



**UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO.
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS. DEPARTAMENTO DE MINAS, METALURGIA Y
GEOLOGÍA.**

**TÍTULO
ESTRATIGRAFÍA Y ESTRUCTURA DEL TRANSECTO JALPA, CENTRO-
NORTE DEL GRABEN DE JUCHIPILA, ZACATECAS, SIERRA MADRE
OCCIDENTAL.**

TESIS QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO GEÓLOGO

PRESENTA

MICHELLE CADENA LARRIVA

DIRECTOR DE TESIS

DR. ISIDRO LOZA AGUIRRE

GUANAJUATO, GUANAJUATO DE DEL 2019

ÍNDICE

Capítulo I. Introducción	14
1.1 Prólogo.....	14
1.2 Localización y vías de acceso.....	16
1.3 Fisiografía y Geomorfología.....	18
1.4 Marco Teórico.....	21
1.4.1 Geotermia y energía geotérmica convencional.....	21
1.4.2 Gradiente geotérmico y yacimiento geotérmico convencional.....	21
1.4.3 Aprovechamiento de la energía geotérmica convencional.....	23
1.4.4 Energía geotérmica no convencional.....	23
1.4.5 Estudios recientes en Australia.....	23
1.5 Antecedentes.....	24
1.6 Justificación.....	32
1.7 Objetivos.....	33
1.7.1 Objetivo General.....	33
1.7.2 Objetivos Específicos.....	33
1.8 Metodología.....	33
1.8.1 Recopilación y análisis de trabajos previos.....	33
1.8.2 Mapa Geológico-Estructural preliminar.....	33
1.8.3 Trabajo de Campo.....	34
1.8.4 Elaboración de Láminas Delgadas.....	34
1.8.5 Petrografía.....	36
1.8.6 Geocronología.....	36
1.8.7 Digitalización del mapa.....	40
Capítulo II. Marco Geológico Regional	40
2.1 Geología Regional.....	40
2.1.1 Estratigrafía Regional.....	40
2.1.1.1 Estratigrafía Regional del Sector Sur de la Sierra Madre Occidental.....	42
2.1.1.1.1 Pre-Cenozoico.....	42
2.1.1.1.2 Cenozoico.....	43
Eoceno medio- tardío.....	43

<i>Oligoceno temprano</i>	44
<i>Oligoceno tardío</i>	45
<i>Mioceno temprano</i>	46
<i>Mioceno tardío</i>	48
<i>Plioceno – Cuaternario</i>	48
2.1.2 <i>Estructura Regional</i>	48
2.1.2.1 <i>Estructura Regional del Sector Sur de la Sierra Madre Occidental</i>	48
2.1.2.1.1 <i>Dominio Extensional Meridional ó Corredor Transpresivo Santa María del Oro-Santa Rosa</i>	49
<i>Sistema de Fallas y Pliegues</i>	50
2.1.2.1.2 <i>Dominio Extensional Oriental</i>	50
<i>Sistema de Fallas</i>	51
2.1.2.1.3 <i>Dominio Extensional Occidental</i>	52
<i>Sistema de Fallas</i>	52
Capítulo III. Tectónica	53
3.1 <i>Eventos de Deformación</i>	53
3.1.1 <i>Eventos tectónicos previos al Basin and Range</i>	53
3.1.2 <i>Basin and Range</i>	54
3.1.2.1 <i>Inicio de extensión y episodios del Basin and Range</i>	54
3.1.2.2 <i>Mecanismos que rigen los orígenes del Basin and Range</i>	55
3.1.2.3 <i>Migración del Basin and Range</i>	55
3.1.3 <i>Inicio del Rift del Golfo de California</i>	56
Capítulo IV. Geología Local	57
4.1 <i>Estratigrafía del transecto Jalpa</i>	58
4.1.1 <i>Mesozoico</i>	58
4.1.1.1 <i>Cretácico Superior</i>	58
<i>Andesita Santa Rosa</i>	58
4.1.2 <i>Cenozoico</i>	61
4.1.2.1 <i>Paleógeno</i>	61
4.1.2.1.1 <i>Eoceno</i>	61
<i>Andesita Aréchiga</i>	61

<i>Capas Rojas Las Azucenas</i>	62
4.1.2.1.2 <i>Oligoceno</i>	67
<i>Arenas Blancas El Caracol</i>	67
<i>Ignimbrita La Soledad</i>	68
<i>Ignimbrita Joaquín Amaro</i>	69
<i>Ignimbrita Fuentes</i>	70
<i>Depósitos Piroclásticos Hermanos</i>	71
<i>Secuencia Los Cardos</i>	75
<i>Domos Riolíticos Garruño- Huiscolo</i>	78
<i>Toba Los Indios</i>	79
<i>Basaltos Tlachichila</i>	81
<i>Miembro Toba Amarilla</i>	83
4.1.2.2 <i>Néogeno</i>	84
4.1.2.2.1 <i>Mioceno</i>	84
<i>Ignimbrita Calvillo- Jalpa</i>	84
<i>Basaltos Tuitán</i>	84
<i>Lacustres La Pitaya</i>	86
4.1.2.3 <i>Cuaternario</i>	86
4.1.2.3.1 <i>Pleistoceno-Holoceno</i>	86
<i>Conglomerado Reciente Tenayuca</i>	86
<i>Aluvión</i>	87
4.2 <i>Estructura del transecto Jalpa</i>	91
4.2.1 <i>Análisis de Lineamientos</i>	91
4.2.2 <i>Análisis de basculamiento de bloques</i>	92
4.2.3 <i>Análisis de fallas y datos de estratificación</i>	93
4.2.3.1 <i>Primer Sector Corral de Piedras-Tlatenango</i>	96
4.2.3.2 <i>Segundo Sector Valle de Jalpa</i>	99
4.2.3.3 <i>Tercer Sector Calvillo-Jalpa</i>	101
4.2.3.4 <i>Cuarto Sector Tlachichila-Huiscolo</i>	103
4.2.4 <i>Diferencias y similitudes estructurales entre sectores</i>	104
4.2.5 <i>Análisis de fallas y datos estratigráficos por unidad geológica</i>	108

4.2.5.1 Andesita Santa Rosa	108
4.2.5.2 Capas Rojas Las Azucenas.....	109
4.2.5.3 Arenas Blancas El Caracol	110
4.2.5.4 Ignimbrita Joaquín Amaro.....	111
4.2.5.5 Depósitos Piroclásticos Hermanos	112
4.2.5.6 Secuencia Los Cardos	113
4.2.5.7 Domos Riolíticos Garruño-Huiscolo	114
4.2.5.8 Toba Los Indios.....	115
4.2.5.9 Miembro Toba Amarila	116
4.2.5.10 Lacustres La Pitaya	116
4.2.6 Análisis de falla individual	119
4.2.7 Evolución tectónica del graben.....	126
Capítulo V. Conclusiones	135
Referencias Bibliográficas	138
Anexos	144

