlán de Osorio en el sur-poniente del Estado de Puebla.

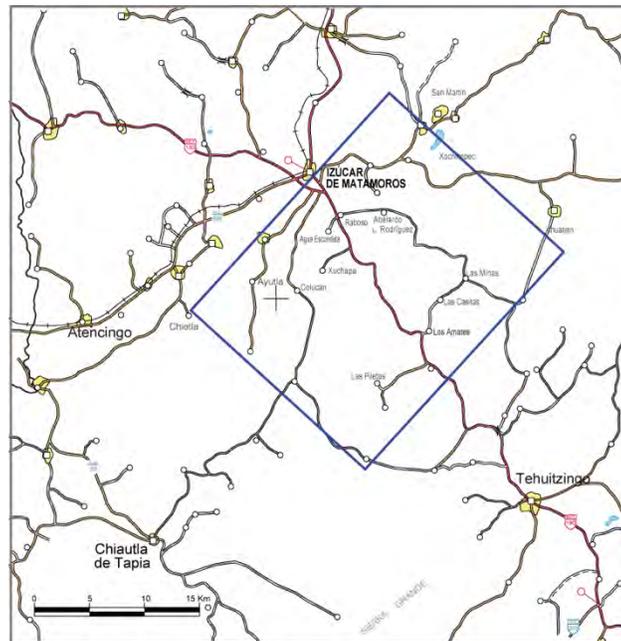


Figura 1.1. Localización y vía de acceso del área de estudio. En el recuadro se observa el área cartografiada para este estudio, esta se localiza entre los poblados de Izúcar de Matamoros y Tehuiztzingo, Puebla.

2. METODOLOGÍA DE TRABAJO

En esta investigación se aplicó una metodología estándar en la caracterización sedimentológica y estratigráfica de la sucesión conglomerática nombrada en este trabajo como Formación Raboso, al igual que en el análisis cinemático de las estructuras geológicas. En el marco de dicha metodología se realizaron las siguientes actividades: análisis de la información previa, cartografía geológica, medición de columnas estratigráficas, análisis modal de los conglomerados, preparación de muestras para su fechamiento, análisis de facies, análisis cinemático de estructuras. Las tareas antes mencionadas se describen a continuación.

2.1. Análisis de la información previa

Como parte de esta tarea se llevó a cabo la recopilación y síntesis de trabajos de geología del área de estudio. Se analizaron los mapas geológicos del Servicio Geológico Mexicano 1:250,000 Carta geológico-minera Cuernavaca (E14-5) (1999), se examinaron las cartas topográficas 1:50,000 de las hojas de INEGI: Izúcar de Matamoros (E14-B62), Coatzingo (E14-B63), Chiantla de Tapia (E14-B72), y Tehuitzingo (E14-B73) (Figura 2.1), se revisaron el Libro guía de la excursión México-Oaxaca (1970) y la tesis doctoral de Silva-Romo (2010), así como otros textos relativos al área de estudio abordada en este trabajo.

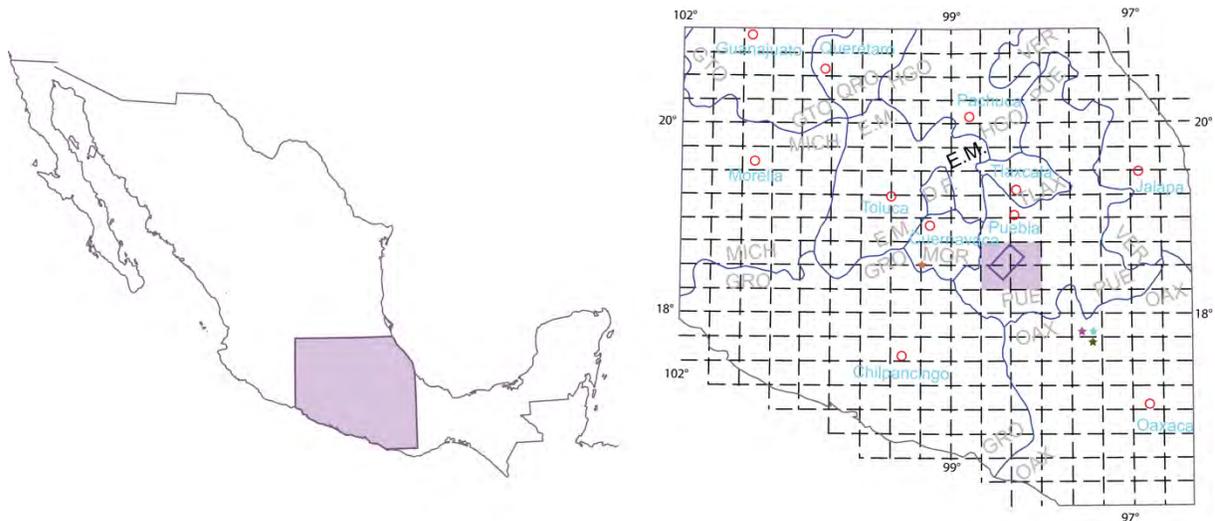


Figura 2.1. Localización del área de estudio en el marco de referencias de las cartas topográficas 1:50 000 en la proyección UTM.

2.2. Cartografía

Durante el desarrollo de esta investigación se elaboró un mapa geológico 1:50,000 de un área aproximada de 60 km². Su elaboración se basó en la interpretación de fotografías aéreas verticales de la zona E14-5 INEGI SINFA 1:75,000, 13 noviembre 1995. Por otra parte, se formó la base topográfica, a partir de la información del INEGI.

En las primeras etapas se utilizó un mapa preliminar con los resultados obtenidos. Este se depuró con la verificación selectiva de puntos clave y con la interpretación de los datos de campo. En su versión actual, el mapa (ver *mapa anexo*) contribuyó al establecimiento del modelo tectónico que se presenta más adelante.

2.3. Medición de columnas estratigráficas

Los sitios para la medición de columnas se eligieron revisando los cortes de la carretera 190 Izúcar-Acatlán al sur de San Juan Raboso. Ello permitió identificar los afloramientos que mejor exponen los atributos de la sucesión clástica y de sus estructuras. Una vez seleccionados, se realizaron mediciones estratigráficas y estructurales para reconocer tanto las facies sedimentarias como las fallas e indicadores cinemáticos.

Se midieron detalladamente seis columnas estratigráficas utilizando el Báculo de Jacob y/o un flexómetro. Esto de acuerdo con los procedimientos de rutina postulados por Campos-Madrugal y Mendoza-Rosales (en Silva-Romo 2016). El registro gráfico de los espesores y atributos de las rocas se registró en los formatos de medición de columnas (Campos-Madrugal y Mendoza-Rosales, en Silva-Romo 2016). En ellos se registraron las características de los conglomerados y de las areniscas, tales como su composición, el tamaño de grano, la textura, la descripción de la matriz, las estructuras primarias, etc.

2.4. Análisis modal de los conglomerados

Debido al tamaño de los componentes de la roca, la textura y la composición de los conglomerados se estudiaron directamente en el afloramiento. El análisis del tamaño de grano, forma y redondez de los clastos se hizo utilizando métodos semi-cuantitativos. Así, se midió el tamaño de los clastos con cinta métrica, mientras que su forma y redondez se estimó por comparación con la escala gráfica de Powers (1953).

Adicionalmente, se utilizó el método de “conteo de clastos” propuesto por Howard (1993). Este conteo se realiza en diferentes localidades y se utiliza para caracterizar la dispersión de los sedimentos en el espacio, así como para establecer los cambios en tamaño y composición de los clastos en diferentes localidades. De esta manera es posible determinar la dirección del paleo-transporte y de los cambios tectónicos (Graham et al., 1986).

Con el fin de efectuar el método antes descrito, se utilizó una retícula de hilo montada en un marco de madera cuyos nodos se espaciaban entre 5, 10 y 20 cm en función del tamaño de los clastos. En los casos de conglomerados de gravas finas se utilizó una retícula de 2x2 cm impresa en acetato. Los datos se presentan en el apéndice B “Análisis modal de los conglomerados”; las características analizadas para los clastos de diferente litología se denotan en las tablas como: tamaño (T), esfericidad (E) y redondez (R).

2.5. Separación de minerales, muestreo para circones

Se obtuvieron circones magmáticos de cinco muestras de acuerdo con las recomendaciones del caso: 1) que la muestra no presente rasgos de meteorización, 2) que la muestra no esté expuesta a corrientes de agua que puedan afectar a la roca, 3) coleccionar aproximadamente 20 kg de muestra con herramientas limpias, y 4) descostrar y limpiar la muestra para obtener fragmentos de aproximadamente 4 cm de diámetro.

La preparación de las muestras se realizó en el taller de molienda de rocas del Instituto de Geología de la UNAM. Durante la misma, se pulverizaron los fragmentos de roca y se tamizaron con las mallas 35, 80, 100 y 200 (figura 2.2). El material pulverizado fue separado en minerales pesados de las fracciones 100, 200 y <200 mediante el separador hidráulico y vibratorio (mesa Wilfley) (figura 2.3). Una vez secas las muestras, en algunos casos se obtuvo la fracción no magnética con ayuda del separador magnético Franz, fracción de la cual se obtuvo un concentrado de circones bajo el campo de un microscopio estereoscópico. Los circones tuvieron formas euhedrales y fueron fechados por U-Pb mediante la técnica Laser ablation multicollector inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-ICPMS).



Figura 2.2. Tamizado de muestras para obtención de fracciones 100, 200 y <200.



Figura 2.3. Separación de minerales pesados mediante el separador hidráulico y vibratorio.

2.6. Fechamiento por LA-ICPMS

Los fechamientos de circones por ablación láser fueron realizados en el Laboratorio de Estudios Isotopicos (LEI) del Centro de Geociencias de la UNAM. Cinco muestras de un concentrado de circones fueron entregadas al LEI. Estos se seleccionaron manualmente bajo el campo del microscopio estereoscópico (figura 2.4).

Durante el proceso de selección los cristales de circón son fácilmente confundibles con los de apatito debido a su morfología y color. Esta confusión se evitó mediante la obtención de una imagen con catodoluminiscencia. Esta permitió distinguir los cristales de apatito de los cristales de circón, pues los primeros presentan un color ocre mate mientras que los segundos se observan con relieves altos y luminosos. El zonamiento de los circones se aprecia

claramente en las imágenes de catodoluminiscencia, lo que facilita un mejor control en la selección del punto a analizar y la obtención de un mayor detalle del fechamiento al momento de la interpretación.

El procedimiento de fechamiento por ablación láser (LA-ICPMS) en el LEI consta de los siguientes pasos:

- Montado de circones en resina epóxica. Posterior al montado, los circones se desbastan con papel abrasivo hasta quedar expuestos.
- Obtención de imagen con catodoluminiscencia. Estas imágenes le permiten al usuario del método seleccionar el punto de ablación.
- Selección del objeto y punto de ablación. Esta depende del objetivo perseguido a través del fechamiento.
- Ablación láser. Para efectuar este procedimiento se empleó el sistema de ablación láser Thermo xSeries QICPMS acoplado a una estación de trabajo láser excimer Resonetics. Usando un sistema de ablación láser Resolución M050 con longitud de onda 23 micrómetros
- Cálculo de edades, se realizaron con los siguientes parámetros: 1) Las concentraciones de U y Th fueron calculadas usando un circón estándar externo de acuerdo a Paton *et al.* (2010), Geochemistry, Geophysics, Geosystems. 2) Incertidumbre de 2 sigma propagado de acuerdo a Paton *et al.* (2010), Geochemistry, Geophysics, Geosystems. Las relaciones de $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, edades y errores fueron calculadas de acuerdo con Petrus y Kamber (2012), Geostandards Geoanalytical Research. El área analizada fue de 23 micras, para lo cual se usó un protocolo analítico modificado de Solari *et al.* (2010), Geostandards Geoanalytical Research. Los cristales con mayor discordancia fueron descartados y se muestran en las tablas como datos tachados.

Los errores relacionados con la calibración del circón estándar, así como la edad del circón estándar, la composición del plomo común y la constante del decaimiento del uranio se reportan a un nivel 1 sigma (Solari *et al.*, 2010). Realizada la corrección y reducción se descartaron los datos que presentan pérdida de plomo, así como errores mayores al 10% y discordias menores al 12% y mayores al -5%.

2.7. Estudios petrográficos

Las muestras se analizaron microscópicamente observando su textura y composición mineralógica. En el caso de las rocas carbonatadas se distinguieron algunas especies fosilíferas para determinar su ambiente de depósito y hacer un análisis comparativo con las rocas localizadas alrededor del área de estudio. Con el objetivo de clasificar las rocas en el área de estudio, se hicieron análisis petrográficos de cada una de las muestras. Estos estudios se realizaron en el microscopio petrográfico de luz polarizada en la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

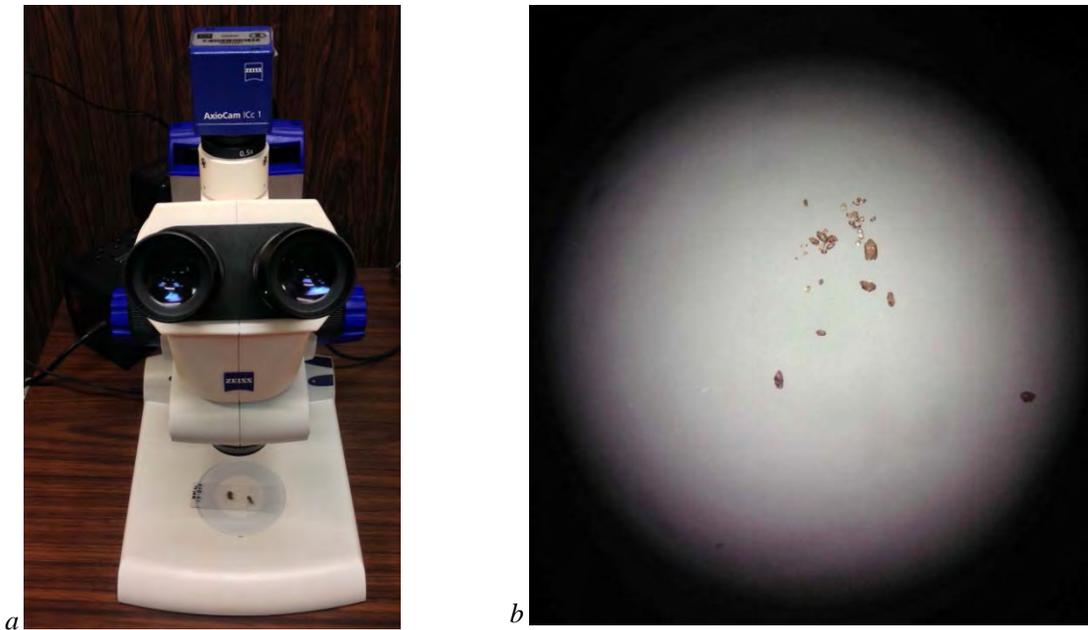


Figura 2.4. a) Microscopio estereoscópico Stemi 2000 con estativo C LED e iluminación de campo claro con luz blanca incidente o al trasluz en donde se eligieron manualmente los circones para fechamientos. b) Campo de visión del microscopio estereoscópico.

2.8. Análisis de facies

A partir del análisis de las estructuras sedimentarias y tomando en cuenta las granulometrías de los cuerpos sedimentarios reconocidos en la sucesión, se describieron las facies con base en el código propuesto por Miall (2006). Las litofacies pueden ser agrupadas en asociaciones de facies para caracterizar y describir los diferentes sub-ambientes en la cuenca. Estudiando las columnas estratigráficas es posible definir las asociaciones de facies, las cuales se reconocen en su registro vertical, lo que a su vez se define por la sobreposición de dos o más facies.

2.9. Análisis cinemático de estructuras

La obtención de datos estructurales se realizó con brújula tipo Brunton. Las estrías en los planos de falla se caracterizaron con goniómetro estructural. A través de los criterios cinemáticos de Doblas (1998) se reconoció el sentido del movimiento relativo entre los bloques. Con los datos obtenidos se hizo un análisis de las estructuras y con ayuda de los diagramas estereográficos se determinaron los esfuerzos para cada caso. En este estudio se reconocieron seis indicadores correspondientes con el material arrastrado, los escalones, las fracturas y los arreglos de estructuras planares inclinadas. Estos indicadores se presentan en la figura 2.5.

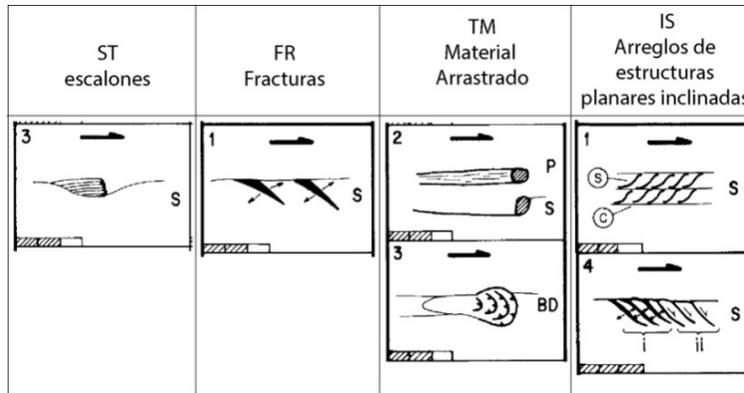


Figura 2.5. Indicadores cinemáticos reconocidos en este trabajo. En la figura tomada de Doblás (1998) la barra en la parte inferior indica la escala microscópica, centimétrica, métrica. El punto de vista se presenta como BD= bloque diagramático; P= Planta, S= Sección. La flecha señala la dirección de movimiento del bloque faltante.

2.10. Marco Teórico

Abanicos aluviales

Los abanicos aluviales son acumulaciones de materiales clásticos en ambientes continentales fluviales que, a diferencia de los ríos, consisten en depósitos fluviales distributivos en forma de conos con un ángulo de hasta 180° (Weissmann, *et. al.* 2010) y tienen una pendiente cóncava menor a 25° en la parte apical que disminuye a menos de 1° en la base del abanico (Bull, 1977).

Weissmann, *et. al.* (2010) observaron un patrón de depósito predominante en las cuencas. En él se observa una distribución desde el ápice en forma radial. En las cuencas extensionales los sistemas distributivos están dominados por flujos de detritos laminares y por depósitos de ríos trenzados no confinados. En la mayor parte de las cuencas estudiadas por estos autores los sistemas fluviales distributivos cubren la mayoría de la zona con depósitos de tipo fluvial.

La litología en el área fuente, clima, superficies y pendientes principales de los abanicos aluviales se reflejan en una geometría conoidal, mientras que sus dimensiones pueden ir de pocos metros a varios kilómetros. Estas se desarrollan en las zonas de ruptura de pendiente durante la sedimentación. Los abanicos se derivan de un área fuente formada por una red de drenaje que transporta los productos (Colombo, 2010).

Existen tres factores condicionantes en la formación de un abanico aluvial: 1) el entorno topográfico, 2) la producción de suficiente sedimento, y 3) la existencia de precipitaciones poco frecuentes capaces de crear corrientes con fuerza suficiente para transportar el sedimento (Blair y McPherson, 2009). Los abanicos aluviales están compuestos por varios ambientes sedimentarios. Dichos ambientes se encuentran representados por facies

caracterizadas por condiciones de corriente de depósito y por sus asociaciones. Por esta particularidad los abanicos aluviales pueden diferenciarse de otros sistemas con los que están relacionados.

En el perfil transversal convexo la pendiente varía dependiendo de su posición. En la cabecera del abanico la pendiente varía entre 5 y 10°. En un abanico árido dicha variación puede ir de 1 a 2°, mientras que en la cabecera iría de 3 a 5°. Por su parte, en abanicos con corrientes acuosas la pendiente es de 1° en la zona de pie. Las granulometrías mayores se encuentran en las partes cercanas al ápice, en la cabecera, en tanto que las más finas se encuentran en las zonas más alejadas o marginales de los abanicos aluviales. (Gómez-Villar, 1996; Colombo, 2010) (Figura 2.6). De producirse una elevación rápida por efectos tectónicos podría ocasionarse una segmentación con la aparición de un sector sedimentario activo que se localizaría en el ápice del abanico previo.

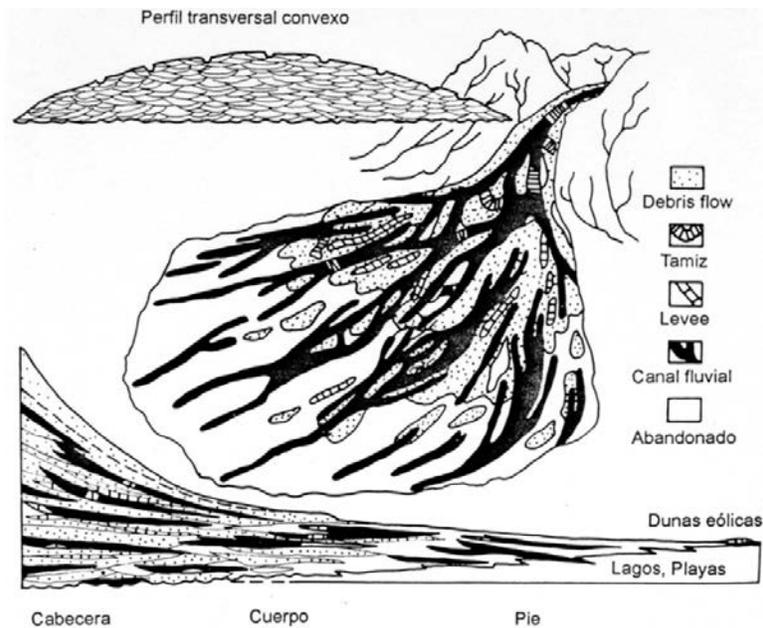


Figura 2.6. Diagrama esquemático de un abanico aluvial. El abanico muestra un perfil radial cóncavo y un perfil transversal convexo. Los sedimentos más gruesos se localizan en la zona de la cabecera, mientras que hacia el pie se vuelven más finos (Tomada de Colombo, 2010).

Zonación

Colombo (2010) propone una subdivisión de tres partes de acuerdo con la distribución granulométrica, con las asociaciones de facies y con su morfología. La cabecera, el cuerpo y el pie del abanico son susceptibles de reconocimiento en el registro fósil por las distintas asociaciones de facies (figura 2.7):

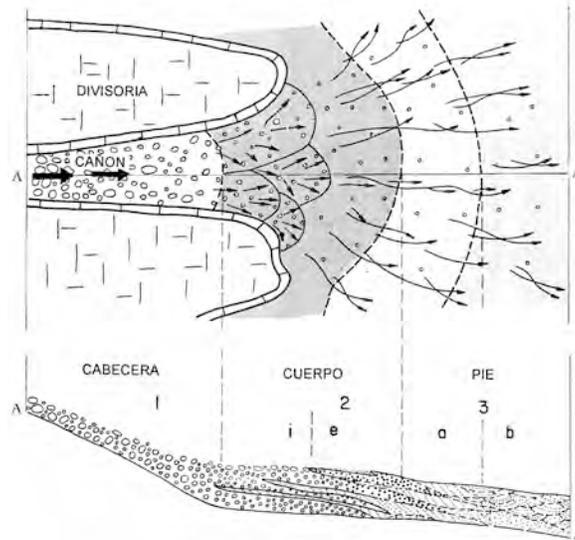


Figura 2.7. Esquema en planta y perfil de un abanico aluvial, las flechas indican la intensidad relativa de los procesos fluviales (Tomada de Colombo, 2010).

La zona de la cabecera es muy reducida en cuanto a su área y se caracteriza por sus granulometrías heterogéneas y más gruesas. Esta zona está constituida por flujos masivos con comportamiento viscoso o por flujos acuosos muy densos. Por el contrario, el cuerpo del abanico es el más extenso y tiene a su vez dos zonas bien definidas: el cuerpo interno y el cuerpo externo. Del cuerpo interno proceden algunos flujos masivos y flujos acuosos densos de alta energía. El cuerpo externo está compuesto por facies transportadas por corrientes acuosas y clastos redondeados por el impacto entre ellos. En algunos niveles se conservan granulometrías más finas.

Por último, el pie del abanico tiene una pendiente muy suave y la granulometría de estos depósitos es muy fina. Esta zona puede dividirse a su vez en tres: la zona interna, la zona intermedia y la zona externa. La primera se caracteriza por estructuras lenticulares con facies arenosas y de lutitas con algunas intercalaciones de material grueso que en ocasiones pueden tener una gradación granodecreciente. La parte intermedia del pie del abanico presenta una sedimentación de material fino intercalado con material de granulometrías más gruesas con gradación normal. En tanto, la zona externa del pie del abanico se caracteriza por facies de granulometrías que van de finas a muy finas. Estas facies pueden mostrar signos de periodos largos sin sedimentación y de interrelaciones con otros sistemas sedimentarios. En función de la distribución de las facies, el pie del abanico puede tener un aspecto de llanura lutítica, con algunas geometrías de canales con granulometrías más gruesas.

De lo anterior se desprende que la distribución granulométrica de los detritos en los abanicos aluviales supone que los materiales de granulometría más gruesa se encuentran en la zona apical, y que en las zonas más alejadas existe una gradación granulométrica en decrecimiento relativo gradual (Colombo, 2010).

De acuerdo con Colombo (2010) un abanico puede dividirse en función de las siguientes características morfológicas:

- **Ápice:** es la zona más elevada del abanico que coincide con el frente montañoso.
- **Cabecera:** parte superior inmediata al ápice.
- **Bahía del abanico:** denominación que recibe la zona apical cuando penetra en el frente montañoso.
- **Cañón:** cauce principal que favorece el transporte de los flujos de sedimentos que forman el abanico.
- **Atrinchamiento del abanico:** encajamiento del canal principal en la zona apical del abanico.
- **Punto de intersección:** unión de la superficie de la cabecera con el talweg del canal principal encajado.
- **Lóbulo del abanico:** acumulación de materiales de granulometría gruesa en la zona del punto de intersección, puede constituir un pequeño abanico sobrepuesto (suprafan).
- **Pie de abanico:** zona topográficamente más baja que coincide con la base y se interrelaciona con otros sistemas sedimentarios.
- **Segmento del abanico:** se halla dónde está limitado por rupturas geomorfológicas de pendiente.
- **Incisión del abanico:** encajamiento sobre el abanico de un canal que desemboca afuera de su límite.

Por otra parte Blissenbach (1954) propuso una zonación conforme al punto de intersección y a la distribución por área de las facies sedimentarias:

- **Facies proximales:** presentan materiales con granulometrías muy gruesas y que se encuentran inmediatas a la cabecera del abanico, abarcan desde el ápice hasta la zona del punto de intersección
- **Facies medias:** presentan materiales de granulometría fina y se encuentran entre la zona del punto de intersección y el área del pie del abanico.
- **Facies distales:** se observan materiales con granulometrías más finas y se localizan a partir del pie del abanico hacia las zonas más alejadas. Esta zona se encuentra interdentada con otros sistemas de depósito relacionados.

Relaciones con las cuencas sedimentarias

En años recientes se ha observado que las cuencas sedimentarias modernas tienen una sedimentación dominada por *sistemas fluviales distributivos* (Weissmann, *et.al.* 2010). En cambio, los sistemas agradacionales son empleados comúnmente en los modelos de facies fluviales.

En los ríos de los sistemas fluviales distributivos se observa una disminución en el tamaño de grano aguas abajo. Estos forman un patrón radial que se origina en el ápice. En este contexto, Colombo (2010) menciona que las cuencas continentales tienen una parte de su relleno conformado por abanicos aluviales en los bordes que han sido tectónicamente activos a lo largo de la acumulación de sedimentos.

La progradación y crecimiento de abanicos aluviales refleja actividad tectónica en el margen activo de la cuenca y constituye una fuente de materiales clásticos gruesos. Los cuerpos aluviales indican la existencia de pulsos tectónicos con respuesta sedimentaria asociada. La progradación hacia el centro, indica eventos tectónicos; la gradación indica la existencia de una zona de subsidencia diferencial, lo que genera un surco donde los clásticos más gruesos quedan atrapados. La retrogradación de los sistemas aluviales implica el cese de la actividad tectónica en el borde de la cuenca y un desplazamiento del límite hacia las zonas más internas del área fuente (Colombo, 2010).

Los factores que controlan la sedimentación aluvial son: la subsidencia de la cuenca, el suministro de materiales clásticos y los cambios del nivel de base (estos interactúan dando una configuración), una relación geométrica y una relación espacial concreta. Por otro lado, el abastecimiento detrítico en una cuenca está relacionado con las condiciones paleoclimáticas y por la evolución tectónica del área fuente a lo largo de los bordes de la cuenca (Colombo, 2010).

Actividad tectónica sinsedimentaria

Existen dos casos de actividad tectónica sinsedimentaria que se producen por el levantamiento tectónico (Colombo, 2010):

- Cuando la velocidad de levantamiento del borde activo es mayor que la del encajamiento del canal principal, se producen pequeños abanicos sobreimpuestos a las partes más altas del abanico. Estos corresponden a las partes internas del cuerpo y a las de la cabecera del abanico.
- Si la velocidad del levantamiento tectónico es menor que la del encajamiento del canal principal, toda la sedimentación se localizará hacia el pie del abanico donde se formarán abanicos de menor tamaño pero con sucesiones verticales claramente negativas.

Discordancias sintectónicas

Cuando se producen diversos episodios de levantamiento del borde tectónicamente activo y estos influyen sobre los abanicos adyacentes, se originan diversas superficies de discontinuidad que corresponden a discordancias erosivas angulares. Estas discordancias pueden estar relacionadas con cambios y variaciones en la velocidad de ascenso del borde activo. Si hay un levantamiento acelerado, el sector activo se traslada hacia el pie del abanico y muestra una pendiente cada vez más suave. Si esto es repetitivo se produce un *offlap* rotativo que condiciona una discordancia progresiva. En caso contrario, cuando se produce una pendiente abrupta, disminuye la velocidad del levantamiento o se produce un descenso relativo. Los materiales en la zona del pie del abanico se sitúan entonces en una tendencia vertical positiva y en una geometría de *onlap* rotativo que implica la atenuación de una discordancia progresiva (Colombo, 2010).

A la interacción de los dos modelos, la cual implica primero una actividad tectónica importante y después un amortiguamiento, se le denomina discordancia progresiva sintectónica. Dicha discordancia consiste en que los movimientos tectónicos son contemporáneos a la depositación de los abanicos aluviales. Adicionalmente, los periodos de aceleración y desaceleración del movimiento son separados por un periodo de detención que propicia el desarrollo de una o varias discordancias angulares asociadas (Colombo, 2010).

Cuencas Pull-apart

Existen dos tipos de cuencas asociadas a fallas transcurrentes, las cuencas de disipación son surcos subsidentes que se alinean con fallas transcurrente, que cuales inician con una fase transtensiva con sedimentación lacustre o marina pelágica, continúan con una etapa en donde alternan etapas transtensivas y transpresivas y finalizan con transpresión, deformación y erosión de los materiales, las otras son las cuenca tipo *pull-apart*. Este tipo de cuencas que tiene una geometría romboidal, y se origina entre fallas subparalelas que en la curva o escalón de la falla produce una depresión que tiende a rellenarse rápidamente de sedimentos. Crowell (1974) describe a las cuencas *pull-apart* como depresiones profundas en forma de rombo, delimitadas en sus lados por fallas de desplazamiento lateral subparalelas que se unen en los extremos. Estas cuencas tienden a ser asimétricas en sus partes profundas cercanas y paralelas a la falla activa. Las cuencas *pull-apart* suelen ser profundas y angostas, con relieve acentuado, lo que propicia la formación de conglomerados y brechas acumuladas en las márgenes de la cuenca.

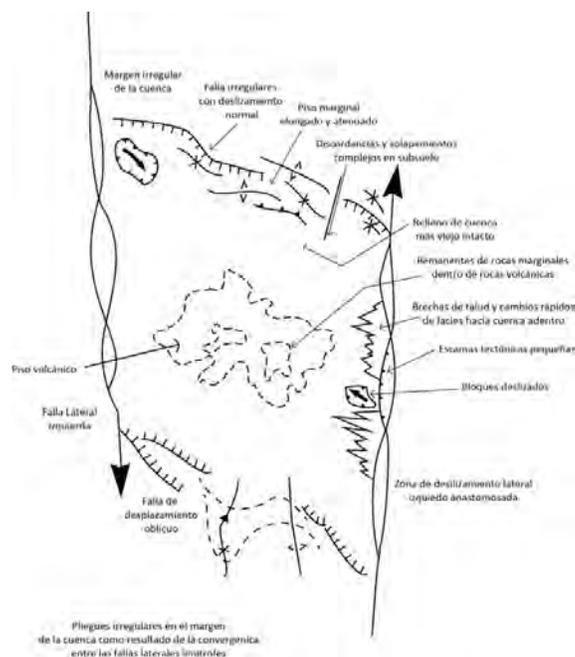


Figura 2.8 Esquema idealizado de una cuenca pull-apart, modificada de Crowell (1974).

Formación de cuencas Pull-apart

Se reconocen cuatro mecanismos de formación de las cuencas Pull-apart (Allen y Allen, 2005), los cuales se enumeran a continuación:

1. Traslape de fallas a rumbo escalonadas con escalón en el mismo sentido de su desplazamiento: desarrollo de una cuenca entre dos fallas a rumbo con sentido izquierdo, dispuesta en forma escalonada a la izquierda.
2. Deslizamiento de segmentos de fallas que divergen: la formación de la cuenca originada por el desplazamiento de las fallas laterales se ve acompañada por levantamiento de uno de los bloques, este fenómeno aceleraría el relleno de la cuenca por el incremento en el potencial generador de detritos del bloque levantado.
3. Agrandamiento de fracturas en echelon: en el marco de cizalla pueden desarrollarse fracturas en echelon, las cuales pueden ser el origen del desarrollo de una cuenca *pull-apart* que se presente en el lugar de ocurrencia de estas fracturas.
4. Coalescencia de cuencas de este tipo en un sistema mayor: un sistema de fallas laterales escalonadas puede generar un conjunto de cuencas independientes que pueden unificarse en una cuenca mayor.

Morfológicamente, las cuencas *pull-apart* tienen una gran profundidad pero son angostas. Esto tiene implicaciones en los rellenos, ya que el relieve acentuado propicia la acumulación de conglomerados y brechas en los márgenes de la cuenca. El ritmo de sedimentación es rápido al igual que los cambios de facies, esto puede reflejarse como un cambio lateral de brechas a lodolitas lacustres.

El desplazamiento de las fallas laterales en este tipo de cuencas puede causar discordancias sinsedimentarias. Ello origina complicaciones a la hora de correlacionar, ya que se provocan diferencias estratigráficas en las cuencas adyacentes. Los sedimentos de la cuenca comúnmente están disgregados de las fuentes. Esto puede representar diferencias entre el tamaño del sistema de depósito y el drenaje, o bien, entre el carácter petrográfico de los detritos y la geología del entorno.

El relleno de las cuencas *pull-apart* depende del ambiente en donde se deposita y puede llegar a ser complejo. Específicamente, se depositan ambientes de talud, abanicos aluviales, deltas, y sistemas fluviales. Además, tienen características específicas en cuando a sus depósitos, como son: alta tasa de sedimentación, cambios muy rápidos de facies laterales, los deslizamientos de las fallas laterales de estas cuencas pueden causar fallas sinsedimentarias (Crowell, 1974).

Los depósitos del margen generalmente son gruesos y están afectados por las fallas. Se presentan cambios abruptos en las facies y es derivado de varias fuentes. Tiene espesores muy grandes debido a sus tasas de sedimentación alta.

Análisis de Facies

La mayoría de los depósitos fluviales son de origen clástico. En primera instancia, debe reconocerse la granulometría de gravas, arenas o finos (lodos, limos, arenas de grano muy fino) para así poder clasificar a los depósitos dentro de las litofacies (Miall, 2006). En este sentido, existen diferentes características para establecer el tipo de depósito. Esas son:

- Las condiciones del flujo, turbulento o laminar
- La concentración de sedimentos

Los flujos que son turbulentos y tienen baja concentración de sedimentos, transporte y depósito se llevan a cabo por tracción. Los flujos en los cuales la alta viscosidad se asocia a una alta concentración de sedimentos que propiciara flujos laminares y turbulentos, también presentan granos en flotación.

Corrientes de tracción, flujos fluidos

Las gravas de estos flujos pueden ser transportados en pulsos repetitivos definidos como lóbulos. Los granos más finos y las arenas se infiltran entre la trama de los clastos mayores en condiciones de velocidades de flujo bajas. Los cambios verticales muy rápidos en los depósitos se deben a cambios en las velocidades de flujos y a las condiciones de esfuerzos por cambios de descargas en ríos. La suspensión de los clastos en el flujo provoca una alineación de estos con el eje mayor paralelo al flujo. En las capas de grava puede observarse una intercalación de gravas con estratificación cruzada

Durante estos depósitos las arenas y las gravas pueden ser segregadas en la misma estructura. De tal forma, es posible encontrar arenas bien clasificadas en las capas superiores y gravas con estratificación cruzada en las capas basales de arena. Dicha segregación se produce cuando se tienen sedimentos bimodales con clastos bien redondeados. Ello facilita efectuar una clasificación por el rodamiento de los clastos sobre la capa.

En ciertos casos se reportan algunas mesoformas coronadas por gravas gruesas interestratificadas con gravas finas y areniscas que forman pequeñas secuencias. En estos casos, el tamaño de grano que va incrementando hacia arriba.

Flujos de sedimentos por gravedad

Los flujos con altas concentraciones de sedimentos tienden a transportar los granos por flotabilidad. Con niveles más bajos de concentración de sedimentos el flujo no es cohesivo y puede ser internamente turbulento. Estas condiciones pueden producir una laminación incipiente o imbricación de clastos y estructuras erosivas en la base. Los niveles altos de concentración de sedimentos se conocen como hiperconcentrados. Bajo estas circunstancias, los granos ejercen presión por el resultado de la colisión intergranular. Algunas veces se

produce una gradación inversa en las orillas del flujo. También es común encontrar clastos grandes aislados en la cima u orilla del flujo. Este flujo tiene características pseudoplasticas. Debido a que la matriz es cohesiva, soporta grandes bloques. En ella se puede desarrollar una clasificación que se observa como incipiente gradación. Estos flujos de detritos son comunes en los abanicos aluviales.

Las litofacies que se desarrollan en sistemas fluviales son diferenciadas, principalmente, con base en su textura y, posteriormente, a partir de sus estructuras internas. Es importante hacer un promedio del tamaño de los clastos, ya que estos involucran un cambio en las condiciones de flujo y en la concentración de los sedimentos. Esto, a su vez, involucra diferencias de procesos, como son:

- a) Flujos turbulentos con baja concentración de sedimentos. El depósito en estos flujos es por tracción y algunas veces por suspensión.
- b) Flujos de alta viscosidad asociada con a una alta concentración de sedimentos. Estos flujos permiten un flujo laminar y soporte de granos en flotación.

El esquema de códigos para litofacies propuesto por Miall (2006) es una adaptación de algunos esquemas que surgieron desde el propuesto por este autor en 1978. Este código utiliza la primera letra en mayúscula para indicar el tamaño de grano predominante como gravas (G), arenas (S), finos (F); la segunda letra en minúscula indica la estructura predominante.

Litofacies de gravas

Las litofacies Gmm y Gmg indican en la segunda letra que se trata de una matriz soportada, y que tienen ausencia de estructura. Es decir, son litofacies masivas cuyos los clastos pueden estar pobremente clasificados en matriz de arenas y lodo. En algunas ocasiones, las litofacies pueden mostrar una estatificación graduada incipiente en los clastos o matriz. Los clastos tabulares pueden presentarse alineados horizontalmente. Estas características sugieren un depósito por flujos de detritos.

Litofacies de arenas

La morfología en las estructuras primarias de las arenas depende principalmente del tamaño de grano, la velocidad y la profundidad del flujo. Las litofacies con esta granulometría se caracterizan de acuerdo con las estructuras sedimentarias dominantes. Para ello, es necesario determinar el tamaño de grano y determinar la clasificación entre los granos.

3. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

En el sector sur de México se han observado estructuras mesozoicas mayores con rumbo general nor-noroeste. Dichas estructuras se encuentran interrumpidas por la Faja Volcánica Transmexicana en el centro de México y hacia el sur se interrumpen por el Terreno Chatino (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1992). El sur de México tiene características geológicas heterogéneas definidas entre la Faja Volcánica Transmexicana y el Terreno Chatino, en donde se desarrollaron distintas cuencas continentales en el Cenozoico. En este marco geológico, la Cuenca Tepenene se localiza en el noroeste del Bloque Mixteco-Zapoteco, se encuentra limitada por las provincias Plataforma Guerrero-Morelos y por la Faja Volcánica Transmexicana, y conformada por los terrenos Mixteca y Zapoteca (Sedlock *et al.*, 1993).

El Bloque Mixteco-Zapoteco está caracterizado por fallas con orientaciones norte-sur, este-oeste y noroeste-sudeste pre-cenozoicas. Sin embargo, durante el Eoceno-Oligoceno existió una reactivación de estas fallas formando cuencas tectónicas al sur de la Faja Volcánica Transmexicana en el sector oriental (Silva-Romo, 2010). Estas cuencas son denominadas por Silva-Romo (2010) como Cuencas del Sur (figura 3.1). El Bloque Mixteco-Zapoteco experimentó un acortamiento durante el Paleoceno y Eoceno. Este acortamiento fue provocado por el transporte tectónico hacia el este en este periodo y se manifiesta en el borde oriental de dicho bloque (Nieto-Samaniego *et al.*, 2006).

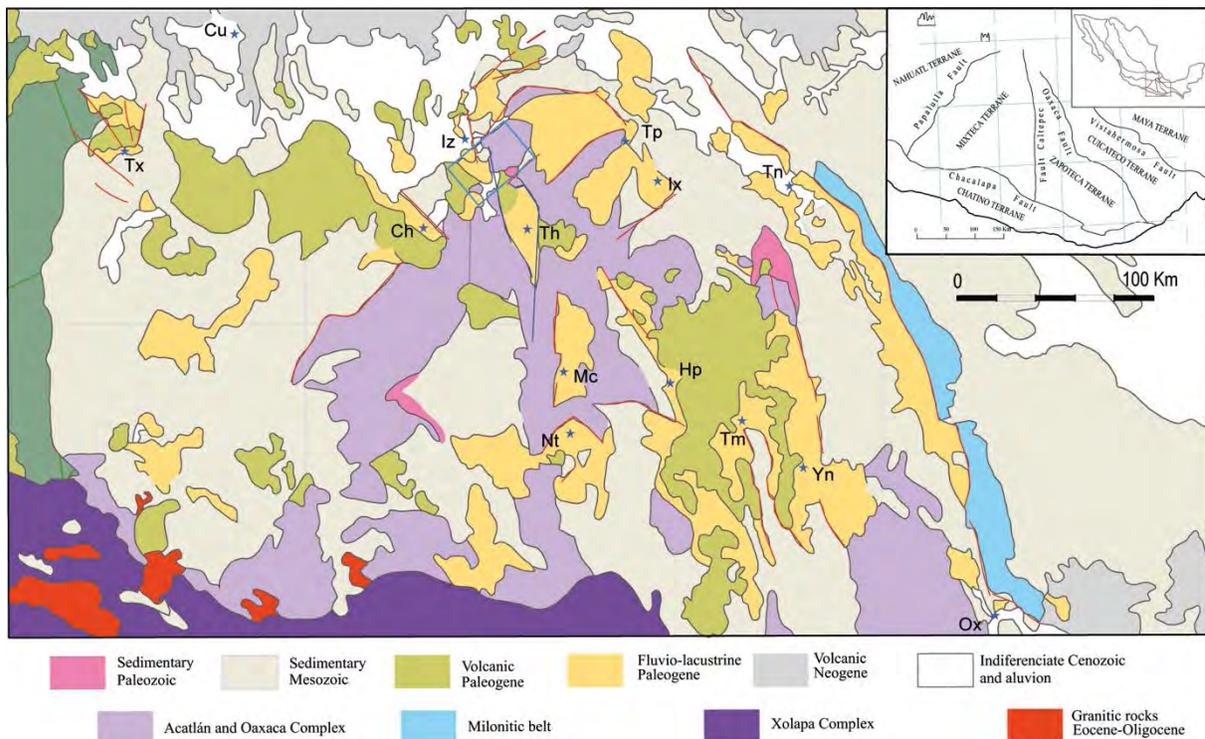


Figura 3.1. Mapa geológico del sur de México, enmarcando las Cuencas cenozoicas, con base en la cartografía geológica escala 1:250 000 del Servicio Geológico Mexicano, el recuadro azul indica el área de estudio de este trabajo. Poblaciones: Tx: Taxco, Cu: Cuernavaca, Tp: Tepexi, Tn: Tehuacan, Ch: Chiuatla, Th: Tehuizingo, Mc: Mariscala, Hp: Huajuapán. Tomado de Silva-Romo *et al.* (Somatido).

El área de estudio se encuentra en el límite noroeste del terreno Mixteca con el terreno Nahuatl (Sedlock, *et. al.*, 1993). Tiene como basamento el Complejo Acatlán, descrito previamente por Ortega-Gutiérrez (1978) (figura 3.2). Dentro de las provincias geológicas, corresponde con la Provincia Mixteca y el límite con la Plataforma Guerrero-Morelos (Ortega-Gutiérrez, 1992).

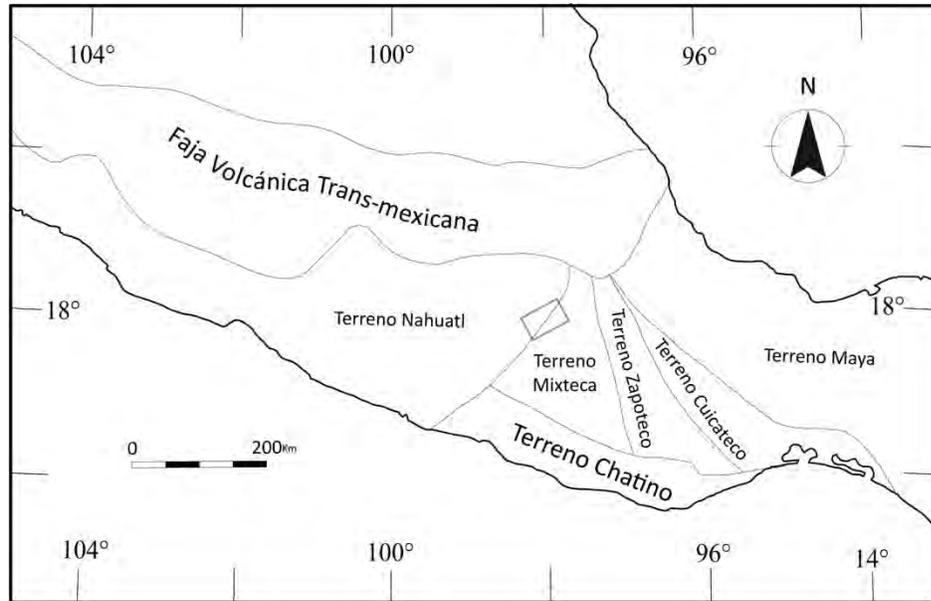


Figura 3.2. Ubicación del área de estudio, señalada con el recuadro rojo; en el marco de referencia de los Terrenos Tectonoestratigráficos (Sedlock, 1993).

La Cuenca Tepenene está edificada dentro del basamento metamórfico correspondiente con el Complejo Acatlán indiferenciado. Este se reconoce en los límites de la cuenca.

3.1. Complejo Acatlán

Las rocas metamórficas del sur de Puebla fueron reconocidas originalmente por Ordoñez (1906). Salas (1949) las define como Esquistos Acatlán y Fries y Rincón (1965) proponen denominarlas como Formación Acatlán. Por su parte, Ortega-Gutiérrez (1978) propuso elevar esta formación a rango de complejo.

En el entorno de la Cuenca Tepenene, se reconoce parte del Complejo Acatlán, el cual se expone en el hombro NE de la cuenca. El área de estudio está compuesta de esquistos verdes y metasamitas, correspondientes con el Grupo Piaxtla propuesto por Ramírez-Espinosa (2001). Este autor propone incluir dentro del Complejo a las unidades Xayacatlán y Granitoides Esperanza. En esta área se observan esquistos con foliación y estructuras de pods.

En el área de estudio, el basamento se observa con abundante deformación; en el flanco sur se reconocen afloramientos de cuarcitas.

Ramírez-Espinosa (2001) propone incluir a la Formación Xayacatlán y a los Granitoides Esperanza bajo el nombre de Grupo Piaxtla. Su propuesta se sustenta en el argumento de que dichas unidades muestran un grado de metamorfismo, estilo de deformación y relación tectónica similar con respecto a otras unidades. La Formación Xayacatlán está constituida por cuerpos ultra-básicos, metabasitas y metasamitas. Estos se encuentran relacionados con los Granitoides Esperanza, los cuales manifiestan un metamorfismo de alta presión representados por metagranitoides. En conjunto, las unidades señalan una historia compleja de deformación y metamorfismo de alta presión (Ramírez-Espinosa, 2001).

Para la Formación Xayacatlán, Ramírez-Espinoza (2001) interpreta fragmentos de litosfera oceánica atrapados en una zona de subducción que fueron transportados y ecologizados durante la colisión continental del Ordovícico-Silurico. Los Granitoides Esperanza representan el magmatismo sintectónico relacionado con ese evento orogénico.

En cuanto a su edad, la Formación Xayacatlán es interpretada con una edad máxima de depósito de Ordovícico medio (Talavera-Mendoza, 2005). En tanto, para los Granitoides Esperanza Yañez et.al. (1991) interpretan una edad de intrusión de Devonico.

3.2. Formación Patlanoaya

Vázquez-Echeverría (1986) reconoce en las cercanías de San Salvador Patlanoaya, Pue., cuerpos sedimentarios a los que denomina informalmente como Formación Patlanoaya. Dichos cuerpos tienen un espesor de 1500 m y se componen por ocho unidades. La formación en general consiste de areniscas conglomeráticas con estratificación gradada y cruzada, así como de algunas lutitas y areniscas tobaceas, limonitas, calcarenitas bioclásticas y margas. Esta formación se encuentra expuesta en el cuadrante NE y SE del área de estudio. Sobrepuesta al basamento metamórfico, se trata de un cuerpo de 2 km en su parte más larga. En esta localidad se observa un conglomerado con clastos angulosos de cuarzo. En cuanto a la edad, Rivera y Sánchez-Buitrón (1999) reconocen organismos que abarcan desde el Silúrico hasta el Pérmico.

3.3. Formación Tecomazúchil?

Esta sucesión está expuesta al SE del área de estudio y se encuentra delimitada por rocas del Complejo Acatlán. La sucesión se compone de una sucesión continental clástica que incluye conglomerados, arcosas líticas, frecuentemente con estratificación cruzada, restos de plantas, limonitas arenosas. Aunque no está estudiada, en este trabajo se infiere que este afloramiento corresponde a la Formación Tecomazúchil. Los depósitos clásticos de esta formación tienen como fuente de procedencia a las rocas del Complejo Acatlán. La unidad presenta algunos

horizontes de rocas volcánicas en el área (Pérez-Ibargüengoitia *et al.*, 1965). Por los fósiles encontrados en el área Silva-Pineda (1978) le asigna una edad de Jurásico Medio.