Índice de Figuras

<i>Fig. 1. Mapa mostrando la Provincia Fisiográfica Sierra Madre Occidental y dentro de ella se encuentra el transecto centro-norte del Graben de Juchipila</i>	16
<i>Fig. 2. Mapa del transecto centro-norte del Graben de Juchipila mostrando las principales vías de acceso que se encuentran dentro del área de estudio.</i>	17
<i>Fig. 3. Mapa de Provincias Fisiográficas tomado de INEGI. Dentro del recuadro ubicado del lado izquierdo inferior viene la simbología indicando dónde se encuentra la Sierra Madre Occidental y las provincias colindantes a ésta.....</i>	18
<i>Fig. 4. Mapa del Estado de Zacatecas tomado y editado de INEGI; 2017. Presenta las Provincias Fisiográficas y sus subprovincias que lo conforman. El círculo rojo representa las provincias que están localizadas en el área de estudio.....</i>	20
<i>Fig. 5. Imagen de satélite obtenida en Google Earth que nos muestra la ubicación de las calderas propuestas por Webber. (Modificado y tomado de Webber et al., 1994).....</i>	27
<i>Fig. 6. Mapa de los grabens encontrados al sur de la Sierra Madre Occidental incluyendo al graben Tepic-Zacoalco y la Provincia Extensional del Golfo. Se muestra el nombre de los grabens, al igual que las estructuras mayores que rigen los límites de cada uno. (Tomado de Aguirre-Díaz et al., 2008).</i>	30

Fig. 7. Muestra el procedimiento que se llevó a cabo para la elaboración de láminas delgadas. a) Ordenamiento de láminas delgadas por número de muestra y b) Cortando las muestras hasta dejarlas a un grosor de 0.5 a 2mm..... 36

Fig. 8. Proceso de tamizado. a) Tamices en orden ascendente de acuerdo a sus tamaños, b) Tamizando y c) Vertiendo la muestra con el tamaño requerido (180 micras). 37

Fig. 9. Máquinas, microscopio y zircones usados en el proceso de preparación de muestras. a) Horno de secado para laboratorio, b) Separador magnético, c) Zircones montados en probeta y d) Microscopio Bifocal reflejante de luz..... 39

Fig. 10. Conjuntos ígneos que conforman la Sierra Madre Occidental, el cuadrado rojo muestra el área de estudio. (Mapa tomado y modificado de Ferrari et al., 2005)..... 41

Fig. 11. Mapa regional representando la tectónica del sector sur de la Sierra Madre Occidental, separándola de acuerdo a sus características estructurales en tres dominios. En cada uno de los recuadros de texto se muestra la edad de deformación extensional de cada uno de ellos. (Tomado y modificado de Ferrari et al., 2005). 49

Fig. 12. Mapa topográfico del transecto centro-norte del Graben de Juchipila mostrando la numeración de las estaciones que se encuentran en el Anexo A. 57

Fig. 13. Afloramientos de no más de 3 m de andesitas alteradas por oxidación y argilización encontradas a 900m de la comunidad Santa Rosa al este del graben. A) Esta imagen muestra el afloramiento donde se obtuvo la muestra JAT-42, la cual fue seleccionada para el proceso de datación, B) Andesitas alteradas por oxidación, C) Andesitas alteradas por argilización y D) Afloramiento de 2.5m de andesitas afectadas por fallas menores. 59

Fig. 14. Muestras de la unidad Andesita Santa Rosa, éstas fueron obtenidas en los puntos 65 y 68. A) Roca con tonalidades oscuras y corresponde a la muestra JAT-40B, y B) Roca ubicada en una zona de brecha correspondiente a la muestra JAT-41..... 60

Fig. 15. A) Lámina delgada de Andesita Santa Rosa (JAT-41), Cuarzo (Qz), Plagioclasa (Plg) y Líticos (L). B) Lámina delgada de Andesita Santa Rosa (JAT-42), Cuarzo (Qz), Plagioclasa (Plg)..... 60

Fig. 16. Fechamientos isotópicos por el método U-Pb en ablación láser en zircones para la Andesita Santa Rosa (muestra JAT-42). 61

Fig. 17. Afloramientos de Capas Rojas Las Azucenas intercaladas con ignimbritas. A) En este primer depósito se observan arenas compactadas y estratificadas en la parte superior, B) Depósito mayor de arenas finas presentando clastos de andesita, C y D) Estos son de los más grandes afloramientos dentro de la zona presentando capas rojas intercaladas con ignimbrita..... 63

Fig. 18. Imágenes de las muestras recabadas en la Sierra Morones en la parte oeste del transecto, éstas pertenecen a la unidad Capas Rojas Las Azucenas. A) Muestra obtenida en el punto 5, presentando una matriz fina y B) Muestra obtenida en el punto 15, presentando pómez amarillas. 63

Fig. 19. Lámina delgada de Capas Rojas Las Azucenas (JAT-04), Cuarzo (Qz), Plagioclasa (Plg) y Feldespato (Fld). 64

Fig. 20. Afloramientos vistos en las partes bajas de la Sierra Morones, cercano al Valle de Juchipila. A) Depósito de Capas Rojas Las Azucenas intercaladas con tobas y cenizas de espesores menores a 1 m, B) Mismo afloramiento que la Imagen A, sólo que aquí se muestra una toba de color morado, la cual se encuentra sobreyaciendo a Capas Rojas. 64

Fig. 21. Muestras obtenidas en el punto 45 de la Unidad Capas Rojas Las Azucenas. A) Muestra JAT-33A de arena con una matriz fina, presentando pómez amarillas y B) Muestra JAT 33-B que pudo haber resultado de alguna brecha lítica. 65

Fig. 22. A) Lámina delgada de Capas Rojas Las Azucenas (muestra JAT-33a). Cuarzo (Qz), Plagioclasa (Plg), B) Lámina delgada Depósitos de Capas Rojas Las Azucenas (muestra JAT-33B), Cuarzo (Qz), Plagioclasa (Plg) y Líticos (L)..... 65

Fig. 23. Afloramientos de más de 20m de altura de arenas rojas e ignimbritas que presentan espesores de 15 a 20m. A) Afloramiento de arenas rojas parece ser que conforma casi toda la colina pero encima de ellas se encuentra un pequeño paquete de ignimbritas. B) Depósito de ignimbrita (Ignimbrita Joaquín Amaro) de 20m subyaciendo arenas rojas y cafés. 66

Fig. 24. A) Afloramientos de no más de 2 m de ignimbrita con tonalidades rosas afectada por fallas rellenas de calcita. B) Muestra de ignimbrita rosada obtenida del afloramiento mostrado en la imagen A. 67

Fig. 25. Depósito de arenas blancas poco consolidadas de la unidad geológica Arenas Blancas El Caracol. A y B) Ambos afloramientos se encuentran ubicados en el este del transecto en los puntos 82 y 83. 67

Fig. 26. Muestra de mano de Ignimbrita La Soledad correspondiente a JAT-44. 68

Fig. 27. Lámina delgada de Ignimbrita La Soledad (JAT-44), Cuarzo (Qz) y Espículas de vidrio (Ev)..... 68

Fig. 28. Afloramiento de Ignimbrita Joaquín Amaro de más de 20 de altura..... 69

Fig. 29. Ambas imágenes muestran a Ignimbrita Joaquín Amaro. A) Afloramiento menor a 0.5m mostrando un plano de falla, B) Muestra de mano JAT-45. 69

Fig. 30. Muestra de mano correspondiente a la unidad geológica Ignimbrita Fuentes (JAT-47)..... 70

Fig. 31. Lámina delgada de Ignimbrita Fuentes (JAT-47), Cuarzo (Qz) y Flujo (Fl)..... 70

Fig. 32. Afloramientos de todas las ignimbritas que conforman los Depósitos Piroclásticos Hermanos. A) Este primer depósito se encuentra en el punto 30, B) Segundo afloramiento conformado por 4 depósitos ubicados en el punto 31, C) Tercer afloramiento localizado en el punto 35, D) Cuarto depósito encontrado en el punto 36, E) Cuarto afloramiento conformado por el último depósito piroclástico ubicado en el punto 38 y F) Imagen que muestra todos depósitos con una alturamayor a 30m. 72

Fig. 33. Imágenes que presentan las muestras de mano obtenidas de todos los afloramientos que son parte de Depósitos Piroclastos Los Hermanos. A) Muestra JAT-24, B) Muestra JAT-25, C) Muestra JAT 26 (a, b, c y d), D) Muestra JAT-27 (a y b), E) Muestra JAT-28 (a y b) y F) Muestra JAT-31 73

<i>Fig. 34. A) Lámina delgada Depósitos Piroclásticos Hermanos (muestra JAT-27A), Cuarzo (Qz), Opacos (Op). B) Lámina delgada Depósitos Piroclásticos Hermanos (muestra JAT-27B), Cuarzo (Qz).</i>	74
<i>Fig. 35. Imagen que muestra afloramientos y muestras de mano de los 5 diques piroclásticos visibles. A) Afloramiento vista de frente ubicado en el punto 47 , B)Afloramiento vista de lado localizado en el unto 47 y C) Muestras correspondientes a JAT 35 (a ,b c, d y e).</i>	75
<i>Fig. 36. Imágenes de afloramientos y muestras de mano de la Secuencia Los Cardos. A) Depósito de toba, basaltos e ignimbrita con alturas mayores a 4m ubicados en el punto 99 vista de lado, B) Mismo afloramiento que la imagen A vista de frente y C) Muestras de mano correspondientes a JAT-53 y 54 (a, b y c).</i>	76
<i>Fig. 37. A) Lámina delgada de una toba que es parte de Secuencia Los Cardos (muestra JAT-52), Plagioclasa (Pl) y Feldespato (Fd). B) Lámina delgada de una toba que es parte de Secuencia Los Cardos (muestra JAT-53), Cuarzo (Q). C) Lámina delgada de una ignimbrita que es parte de Secuencia Los Cardos (muestra JAT-54), Cuarzo (Qz) y Líticos (L).</i>	77
<i>Fig. 38. Fechamiento isotópico por el método U-Pb en ablación láser en zircones para una ignimbrita de la unidad Secuencia Los Cardos (JAT-54).</i>	78
<i>Fig. 39. Afloramientos y muestra de Domos Riolíticos Garruño-Huiscolo. A) Afloramiento de riolita de más de 20m , B) Afloramiento de flujo riolítico sobre el suelo obtenido en el punto 88, C) Afloramiento de domos riolíticos vista de frente localizado en el punto 94 y D) Muestra de mano correspondiente a JAT-49.</i>	79
<i>Fig. 40. Afloramientos de más de 20m de Toba Los Indios. A) Se puede observar los líticos de diferentes tamaños que conforman la toba (punto 28), B) Depósito localizado en el punto 36,C) Afloramiento ubicados en el punto 42 y D) Toba Los Indios encontrada sobre la Carretera Federal Tabasco- Juchipila (punto 138).</i>	80
<i>Fig. 41. Afloramiento de 1.5m de Toba Los Indios localizada en el punto 1.</i>	80
<i>Fig. 42. Lámina delgada de Toba Los Indios (muestra JAT-01), Cuarzo (Qz).</i>	81
<i>Fig. 43. Afloramiento y muestra de mano de un basaltos (flujo de lava tipo pahohoe) encontrados en la parte este del transecto. A) Pedazos de basalto y afloramientos de suelo de Basaltos Tlachichila (punto 96) y B) Muestra de mano correspondiente a JAT-50.</i>	82
<i>Fig. 44. Basaltos Tlachichila encontrados en el oeste del transecto. A) Afloramiento de 2m de basaltos intemperizados (punto 37), B) Muestra de mano correspondiente a JAT-29 y C) Muestra de mano correspondiente a JAT-30.</i>	82
<i>Fig. 45. Lámina delgada de Basaltos Tlachichila (muestra JAT-30), Plagioclasa (Pl) y Piroxenos (Px).</i>	83
<i>Fig. 46. Afloramientos de toba de ceniza afectados por fallas normales. A) Depósito de 1.5m encontrado al este del transecto (punto 108)B) Afloramiento de más de 2m (punto 108) y C) Mismo afloramiento que en Imagen B.</i>	83
<i>Fig. 47. Muestra de mano de la unidad Ignimbrita Calvillo-Jalpa (JAT-67).</i>	84
<i>Fig. 48. Afloramientos de flujos de lava y diques de basaltos. A) Afloramiento sobre el suelo de basaltos B) Dique basáltico cortando a Miembro Toba Amarilla.</i>	85