3.4. Formación Morelos

En el cuadrante NE del área de estudio se distinguen cuerpos calcáreos que corresponden a la Formación Morelos. Estos se reconocen como cuerpos elípticos que sobresalen por su patrón de drenaje entre las rocas metamórficas en el área. Diversos autores se han referido a estas rocas calcáreas del sur de México. Fries (1957) hace referencia a cuerpos presentes en Morelos y Guerrero a los que les asigna el nombre de Formación Morelos. Fries (1960) describe esta sucesión interestratificada de caliza y dolomía con nódulos de pedernal, así como fósiles silicificados con estratificación mediana a gruesa con capas de carbonatos. Por su parte, Guerrero-Suastegui (2004) menciona que la Formación Morelos incluye depósitos de plataforma restringida y de ambientes arrecifales. A partir de las características sedimentológicas y del conjunto fósil reconocidos en esta formación por Aguilera-Franco y Romano (2004) y Allison y Franco (2005), estos autores asignan facies de supramarea, intermarea y submarea e infieren un ambiente de plataforma interna en condiciones semi-restringidas. Zamudio-Ángeles (2005) le asigna una edad del Albiano medio-Turoniano temprano apoyados en estudios paleontológicos con foraminíferos bentónicos.

3.5. Formación El Gato

España-Pinto (2001) propone el nombre Puerto El Gato para la sucesión volcanoclástica expuesta sobre la carretera 190. Esta consta de tobas, depósitos piroclásticos con pómez con un espesor de 750 m en la localidad Puerto El Gato. Dicha formación se acumuló en condiciones continentales, producto de actividad volcánica en las cercanías de una cuenca lacustre. Primeramente, esta actividad fue de carácter explosivo con desarrollo de flujos de escombros. Posteriormente, se trató de flujos laháricos (Silva-Romo, 2010). Esta unidad se localiza al sur de la zona de estudio. La formación cubre la parte norte de la Cuenca Tehuizingo.

3.6. Formación Tepexco

Fries (1966) propone el nombre de Grupo Tepexco para una sucesión de rocas volcánicas que afloran en los alrededores de Tepexco, Puebla. La sucesión consiste en derrames de lavas interestratificados con capas volcanoclásticas de composición andesítica. Esta formación se encuentra sobreyaciendo concordantemente a la Formación Raboso en el sector norte de la Cuenca Tepenene. El contacto entre estas dos formaciones se localiza sobre la carretera 190 a la altura de San Juan Raboso. Con base en su relación estratigráfica, Ordaz-Ayala (1977) propone una edad de Oligoceno tardío- Mioceno.

3.7. Antecedentes de la Formación Raboso

Existen diferentes estudios de los rellenos de las cuencas cenozoicas del sur de México, los cuales son semejantes con la sucesión estudiada.

En el área de estudio Rodríguez-Torres (1970) reconoce afloramientos con gran espesor de “conglomerados calcáreos, con cementación variable y con inclinaciones fuertes hacia el poniente, indicando el flanco de una estructura anticlinal bien definida”. Este autor identifica al área como la Formación Huajuapán (Calderón-García, 1956), aunque sugiere una relación más directa con la Formación Balsas (Fries, 1960). Dicha formación está compuesta por conglomerados polimícticos, areniscas y limolitas rojas, bien estratificados, considerados como depósitos continentales probablemente del Eoceno del sur y centro de México (Fries, 1960).

El nombre de Grupo Balsas se propone para un grupo de rocas litológicamente variable que se presentan en la cuenca del río Mexcala-Balsas, ubicada en el centro sur y suroeste de México. En la definición original de esta unidad (Fries, 1960) se incluye una variedad de rocas. Sin embargo, la estructura de este grupo no está definida. Se estudian una unidad clástica en el área de Amacuzac-Zacapalco que presenta un espesor aproximando de 2500 m y se encuentra integrada por dos unidades separadas por una discordancia angular e ignimbritas. La Formación Tepetlapa se corresponde con la unidad inferior. Descrita como un conglomerado soportado por matriz transicionalmente hacia arriba, cambian a granulometría arenosa con estratificación “imperfecta” con intercalaciones de lentes de conglomerado soportado por matriz. Moran-Zenteno *et.al.* (2007) nombra a la unidad superior Formación Huajintlán; que corresponde con un conglomerado soportado por matriz, con lentes de arenisca conglomerática. Sin embargo, en esta las granulometrías son notablemente más gruesas, interpretando el depósito como facies proximales de un abanico aluvial.

Entre las formaciones que algunos autores han descrito y propuesto una correlación con la Formación Balsas, se encuentran las siguientes:

Salas (1949) designa como las capas Huajuapán a las rocas continentales del Paleógeno describiéndolas como una serie de areniscas, cenizas volcánicas, arcillas arenosas y capas de conglomerados y brechas interestratificadas. Este autor observa conglomerados subyacentes con clastos de rocas mesozoicas e ígneas.

El conglomerado Tecomatlán se correlaciona con el grupo Balsas del Eoceno Tardío-Oligoceno Temprano y está constituido por un conglomerado calcáreo originado por un aparente abanico, el cual se encuentra discordante con la Formación Yahuintlán (Schlaepfer, 1970). El tamaño de los clastos calcáreos y metamórficos varía entre 30 y 50 cm muy mal clasificados en una matriz de arena media a gruesa.

Ferrusquia-Villafranca (1970) define al conglomerado Tamazulapan como compuesto por clastos de calizas en bloques de 60 cm de diámetro y fragmentos volcánicos de menor tamaño mal clasificados, angulares en una matriz arenosa de color rojizo. Por su correlación estratigráfica se le asigna una edad del Eoceno Tardío - Oligoceno Temprano. Probablemente fue formado en un ambiente de abanicos aluviales.

Martiny-Kramer (2008) nombra como Conglomerado Huajuapan a los conglomerados soportados por matriz y conglomerados soportados por clastos de diferentes facies, con componentes de material volcánico. Algunos conglomerados muestran una fracción arenosa donde se observan paleocanales y estratificación cruzada, con diferencias de tamaño y litología. Se presentan dos conglomerados con un contacto concordante erosional. El conglomerado Huajuapan tiene un contacto transicional con la unidad superior.

Como parte del relleno de la cuenca Tuzantlán-Copalillo, Dávila-Alcocer (1974) reconoce un conglomerado polimictico soportado por matriz, compuesto por calizas, así como por areniscas conglomeráticas. A partir de las asociaciones de facies se infieren depósitos de abanicos aluviales y bajadas. Molina-Garza y Ortega-Rivera (2006) mapearon parte de la Formación Oapan en la Cuenca Tuzatla-Copalillo, encontrando una secuencia de depósitos de canal con areniscas con espesores de 30 cm a 1 m de color gris, y superficies erosivas en las bases.

La Formación Tepexi está definida por conglomerados y brechas de clastos de rocas metamórficas expuestos en las cercanías de Tepexi de Rodríguez, Puebla, del Eoceno medio-Oligoceno temprano (Silva-Romo, 2010). Dentro de esta formación se encuentra la unidad Tamalayo (España-Pinto, 2001), expuesta en el área de Tehuitzingo.

4. RESULTADOS DE CAMPO

En este capítulo se presentan las observaciones sedimentológicas que fueron utilizadas para hacer inferencias sobre el ambiente de acumulación de la Formación Raboso.

4.1. Litofacies

En este apartado se describen las siete litofacies que se reconocen en la Formación Raboso. A cada una de dichas litofacies le fue asignado un código según Miall (2006) tras considerar atributos litológicos como textura, estructuras sedimentarias y geometría.

CÓDIGO FACIES	FACIES	ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS	INTERPRETACIÓN
Gmm	Grava masiva, matriz soportada	Gradación pobre con bases no erosivas	Flujo de detritos plástico (alta resistencia, viscoso)
Gmg	Gravas masivas soportadas por clastos	Gradación normal o inversa	Flujos de detritos
Gcm	Grava masiva, clasto soportada	-	Flujo de detritos pseudo-plástico (baja resistencia, viscoso)
Gh	Grava clasto soportado con estratificación cruda	Estratificación horizontal cruda. Imbricación de clastos	Depósitos clasificados, depósitos de rezago.
Sm	Arenas finas a gruesas	Masiva o laminaciones débiles	Depósitos de flujos gravitatorios.
Sh	Arenas finas a gruesas, pueden ser guijarros	Laminación plano paralela en los planos de estratificación	Transición de flujos sub-crítico a supercrítico. Baja energía
Fl	Arenas, limos y lodos laminados	Laminación fina, rizaduras muy pequeñas	Canales abandonados o depósitos de inundación

Tabla 4.1. Clasificación de litofacies encontradas en la Formación Raboso, modificada de Miall (2006)

La descripción general de cada litofacies encontrada dentro de la Formación Raboso se llevó a cabo de acuerdo con sus características texturales, indicando la granulometría, características de estructuras sedimentarias y soporte textural.

4.1.1. Litofacies de gravas

Litofacies Gmm:

Esta litofacies está compuesta por conglomerados soportados por matriz de arena que va de media a muy gruesa. En algunos horizontes está compuesta de arenisca fina y lodolitas. Esta sucesión está pobremente clasificada y tiene una estructura masiva.

Litofacies Gmg:

Se presenta una alineación horizontal de clastos tabulares. Estas capas tienen contactos abruptos no erosionales con las capas infrayacentes y tienen una terminación abrupta lateralmente. Estos flujos son lobulares y pueden tener contactos cóncavos hacia arriba.

Litofacies Gcm:

La litofacies Gcm, representada por conglomerados con granulometrías de guijarros que se encuentran en contacto puntual o longitudinal, está bien consolidada y tiene matriz de

arenas de medias a gruesas. Dentro de las estructuras sedimentarias se reconoce una estratificación incipiente planar y una alineación de clastos con su eje mayor.

Facies Gh:

Esta litofacies está constituida por conglomerado de guijarros que se encuentran en contacto dentro de una matriz de arenas medias. Las estructuras sedimentarias observables son estratificación horizontal cruda: los estratos son de hasta 30 cm.

4.1.2. Facies de arenas

Facies Sm:

La litofacies Sm está compuesta por areniscas de diferentes tamaños de color pardo rojizo tenue con estructura masiva con bases canalizadas. Aunque la granulometría predominante en esta litofacies es de arenisca, se encuentran clastos mayores con granulometría de bloques embebidos en las arenas.

Facies Sp:

La litofacies Sp está caracterizada por arenas medias a muy gruesas bien clasificadas, con espesores de 10 a 30 cm. Las estructuras sedimentarias reconocibles son de incipiente estratificación cruzada planar en las arenas medias.

Facies Sh:

Arenisca media con laminación plano paralela de régimen superior. Tiene una geometría lenticular y se encuentra inmersa en la facies Gmm y Fl.

4.1.3. Facies de material fino

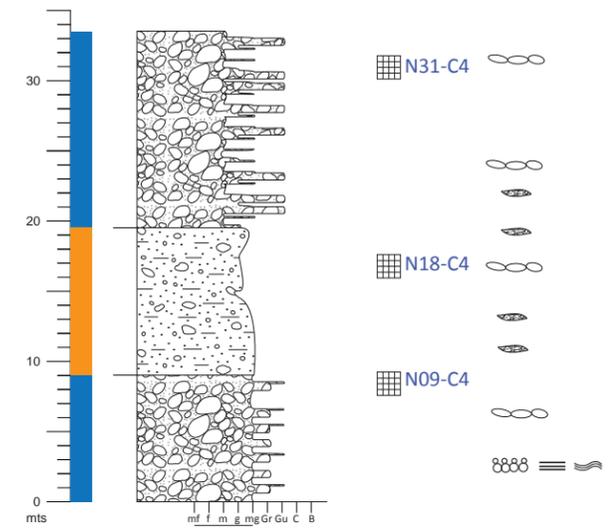
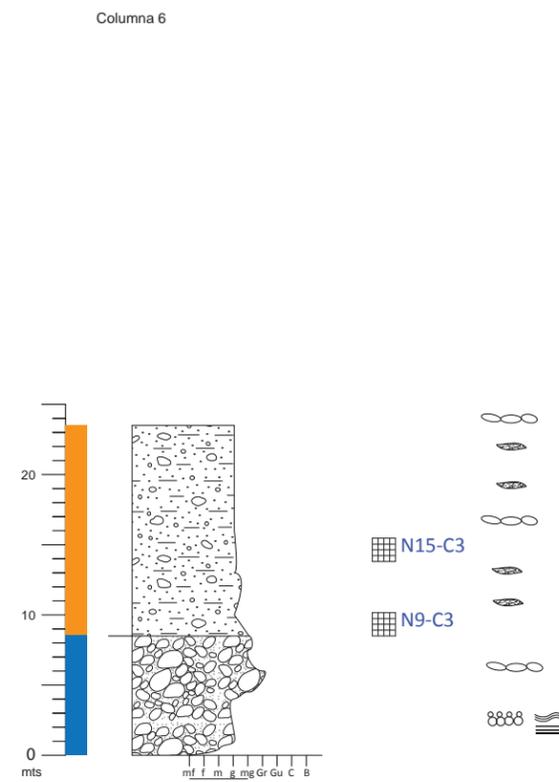
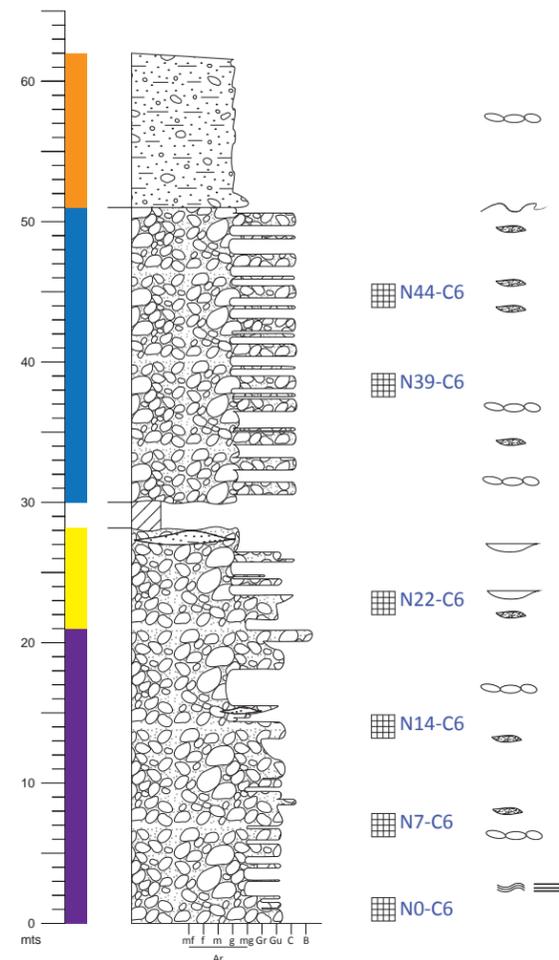
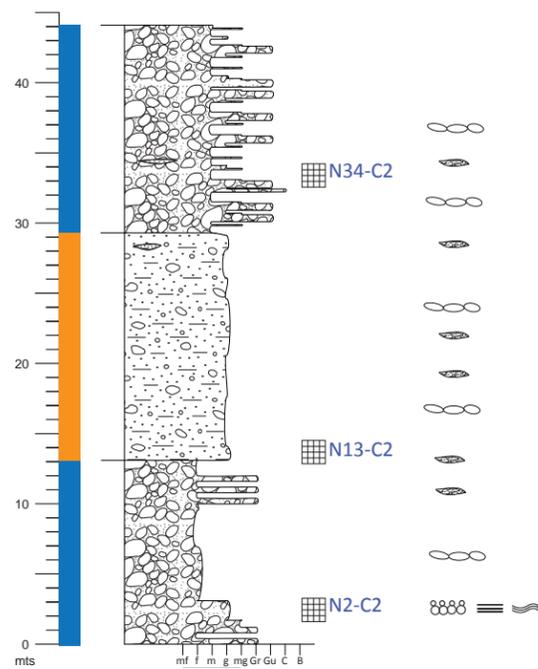
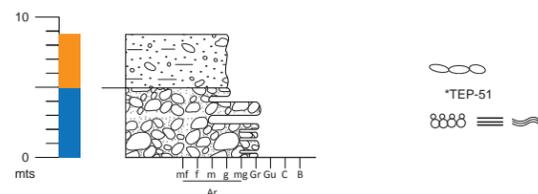
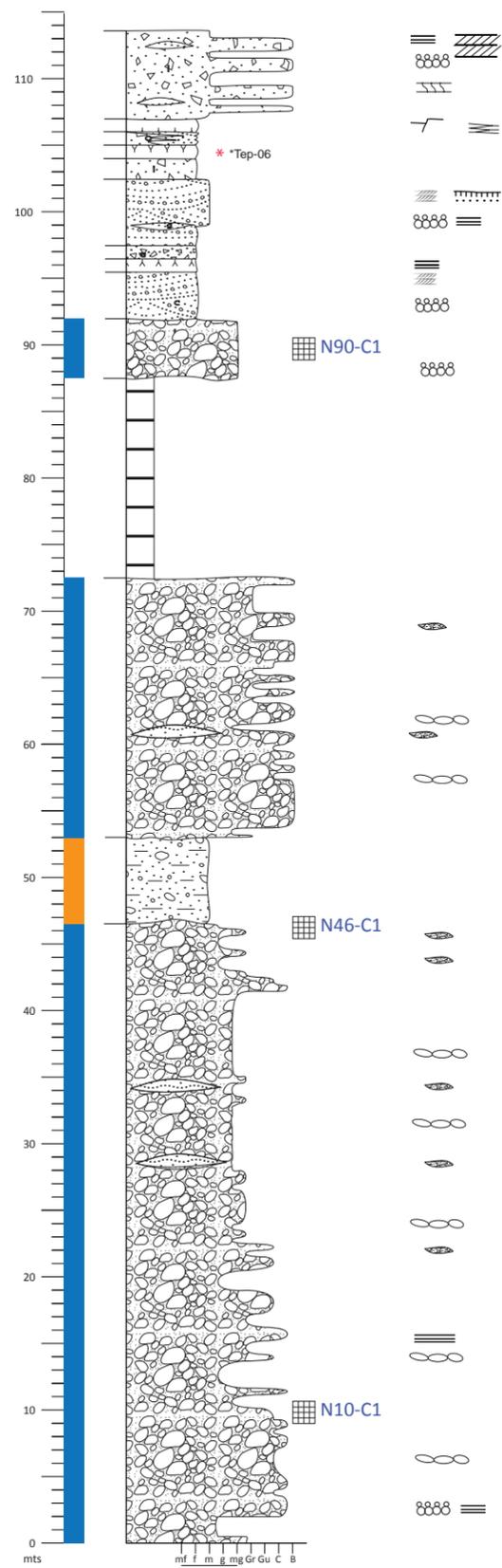
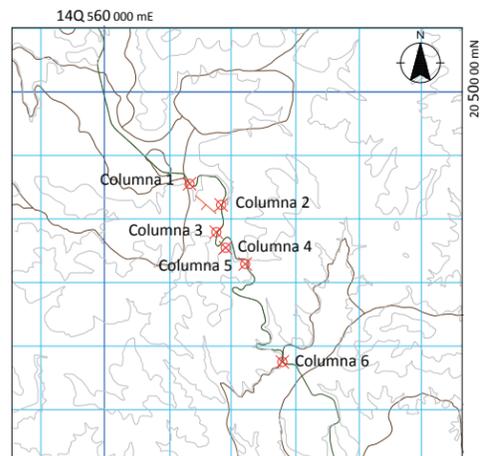
Facies Fl:

Esta litofacies se presenta con geometría lenticular de pocos centímetros y se caracteriza por láminas de lodolitas y limolitas de color pardo rojizo tenue con laminación plano paralela inferior.

4.2. ASOCIACIÓN DE FACIES

Dado que en la sucesión clástica estudiada las litofacies se encuentran en arreglos poco espaciados y con una disposición de estratos lenticulares y/o amalgamados, no se expresan en un arreglo vertical. Para fines descriptivos se agruparon cuatro asociaciones de facies siguientes, mismas que aparecen señaladas en las columnas de la figura 4.1.

LOCALIZACIÓN



SIMBOLOGÍA

Discordancia	
Alineación de clastos	
Estratos lenticulares	
Gradación normal	
Gradación inversa	
Estratificación ondular	
Estratificación paralela	
Corte y relleno	
Paleosuelo	
Estratificación cruzada planar	
Interdigitación	
Tobas	
Areniscas	
Conglomerado soportado por matriz	
Conglomerado soportado por clastos	
Conteo con malla	
Asociación de Facies A	
Asociación de Facies B	
Asociación de Facies C	
Asociación de Facies D	

Figura 4.1. Columnas estratigráficas medidas sobre la carretera 190, así como las estaciones de análisis modal y las asociaciones de facies establecidas en cada columna.

4.2.1. Asociación de facies A

La asociación de facies A está compuesta por cinco litofacies dispuestas en estratos discontinuos irregulares y frecuentemente con terminaciones abruptas como se ilustra en la figura 4.2. En esta asociación están presentes las litofacies Gmm, Gcm, Sh, Sm y Fl. Con mayor abundancia se reconoce la litofacies Gmm, con clastos de caliza y pórfido dacítico, con matriz de arena y limo. La litofacies Gcm está presente como cuerpos con contactos abruptos con los cuerpos adyacentes. Las litofacies Sh y Sm están compuestas por areniscas medias a muy gruesas; la asociación presenta niveles interestratificados de lodolita laminada considerados como facies Fl.

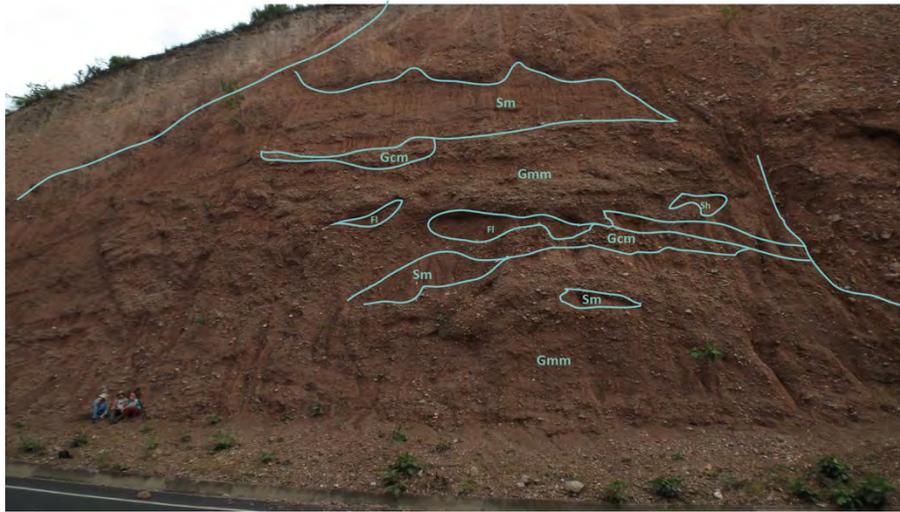


Figura 4.2. Asociación de facies A. En el corte se observan 4 litofacies dispuestas en estratos discontinuos, frecuentemente lenticulares. Detalle del corte carretero donde se midió la Columna estratigráfica 1.

4.2.2. Asociación de facies B

La asociación de facies B consta de dos litofacies en estratos discontinuos de areniscas conglomeráticas masivas que se corresponden con la facies Sm. Dentro de estos cuerpos se encuentran embebidos bloques y cantos de caliza fosilífera. En unos niveles se reconocen cuerpos irregulares de conglomerado masivo soportado por clastos correspondientes con la facies Gcm. En esas facies se reconocen clastos de caliza y pórfido dacítico con distintas granulometrías (Figura 4.3).

4.2.1. Asociación de facies C

La asociación de facies C está conformada por dos litofacies. En mayor abundancia se encuentra la litofacies Gcm, representada por un conglomerado soportado por clastos que en su mayoría son de cuarzo metamórfico subangulosos con granulometrías de guijarros. De manera subordinada se reconoce la litofacies Sm en estratos lenticulares de arenas medias a muy gruesas, como se observa en la figura 4.4.

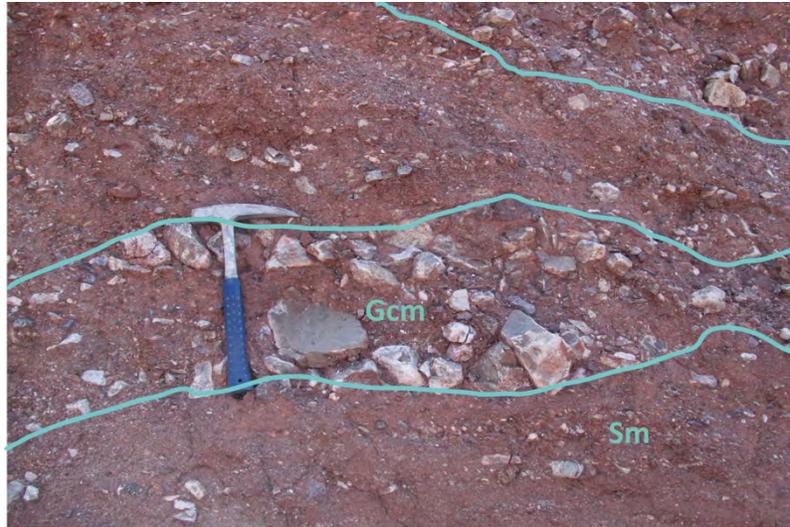


Figura 4.3. Asociación de facies B, la facies Gcm, se encuentra en estratos lenticulares dentro de paquetes de facies Sm.

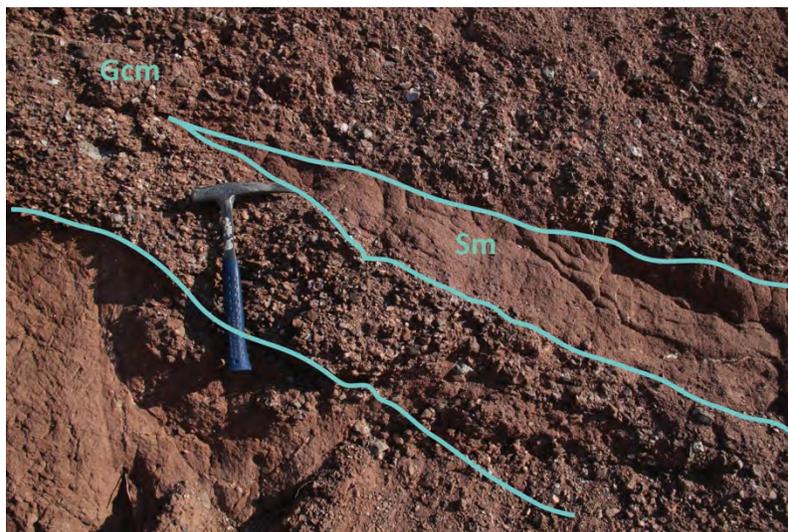


Figura 4.4. Asociación de facies C, La facies Gcm es predominante, la facies Sm se encuentra en estratos lenticulares y discontinuos.

4.2.2. Asociación de facies D

Esta asociación de facies consta de tres litofacies. La litofacies Sm en mayor abundancia, se presenta como granulometrías de areniscas medias a muy gruesas. Intercalada con esta se reconoce la litofacies Sh, con areniscas medias a gruesas laminadas horizontalmente. Por último, la litofacies Gcm está depositada por flujos de detritos acomodados en la topografía preexistente. Esta última se reconoce como canales con conglomerados compuestos de guijarros en una matriz de areniscas medias (figura 4.5).

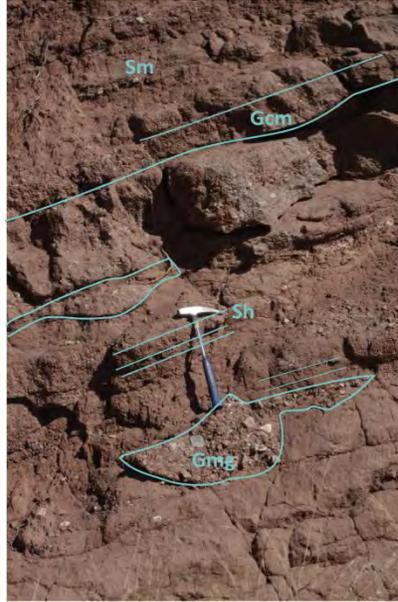


Figura 4.5. En la asociación de facies D presenta canales de litofacies Gcm, dentro de paquetes de Sm interestratificada con la litofacies Sh.

4.3. Columnas estratigráficas

Con el fin de caracterizar sedimentológicamente a la Formación Raboso y establecer el ambiente de depósito en el cual se acumuló, se midieron seis columnas estratigráficas sobre los cortes de la carretera 190. En cada columna se realizaron análisis modales de los conglomerados. En la figura 4.6 se muestran los sitios de medición y en la tabla 4.2 se muestran las coordenadas y espesores medidos en cada columna. Las estaciones de análisis modal pueden consultarse en la figura 4.6. La sintaxis de la clave es la siguiente: N se refiere al nivel métrico y C a la columna correspondiente.

Columna	Km	Zona	mE	mN	Espesor (m)
1	78	14Q	562 899	2 045695	114
2	79	14Q	561 851	2 048072	44
3	80+300	14Q	561 753	2 047780	23.5
4	80+800	14Q	561 844	2 047592	34.5
5	81	14Q	562 161	2 047317	8.6
6	84	14Q	562 899	2 045695	62

Tabla 4.2. Resumen de localización y espesor de las columnas estratigráficas medidas sobre la carretera 190.

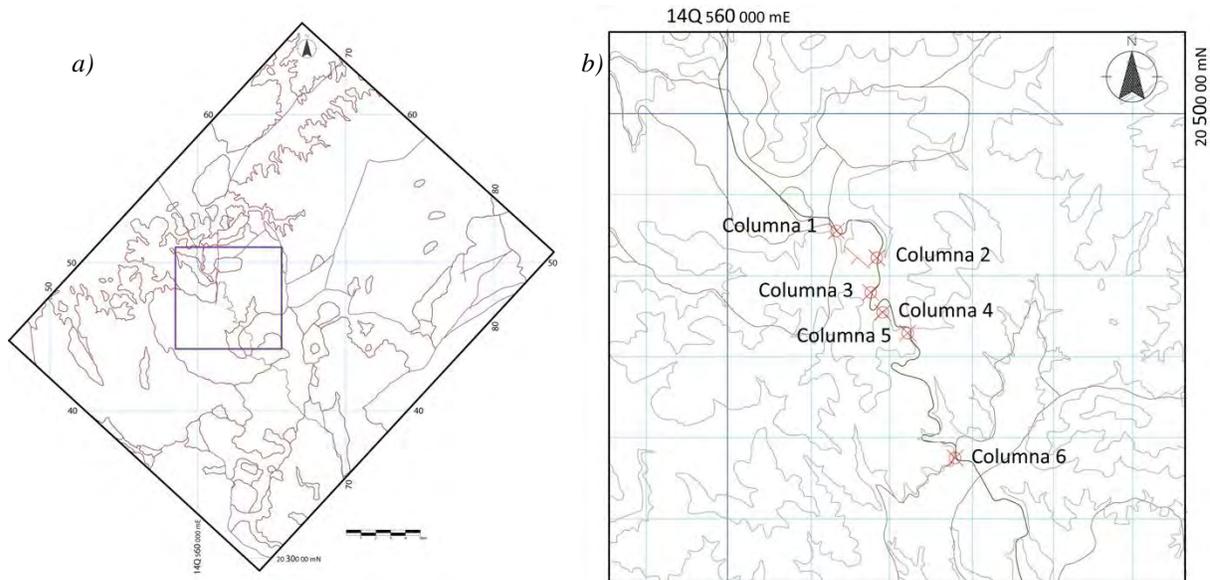


Figura 4.6. Ubicación de las columnas estratigráficas medidas a lo largo de la carretera 190, b) es una ampliación del recuadro en el mapa geológico (a). Ante la falta de referencias geográficas se identifican por un número progresivo en sentido norte-sur.

4.4. Descripción de columnas medidas

4.4.1. Columna estratigráfica 1

La medición de la columna se realizó en los cortes carreteros cercanos al km 78. Se midieron 92 metros de una sucesión clástica y 12 de una sucesión volcanoclástica como se presenta en la figura 4.1.

En términos generales, la sucesión clástica consiste en conglomerados de clastos de caliza con intercalación de areniscas de grano medio a muy grueso. Con base en las facies identificadas y en la granulometría, la sucesión puede subdividirse en cuatro paquetes que a continuación se describen en forma ascendente:

1. El primer paquete tiene un espesor de 46.5 m y consiste en una sucesión de conglomerados soportados por matriz con estructura masiva y pobre selección entre los clastos. Se reconocen intercalaciones de lentes con espesores de 30 cm aproximadamente con granulometría de arenas medias con laminación horizontal de material fino. En algunos niveles se reconocen conglomerados masivos soportados por clastos, los cuales no tienen continuidad lateral. En este tramo de la columna se reconoce la asociación de facies **A** (figura 4.1). La granulometría y composición de los conglomerados se valoró en dos estaciones de análisis modal en los niveles 10 y 46.5 m como se presenta más adelante.
2. Los siguientes 6.5 m se corresponden con la asociación de facies **B**. Se trata de estratos de arenisca conglomerática masiva con lentes de conglomerados soportado por clastos con

estructura masiva. Dentro de esta sucesión arenosa se encuentran esporádicamente bloques y cantos de caliza y algunos clastos de pórfido.

3. El tercer paquete se corresponde con un conglomerado soportado por matriz con estructura masiva y pobremente seleccionado. Este tiene un espesor de 19.5 m. Intercalados, se encuentran lentes de arenas medias a gruesa con laminación horizontal de espesores entre 20 y 30 cm. Los clastos presentan una alineación con su eje mayor, esta se reconoció como la asociación de facies A. La composición principal de los clastos es caliza y pórfido dacítico. Aunque los siguientes 15 metros se encuentran cubiertos, se infiere que corresponden a esta misma litología.
4. Los siguientes 4.5 m se corresponden con un conglomerado soportado por matriz de estructura masiva. Este se corresponde con la litofacies Gcm. A diferencia de otros afloramientos, este se encuentra bien consolidado por cemento calcáreo.
5. Transicionalmente se observan depósitos epiclásticos con un espesor de 21.5 m que consisten en tobas en donde se reconoce laminación paralela y cruzada. Entre los flujos volcánicos se reconocen clastos de caliza y nódulos de caliche, así como láminas de yeso. En algunos horizontes se presentan rizolitos de composición calcárea (figura 4.7).

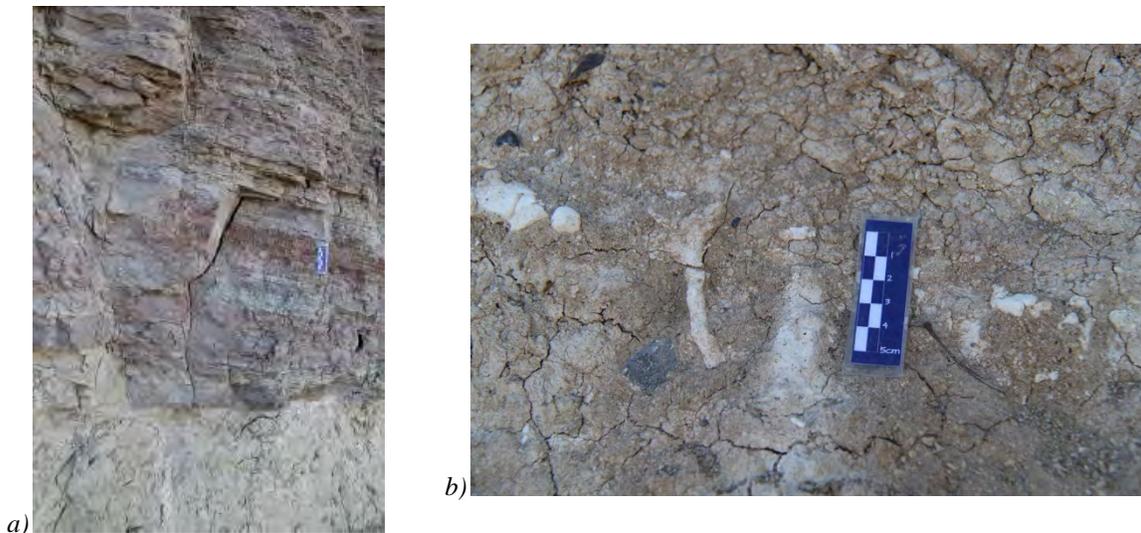


Figura 4.7. a) Sucesión volcanoclástica intercalada con láminas de yeso, que sobreyace a la Formación Raboso en la Columna 1. b) Paleosuelo con rizolitos y caliche.

4.4.2. Columna estratigráfica 2

La medición de la sucesión clástica identificada como columna 2 se realizó en los cortes carreteros cercanos al km 79. Se midió un total de 44 metros como se muestra en la figura 4.1. En general esta columna consiste en conglomerado y arenisca conglomerática con clastos de caliza fosilífera y pórfido dacítico. Se reconocen tres paquetes que se describen a continuación en sentido ascendente:

1. Los primeros 14 m se corresponden con un conglomerado masivo y mal seleccionado soportado por matriz, cuyos clastos son de caliza y pórfido dacítico. En la estación de análisis modal se midieron tamaños entre 11 y 2 cm; sin embargo, se pueden encontrar bloques mayores a 50 cm. El conglomerado se presenta intercalado con areniscas medias a muy gruesas con laminación horizontal en algunos niveles, mientras que en otros se distingue gradación inversa difusa. Algunos estratos de arenisca son masivos. También se observan esporádicos lentes de material fino. Este nivel corresponde con la asociación de facies **A**.
2. El paquete superior de 16 m de espesor corresponde con la asociación de facies **B**. Se trata de areniscas conglomeráticas masivas con incipiente gradación decreciente. En el paquete se reconocen algunos cuerpos irregulares de conglomerados soportados por clastos de caliza y pórfido dacítico.
3. El último paquete tiene un espesor de 7.5 m y se corresponde con la asociación de facies **A**. Se trata de un conglomerado soportado por matriz con estructura masiva, mal seleccionado, intercalado con arenas con laminación horizontal o masiva y algunos lentes de material fino en láminas con espesores de 13 a 20 cm. Los componentes con mayor abundancia son clastos de caliza y pórfido dacítico.

4.4.3. Columna estratigráfica 3

La medición se realizó en un corte carretero cercano al propio de la columna 2. En esta localidad están expuestos 23.5 metros de la sucesión clástica como se muestra en la figura 4.1. Se trata de una sucesión de conglomerados y areniscas conglomeráticas cuyos componentes principales son la caliza fosilífera y el pórfido dacítico. En esta columna se reconocieron dos paquetes que se describen a continuación de abajo hacia arriba:

1. El primer paquete consiste en una sucesión de conglomerados masivos soportados por matriz, con lentes de arenas gruesas de 35 cm. Por lo general, los clastos son de caliza fosilífera y pórfido con granulometrías de guijarros y cantos. Se observa una intercalación de arenas medias con laminación horizontal; en algunos horizontes las arenas se encuentran en forma masiva (figura 4.8 a y b). Este paquete basal tiene un espesor de 8.5 m y se reconoce como la asociación de facies **A**.
2. El segundo paquete tiene un espesor de 14 m y se corresponde con una arenisca conglomerática con bloques y cantos de caliza (litofacies Sm). Lateralmente se pueden reconocer cuerpos irregulares de conglomerado soportado por clastos (litofacies Gcm). El conjunto se corresponde con la asociación de facies **B**.

a)



b)

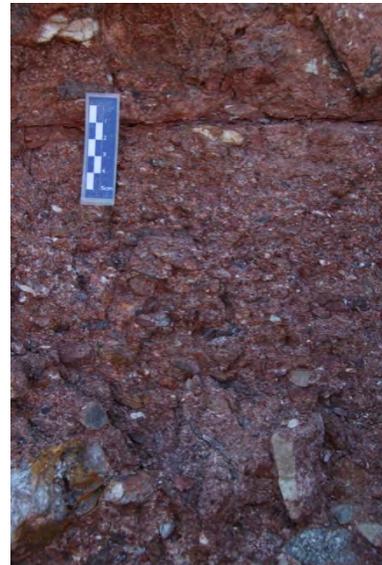


Figura 4.8. a) Se observa la facies Fl intercalada en algunos niveles de la facies Gmm y una incipiente alineación de los clastos, en la Columna estratigráfica 3 b) Se reconoce una gradación normal dentro de la litofacies Sm.

4.4.4. Columna estratigráfica 4

Aproximadamente en el km 79.6 de la carretera 190, se midieron 34.5 metros de la columna 4 (figura 4.1). En la columna se reconocieron dos paquetes conglomeráticos y uno de areniscas; los tres, con clastos de caliza fosilífera y pórfido. A continuación, se describen en forma ascendente:

1. Los primeros nueve metros están caracterizados por la asociación de facies **A**, compuesta por un conglomerado masivo soportado por matriz, con lentes de areniscas medias a muy gruesas en forma masivas con espesores de 15 cm. En algunos niveles se observan arenas con laminación horizontal y material fino laminado (Figuras 4.9 a y b).
2. El segundo paquete se corresponde con 10 m de la asociación de facies **B**. En este nivel la asociación consiste en una arenisca conglomerática con estructura masiva. Se observan algunos parches amalgamados de conglomerado soportado por clastos bien redondeados de caliza y pórfido dacítico.
3. El último paquete se reconoce por la asociación de facies **A**. Se trata de una sucesión de conglomerado masivo soportado por matriz intercalado con lentes de areniscas de grano fino a grueso, algunos con laminación horizontal, y otros masivos. En el paquete también se observan algunos niveles lenticulares de material fino laminado.

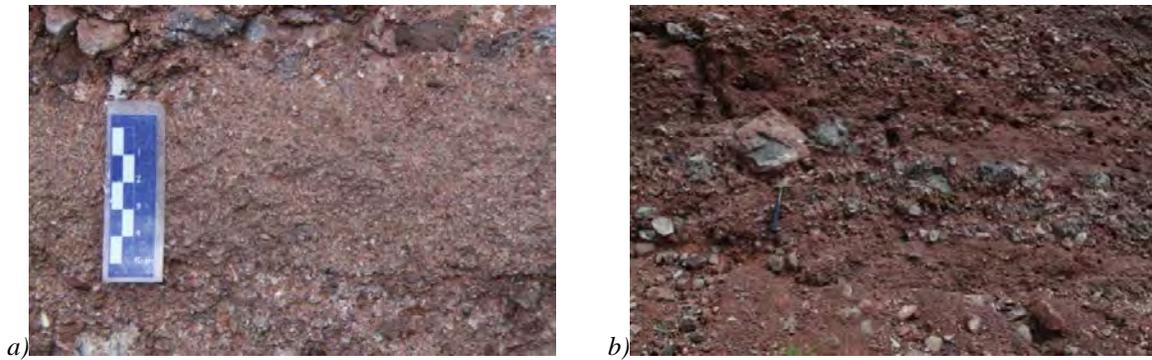


Figura 4.9. a) Gradación decreciente en las facies Sh, observadas en el paquete basal de la Columna 4. b) En la facies Gmm se observan clastos de tamaño cantos y bloques de caliza dentro de una matriz arenosa. Es posible encontrar partes de la facies Gcm intercalada.

4.4.5. Columna estratigráfica 5

La medición de la columna se realizó en el puerto La Palma, aproximadamente en el km 81. En esta localidad se midieron 8.6 metros de la sucesión clástica, en la cual se reconocen dos paquetes con abundante contenido de clastos de caliza fosilífera y pórfido. Como se muestra en la figura 4.1, hacia la base se encuentra un paquete conglomerático y hacia la cima uno principalmente arenoso. A continuación se describen los dos paquetes en forma ascendente:

1. El paquete basal de 5 m de espesor corresponde con un conglomerado masivo soportado por matriz, con intercalaciones de areniscas masivas y algunos niveles de areniscas con laminación horizontal y material fino (figura 4.10 a y b). Este nivel se corresponde con la asociación de facies **A**. Como se presenta en el capítulo IV, en esta localidad se colectó la muestra ctpnn-51 que consiste en clastos de pórfido dacítico de edad cretácica.
2. Hacia la cima se observa un paquete de arenisca conglomerática masiva. En esta se presentan bloques embebidos y cantos de caliza y pórfido. Lateralmente se pueden encontrar niveles de conglomerado soportado por clastos. Este paquete corresponde con la asociación de facies **B**.

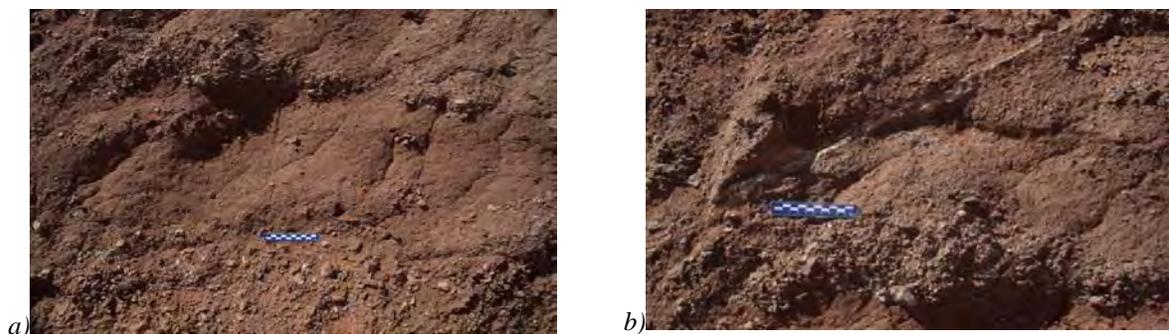


Figura 4.10. Vista a detalles del paquete basal de la columna 5. a) Se observa la facies Sm intercalada con Fl y algunos parches de Gcm. b) Detalle arriba de la figura 3.9 a, facies Fl interestratificada con Gcm, le sobryace la facies Sm.

4.4.6. Columna estratigráfica 6

En el corte carretero del kilómetro 84 se realizó la medición de la columna 6, la cual tiene un espesor expuesto de 62 metros dispuestos en cuatro paquetes que conforman dos conjuntos separados por una marcada discordancia angular. Lo estratos del conjunto basal presentan una inclinación de entre 32 y 54°, y están formados principalmente por clastos cuarzo metamórfico y esquistos. En tanto, el conjunto cimero tiene una posición subhorizontal; sus clastos son en su mayoría de caliza y, de manera subordinada, de pórfido.

Conjunto basal de la columna

1. El afloramiento del conjunto basal inicia con la exposición de 23 m de un conglomerado masivo soportado por clastos de cuarzo metamórfico y esquistos verdes. Con intercalaciones de conglomerado fino y arenas con laminación horizontal, los clastos tienen una alineación preferencial con su eje mayor. Este conjunto se reconoce como la asociación de facies C.
2. El segundo paquete de 5 m se corresponde con la asociación de facies D. Este está conformado por conglomerados finos, en algunos casos con una difusa gradación. En este nivel se distinguen diversos canales que tienen como relleno conglomerados soportados por clastos y depósitos de tamiz. Los flujos que formaron estos cuerpos se acomodaron en la topografía preexistente (figura 4.11) Los siguientes dos metros se encuentran cubiertos.

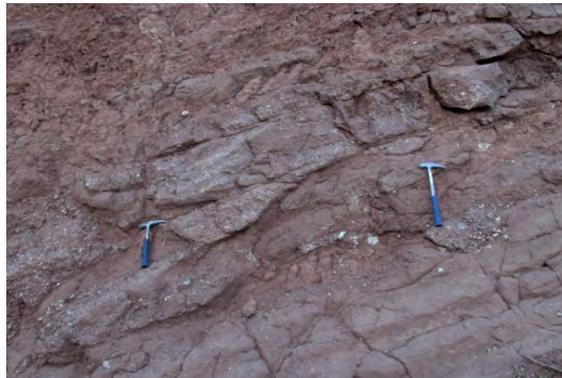


Figura 4.11. Nivel anterior a la discordancia, se observan canales de la facies Gcm dentro la facies Sm, en el conjunto basal de la Columna 6. Es notable la inclinación de las capas.

Conjunto cimero de la columna

3. Después de la discordancia se observa el tercer paquete, correspondiente con la asociación de facies A. Se trata de un conglomerado masivo soportado por matriz, con clastos de caliza y pórfido dacítico. En él se registran niveles de arenas masivas en paquetes de 11 cm y material fino en láminas.
4. El tercer y último paquete consiste en arenisca conglomerática masiva con intercalación de estructuras irregulares de conglomerados soportados por clastos de la asociación de facies B.

4.5. Análisis modales de conglomerado

La caracterización granulométrica de los conglomerados se realizó con base en los análisis modales de los conglomerados. Este procedimiento se describió en el capítulo de metodología. Para fines descriptivos, se presentan referidas a las columnas medidas. Para mostrar los resultados obtenidos en los análisis modales dentro de las columnas se realizaron gráficas que indican el porcentaje de cada clasto. En dichas gráficas sólo se muestran los porcentajes más representativos. Las litologías con porcentajes menores al 10% se agruparon y se muestran en las gráficas como “otros”. También se muestra una gráfica con los porcentajes matriz (en color anaranjado) en oposición a los clastos (color azul marino). En las gráficas circulares se utilizaron los siguientes colores para representar los clastos predominantes en los análisis modales:

- Caliza
 - Pórfido
 - Cuarzo Metamórfico
 - Esquisto Verde
 - Cuarcita
 - Otros (<10%)
- El rubro “otros” contiene:
- Lodolitas
 - Areniscas
 - Pedernal
 - Jaspe
 - Caliche

Análisis modal en la Columna estratigráfica 1

De acuerdo con las variaciones que presenta esta sucesión en la localidad, se realizaron tres estaciones de análisis modal. En el nivel **N10-C1** de la columna se realizó un conteo con la malla de 10x10 cm (figura 4.12 f). El componente principal de este nivel son los clastos de caliza fosilífera bien redondeada con un porcentaje de 82%, la cual tiene tamaños que varían desde 3 hasta 35 cm, con esfericidad de 0.4 y redondez de 0.6. El segundo componente con mayor abundancia es el pórfido (5%), con tamaños entre 2.5 y 7 cm, esfericidad de 0.5 y redondez de 0.4. En menor proporción, se encuentran clastos de cuarzo metamórfico, pedernal y arenisca. Juntos, estos elementos representan el 12% del total de los componentes (figura 4.12 e).

En el nivel **N46-C1** se realizó un análisis modal en una lodolita gravillenta sin estructura interna, pobremente clasificada y sub-madura texturalmente. En algunos niveles del estrato masivo se distinguen clastos de tamaños de cantos y bloques (figura 4.12 d). Aquí se observa la disminución de los clastos de caliza y un aumento de pórfido con respecto al nivel inferior. La caliza sigue siendo el componente principal (56%), con clastos de tamaños que varían entre 2 y 28 cm, mientras que su esfericidad es de 0.5 y su redondez de 0.7. En menor proporción, con un 34.5%, se observa la pórfido con tamaños variables entre 2 y 5 cm, esfericidad de 0.5 y redondez de 0.5. Aún menor es la menor proporción con la que se observan clastos de areniscas, cuarzo metamórfico y pedernal. En conjunto, estos representan el 10% del total de los componentes (figura 4.12 c).

En el nivel **N90-C1** el conteo se realizó en un estrato conglomerático arenoso, pobremente seleccionado, con contactos puntuales entre algunos granos equidimensionales de tamaños que varían entre 2.5 a 20 cm (figura 4.12 b). Con algunos niveles de gradación grano-decreciente con cueros irregulares de areniscas conglomeráticas con base canalizada, este estrato es soportado por clastos de tamaño de canto. La caliza es el componente más abundante del nivel, representando un 84% del total, con tamaños de entre 3 hasta 21 cm, esfericidad de 0.5 y redondez de 0.6. En tanto, el pórfido representa el 5.6% del total, y tiene tamaños entre 2 y 5 cm, esfericidad de 0.5 y redondez de 0.5. Otros componentes, como el pedernal, la arenisca y el cuarzo, conforman el 10% de los clastos. En este nivel se observan algunos clastos tabulares que presentan una alineación incipiente y la roca presenta mayor consolidación (figura 4.12 a).