<i>Fig. 49. Afloramiento de basaltos alterados de la unidad Basaltos Tuitán ubicado en el punto 50.....</i>	<i>85</i>
<i>Fig. 50. Afloramientos de Lacustres La Pitaya que muestran alturas de más de 20m. A) Depósitos de lacustres de más de 20 m ubicados al este del transecto y B) Afloramiento de lacustres estratificados casi horizontalmente.</i>	<i>86</i>
<i>Fig. 51. Columna estratigráfica del transecto centro-norte del Graben de Juchipila.....</i>	<i>88</i>
<i>Fig. 52. Mapa geológico estructural a detalle del transecto centro-norte del Graben de Juchipila, Jalpa, Zacatecas, Sierra Madre Occidental.</i>	<i>89</i>
<i>Fig. 53. Secciones geológicas a partir del mapa geológico-estructural a escala 1:45,000 del transecto centro-norte del Graben de Juchipila, Jalpa, Zacatecas, Sierra Madre Occidental.</i>	<i>90</i>
<i>Fig. 54. Mapa de lineamientos mayores y menores (color amarillo), los cuales tienen una tendencia NE-SW.....</i>	<i>91</i>
<i>Fig. 55. Mapa de bloques basculados que se encuentran en el transecto centro-norte del graben de Juchipila.....</i>	<i>92</i>
<i>Fig. 56. Afloramientos de Andesita Santa Rosa en la parte este del transecto cerca de la comunidad Santa Rosa. A) Falla normal con un espesor de 10 cm de zona de molienda. B) Plano de falla con estrías bien definidas.</i>	<i>93</i>
<i>Fig. 57. Imagen representando las fallas que afectan al transecto centro-norte del Graben de Juchipila. Los tres primeros diagramas presentan un total de 87 fallas y el último sólo cuenta con 45 fallas. A) Diagrama de Schmidt (rumbos y echados), B) Diagrama de polos y contornos, C) Diagrama de inclinaciones, D) Diagrama de orientación de planos y E) Diagrama de diedros rectos.....</i>	<i>94</i>
<i>Fig. 58. Imagen representando un total de 52 datos estratigráficos tomados en toda la parte central-norte del graben. A) Diagrama de Schmidt (rumbos y echados), B) Diagrama de polos y contornos, C) Diagrama de inclinaciones y D) Diagrama de orientación de planos.</i>	<i>95</i>
<i>Fig. 59. Mapa estructural del transecto centro-norte del graben de Juchipila dividido por cuatro sectores: 1) Corral de Piedras Tlatenango, 2) Valle de Jalpa, 3) Calvillo-Jalpa y 4) Tlachichila-Huiscolo.....</i>	<i>96</i>
<i>Fig. 60. Imagen representando las fallas que afectan al Primer Sector. Los tres primeros diagramas presentan un total de 47 fallas y el último sólo cuenta con 22 fallas. A) Diagrama de Schmidt (rumbos y echados), B) Diagrama de polos y contornos, C) Diagrama de inclinaciones, D) Diagrama de orientación de planos y E) Diagrama de diedros rectos.</i>	<i>97</i>
<i>Fig. 61. Afloramientos de Capas Rojas Las Azucenas donde se muestra las fallas que la llegan a afectar. A) Juego de fallas menores paralelas con rumbos NE-SW (punto 16) , B) Falla con rumbo N-S (punto 15), C) Falla con rumbo NE-SW que generó un desplazamiento de 2m en capas rojas e Ignimbrita (punto 23) y D) Fallas con rumbos NE-SW y NW-SE formando un pequeño graben (punto 24).....</i>	<i>98</i>
<i>Fig. 62. Imagen representando un total de 42 datos estratigráficos para el Primer Sector. A) Diagrama de Schmidt (rumbos y echados), B) Diagrama de polos y contornos, C) Diagrama de inclinaciones y D) Diagrama de orientación de planos.</i>	<i>99</i>

Fig. 63. Imagen representando un total de 5 datos de fallas para el Segundo Sector. A) Diagrama de Schmidt (rumbos y echados), B) Diagrama de inclinaciones y C) Diagrama De orientación de planos. 99

Fig. 64. Falla con rumbo NE-SW cortando a Toba Los Indios. 100

Fig. 65. Imagen representando un total de 3 datos estratigráficos para el Segundo Sector. A) Diagrama de Schmidt (rumbos y echados), B) Diagrama de inclinaciones y C) Diagrama de orientación de planos. 100

Fig. 66. Imagen representando las fallas que afectan al Tercer Sector. Los tres primeros diagramas presentan un total de 19 fallas y el último sólo cuenta con 13 fallas. A) Diagrama de Schmidt (rumbos y echados), B) Diagrama de polos y contornos, C) Diagrama de inclinaciones, D) Diagrama de inclinación de planos y E) Diagrama de diedros rectos. 101

Fig. 67. Afloramientos de Andesita Santa Rosa afectada por fallas mayores y menores. A) Fallas con rumbos variables y B) Falla presentando zona de molienda con un espesor de 20cm..... 102

Fig. 68. Imagen representando un total de 7 datos estratigráficos para el Tercer Sector. A) Diagrama de Schmidt (rumbos y echados), B) Diagrama polos, C) Diagrama de inclinaciones y D) Diagrama de orientación de planos..... 102

Fig. 69. Imagen representando las fallas que afectan al Cuarto Sector. Los tres primeros diagramas presentan un total de 16 fallas y el último sólo cuenta con 9 fallas. A) Diagrama de Schmidt (rumbos y echados), B) Diagrama de polos y contornos, C) Diagrama de inclinaciones, D) Diagrama de orientación de planos y E) Diagrama de diedros rectos. 103

Fig. 70. Imagen representando un total de 1 dato estratigráfico para el Cuarto Sector. A) Diagrama de Schmidt (rumbos y echados) y B) Diagrama de polos..... 104

Fig. 71. Imagen representando las fallas que afectan a la Andesita Santa Rosa. Los tres primeros diagramas presentan un total de 18 fallas y el último sólo cuenta con 12 fallas. A) Diagrama de Schmidt (rumbos y echados), B) Diagrama de polos y contornos, C) Diagrama de inclinaciones, D) Diagrama de orientación de planos y E) Diagrama de diedros rectos. 108

Fig. 72. Imagen representando un total de 3 datos estratigráficos para Andesita Santa Rosa. A) Diagrama de Schmidt (rumbos y echados), B) Diagrama de polos de las fallas, C) Diagrama de inclinaciones y D) Diagrama de orientación de planos. 109

Fig. 73. Imagen representando las fallas que afectan a Capas Rojas Las Azucenas. Los tres primeros diagramas presentan un total de 31 fallas y el último sólo cuenta con 15 fallas. A) Diagrama de Schmidt (rumbos y echados), B) Diagrama de polos y contornos, C) Diagrama de inclinaciones, D) Diagrama de orientación de planos y E) Diagrama de diedros rectos. 109

Fig. 74. Falla mayor con rumbo NW-SE desplazando capas rojas. 110

Fig. 75. Imagen representando un total de 4 datos estratigráficos para Arenas Blancas El Caracol. A) Diagrama de Schmidt (rumbos y echados), B) Diagrama de polos, C) Diagrama de inclinaciones y D) Diagrama de orientación de planos. 111

Fig. 76. Plano de falla con estrías de 90° en Ignimbrita Joaquín Amaro. 111

Fig. 77. Imagen representando un total de 1 dato de falla para Ignimbrita Joaquín Amaro. A) Diagrama de Schmidt (rumbos y echados) y B) Diagrama de polos de fallas. 111

Fig. 78. Imagen representando las fallas que afectan Depósitos Piroclásticos Los Hermanos. Los diagramas presentan un total de 2 fallas. A) Diagrama de Schmidt (rumbos y echados) y B) Diagrama de polos..... 112

Fig. 79. Imagen representando un total de 12 datos estratigráficos para Depósitos Piroclásticos Hermanos. A) Diagrama de Schmidt (rumbos y echados), B) Diagrama de polos y contornos, C) Diagrama de inclinaciones y D) Diagrama de orientación de planos 112

Fig. 80. Plano de falla en ignimbrita mostrando estrías de 85° a 90°. 113

Fig. 81. Imagen representando las fallas que afectan Secuencia Los Cardos. Los tres primeros diagramas presentan un total de 7 fallas y el último sólo cuenta con 5 fallas. A) Diagrama de Schmidt (rumbos y echados), B) Diagrama de polos, C) Diagrama de inclinaciones, D) Diagrama de orientación de planos y E) Diagrama de diedros rectos..... 113

Fig. 82. Imagen representando un total de 1 dato estratigráfico tomado de una toba que forma parte de Secuencia Los Cardos. A) Diagrama de Schmidt (rumbos y echados) y B) Diagrama de polos..... 114

Fig. 83. Imagen representando un total de 4 datos de fallas para Domos Riolíticos Garruño-Huiscolo. A) Diagrama de Schmidt (rumbos y echados), B) Diagrama de polos, C) Diagrama de inclinaciones y D) Diagrama de orientación de planos. 114

Fig. 84. Imagen representando las fallas que afectan Toba Los Indios. Los tres primeros diagramas presentan un total de 16 fallas y el último sólo cuenta con 8 fallas. A) Diagrama de Schmidt (rumbos y echados), B) Diagrama de polos y contornos, C) Diagrama de inclinaciones. D) Diagrama de orientación de planos y E) Diagrama de diedros rectos. 115

Fig. 85. Imagen representando un total de 1 dato estratigráfico para Toba Los Indios. A) Diagrama de Schmidt (rumbos y echados) y B) Diagrama de polos..... 115

Fig. 86. Imagen representando un total de 3 datos de falla para el Miembro Toba Amarilla. A) Diagrama de Schmidt (rumbos y echados), B) Diagrama de polos, C) Diagrama de inclinaciones y D) Diagrama de orientación de planos. 116

Fig. 87. Planos de estratificación de lacustres con inclinaciones menores a 20°. 116

Fig. 88. Imagen representando un total de 3 datos estratigráficos para Lacustres La Pitaya A) Diagrama de Schmidt (rumbos y echados), B) Diagrama de polos de fallas, C) Diagrama de inclinaciones y D) Diagrama de orientación de planos. 117

Fig. 89. Columna estratigráfica del transecto centro-norte del Graben de Juchipila mostrando las direcciones de extensiones que rigen cada unidad geológica que aflora en el área de estudio. 118

Fig. 90. Columna estratigráfica mostrando las direcciones de extensiones que rigen el transecto centro-norte del graben de Juchipila..... 124

Fig. 91. Sección geológica esquemática de la parte centro-norte del Graben de Juchipila presentando la depositación de cada unidad..... 126

<i>Fig. 92. Sección geológica esquemática presentando el evento distensivo con dirección ENE-WSW que probablemente dio origen a la parte centro-norte del Graben de Juchipila de cada unidad.</i>	<i>127</i>
<i>Fig. 93. Sección geológica esquemática de la parte centro-norte del Graben de Juchipila presentando la depositación de cada unidad.....</i>	<i>128</i>
<i>Fig. 94. Sección geológica esquemática presentando el evento distensivo con dirección NW-SE que probablemente dio origen a la parte centro-norte del Graben de Juchipila de cada unidad.</i>	<i>130</i>
<i>Fig. 95. Sección geológica esquemática de la parte centro-norte del Graben de Juchipila presentando la depositación de cada unidad.....</i>	<i>131</i>
<i>Fig. 96. Sección geológica esquemática del evento distensivo con dirección NW-SE que creó nuevos bloques y posteriormente fueron rotados.....</i>	<i>132</i>
<i>Fig. 97. Sección geológica esquemática de la parte centro-norte del Graben de Juchipila presentando la depositación de cada unidad.....</i>	<i>134</i>

Índice de Apéndices

<i>Apéndice 1- Tabla de puntos y datos obtenidos del transecto centro-norte Jalpa, Zacatecas.</i>	<i>144</i>
<i>Apéndice 2- Formato de descripción petrográfica de las rocas analizadas en la parte centro-norte del Graben de Juchipila, Jalpa, Zacatecas.</i>	<i>145</i>
<i>Apéndice 3. Tabla presentado los datos en U/Pb en zircones de la muestra JAT-42. Las muestras tachadas en columna de % de discordancia se omitieron, ya que no están dentro del promedio de edad esperada.</i>	<i>145</i>
<i>Apéndice 4. Tabla presentado los datos en U/Pb en zircones de la muestra JAT-54. Las muestras tachadas en columna de % de discordancia se omitieron, ya que no están dentro del promedio de edad esperada.</i>	<i>145</i>

Índice de Tablas

<i>Tabla 1. Listado de muestras que fueron utilizadas para análisis petrográfico</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 2. Rangos de rumbos de fallas.....</i>	<i>95</i>
<i>Tabla 3. Comparación de datos estratigráficos entre sectores</i>	<i>106</i>
<i>Tabla 4. Comparación de fallas entre sectores.....</i>	<i>107</i>
<i>Tabla 5. Presentando los puntos donde fueron medidos sólo fallas que contienen estrías y sus parámetros (rumbo y echado), la unidad a la que afectan, dirección de extensión y los eventos distensivos que surgieron antes, durante y después de la formación del graben,119</i>	