Análisis modal en la Columna estratigráfica 2

En el nivel **N2-C2** se realizó un conteo con la malla 5x5 cm en un conglomerado soportado por clastos. En algunos niveles se observan clastos con tamaños de cantos y bloques (figura 4.13 f). El componente principal, con un 64%, son los clastos de caliza, con tamaños que varían entre 2 y 11 cm, una esfericidad es de 0.3 y redondez de 0.7. En menor proporción se encuentran los clastos de pórfido, con un 33%, tamaños que varían entre los 2 y 10 cm, esfericidad de 0.5 y redondez de 0.7. Menor aún es la proporción con la que se encuentran los clastos de cuarzo, los cuales representan un 2.7% del total de los componentes (figura 4.13 e).

Se realizó un análisis granulométrico en el segundo paquete, correspondiente al nivel **N13-C2**, esta vez en una arenisca conglomerática (figura 4.13 d). En esta se registra un aumento de los clastos de caliza y una disminución en los de pórfido con respecto al conteo anterior. Los clastos de caliza son el componente principal con un 74%, se observan tamaños entre 2 y 20 cm, así como una esfericidad y redondez de 0.7. El segundo componente más abundante en esta estación son los clastos de pórfido, que constituyen el 12% del total con tamaños que varían entre 8 y 2 cm, y esfericidad y redondez de 0.5. El 7% restante está constituido por clastos de cuarcita, pedernal, cuarzo y caliche (figura 4.13 c).

En el nivel **N34-C2** se encuentra un conglomerado soportado por clastos (figura 4.13 b). Con respecto al nivel inferior, en el conteo se registra una disminución en el contenido de caliza y un aumento en los clastos de pórfido. La caliza es el constituyente más abundante (68%), y tiene tamaños que varían entre 3 y 26 cm, esfericidad de 0.3 y redondez de 0.7. Por otro lado, el pórfido es el segundo componente más abundante (22%), con tamaños entre 3 y 12 cm, una esfericidad de 0.5 y redondez de 0.7. Otras litologías de clastos, como cuarzo, arenisca, caliche y pedernal, suman en conjunto un 9% del total de los componentes (figura 4.13 a).

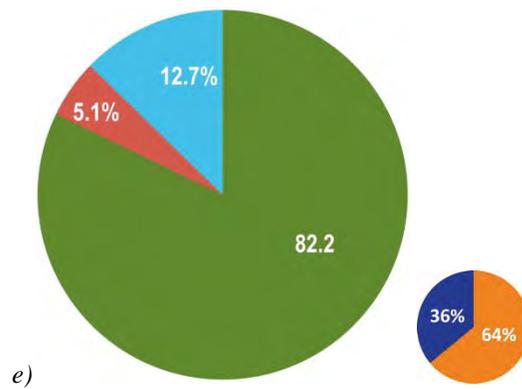
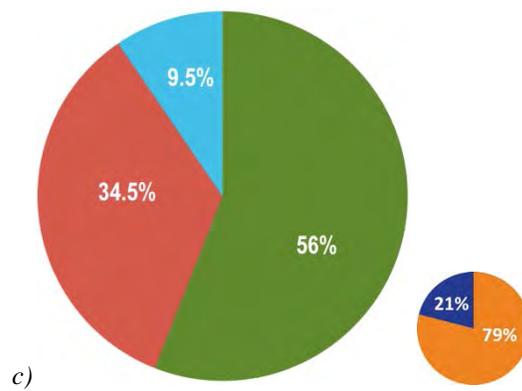
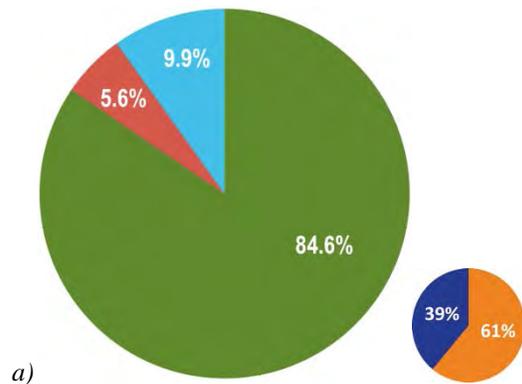


Figura 4.12. e y f (N10-C1) e) Gráfica circular, la caliza es el componente principal con un 82.2% y en forma subordinada un 5% de clastos de pórfido. La matriz tiene un 64%, el contenido de clastos es del 36%. f) Malla de conteo con nodos cada 10cm. c y d (N46-C1) c) Gráfica circular, clastos de calcáreos con un 56% y 34% de clastos de pórfido. La matriz tiene un 79%, el contenido de clastos es del 21%. La matriz tiene un 79%, el contenido de clastos es del 21%. d) Conglomerado masivo con cantos y bloques de caliza. a y b (N90-C1) a) Gráfica circular, la caliza tiene el 84.6%, los clastos de pórfido 5.6%. La matriz tiene un 61%, el contenido de clastos es del 39%. b) Conglomerado con clastos tabulares de caliza.

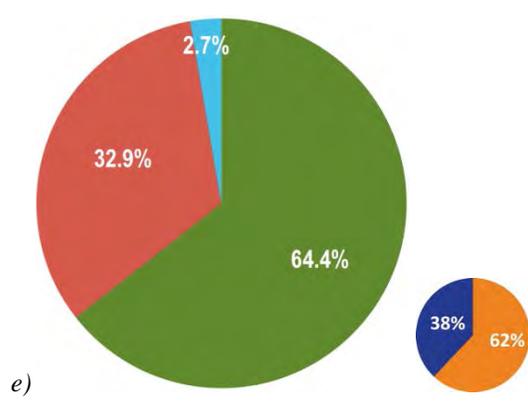
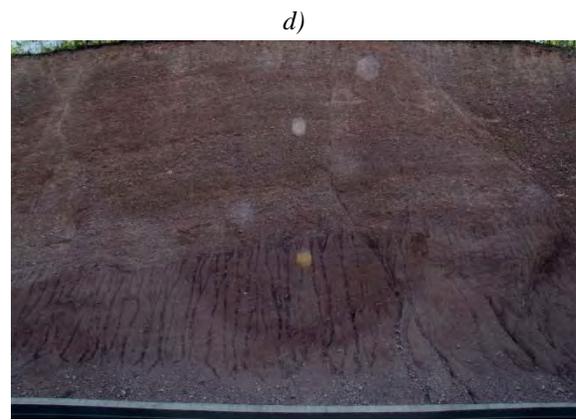
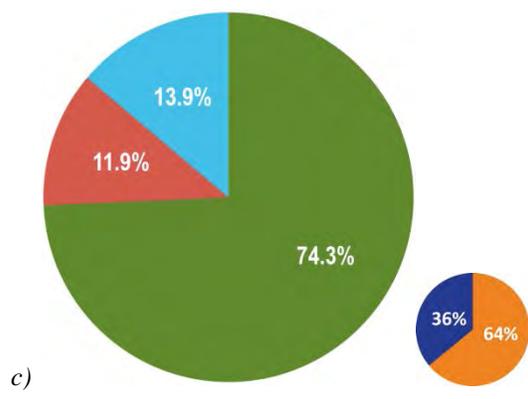
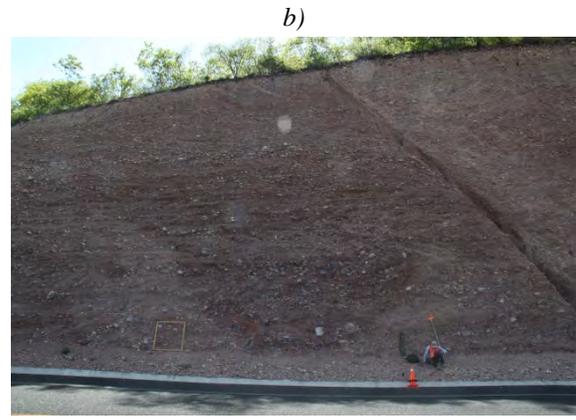
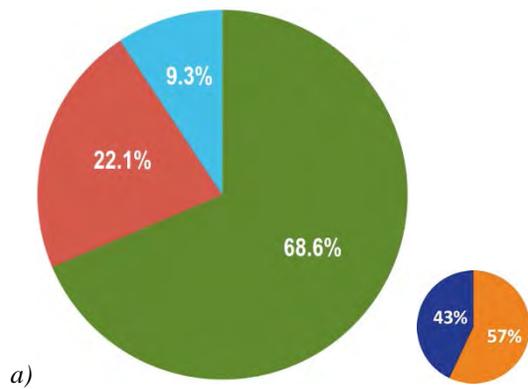


Figura 4.13. e y f (N2-C2) e) Gráfica circular, La matriz tiene un porcentaje del 62 mientras que los clastos tienen un 38%. La caliza es el componente principal con un 64%, como segundo componente están los clastos de pórfido con 32%. f) Cantos y bloques de caliza embebidos en una matriz de arenas y guijarros. c y d (N13-C2) c) Gráfica circular. La matriz tiene un porcentaje del 64 mientras que los clastos tienen un 36%. Los clastos calcáreos con un 74% y 11% de clastos de pórfido, d) Paquete de areniscas subyace a un paquete de conglomeráticos. a y b (N34-C2) a) Gráfica circular, La matriz tiene un porcentaje del 64 mientras que los clastos tienen un 36%. La caliza tiene el 68%, los clastos de pórfido 22% b) Paquete conglomerático en donde se realizó el análisis modal.

Análisis modal en la Columna estratigráfica 3

De acuerdo con las variaciones observadas en la secuencia, se realizaron 2 análisis modales de conglomerados: uno en el nivel **N9-C3** y otro en el nivel **N15-C3**. Para el caso del nivel **N9-C3**, se hizo un conteo con la malla de 5x5 cm en un conglomerado soportado por matriz (figura 4.14 d). El componente clástico principal es la caliza, con un 58% del total de los componentes, tamaños de 3 a 20 cm, esfericidad de 0.5 y redondez de 0.7. La siguiente litología en orden de abundancia es de pórfido, con un 36%, esfericidad de 0.5 y redondez de 0.7. También es posible encontrar clastos de caliche, arenisca, cuarcita y pedernal que en conjunto ocupan un 6% (figura 4.14 c).

En el caso del nivel **N15-C3** se realizó un conteo con la malla 5x5 cm. Este es un conglomerado soportado por clastos. Los porcentajes con respecto al nivel inferior no tienen mucha variación (figura 4.14 b). En este conteo el componente principal en el conglomerado es la caliza fosilífera, con un 82% y con tamaños que varían entre 3 y 23 cm, esfericidad es de 0.5 y redondez de 0.7. El siguiente componente más abundante es el pórfido, con un 10% del total de los componentes, tamaños que varían entre 3 y 12 cm, una esfericidad de 0.5 y una redondez de 0.3. Es posible encontrar clastos de caliche, arenisca, cuarcita y pedernal dentro del 8% restante del total (figura 4.14 b).

Análisis modal en la Columna estratigráfica 4

Para caracterizar esta secuencia se hicieron análisis modales de conglomerado en tres estaciones: el nivel **N9-C4**, el nivel **N18-C4** y el nivel **N31-C4**. En el nivel **N9-C4** se realizó el conteo con la malla de 2x2 cm dentro de una arenisca conglomerática (figura 4.15 f). En este nivel los clastos de caliza constituyen un 52% con tamaños que varían entre 4.5 y 1 cm, con esfericidad y redondez de 0.7. Subordinadamente se encuentran clastos de pórfido, que conforman un 25% del total de los componentes, con tamaños entre 0.7 y 4 cm, esfericidad de 0.7 y redondez de 0.5. En menor proporción, con un 19% del total, se observan clastos de cuarcita de tamaños menores a 4 cm, con esfericidad y redondez de 0.5. El 23% restante corresponde a un conjunto heterogéneo de clastos de cuarzo, esquisto verde, cuarcita, arenisca y pedernal (figura 4.15 e).

La segunda estación de conteo corresponde al nivel **N18-C4**. En este caso, la valoración se practicó con la malla 5x5 cm en un conglomerado soportado por matriz (figura 4.15 d). Aquí se observa la disminución de clastos de caliza y de pórfido. Con 39% la caliza es el componente más abundante con tamaños entre 1.5 y 15 cm su esfericidad y redondez son de 0.7, los clastos de pórfido tienen un porcentaje similar, y sus tamaños varían entre 2.5 y 8 cm, su esfericidad y redondez es de 0.3. Entre el 21% restante se encuentran clastos de cuarzo, esquisto verde, arenisca, cuarcita, arenisca y pedernal (figura 4.15 c).

El tercer análisis modal se hizo en el nivel **N31-C4** en un conglomerado soportado por clastos (figura 4.15 b). En él se observa un aumento de los clastos de caliza. En particular, la

caliza ocupa el 66% del total de los componentes, con tamaños entre 3 y 12 cm, esfericidad de 0.3 y redondez de 0.7. El pórfido representa el 17% del total, sus tamaños varían entre 3 y 7 cm, mientras que su esfericidad y redondez son de 0.3. El nivel también tiene clastos de cuarzo metamórfico, el cual se considera entre el 17% del total que se valora como otros (figura 4.15 a).

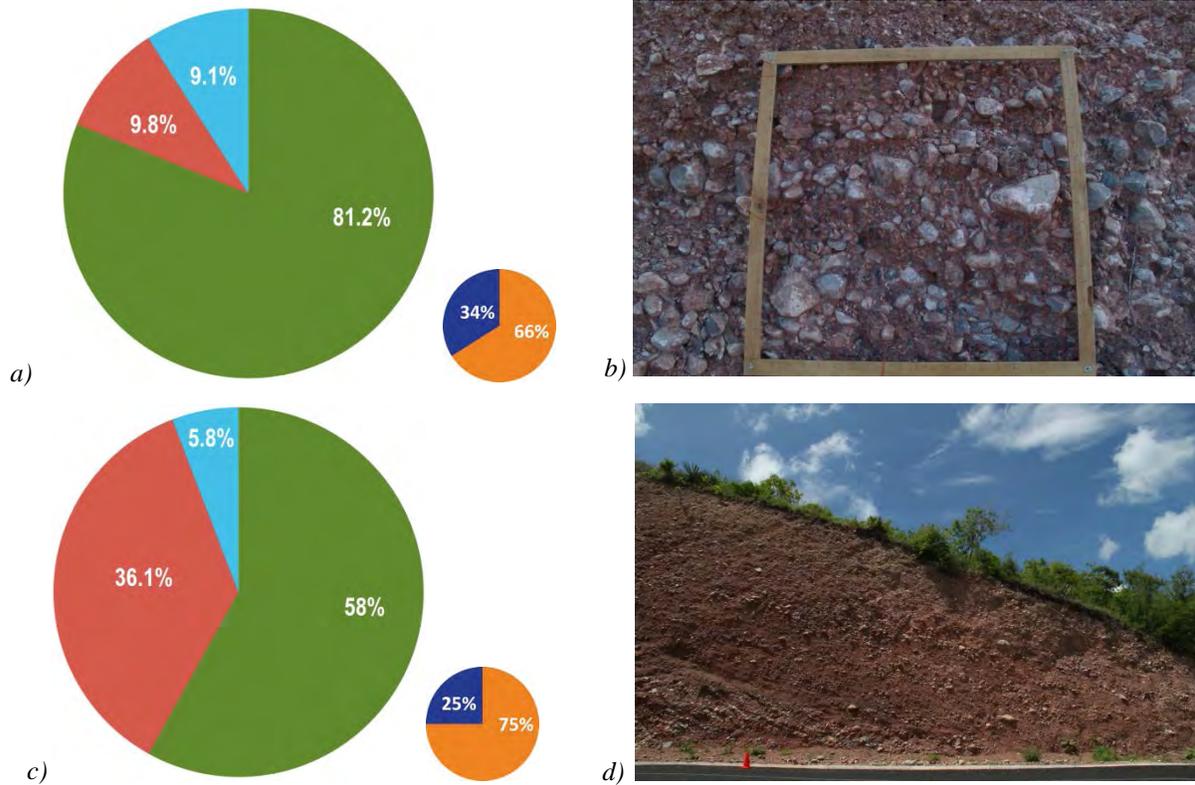


Figura 4.14. c y d (N9-C3) c) Gráfica circular, clastos de calcáreos con un 58% y 36% de clastos de pórfido, d) Paquete conglomerático con cantos y guijarros de caliza. La matriz tiene un porcentaje del 75 mientras que los clastos tienen un 25%. a y b (N15-C2) a) Gráfica circular, la caliza tiene el 81%, de manera subordinada contiene clastos de pórfido 9%; La matriz tiene un porcentaje del 66 mientras que los clastos tienen un 34%. b) Estación de conteo en este nivel, paquete conglomerático con cantos y guijarros con matriz arenosa.

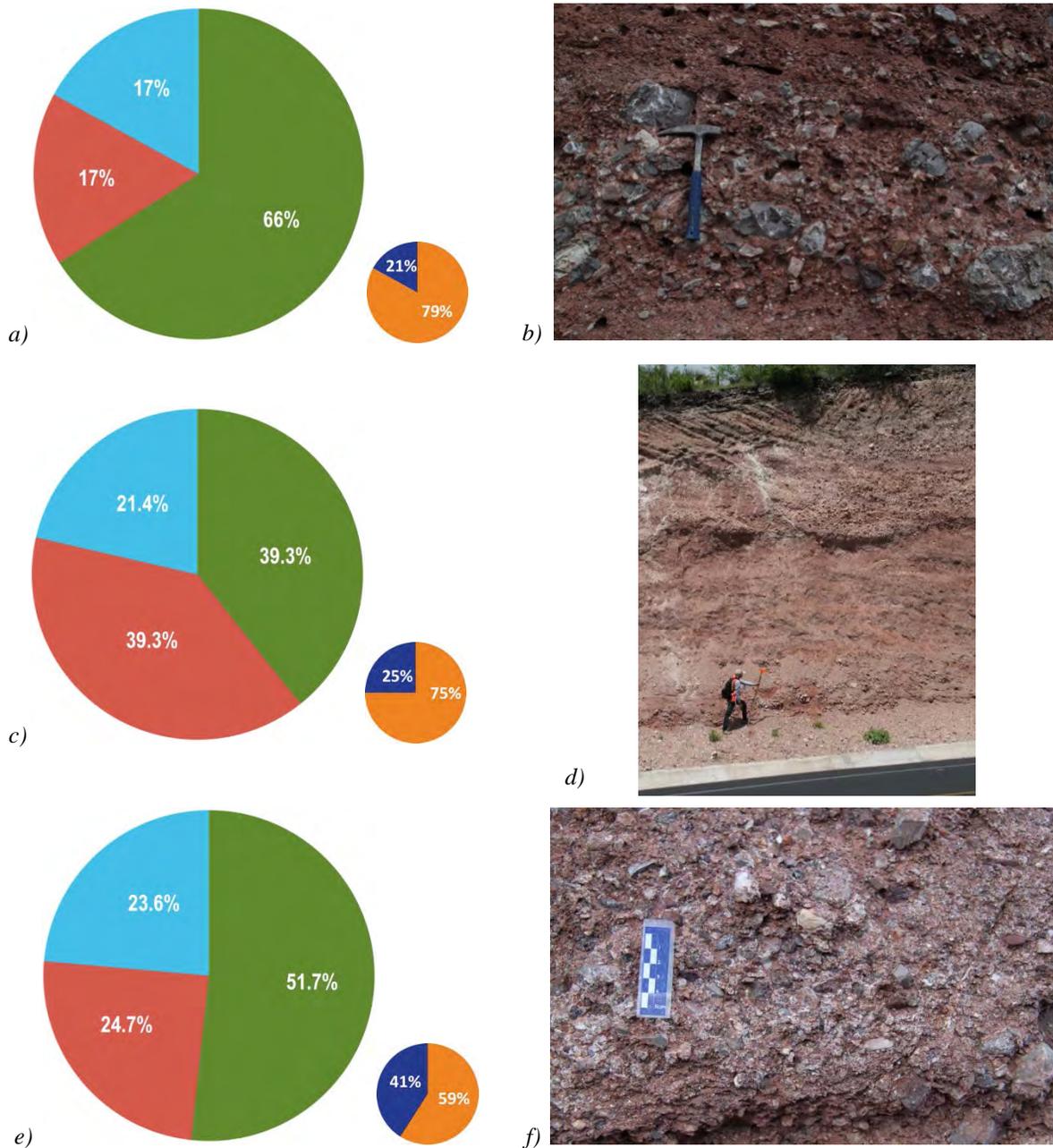


Figura 4.15. e y f (N9-C4) e)Gráfica circular, los clastos de caliza tienen un 51%, los clastos de pórfido tienen un 24%, La matriz tiene un 59% los clastos representan el 41%. f) c y d (N18-C4) c) Gráfica circular, clastos de calcáreos y de pórfido tienen un porcentaje similar. La matriz tiene un 75% los clastos representan el 25%. d) Paquete de arenas en la estación N9-C4; a y b (N31-C4) a) Gráfica circular, la caliza tiene el 66%, de manera subordinada contiene clastos de pórfido con un 17%. La matriz tiene un 83% los clastos representan el 17%. b) Clastos de calizas con tamaño de cantos y bloques.

Análisis modal en la Columna estratigráfica 5

Dados los obstáculos que presenta la localidad, sólo se realizó un análisis modal del conglomerado. Esta vez se hizo el conteo por área (figura 4.16 a). El componente principal del conglomerado son clastos de caliza fosilífera que constituyen un 65%, con tamaños que varían entre 7 y 27 cm, y con esfericidad y redondez de 0.7. El segundo componente más abundante es el pórfido con un 23%, con tamaños entre 4 y 13 cm, y con similar esfericidad y redondez de 0.7. También se observan clastos de pedernal, caliche bien redondeado e intraclastos (11.8%). Dentro de los conglomerados se distinguen cuerpos lenticulares de conglomerado fino y lentes de lodolita (figura 4.16 b).

Después de una discordancia no erosiva, se encuentra un conglomerado soportado por matriz con clastos. En su mayoría, estos son de caliza bien redondeada y, como segundo componente, de pórfido redondeado. En la matriz se observan estructuras lenticulares, con laminación paralela y ondulada en arenas medias a gruesas.

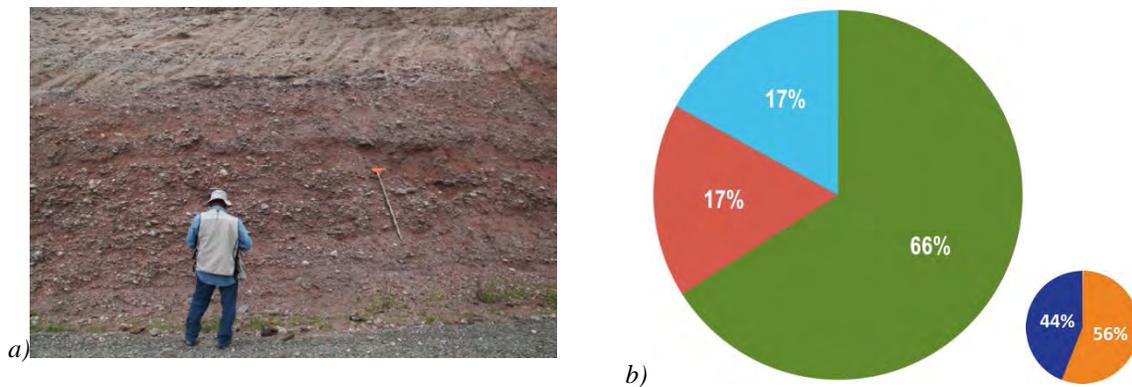


Figura 4.16. a) Corte carretero en donde se realizó el conteo de la columna 5. b) Gráfica circular, los clastos de caliza son los de mayor proporción clastos con un 64%, el 22% es de clastos de pórfido dacítico. La matriz tiene 56% y los clastos un 44%.

Análisis modal en la Columna estratigráfica 6

Debido a las variaciones que presenta la secuencia en esta localidad se realizaron siete estaciones de análisis modal de conglomerados a lo largo de la columna. En el nivel **N0-C6** se realizó un conteo con la malla de 5x5 (figura 4.17 h). El componente principal del nivel son clastos de cuarzo metamórfico con un 64.5%. Estos tienen por lo general una esfericidad de 0.7 y redondez de 0.6, con tamaños entre 1 y 15 cm. Los componentes subordinados son el esquisto verde y la cuarcita. El esquisto verde (16%) presenta tamaños entre 1 y 7 cm, su esfericidad promedio es de 0.6 y tiene una redondez de 0.6 (figura 4.17 g).

En el nivel **N7-C6** se observa un decremento en el porcentaje de clastos de cuarzo y un aumento en los de cuarcita. El cuarzo metamórfico representa un 55% y tiene tamaños que

varían entre 1 y 8 cm, en tanto su esfericidad es de 0.4 y su redondez de 0.5. El esquisto verde disminuye (5.3%) y se presenta con tamaños entre 2.5 y 5 cm, esfericidad de 0.3 y redondez de 0.5. En cambio, la cuarcita aumenta y se observa como el 37% del total de los componentes, presenta tamaños entre 1 y 6 cm, su esfericidad es de 0.3 y tiene una redondez de 0.6. (Figura 4.17 e).

En el nivel **N14-C6** se realizó el conteo en un conglomerado intercalado con lentes de arenisca conglomerática (figura 4.17 d). Se obtuvo un resultado en donde el cuarzo metamórfico mantiene su abundancia con un 55%, tiene tamaños entre 1 y 9 cm, esfericidad de 0.5 y redondez de 0.5. En este nivel aumenta la cantidad de esquisto verde con tamaños entre 1 y 5 cm, esfericidad de 0.5 y redondez de 0.6. La cuarcita, por su parte, presenta tamaños entre 1.5 y 5 cm, tiene una esfericidad de 0.6 y su redondez es de 0.5 (figura 4.17 c).

El análisis modal realizado en el nivel **N22-C6** de la columna, el cual se corresponde con la parte cimera del miembro Los Amates (figura 4.17 b), dio como resultado que el componente principal también es el cuarzo metamórfico. Representando un 43% del total de los componentes, el cuarzo tiene una esfericidad de 0.4 y una redondez de 0.4, con tamaños que varían entre 1 y 5 cm. Los componentes subordinados son el esquisto verde y la cuarcita. El primero constituye un 11% del total, presenta tamaños entre 2 y 4 cm, una esfericidad de 0.3 y una redondez de 0.8. Mientras tanto, la cuarcita representa el 37% del total, tiene tamaños entre 1 y 4 cm, su esfericidad es de 0.3 y su redondez de 0.7 (figura 4.17 a).

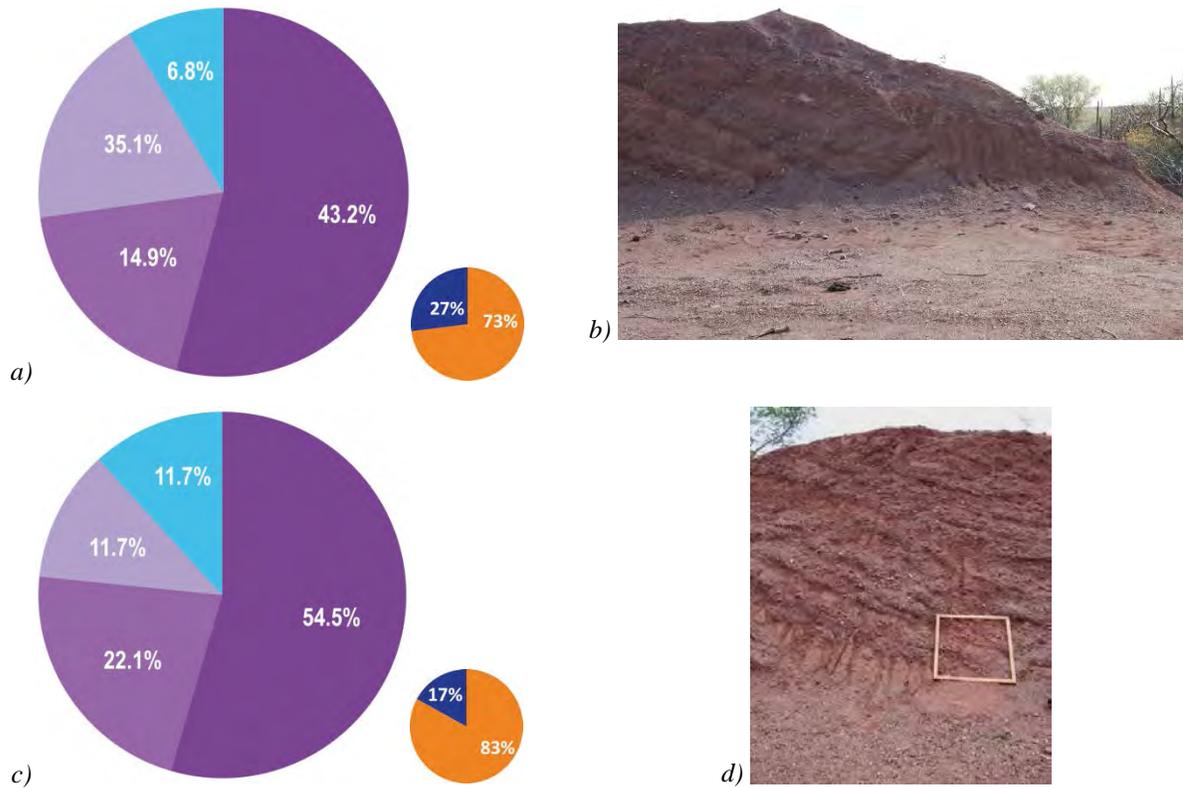


Figura 4.17. Estaciones de conteo en el miembro Los Amates. g y h (N0-C6) g) Gráfica circular, los clastos cuarzo metamórfico se presenta con un 64%, con un 15% se reconoce el esquisto verde. El 63% corresponde con la matriz, mientras que los clastos tienen un 37%. h) Estación de conteo, se realizó con malla de 5x5 cm. e y f (N7-C6) e) Gráfica circular, el 54% corresponde con clastos de cuarzo metamórfico, el 36% es de cuarcita. El 74% corresponde con la matriz, mientras que los clastos tienen un 26%. c y d (N14-C6) c) Gráfica circular, los clastos de cuarzo metamórfico tienen un 64%, mientras que los clastos de esquisto verde representan el 15%. El 83% se corresponde con la matriz, mientras que los clastos tienen un 17% d) Estación de conteo de la estación N14-C6, se observan estratos lenticulares de areniscas y conglomerados. a y b (N22-C6) a) Gráfica circular, el 43% es de clastos de cuarzo metamórfico, el 35% de cuarcita y con 14% se presentan clastos de esquisto verde. El 73% corresponde con la matriz, mientras que los clastos tienen un 27%. b) Estación de conteo de la estación, corresponde con cima del miembro Los Amates.

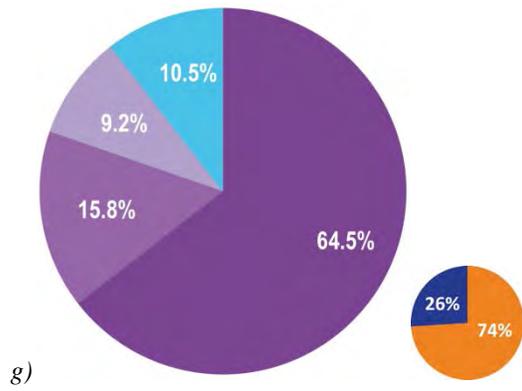
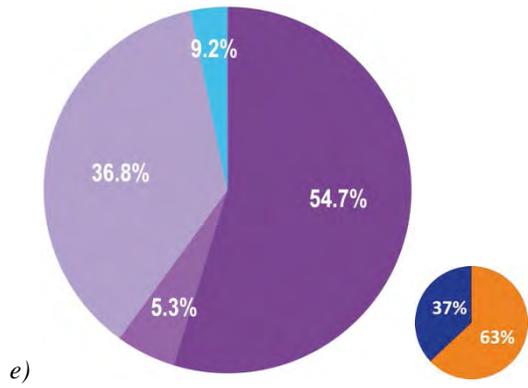


Figura 4.17. Continuación

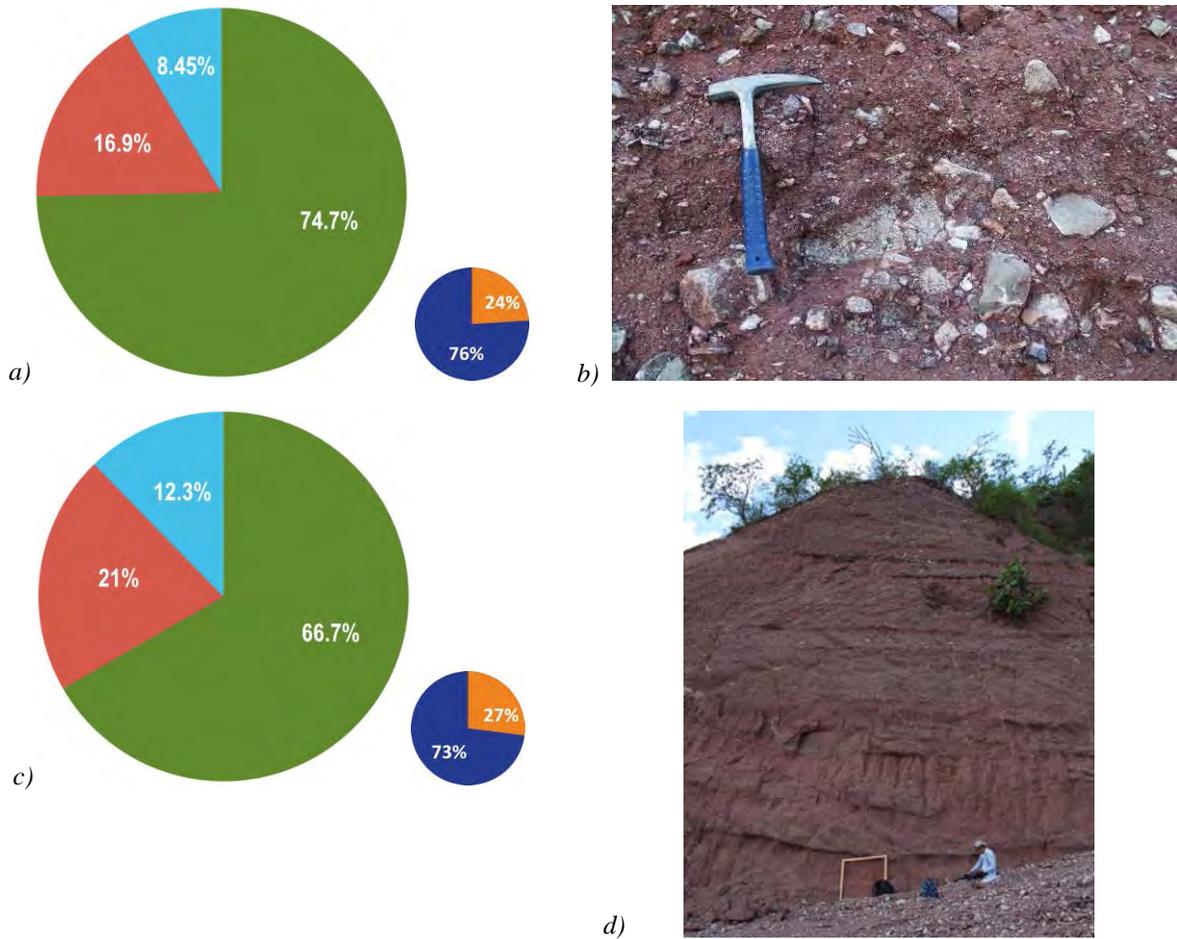


Figura 4.18. Estaciones de conteo en el miembro La Palma. c y d (N39-C6) c) Gráfica circular, el 66.7% corresponde con clastos de caliza, el 21% con clastos de pórfido dacítico. El 73% corresponde con la matriz, mientras que los clastos tienen un 27%. d) Estación de conteo en este nivel, estratos discontinuos de arenisca y conglomerado. a y b (N44-C6) a) Gráfica circular, los porcentajes de caliza y pórfido dacítico son 74 y 16% respectivamente. El 76% corresponde con la matriz, mientras que los clastos tienen un 24% b) Detalle de clastos de pórfido dacítico soportados por matriz.

La figura 4.19 muestra las columnas estratigráficas con el porcentaje de los componentes principales. Con esta información puede hacerse una comparación de la proporción de clastos en sentido S-N. De la misma forma, la figura 4.20 muestra los tamaños máximos para el componente principal en cada columna.

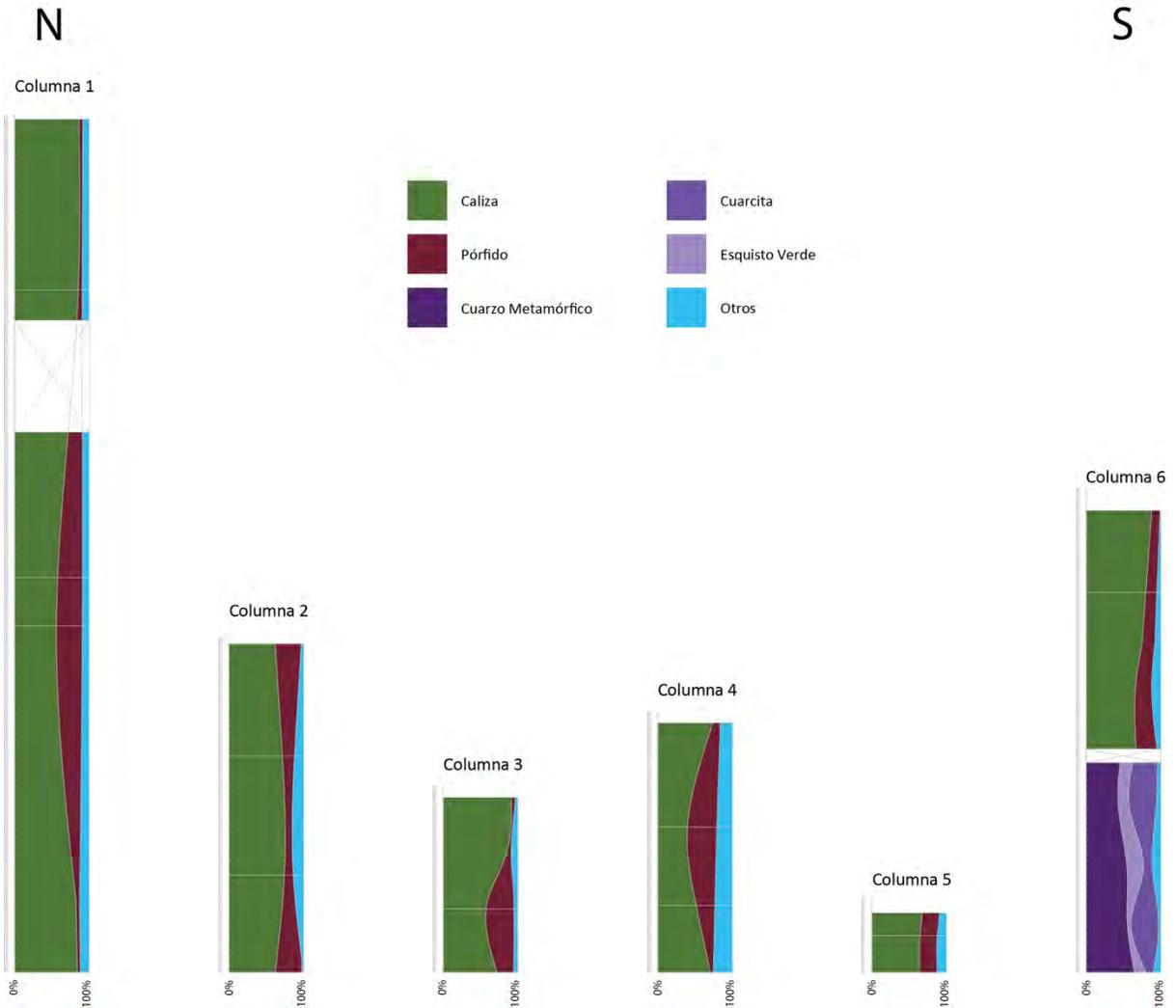


Figura 4.19. Porcentajes de los componentes principales en cada columna estratigráfica. Los porcentajes se muestran en sentido norte-sur, en donde la columna 1 corresponde con la localidad en el sector norte de la Cuenca Tepenene y la columna 6 representa a los dos miembros de la Formación Raboso. Es notable el cambio en la composición de los clastos.

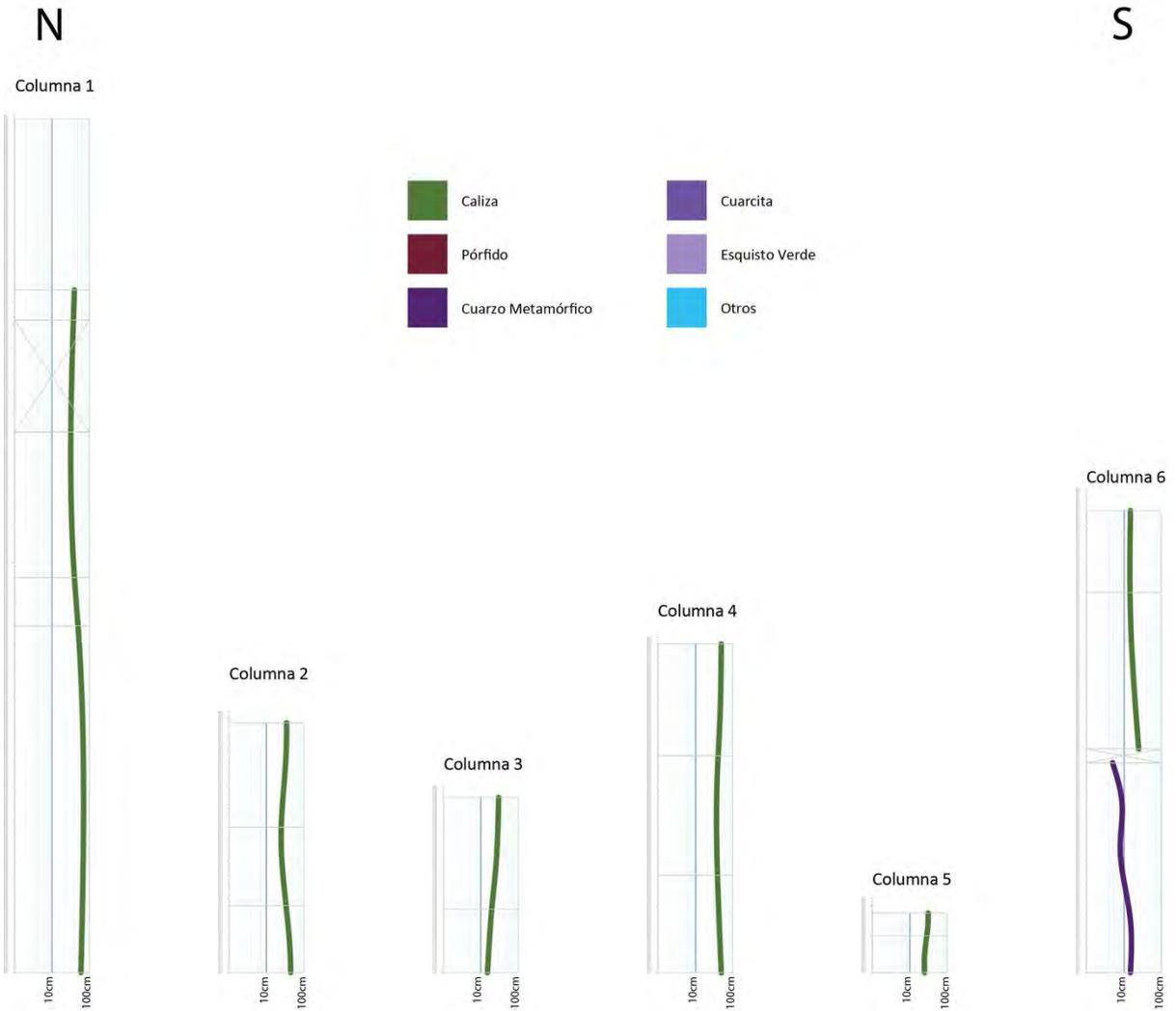


Figura 4.20. Tamaño de los clastos del componente principal en cada columna estratigráfica. Se presentan con escala logarítmica en sentido norte sur. Se nota una clara disminución en los tamaños de los clastos de caliza hacia el sur.

5. ESTRATIGRAFÍA DE LA CUENCA TEPENENE

Con base en la cartografía y en los resultados obtenidos se propone una unidad estratigráfica informal para caracterizar el relleno de la Cuenca Tepenene. Se revisa la naturaleza y edad de un cuerpo intrusivo emplazado en el relleno y se propone una unidad litodémica para denominar un tronco mesozoico expuesto en el sector norte de la Cuenca Tepepene. Esto se efectuó de acuerdo con las normas del Código estratigráfico norteamericano (Barragán-Manzo, *et.al.* 2010).

5.1. Formación Raboso

Se propone el nombre de Formación Raboso a la sucesión conglomerática con horizontes arenosos de color pardo rojizo tenue expuesta al sur de San Juan Raboso, municipio de Izúcar de Matamoros, Puebla. Rodríguez-Torres (1970) describió en esta localidad una secuencia de conglomerados calcáreos con diferentes grados de cementación, la cual nombró como Formación Balsas o Formación Huajuapán. Esta sucesión presenta una clara discordancia angular que separa a dos miembros, los cuales se caracterizan por la naturaleza de sus clastos y por el contenido granulométrico.

Con base en el carácter litológico y en el tamaño de los clastos, el mayor grado de cohesión y, sobre todo, por su carácter estructural, se reconocen dos miembros separados por una discordancia angular. Se propone el nombre Los Amates para el miembro basal que sobreyace al Complejo Acatlán y a la Formación Morelos, mientras que al cimero se le asignó el nombre La Palma. Los estratos del Miembro Amates tienen una inclinación entre 32 y 54°; en tanto que los del Miembro la Palma se inclinan sólo 7°. El contacto entre los miembros se encuentra expuesto en el kilómetro 84 de la carretera 190. En esta localidad se realizó la medición de la columna estratigráfica 6.

5.1.1. Miembro Los Amates

Este miembro está muy bien expuesto en los cortes de la carretera 190 entre el Puerto La Palma y el poblado Los Amates. Se trata de un conglomerado de color pardo rojizo tenue, soportado por clastos con tamaños de gravas, cuyo componente principal son clastos de cuarzo metamórfico. En este miembro es posible reconocer las siguientes características: superficies erosivas, gradación decreciente, cambios de granulometría dentro del mismo nivel, estructuras de corte y relleno, canales, depósitos de tamiz, así como estructuras lenticulares de arenas finas a medias. Los clastos del miembro se encuentran de una manera masiva. El conglomerado está formado principalmente por clastos tabulares de cuarzo metamórfico, con tamaños que varían entre 1 y 15 cm, con niveles de esfericidad y redondez media. En segundo lugar, se tienen clastos de esquisto verde tabulares y discoidales. Sus tamaños van de 1 a 5 cm, con redondez alta y esfericidad baja. De manera subordinada, se encuentran clastos de cuarcita. Se estima un espesor mínimo expuesto de 300 metros para el miembro. Hacia su

cima, en el contacto de los dos miembros, se reconocen abundantes canales y depósitos de tamiz. Los canales tienen una alineación N-S.

En otras localidades se observan conglomerados soportados por clastos. En estos se distinguen estructuras como: depósitos de tamiz, gradación normal, estratificación cruzada y granulometrías de arenas gruesas a guijarros de hasta 8 cm. Si bien la base del miembro no se encuentra expuesta, se infiere que este sobreyace al Complejo Acatlán y a la Formación Morelos mediante un contacto discordante.

5.1.2. Miembro La Palma

El miembro La Palma toma su nombre del Puerto del mismo nombre en el kilómetro 81 de la carretera 190. Se trata de una sucesión de color pardo rojizo tenue caracterizada por la amalgamación de estratos. El miembro se presenta como tres paquetes. De estos, los paquetes inferior y superior son semejantes. Concretamente, se trata de conglomerados soportados por matriz de arenas de grano medio a muy grueso con intercalaciones de conglomerado soportado por granos. En cambio, el paquete medio es una arenisca gravillenta con intercalaciones de conglomerado soportado por matriz. La sucesión conglomerática presenta una incipiente estratificación. Este miembro consiste principalmente de clastos de caliza fosilífera con tamaños de cantos y bloques de hasta 90 cm, bien redondeados y sub-esféricos. De manera subordinada se reconocen fragmentos de pórfido dacítico del Cretácico temprano, equidimensionales, sub-redondeados y sub-esféricos con tamaños de 3 y hasta 20 cm. También es posible distinguir clastos en forma sub-redondeada de esquisto verde, cuarcita, arenisca, jaspe, pedernal y nódulos de pedernal. El tamaño de los clastos de caliza varía, disminuyendo de norte a sur. En el norte, el tamaño máximo es de 90 cm y en la parte meridional es de 50 cm. Por lo general, los clastos son esferoidales, bien redondeados, con índice de esfericidad alto y muy alto.

En los paquetes arenosos se reconocen estructuras como: lentes de arenas y material fino, estratificación cruzada planar, laminación gradación grano-decreciente, superficies onduladas, estratificación y laminación difusa, con una incipiente alineación de clastos. Se estima un espesor total del Miembro La Palma de 180 metros.

5.1.3. Relaciones estratigráficas

La base de la Formación Raboso no se encuentra expuesta. De acuerdo con la naturaleza de los hombros de la cuenca se infiere que la unidad se acumuló sobre el Complejo Acatlán y sobre la Caliza Morelos. Como se mencionó antes, los dos miembros de la Formación están separados por una discordancia angular. La Formación Raboso está cubierta en contacto concordante por los depósitos epiclásticos de la Formación Tepexco, como se observa al sur de San Juan Raboso.

5.2. Pórfido Tepenene

En las cercanías del Poblado Tepenene, aproximadamente en el kilómetro 81 de la carretera 190, se encuentra expuesto un cuerpo intrusivo emplazado en la Formación Raboso. Rodríguez-Torres (1970) definió este cuerpo como granodiorita Tepenene refiriéndose a él como un “cuerpo intrusivo hipabisal con *intemperismo* esferoidal, característico de las rocas ígneas hipabisales”. Debido a las características texturales observadas a simple vista, como se describe más adelante, en este trabajo se propone denominar al intrusivo como *Pórfido Tepenene*.

El intrusivo se caracteriza por sus fenocristales de feldspatos y ferromagnesianos dentro de una matriz afanítica de color gris verdoso. El color en la superficie meteorizada es pardo rojizo debido a la oxidación de los minerales ferromagnesianos. En el análisis petrográfico se observó una textura porfídica. Además, se distinguen abundantes plagioclasas (oligoclasas), cuarzo, anfíboles, biotita y minerales opacos dentro de una matriz microcristalina. De acuerdo con los porcentajes observados en la lámina delgada, el intrusivo se clasificó como pórfido dacítico hipabisal (figura 5.1).