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

Este trabajo se desarrolló dentro del proyecto PAPIIT IV100117, titulado: “Energía geotérmica no convencional en México: un estudio interdisciplinario en la parte suroriental de la Sierra Madre Occidental”, el cual pretende determinar el potencial geotérmico no convencional de sitios seleccionados en dicha región. En esta tesis se realizó la cartografía geológico-estructural únicamente del transecto centro-norte del Graben de Juchipila localizado dentro de los estados de Aguascalientes, Jalisco y Zacatecas. Con base en la cartografía del SGM, INEGI, salidas a campo, petrografía y fechamientos isotópicos por U/Pb en ablación de zircones fue posible realizar un mapa geológico-estructural y una columna estratigráfica que comprende 18 unidades litológicas, 13 de ellas asociadas a volcanismo silícico y 5 unidades sedimentarias pre y post a la formación del graben. Igualmente durante salidas a campo se obtuvieron datos estructurales que ayudaron a realizar análisis geométricos, cinemáticos y dinámicos que determinaron la geometría del graben y por otra parte contribuyeron a comprender la formación y evolución del mismo. De acuerdo con los resultados obtenidos el transecto centro-norte del Graben de Juchipila se formó por 3 eventos extensivos: 1) el primer evento presenta una dirección de extensión ENE-WSW posterior a la depositación de dos unidades de andesitas; 2) presenta una dirección de extensión NW-SE, se originó después del depósito de arenas y conglomerados (Eoceno tardío) y del surgimiento de un conjunto de tobas, basaltos e ignimbritas dentro del Oligoceno temprano-tardío y 3) el tercer episodio de extensión con dirección NNE-SSW fue originado después de la depositación de un grupo de ignimbritas, tobas riolíticas y basaltos en el Oligoceno tardío-Mioceno temprano. Por otro lado, la estratigrafía y la geometría de la cuenca formada en la zona de estudio presentan similitudes con las encontradas en Australia. Hay una diferencia muy representativa de altura en los lacustres y sedimentos depositados en las cuencas; ya que, en Australia los sedimentos llegan a tener una altura de 3000 m, en cambio en la zona de estudio presentan alturas de 300 m a 400 m, lo que, posiblemente la altura sea el factor, por el cual, el calor generado por rocas silícicas traspase estos sedimentos y no quede atrapado. Para determinar con certeza el potencial geotérmico del transecto centro-norte del Graben de Juchipila se requiere de otros estudios e investigación detallada.

Capítulo I. Introducción

1.1 Prólogo

Los yacimientos geotérmicos son aquellos en donde la energía térmica es transportada mediante fluidos y roca. Estos fluidos se desplazan desde la corteza terrestre hasta la superficie y se manifiesta en zonas termales, volcanes y gradiente geotérmico en minas. En el área de estudio posiblemente la geotermia se presente de manera no convencional (asociadas al decaimiento de isótopos radioactivos U, Th y K), ya que la zona presenta características similares a las investigadas en el país de Australia. De acuerdo con sus estudios y modelos, la fuente de calor del sistema geotermal mejorado generalmente son rocas graníticas que están enriquecidas de elementos radioactivos (U, Th y K). El decaimiento de estos elementos produce calor. Si estas rocas productoras de alto calor están enterradas debajo de un grosor (3000 m) suficiente de rocas térmicamente aislantes típicamente sedimentos (con baja permeabilidad y conductividad térmica), el calor queda atrapado dando como resultado gradientes geotérmicos elevados (Allis et al., 2012, mencionado por Meixner et al., 2014). En la SMO las condiciones geológicas se presentan de manera similar en las cuencas extensionales del *Basin and Range Mexicano*, igualmente, se han reportado valores anómalos de U (miles de ppm) en zircones de ignimbritas y riolitas del Mioceno temprano (Bryan et al., 2008).

El presente trabajo aporta conocimiento geológico básico novedoso sobre los yacimientos geotérmicos no convencionales. Para su estudio se seleccionó solamente una parte llamada “transecto Jalpa”, que representa un sector del Graben de Juchipila. El Graben de Juchipila abarca una superficie aproximada de 2210 km² y se encuentra ubicado dentro de los estados de Aguascalientes, Jalisco y Zacatecas, éste presenta un sistema de fallas NNE en su mayoría y puede estar relacionado con el evento extensivo *Basin and Range Mexicano*. El Graben de Juchipila al igual que otros grabens cercanos como: Tlatenango (Zacatecas y Jalisco), Santiago Paspasquiario, Mezquital y Santiaguillo (Durango), presentan emanaciones termales y sus manantiales llegan a temperaturas de 35 hasta 74 grados centígrados. El incremento de temperatura en la zona pudo haberse consumido después de la fase extensional, pero, de acuerdo con las actuales emanaciones termales sabemos que sigue activa la propagación de calor, por lo que, probablemente las

anomalías estén asociadas a las rocas silíceas con alto contenido de isótopos radioactivos (U, Th y K).

1.2 Localización y vías de acceso.

El área de estudio se encuentra localizada en la posición centro - norte del Graben de Juchipila principalmente en los alrededores del poblado de Jalpa (Fig. 1). Su extensión abarca de este a oeste 48.5 km y de norte a sur 21 km, por lo cual comprende una superficie de 1018.5 km^2 . Esta área se encuentra en las cartas geológicas a escala 1:250,000 (AGUASCALIENTES F13-9) y 1:50,000 (JALPA F13-D27) del Servicio Geológico Mexicano (SGM), al igual que en cartas topográficas a escala 1:50,000 (CALVILLO F13-D27) y geológicas con escalas 1:50,000 (TEPECHITLÁN F13-D26 y JALPA F13-D27) editadas por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). La zona de estudio está delimitada por un polígono rectangular cuyos vértices tienen las siguientes Coordenadas Geográficas: 1. $21^{\circ}43'27.40''\text{N}$, $103^{\circ}10'11.02''\text{W}$, 2. $21^{\circ}43'23.56''\text{N}$, $102^{\circ}42'36.06''\text{W}$, 3. $21^{\circ}32'9.77''\text{N}$, $102^{\circ}42'31.31''\text{W}$ y 4. $21^{\circ}32'5.21''\text{N}$, $103^{\circ}10'14.85''\text{W}$.

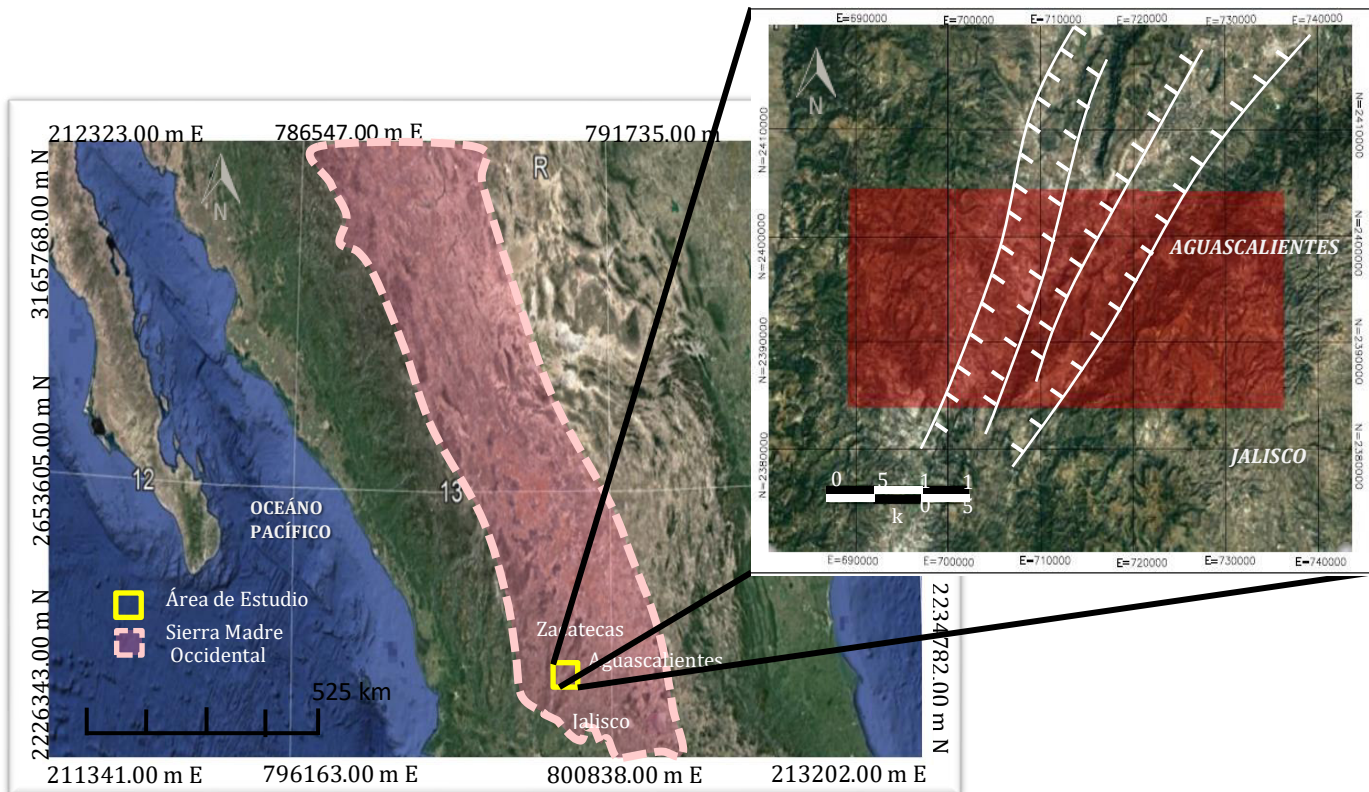


Fig. 1. Mapa mostrando la Provincia Fisiográfica Sierra Madre Occidental y dentro de ella se encuentra el transecto centro-norte del Graben de Juchipila

1.3 Fisiografía y Geomorfología

El área de estudio forma parte de la gran Provincia Fisiográfica Sierra Madre Occidental (SMO), tiene una elevación de aproximadamente 2,500m a 3,000m y una extensión de 1,200 km. Esta provincia cuenta con una dirección noroeste-sureste de manera paralela a las costas del Océano Pacífico y Mar Cortés. Limita al Este con las provincias de las Sierras y Llanuras del Norte y la provincia de la Mesa del Centro; en la porción Oeste con las provincias de la Llanura Sonorense y Llanura Costera del Pacífico; en la parte Sur con el Cinturón Volcánico Transmexicano (CVTM) o también conocido como Eje Neovolcánico y por último al Norte con Estados Unidos y la provincia Sierras y Llanuras del Norte (Provincia Sierra Madre Occidental, 2018) (Fig. 3).



Fig. 3. Mapa de Provincias Fisiográficas tomado de INEGI. Dentro del recuadro ubicado del lado izquierdo inferior viene la simbología indicando dónde se encuentra la Sierra Madre Occidental y las provincias colindantes a ésta.

De acuerdo con su geomorfología, la Sierra Madre Occidental originalmente era una meseta extensa, pero conforme a la conjunción de distintos procesos como erosión, actividad tectónica, rasgos litológicos, fallamiento y meteorización su relieve fue

cambiando con el paso de millones de años. Ahora podemos observar pronunciadas montañas, valles longitudinales, mesetas de grandes extensiones que muestran diferentes elevaciones y grados de disección (INEGI; 2008; Características edafológicas, fisiográficas, climáticas e hidrográficas de México).

De acuerdo con el Anuario Estadístico y geográfico de Zacatecas de INEGI (2017) la Sierra Madre Occidental se divide en cuatro subprovincias fisiográficas: Sierras y Llanuras de Durango, Gran Meseta y Cañones Duranguenses, Mesetas y Cañadas del Sur y Sierras y Valles Zacatecas (Fig. 4). El área de estudio se encuentra dentro de las subprovincias: 1) *Mesetas y Cañadas del Sur* (Fig. 4), ésta forma parte de la zona oriental de la Sierra Madre Occidental. Todo el paisaje está constituido por altas mesetas (máxima elevación 2600 m.s.n.m; Sierra Morones) orientadas noreste-suroeste y se encuentran interrumpidas por cañones y cañadas, los cuales son resultado del tectonismo y erosión fluvial de rocas volcánicas y volcanoclásticas propias de la sierra; y 2) *Sierras y Valles Zacatecanos* (Fig. 4), esta subprovincia se caracteriza por tener sierras y mesetas alargadas (mayor a 300 km) con grados de pendientes promedio. Las topoformas que se presentan en la porción zacatecana de la subprovincia son las siguientes: sierras altas (2,850 m.s.n.m) y bajas (2,300 m.s.n.m), sierras altas y bajas con mesetas, superficie de gran meseta (mayor a 500 m.s.n.m), de meseta pequeña (menor a 500 m.s.n.m), de meseta pequeña con cañadas, mesetas escalonadas, mesetas escalonadas con cañadas, valle intermontano, lomerío, lomerío con cañada, con bajada, con llanura y de pie de monte, piso amplio de valle y amplio de valle con lomerío. (INEGI; 1981; Síntesis Geográfica de Zacatecas).