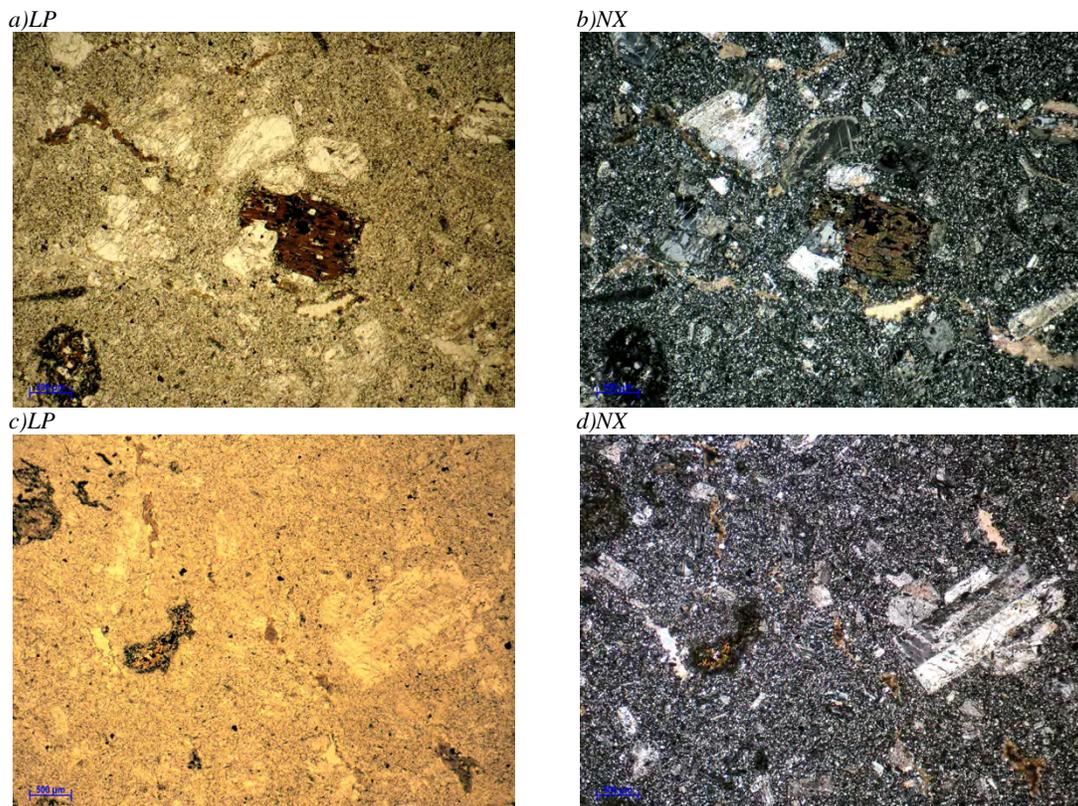


Figura 5.1. Secciones delgadas de la muestra del Pórfido Tepenene. Se observa la matriz microcristalina y óxidos e hidróxidos de hierro. a y b) Porfidoblastos de biotita y plagioclasas. c y d) Porfidoblastos de plagioclasas

Para este trabajo se denomina Pórfido Tepenene a un conjunto de cuerpos emplazados tanto en el Complejo Acatlán como en la Formación Raboso. El cuerpo principal se reconoce como un cuerpo alargado, en donde se distinguen diques con orientaciones ENE-WSW. En su parte más amplia, el cuerpo tiene una alineación N-S y se encuentra emplazado en las fallas que dieron origen a la Cuenca Tepenene. Se distinguen varios diques que cortan al basamento en la parte NNE de la zona y que se encuentran emplazados en los planos de fallas y cuerpos alargados orientados en sentido E-W en el sector sur de la cuenca (ver *mapa geológico*).

A lo largo de la carretera 190 es posible observar diversas intrusiones de composición semejante dentro de la Formación Raboso. En la localidad Los Amates, el pórfido se encuentra cortado por cuerpos de la misma composición y que presentan deformación contemporánea a su emplazamiento. Se observan estructuras macroscópicas como diferenciación mineral en forma de bandas con orientación en sentido N-S. Igualmente, se reconocen estructuras de pliegues cuyo plano axial tiene la misma orientación. El fracturamiento en la roca presenta una orientación dominante, sub-paralela al bandamiento (figura 5.2). La foliación primaria en esta localidad es muy clara, al igual que las autobrechas con un límite muy bien definido (figura 5.3).



Figura 5.2. En las cercanías del poblado El Tepenene, el cuerpo porfídico presenta bandeamientos y foliación primaria.

En el kilómetro 84.5 de la carretera 190 se reconoce el contacto del Pórfido Tepenene con la Formación Raboso. En él se distingue una aureola de esferulitas de vidrio. En algunas zonas estas estructuras resaltan debido a la erosión diferencial (figura 5.4).



Figura 5.3. En la localidad Los Amates se reconocen autobrechas con límites bien definidos.



a)



b)

Figura 5.4 a) Contacto entre La Formación Raboso y el Pórfido Tepenene, en el kilómetro 84.5 de la carretera 190 b) Se reconoce una aureola de esferulitas de vidrio.

5.3. Intrusivo Abelardo Rodríguez

En el basamento metamórfico se encuentra emplazado un cuerpo de color blanquecino con abundante oxidación. El intrusivo presenta huecos por la meteorización de ferromagnesianos, así como vetillas de calcita (figura 5.5). Este cuerpo es alargado, con una extensión aproximada de 3.5 km y con una orientación general al NE 60° SW. En este trabajo se propone el nombre de Intrusivo Abelardo Rodríguez para referirse a este cuerpo, el cual aflora en las cercanías del poblado del mismo nombre, al este de San Juan Raboso.

El Intrusivo Abelardo Rodríguez presenta una textura porfídica. A pesar de su alto grado de meteorización, es posible identificar fenocristales de feldespatos. En el análisis petrográfico (figura 5.6) se distinguen cristales de plagioclasas y, en menor abundancia,

cristales de cuarzo dentro de una matriz microcristalina. Como minerales accesorios se reconocen la abundante hematita y, como mineral de relleno, la calcita.

5.3.1. Relaciones estratigráficas.

En el área de estudio no se observa el contacto. Sin embargo, se infiere que el Intrusivo Abelardo Rodríguez corta al basamento representado por el Complejo Acatlán y que se encuentra en contacto estructural con las rocas calcáreas de la Formación Morelos.



Figura 5.5. Intrusivo Abelardo Rodríguez, afloramiento en la localidad de Cerro Colorado.

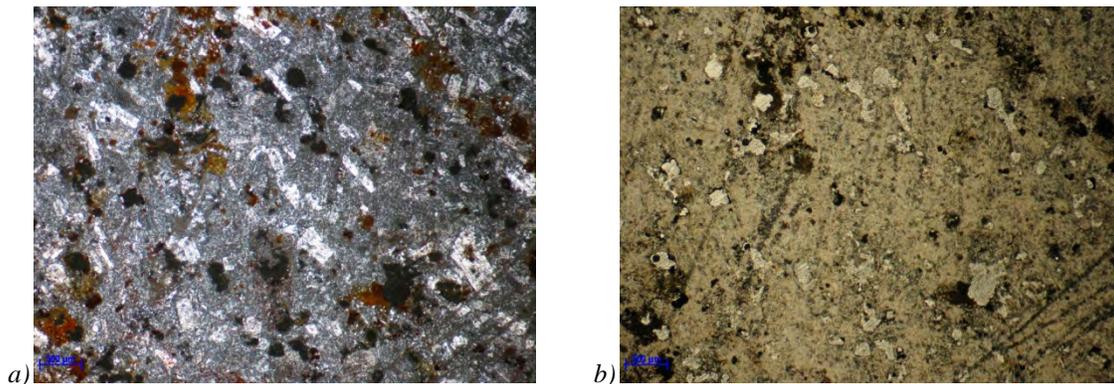


Figura 5.6. Sección delgada del Intrusivo Abelardo Rodríguez. Fenocristales de plagioclasas contenidos en una matriz microcristalina.

5.4. Columna estratigráfica del área de estudio

En la columna estratigráfica se observan las relaciones estratigráficas que se guardan entre la formación y los cuerpos intrusivos, en figura 5.7 se muestran todas las unidades que abarcan el área de estudio.

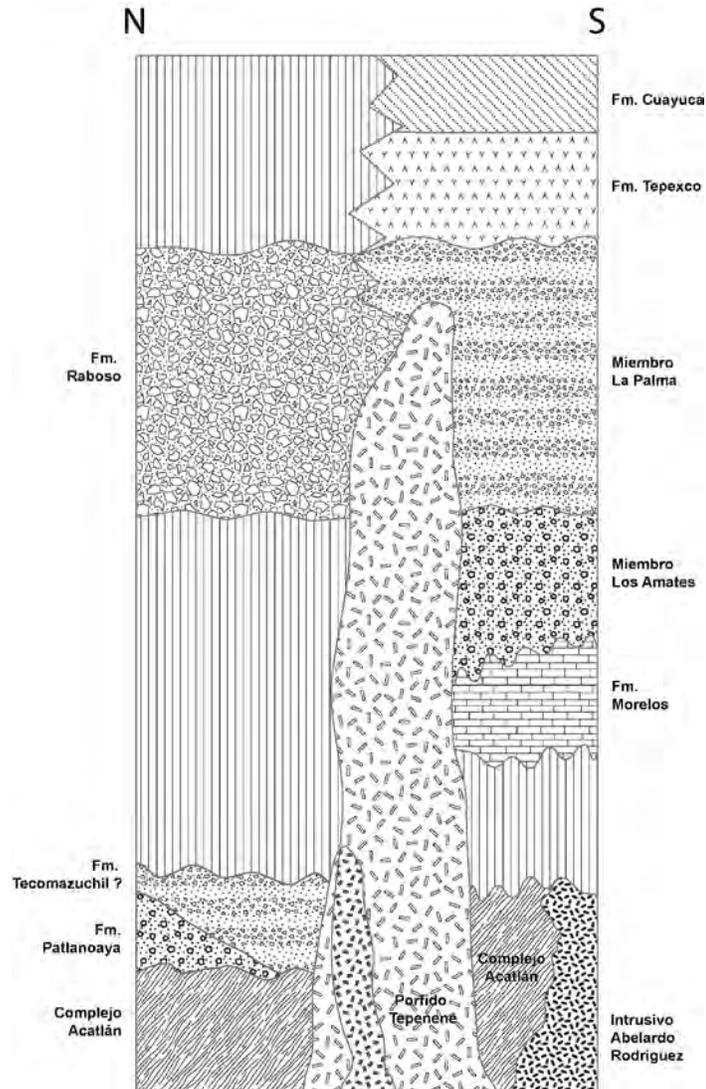


Figura 5.7. Columna esquemática de la zona estudiada, se muestran: el Pórfido Tepeñene que corta a los dos miembros de la Formación Raboso; el Intrusivo Abelardo Rodríguez se encuentra emplazado en el Complejo Acatlán.

6. GEOCRONOLOGÍA

Dado que la Formación Raboso no contiene material fosilífero que permitiera conocer su edad, se colectaron muestras susceptibles de contener circones para obtener fechas numéricas en las rocas ígneas que se encuentran en contacto con la formación. Por un lado, se colectó una muestra en los epiclásticos de la Formación Tepexco que sobreyace a la Formación Raboso, al igual que una muestra del Pórfido Tepenene que se encuentra emplazado en la sucesión de conglomerados en la cabecera de la Cuenca Tehuiztzingo. Otro recurso para conocer la edad máxima de la Formación Raboso fue el fechamiento de los clastos de roca ígnea contenidos en forma abundante en el miembro cimero. Dada la presencia de diques en el Pórfido Tepenene, se obtuvo una muestra de un cuerpo intrusivo emplazado en una discontinuidad en el basamento para conocer el rango temporal implicado. En la tabla 6.1 se presentan los resultados y la ubicación de las muestras procesadas. En el mapa mostrado en la figura 6.1 se muestra la localización de las muestras en el entorno geológico. En el apéndice A “Análisis U-Pb de circones” se presentan los resultados isotópicos obtenidos para cada muestra.

Muestra	Formación	Localidad	Zona	Latitud mE	Longitud mN	Tipo de roca	Material	Método	Edad (Ma)
Tep-06	Formación Tepexco	San Juan Raboso	14Q	561 267	2 048 665	Toba	Circón	U-Pb	33.52±0.38
Tep-07	Pórfido Tepenene	Tepenene	14Q	563 493	2 044 558	Dacita	Circón	U-Pb	31.79±0.52
Ctpnn-36	Pórfido Tepenene	Las Minas	14Q	570 306	2 048 413	Dacita	Circón	U-Pb	31.2±1.3
Ctpnn-46	Formación El Gato	Rio Atoyac	14Q	574 211	2 035 140	Ignimbrita	Circón	U-Pb	29.96±0.48
Ctpnn-51	Clastos Pórfido	Puerto La Palma	14Q	562 222	2 047 292	Dacita	Circón	U-Pb	136 ±1

Tabla 6.1. Se muestran los resultados y datos generales de las muestras fechadas para este estudio.

Los fechamientos por U-Pb se realizaron por medio de ablación láser y espectrometría de masas de plasma inducido acoplado (Laser ablation multicolector inductively coupled plasma mass spectrometry, LA-ICP-MS). El procesamiento de las muestras y de LA-ICP-MS se detalla en el capítulo de metodología. Las tablas de edades se muestran en el apéndice “Análisis U-Pb de circones”.

Para este estudio eran necesarias características especiales en los cristales. Entre estas características se encuentran la ausencia de zonación, la forma euhedral, y la ausencia de inclusiones y cristalinidad para así poder determinar la edad de cristalización de los cuerpos magmáticos. Debido a que los cristales obtenidos eran zoneados, se eligió como zona de ablación el núcleo del cristal. A continuación se describen las muestras utilizadas para su fechamiento.

En la figura 6.1 se muestra la localización de las muestras en el marco del mapa geológico de la zona de estudio. En dicha figura pueden observarse las edades promedio en

cada localidad. Los cuerpos más antiguos se encuentran en la parte septentrional del mapa. La edad de 136 ± 1 Ma corresponde a los clastos de pórfido localizados en el miembro La Palma.

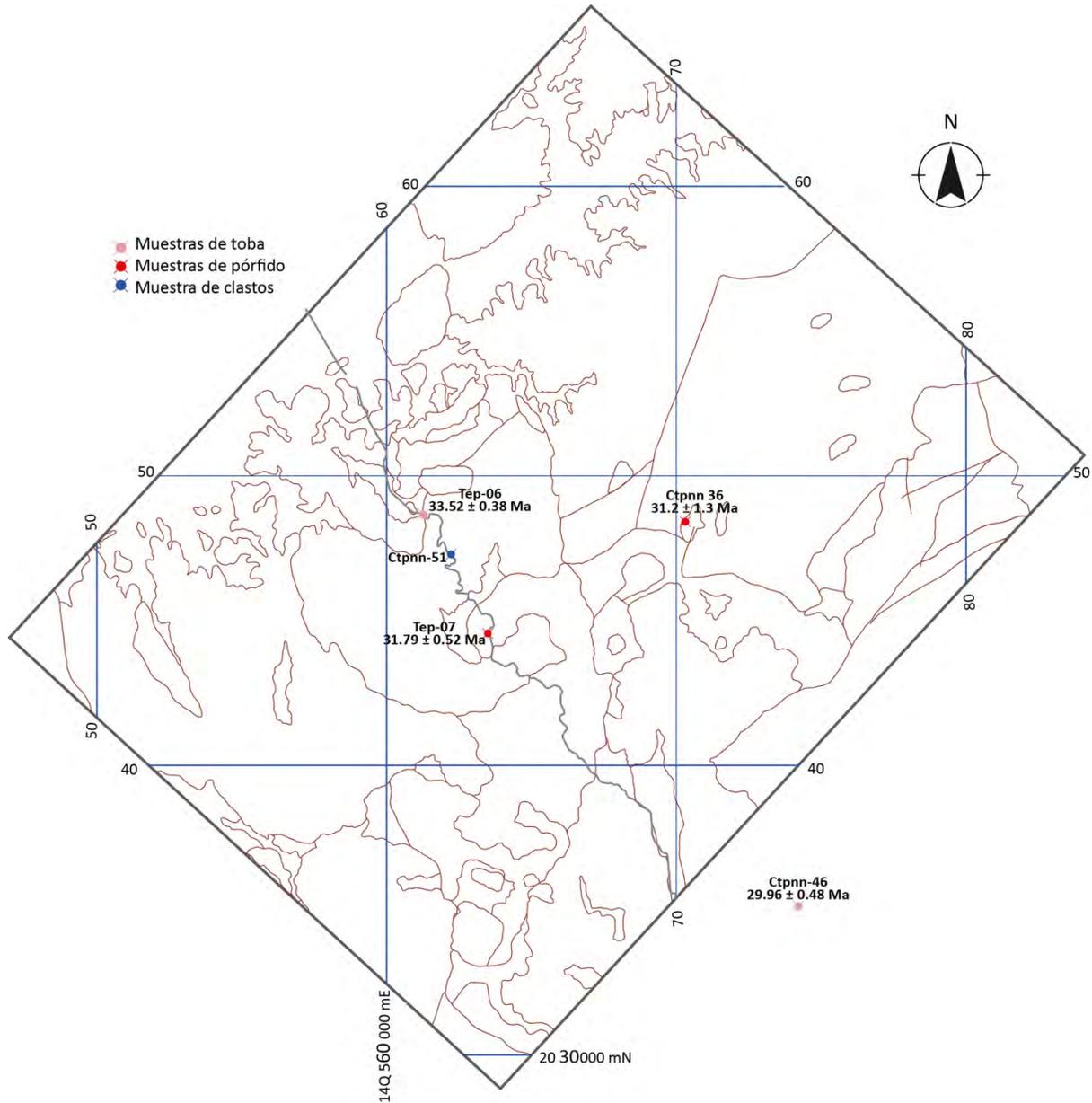


Figura 6.1. Se presenta la ubicación de las muestras fechadas por el método U-Pb con circones magmáticos, así como la fecha obtenida para las muestras de pórfido y tobas.

Las edades promedio obtenidas para las muestras se presentan en diagramas de barras en la figura 6.2. En la figura 6.3 se presentan los diagramas de concordia de Wetherill, en donde se observan los datos para cada muestra.

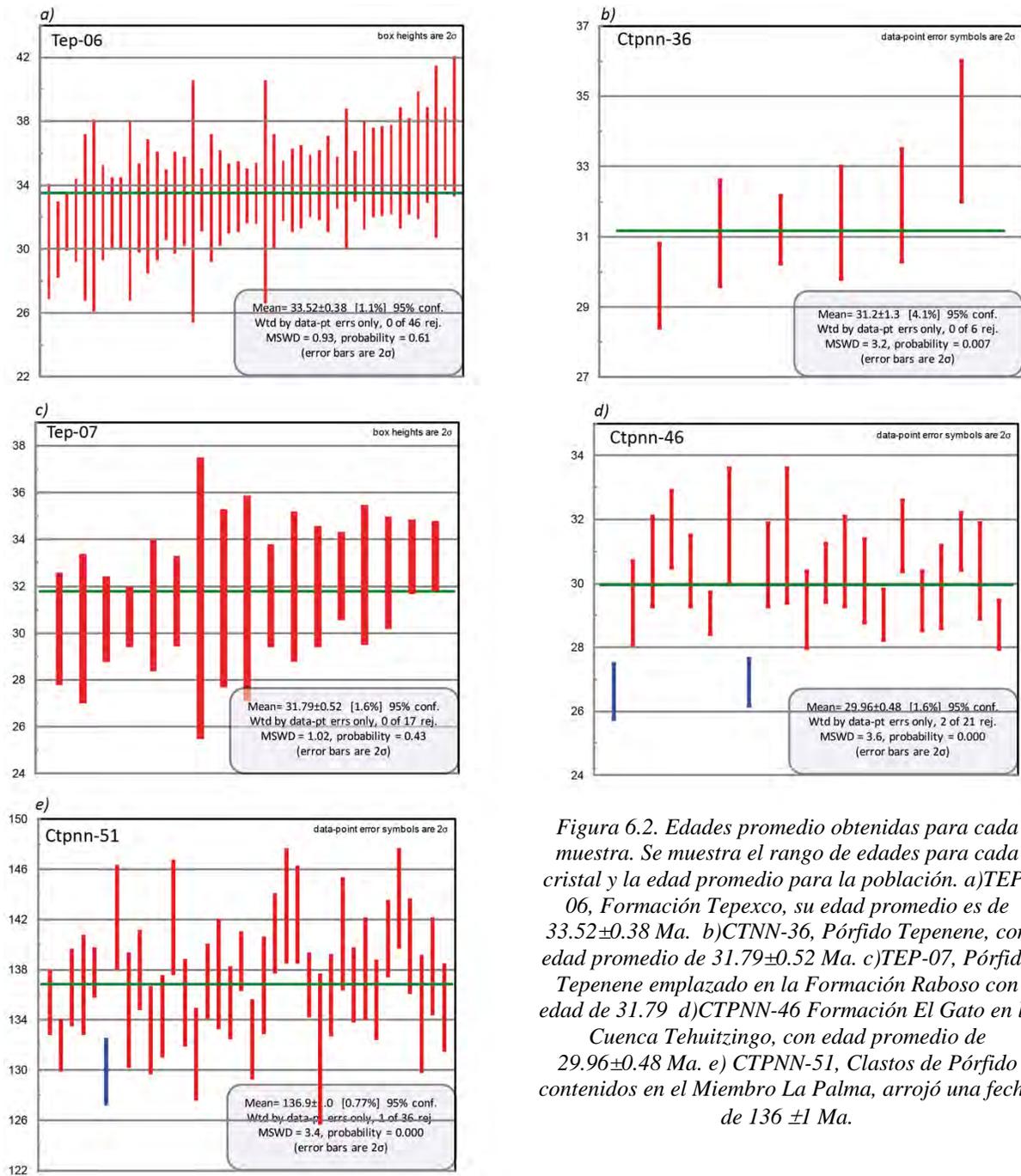


Figura 6.2. Edades promedio obtenidas para cada muestra. Se muestra el rango de edades para cada cristal y la edad promedio para la población. a) TEP-06, Formación Tepexco, su edad promedio es de 33.52 ± 0.38 Ma. b) CTNN-36, Pórfido Tepehene, con edad promedio de 31.79 ± 0.52 Ma. c) TEP-07, Pórfido Tepehene emplazado en la Formación Raboso con edad de 31.79 d) CTPNN-46 Formación El Gato en la Cuenca Tehuiztzingo, con edad promedio de 29.96 ± 0.48 Ma. e) CTPNN-51, Clastos de Pórfido contenidos en el Miembro La Palma, arrojó una fecha de 136 ± 1 Ma.

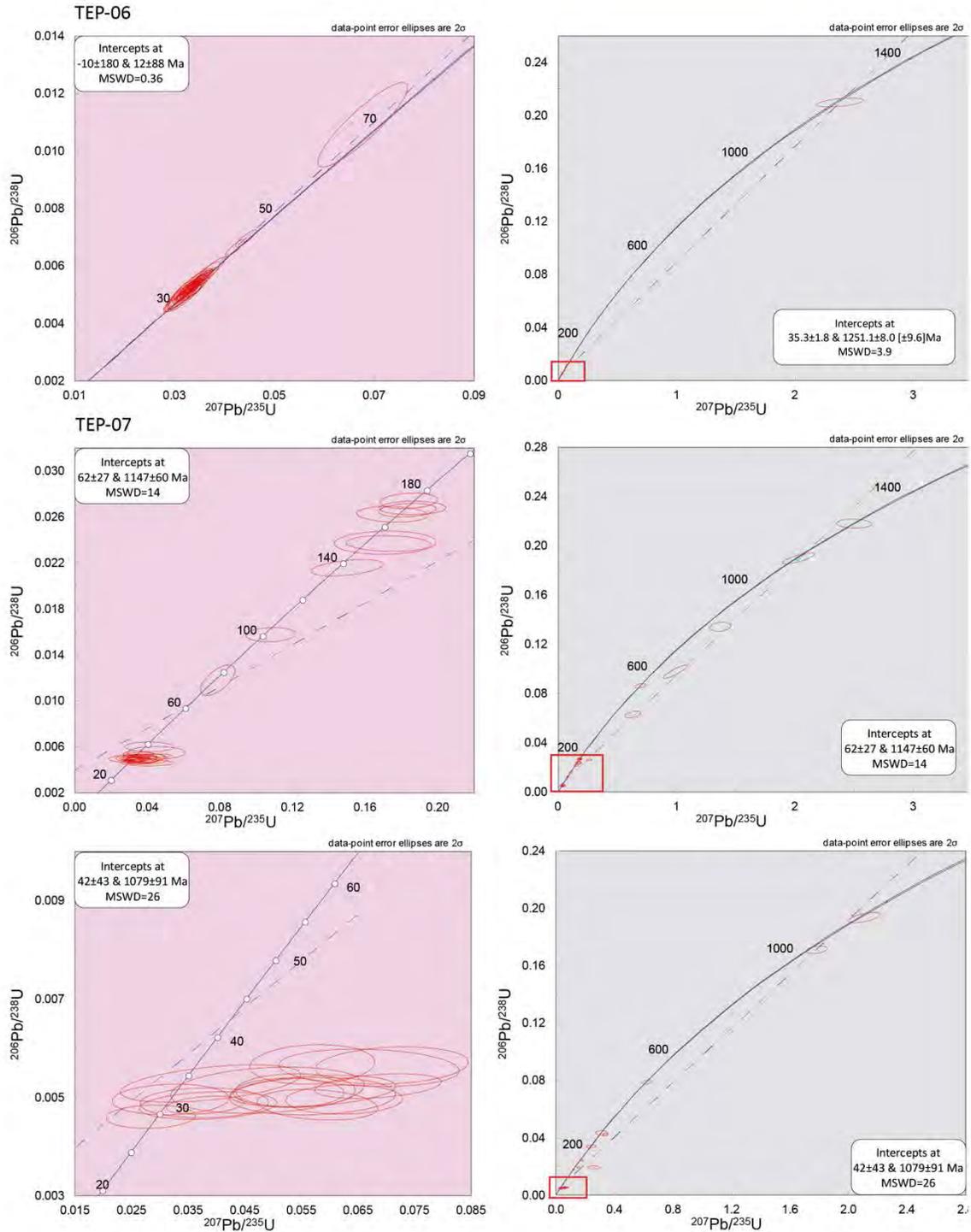


Figura 6.3. Diagrama de concordia de Wetherill de las muestras fechadas para este trabajo. A) TEP-06, Formación Tepexco. B) CTNN-36, Pórfido Tepenene C) TEP-07, Pórfido Tepenene D) CTPNN-46 Formación El Gato en la Cuenca Tehuiztzingo E) CTPNN-51, Clastos de Pórfido contenidos en el miembro cimero. Las letras primas indican una ampliación del recuadro rojo de la gráfica contigua.

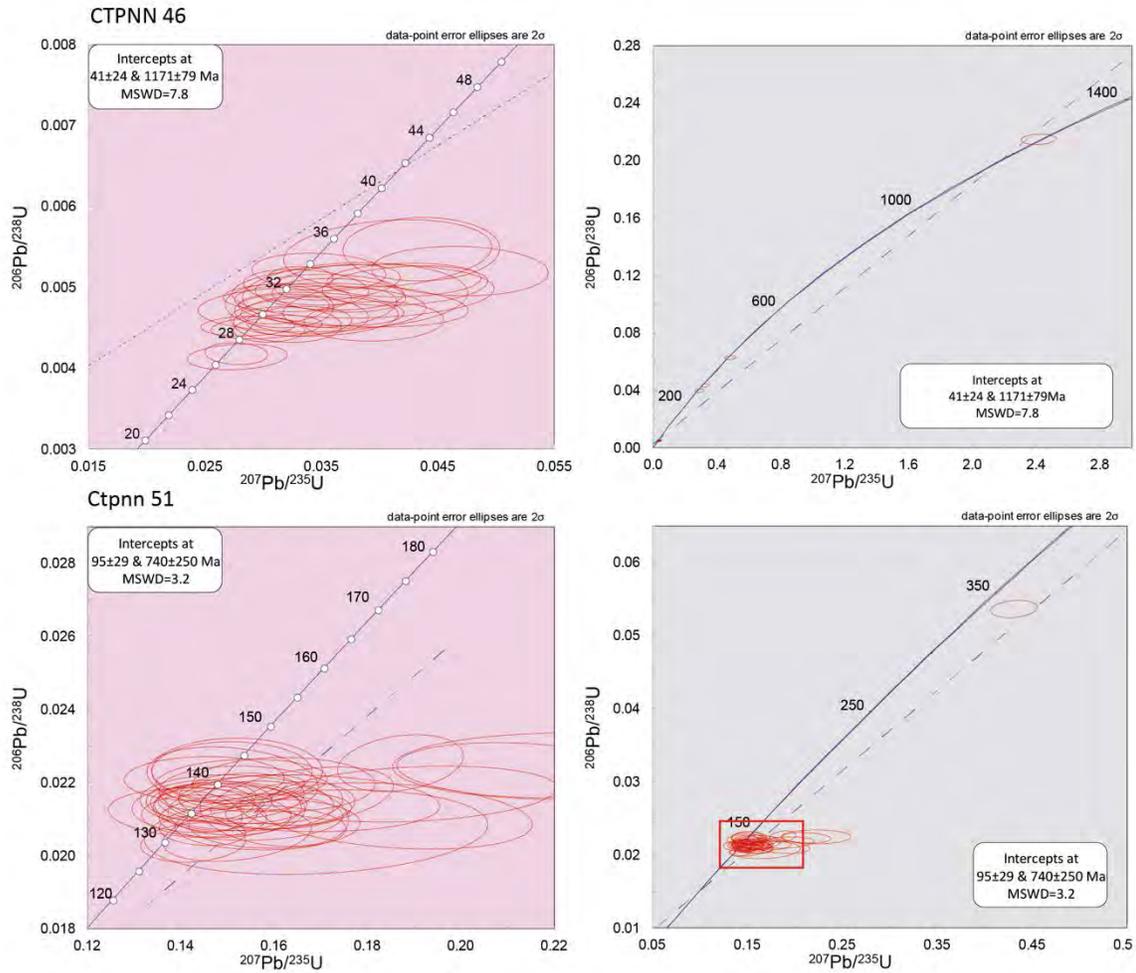


Figura 6.3. Continuación

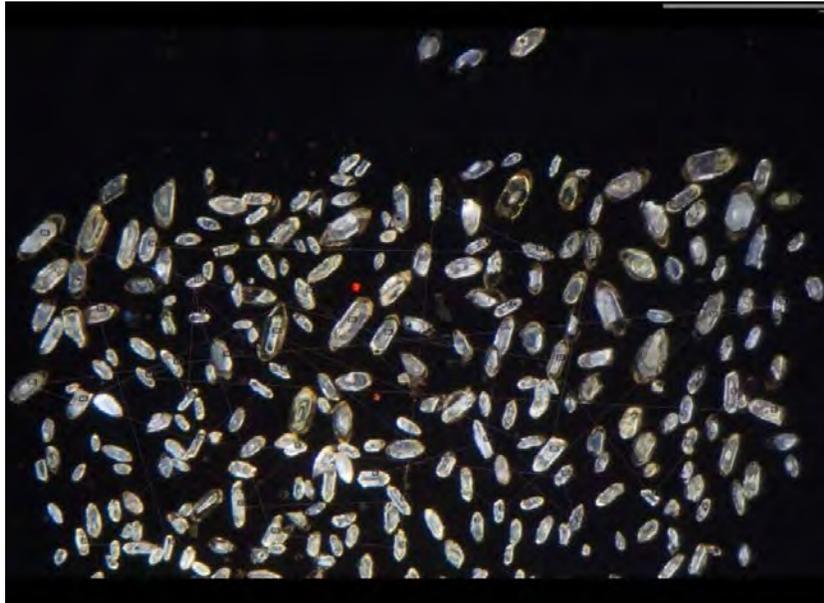
6.1. Muestra TEP-06

La muestra TEP-06 fue colectada partir de una toba en la base de la Formación Tepexco (Fries, 1965) que sobryace concordante a la Formación Raboso. En la imagen de catodoluminiscencia de la muestra Tep-06 (figura 6.4a) se observa una población separada de los circones. Los circones elegidos son cristalinos, euhedrales, bipiramidales y alargados, con algunos cristales subeuhedrales. Con ayuda de esta imagen se eligieron 50 circones con un rango de edades entre 30.5 y 1185 Ma; se descartaron dos casos de circones heredados, uno del Cretácico Tardío y otro del Proterozoico.

Las edades de los circones magmáticos oscilan en entre 27.3 y 39.9 Ma (figura 6.3a). Si se descartan todos los circones que no se encuentran en el rango, es posible realizar una gráfica. La edad promedio de este cuerpo es de 33.52 ± 0.38 Ma (figura 6.2a).



a)

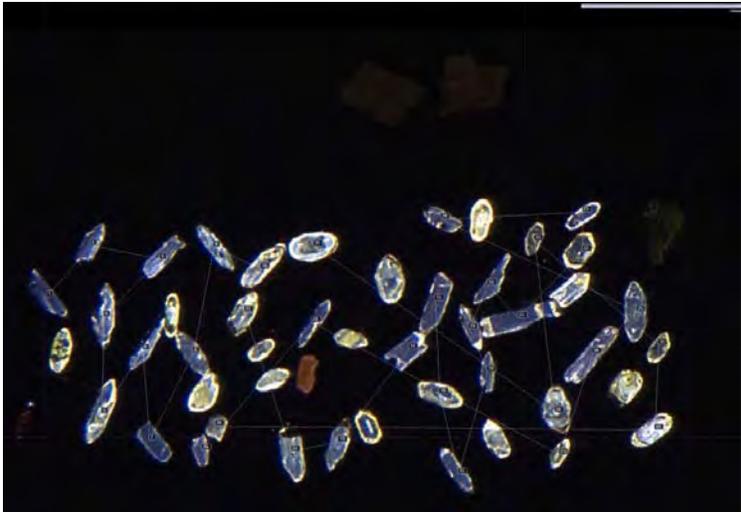


b)

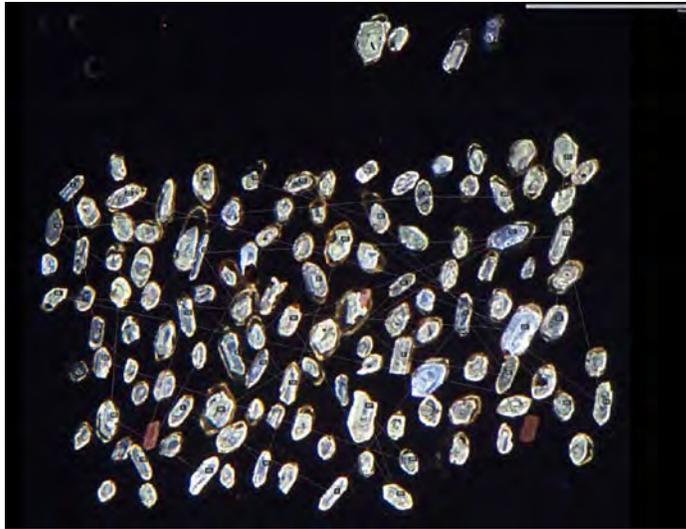
Figura 6.4. Poblaciones de circones por muestra, imágenes de catodoluminiscencia a) Muestra CTPNN-46 recolectados en las cercanías del Río Atoyac en la imagen se observa el punto seleccionado para el disparo con ablación láser en los circones. b) Muestra CTPNN-46 recolectados en las cercanías del Río Atoyac en la imagen se observa el punto seleccionado para el disparo con ablación láser en los circones. c) Muestra de pórfido dacítico TEP-07, en la imagen se observa el punto de ablación láser en los circones, los cristales en color ocre corresponden con apatitos que no fueron utilizados para dichos fechamientos. d) pórfido dacítico CTPNN-36 recolectados en las cercanías de San Miguel las Minas, en la imagen se observa el punto seleccionado para el disparo con ablación láser en los circones, los cristales de color ocre corresponden con apatitos que no fueron utilizados para este estudio. e) Muestra del pórfido dacítico CTPNN-51 recolectados en el Puerto la Palma, en la imagen se observa el punto de disparo con ablación láser en los circones.



c)



d)



e)

Figura 4.4. continuación

6.2. Muestra CTPNN-46

La muestra CTPNN-46, procedente de la Formación El Gato (España-Pinto, 2001), subyace a una sucesión conglomerática en la Cuenca Tehuizingo. Esta fue colectada en las cercanías del Río Atoyac, al NE de Puente el Márquez. Se utilizó una población de 40 circones de una sucesión de ignimbritas que se encuentra concordante con la Formación Raboso. Con ayuda de la imagen con catodoluminiscencia (figura 6.4b) se observan los circones de esta muestra, los cuales son cristalinos euhedrales bipiramidales. Se seleccionaron cristales que presentaron poco o nulo zoneamiento y se descartaron los circones con varias franjas de recalentamiento. En los casos con zonamiento se trató de elegir el punto de ablación en la zona central, ello para obtener la edad de cristalización de los cristales y de depósito de la toba. Se descartaron 4 cristales que presentaron una discordia alta. La edad máxima es de 1277 y mínima de 26.6 Ma (figura 6.3b). Dentro de la población se encontraron circones heredados del Proterozoico, Devónico, y Permo-Triásico. Para el fin del fechamiento se seleccionaron 31 puntos de ablación. Las edades de los circones magmáticos oscilan entre 35.1 y 26.6 Ma (figura 6.3b), y la edad media para esta muestra es de 29.9 ± 0.48 Ma (figura 6.2b).

6.3. Muestra TEP-07

La muestra TEP-07 está conformada por una población de 50 circones. Estos se separaron de la muestra que fue colectada en el poblado El Tepenene en las cercanías de Los Amates, un cuerpo dacítico que corresponde con el Pórfido Tepenene. En la imagen de catodoluminiscencia (figura 6.4c) se observan circones cristalinos, euhedrales, y bipiramidales que, en general, presentan zoneamiento. Con ayuda de esta imagen se eligieron los objetivos de ablación láser. Entre los circones fechados se discriminaron ocho por su alta discordia (figura 6.3c). Se obtuvo una población de circones heredados, de los cuales 3 son del Cretácico, 7 son de edad jurásica, 5 del Proterozoico y uno del Devónico. El rango de edades se muestra en la figura 6.2c. La población fechada va desde los 28 hasta los 38 Ma. Se considera que la edad más probable está ubicada en el pico con mayor número de circones, por lo que se asume que esta es de 31.79 ± 0.52 Ma.

6.4. Muestra CTPNN-36

La muestra CTPNN-36, correspondiente a la muestra Tep-36, procede de un dique dacítico emplazado en la proyección noreste de una falla de relevo que disloca a la Falla San Miguel las Minas. La muestra consta de 35 circones. En la imagen con catodoluminiscencia se observan cristales subhedrales con zoneamiento (figura 6.4d). A partir de esta imagen se eligieron los objetivos para la ablación láser en el centro de los cristales.

De la población de circones fechados, se descartaron 7 por presentar un porcentaje alto en la discordia. El fechamiento realizado en estos circones indica que 2 son de edad proterozoica, 3 triásicos, 1 Pérmico y 1 Jurásico. Aunque los datos obtenidos para el fechamiento de la muestra no permitieron la obtención de una edad precisa (figura 6.2d), se

puede inferir una edad de 31.2 ± 1.3 Ma. Dicha edad es congruente con las edades de otros cuerpos dentro del área.

6.5. Muestra CTPNN-51

Se obtuvo una población de 40 circones de los clastos de pórfido recolectados en el miembro La Palma de la Formación Raboso en la localidad de Puerto La Palma. Con el objetivo de obtener la edad isotópica del cuerpo porfídico que aporó estos clastos andesítico, se limpiaron completamente los clastos para obtener únicamente los circones magmáticos de sus clastos. En la imagen con catodoluminiscencia se observan circones anhedrales a subhedrales y cristalinos (figura 6.4e). Con esta imagen se eligieron los objetivos de ablación al centro de los cristales con menos franjas de zonamiento. El rango de edades en esta población se encuentra entre 129.9 y 142.2 Ma. Se descartaron 2 circones de la muestra final debido a que su discordia era muy alta (figura 6.3d), uno de ellos heredado del Carbonífero. Las edades de los circones magmáticos oscilan en entre 149.5 y 129.9 Ma; la edad promedio de esta muestra es de 136 ± 1 Ma (figura 6.2e).

7. PROCEDENCIA

En este apartado se muestran los resultados acerca de la procedencia de los clastos que componen los conglomerados de la Formación Raboso. Como se muestra en el apéndice de “*Análisis modal de los conglomerados*”, es notorio el cambio composicional entre los detritos de los miembros que constituyen la Formación Raboso. En este sentido, el miembro Los Amates tiene una composición predominante de clastos de origen metamórfico, mientras que los detritos del miembro cimero, La Palma, son de rocas calcáreas y pórfidos dacíticos. Con base en la distribución de los cuerpos rocosos en el entorno, puede apreciarse que los hombros de la cuenca están conformados por rocas metamórficas del Complejo Acatlán, principalmente en sus sectores sur y oriente. En tanto, las rocas calcáreas se presentan en borde norte, donde también se localiza un cuerpo porfídico que corta al Grupo Piaxtla. Durante los trabajos de campo se identificaron en forma general dos conjuntos líticos del Complejo Acatlán: 1) el Grupo Piaxtla, caracterizado por cuarcitas y esquistos verdes, y 2) una unidad meta-sedimentaria cuya asignación litoestratigráfica es incierta.

7.1. Miembro Los Amates

Los clastos que conforman el conglomerado del Miembro Los Amates son principalmente de origen metamórfico. Fundamentalmente, sus clastos son de cuarzo metamórfico y cuarcita, y, de manera subordinada, de esquistos verdes. Adicionalmente, se reconocen otros clastos de rocas como pórfido, caliza y caliche con proporciones menores al 10% del total de los componentes. A continuación se detalla la procedencia inferida para cada tipo de clastos a partir de la distribución actual de los afloramientos metamórficos:

7.1.1. Procedencia de clastos de cuarzo metamórfico

En los clastos de cuarzo metamórfico se reconoce un incremento en la redondez desde la base hacia la cima. De tal forma, puede inferirse que proceden de dos fuentes distintas: una de las segregaciones de cuarzo en las rocas metamórficas proviene del Complejo Acatlán y otra del reciclado de sucesiones clásticas preexistentes. Para la procedencia de los clastos de cuarzo redondeados se consideró la fuente de aporte una sucesión clástica compuesta en su mayoría de cuarzo metamórfico, aparentemente del Jurásico, el cual se encuentra expuesto al NE del poblado de San Miguel las Minas, en el cerro Piedra Blanca, al oriente de la Cuenca Tepenene, como se observa en la figura 7.1.

7.1.2. Procedencia de clastos de cuarcita

Para la procedencia de los clastos de cuarcita se consideraron dos fuentes de aporte, como se observa en la figura 6.1. Dichas fuentes pertenecen al Complejo Acatlán dislocado por el Sistema de Fallas Izúcar-Tecolutla-Boqueroncito, el cual se encuentra en los bordes norte y sur de la Cuenca Tepenene. Con el fin de obtener una dirección de paleocorrientes, se midió

la alineación de clastos en este miembro. A pesar de haber documentado las paleocorrientes hacia el sur, se infiere que estos clastos proceden de los cuerpos del norte y del sur.

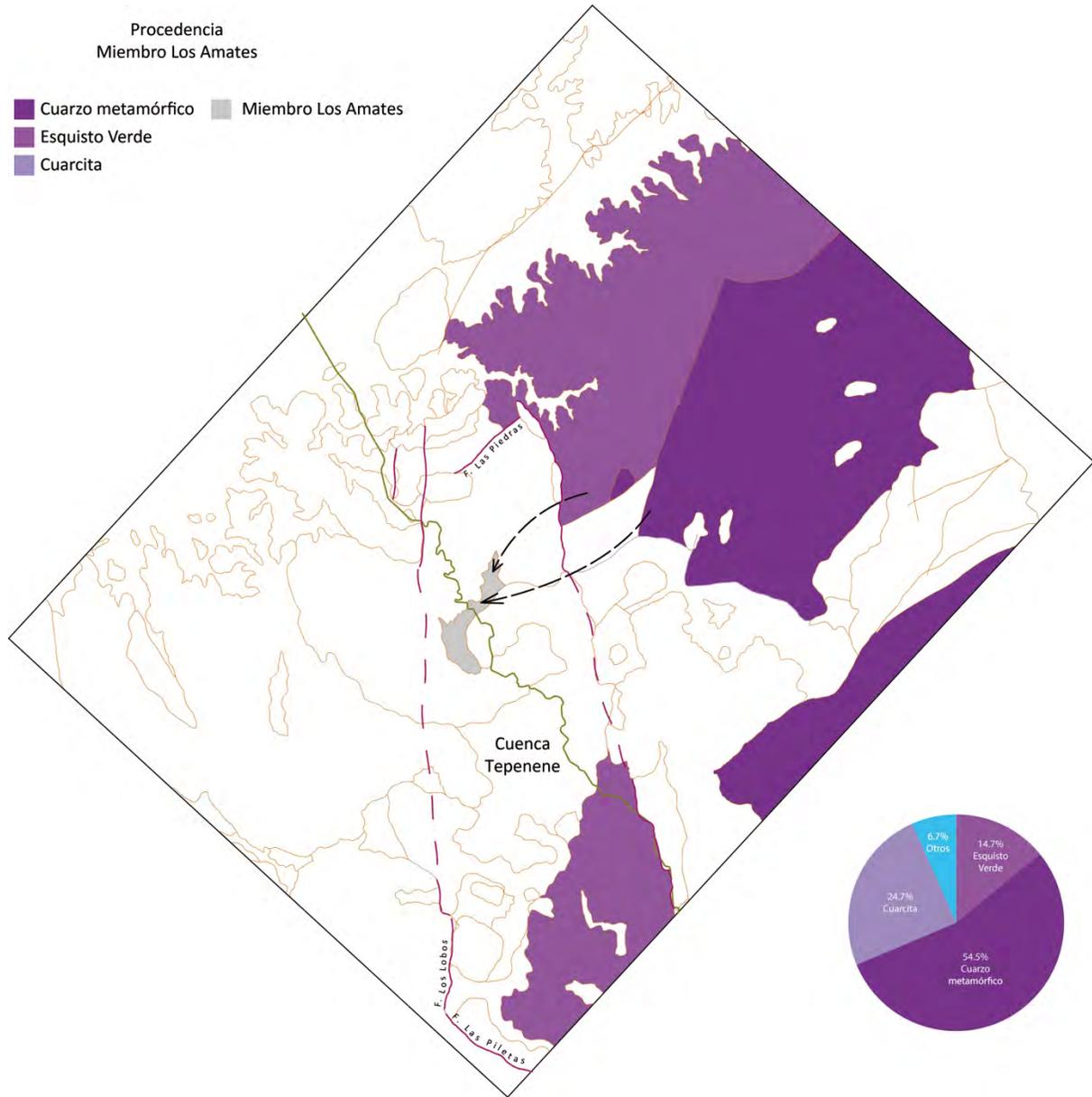


Figura 7.1. Procedencia de los clastos que predominan en el miembro Los Amates, se presentan en orden de abundancia cuarzo metamórfico, esquisto verde y cuarcita. Se infiere que los clastos de cuarzo metamórfico y cuarcita formaban parte del Complejo Acatlán, mientras que los clastos de esquisto verdes procedieron del Grupo Piaxtla.

7.1.3. Procedencia de clastos de esquisto verde

En cuanto a las características físicas de los clastos de esquisto verde, se observa una alta redondez y tienen una forma tabular. Se infiere que el cuerpo aportó estos clastos fue parte del Complejo Acatlán que se encuentra en hombro NE de la cuenca.

7.2. Miembro La Palma

En el Miembro La Palma se reconoce una mayor abundancia de clastos de caliza fosilífera y de pórfido. En menores proporciones se observan clastos de pedernal, cuarcita, arenisca y cuarzo metamórfico. De acuerdo con la distribución actual de los afloramientos de las calizas fosilíferas y de los cuerpos ígneos intrusivos, se infieren las procedencias de cada tipo de clastos:

7.2.1. Procedencia de clastos de roca calcárea

En los clastos de caliza fosilífera se reconoce un alto índice de redondez y tamaños que van de 2 hasta 90 cm. Para su procedencia se consideró la fuente de aporte a los cuerpos que corresponde a la Formación Morelos de edad cretácica que, en la actualidad, se localiza al norte de la Cuenca Tepenene y que está expuesta en los cerros Teponztle, Grande y La Capilla, como se muestra en la figura 7.2.

7.2.2. Procedencia de clastos pórfido dacítico

En las campañas de campo se identificó un cuerpo porfídico hipabisal de composición dacítica que, en sección delgada, se observó con composición similar a los clastos de pórfido dacítico que se encuentran en el conglomerado del miembro cimero. Estos últimos son redondeados y tabulares, con tamaños de guijarros y cantos. Debido a estas observaciones, se infiere que el cuerpo que aportó estos clastos se encuentra expuesto en el Cerro Colorado, al sur del poblado Abelardo Rodríguez, que se localiza en el hombro norte de la Cuenca Tepenene.

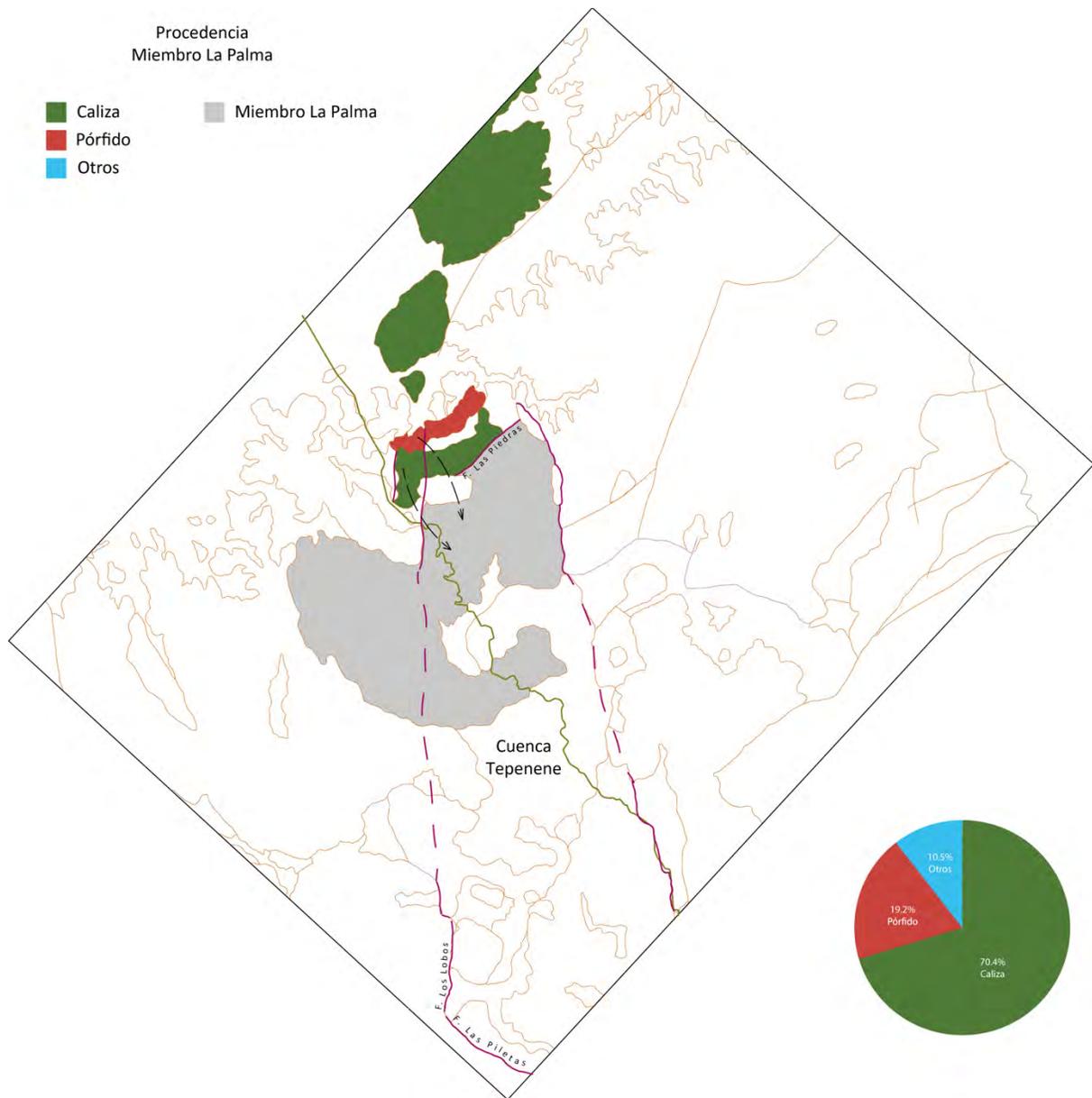


Figura 7.2. Procedencia de los clastos que predominantes en el miembro La Palma, cuyos componentes principales son clastos de caliza procedentes de la Formación Morelos y el intrusivo Abelardo Domínguez, los dos se encuentran en el hombro norte de la Cuenca Tepenene.

8. ESTRUCTURA GEOLÓGICA

En este capítulo se presentan y describen brevemente las características estructurales que definen la Cuenca Tepenene en cuanto a su cinemática y cronología. Se hace un análisis de los rasgos estructurales mayores y menores. Dichas estructuras se presentan en el mapa geológico anexo.

8.1. Entorno Tectónico

El área de estudio se encuentra principalmente en el Terreno Mixteco e incluye un sector pequeño limítrofe con el Terreno Nahuatl (Sedlock et al., 1993) (figura 8.1). En el mapa geológico se presenta la traza de la Falla Papalutla. Si bien su caracterización y cinemática no se discuten en este trabajo, sí se consideran para estimar el desplazamiento del Sistema de Falla Izúcar - Tehuitzingo - Boqueroncito.

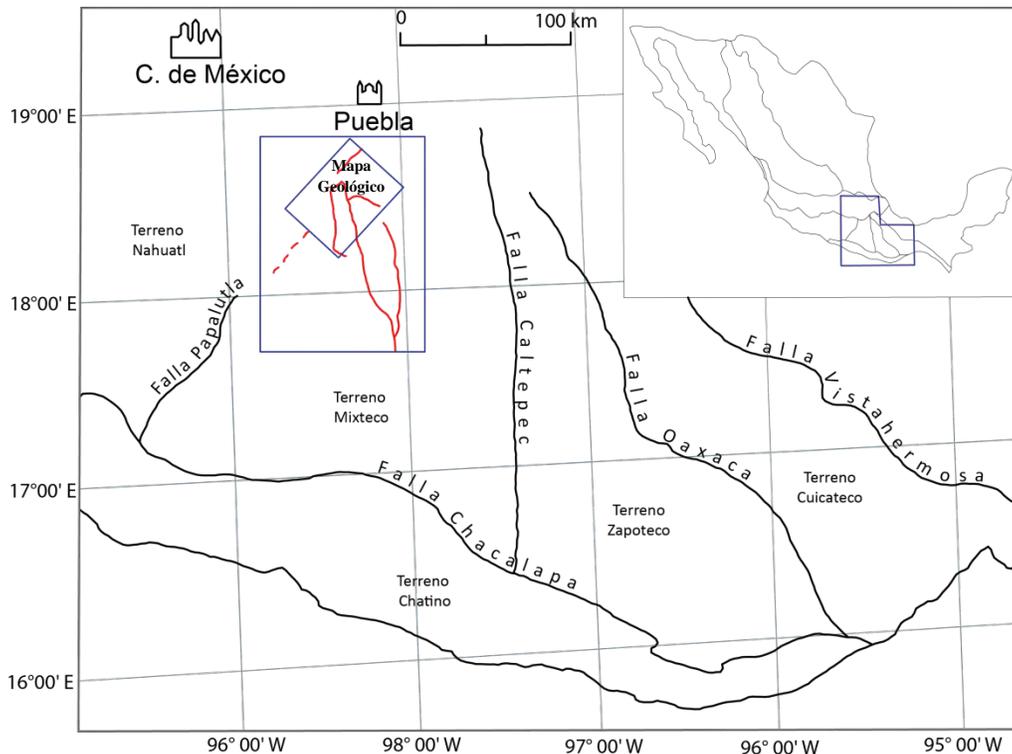


Figura 8.1. Localización del área de estudio en el marco de los Terrenos tectonoestratigráficos limitados por las fallas regionales, Modificado de Sedlock et al., 1993. Como referencia se presenta la Cuenca Tehuitzingo.

En la región se reconocen dos cuencas cenozoicas, Tepenene y Tehuitzingo, escalonadas a lo largo del Sistema de Fallas Izúcar-Tecolotla-Boqueroncito (SFITB) (Silva-Romo, 2010). El SFITB tiene una orientación general norte-sur y una longitud de cuando menos 60 km. De acuerdo con Silva-Romo (2010), se trata de un rasgo estructural regional con desplazamiento lateral izquierdo (figura 8.2).

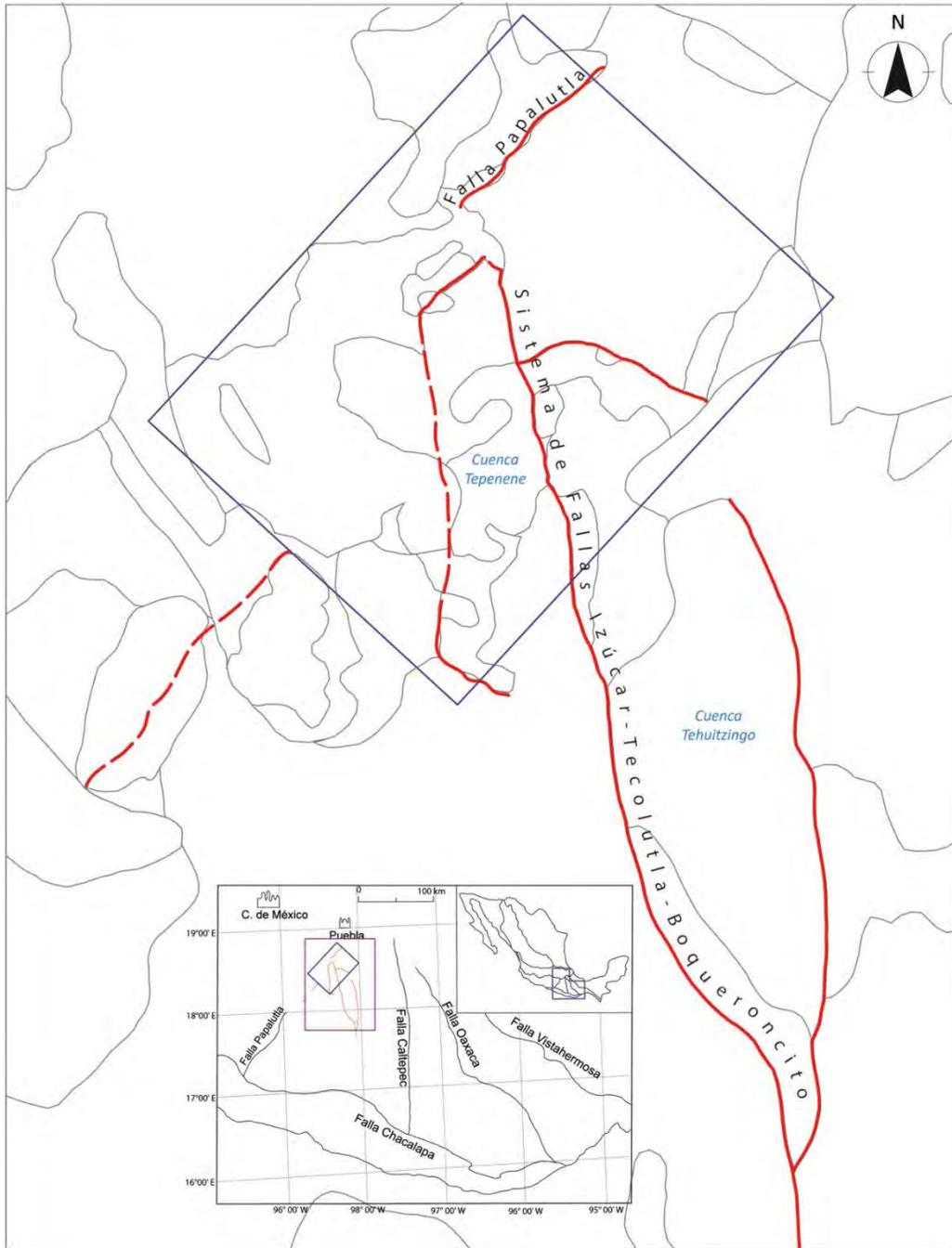


Figura 8.2. Esquema estructural de las Cuencas Tepenene y Tehuizingo, delimitadas en color rojo, desarrolladas a lo largo del Sistema de Fallas Izúcar-Tehuizingo-Boqueroncito. Las líneas grises representan los contactos geológicos.

La Cuenca Tepenene, es alargada en sentido norte-sur y se encuentra definida en las rocas del Complejo Acatlán; excepto en el sector septentrional donde el hombro norte corresponde con un afloramiento de la sucesión calcárea de la Formación Morelos. La Cuenca

Tepenene está delimitada por fallas; en las cuales se emplazaron cuerpos dacíticos hipabisales en diferentes pulsos magmáticos en el Oligoceno temprano.

8.2. Estructuras mayores que dieron origen a la Cuenca Tepenene.

De acuerdo con la geometría de la Cuenca Tepenene, esta corresponde con una depresión tectónica semejante a una cuenca *pull-apart*, definida por un sistema de fallas laterales izquierdas de rumbo general norte-sur. El borde occidental de la cuenca está delimitado por dos fallas más o menos colineales que aquí se denominan El Palmar y Los Lobos. En este sector, el borde de la cuenca está interrumpido en la parte central por afloramientos de rocas volcánicas cuyo estudio queda fuera del alcance de este trabajo. El borde oriental está definido por la Falla Las Casitas, cuya proyección al sur corresponde a la Falla Jaulillas. Esta última corresponde con el límite occidental de la Cuenca Tehuizingo, que presenta un arreglo escalonado a la derecha a lo largo del Sistema de Fallas Izúcar-Tecolutla-Boqueroncito. El extremo sur de la cuenca se definió por la dislocación de un bloque del basamento. De tal forma, la Formación Raboso aparece en contacto discordante sobre el basamento e inclinada hacia el suroeste por el efecto combinado del desplazamiento de la Falla Los Lobos y la Falla Las Piletas. Dichas fallas corresponden con el límite sur de la Cuenca. La figura 8.3 es un esquema en donde se muestran las fallas principales y asociadas que dieron origen a la Cuenca Tepenene.

A continuación, se describen las características principales de las fallas mencionadas antes:

8.3. Fallas laterales

Falla Las Casitas. Esta falla en el sector norte del SIFTB, es un rasgo casi colineal con la Falla Jaulillas. Con un rumbo N15°W y una longitud de 6 km, esta falla pone en contacto al Complejo Acatlán con la Formación Raboso. En la traza de esta falla se alojan dos diques dacíticos.

Falla Jaulillas. Tiene orientación N18°W y una longitud de 5 km. Esta falla ubicada en el sector sur del SFITB tiene una cinemática lateral izquierda y pone en contacto al Complejo Acatlán con la sucesión clástica y con la Formación El Gato, que forman parte del relleno de la Cuenca Tehuizingo. La traza de este sistema de fallas aloja cuerpos dacíticos del Oligoceno, en un sector estos cuerpos cortan al basamento expuesto en pequeños afloramientos aislados.

Falla El Palmar. Esta falla tiene una orientación N02°E y su longitud aproximada es de 2 km. La Falla El Palmar yuxtapone al miembro cimero de la Formación Raboso con el miembro basal de la Formación Tepexco. Las Fallas El Palmar y Los Lobos son casi colineales y tienen cinemática lateral izquierda. Más adelante se hace un análisis de las estructuras cinemáticas medidas en esta falla.

Falla Los Lobos. Esta es una falla con cinemática lateral izquierda con orientación N08°E y una longitud de 4 km. Esta falla pone en contacto al Complejo Acatlán con la Formación Raboso y las ignimbritas de la Formación El Gato. Se asume una fecha anterior a 29.96 ± 0.48 Ma con base en los fechamientos isotópicos de este cuerpo, en sus relaciones estratigráficas, y en la observación de que se trata de una falla enlazada a la falla Las Piletas.

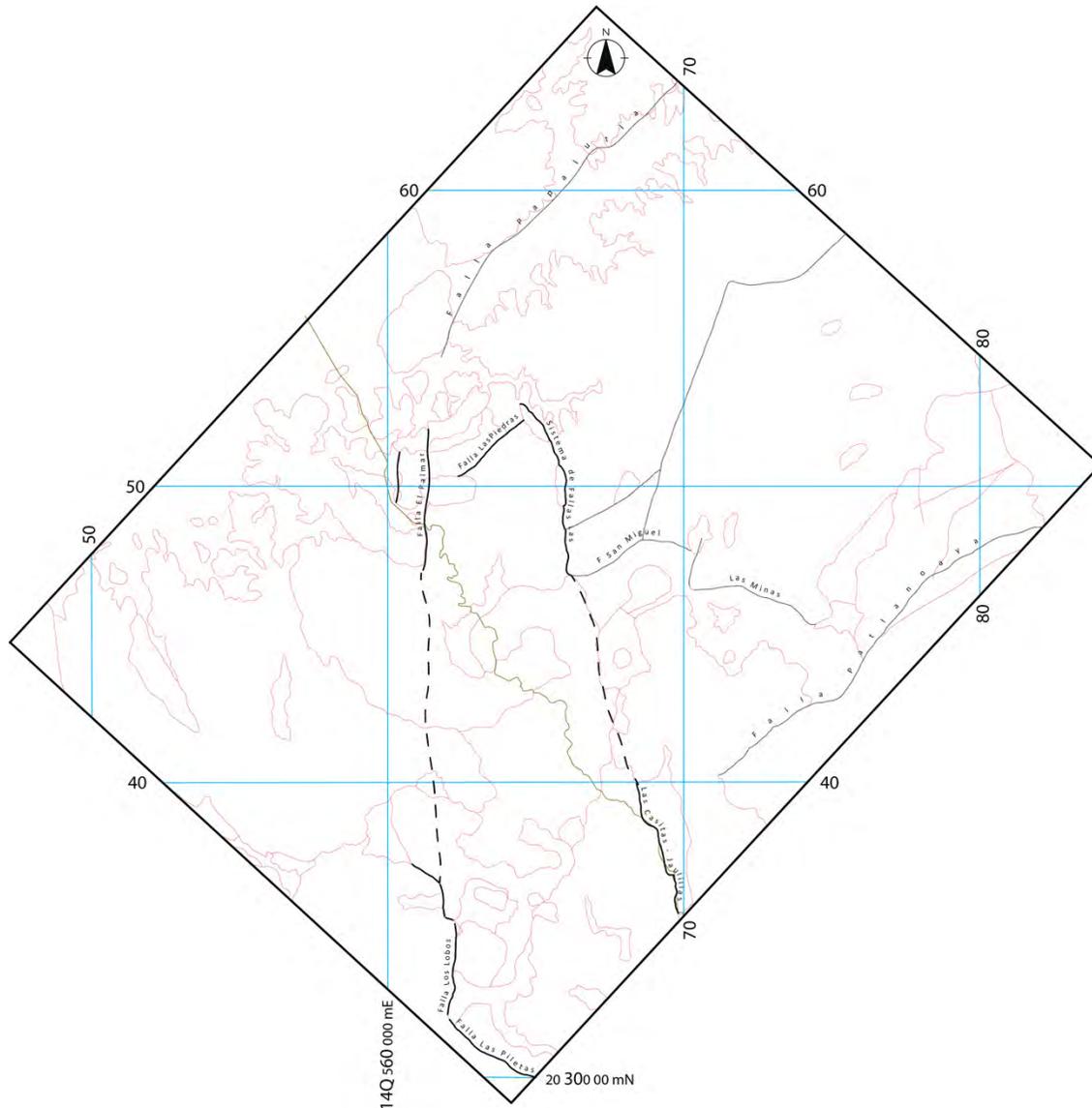


Figura 8.3. En el mapa se observa el arreglo estructural de la Cuenca Tepenene que se desarrolló en el extremo norte del Sistema de Fallas Izúcar-Tecoluitla-Boqueroncito, de manera local, este sistema, se separó en las Fallas Las Casitas-Jaulillas.

8.4. Fallas normales

Falla Las Piedras. Se trata de una falla normal que pone en contacto a la Formación Raboso con la Formación Morelos y al Complejo Acatlán a lo largo de 3 km y tiene una

orientación N49°E. Sobre la traza de esta falla se observa un cuerpo intrusivo que corta al miembro cimero de la formación clástica y a la sucesión. Esta falla corresponde con el límite norte de la cuenca. Se estima que la edad mínima de la estructura es de 33.52 ± 0.38 Ma con base en la edad del relleno de la cuenca.

Falla Las Piletas. Esta falla es el límite sur de la Cuenca Tepenene. Con una cinemática normal, se trata de una falla enlazada a la Falla Los Lobos. La falla tiene una orientación de S57°E y pone en contacto a la Formación Raboso y a los cuerpos volcánicos que la sobreyacen con el Complejo Acatlán a lo largo de 3 km. Se estima se formó antes de 29.96 ± 0.48 Ma debido a la edad de los cuerpos volcánicos antes mencionados. Se trata de una falla asociada al sistema de Fallas Las Casitas y Jaulillas.

8.5. Estructuras menores

En diferentes afloramientos se observaron fallas menores. En algunos casos fue posible identificar la cinemática de esas estructuras. A continuación, se presentan los diagramas estereográficos obtenidos a partir de las mediciones de estas.

En el kilómetro 78+700 de la carretera 190, el miembro cimero de la Formación Raboso presenta discontinuidades que manifiestan un desplazamiento lateral, en ocasiones con dos familias de estrías. El desplazamiento fue reconocido con base en indicadores cinemáticos TM-03 (material arrastrado) y mediante clastos dislocados (figura 8.4) en donde se reconoce una orientación en las caras conforme a N31°E; 79°SE y N54°W; 76° NE. Lo anterior se observa en el diagrama estereográfico representado en la figura 8.4.



Figura 8.4. Imagen estereoscópica de un clasto dislocado que indica un desplazamiento lateral derecho dentro del miembro La Palma. Par estereoscópico registrado en un corte vertical expuesto en el área de medición de la columna estratigráfica 2.

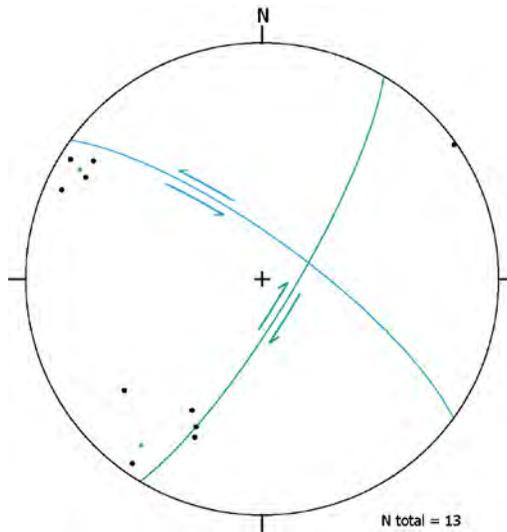


Figura 8.5. Proyección estereográfica de los planos de dislocación de clastos calcáreos, se reconocen dos direcciones principales de desplazamiento lateral. El plano con orientación N31°E; 79 SE, corresponde con la reactivación derecha y el plano N54°W; 76 NE corresponde con la izquierda. Red de Schmidt, hemisferio inferior.

En el kilómetro 79 de la carretera 190 puede observarse una falla conjugada al Sistema de Falla Las Casita-Jaulilla. Aquí se realizó un análisis de indicadores cinemáticos. La falla presenta dos familias de estrías sobrepuestas, una con desplazamiento lateral izquierdo y otro con movimiento normal (ver figura 8.6).

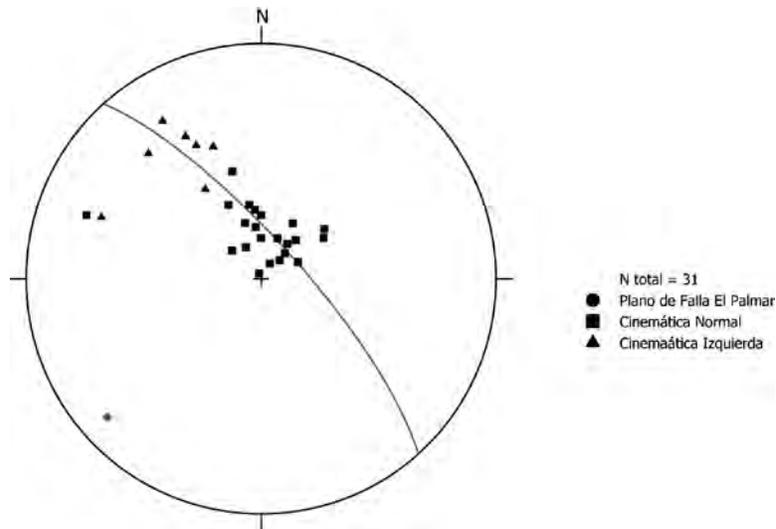


Figura 8.6. Diagrama del plano de una falla conjugada a la Falla El Palmar y el pitch de dos familias, una con desplazamiento normal y otra con cinemática izquierda. Red de Schmidt, hemisferio inferior.

Como se describió en el apartado de estratigrafía, el miembro cimero de la Formación Raboso tiene, hacia la parte superior, un paquete con mayor cementación, por lo que presenta una mayor cohesión y rigidez. De tal forma, ese nivel aparece afectado por una deformación

penetrativa conforme a fallas inversas poco espaciadas. Dichas fallas tienen una separación aproximada cada metro y un desplazamiento pequeño no establecido, con indicadores cinemáticos ST-03 (minerales neoformados) (figura 8.7). Estas estructuras menores son congruentes con un acortamiento en sentido $N70W^\circ$, como se ilustran en la figura 8.8. En la base la Formación Tepexco, de carácter epiclástico, también se observan algunas fallas inversas con orientaciones semejantes. Estas indican la reactivación de las fallas en un tiempo posterior al depósito de la unidad que sobreyace a la Formación Raboso.

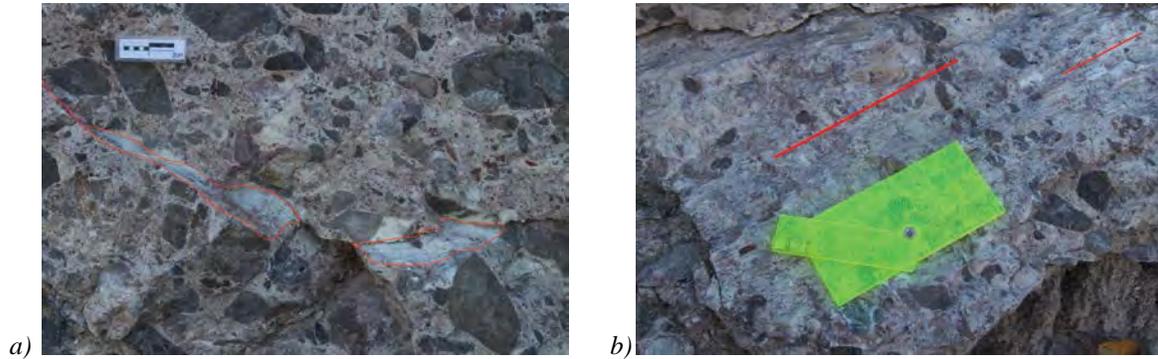


Figura 8.7. En la parte más alta del Miembro La Palma, se observan planos de falla (en rojo) inversa poco espaciados, con indicadores cinemáticos ST-03 (minerales neoformados). a) Se observan los planos de falla con relleno de minerales. b) El goniómetro se encuentra alineado con las estrías (en rojo) en el plano de falla.

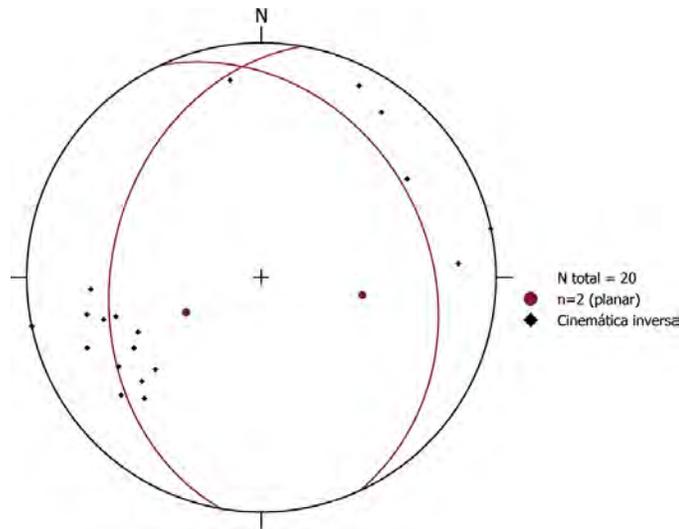


Figura 8.8. Diagrama estereográfico donde se muestran la tendencia general de los planos de falla inversa y los indicadores cinemáticos correspondientes. Red de Schmidt, hemisferio inferior.

8.6. Otras estructuras mayores en el área de estudio.

En la región estudiada se reconocen otras estructuras mayores cuyo desplazamiento no se considera crítico en el proceso sedimentario en la Cuenca Tepenene. Se trata de la Falla

Papalutla, la Falla Patlanoaya y la Falla San Miguel Las Minas. Estas dos últimas están relacionadas con la formación y evolución de la Cuenca Tehuizingo.

Falla Papalutla. Es una estructura mayor que limita los terrenos tectonoestratigráficos Nahuatl y Mixteco. Inicialmente se reconoció como una estructura que yuxtapone al complejo Acatlán sobre la sucesión calcárea del cretácico (Ortega-Gutiérrez et al., 1992). En este trabajo se asume la cinemática propuesta por Silva-Romo (2010). Con base en el mapa geológico que se elaboró en este trabajo, se reconoce que la traza de la Falla Papalutla se encuentra desplazada aproximadamente 6 km en dirección norte-sur por el movimiento lateral izquierdo del Sistema de Falla Izúcar-Tecolutla-Boqueroncito al cual se asocian las fallas laterales izquierdas que formaron la Cuenca Tepenene.

Falla Patlanoaya. En el sector este del mapa se reconoce la falla normal que pone en contacto estructural al Grupo Piaxtla con las formaciones Raboso, Tecamazuchil y Formación El Gato a lo largo de 14 Km. Esta falla tiene una orientación N52°E; su traza se reconoce en el noreste del mapa.

Falla San Miguel Las Minas. Esta falla está compuesta por dos segmentos con orientación aproximada S78°E. El segmento poniente pone en contacto a lo largo de 4 km a la Formación Raboso con el Complejo Acatlán y el Grupo Piaxtla. El segmento oriente de esta falla pone en contacto al relleno de la Cuenca Tehuizingo con el Grupo Piaxtla a lo largo de 6 km. Este sistema de fallas tiene un desplazamiento normal y está seccionado con una falla con orientación N13°E con componente derecha, en donde se emplaza un dique porfídico.

8.7. Estructuras intrusivas

Como se expresó antes, los cuerpos intrusivos corresponden a diques con tres orientaciones principales norte-sur, este-oeste y suroeste-noreste. En el área se reconocen varios diques de composición dacítica que cortan al Complejo Acatlán con diferentes tamaños y geometrías. Estos cuerpos se relacionaron con los sistemas de fallas que dieron origen a la Cuenca Tepenene y en algunos casos los cuerpos se encuentran emplazados en estas estructuras.

La estructura mayor es alargada en sentido norte-sur y en ella se reconocen ramas subparalelas a los diques. Así, la rama meridional es alargada en sentido S72°E. Estos cuerpos intrusivos presentan algunos diques de la misma composición. En la localidad Los Amates se reconoció un dique con orientación N43°E, mientras que el intrusivo huésped tiene una orientación N15°W (figura 8.9).



Figura 8.9. En el arroyo cercano a Los Amates, el intrusivo Pórfido Tepenene presenta diques de composición semejante con orientación N43°E.

La tabla 8.1 muestra las características de los cuerpos agrupados en dos familias. Se distinguieron dos familias con orientaciones generales NE-SW y NW-SE, como se muestra en la figura 8.10.

ESTRUCTURAS INTRUSIVAS			
FAMILIA	INTRUSIVO	ORIENTACIÓN	LONGITUD (m)
NE- SW	1	N62°E	800
	2	N83°E	1000
	4	N47°E	1200
	7	N13°E	1300
	8	N12°E	1200
	13	N72°E	3500
NW-SE	3	N32°W	1500
	5	N05°W	1300
	6	S88°E	1800
	9	S88°E	1500
	11	N12°W	1200
	12	N02°W	1200
	10	S78°E	1200

Tabla 8.1. Muestra la relación de cuerpos intrusivos que afectan a la Cuenca Tepenene. La numeración de los diques se indica en el mapa correspondiente con la figura 5.7.

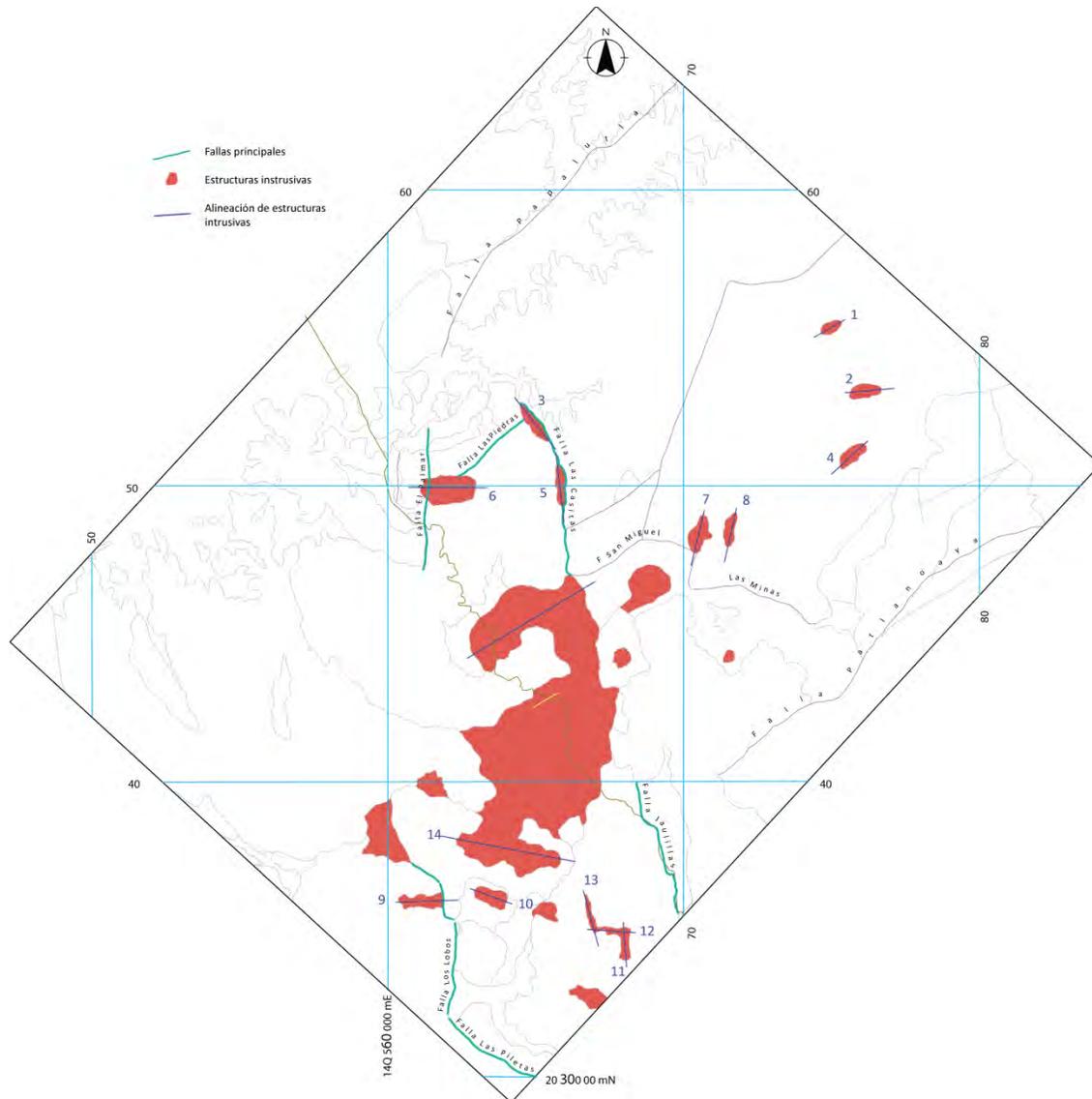


Figura 8.10. Mapa de los cuerpos intrusivos dacíticos, relacionados con la Cuenca Tepenene. Obsérvese la alineación preferencial y la relación con las estructuras que formaron la cuenca.

8.8. Deformación en el Pórfido Tepenene

En la localidad Los Amates (figura 8.7), el Pórfido Tepenene presenta un arreglo en forma de bandas de orientación general norte-sur y otros rasgos como autobrechas (figura 8.11), fracturas en echelón y pliegues (figura 8.12).

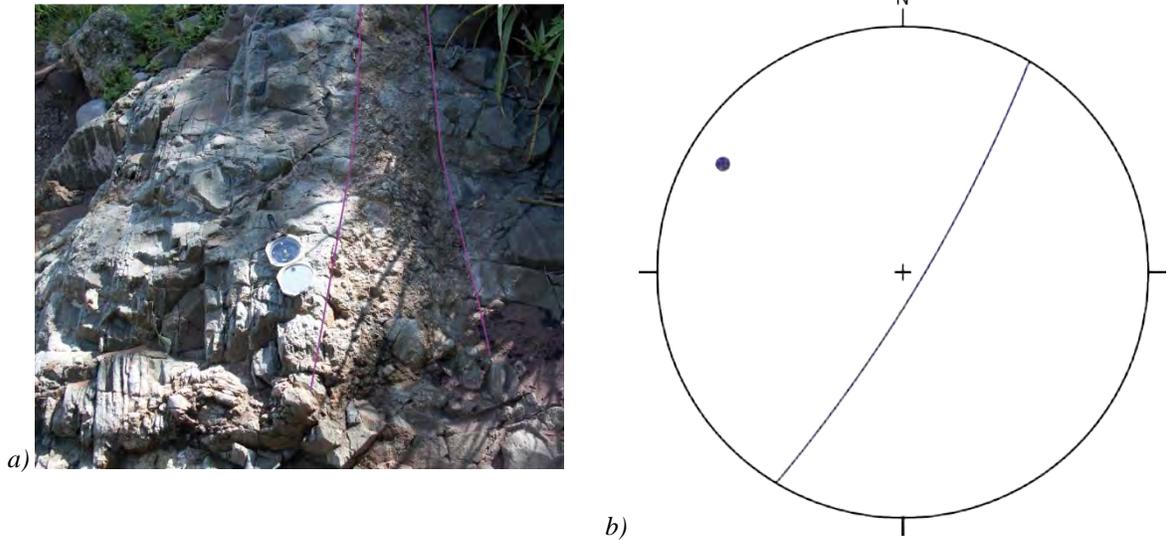


Figura 8.11. a) Autobrecha en el Pórfido Tepenene. b) Orientación preferencial de la autobrecha con orientación $N31^{\circ}E$, $81^{\circ}SE$, Red de Schmidt, hemisferio inferior.

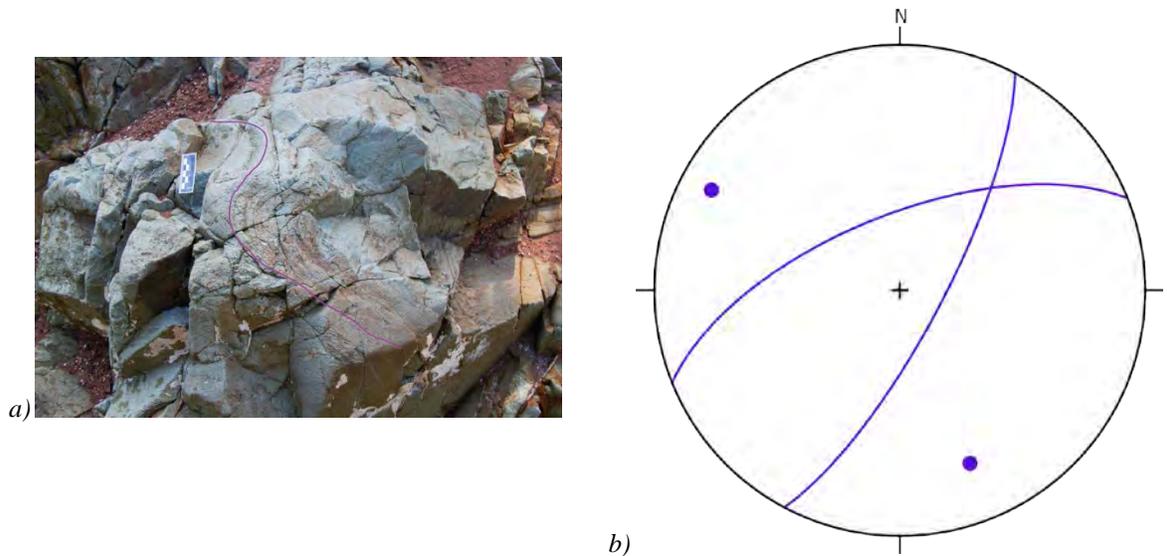


Figura 8.12. a) Deformación dúctil en el Pórfido Tepenene, en el arroyo cercano a Los Amates. b) Diagrama estereográfico de las fracturas que presenta el Pórfido Tepenene en la misma localidad. Las orientaciones principales de las fracturas son $S68^{\circ}E$; $65^{\circ}NW$ y $N28^{\circ}E$; $76^{\circ}SE$. Red de Schmidt, hemisferio inferior.

Del análisis de 400 datos estructurales de la foliación en el Pórfido Tepenene en la localidad Los Amates, Bonifacio-Serralde y De la Torre-González (2016) obtuvieron una tendencia general de $S15^{\circ}W$, $69^{\circ}NW$ como se muestra en la figura 8.13. Dado el carácter subparalelo entre el bandeamiento y el Sistema de Fallas Izúcar-Tecolutla-Boqueroncito, dichos autores interpretan que se trata de una deformación sintectónica asociada al desplazamiento lateral. Sin embargo, no se descarta que se trate de un proceso de mezcla de magmas “migling” propio del emplazamiento como fue descrito por Cerca-Martínez (2004) en el Intrusivo San Miguel en las cercanías de Chiautla, Puebla.

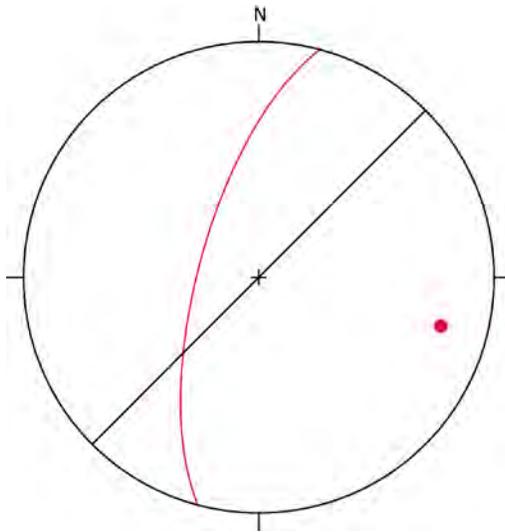


Figura 8.13. Foliación general del Pórfido Tepenene, registrada en el arroyo cercano a Los Amates. Red de Schmidt, hemisferio inferior. Tomado de Bonifacio-Serralde y De la Torre-González (2016).

9. EVOLUCIÓN DE LA CUENCA TEPENENE

A partir del registro estratigráfico presentado, de la cronología y de los rasgos estructurales del área del estudio, puede ser bosquejada la evolución tectonosedimentaria para la Cuenca Tepenene. Ello con base en los siguientes elementos:

○ *Estratigráficos*

La Formación Raboso está constituida por conglomerados de diferentes granulometrías y por algunos horizontes de areniscas. La formación se dividió en dos miembros separados por una marcada discordancia angular y por una clara variación en la composición litológica de los clastos. El miembro Los Amates, consiste en conglomerados de clastos de cuarzo metamórfico, esquistos verdes y esporádicos fragmentos de cuarcita generalmente soportados por clastos. Por su parte, el miembro La Palma está caracterizado por estratos gruesos de conglomerados conformados principalmente por calizas con tamaños de cantos y bloques, y, de manera subordinada, por gujarros de pórfido granodiorítico. La Formación Raboso se encuentra en contacto estructural con el Complejo Acatlán, mientras que en el norte sobreyace a las calizas de la Formación Morelos. Además, en el extremo norte se encuentra cubierta por la Formación Tepexco de naturaleza volcánica y epiclástica. La Formación Raboso está cortada por el cuerpo intrusivo Pórfido Tepenene y se encuentra en contacto con el basamento metamórfico en casi todos sus flancos.

○ *Cronológicos*

La Formación Raboso está cubierta en forma concordante por la Tepexco, la cual consiste en una sucesión de rocas piroclásticas y epiclásticas intercaladas con paleosuelos. La Formación Tepexco que registra una edad de 33.52 ± 0.38 Ma, la cual se estima como edad mínima de la Cuenca Tepenene.

Los dos miembros de la Formación Raboso están cortados por el Pórfido Tepenene, fechado este último con una edad de 31.79 ± 0.52 Ma. El Pórfido es un tronco conformado en varias etapas de emplazamiento, y se encuentra alojado tanto en el relleno como en los planos de fallas que limitan a la Cuenca Tepenene. Así, estos cuerpos se observan entre la Formación Raboso y el basamento metamórfico. Uno de estos cuerpos fue fechado al este de la cuenca, arrojando una edad de 31.2 ± 1.3 Ma. El Pórfido Tepenene se alojó en condiciones someras, muy probablemente cuando la Formación Raboso estaba saturada con agua. Como evidencia de esto se observa la aurora de esferulitas en el contacto.

Con base en una edad U-Pb de 29.96 ± 0.48 Ma, se estableció que la edad de la Formación El Gato es más joven que la reportada previamente. Ello indica que la Cuenca Tepenene es más antigua que la Cuenca Tehuitzingo.

Con base en los fechamientos de las muestras puede observarse una evolución en sentido norte-sur. Como se muestra en la figura 9.1, las muestras más antiguas se encuentran al norte de la Cuenca Tepenene y las más jóvenes al sur de esta, dentro de la Cuenca Tehuiztingo (CTPNN-36).

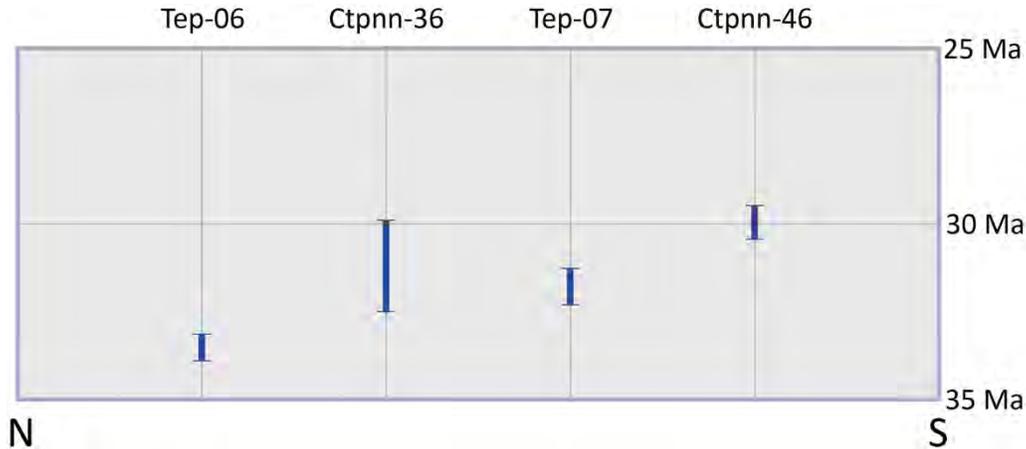


Figura 9.1. Edades de las muestras de rocas ígneas fechadas por el método U-Pb en circones magmáticos, observe que son más jóvenes hacia el sur. TEP-06: Formación Tepexco; TEP-07: Pórfido Tepenene, Los Amates; CTPNN-36: Pórfido Tepenene, Rio Atoyac; CTPNN-46: Formación El Gato, Cuenca Tehuiztingo.

○ Estructurales

La Cuenca Tepenene es alargada en sentido norte-sur. Los límites de esta cuenca están definidos por planos de fallas sobre las rocas del Complejo Acatlán. Las fallas mayores del área de estudio presentan tres orientaciones principales que son congruentes con las fallas menores asociadas al Sistema de Fallas Izúcar-Tecolotla-Boqueroncito. Este sistema de cinemática izquierda originó la apertura de la Cuenca Tepenene. De esta manera pueden observarse fallas menores aproximadamente colineales a las mayores, e interpretar las fallas asociadas al sistema de fallas principales. También puede observarse que las fallas Los Lobos y El Palmar son colineales y que tienen una orientación similar al Sistema de Fallas Izúcar-Tecolotla-Boqueroncito, que limita a la Cuenca Tepenene. La figura 9.2 señala las fallas principales en color verde (con cinemática izquierda) y las fallas asociadas en color rojo (fallas normales). La alineación de los diques, con una alineación similar a las fallas, se marca en azul.

El miembro Los Amates presenta una disposición estructural conforme con un rumbo general S30°E y se inclina aproximadamente 50° al suroeste. Por su parte, el miembro cimero, La Palma, es sub-horizontal con una inclinación de menos de 7°, esto representa un evento de basculamiento antes del depósito del miembro La Palma. El contacto entre los dos miembros es discordante.

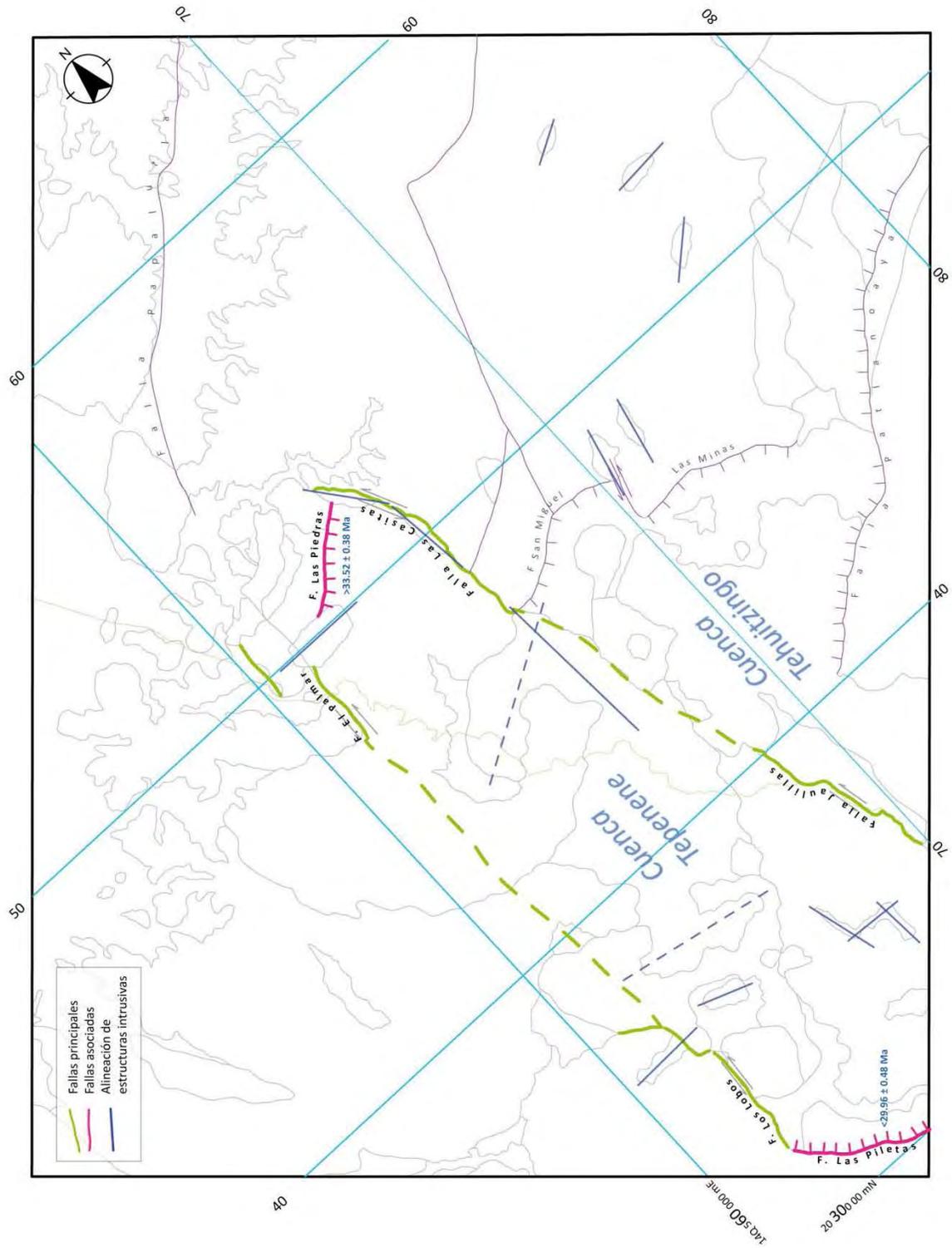


Figura 9.2. En el mapa se muestran las Cuencas Tepenene y Tehuitzingo definidas por fallas sobre el basamento metamórfico. Las fallas principales en verde y las asociadas en color rojo, la alineación de las estructuras intrusivas con una tendencia similar a estas fallas se representan en azul. Se reconoce una alineación principal norte-sur, mientras que la asociada se presenta en sentido este-oeste.

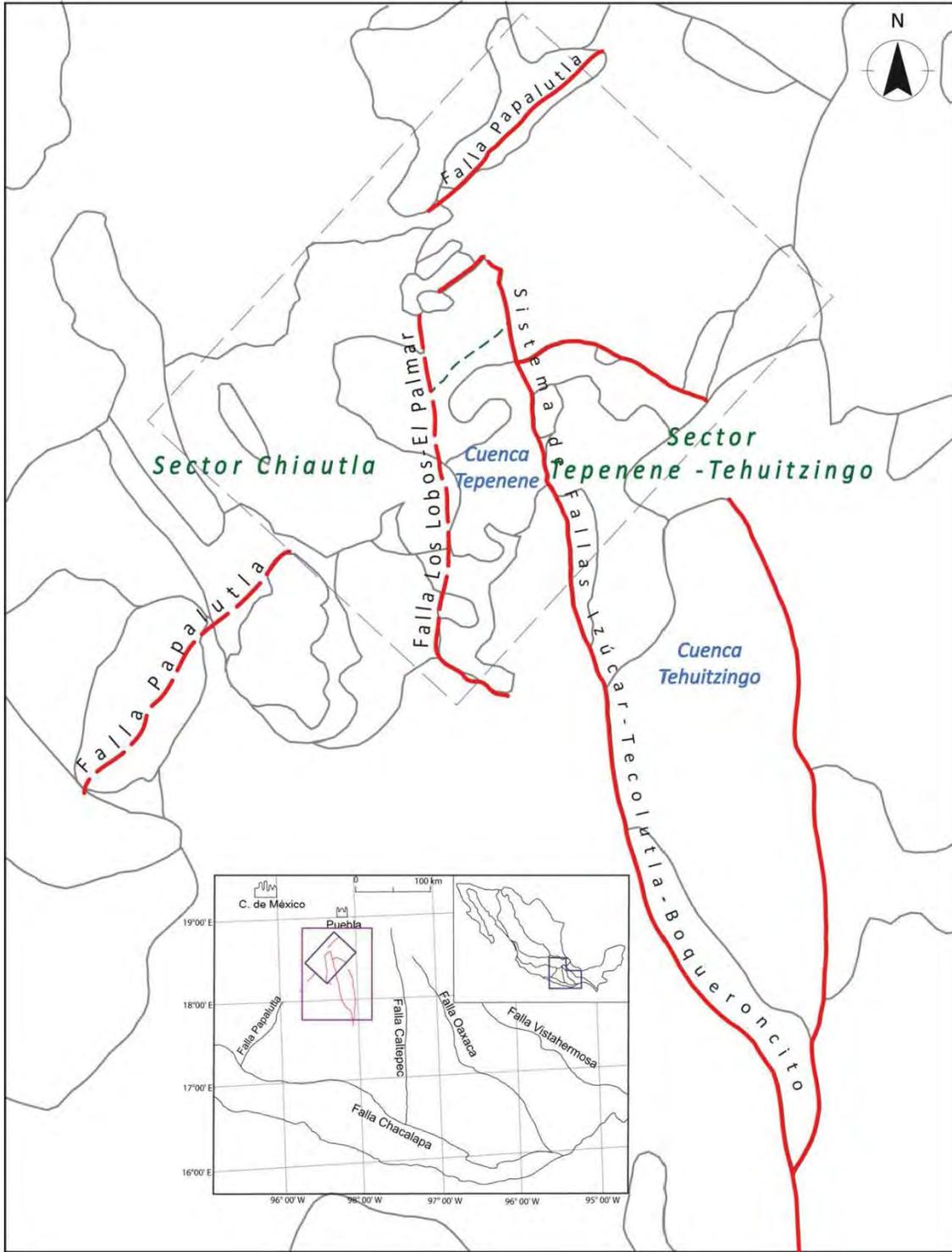


Figura 9.3. Mapa regional. Estructuras de la cuenca Tepenene y la cabecera norte de la Cuenca Tehuitzingo, ambas delimitadas por el Sistema de Fallas Izúcar-Tecoluitla-Boqueroncito. La Falla Papalutla presenta un desplazamiento en sentido izquierdo provocado por el Sistema de Fallas Izúcar-Tecoluitla-Boqueroncito.

Los intrusivos de composición dacítica que conforman al tronco Tepenene y a las otras estructuras se emplazaron en dos direcciones preferenciales: una conforme a la orientación general de la cuenca y otra en forma burdamente perpendicular que es compatible con una extensión en sentido norte-sur. Dichas direcciones se representan en la figura 9.4.

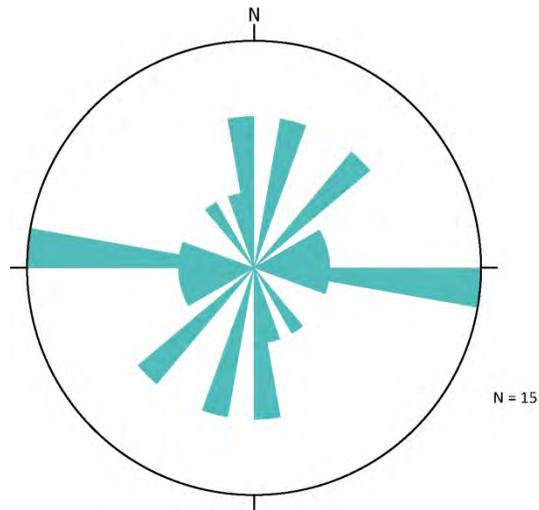


Figura 9.4. Roseta estructural se muestran datos de las alineaciones principales de los cuerpos intrusivos que se alojan en los planos de fallas que en algunos casos limitan a la Cuenca Tepenene.

Como se observa en diagrama estereográfico (figura 9.5), de acuerdo con las relaciones observadas en el plano de falla conjugada con la Falla El Palmar, se reconocen dos movimientos en el mismo plano expresados por dos familias de estrías. Así, se interpreta un primer con desplazamiento lateral, en tanto que el segundo movimiento es un movimiento normal. Esto es congruente con el desplazamiento lateral de la Falla El Palmar.

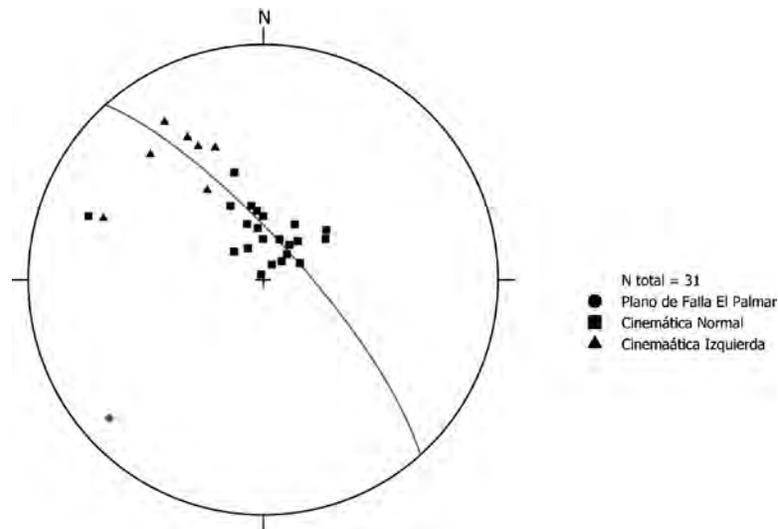


Figura 9.5. Diagrama donde se muestra el plano de la Falla El Palmar, y el pitch de dos familias con diferente desplazamiento. Red de Schmidt, hemisferio inferior.

En el miembro La Palma se observan las evidencias de reactivación de las fallas. Se reconocen estructuras que representan una deformación penetrativa (figura 9.6). Estas estructuras con congruentes con un acortamiento en sentido N70°W. También son claros los desplazamientos en los clastos de caliza, los cuales presentan orientaciones de las caras de N31°E; 79°SE y N54°W; N76° E (figura 9.7).

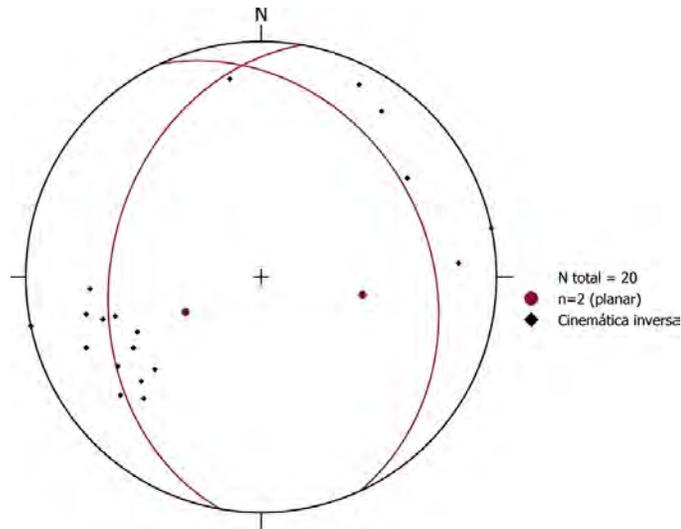


Figura 9.6. Diagrama estereográfico donde se muestran los indicadores cinemáticos contenidos en los planos y polos de las fallas inversas menores que afectan a la Formación Raboso. Red de Schmidt, hemisferio inferior.

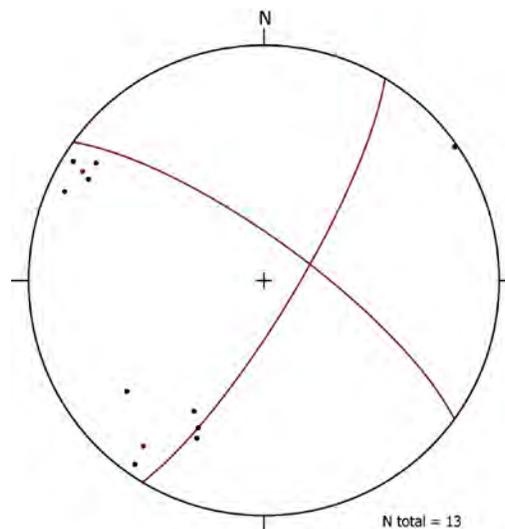


Figura 9.7. Diagrama donde se muestra el plano de desplazamiento en los clastos de calcáreos, en donde se reconocen dos direcciones principales. Red de Schmidt, hemisferio inferior.

○ *Depositarios*

Las estructuras y granulometrías observadas en los cuerpos clásticos aportan información para determinar el flujo que transportó los detritos a la cuenca, y también posibilitan observaciones en cuanto a la forma de los clastos y la variación de la granulometría espacialmente. A partir del examen de las características sedimentarias más importantes se ha podido determinar que la Formación Raboso se depositó en un ambiente de abanicos aluviales. Entre las características sedimentarias antes mencionadas se encuentran: la variación de las granulometrías en los clastos, el contacto entre los granos, el porcentaje entre matriz y clastos, el arreglo de los clastos, el notorio color rojizo dentro del conglomerado, la forma geométrica de los estratos (en general caracterizada como lenticular) y la variación en granulométrica de cada nivel.

Se infiere que los flujos que transportaron a los detritos estaban hiperconcentrados y saturados de agua. En algunas ocasiones, los flujos transportaron clastos con tamaños de bloques; estos corresponden con flujos de detritos gravitatorios. Dentro de los conglomerados puede observarse una incipiente alineación de los clastos con su eje vertical, aunque esta tiene una estructura masiva en los niveles más gruesos y en algunos finos. Los análisis de paleocorrientes realizados en el miembro cimero muestran un arreglo en los canales de distribución con una amplia dispersión. Dentro de la Formación Raboso se reconocen depósitos de tamiz en afloramientos muy puntuales, indicando el tipo de energía que llevaba los canales a cierta distancia del ápice.

En los clastos de caliza fosilífera se reconoce un decremento de tamaño en sentido norte-sur como se muestra en la figura 9.8. Se infiere que el ápice del abanico aluvial se encontraba en la traza de la Falla Las Piedras, hombro norte de la Cuenca Tepehene.

○ *Dispersivos*

Se reconoce un cambio composicional en los clastos de los dos miembros. Los clastos del miembro Los Amates proceden principalmente de cuerpos metamórficos que en la actualidad se encuentran al NE de la cuenca. Estos cuerpos se identifican como el Complejo Acatlán, el cual pudo aportar clastos de esquisto verde, así como parte del Grupo Piaxtla, de donde pueden proceder los clastos de cuarzo y cuarcita contenidos en este miembro.

Los clastos del miembro La Palma varían notablemente. En este caso se presentan cantos y bloques de caliza procedentes de la Formación Morelos que se encuentra al norte de la cuenca y que está en contacto estructural con el Intrusivo Abelardo Rodríguez. El Intrusivo Abelardo Rodríguez tiene una composición dacítica con abundantes óxidos de hierro. Se infiere que este cuerpo aportó los clastos de pórfido al miembro cimero de la Formación Raboso.

Para el miembro Los Amates se midió la alineación de los clastos como planos. Como se muestra en la figura 9.9, la tendencia de estos planos es hacia el sur. Debido a que la estratificación en este conglomerado no está bien definida, no se realizó una corrección estructural en este esquema.

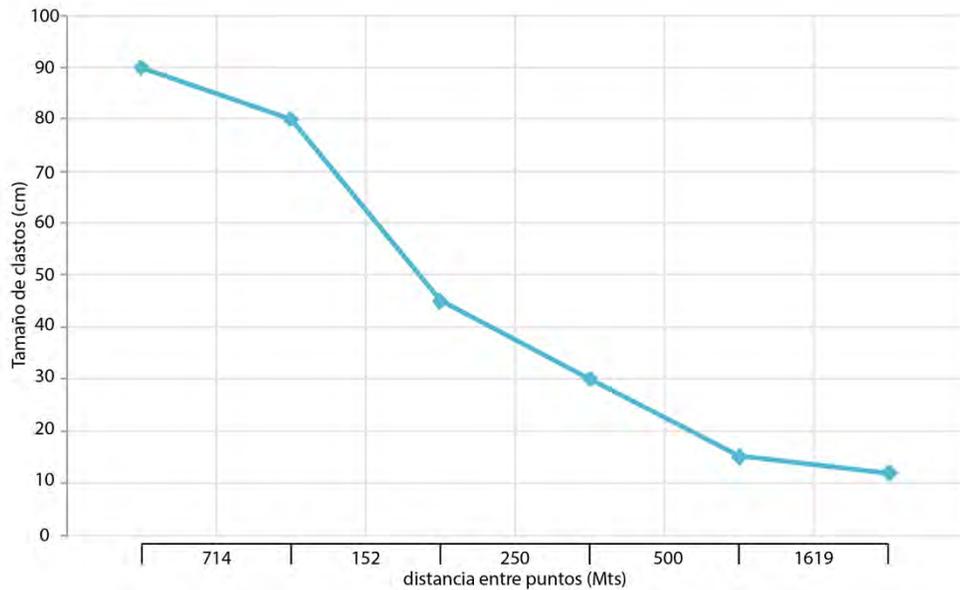


Figura 9.8. Gráfica comparativa del tamaño de los clastos de caliza vs distancia entre localidades de columnas medidas, se muestra el tamaño mayor de clastos de caliza en cada columna. Es notoria la disminución del tamaño de norte a sur de la cuenca.

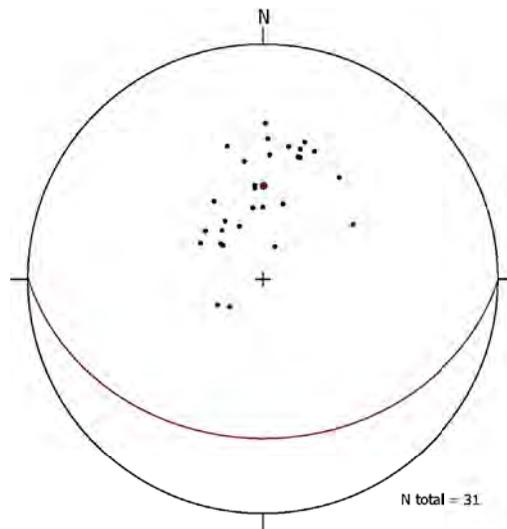


Figura 9.9. Paleocorrientes del miembro Los Amates, sin corrección estructural. Se nota una clara tendencia de los planos de paleocorrientes en sentido hacia el sur. Red de Schmidt, hemisferio inferior.

Los datos de las paleocorrientes fueron escasos. En este caso, se midió la alineación de clastos dentro del miembro Los Amates. El conjunto de datos colectados en las localidades estudiadas muestran una tendencia general hacia el sur (figura 9.10).

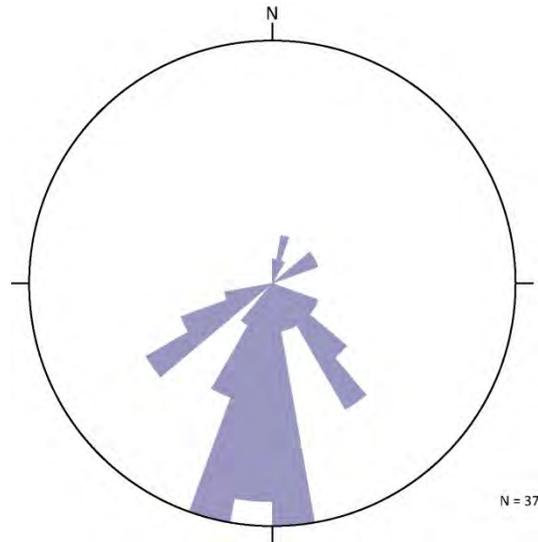


Figura 9.10. Dispersión de las paleocorrientes medidas con alineación de clastos, dentro del miembro La Palma. Diagrama de roseta estructural.

○ EVOLUCIÓN TECTONO-SEDIMENTARIA PARA LA CUENCA TEPENENE

Las estructuras de mayores muestran un desplazamiento del bloque oeste en donde se observa un escalonamiento en la Falla Papalutla, como se advierte en el mapa regional (figura 9.2). La Cuenca Tepenene fue generada por un sistema de fallas laterales izquierdas con rumbo general norte-sur. Estos sistemas, a su vez, generaron fallas normales en el norte de la cuenca. A continuación, se esboza la evolución de la Cuenca Tepenene en diferentes tiempos:

Anterior a 33.52 Ma

La apertura de la cuenca Tepenene inicia con un sistema de fallas laterales izquierdas que forma parte del Sistema de Fallas Izúcar-Tecolutla-Boqueroncito. Para este tiempo solo existe una sedimentación clástica. La magnitud del desplazamiento puede cuantificarse con base en la traza de la Falla Papalutla. Esta última se observa desplazada aproximadamente 6 km medidos entre el sector Izúcar y la proyección del sector Chiautla, (figura 9.11). La Cuenca Tepenene inició su historia sedimentaria en un tiempo anterior a los 33.52 ± 0.38 Ma.

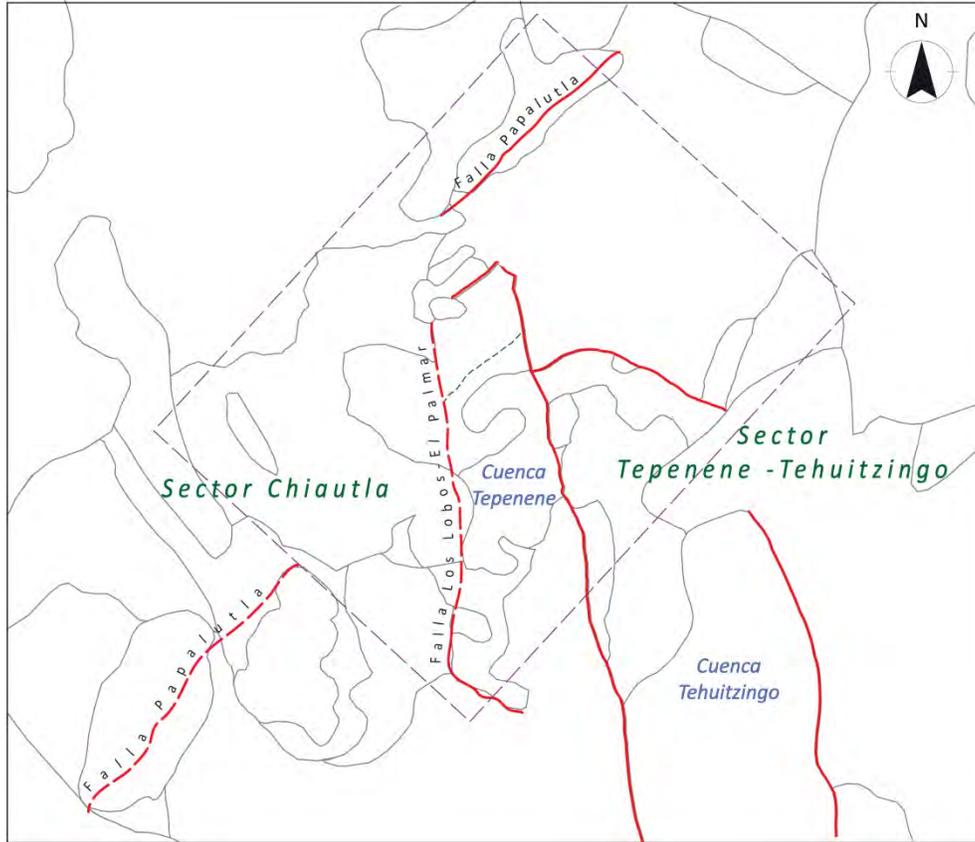


Figura 9.11. Estructuras que formaron la Cuenca Tepenene. En naranja se muestra la falla hipotética previa al límite norte actual. La Falla Papalutla presenta un desplazamiento en sentido izquierdo.

En sus inicios, la Cuenca Tepenene tenía una extensión menor y estaba limitada por una falla hipotética que se encontraba al sur de la Falla las Piedras. Probablemente, la falla tenía una orientación subparalela a la falla Las Piedras, la cual formaba un alto topográfico en el que se encontraban expuestas las rocas metamórficas del Complejo Acatlán.

Con base en el arreglo de la Falla Las Piedras, se reconoce la alineación de la cuenca en sentido NNW. En la depresión tectónica definida por las fallas del Sistema Fallas Izúcar-Tecolutla-Boqueroncito y la falla hipotética se acumularon los conglomerados y arenisca del miembro Los Amates. La procedencia de estos se identifica desde el hombro norte de la cuenca inicial y de los bordes oriente y poniente.

Posteriormente, como respuesta a una reactivación del Sistema Fallas Izúcar-Tecolutla-Boqueroncito, se definió la falla Las Piedras. De tal forma, en el borde norte de la cuenca quedaron expuestas las rocas calcáreas de la Formación Morelos y del Intrusivo Abelardo Rodríguez. Este evento extensional provocó un movimiento rotacional en el bloque en donde previamente se había acumulado el miembro Los Amates.

El miembro La Palma se formó por un aporte significativo procedente del norte de la cuenca desde las Formaciones Morelos e Intrusivo Abelardo Rodríguez. Este se produjo a partir de flujos de detritos hiperconcentrados, así como de flujos gravitacionales que aportaron los clásticos que edificaron abanicos aluviales de manera discordante sobre el Miembro Los Amates. Los abanicos se acumularon en sentido norte-sur, muy probablemente con el ápice hacia el hombro norte. Ello se reconoce en el decremento del tamaño de los clastos de norte a sur. El control cronológico de esta etapa se hace con la edad de los epiclásticos que sobreyacen a la Formación Raboso en el sector norte de la Cuenca Tepenene.

Entre los 33.5 y los 32 Ma

Aparentemente, durante este periodo de tiempo la cuenca se extendió hacia el sur, con la dislocación de la Falla Las Piletas. Así, en el sector sur de la cuenca se acumularon detritos que no fueron valorados totalmente en este trabajo. Sin embargo, la cronología de los mismos se puede establecer gracias a que en ellas se emplazó el Pórfido Tepenene hace aproximadamente 32 Ma cuando ocurrió una condición extensional en sentido NNE. Esto se infiere del arreglo de los cuerpos intrusivos afines al Pórfido Tepenene con un rumbo general este-oeste emplazados en el sector sur en las discontinuidades asociadas al desplazamiento lateral del Sistema de Fallas Izúcar-Tecolutla-Boqueroncito. La extensión de la Cuenca Tepenene fue parcialmente inhibida por el emplazamiento de estos cuerpos intrusivos.

En el extremo sur de la cuenca se reconoce una actividad tectónica tardía que involucra a la sucesión ignimbrítica Formación El Gato, la cual tiene una edad aproximadamente de 30 Ma. En ese tiempo se reactivaron las Falla Las Piletas y Los Lobos, que expresan el acomodo de la deformación.

Después de los 30 Ma

El acomodo de la deformación está expresado en las fallas Las Piletas y Los Lobos, cuya formación es posterior al depósito de los cuerpos volcánicos que cubre a la Formación Raboso al sur de la Cuenca Tepenene.

El Miembro La Palma registra una deformación penetrativa, representada por pequeñas fallas inversas poco espaciadas. Estas se provocaron por acortamiento en sentido oeste-este, lo que sugiere una reactivación del Sistema de Fallas Izúcar-Tecolutla-Boqueroncito.

El arreglo de dichas fallas menores expresa una reactivación como laterales de las fallas NE-SW (subparalelas a la Falla Las Piletas), como derechas de las SW-NE (subparalelas a la Fallas Las Piedras), y como izquierdas de la formación de fallas inversas asociadas a un acortamiento en sentido E-W, congruente con una cizalla izquierda SE-NW o

con una cizalla derecha SW- NE (figura 9.12). Ambos eventos se corresponden con reactivación que afecto a la Formación Raboso en un tiempo posterior a los 30 Ma.

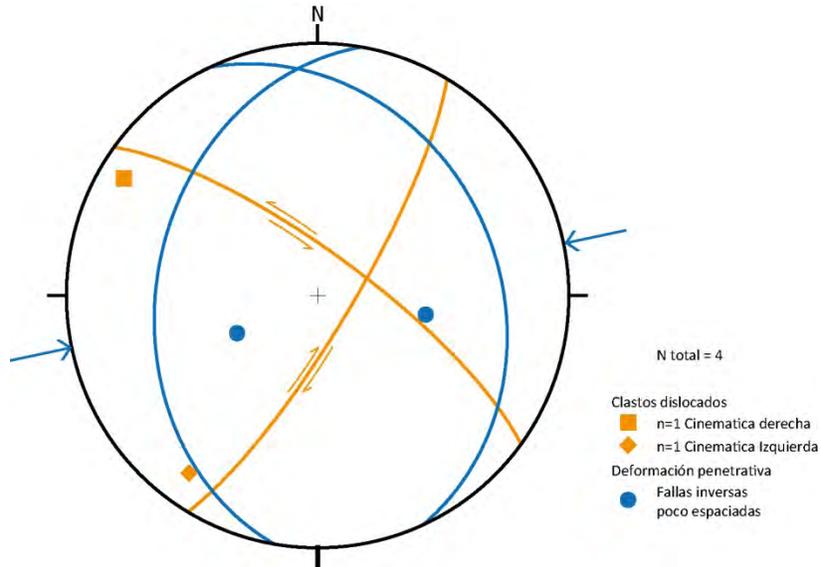


Figura 9.12. Empalme de dos sistemas de fallas conjugadas. El sistema en azul corresponde con el acortamiento expresado como deformación penetrativa, en el kilómetro 78+700 de la carretera 190; el sistema en naranja, medido en los clastos dislocados en la localidad de la columna 2. Para ambos sistemas se reconoce un acortamiento en sentido este- oeste, que son compatibles con una cizalla lateral izquierda en sentido noreste- suroeste.

10. CONCLUSIONES

○ *Sedimentológicas*

- La Formación Raboso, sobretodo el miembro superior, se acumuló como un abanico aluvial, con ápice en el norte de la Cuenca Tepenene.
- En el relleno clástico de la Cuenca Tepenene se reconocen 4 asociaciones de facies dispuestas en estratos discontinuos. Estas asociaciones están relacionadas con flujos de sedimentos por gravedad.
- En el norte de la cuenca Tepenene se reconocieron facies proximales de abanicos aluviales que fueron depositados por flujos de detritos. Dichas facies están intercaladas con facies de arenas masivas depositados como flujos hiperconcentrados.

○ *Estratigráficas*

- Se propone el nombre de Formación Raboso para denominar el relleno clástico de la Cuenca Tepenene.
- La Formación Raboso es una sucesión clástica de color pardo rojizo tenue compuesta de conglomerados con horizontes arenosos que se encuentra expuesta al sur de San Juan Raboso, municipio de Izúcar de Matamoros.
- La Formación se divide en dos miembros separados por una discordancia angular. Los miembros son reconocibles por su posición estructural y por la variación en composición de lo clastos.
- El miembro Los Amates está compuesto principalmente de conglomerados soportados por clastos de cuarzo metamórfico, cuarcita y esquisto verde. Esta sucesión está intercalada con niveles de areniscas de composición semejante.
- El miembro La Palma tiene diferentes niveles de conglomerados soportados por matriz, intercalados con areniscas. En este miembro los clastos son principalmente de calizas con tamaños de bloques a cantos. Como segundo componente se reconocen clastos de pórfido dacítico con granulometrías de guijarros y cantos.
- Se reporta por primera vez un intrusivo de composición dacítica cubierto discordantemente por la Formación Morelos en las cercanías del poblado Abelardo Rodríguez (con base en el cual se le denomina).

○ *Procedencia*

- Los clásticos del miembro Los Amates, de cuarzo metamórfico, cuarcita y esquisto verde, tienen como fuente los afloramientos de una sucesión clástica expuesta al oriente de la cuenca, el Grupo Piaxtla y el Complejo Acatlán respectivamente.
- Los clásticos del miembro La Palma, de caliza y de pórfido dacítico, proceden de la Formación Morelos y probablemente de un cuerpo nombrado Intrusivo Abelardo Rodríguez, respectivamente. Ambos se encuentran expuestos al norte de la Cuenca Tepenene.

○ *Cronológicas*

- La Formación Raboso en el sector norte tiene una edad mayor a 33.52 ± 0.38 Ma. Esta se obtuvo con base en la edad isotópica obtenida en depósitos volcanoclásticos que le sobreyacen.
- El Pórfido Tepenene está emplazado en la Formación Raboso y tiene una edad de 32 Ma. Este fechamiento se obtuvo por el método de U-Pb en circones magmáticos.
- Un dique con composición semejante al Pórfido Tepenene emplazado en el borde de la cuenca tiene edad de 31.2 Ma.
- Las ignimbritas que sobreyacen a la Formación Raboso en el sector sur fueron fechadas arrojando una edad de 29.9 Ma.
- Los clastos de pórfido contenidos en el miembro La Palma tienen una edad de 136 ma.
- De acuerdo con las relaciones de corte de los cuerpos intrusivos y con las relaciones de superposición, se propone que el relleno de la cuenca fue producto de un proceso diacrónico en el que las rocas más antiguas se acumularon en el sector norte y las más jóvenes en el sector sur.

○ *Estructurales*

- La Cuenca Tepenene se desarrolló en un tiempo anterior a los 33.52 Ma como una cuenca *pull apart* en el sector norte del Sistema de Fallas Izúcar-Tehuizingo-Boqueroncito. La cuenca tiene un rumbo general norte-sur y una cinemática lateral izquierda.
- La discordancia entre los miembros de la Formación Raboso es el resultado del Sistema de Fallas Izúcar-Tehuizingo-Boqueroncito, el cual provocó un evento extensional que rotó el bloque en donde se había acumulado el miembro Los Amates.
- En la cuenca se reconocen diques emplazados en las fallas con orientaciones NE-SW y NW-SE. Estos tienen un arreglo semejante a las fallas normales asociados a la apertura de la cuenca. De tal forma, se propone una extensión general en sentido N-S expresada en las fallas normales y en la orientación de los diques E-W.
- Se reconocieron estructuras geológicas que corresponden con reactivaciones posteriores a los 30 Ma que afectaron a la Formación Raboso.

11.REFERENCIAS

- Aguilera-Franco, N., & Romano, U.H. (2004). *Cenomanian–Turonian facies succession in the Guerrero–Morelos Basin, Southern Mexico*. *Sedimentary Geology*, 170(3), 135-162.
- Allen, P.A., Allen, J.R. (2005). *Basin analysis: Principles and application*. John Wiley y Sons.
- Allison, P., & Franco, N.A. (2005). *Events of the Cenomanian/Turonian succession, southern Mexico*. *Cuadernos de geología ibérica= Journal of iberian geology: an international publication of earth sciences*, 31, 25-50.
- Barragán, R., Campos-Madrigal, E., Ferrusquía-Villafranca, I., López-Palomino, I., & Tolson, G. (2010). *Código estratigráfico norteamericano*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Blair, T.C., & McPherson, J.G. (2009). *Processes and forms of alluvial fans*. In *Geomorphology of Desert Environments*. In *Geomorphology of Desert Environments* (413-467 pp.). Netherlands: Springer Netherlands.
- Blissenbach, E. (1954). *Geology of alluvial fans in semiarid regions*. *Geological Society of America Bulletin*, 65(2), 175-190.
- Bonifacio-Serralde, C. & De la Torre-González, A.I. (2016) *Análisis de la deformación temprana del intrusivo Tepenene: su implicación tectónica*. Universidad Nacional Autónoma De México, Facultad de Ingeniería, México, Tesis Profesional, 42 pp.
- Bull, W. B. (1977). *The alluvial-fan environment*. *Progress in physical geography*, 1(2), 222-270.
- Calderón-García, A. (1956). *Estratigrafía del Mesozoico y tectónica del sur del Estado de Puebla*. Congreso Geológico internacional, 20, 9-27.
- Campa, M.F., & Coney, P.J. (1983). Tectono-stratigraphic terranes and mineral resource distributions in Mexico. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 20(6), 1040-1051.
- Campos-Madrigal, E. & Mendoza-Rosales, C.C. (2017). Análisis modal de los conglomerados. In: Silva-Romo G. & Mendoza-Rosales, C.C. ed., *Trabajo Geológico de Campo*, 2nd ed. [online] Ciudad de México: Silva-Romo y Mendoza-Rosales, pp.427-476. Disponible en: <http://www.librosoa.unam.mx/handle/123456789/397>
- Cerca-Martínez, M. (2004). *Deformación y magmatismo Cretácico Tardío-Terciario Temprano en la zona de la Plataforma Guerrero Morelos*. México, DF, Universidad Nacional Autónoma de México, Posgrado en Ciencias de la Tierra, Tesis Doctoral, 175pp.

- Colombo, F. (2010). *Abanicos aluviales: secuencias y modelos de sedimentación*. In: Sedimentología: del Proceso Físico a la Cuenca Sedimentaria: Madrid, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 131-224.
- Crowell, J.C. 1974. *Origins of Late Cenozoic Basin in Southern California*. In Dickinson, W.R (ed), Tectonics and Sedimentation. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists. Special Publication, 22: 190-204.
- Dávila-Alcocer, V. M. (1974). *Geología del área de Atenango del Río, Estado de Guerrero, México: México, DF, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería* (Doctoral dissertation, Tesis Profesional, 79 p).
- de León, P.V., Ortiz-Martínez, E., Silva-Pineda, A., & Lozano-Carmona, D.E. (2013). *Distribución y ambientes de las gimnospermas fósiles del Terreno Mixteco*. Paleontología Mexicana, 2(1), 122-143.
- Doblas, M. (1998). *Slickenside kinematic indicators*. Tectonophysics, 295(1), 187-197.
- España-Pinto. A., (2001). *Estratigrafía y geología de la Cuenca de Tehuiztzingo, Puebla*. Universidad Nacional Autónoma De México, Facultad de Ingeniería, México, Tesis Profesional, 69 pp.
- Ferrusquía, I. (1970). *Geología del área Tamazulapan-Teposcolula-Yanhuitlán, Mixteca Alta, Estado de Oaxaca*. Excursión geológica México-Oaxaca: Sociedad Geológica Mexicana, 97-119.
- Fries Jr, C. (1957). *Bosquejo geológico de la región entre México, D.F. y Acapulco, Gro.* Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 9(5-6), 287-333.
- Fries Jr, C. & Rincón-Orta, C. (1965). *Nuevas aportaciones geocronológicas y técnicas empleadas en el laboratorio de geocronometría*: Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geología, Boletín, 73, 57-133.
- Fries, C. (1960). *Geología del Estado de Morelos y de partes adyacentes de México y Guerrero, región central meridional de México*. Univ. Nacional Autónoma de México.
- Fries, C., Jr., (1966), *Hoja Cuernavaca 14Q-h(8), con resumen de la geología de la Hoja Cuernavaca, estados de Morelos, México, Guerrero y Puebla*: México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Carta Geológica
- Gómez-Villar, A. (1996a). *Conos aluviales en pequeñas cuencas torrenciales de montaña*. Geoforma Ediciones, Logroño, 365-377.
- Gómez-Villar, A. (1996b). *Abanicos aluviales: aportación teórica a sus aspectos más significativos*. Cuaternario y Geomorfología, 10(3-4), 77-124.

- Graham, S. A., Tolson, R. B., DeCelles, P. G., Ingersoll, R. V., Bargar, E., Caldwell, M., & Lemke, L. (1986). *Provenance modeling as a technique for analyzing source terrane evolution and controls on foreland sedimentation*. *Foreland Basins*, 425-436.
- Guerrero-Suastegui, M. (2004). *Depositional and tectonic history of the Guerrero Terrane, Sierra Madre de Sur, with emphasis on sedimentary successions of the Teloloapan area, southwestern Mexico*. Saint John's, New Foundland, Canada, Memorial University of Newfoundland, tesis doctoral, 332 pp.
- INEGI (1995) fotografías aéreas verticales, zona E14-5, INEGI SINFA 1:75,000.
- Martiny-Kramer, B.M. (2008). *Estratigrafía y Geoquímica de las rocas magmáticas del Paleógeno en el occidente de Oaxaca y su significado petrogenético y tectónico*: Universidad Nacional Autónoma de México, Posgrado en Ciencias de la Tierra. Tesis doctoral, 160 p.
- McGowen, J.H., Groat, C.G. (1971). *Van Horn Sandstone, West Texas: an alluvial fan model for mineral exploration*. Bureau of Economic Geology, University of Texas at Austin.
- Miall, A. (1996). *The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Basin Analysis*. Petroleum Geology. Springer-Verlag, New York, 582 pp.
- Miall, A. (2006). *The geology of fluvial deposits: sedimentary facies, basin analysis, and petroleum geology*. Springer.
- Molina-Garza, R. S., & Ortega-Rivera, A. (2006). *Chronostratigraphy and paleomagnetism of the Balsas Group in the Tuzantlán-Copalillo basin, northern Guerrero state, Mexico*. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 23(2), 215-232.
- Morán-Zenteno, D.J., Cerca, M., & Keppie, J.D. (2007). *La evolución geológica cenozoica del sur de México: avances y problemas de interpretación*: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Volumen conmemorativo del centenario. *Temas selectos de la Geología Mexicana*. 57: 319-341.
- Murillo-Muñetón, G., & Torres-Vargas, R. (1987). *Mapa petrogenético y radiométrico de la República Mexicana*: Instituto Mexicano del Petróleo. Informe Proyecto C-2010 78p.
- Ordóñez, E., (1906), *Las rocas arcaicas de México*: Mem. Soc. Científica Antonio Alzate, V. 22, pp. 315-331.
- Ortega-Gutiérrez, F. (1978). *Estratigrafía del Complejo Acatlán en la Mixteca Baja, Estados de Puebla y Oaxaca*: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, *Revista*, 2, 112-134.
- Ortega-Gutiérrez, F., Elías-Herrera, M., Reyes-Salas, M., Macías-Romo, C., & López, R. (1999). *Late Ordovician–Early Silurian continental collisional orogeny in southern Mexico and its bearing on Gondwana-Laurentia connections*. *Geology*, 27(8), 719-722.

- Ortega-Gutiérrez, F., Mitre-Salazar, L.M., Roldán-Quintana, J., Aranda-Gomez, J., Moran-Zenteno, D.J., Alaniz-Álvarez, S. & Nieto-Samaniego, A.F., (1992), *Carta Geológica de la República Mexicana*: Consejo de Recursos Minerales, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, 74 pp.
- Paton, C., Woodhead, J. D., Hellstrom, J. C., Hergt, J. M., Greig, A., & Maas, R. (2010). *Improved laser ablation U-Pb zircon geochronology through robust downhole fractionation correction*. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 11(3).
- Powers, M. C. (1953). *A new roundness scale for sedimentary particles*. *Journal of Sedimentary Research*, 23(2).
- Ramírez-Arriaga, E., Martínez-Hernández, E., Flores-Olvera, H., Ochotorena, H., & Prámparo, M.B. (2008). *Correlation of the late Eocene-early Oligocene Izúcar de Matamoros evaporites (Cuayuca Formation) in Mexico based on parsimony analysis of endemism*. *Palynology*, 32(1), 231-252.
- Ramírez-Arriaga, E., Martínez-Hernández, E., & Prámparo, M. B. (2005). *Asociación palinológica de la Formación Cuayuca (Paleógeno), Puebla, sur de México. Parte I: Esporas triletes, esporas monoletes y polen de gimnospermas*. *Ameghiniana*, 42(3), 567-578.
- Ramírez-Espinosa, J. (2001). *Tectono-magmatic evolution of the Paleozoic Acatlan Complex in southern Mexico, and its correlation with the Appalachian system*.
- Rivera, S., & Sánchez, B. E. B. (1999). *Consideraciones bioestratigráficas y paleoecológicas de Patlanoaya, Puebla e Ixtaltepec, Oaxaca, de acuerdo a su paleofauna*. *Investigación Universitaria Multidisciplinaria: Revista de Investigación de la Universidad Simón Bolívar*, (1), 2.
- Rodgers, D.A. (1980). *Analysis of pull-apart basin development produced by en echelon strike-slip faults*. *Sedimentation in Oblique-Slip Mobile Zones*, Spec. Publ, 4, 27-41.
- Rodríguez-Torres, R. (1970). *Geología metamórfica del área de Acatlán, estado de Puebla*. *Libro-guía de la excursión México-Oaxaca*: Sociedad Geológica Mexicana, 51-54.
- Salas, G.P. (1949). *Bosquejo geológico de la cuenca sedimentaria de Oaxaca*. *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, 1(2), 87-162.
- Schlaepfer, C.J. (1970). *Geología terciaria del área de Yanhuítlán-Nochixtlán, Oaxaca*. *Libro-Guía de la Excursión México-Oaxaca*, México, Sociedad Geológica Mexicana, 85-96.
- Sedlock, R.L., Ortega-Gutiérrez, F., & Speed, R.C. (1993) *Tectonostratigraphic terranes and tectonic evolution of Mexico*: Geological Society of America Special Paper, 278: 153 p.

- Silva-Romo, G., (2010) *Origen tectónico y evolución de la cuenca Tehuizingo-Tepexi, estado de Puebla*. Universidad Nacional Autónoma De México, Posgrado en Ciencias de la Tierra, Tesis Doctoral, 193pp.
- Silva-Romo, G., & Mendoza-Rosales, C.C., (Eds.) (2016) *Trabajo geológico de campo*, México, Cd.Mx, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería.
- Silva-Romo, G., Mendoza-Rosales, C.C., Campos-Madrigal, E., Hernández-Marmolejo, Y.B., de la Rosa-Mora, O.A., Bonifacio-Serralde, C., de la Torre-González, A.I., López-Hernández, N., & Nápoles-Valenzuela, J.I. (Sometido). *Timing of Cenozoic basins of Southern Mexico and its relations with the Pacific truncation process: Subduction erosion or Detachment of Chortís block*. Journal of South American Earth Sciences.
- Silva-Pineda, A., (1978) *Plantas del Jurásico Medio del sur de Puebla y noroeste de Oaxaca: Paleontología Mexicana*, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, 44, 27-57.
- Talavera-Mendoza, O., Ruiz, J., Gehrels, G. E., Meza-Figueroa, D. M., Vega-Granillo, R., & Campa-Uranga, M. F. (2005). *U–Pb geochronology of the Acatlán Complex and implications for the Paleozoic paleogeography and tectonic evolution of southern Mexico*. Earth and Planetary Science Letters, 235(3), 682
- Vázquez-Echeverría, A. (1986). *Descubrimiento de una nueva localidad de rocas marinas del Paleozoico al suroeste del Estado de Puebla.*, En: Memorias XXIV Congreso Nacional de la AIPM.
- Williams, P.F., & Rust, B.R. (1969). *The sedimentology of a braided river*. Journal of Sedimentary Research, 39(2).
- Yañez, P., Ruiz, J., Patchett, P. J., Ortega-Gutierrez, F., & Gehrels, G. E. (1991). *Isotopic studies of the Acatlan complex, southern Mexico: Implications for Paleozoic North American tectonics*. Geological Society of America Bulletin, 103(6), 817-828.

APÉNDICE

Análisis U-Pb de circones

TEP-06

RELACIONES ISOTÓPICAS

EDADES APARENTES (Ma)

MEJOR EDAD

	U			RELACIONES ISOTÓPICAS								E DADES APARENTES (Ma)						MEJOR EDAD			
	(ppm) ¹	Th (ppm) ¹	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2σ abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2σ abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2σ abs	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	±2σ abs	Rho	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2σ	(Ma)	±2σ	Disc %
Zircon-001	102.4	116.6	1.1	0.04609	0.000005	0.0332	0.0035	0.0052	0.0006	0.0016	0.0004	0.8900	33.6	3.5	33.1	3.5	2.4	0.3	33.6	3.5	-1.51
Zircon-002	865.0	702.0	0.8	0.04611	0.000006	0.0345	0.0014	0.0054	0.0002	0.0017	0.0002	0.8900	34.9	1.4	34.4	1.4	3.6	0.3	34.9	1.4	-1.45
Zircon-003	390.0	149.5	0.4	0.04610	0.000013	0.0342	0.0017	0.0054	0.0003	0.0017	0.0005	0.8900	34.6	1.7	34.1	1.7	2.8	0.7	34.6	1.7	-1.47
Zircon-004	212.0	144.0	0.7	0.04610	0.000009	0.0316	0.0027	0.0050	0.0004	0.0014	0.0005	0.8900	32.0	2.6	31.6	2.7	2.9	0.5	32.0	2.6	-1.27
Zircon-005	1529.0	1500.0	1.0	0.04613	0.000006	0.0338	0.0009	0.0053	0.0001	0.0016	0.0002	0.8900	34.2	0.8	33.8	0.9	4.3	0.3	34.2	0.8	-1.18
Zircon-006	513.0	329.0	0.6	0.04611	0.000012	0.0421	0.0016	0.0066	0.0002	0.0018	0.0003	0.8900	42.5	1.5	41.9	1.5	3.2	0.6	42.5	1.5	-1.43
Zircon-007	413.0	235.0	0.6	0.04610	0.000008	0.0324	0.0022	0.0051	0.0003	0.0015	0.0005	0.8900	32.7	2.1	32.3	2.2	2.9	0.4	32.7	2.1	-1.24
Zircon-008	687.0	498.0	0.7	0.04611	0.000008	0.0314	0.0013	0.0049	0.0002	0.0017	0.0003	0.8900	31.8	1.3	31.4	1.3	3.5	0.4	31.8	1.3	-1.27
Zircon-009	1389.0	1105.0	0.8	0.04612	0.000006	0.0333	0.0010	0.0052	0.0002	0.0017	0.0002	0.8900	33.7	1.0	33.3	1.0	4.1	0.3	33.7	1.0	-1.20
Zircon-010	487.0	258.1	0.5	0.04611	0.000017	0.0328	0.0023	0.0052	0.0003	0.0019	0.0004	0.6633	33.2	2.0	32.8	2.2	3.6	0.9	33.2	2.0	-1.22
Zircon-011	931.0	670.0	0.7	0.04611	0.000007	0.0326	0.0019	0.0051	0.0002	0.0015	0.0002	0.8900	32.9	1.6	32.5	1.8	3.4	0.4	32.9	1.6	-1.23
Zircon-012	294.0	182.0	0.6	0.04610	0.000007	0.0324	0.0017	0.0051	0.0003	0.0018	0.0004	0.8900	32.7	1.7	32.3	1.7	3.0	0.4	32.7	1.7	-1.24
Zircon-013	775.0	530.0	0.7	0.04613	0.000022	0.0333	0.0018	0.0052	0.0003	0.0018	0.0002	0.8900	33.6	1.8	33.2	1.8	4.3	1.2	33.6	1.8	-1.20
Zircon-014	752.0	592.0	0.8	0.04611	0.000008	0.0339	0.0013	0.0054	0.0002	0.0015	0.0002	0.9426	34.8	1.4	33.8	1.2	3.3	0.4	34.8	1.4	-2.96
Zircon-015	137.0	69.4	0.5	0.04609	0.000005	0.0357	0.0028	0.0056	0.0004	0.0008	0.0007	0.8900	36.1	2.7	35.6	2.7	2.2	0.3	36.1	2.7	-1.40
Zircon-016	381.0	162.8	0.4	0.04610	0.000007	0.0373	0.0023	0.0059	0.0004	0.0019	0.0005	0.8900	37.7	2.2	37.2	2.2	2.6	0.4	37.7	2.2	-1.34
Zircon-017	1390.0	1030.0	0.7	0.04613	0.000010	0.0332	0.0011	0.0052	0.0002	0.0018	0.0002	0.8900	33.5	1.0	33.2	1.1	4.2	0.5	33.5	1.0	-0.96
Zircon-018	575.8	199.4	0.3	0.04610	0.000008	0.0335	0.0014	0.0052	0.0002	0.0016	0.0005	0.8900	33.7	1.3	33.5	1.3	2.8	0.4	33.7	1.3	-0.60
Zircon-019	503.8	309.8	0.6	0.04611	0.000011	0.0319	0.0016	0.0050	0.0002	0.0014	0.0004	0.8900	32.3	1.5	31.9	1.5	3.4	0.6	32.3	1.5	-1.25
Zircon-020	1869.0	1050.0	0.6	0.04614	0.000030	0.0337	0.0013	0.0053	0.0002	0.0017	0.0002	0.7706	34.0	1.0	33.6	1.3	5.1	1.6	34.0	1.0	-1.10
Zircon-021	1283.0	653.0	0.5	0.04612	0.000007	0.0335	0.0014	0.0053	0.0002	0.0018	0.0003	0.8900	33.9	1.3	33.5	1.4	3.7	0.4	33.9	1.3	-1.19
Zircon-022	222.8	105.1	0.5	0.04609	0.000006	0.0321	0.0028	0.0050	0.0004	0.0025	0.0007	0.8900	32.4	2.8	32.0	2.7	2.4	0.3	32.4	2.8	-1.25
Zircon-023	3667.0	3122.0	0.9	0.04613	0.000010	0.0330	0.0010	0.0052	0.0001	0.0017	0.0001	0.8900	33.3	0.9	33.0	1.0	4.2	0.5	33.3	0.9	-1.03
Zircon-024	624.0	432.0	0.7	0.04611	0.000007	0.0323	0.0015	0.0051	0.0002	0.0012	0.0003	0.8900	32.6	1.4	32.3	1.4	3.1	0.4	32.6	1.4	-0.93
Zircon-025	1247.0	1190.0	1.0	0.04612	0.000008	0.0349	0.0016	0.0055	0.0002	0.0015	0.0002	0.8900	35.2	1.5	34.8	1.6	4.1	0.4	35.2	1.5	-1.15
Zircon-026	666.0	720.0	1.1	0.04613	0.000009	0.0327	0.0014	0.0051	0.0002	0.0018	0.0002	0.8900	33.0	1.4	32.7	1.4	4.2	0.5	33.0	1.4	-0.92
Zircon-027	359.0	196.0	0.5	0.04610	0.000007	0.0337	0.0023	0.0054	0.0003	0.0021	0.0005	0.9802	34.4	2.2	33.7	2.3	2.7	0.3	34.4	2.2	-2.08
Zircon-028	125.0	55.0	0.4	0.04609	0.000024	0.0677	0.0073	0.0109	0.0012	0.0053	0.0019	0.8900	69.7	7.6	67.7	7.3	2.2	1.3	69.7	7.6	-2.95
Zircon-029	1292.0	816.0	0.6	0.04612	0.000008	0.0359	0.0014	0.0057	0.0002	0.0016	0.0002	0.8900	36.3	1.3	35.8	1.4	3.8	0.4	36.3	1.3	-1.40
Zircon-030	576.0	375.0	0.7	0.04610	0.000007	0.0348	0.0016	0.0054	0.0002	0.0017	0.0002	0.7742	35.0	1.4	34.7	1.6	3.1	0.3	35.0	1.4	-0.86

Análisis U-Pb de circones

	235.0	125.2	0.5	0.04609	0.000006	0.0326	0.0038	0.0051	0.0006	0.0021	0.0008	0.8900	33.0	3.8	32.5	3.7	2.1	0.3	33.0	3.8	-1.54	
Zircon-031																						
Zircon-032	340.0	278.0	0.8	0.04610	0.000006	0.0347	0.0020	0.0055	0.0003	0.0021	0.0004	0.8900	35.1	1.9	34.6	1.9	3.0	0.3	35.1	1.9	-1.45	
Zircon-033	1440.0	1170.0	0.8	0.04613	0.000021	0.0329	0.0012	0.0052	0.0002	0.0017	0.0002	0.9887	33.1	1.0	32.9	1.2	4.5	1.1	33.1	1.0	-0.64	
Zircon-034	730.0	315.0	0.4	0.04610	0.000010	0.0319	0.0011	0.0050	0.0002	0.0017	0.0006	0.8900	32.3	1.1	31.9	1.1	2.8	0.5	32.3	1.1	-1.25	
Zircon-035	1126.0	415.0	0.4	0.04611	0.000008	0.0320	0.0012	0.0050	0.0002	0.0014	0.0003	0.8900	32.3	1.1	32.0	1.2	3.2	0.4	32.3	1.1	-0.94	
Zircon-036	475.0	217.0	0.5	0.04610	0.000006	0.0331	0.0018	0.0052	0.0002	0.0019	0.0003	0.6287	33.2	1.5	33.1	1.7	2.9	0.3	33.2	1.5	-0.30	
Zircon-037	647.0	381.0	0.6	0.04611	0.000007	0.0336	0.0012	0.0053	0.0002	0.0018	0.0002	0.8900	34.0	1.1	33.5	1.2	3.6	0.3	34.0	1.1	-1.49	
Zircon-038	688.0	346.0	0.5	0.04611	0.000017	0.0336	0.0015	0.0053	0.0002	0.0017	0.0003	0.8900	34.1	1.5	33.6	1.5	3.6	0.9	34.1	1.5	-1.49	
Zircon-039	876.0	707.0	0.8	0.04611	0.000006	0.0324	0.0011	0.0051	0.0002	0.0013	0.0002	0.8900	32.8	1.1	32.6	1.2	3.2	0.3	32.8	1.1	-0.61	
Zircon-040	521.0	299.0	0.6	0.04611	0.000011	0.0337	0.0013	0.0052	0.0002	0.0018	0.0003	0.6669	33.2	1.1	33.6	1.3	3.5	0.6	33.2	1.1	1.19	
Zircon-041	298.1	232.9	0.8	0.04609	0.000008	0.0317	0.0030	0.0050	0.0005	0.0012	0.0007	0.8900	32.1	3.0	31.7	3.0	2.4	0.4	32.1	3.0	-1.26	
Zircon-042	1265.0	855.0	0.7	0.04611	0.000010	0.0302	0.0013	0.0048	0.0002	0.0011	0.0003	0.8900	30.6	1.2	30.3	1.3	3.3	0.5	30.6	1.2	-0.99	
Zircon-043	102.4	55.3	0.5	0.07940	0.003300	2.3800	0.1600	0.2099	0.0028	0.0634	0.0032	0.4867	1228.0	15.0	1232.0	48.0	1185.0	91.0	1185.0	91.0	0.32	
Zircon-044	327.0	170.0	0.5	0.04609	0.000007	0.0301	0.0019	0.0047	0.0003	0.0010	0.0006	0.8900	30.5	1.8	30.1	1.8	2.5	0.4	30.5	1.8	-1.33	
Zircon-045	431.0	193.8	0.4	0.04610	0.000008	0.0358	0.0021	0.0056	0.0003	0.0018	0.0005	0.9750	35.9	2.0	35.7	2.1	2.7	0.4	35.9	2.0	-0.56	
Zircon-046	720.0	317.0	0.4	0.04611	0.000015	0.0357	0.0015	0.0056	0.0002	0.0017	0.0005	0.9865	35.9	1.5	35.6	1.5	3.1	0.8	35.9	1.5	-0.84	
Zircon-047	2330.0	990.0	0.4	0.04613	0.000017	0.0343	0.0011	0.0054	0.0001	0.0018	0.0002	0.8532	34.6	0.8	34.2	1.0	4.5	0.9	34.6	0.8	-1.08	
Zircon-048	600.0	276.0	0.5	0.04611	0.000017	0.0443	0.0017	0.0070	0.0003	0.0023	0.0003	0.8900	44.7	1.6	44.0	1.7	3.4	0.9	44.7	1.6	-1.59	
Zircon-049	895.0	665.0	0.7	0.04611	0.000007	0.0314	0.0010	0.0049	0.0001	0.0017	0.0002	0.8900	31.7	0.9	31.4	1.0	3.5	0.3	31.7	0.9	-1.12	
Zircon-050	992.0	606.0	0.6	0.04614	0.000046	0.0329	0.0012	0.0052	0.0002	0.0013	0.0003	0.8900	33.3	1.1	32.9	1.2	4.9	2.4	33.3	1.1	-1.22	

TEP 07

RELACIONES ISOTÓPICAS

EDADES APARENTES (Ma)

MEJOR EDAD

	TEP 07			RELACIONES ISOTÓPICAS								EDADES APARENTES (Ma)						MEJOR EDAD		Disc %	
	U (ppm) ¹	Th (ppm) ¹	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2σ abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2σ abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2σ abs	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	±2σ abs	Rho	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2σ	(Ma)		±2σ
Zircon-051	1601.0	1434.0	0.9	0.04550	0.003900	0.0308	0.0026	0.0048	0.0001	0.0015	0.0001	0.2115	30.9	0.6	30.7	2.5	370.0	130.0	30.7	0.7	-0.62
Zircon-052	1730.0	918.0	0.5	0.04590	0.004200	0.0343	0.0029	0.0052	0.0001	0.0015	0.0001	-0.1882	33.3	0.7	34.2	2.8	332.0	92.0	33.3	0.8	2.54
Zircon-053	181.0	60.7	0.3	0.06400	0.019000	0.0450	0.0130	0.0055	0.0004	0.0015	0.0005	0.0108	35.2	2.8	44.0	12.0	1120.0	230.0	34.5	3.1	20.00
Zircon-054	940.0	399.0	0.4	0.08800	0.010000	0.0657	0.0074	0.0053	0.0002	0.0027	0.0003	0.2854	34.3	1.3	64.4	7.1	1370.0	170.0	32.5	1.5	46.74
Zircon-055	697.0	413.0	0.6	0.04790	0.005600	0.0335	0.0037	0.0050	0.0002	0.0016	0.0001	0.0150	31.9	1.0	33.4	3.7	440.0	110.0	31.6	1.1	4.49
Zircon-056	381.0	425.0	1.1	0.08510	0.009700	0.0667	0.0078	0.0056	0.0003	0.0023	0.0002	0.1793	36.1	1.9	65.3	7.4	1370.0	140.0	34.0	2.1	44.72
Zircon-057	408.1	162.2	0.4	0.05290	0.006100	0.1730	0.0190	0.0237	0.0005	0.0077	0.0006	-0.1218	151.0	3.4	161.0	16.0	470.0	130.0	150.7	3.6	6.21
Zircon-058	253.6	116.1	0.5	0.09600	0.019000	0.0620	0.0130	0.0047	0.0003	0.0028	0.0005	0.0884	30.1	1.9	61.0	12.0	1480.0	280.0	28.0	2.0	50.66
Zircon-059	266.6	94.7	0.4	0.05100	0.014000	0.0410	0.0110	0.0060	0.0004	0.0026	0.0005	-0.0209	38.6	2.2	40.0	10.0	1020.0	200.0	38.0	2.5	3.50
Zircon-060	1531.0	545.0	0.4	0.04580	0.004000	0.0334	0.0032	0.0052	0.0001	0.0017	0.0002	0.1988	33.3	0.7	33.3	3.1	224.0	82.0	33.3	0.8	-0.12
Zircon-061	241.0	30.2	0.1	0.05150	0.006300	0.1710	0.0230	0.0238	0.0008	0.0088	0.0012	0.0658	151.3	5.2	158.0	20.0	540.0	84.0	148.8	5.7	4.24
Zircon-062	603.0	189.2	0.3	0.08050	0.003700	2.0300	0.1100	0.1895	0.0037	0.0573	0.0037	0.7993	1118.0	20.0	1126.0	37.0	1200.0	51.0	1165.0	73.0	0.71
Zircon-063	228.0	124.0	0.5	0.08000	0.015000	0.0561	0.0096	0.0052	0.0003	0.0020	0.0003	-0.0073	33.6	2.1	55.0	9.3	1330.0	210.0	32.2	2.2	38.91
Zircon-064	322.0	145.0	0.5	0.07400	0.011000	0.0542	0.0083	0.0055	0.0002	0.0020	0.0003	0.1823	35.4	1.5	53.2	8.0	1010.0	130.0	34.1	1.7	33.46
Zircon-065	475.0	286.0	0.6	0.04000	0.006700	0.0293	0.0052	0.0051	0.0002	0.0017	0.0002	0.3164	32.6	1.4	29.1	5.1	550.0	150.0	33.0	1.4	-12.03
Zircon-066	757.0	214.7	0.3	0.05130	0.006700	0.0350	0.0046	0.0049	0.0001	0.0020	0.0002	0.2234	31.7	0.9	34.8	4.5	610.0	160.0	31.4	1.0	8.88
Zircon-067	189.5	122.9	0.6	0.07400	0.014000	0.0501	0.0095	0.0050	0.0003	0.0020	0.0003	0.0112	32.4	1.8	49.2	9.2	1200.0	140.0	31.5	2.2	34.15
Zircon-068	1210.0	1410.0	1.2	0.05360	0.009600	0.0369	0.0065	0.0048	0.0002	0.0018	0.0001	0.3543	30.6	1.2	36.7	6.4	620.0	170.0	30.2	1.2	16.62
Zircon-069	272.0	84.6	0.3	0.07770	0.004400	1.3710	0.0700	0.1342	0.0029	0.0476	0.0030	0.1979	814.0	17.0	876.0	30.0	1158.0	77.0	807.0	18.0	7.08
Zircon-070	2712.0	388.0	0.1	0.46900	0.028000	0.8160	0.0480	0.0116	0.0003	0.0998	0.0054	0.2659	74.4	1.9	606.0	27.0	4141.0	42.0	30.6	2.0	87.72
Zircon-071	421.0	365.0	0.9	0.06100	0.019000	0.0400	0.0120	0.0046	0.0002	0.0016	0.0002	-0.0222	29.5	1.3	40.0	12.0	900.0	170.0	28.3	2.1	26.25
Zircon-072	300.0	271.0	0.9	0.04970	0.009800	0.0349	0.0069	0.0048	0.0002	0.0020	0.0003	-0.0107	30.8	1.5	34.6	6.7	840.0	220.0	30.2	1.6	10.98
Zircon-073	545.5	179.8	0.3	0.04950	0.003500	0.1860	0.0150	0.0268	0.0005	0.0091	0.0008	0.0414	170.4	3.1	173.0	12.0	183.0	74.0	169.9	3.5	1.50
Zircon-074	1222.0	1081.0	0.9	0.05370	0.005300	0.0402	0.0042	0.0051	0.0001	0.0019	0.0001	0.1561	32.7	0.8	39.9	4.1	480.0	110.0	32.5	0.9	17.97
Zircon-075	2580.0	590.0	0.2	0.04970	0.004500	0.0786	0.0077	0.0118	0.0011	0.0072	0.0013	0.6346	75.5	7.3	76.7	7.3	300.0	160.0	75.3	7.6	1.56
Zircon-076	299.6	141.1	0.5	0.05120	0.005500	0.1500	0.0160	0.0216	0.0006	0.0068	0.0005	0.4336	137.6	3.7	141.0	14.0	480.0	98.0	137.1	3.6	2.41
Zircon-077	823.0	774.0	0.9	0.05160	0.003400	0.1830	0.0130	0.0266	0.0005	0.0080	0.0004	0.2027	169.1	3.0	171.0	11.0	370.0	77.0	168.1	3.1	1.11
Zircon-078	977.0	686.0	0.7	0.04770	0.006900	0.0346	0.0053	0.0049	0.0002	0.0016	0.0002	0.3533	31.6	1.4	34.4	5.2	520.0	150.0	31.2	1.4	8.14
Zircon-079	1657.0	246.8	0.1	0.04860	0.005200	0.0328	0.0038	0.0048	0.0001	0.0017	0.0002	0.2752	30.8	0.9	32.7	3.7	310.0	110.0	30.6	0.9	5.90
Zircon-080	303.9	140.8	0.5	0.08360	0.003900	2.5000	0.1200	0.2179	0.0028	0.0683	0.0038	-0.0777	1271.0	15.0	1277.0	38.0	1292.0	45.0	1255.0	56.0	0.47
Zircon-081	188.3	41.5	0.2	0.06850	0.004700	0.6300	0.0530	0.0627	0.0022	0.0177	0.0018	0.4925	392.0	13.0	493.0	33.0	886.0	75.0	384.0	13.0	20.49

Análisis U-Pb de circones

Zircon-082	476.0	211.0	0.4	0.07500	0.012000	0.0528	0.0085	0.0048	0.0002	0.0022	0.0003	-0.1357	31.0	1.2	51.9	8.2	1300.0	160.0	29.8	1.4	40.27
Zircon-083	284.0	145.0	0.5	0.07600	0.016000	0.0580	0.0130	0.0056	0.0003	0.0028	0.0006	0.2839	35.9	2.1	56.0	13.0	1170.0	250.0	34.3	2.1	35.89
Zircon-084	627.0	245.3	0.4	0.04520	0.006600	0.0315	0.0038	0.0049	0.0002	0.0018	0.0002	-0.3550	31.6	1.2	31.4	3.7	460.0	130.0	32.0	1.6	-0.64
Zircon-085	809.0	208.0	0.3	0.05650	0.002800	0.6930	0.0380	0.0863	0.0013	0.0262	0.0018	0.5034	533.7	7.9	534.0	23.0	453.0	63.0	533.2	8.0	0.06
Zircon-086	463.0	222.0	0.5	0.06300	0.018000	0.0390	0.0100	0.0050	0.0004	0.0023	0.0003	-0.2230	32.4	2.6	38.4	9.7	1150.0	320.0	31.5	3.0	15.63
Zircon-087	1147.0	216.0	0.2	0.07470	0.003600	0.9910	0.0810	0.0976	0.0044	0.0086	0.0010	0.8922	600.0	26.0	695.0	42.0	1082.0	66.0	591.0	25	13.67
Zircon-088	721.0	226.0	0.3	0.04500	0.008500	0.0384	0.0065	0.0050	0.0003	0.0022	0.0005	-0.2116	31.9	1.7	38.1	6.4	590.0	130.0	31.5	2	16.27
Zircon-089	613.0	394.0	0.6	0.04990	0.007400	0.0339	0.0045	0.0050	0.0002	0.0016	0.0002	-0.1567	32.0	1.2	33.8	4.4	660.0	130.0	32.0	1	5.33
Zircon-090	376.0	125.9	0.3	0.05000	0.010000	0.0351	0.0067	0.0053	0.0002	0.0017	0.0002	-0.0276	34.3	1.5	35.8	6.4	620.0	140.0	34.4	2	4.19
Zircon-091	255.6	135.4	0.5	0.05000	0.005300	0.1750	0.0160	0.0262	0.0006	0.0083	0.0007	-0.1292	166.9	3.6	165.0	13.0	460.0	110.0	166.0	4	-1.15
Zircon-092	419.0	186.0	0.4	0.05130	0.009400	0.0338	0.0063	0.0051	0.0002	0.0018	0.0002	0.3547	32.7	1.5	33.6	6.2	620.0	130.0	32.5	2	2.68
Zircon-093	694.0	256.0	0.4	0.06170	0.007600	0.0458	0.0057	0.0052	0.0002	0.0021	0.0002	0.2780	33.6	1.0	45.3	5.5	820.0	160.0	32.5	1	25.81
Zircon-094	629.0	262.0	0.4	0.05990	0.007100	0.0413	0.0048	0.0049	0.0002	0.0018	0.0002	0.1682	31.6	1.3	41.0	4.7	740.0	140.0	31.0	1	22.93
Zircon-095	595.0	230.0	0.4	0.05700	0.013000	0.0391	0.0090	0.0050	0.0003	0.0020	0.0003	0.3089	32.1	2.1	38.8	8.8	780.0	210.0	31.5	2	17.27
Zircon-096	344.0	128.4	0.4	0.04800	0.016000	0.0320	0.0110	0.0050	0.0003	0.0017	0.0003	0.1404	32.1	1.6	32.0	10.0	990.0	300.0	32.6	1	-0.31
Zircon-097	714.0	339.0	0.5	0.04400	0.006900	0.0310	0.0050	0.0051	0.0002	0.0020	0.0002	0.4008	32.7	1.1	30.8	4.9	610.0	220.0	32.5	1	-6.17
Zircon-098	566.0	514.0	0.9	0.04580	0.003100	0.1840	0.0130	0.0274	0.0006	0.0084	0.0005	0.1780	174.2	3.4	172.0	11.0	171.0	81.0	174.6	4	-1.28
Zircon-099	433.0	218.0	0.5	0.06930	0.004800	0.2610	0.0200	0.0261	0.0007	0.0133	0.0010	0.1477	166.6	4.3	235.0	16.0	892.0	80.0	161.1	5	29.11
Zircon-100	1237.0	619.9	0.5	0.05340	0.005600	0.1080	0.0110	0.0158	0.0005	0.0044	0.0004	0.1047	100.9	3.3	103.6	9.7	450.0	130.0	100.6	4	2.61

CTPNN 36

RELACIONES ISOTÓPICAS

EDADES APARENTES (Ma)

MEJOR EDAD

	U			RELACIONES ISOTÓPICAS									EDADES APARENTES (Ma)						MEJOR EDAD		Disc %
	U (ppm) ¹	Th (ppm) ¹	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2σ abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2σ abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2σ abs	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	±2σ abs	Rho	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2σ	(Ma)	±2σ	
Zircon-041	169	216	1.28	0.0790	0.0140	0.0540	0.0086	0.0051	0.0003	0.0019	0.0002	0.02	33.4	1.7	54.5	8.0	1210.0	360.0	33.4	1.7	38.72
Zircon-042	160	175	1.09	0.0550	0.0170	0.0390	0.0130	0.0053	0.0003	0.0019	0.0002	0.47	34.0	2.0	41.0	13.0	1070.0	570.0	34.0	2.0	17.07
Zircon-043	124	407	0.86	0.1960	0.0320	0.2000	0.0360	0.0073	0.0007	0.0047	0.0006	0.37	47.1	4.5	183.0	30.0	2790.0	270.0	2790.0	270.0	74.26
Zircon-044	117.2	48.2	0.41	0.0760	0.0200	0.0490	0.0140	0.0052	0.0004	0.0023	0.0004	0.21	33.1	2.5	48.0	13.0	1380.0	510.0	33.1	2.5	31.04
Zircon-045	150.8	89.5	0.59	0.0920	0.0180	0.0630	0.0120	0.0053	0.0003	0.0025	0.0003	0.22	34.1	1.8	62.0	11.0	1500.0	380.0	34.1	1.8	45.00
Zircon-046	167	84	0.50	0.3320	0.0480	0.3250	0.0420	0.0071	0.0002	0.0126	0.0023	-0.23	45.6	1.3	283.0	33.0	3640.0	210.0	3640.0	210.0	83.89
Zircon-047	116.5	150.2	1.29	0.0850	0.0190	0.0570	0.0120	0.0050	0.0003	0.0018	0.0003	0.11	32.3	2.0	56.0	11.0	1460.0	380.0	32.3	2.0	42.32
Zircon-048	207.4	133.7	0.64	0.0740	0.0120	0.0570	0.0090	0.0057	0.0003	0.0023	0.0002	0.12	36.4	2.1	55.8	8.6	1030.0	300.0	36.4	2.1	34.77
Zircon-049	83	45.6	0.55	0.1520	0.0300	0.1340	0.0250	0.0068	0.0005	0.0047	0.0008	0.16	43.8	3.3	129.0	23.0	2300.0	370.0	2300.0	370.0	66.05
Zircon-050	1436	82.3	0.06	0.0484	0.0027	0.1201	0.0068	0.0179	0.0004	0.0075	0.0007	0.39	114.1	2.4	115.1	6.2	180.0	120.0	114.1	2.4	0.87
Zircon-051	295	133	0.45	0.0525	0.0048	0.2430	0.0260	0.0342	0.0008	0.0111	0.0009	0.36	216.6	5.1	221.0	21.0	270.0	220.0	216.6	5.1	1.99
Zircon-052	152	105.3	0.69	0.0890	0.0150	0.0579	0.0087	0.0049	0.0003	0.0025	0.0003	-0.21	31.2	1.6	58.0	8.0	1420.0	330.0	31.2	1.6	46.21
Zircon-053	155.1	94.8	0.61	0.0780	0.0160	0.0570	0.0120	0.0051	0.0003	0.0021	0.0003	0.30	33.0	1.7	55.0	11.0	1550.0	390.0	33.0	1.7	40.00
Zircon-054	170	160	0.94	0.0590	0.0140	0.0385	0.0099	0.0048	0.0002	0.0019	0.0002	0.21	31.1	1.5	37.9	9.7	1020.0	440.0	31.1	1.5	17.94
Zircon-055	213	207.6	0.97	0.0431	0.0097	0.0284	0.0064	0.0046	0.0002	0.0016	0.0002	0.10	29.6	1.2	28.2	6.3	830.0	350.0	29.6	1.2	-4.96
Zircon-056	384	402	1.05	0.0574	0.0027	0.6250	0.0300	0.0789	0.0013	0.0241	0.0011	0.45	489.5	7.8	492.0	19.0	520.0	100.0	489.5	7.8	0.51
Zircon-057	174	110	0.63	0.1640	0.0260	0.1160	0.0180	0.0055	0.0004	0.0043	0.0005	0.24	35.0	2.7	110.0	17.0	2470.0	320.0	2470.0	320.0	68.18
Zircon-058	140.5	174	1.24	0.0900	0.0150	0.0710	0.0110	0.0057	0.0003	0.0023	0.0002	0.18	36.3	2.0	69.0	11.0	1590.0	350.0	36.3	2.0	47.39
Zircon-059	254	149.3	0.59	0.0890	0.0130	0.0626	0.0084	0.0050	0.0002	0.0024	0.0002	0.06	31.9	1.5	61.2	8.0	1530.0	290.0	31.9	1.5	47.88
Zircon-060	179	146	0.82	0.0740	0.0110	0.0528	0.0080	0.0051	0.0002	0.0021	0.0003	0.00	32.7	1.6	51.9	7.7	1170.0	330.0	32.7	1.6	36.99
Zircon-061	442	589	1.33	0.0561	0.0078	0.0380	0.0056	0.0049	0.0002	0.0016	0.0001	0.30	31.2	1.0	37.7	5.4	760.0	270.0	31.2	1.0	17.24
Zircon-062	563	308	0.55	0.0526	0.0030	0.1758	0.0095	0.0240	0.0004	0.0082	0.0004	-0.06	153.0	2.6	164.2	8.2	400.0	120.0	153.0	2.6	6.82
Zircon-063	350	267	0.76	0.0870	0.0140	0.0622	0.0095	0.0049	0.0002	0.0021	0.0002	0.02	31.4	1.3	61.0	9.1	1450.0	340.0	31.4	1.3	48.52
Zircon-064	216	190	0.88	0.0570	0.0140	0.0379	0.0093	0.0049	0.0003	0.0018	0.0002	0.05	31.4	1.6	37.4	9.1	980.0	450.0	31.4	1.6	16.04
Zircon-065	216	142	0.66	0.0440	0.0120	0.0319	0.0084	0.0050	0.0003	0.0018	0.0002	0.09	31.9	1.6	31.6	8.3	780.0	440.0	31.9	1.6	-0.95
Zircon-066	197	295	1.50	0.0870	0.0180	0.0670	0.0130	0.0056	0.0003	0.0019	0.0001	-0.15	36.0	2.0	65.0	12.0	1750.0	400.0	36.0	2.0	44.62
Zircon-067	520	82.2	0.16	0.0574	0.0027	0.3350	0.0170	0.0422	0.0008	0.0301	0.0016	0.23	266.6	5.0	295.0	12.0	500.0	110.0	266.6	5.0	9.63
Zircon-068	198	179	0.90	0.1160	0.0200	0.0790	0.0120	0.0049	0.0003	0.0022	0.0002	0.12	31.4	1.8	77.0	11.0	1980.0	330.0	1980.0	330.0	59.22
Zircon-069	201	194	0.97	0.1380	0.0210	0.0940	0.0130	0.0049	0.0003	0.0026	0.0003	0.02	31.6	2.0	91.0	12.0	2250.0	280.0	2250.0	280.0	65.27
Zircon-070	294	267	0.91	0.0940	0.0120	0.0686	0.0091	0.0052	0.0002	0.0020	0.0002	0.34	33.6	1.3	66.8	8.6	1460.0	280.0	33.6	1.3	49.70
Zircon-071	221	76.1	0.34	0.0960	0.0140	0.2580	0.0340	0.0195	0.0008	0.0146	0.0025	-0.07	124.6	5.0	231.0	27.0	1530.0	300.0	124.6	5.0	46.06

Análisis U-Pb de circones

Zircon-072	804	709	0.88	0.0744	0.0026	1.7850	0.0600	0.1711	0.0021	0.0501	0.0019	0.31	1018.0	11.0	1041.0	23.0	1048.0	73.0	1048.0	73.0	2.21
Zircon-073	1292	537	0.42	0.0559	0.0031	0.1527	0.0083	0.0194	0.0004	0.0079	0.0004	0.23	124.1	2.6	144.1	7.3	440.0	120.0	124.1	2.6	13.88
Zircon-074	74.4	67	0.90	0.0520	0.0059	0.3100	0.0330	0.0433	0.0012	0.0146	0.0010	-0.06	273.1	7.4	271.0	26.0	550.0	220.0	273.1	7.4	-0.77
Zircon-075	549	194	0.35	0.0772	0.0030	2.1090	0.0880	0.1937	0.0030	0.0569	0.0024	0.62	1141.0	16.0	1151.0	28.0	1111.0	77.0	1111.0	77.0	0.87

CTPNN 46

CTPNN 46				RELACIONES ISOTÓPICAS									EIDADES APARENTES (Ma)						MEJOR EDAD		Disc %
U (ppm) ¹	Th (ppm) ¹	Th/U		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2σ abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2σ abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2σ abs	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	±2σ abs	Rho	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2σ	(Ma)	±2σ	
Zircon-076	171	60.3	0.35	0.0930	0.0220	0.0720	0.0170	0.0059	0.0004	0.0029	0.0007	-0.06	37.6	2.6	70.0	16.0	1720.0	500.0	37.6	2.6	46.29
Zircon-077	1740	266	0.15	0.0475	0.0060	0.0278	0.0035	0.0041	0.0001	0.0017	0.0002	0.18	26.6	0.9	27.8	3.5	460.0	240.0	26.6	0.9	4.21
Zircon-078	341	195	0.57	0.0660	0.0093	0.0477	0.0066	0.0051	0.0002	0.0018	0.0002	0.08	32.5	1.1	47.1	6.4	1080.0	290.0	32.5	1.1	31.00
Zircon-079	502	337	0.67	0.0612	0.0083	0.0395	0.0049	0.0046	0.0002	0.0015	0.0001	0.06	29.4	1.3	39.2	4.8	750.0	260.0	29.4	1.3	25.00
Zircon-080	169.4	70	0.41	0.0610	0.0140	0.0376	0.0082	0.0048	0.0002	0.0012	0.0003	-0.25	30.7	1.4	38.4	8.3	1100.0	410.0	30.7	1.4	20.05
Zircon-081	263	116.2	0.44	0.0527	0.0083	0.0357	0.0052	0.0049	0.0002	0.0018	0.0002	-0.09	31.7	1.2	35.5	5.1	670.0	300.0	31.7	1.2	10.70
Zircon-082	468	279	0.60	0.0527	0.0094	0.0350	0.0058	0.0047	0.0002	0.0016	0.0003	-0.23	30.4	1.1	34.8	5.7	550.0	350.0	30.4	1.1	12.64
Zircon-083	770	214	0.28	0.0462	0.0055	0.0287	0.0033	0.0045	0.0001	0.0015	0.0002	0.12	29.1	0.7	29.2	3.2	560.0	200.0	29.1	0.7	0.45
Zircon-084	237	86	0.36	0.0580	0.0140	0.0386	0.0092	0.0050	0.0003	0.0019	0.0004	0.09	31.8	1.8	38.1	9.0	700.0	460.0	31.8	1.8	16.54
Zircon-085	1900	185	0.10	0.0473	0.0040	0.0277	0.0022	0.0042	0.0001	0.0016	0.0002	-0.11	26.9	0.7	27.7	2.2	240.0	170.0	26.9	0.7	2.82
Zircon-086	427	340	0.80	0.0544	0.0060	0.0366	0.0040	0.0048	0.0002	0.0015	0.0001	0.30	30.6	1.3	36.4	3.9	600.0	220.0	30.6	1.3	15.93
Zircon-087	256	115	0.45	0.0530	0.0120	0.0379	0.0079	0.0049	0.0003	0.0013	0.0003	0.08	31.5	2.1	37.6	7.7	790.0	410.0	31.5	2.1	16.22
Zircon-088	585	172	0.29	0.0528	0.0074	0.0321	0.0038	0.0045	0.0002	0.0017	0.0002	-0.08	29.2	1.2	32.1	3.8	480.0	270.0	29.2	1.2	9.03
Zircon-089	227	94.2	0.41	0.0530	0.0040	0.2920	0.0220	0.0398	0.0009	0.0123	0.0009	0.11	251.6	5.8	262.0	16.0	340.0	160.0	251.6	5.8	3.97
Zircon-090	860	214	0.25	0.0503	0.0045	0.0319	0.0031	0.0047	0.0001	0.0017	0.0002	0.33	30.3	0.9	31.8	3.0	430.0	180.0	30.3	0.9	4.59
Zircon-091	477	354	0.74	0.0488	0.0062	0.0314	0.0038	0.0048	0.0002	0.0015	0.0001	-0.07	30.7	1.4	31.3	3.7	480.0	240.0	30.7	1.4	1.92
Zircon-092	501	198	0.40	0.0612	0.0075	0.0421	0.0054	0.0051	0.0002	0.0021	0.0002	0.11	32.7	1.1	41.7	5.2	790.0	250.0	32.7	1.1	21.58
Zircon-093	330	138	0.42	0.0495	0.0080	0.0333	0.0047	0.0047	0.0002	0.0018	0.0002	-0.17	30.1	1.3	33.2	4.6	600.0	280.0	30.1	1.3	9.34
Zircon-094	180	120	0.67	0.2220	0.0310	0.1650	0.0200	0.0056	0.0003	0.0042	0.0005	0.02	35.7	1.8	153.0	18.0	3010.0	260.0	3010.0	260.0	76.67
Zircon-095	420	269	0.64	0.0930	0.0100	0.0574	0.0062	0.0046	0.0002	0.0021	0.0002	-0.09	29.6	1.1	57.4	5.7	1450.0	210.0	29.6	1.1	48.43
Zircon-096	643	58.4	0.09	0.0597	0.0080	0.0436	0.0055	0.0055	0.0003	0.0051	0.0010	0.03	35.1	2.0	43.3	5.4	830.0	280.0	35.1	2.0	18.94
Zircon-097	116	58.4	0.50	0.1100	0.0220	0.0680	0.0120	0.0049	0.0003	0.0025	0.0004	-0.28	31.2	1.9	66.0	12.0	1910.0	440.0	31.2	1.9	52.73
Zircon-098	939	66.9	0.07	0.0477	0.0054	0.0303	0.0039	0.0045	0.0001	0.0027	0.0006	0.27	29.0	0.8	30.2	3.8	390.0	240.0	29.0	0.8	3.87
Zircon-099	311	26.2	0.08	0.0563	0.0077	0.0365	0.0047	0.0049	0.0002	0.0035	0.0009	-0.14	31.5	1.1	37.3	4.9	640.0	260.0	31.5	1.1	15.55
Zircon-100	634	217	0.34	0.0524	0.0058	0.0331	0.0037	0.0046	0.0002	0.0016	0.0002	0.09	29.5	0.9	33.0	3.6	530.0	230.0	29.5	0.9	10.70
Zircon-101	280	127	0.45	0.0639	0.0093	0.0422	0.0058	0.0050	0.0002	0.0020	0.0002	0.23	32.3	1.3	41.7	5.6	920.0	280.0	32.3	1.3	22.54
Zircon-102	264	67.6	0.26	0.0829	0.0032	2.4140	0.0890	0.2148	0.0030	0.0644	0.0027	0.13	1254.0	16.0	1246.0	27.0	1277.0	76.0	1277.0	76.0	-0.64
Zircon-103	532	202	0.38	0.0530	0.0060	0.0364	0.0044	0.0051	0.0002	0.0017	0.0002	0.29	32.6	1.1	36.3	4.3	460.0	220.0	32.6	1.1	10.19
Zircon-104	308	140	0.45	0.0505	0.0077	0.0337	0.0044	0.0050	0.0002	0.0018	0.0003	-0.23	32.1	1.1	33.5	4.3	560.0	260.0	32.1	1.1	4.18
Zircon-105	3500	372	0.11	0.0489	0.0037	0.0332	0.0023	0.0051	0.0001	0.0019	0.0002	-0.01	32.8	0.8	33.1	2.3	290.0	150.0	32.8	0.8	0.79
Zircon-106	301	182	0.60	0.0710	0.0100	0.0469	0.0062	0.0052	0.0003	0.0022	0.0002	-0.07	33.4	1.6	46.3	6.0	1140.0	290.0	33.4	1.6	27.86

Análisis U-Pb de circones

Zircon-107	263	95.3	0.36	0.0548	0.0096	0.0344	0.0059	0.0046	0.0002	0.0016	0.0003	0.11	29.9	1.3	34.1	5.8	860.0	300.0	29.9	1.3	12.32
Zircon-108	272	102.3	0.38	0.0850	0.0120	0.0603	0.0084	0.0053	0.0002	0.0021	0.0003	0.16	34.1	1.2	60.2	8.2	1510.0	300.0	34.1	1.2	43.36
Zircon-109	690	98.2	0.14	0.0490	0.0069	0.0321	0.0045	0.0049	0.0001	0.0016	0.0003	-0.03	31.3	0.9	32.0	4.4	440.0	220.0	31.3	0.9	2.13
Zircon-110	275	70.9	0.26	0.0530	0.0130	0.0342	0.0080	0.0047	0.0002	0.0019	0.0006	0.05	30.4	1.5	33.9	7.8	1040.0	430.0	30.4	1.5	10.32
Zircon-111	1188	499	0.42	0.0510	0.0045	0.0305	0.0025	0.0045	0.0001	0.0016	0.0001	0.01	28.7	0.8	30.5	2.4	380.0	180.0	28.7	0.8	5.80
Zircon-112	380	161	0.42	0.0516	0.0079	0.0348	0.0047	0.0052	0.0002	0.0018	0.0002	-0.13	33.4	1.2	34.6	4.6	750.0	270.0	33.4	1.2	3.47
Zircon-113	195	80.6	0.41	0.0570	0.0100	0.0407	0.0073	0.0054	0.0003	0.0023	0.0003	0.20	34.8	2.2	40.3	7.1	670.0	340.0	34.8	2.2	13.65
Zircon-114	720	62	0.09	0.0544	0.0036	0.3250	0.0210	0.0435	0.0010	0.0129	0.0016	0.22	274.2	6.5	285.0	16.0	420.0	140.0	274.2	6.5	3.79
Zircon-115	374	84.8	0.23	0.0555	0.0033	0.4820	0.0290	0.0627	0.0010	0.0233	0.0014	0.14	392.0	6.1	398.0	20.0	440.0	140.0	392.0	6.1	1.51

CTPNN 51

RELACIONES ISOTÓPICAS

EIDADES APARENTES (Ma)

MEJOR EDAD

	U	Th	Th/U	RELACIONES ISOTÓPICAS									EIDADES APARENTES (Ma)						MEJOR EDAD		Disc %
	(ppm) ¹	(ppm) ¹		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2σ abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2σ abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2σ abs	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	±2σ abs	Rho	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±2σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±2σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±2σ	(Ma)	±2σ	
Zircon-116	496	293	0.59	0.0566	0.0035	0.1630	0.0110	0.0212	0.0004	0.0080	0.0005	0.20	135.4	2.6	152.7	9.4	460.0	130.0	135.4	2.6	11.33
Zircon-117	733	344	0.47	0.0506	0.0029	0.1446	0.0076	0.0207	0.0003	0.0064	0.0003	-0.15	132.0	2.1	136.9	6.7	320.0	120.0	132.0	2.1	3.58
Zircon-118	243	152.7	0.63	0.0563	0.0036	0.1650	0.0100	0.0214	0.0005	0.0072	0.0004	0.11	136.6	3.1	154.7	8.7	510.0	140.0	136.6	3.1	11.70
Zircon-119	146	95	0.65	0.0547	0.0079	0.1660	0.0240	0.0214	0.0006	0.0076	0.0006	-0.10	136.8	4.0	155.0	21.0	710.0	310.0	136.8	4.0	11.74
Zircon-120	609	211	0.35	0.0485	0.0028	0.1458	0.0085	0.0216	0.0003	0.0071	0.0003	0.07	137.8	2.0	137.9	7.6	270.0	120.0	137.8	2.0	0.07
Zircon-121	477	268	0.56	0.0498	0.0031	0.1426	0.0092	0.0204	0.0004	0.0063	0.0004	0.16	129.9	2.7	135.1	8.2	290.0	130.0	129.9	2.7	3.85
Zircon-122	158.2	99.1	0.63	0.0463	0.0043	0.1510	0.0140	0.0223	0.0007	0.0078	0.0005	-0.01	142.2	4.2	142.0	13.0	500.0	180.0	142.2	4.2	-0.14
Zircon-123	140.7	62.2	0.44	0.0543	0.0051	0.1600	0.0130	0.0211	0.0007	0.0079	0.0007	-0.20	134.8	4.6	152.0	13.0	590.0	200.0	134.8	4.6	11.32
Zircon-124	259	152	0.59	0.0521	0.0039	0.1530	0.0110	0.0216	0.0005	0.0070	0.0004	0.10	138.0	3.2	144.0	10.0	440.0	160.0	138.0	3.2	4.17
Zircon-125	205	135.2	0.66	0.0566	0.0051	0.1600	0.0150	0.0209	0.0006	0.0072	0.0005	0.03	133.2	3.5	155.0	13.0	490.0	190.0	133.2	3.5	14.06
Zircon-126	207	148	0.71	0.0531	0.0056	0.1550	0.0160	0.0211	0.0005	0.0066	0.0005	0.06	134.3	3.3	146.0	14.0	570.0	220.0	134.3	3.3	8.01
Zircon-127	142.9	69.2	0.48	0.0514	0.0057	0.1520	0.0150	0.0223	0.0007	0.0070	0.0006	-0.01	142.2	4.6	146.0	14.0	590.0	210.0	142.2	4.6	2.60
Zircon-128	282	214	0.76	0.0524	0.0044	0.1520	0.0120	0.0212	0.0006	0.0065	0.0004	0.06	135.4	3.5	144.0	11.0	340.0	170.0	135.4	3.5	5.97
Zircon-129	258	154	0.60	0.0520	0.0043	0.1520	0.0130	0.0206	0.0006	0.0066	0.0005	0.29	131.3	3.7	143.0	12.0	350.0	170.0	131.3	3.7	8.18
Zircon-130	347	172	0.50	0.0488	0.0037	0.1460	0.0110	0.0215	0.0005	0.0071	0.0004	0.00	137.1	3.0	137.7	9.4	300.0	160.0	137.1	3.0	0.44
Zircon-131	251	157	0.63	0.0540	0.0046	0.1660	0.0160	0.0216	0.0007	0.0070	0.0005	0.40	137.7	4.4	155.0	14.0	520.0	170.0	137.7	4.4	11.16
Zircon-132	614	680	1.11	0.0486	0.0030	0.1438	0.0076	0.0212	0.0005	0.0066	0.0003	-0.30	135.4	2.9	137.2	7.0	250.0	130.0	135.4	2.9	1.31
Zircon-133	453	212	0.47	0.0504	0.0035	0.1530	0.0110	0.0218	0.0004	0.0069	0.0004	0.48	138.7	2.4	143.9	9.4	300.0	140.0	138.7	2.4	3.61
Zircon-134	494	126	0.26	0.0581	0.0027	0.4310	0.0200	0.0536	0.0010	0.0191	0.0011	0.19	336.5	6.3	363.0	14.0	530.0	100.0	336.5	6.3	7.30
Zircon-135	165.4	102.5	0.62	0.0509	0.0043	0.1450	0.0110	0.0211	0.0005	0.0063	0.0004	-0.08	134.4	3.0	137.0	10.0	370.0	160.0	134.4	3.0	1.90
Zircon-136	162	109.2	0.67	0.0543	0.0058	0.1570	0.0150	0.0208	0.0005	0.0066	0.0005	-0.05	132.5	3.2	151.0	14.0	530.0	210.0	132.5	3.2	12.25
Zircon-137	171	76.4	0.45	0.0516	0.0060	0.1520	0.0170	0.0215	0.0006	0.0065	0.0005	-0.11	136.8	3.9	143.0	15.0	320.0	230.0	136.8	3.9	4.34
Zircon-138	236	134	0.57	0.0476	0.0045	0.1450	0.0140	0.0221	0.0005	0.0075	0.0005	0.04	140.9	3.2	137.0	12.0	420.0	180.0	140.9	3.2	-2.85
Zircon-139	116.2	62.3	0.54	0.0732	0.0098	0.2220	0.0300	0.0225	0.0007	0.0091	0.0009	0.02	143.1	4.6	204.0	25.0	1070.0	270.0	143.1	4.6	29.85
Zircon-140	162	126	0.78	0.0697	0.0074	0.2120	0.0210	0.0223	0.0006	0.0085	0.0007	-0.17	142.4	3.9	194.0	17.0	980.0	220.0	142.4	3.9	26.60
Zircon-141	424	222	0.52	0.0487	0.0031	0.1447	0.0091	0.0215	0.0004	0.0069	0.0003	0.00	136.8	2.6	137.0	8.0	220.0	130.0	136.8	2.6	0.15
Zircon-142	67	40	0.60	0.0590	0.0100	0.1690	0.0300	0.0207	0.0010	0.0080	0.0007	0.18	131.7	6.0	155.0	25.0	890.0	330.0	131.7	6.0	15.03
Zircon-143	202	138.9	0.69	0.1073	0.0077	0.3510	0.0240	0.0235	0.0006	0.0117	0.0006	0.01	149.5	4.1	304.0	18.0	1780.0	140.0	149.5	4.1	50.82
Zircon-144	177	125	0.71	0.0514	0.0044	0.1500	0.0130	0.0213	0.0005	0.0064	0.0005	0.00	136.0	3.3	141.0	11.0	400.0	180.0	136.0	3.3	3.55
Zircon-145	161.5	95.4	0.59	0.0487	0.0056	0.1510	0.0150	0.0221	0.0007	0.0067	0.0005	-0.23	140.9	4.5	142.0	13.0	540.0	210.0	140.9	4.5	0.77
Zircon-146	280	239	0.85	0.0515	0.0046	0.1510	0.0130	0.0215	0.0005	0.0067	0.0004	-0.08	136.8	3.0	143.0	11.0	470.0	180.0	136.8	3.0	4.34

Análisis U-Pb de circones

Zircon-147	131.9	64.6	0.49	0.0531	0.0066	0.1550	0.0160	0.0217	0.0006	0.0077	0.0006	-0.13	138.1	4.1	145.0	14.0	570.0	220.0	138.1	4.1	4.76
Zircon-148	268	214	0.80	0.0488	0.0039	0.1430	0.0110	0.0213	0.0005	0.0068	0.0004	-0.05	135.6	3.2	138.2	9.6	330.0	150.0	135.6	3.2	1.88
Zircon-149	196	103.6	0.53	0.0506	0.0049	0.1530	0.0150	0.0220	0.0005	0.0065	0.0005	0.13	140.5	3.1	144.0	13.0	360.0	190.0	140.5	3.1	2.43
Zircon-150	320	164	0.51	0.0602	0.0039	0.1870	0.0110	0.0225	0.0006	0.0075	0.0004	0.25	143.7	4.0	174.1	9.7	600.0	140.0	143.7	4.0	17.46
Zircon-151	165	73.3	0.44	0.0539	0.0055	0.1620	0.0160	0.0220	0.0006	0.0079	0.0006	0.01	139.9	3.8	151.0	14.0	530.0	210.0	139.9	3.8	7.35
Zircon-152	92.4	54.6	0.59	0.0643	0.0085	0.1860	0.0240	0.0211	0.0007	0.0072	0.0007	-0.26	134.5	4.7	171.0	20.0	790.0	270.0	134.5	4.7	21.35
Zircon-153	171	76.5	0.45	0.0637	0.0082	0.1900	0.0250	0.0217	0.0006	0.0086	0.0010	0.22	138.3	3.9	175.0	21.0	820.0	260.0	138.3	3.9	20.97
Zircon-154	154	103	0.67	0.0843	0.0085	0.2590	0.0250	0.0228	0.0007	0.0101	0.0007	0.06	145.1	4.5	236.0	21.0	1360.0	220.0	145.1	4.5	38.52
Zircon-155	196	126	0.64	0.0491	0.0054	0.1440	0.0160	0.0212	0.0006	0.0065	0.0005	-0.13	135.0	3.5	136.0	14.0	570.0	220.0	135.0	3.5	0.74

APÉNDICE

Análisis modales de conglomerados

Análisis modales de conglomerados

	21	0.5	0.7																		
n	129			1			8			1			1			9			7		
%	82.2			0.6			5.1			0.6			0.6			5.7			4.5		
Promedio	13.6	0.4	0.6	4.0	0.3	0.3	4.2	0.5	0.4	3.5	0.5	0.7	3.5	0.5	0.7	6.6	0.5	0.5	5.8	0.4	0.4
Máximo	35.0	0.9	0.9	4.0	0.3	0.3	7.0	0.9	0.7	3.5	0.5	0.7	3.5	0.5	0.7	14.0	0.7	0.7	20.0	0.7	0.5
Mínimo	3.0	0.3	0.3	4.0	0.3	0.3	2.5	0.3	0.3	3.5	0.5	0.7	3.5	0.5	0.7	3.0	0.3	0.3	1.5	0.1	0.1
Moda	5	0.3	0.7				3.5	0.3	0.3				3.5			5	0.3	0.7	2.5	0.3	0.5
Columna 1	Caliza			Cuarzo met			Pórfido			Caliche			Limolita			Arenisca			Jaspe		

Columna 1	Caliza			Cuarzo met			Pórfido			Limolita			Jaspe			Pedernal		
N46-C1	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R
Reticula	12	0.5	0.7	12	0.3	0.5	4.5	0.7	0.1	3	0.9	0.9	6	0.3	0.5	7	0.5	0.3
	6	0.3	0.7				4	0.3	0.1				8	0.5	0.3	4	0.7	0.3
	9	0.3	0.7				5	0.3	0.3				4	0.5	0.5			
	12	0.7	0.7				4.5	0.3	0.3				4	0.5	0.3			
	11	0.5	0.5				5	0.5	0.1									
	6	0.3	0.7				4	0.5	0.3									
	6	0.3	0.9				3.5	0.7	0.7									
	13	0.5	0.9				5	0.5	0.5									
	4	0.3	0.7				5	0.5	0.5									
	6	0.3	0.5				4	0.3	0.3									
	7	0.3	0.5				4	0.7	0.7									
	6.5	0.3	0.7				4	0.7	0.7									
	15	0.5	0.7				2	0.7	0.7									
	15	0.5	0.5				4	0.5	0.5									
	9	0.7	0.7				3	0.3	0.3									
	28	0.3	0.7				13	0.9	0.1									
	28	0.3	0.7				10	0.5	0.3									
	28	0.3	0.7				4.5	0.5	0.3									
	28	0.3	0.7				6	0.7	0.3									
	4	0.5	0.3				6	0.5	0.3									
	18	0.7	0.9				6	0.5	0.3									
	5	0.3	0.7				3.5	0.9	0.7									
	4.5	0.3	0.5				14	0.3	0.3									
	10	0.7	0.9				6	0.5	0.5									
	5	0.5	0.7				6	0.5	0.7									
	8	0.5	0.7				9	0.5	0.7									
	9	0.5	0.5				8	0.5	0.7									
	5.5	0.3	0.7				18	0.5	0.5									
	14	0.5	0.7				6	0.5	0.7									
	7	0.5	0.7															
	5	0.5	0.3															
	13	0.5	0.7															
	22	0.5	0.7															
	22	0.5	0.7															
	12	0.5	0.5															
	18	0.5	0.7															
	5	0.7	0.7															
	9	0.3	0.5															
	20	0.5	0.7															
	2	0.3	0.5															
	15	0.5	0.7															
	13	0.3	0.5															
	9	0.7	0.7															
	12	0.9	0.7															
	7	0.9	0.7															
	7	0.3	0.7															
	16	0.7	0.9															
n	47			1			29			1			4			2		
%	56.0			1.2			34.5			1.2			4.8			2.4		
Promedio	11.6	0.5	0.7	12.0	0.3	0.5	6.1	0.5	0.4	3.0	0.9	0.9	5.5	0.5	0.4	5.5	0.6	0.3
Máximo	28.0	0.9	0.9	12.0	0.3	0.5	18.0	0.9	0.7	3.0	0.9	0.9	8.0	0.5	0.5	7.0	0.7	0.3
Mínimo	2.0	0.3	0.3	12.0	0.3	0.5	2.0	0.3	0.1	3.0	0.9	0.9	4.0	0.3	0.3	4.0	0.5	0.3
Moda	9	0.5	0.7				4	0.5	0.3				4	0.5	0.5			0.3
Columna 1	Caliza			Cuarzo met			Pórfido			Limolita			Jaspe			Pedernal		

Análisis modales de conglomerados

	5.5	0.5	0.7																		
	4	0.3	0.5																		
	5	0.3	0.7																		
	5	0.3	0.5																		
	9	0.7	0.7																		
	9	0.3	0.5																		
	9	0.3	0.7																		
	5	0.3	0.5																		
	8	0.7	0.3																		
	5	0.3	0.3																		
n	137			3			9			1			5			3			4		
%	84.6			1.9			5.6			0.6			3.1			1.9			2.5		
Promedio	8.0	0.5	0.6	6.7	0.3	0.4	5.7	0.5	0.4	8.0	0.5	0.5	5.5	0.5	0.5	5.0	0.5	0.6	8.9	0.6	0.4
Máximo	21.0	0.9	0.9	9.0	0.3	0.5	10.0	0.7	0.5	8.0	0.5	0.5	8.0	0.9	0.7	7.0	0.9	0.7	18.0	0.9	0.5
Mínimo	3.0	0.1	0.3	3.0	0.3	0.3	3.5	0.3	0.3	8.0	0.5	0.5	3.0	0.3	0.1	4.0	0.3	0.3	3.0	0.5	0.3
Moda	9	0.3	0.7		0.3	0.3			0.3				5	0.3	0.7	4	0.3	0.7		0.5	0.5
Columna 1	Caliza			Cuarzo met			Pórfido			Caliche			Arenisca			Jaspe			Pederal		

Columna 2	Caliza			Cuarzo met			Pórfido			Cuarcita		
	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R
Estación	3.5	0.3	0.5	2	0.5	0.7	3	0.3	0.3	3.5	0.5	0.1
N2-C2	3	0.3	0.5				3	0.5	0.5			
	7	0.3	0.7				4	0.5	0.3			
Reticula	4	0.3	0.7				7	0.3	0.5			
5x5 cm	4	0.3	0.5				2	0.5	0.5			
	2.5	0.3	0.3				2	0.3	0.3			
	3	0.3	0.3				6	0.5	0.5			
	8	0.5	0.5				3.5	0.3	0.5			
	4.5	0.7	0.5				2.5	0.5	0.5			
	7	0.5	0.7				5	0.5	0.5			
	4	0.3	0.7				3	0.3	0.5			
	9	0.3	0.7				3	0.3	0.5			
	4	0.3	0.7				5	0.5	0.5			
	5	0.5	0.7				3.5	0.5	0.5			
	7	0.3	0.7				4	0.5	0.5			
	10	0.3	0.5				5	0.5	0.7			
	10	0.3	0.5				3	0.5	0.3			
	6	0.7	0.7				4	0.5	0.5			
	4	0.3	0.7				2	0.3	0.5			
	4.5	0.3	0.5				3	0.3	0.5			
	5	0.3	0.7				4	0.5	0.5			
	4	0.3	0.7				2	0.5	0.3			
	4	0.3	0.7				10	0.5	0.5			
	11	0.3	0.7				10	0.5	0.5			
	11	0.3	0.7									
	2	0.3	0.3									
	5	0.3	0.7									
	6	0.5	0.5									
	5	0.5	0.7									
	5	0.3	0.5									
	9	0.3	0.7									
	5	0.5	0.7									
	5	0.3	0.7									
	4	0.5	0.7									
	6	0.5	0.7									
	8	0.3	0.7									
	8	0.3	0.7									
	5	0.3	0.7									
	5	0.3	0.5									
	4	0.3	0.7									
	5	0.3	0.7									
	2.5	0.3	0.3									
	6	0.3	0.7									
	3	0.3	0.5									
	4	0.3	0.5									
	4	0.3	0.7									
	3	0.5	0.5									
n	47			1			24			1		
%	64.38			1.37			32.88			1.37		
Promedio	5.4	0.4	0.6	2.0	0.5	0.7	4.1	0.4	0.5	3.5	0.5	0.1
Máximo	11	0.7	0.7	2	0.5	0.7	10	0.5	0.7	3.5	0.5	0.1
Mínimo	2	0.3	0.3	2	0.5	0.7	2	0.3	0.3	3.5	0.5	0.1
Moda	4	0.3	0.7				3	0.5	0.5			
Columna 2	Caliza			Cuarzo met			Pórfido			Cuarcita		

Columna 2	Caliza			Cuarzo met			Pórfido			Caliche			Cuarcita			Pedernal		
	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R
Estación N13-C2	4	0.9	0.5	3	0.5	0.3	6	0.3	0.5	4	0.3	0.5	4	0.7	0.3	4	0.3	0.3
	6	0.3	0.7	3	0.5	0.3	7	0.5	0.7	3	0.3	0.5	3.5	0.3	0.5	7	0.7	0.3
Redícula 5x5	5	0.5	0.7	3	0.7	0.5	6	0.5	0.3				8	0.3	0.3			
	18	0.5	0.7				8	0.7	0.3				8	0.3	0.3			
	3	0.3	0.5				8	0.7	0.3				3	0.7	0.3			
	5	0.5	0.7				3	0.3	0.5				5	0.3	0.5			
	10	0.7	0.7				5.5	0.5	0.5				3	0.3	0.5			
	4	0.5	0.7				4	0.5	0.3									
	5	0.5	0.7				2	0.5	0.3									
	3	0.1	0.7				7	0.5	0.7									
	5	0.5	0.7				3	0.9	0.3									
	12	0.7	0.7				3	0.7	0.3									
	5	0.3	0.5															
	4	0.5	0.7															
	6	0.3	0.7															
	20	0.7	0.7															
	7	0.5	0.7															
	7	0.9	0.9															
	7	0.9	0.9															
	4	0.3	0.7															
	3	0.7	0.7															
	18	0.5	0.7															
	18	0.5	0.7															
	18	0.5	0.7															
	10	0.7	0.7															
	12	0.7	0.7															
	12	0.7	0.7															
	12	0.7	0.7															
	20	0.7	0.7															
	20	0.7	0.7															
	20	0.7	0.7															
	20	0.7	0.7															
3	0.3	0.7																
13	0.7	0.7																
13	0.7	0.7																
7	0.7	0.7																
4	0.7	0.5																
4	0.5	0.7																
7	0.5	0.7																
3	0.7	0.7																
6	0.7	0.9																
2	0.5	0.9																
5	0.7	0.9																
4	0.5	0.9																
5	0.7	0.3																
9	0.7	0.7																
9	0.7	0.7																
5	0.5	0.3																
5	0.5	0.7																
5	0.5	0.7																
3	0.5	0.7																
4	0.3	0.7																
3	0.5	0.7																
3	0.5	0.7																
7	0.3	0.7																
5	0.3	0.9																
9	0.7	0.7																
9	0.7	0.7																
4	0.5	0.7																
2.5	0.3	0.7																
5	0.3	0.7																
3	0.3	0.7																

2	0.3	0.5																
6	0.7	0.5																
6	0.7	0.5																
3	0.5	0.7																
7	0.3	0.7																
5	0.7	0.7																
5	0.7	0.7																
7	0.5	0.7																
7	0.5	0.7																
4	0.7	0.4																
4	0.7	0.7																
3	0.3	0.7																
4	0.3	0.5																
n	75			3			12			2			7			2		
%	74.26			2.97			11.88			1.98			6.93			1.98		
Promedio	7.4	0.5	0.7	3.0	0.6	0.4	5.2	0.6	0.4	3.5	0.3	0.5	4.9	0.4	0.4	5.5	0.5	0.3
Máximo	20	0.9	0.9	3	0.7	0.5	8	0.9	0.7	4	0.3	0.5	8	0.7	0.5	7	0.7	0.3
Mínimo	2	0.1	0.3	3	0.5	0.3	2	0.3	0.3	3	0.3	0.5	3	0.3	0.3	4	0.3	0.3
Moda	5	0.7	0.7	3	0.5	0.3	3	0.5	0.3		0.3	0.5	8	0.3	0.3			0.3
Columna 2	Caliza			Cuarzo met			Pórfido			Caliche			Cuarcita			Pedernal		

Columna 2	Caliza			Cuarzo met			Pórfido			Caliche			Arenisca			Pedernal		
	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R
N34-C2	5	0.5	0.5	6	0.3	0.5	3.5	0.5	0.3	3	0.3	0.9	5	0.3	0.9	10	0.5	0.7
Reticula	4	0.5	0.7	5	0.3	0.9	5	0.3	0.5	6	0.3	0.9	4	0.3	0.7			
10x10 cm	15	0.5	0.3	3	0.3	0.9	3	0.5	0.7									
	5	0.3	0.5				5	0.5	0.5									
	20	0.5	0.7				4	0.3	0.5									
	20	0.5	0.7				12	0.3	0.5									
	3	0.3	0.7				12	0.3	0.5									
	26	0.5	0.7				8	0.5	0.5									
	26	0.5	0.7				3	0.3	0.5									
	26	0.5	0.7				3	0.5	0.5									
	10	0.7	0.5				5	0.3	0.3									
	10	0.3	0.7				5	0.3	0.5									
	14	0.7	0.7				8	0.5	0.5									
	14	0.3	0.7				4	0.3	0.3									
	20	0.5	0.7				6	0.5	0.5									
	20	0.5	0.7				11	0.5	0.5									
	17	0.3	0.7				10	0.3	0.5									
	17	0.3	0.7				5	0.3	0.5									
	15	0.3	0.3				7	0.5	0.5									
	5	0.3	0.3															
	9	0.5	0.7															
	13	0.5	0.3															
	15	0.5	0.7															
	7	0.3	0.7															
	3	0.3	0.5															
	13	0.5	0.3															
	13	0.5	0.3															
	6	0.5	0.3															
	15	0.5	0.7															
	12	0.3	0.5															
	5	0.3	0.7															
	7	0.3	0.7															
	5	0.5	0.7															
	15	0.3	0.3															
	15	0.3	0.3															
	7	0.3	0.5															
	16	0.3	0.7															
	5	0.5	0.7															
	20	0.3	0.5															
	20	0.3	0.5															
	7	0.3	0.9															
	13	0.3	0.5															
	5	0.3	0.5															
	3	0.3	0.7															
	10	0.5	0.5															
	8	0.3	0.78															
	12	0.3	0.5															
	6	0.5	0.7															
	5	0.3	0.7															
	22	0.3	0.3															
	22	0.3	0.3															
	22	0.3	0.3															
	6	0.3	0.7															
	9	0.5	0.3															
	13	0.3	0.7															
	5	0.5	0.7															
	6	0.3	0.5															
	18	0.3	0.5															
	18	0.3	0.5															
n	59			3			19			2			2			1		
%	68.6			3.5			22.1			2.3			2.3			1.2		
Promedio	12.3	0.4	0.6	4.7	0.3	0.8	6.3	0.4	0.5	4.5	0.3	0.9	4.5	0.3	0.8	10.0	0.5	0.7

Análisis modales de conglomerados

Máximo	26	0.7	0.9	6	0.3	0.9	12	0.5	0.7	6	0.3	0.9	5	0.3	0.9	10	0.5	0.7
Mínimo	3	0.3	0.3	3	0.3	0.5	3	0.3	0.3	3	0.3	0.9	4	0.3	0.7	10	0.5	0.7
Moda	5	0.3	0.7		0.3	0.9	5	0.3	0.5		0.3	0.9		0.3				
Columna 2	Caliza			Cuarzo met			Pórfido			Caliche			Arenisca			Pedernal		

Columna 3	Caliza			Cuarzo met			Esquisto Verde			Pórfido			Arenisca			Cuarcita		
	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R
Nivel	1	0.9	0.3	0.7	0.5	0.3	2.5	0.3	0.3	3	0.7	0.3	1.5	0.3	0.9	2.5	0.3	0.3
N9-C3	4	0.5	0.3	0.5	0.7	0.7	2	0.5	0.7	1	0.7	0.3	1.5	0.9	0.3	2	0.3	0.5
	3	0.7	0.9	1	0.7	0.3				2	0.3	0.5	1.5	0.9	0.7	3	0.5	0.7
Reticula	3	0.7	0.9	2.5	0.7	0.5				1.5	0.9	0.5				0.7	0.7	0.3
2x2 cm	3	0.7	0.9	2	0.7	0.7				3	0.9	0.5				2.5	0.7	0.3
	2	0.5	0.9	2	0.5	0.5				3	0.9	0.5				2.5	0.3	0.5
	2	0.5	0.3	1.3	0.7	0.3				3	0.7	0.7				3	0.7	0.5
	2	0.7	0.7							2	0.5	0.7				3	0.7	0.5
	1	0.7	0.7							1.5	0.9	0.7				1.5	0.5	0.7
	1	0.7	0.7							2.5	0.3	0.5						
	3.5	0.7	0.3							1	0.7	0.3						
	2	0.9	0.3							4	0.9	0.5						
	1.5	0.5	0.9							4	0.9	0.5						
	1.5	0.3	0.3							4	0.9	0.5						
	3	0.3	0.9							4	0.9	0.5						
	4.5	0.7	0.3							0.7	0.3	0.7						
	2	0.5	0.7							1	0.7	0.3						
	1.5	0.5	0.7							2	0.5	0.7						
	1.5	0.5	0.7							4	0.7	0.3						
	2	0.7	0.7							4	0.7	0.3						
	1.5	0.7	0.7							1.5	0.7	0.3						
	2	0.3	0.7							1.5	0.3	0.7						
	1.5	0.7	0.7															
	4.5	0.9	0.7															
	4.5	0.9	0.7															
	4.5	0.9	0.7															
	4.5	0.9	0.7															
	4.5	0.9	0.7															
	1.5	0.9	0.7															
	4	0.7	0.3															
	4	0.7	0.3															
	4	0.7	0.3															
	1.5	0.3	0.7															
	2	0.9	0.5															
	4	0.5	0.5															
	4	0.5	0.5															
	2	0.5	0.5															
	1	0.3	0.5															
	1.2	0.5	0.7															
	2	0.3	0.3															
	4	0.7	0.5															
	4	0.7	0.5															
	1	0.5	0.5															
	4	0.7	0.3															
	4	0.7	0.3															
n	46			7			2			22			3			9		
%	51.69			7.87			2.25			24.72			3.37			10.11		
Promedio	2.7	0.6	0.6	1.4	0.6	0.5	2.3	0.4	0.5	2.5	0.7	0.5	1.5	0.7	0.6	2.3	0.5	0.5
Máximo	4.5	0.9	0.9	2.5	0.7	0.7	2.5	0.5	0.7	4	0.9	0.7	1.5	0.9	0.9	3	0.7	0.7
Mínimo	1	0.3	0.3	0.5	0.5	0.3	2	0.3	0.3	0.7	0.3	0.3	1.5	0.3	0.3	0.7	0.3	0.3
Moda	4	0.7	0.7	2	0.7													
Columna 3	Caliza			Cuarzo met			Esquisto Verde			Pórfido			Arenisca			Cuarcita		

Columna 3	Caliza			Cuarzo met			Esquisto Verde			Pórfido			Arenisca		
	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R
Estación N18-C3	15	0.5	0.7	1.5	0.7	0.3	10	0.3	0.5	3	0.7	0.9	3.5	0.9	0.9
	15	0.5	0.7	3	0.5	0.3	3	0.5	0.5	5	0.7	0.7	7	0.3	0.7
Retícula 5x5 cm	15	0.5	0.7	3	0.5	0.5	5	0.3	0.3	2.5	0.7	0.5	3	0.7	0.5
	15	0.5	0.7	4	0.5	0.7	5	0.3	0.3	3	0.3	0.5	5	0.3	0.9
	5	0.5	0.3							3	0.3	0.7			
	4.5	0.7	0.5							7	0.5	0.5			
	1.5	0.7	0.5							4.5	0.5	0.3			
	8	0.5	0.5							2.5	0.7	0.7			
	8	0.5	0.5							3	0.7	0.3			
	4	0.7	0.5							4	0.7	0.5			
	8	0.9	0.7							8	0.5	0.7			
	8	0.9	0.7							4.5	0.3	0.7			
	4	0.9	0.7							5	0.3	0.5			
	5	0.5	0.7							3.5	0.3	0.7			
	6	0.7	0.7							3	0.5	0.5			
	6	0.7	0.7							2	0.3	0.5			
	3	0.7	0.3							3	0.7	0.7			
	6	0.7	0.5							4.5	0.5	0.7			
	8	0.7	0.7							6	0.3	0.3			
	3	0.7	0.5							2	0.5	0.5			
	4	0.3	0.5							8	0.7	0.7			
	4	0.9	0.5							4	0.5	0.3			
n	22			4			4			22			4		
%	39.29			7.14			7.14			39.29			7.14		
Promedio	7.1	0.6	0.6	2.9	0.6	0.5	5.8	0.4	0.4	4.1	0.5	0.6	4.6	0.6	0.8
Máximo	15	0.9	0.7	4	0.7	0.7	10	0.5	0.5	8	0.7	0.9	7	0.9	0.9
Mínimo	1.5	0.3	0.3	1.5	0.5	0.3	3	0.3	0.3	2	0.3	0.3	3	0.3	0.5
Moda	8	0.7	0.7	3	0.5	0.3	5	0.3	0.5	3	0.7	0.7		0.3	0.9
Columna 3	Caliza			Cuarzo met			Esquisto Verde			Pórfido			Arenisca		

Columna 3	Caliza			Cuarzo met			Esquisto Verde			Pórfido		
	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R
Estación N31-C3	12	0.7	0.3	15	0.5	0.7	6	0.3	0.3	3	0.5	0.5
	12	0.7	0.3	6	0.5	0.5	2.5	0.3	0.3	7	0.3	0.5
Redícula	11.5	0.7	0.7	2.5	0.3	0.3	6	0.5	0.7	3	0.5	0.5
	11.5	0.7	0.7	5	0.5	0.3				5	0.3	0.7
	5	0.7	0.7	2.5	0.5	0.3				4	0.3	0.3
	5	0.3	0.5	3	0.3	0.7				4	0.3	0.7
	9	0.7	0.7							2.5	0.3	0.3
	8	0.5	0.7							4	0.3	0.7
	4.5	0.7	0.7							3	0.3	0.5
	3.5	0.3	0.5									
	12	0.7	0.3									
	8	0.5	0.5									
	8	0.5	0.5									
	5	0.5	0.3									
	4	0.7	0.5									
	5	0.5	0.5									
	6	0.3	0.5									
	3.5	0.3	0.7									
	5	0.3	0.5									
	4	0.3	0.5									
	3.5	0.3	0.3									
	4	0.3	0.5									
	4	0.3	0.7									
	6	0.3	0.3									
	3	0.5	0.5									
	5	0.3	0.5									
	6	0.5	0.7									
	4	0.3	0.3									
	4	0.5	0.5									
	6	0.3	0.7									
	8	0.5	0.7									
	5	0.5	0.7									
	5	0.3	0.5									
	6	0.3	0.7									
	6	0.3	0.7									
n	35			6			3			9		
%	66.0			11.3			5.7			17.0		
Promedio	6.2	0.5	0.5	5.7	0.4	0.5	4.8	0.4	0.4	3.9	0.3	0.5
Máximo	12	0.7	0.7	15	0.5	0.7	6	0.5	0.7	7	0.5	0.7
Mínimo	3	0.3	0.3	2.5	0.3	0.3	2.5	0.3	0.3	2.5	0.3	0.3
Moda	5	0.3	0.7	2.5	0.5	0.3	6	0.3	0.3	3	0.3	0.5
Columna 3	Caliza			Cuarzo met			Esquisto Verde			Pórfido		

	4	0.3	0.7												
	6	0.3	0.7												
	7	0.5	0.7												
	20	0.3	0.7												
	20	0.3	0.7												
	20	0.3	0.7												
	20	0.3	0.7												
n	69.0			43.0			1.0			5.0			1.0		
%	58.0			36.1			0.8			4.2			0.8		
Promedio	9.6	0.4	0.6	6.8	0.4	0.5	5.0	0.3	0.3	3.6	0.3	0.8	9.0	0.5	0.5
Máximo	20	0.5	0.9	14	0.5	0.7	5	0.3	0.3	5	0.5	0.9	9	0.5	0.5
Mínimo	3	0.1	0.3	2	0.3	0.3	5	0.3	0.3	2.5	0.3	0.7	9	0.5	0.5
Moda	6	0.3	0.7												
Columna 4	Caliza			Pórfido			Caliche			Arenisca			Pedernal		

Columna 4	Caliza			Pórfido			Caliche			Arenisca			Cuarcita			Pedernal		
	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R
Nivel	13	0.5	0.7	12	0.5	0.3	4	0.3	0.9	9	0.7	0.9	12	0.5	0.3	12	0.7	0.3
	13	0.5	0.7	12	0.5	0.3	11	0.5	0.9	9	0.7	0.9	12	0.5	0.3	12	0.7	0.3
Reticula 5x5 cm	6	0.7	0.9	12	0.5	0.3	11	0.5	0.9				5	0.5	0.3	12	0.7	0.3
	12	0.7	0.9	5	0.5	0.9							8	0.3	0.3			
	12	0.7	0.9	4	0.7	0.3												
	12	0.7	0.9	3	0.7	0.9												
	9	0.3	0.9	4	0.7	0.5												
	7	0.5	0.5	4	0.3	0.5												
	4	0.5	0.7	10	0.3	0.3												
	7	0.7	0.7	4	0.7	0.3												
	4	0.7	0.9	12	0.3	0.3												
	7	0.5	0.5	12	0.3	0.3												
	7	0.5	0.7	10	0.7	0.5												
	7	0.5	0.7															
	8	0.3	0.5															
	5	0.7	0.9															
	6	0.5	0.7															
	10	0.5	0.5															
	10	0.3	0.5															
	9	0.5	0.5															
	5	0.7	0.9															
	10	0.5	0.5															
	10	0.5	0.5															
	10	0.3	0.5															
	3	0.7	0.9															
	6	0.7	0.9															
	10	0.3	0.5															
	8	0.5	0.9															
	8	0.7	0.5															
	8	0.7	0.5															
	6	0.7	0.9															
	12	0.5	0.3															
	5	0.3	0.3															
	10	0.5	0.9															
	10	0.9	0.7															
	10	0.9	0.7															
	10	0.9	0.7															
	6	0.5	0.7															
	10	0.5	0.3															
	10	0.5	0.3															
	10	0.5	0.3															
	18	0.5	0.9															
	18	0.5	0.9															
	18	0.5	0.9															
	18	0.5	0.9															
	18	0.5	0.9															
	6	0.7	0.9															
	6	0.5	0.9															
	8	0.9	0.7															
	8	0.9	0.7															
	4	0.3	0.7															
	8	0.3	0.7															
	3	0.5	0.3															
	5	0.5	0.3															
	10	0.5	0.5															
	10	0.5	0.5															
	7	0.5	0.7															
	4	0.9	0.7															
	7	0.5	0.5															
	6	0.9	0.3															
	23	0.7	0.9															
	7	0.3	0.7															

6	0.9	0.7																
6	0.5	0.9																
6	0.5	0.9																
6	0.5	0.9																
23	0.7	0.9																
23	0.7	0.9																
23	0.7	0.9																
23	0.7	0.9																
23	0.7	0.9																
23	0.7	0.9																
23	0.7	0.9																
5	0.5	0.7																
8	0.5	0.7																
7	0.3	0.9																
4	0.9	0.7																
6	0.7	0.9																
9	0.7	0.9																
4	0.5	0.9																
6	0.5	0.7																
4	0.5	0.3																
9	0.7	0.9																
15	0.3	0.5																
10	0.3	0.5																
6	0.5	0.9																
15	0.3	0.5																
15	0.3	0.5																
6	0.3	0.5																
8	0.5	0.3																
3	0.3	0.5																
6	0.5	0.7																
10	0.7	0.5																
10	0.7	0.5																
20	0.3	0.7																
6	0.5	0.9																
10	0.5	0.9																
9	0.5	0.7																
5	0.9	0.7																
7	0.3	0.9																
12	0.5	0.9																
20	0.3	0.7																
20	0.3	0.7																
20	0.3	0.7																
20	0.3	0.7																
20	0.3	0.7																
20	0.3	0.7																
n	108			13			3			2			4			3		
%	81.2			9.8			2.3			1.5			3.0			2.3		
Promedio	10.4	0.5	0.7	8.0	0.5	0.4	8.7	0.4	0.9	9.0	0.7	0.9	9.3	0.5	0.3	12.0	0.7	0.3
Máximo	23	0.9	0.9	12	0.7	0.9	11	0.5	0.9	9	0.7	0.9	12	0.5	0.3	12	0.7	0.3
Mínimo	3	0.3	0.3	3	0.3	0.3	4	0.3	0.9	9	0.7	0.9	5	0.3	0.3	12	0.7	0.3
Moda	10	0.5	0.9	12	0.7	0.3	11	0.5	0.9	9	0.7	0.9	12	0.5	0.3	12	0.7	0.3
Columna 4	Caliza			Pórfido			Caliche			Arenisca			Cuarcita			Pedernal		

14	0.9	0.9										
15	0.7	0.7										
7	0.9	0.9										
8	0.9	0.9										
6	0.7	0.7										
7	0.7	0.7										
11	0.5	0.9										
11	0.7	0.9										
8	0.7	0.9										
9	0.7	0.7										
9	0.9	0.9										
14	0.9	0.7										
13	0.9	0.9										
13	0.9	0.9										
14	0.9	0.7										
13	0.9	0.7										
14	0.7	0.7										
6	0.7	0.7										
10	0.7	0.7										
12	0.7	0.9										
6	0.7	0.9										
7	0.7	0.9										
18	0.7	0.9										
12	0.9	0.7										
n	93			33			1			17		
%	64.6			22.9			0.7			11.8		
Promedio	10.8	0.8	0.7	7.4	0.7	0.7	8.0	0.5	0.9	8.4	0.7	0.7
Máximo	23.0	0.9	0.9	13.0	0.9	0.9	8.0	0.5	0.9	15.0	0.9	0.9
Mínimo	3.0	0.5	0.5	4.0	0.5	0.3	8.0	0.5	0.9	4.0	0.3	0.3
Moda	9.0	0.7	0.7	5.0	0.7	0.7				4.0	0.7	0.7
Columna 5	Caliza			Pórfido			Caliche			Pedemal		

Columna 6	Cuarzo met			Esquisto Verde			Pórfido			Cuarcita			Caliche		
	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R
Estación	4	0.7	0.7	5	0.5	0.3	4	0.5	0.9	5	0.7	0.3	4	0.9	0.9
	8	0.5	0.3	1	0.3	0.7	4	0.9	0.9	4	0.5	0.5			
N0-C6	1	0.3	0.7	3	0.5	0.5	3	0.7	0.7	4	0.3	0.3			
	1	0.5	0.7	3	0.7	0.3	3	0.5	0.7	4	0.3	0.9			
Reticula	1	0.5	0.7	7	0.7	0.5	4	0.7	0.7	10	0.7	0.9			
	2	0.3	0.5	4	0.7	0.7	5	0.7	0.3	4	0.7	0.7			
5x5 cm	2	0.9	0.7	7	0.9	0.9	3	0.5	0.5	7	0.7	0.7			
	2	0.7	0.7	7	0.9	0.9									
	2	0.7	0.7	7	0.3	0.7									
	6	0.5	0.5	3	0.3	0.7									
	4.5	0.7	0.9	3	0.7	0.5									
	5	0.7	0.3	3	0.3	0.7									
	2	0.7	0.9												
	5	0.9	0.7												
	4	0.9	0.7												
	3	0.7	0.7												
	5	0.7	0.9												
	3	0.3	0.9												
	5	0.9	0.5												
	7	0.7	0.9												
	3.5	0.7	0.7												
	4	0.7	0.7												
	4	0.9	0.7												
	5	0.7	0.7												
	5	0.9	0.7												
	5	0.7	0.3												
	5	0.5	0.7												
	4	0.7	0.7												
	6	0.9	0.3												
	3	0.7	0.5												
	4	0.7	0.3												
	3	0.7	0.3												
	7	0.5	0.5												
	4	0.7	0.3												
	2.5	0.7	0.3												
	15	0.5	0.7												
	15	0.5	0.7												
	15	0.5	0.7												
	3	0.5	0.7												
	5	0.9	0.3												
	4	0.9	0.5												
	3	0.9	0.5												
	7.5	0.7	0.5												
	15	0.5	0.7												
	15	0.5	0.7												
	4	0.9	0.3												
	2.5	0.58	0.7												
	6	0.9	0.3												
	6	0.9	0.3												
n	49			12			7			7			1		
%	64.5			15.8			9.2			9.2			1.3		
Promedio	5.2	0.7	0.6	4.4	0.6	0.6	3.7	0.6	0.7	5.4	0.6	0.6	4.0	0.9	0.9
Máximo	15	0.9	0.9	7	0.9	0.9	5	0.9	0.9	10	0.7	0.9	4	0.9	0.9
Mínimo	1	0.3	0.3	1	0.3	0.3	3	0.5	0.3	4	0.3	0.3	4	0.9	0.9
Moda	4	0.7	0.7	3	0.3	0.7	4	0.5	0.7	4	0.7	0.3			
Columna 6	Cuarzo met			Esquisto Verde			Pórfido			Cuarcita			Caliche		

Columna 6	Cuarzo met			Esquisto Verde			Pórfido			Cuarcita			Caliche		
	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R
Estación N7-C6	3	0.5	0.3	2.5	0.3	0.5	6	0.3	0.7	2	0.3	0.5	3.5	0.7	0.9
	2	0.3	0.5	5	0.3	0.7	4	0.3	0.7	2	0.5	0.7			
	2.5	0.3	0.3	2.5	0.3	0.5				4	0.3	0.7			
Retícula 5x5 cm	2	0.7	0.5	4	0.3	0.3				3	0.3	0.5			
	2.5	0.5	0.3	2.5	0.3	0.7				3.5	0.3	0.7			
	1	0.5	0.3							4.5	0.5	0.5			
	6	0.5	0.7							3	0.3	0.5			
	4	0.3	0.5							2	0.5	0.5			
	2.5	0.5	0.3							3	0.5	0.7			
	2	0.3	0.3							4	0.3	0.7			
	2	0.5	0.5							2.5	0.5	0.5			
	3.5	0.3	0.7							1	0.7	0.5			
	8	0.7	0.7							3	0.3	0.5			
	3.5	0.5	0.5							2	0.3	0.5			
	5	0.5	0.3							2	0.5	0.5			
	4.5	0.7	0.5							3	0.3	0.7			
	4	0.7	0.5							3.5	0.5	0.7			
	3	0.5	0.7							1	0.5	0.3			
	3	0.3	0.5							2	0.7	0.5			
	3	0.5	0.5							3	0.5	0.5			
	3.5	0.3	0.7							4	0.5	0.3			
	3	0.7	0.5							1	0.5	0.7			
	2	0.5	0.5							2	0.3	0.7			
	7	0.5	0.3							4	0.3	0.5			
	2	0.5	0.3							4	0.3	0.5			
	3	0.5	0.5							2	0.3	0.7			
	5	0.3	0.5							4	0.3	0.5			
	2	0.3	0.5							1.5	0.3	0.5			
	3	0.3	0.7							3	0.3	0.5			
	4	0.7	0.5							5	0.3	0.3			
	3.5	0.3	0.3							4.5	0.3	0.7			
	2	0.3	0.5							4.5	0.3	0.5			
	3.5	0.3	0.3							3	0.3	0.7			
	3	0.5	0.7							6	0.3	0.7			
	7	0.7	0.5							2.5	0.3	0.5			
	6	0.3	0.7												
	4	0.3	0.7												
	2	0.5	0.5												
	6	0.3	0.5												
	4	0.5	0.3												
	2	0.3	0.3												
	5	0.3	0.5												
	2.5	0.7	0.5												
	3	0.3	0.5												
	4	0.3	0.5												
	2.5	0.3	0.7												
	3	0.3	0.7												
	3	0.3	0.7												
	5	0.5	0.5												
	3	0.5	0.7												
	3	0.5	0.3												
	6	0.7	0.7												
n	52			5			2			35			1		
%	54.7			5.3			2.1			36.8			1.1		
Promedio	3.5	0.4	0.5	3.3	0.3	0.5	5.0	0.3	0.7	3.0	0.4	0.6	3.5	0.7	0.9
Máximo	8	0.7	0.7	5	0.3	0.7	6	0.3	0.7	6	0.7	0.7	3.5	0.7	0.9
Mínimo	1	0.3	0.3	2.5	0.3	0.3	4	0.3	0.7	1	0.3	0.3	3.5	0.7	0.9
Moda	3	0.3	0.5	2.5	0.3	0.5		0.3	0.7	2	0.3	0.5			
Columna 6	Cuarzo met			Esquisto Verde			Pórfido			Cuarcita			Caliche		

Columna 6	Caliza			Cuarzo met			Esquisto Verde			Pórfido			Cuarcita		
	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R
Estación N14-C6	5	0.7	0.9	5	0.3	0.5	3	0.3	0.5	3	0.7	0.9	4	0.7	0.5
	4	0.7	0.7	9	0.5	0.7	3	0.3	0.3	3.5	0.7	0.9	2.5	0.7	0.3
Redícula				1.5	0.5	0.5	3	0.3	0.5	2.5	0.3	0.5	3	0.3	0.3
				2	0.5	0.3	3	0.3	0.5	2.5	0.5	0.7	2	0.7	0.3
				2	0.5	0.3	4	0.5	0.7	5	0.9	0.5	5	0.7	0.3
				5	0.3	0.5	3	0.3	0.5	2.5	0.7	0.3	1.5	0.5	0.5
				2.5	0.3	0.5	4	0.3	0.7	3	0.7	0.7	3	0.3	0.7
				2	0.7	0.7	5	0.7	0.3				2	0.3	0.7
				6	0.9	0.5	2	0.9	0.9				3	0.7	0.3
				1	0.9	0.3	2	0.7	0.7						
				2	0.5	0.5	2.5	0.5	0.7						
				5	0.7	0.7	2	0.7	0.5						
				3	0.7	0.3	3.5	0.3	0.3						
				5.5	0.5	0.3	1	0.5	0.5						
				3	0.7	0.3	2.5	0.5	0.7						
				5	0.3	0.3	3	0.3	0.7						
				3.5	0.3	0.5	3	0.3	0.5						
				5	0.3	0.7									
				3	0.9	0.5									
				7	0.7	0.3									
				2.5	0.7	0.3									
				3	0.9	0.5									
				2	0.7	0.7									
				2.5	0.5	0.3									
				3	0.3	0.5									
				3.5	0.3	0.7									
				2	0.3	0.5									
				3	0.7	0.3									
				2	0.7	0.3									
				2	0.3	0.3									
				3	0.3	0.5									
				2	0.5	0.3									
				2	0.5	0.7									
				1.5	0.3	0.9									
				3	0.5	0.3									
				2.5	0.3	0.5									
				3.5	0.3	0.7									
				2.5	0.5	0.3									
				3	0.7	0.5									
				3.5	0.9	0.3									
				2.5	0.5	0.7									
				2	0.7	0.5									
n	2			42			17			7			9		
%	2.6			54.5			22.1			9.1			11.7		
Promedio	4.5	0.7	0.8	3.2	0.5	0.5	2.9	0.5	0.6	3.1	0.6	0.6	3.0	0.4	0.6
Máximo	5	0.7	0.9	9	0.9	0.9	5	0.9	0.9	5	0.9	0.9	6	0.7	0.7
Mínimo	4	0.7	0.7	1	0.3	0.3	1	0.3	0.3	2.5	0.3	0.3	1	0.3	0.3
Moda	0.7			2			3			2.5			2		
Columna 6	Caliza			Cuarzo met			Esquisto Verde			Pórfido			Cuarcita		

Columna 6	Cuarzo met			Esquisto Verde			Pórfido			Cuarcita			Caliche			
	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R	
Estación N22-C6	1	0.3	0.5	4	0.3	0.9	2.5	0.3	0.3	1	0.3	0.5	2.5	0.5	0.5	
	1	0.3	0.5	4	0.3	0.9	2	0.5	0.5	3	0.3	0.5	2.5	0.5	0.5	
Retícula	2	0.5	0.5	4	0.3	0.9	2	0.5	0.5	3	0.3	0.5				
	1	0.3	0.7	2	0.3	0.7				3	0.3	0.5				
	5	0.5	0.3	2	0.3	0.7				3	0.3	0.5				
	5	0.5	0.3	2.5	0.3	0.7				3	0.3	0.3				
	5	0.5	0.3	2.5	0.3	0.7				3	0.5	0.3				
	5	0.5	0.3	3	0.5	0.5				3	0.5	0.3				
	5	0.5	0.3	3	0.5	0.5				3	0.5	0.3				
	5	0.5	0.3	3	0.5	0.5				2	0.5	0.7				
	1.5	0.7	0.5	3	0.5	0.5				4	0.5	0.7				
	1	0.5	0.3							4	0.3	0.7				
	2.5	0.5	0.5							4	0.3	0.7				
	2.5	0.5	0.5							1	0.3	0.7				
	2.5	0.3	0.5							2	0.5	0.7				
	2.5	0.3	0.5							2	0.3	0.7				
	1	0.5	0.5							1	0.3	0.5				
	5	0.3	0.7							4	0.3	0.7				
	5	0.3	0.7							4	0.3	0.7				
	5	0.3	0.7							4	0.3	0.7				
	5	0.3	0.7							4	0.3	0.7				
	2.5	0.7	0.5							2.5	0.3	0.7				
	2.5	0.7	0.5							2.5	0.3	0.7				
	2.5	0.7	0.5							2.5	0.3	0.7				
	2.5	0.7	0.5							2	0.3	0.9				
	3.5	0.5	0.5							2	0.3	0.9				
	3.5	0.5	0.5													
	3.5	0.5	0.5													
	3.5	0.5	0.5													
	2	0.5	0.5													
	3	0.3	0.5													
	1	0.5	0.5													
	n	32			11			3			26			2		
	%	43.2			14.9			4.1			35.1			2.7		
Promedio	3.1	0.5	0.5	3.0	0.4	0.7	2.2	0.4	0.4	2.8	0.3	0.9	2.5	0.5	0.5	
Máximo	5	0.7	0.7	4	0.5	0.9	2.5	0.5	0.5	4	0.5	0.7	2.5	0.5	0.5	
Mínimo	1	0.3	0.3	2	0.3	0.5	2	0.3	0.3	1	0.3	0.3	2.5	0.5	0.5	
Moda	5	0.5	0.5	3	0.3	0.7	2	0.5	0.5	3	0.3	0.7	2.5	0.5	0.5	
Columna 6	Cuarzo met			Esquisto Verde			Pórfido			Cuarcita			Caliche			

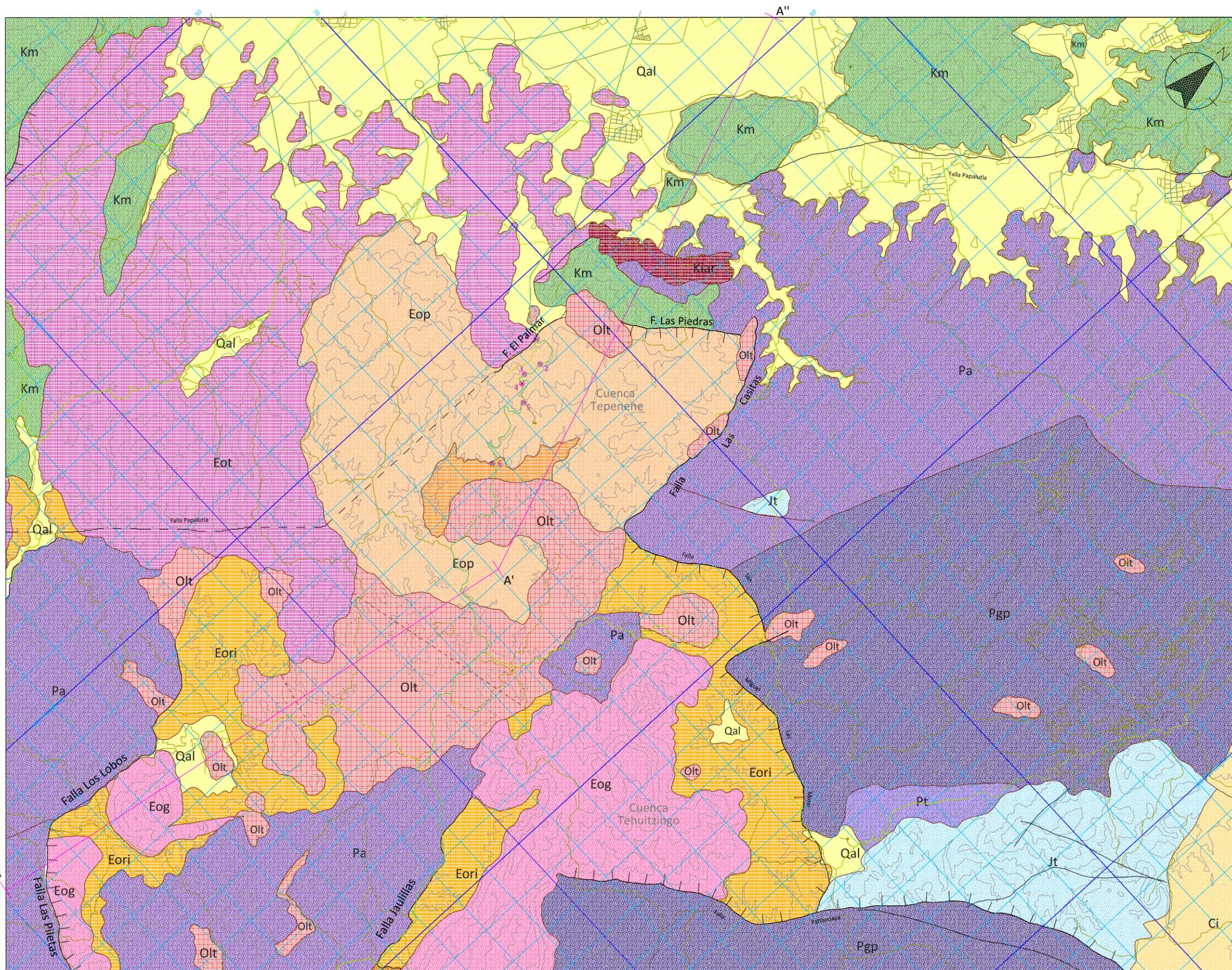
Columna 6	Caliza			Cuarzo Met			Pórfido			Caliche			Arenisca			Cuarcita		
	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R
Estación	10	0.7	0.5	3	0.7	0.5	7	0.5	0.3	3	0.3	0.9	2	0.3	0.9	2	0.7	0.3
N22-C6	10	0.7	0.5	1	0.5	0.7	7	0.5	0.3	4	0.7	0.7				3	0.3	0.3
	8	0.9	0.7	3	0.3	0.3	4	0.3	0.3	3	0.7	0.7				3	0.5	0.3
Retícula	8	0.9	0.7	4	0.7	0.3	4	0.7	0.3	8	0.5	0.9						
	12	0.3	0.5				3	0.9	0.5	7	0.3	0.9						
	12	0.3	0.3				4	0.5	0.3									
	12	0.3	0.3				6	0.5	0.3									
	8	0.5	0.7				4	0.5	0.7									
	7	0.5	0.5				3.5	0.3	0.5									
	10	0.7	0.5				4	0.7	0.3									
	4	0.9	0.3				6	0.5	0.3									
	2	0.5	0.9				6	0.3	0.7									
	6	0.7	0.9				3	0.7	0.5									
	3	0.9	0.7				3.5	0.5	0.7									
	10	0.3	0.3				3	0.3	0.3									
	8	0.3	0.7				5	0.3	0.3									
	8.5	0.5	0.7				4	0.3	0.3									
	8.5	0.5	0.7				4	0.3	0.7									
	3	0.3	0.9				4	0.5	0.3									
	7	0.7	0.9				3	0.3	0.3									
	11	0.3	0.5				4	0.1	0.3									
	22	0.7	0.7				4	0.5	0.9									
	22	0.7	0.7															
	22	0.7	0.7															
	22	0.7	0.7															
	22	0.7	0.7															
	22	0.7	0.7															
	22	0.7	0.7															
	22	0.7	0.7															
	22	0.7	0.7															
	4	0.3	0.5															
	2	0.5	0.5															
	7	0.5	0.7															
	7	0.5	0.7															
	4	0.5	0.7															
	5	0.5	0.7															
	4	0.5	0.5															
	5	0.3	0.7															
	5	0.3	0.5															
	5	0.3	0.3															
	3	0.3	0.5															
	6	0.7	0.3															
	4.5	0.7	0.7															
	10	0.3	0.5															
	10	0.3	0.5															
	6	0.3	0.7															
	6	0.5	0.7															
	7	0.7	0.3															
	2	0.7	0.7															
	3	0.3	0.5															
	3.5	0.3	0.7															
	16	0.3	0.7															
	16	0.3	0.7															
	16	0.3	0.7															
	16	0.3	0.7															
	4	0.7	0.7															
	5	0.7	0.3															
	5	0.7	0.7															
	5	0.3	0.7															
	3	0.5	0.7															

	3	0.3	0.7															
	4	0.5	0.9															
	7	0.7	0.9															
	9	0.3	0.7															
	10	0.7	0.3															
	10	0.7	0.3															
	10	0.7	0.3															
n	70			4			22			5			1			3		
%	66.7			3.8			21.0			4.8			1.0			2.9		
Promedio	9.5	0.5	0.6	2.8	0.6	0.5	4.4	0.5	0.4	5.0	0.5	0.8	2.0	0.3	0.9	2.7	0.5	0.3
Máximo	22.0	0.9	0.9	4.0	0.7	0.7	7.0	0.9	0.9	8.0	0.7	0.9	2.0	0.3	0.9	3.0	0.7	0.3
Mínimo	2.0	0.3	0.3	1.0	0.3	0.3	3.0	0.1	0.3	3.0	0.3	0.7	2.0	0.3	0.9	2.0	0.3	0.3
Moda	22	0.7	0.7	3	0.7	0.3	4	0.5	0.3	3	0.3	0.9				3		0.3
Columna 6	Caliza			Cuarzo Met			Pórfido			Caliche			Arenisca			Cuarcita		

Columna 6	Caliza			Cuarzo met			Pórfido			Arenisca			Cuarcita		
	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R	T (cm)	E	R
Estación N44-C6	7	0.5	0.3	4	0.5	0.3	7	0.3	0.3	5	0.3	0.7	7	0.5	0.3
	12	0.3	0.3				8	0.3	0.5	5	0.3	0.9	7	0.5	0.3
Redícula 10x10cm	3	0.5	0.3				7	0.5	0.1				5	0.3	0.3
	10	0.3	0.3				3.5	0.3	0.3						
	12	0.3	0.5				5	0.3	0.1						
	9	0.7	0.7				6	0.3	0.3						
	9	0.7	0.7				2.5	0.5	0.3						
	10	0.5	0.7				5	0.5	0.3						
	10	0.5	0.7				7	0.3	0.3						
	10	0.3	0.1				6	0.3	0.3						
	6	0.3	0.7				6	0.5	0.3						
	5	0.3	0.1				6	0.3	0.3						
	7	0.3	0.3												
	4	0.3	0.7												
	13	0.5	0.3												
	5	0.3	0.3												
	14	0.3	0.1												
	14	0.3	0.1												
	9	0.5	0.9												
	6	0.3	0.9												
	4.5	0.5	0.7												
	14	0.3	0.7												
	14	0.3	0.7												
	14	0.3	0.7												
	14	0.3	0.7												
	4	0.3	0.3												
	10	0.5	0.7												
	6	0.3	0.7												
	8	0.3	0.7												
	8	0.3	0.7												
	5	0.3	0.7												
	8	0.3	0.7												
	5	0.5	0.7												
	7	0.3	0.3												
10	0.5	0.7													
7	0.3	0.5													
4	0.1	0.7													
12	0.5	0.7													
12	0.5	0.7													
6	0.3	0.7													
2.5	0.3	0.9													
4.5	0.3	0.7													
9	0.3	0.7													
3.5	0.3	0.7													
4	0.3	0.3													
6	0.3	0.3													
3	0.3	0.9													
4	0.3	0.7													
5.5	0.3	0.7													
3	0.7	0.7													
3	0.3	0.5													
7	0.1	0.9													
3.5	0.1	0.7													
n	53			1			12			2			3		
%	74.65			1.41			16.90			2.82			4.23		
Promedio	7.7	0.4	0.6	4.0	0.5	0.3	5.8	0.4	0.3	5.0	0.3	0.8	6.3	0.4	0.3
Máximo	14.0	0.7	0.9	4.0	0.5	0.3	8.0	0.5	0.5	5.0	0.3	0.9	7.0	0.5	0.3
Mínimo	2.5	0.1	0.1	4.0	0.5	0.3	2.5	0.3	0.1	5.0	0.3	0.7	5.0	0.3	0.3
Moda	10	0.3	0.7				6	0.3	0.3	5	0.3		7	0.5	0.3
Columna 6	Caliza			Cuarzo met			Pórfido			Arenisca			Cuarcita		

ANEXO

Mapa geológico



LEYENDA

	Aluvión (Qal)		Km
	Cenozoico Indiferenciado (Ci)		Km
	Tepenene (Olt)		Km
	Igimbrita El Gato (Eog)		Km
	Formación Tepexco (Eot)		Km
	Miembro La Palma (Eop)		Km
	Miembro Los Amates (Eoa)		Km
	Caliza Morelos (Km)		Km
	Intrusivo Abelardo Rodríguez (Kiar)		Km
	Formación Tecamazuchil? (Jt)		Km
	Formación Patlanoaya (Pt)		Km
	Acatlan indiferenciado (Pa)		Km
	Grupo Piaxtla (Pgp)		Km

SIMBOLOGÍA GEOLÓGICA

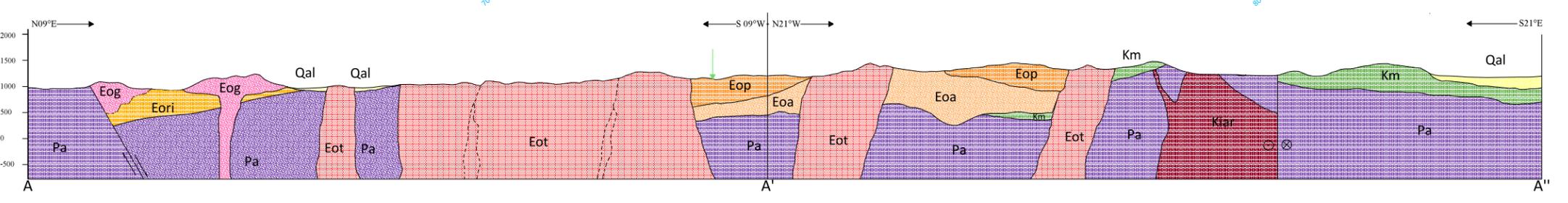
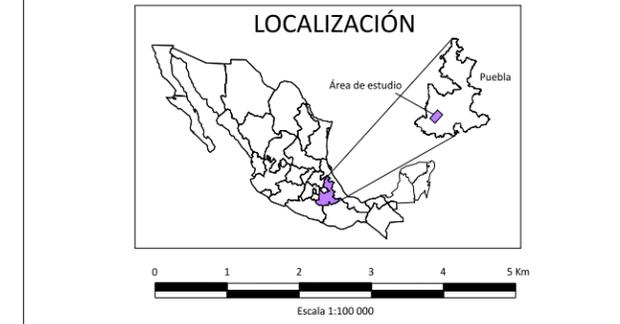
	Contacto geológico		Falla normal
	Rumbo y echado medidos		Falla inversa
	Línea de sección		Falla lateral izquierda
	Falla lateral izquierda		Falla lateral derecha

SIMBOLOGÍA E INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA

ELIPSOIDE: GRS80
 DATUM: ITRF92
 CUADRÍCULA: UTM Cada 1000 m
 FUENTE: Base Topográfica Digital INEGI
 CARTAS:
 Izúcar de Matamoros E14-B62
 Coatlengo E14-B63
 Chiauhtla de Tapia E14-B72
 Tehuiztzingo E14-B73

VARIACIÓN MAGNÉTICA ANUAL 4' 49" E
DECLINACIÓN MAGNÉTICA OCTUBRE 2014

	Poblado		Curvas de nivel
	Carretera		Corriente Perenne
	Terracería		Sitio de medición de columna estratigráfica



UNAM
POSGRADO
Escuela de la Tierra

TESIS DE MAESTRÍA

SEDIMENTOLOGÍA, PROCEDENCIA DEL RELLENO CLÁSTICO Y EVOLUCIÓN TECTONOSEDIMENTARIA DE LA CUENCA TEPENENE, SUR DE PUEBLA, MÉXICO

ING. YOALI B. HERNÁNDEZ MARMOLEJO
TUTOR: DR. GILBERTO SILVA ROMO