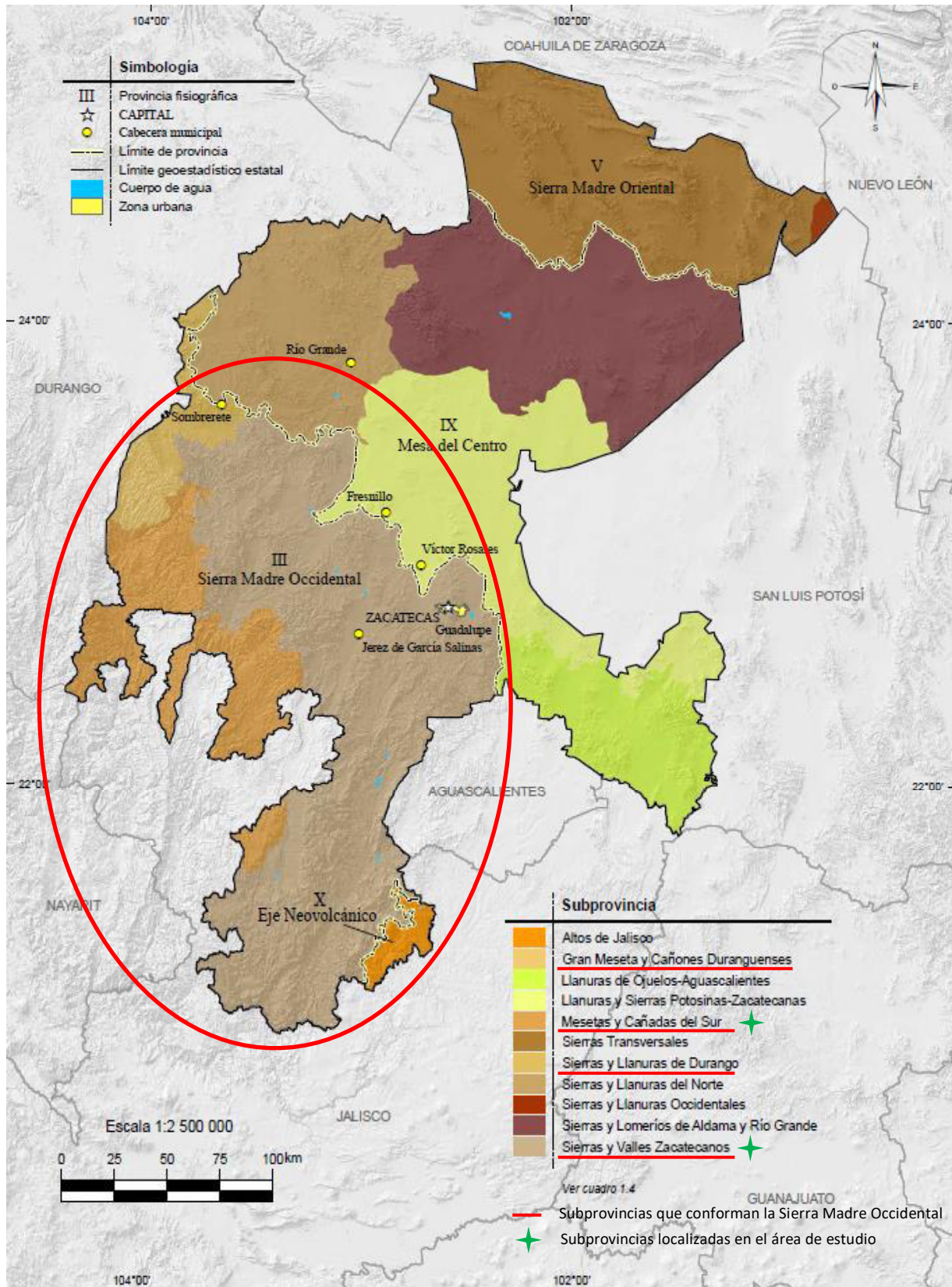


Fig. 4. Mapa del Estado de Zacatecas tomado y editado de INEGI; 2017. Presenta las Provincias Fisiográficas y sus subprovincias que lo conforman. El círculo rojo representa las provincias que están localizadas en el área de estudio.

1.4 Marco Teórico

1.4.1 Geotermia y energía geotérmica convencional

La Geotermia, en general se le denomina a la energía térmica natural que existe en el interior de la Tierra (González Partida et. al, 2016)

La energía geotérmica, en la parte práctica, se define como el uso y estudio de la energía térmica que es transportada por medio de roca y fluidos, esta proviene desde el interior de la corteza terrestre y se desplaza hasta la superficie para dar origen a los sistemas geotérmicos (González Partida et. al, 2016).

Las energías que son de uso frecuente en todo el mundo o que son las fuentes más comunes para producir energía eléctrica se le denominan como “energías convencionales”. La energía térmica es una de las más utilizadas y no ha tenido mayores cambios, solamente, en lo que respecta a la automatización de arranques, regulación y apagado de estas, al igual que al rendimiento y eficiencia de equipos térmicos (Milla, 2002).

Si juntamos los términos de “energía geotérmica” y “energía convencional” una definición podría ser la siguiente: La energía geotérmica convencional es aquella energía de uso frecuente, donde el calor proviene desde el interior de la corteza y es transportado por roca y fluidos hasta la superficie terrestre.

1.4.2 Gradiente geotérmico y yacimiento geotérmico convencional

El calor proviene del enfriamiento gradual del núcleo de la Tierra, aunque, la mayor cantidad se produce por el decaimiento de elementos radioactivos encontrados en el manto. Mediante la descomposición estos elementos producen lo que es llamado “calor geotérmico”, este calor se mueve por conducción y convección. Una de las manifestaciones de este fenómeno es visto por la actividad de volcanes en la superficie, pero otra forma de tenerlo presente constantemente es mediante el flujo térmico conductivo o también llamado gradiente geotérmico normal ($33^{\circ}\text{C}/\text{km}$). Este permite conseguir un aproximado de la cantidad de flujo de calor que proviene desde el manto hasta la superficie terrestre (González Partida et. al, 2016).

Las condiciones óptimas para la existencia de un yacimiento geotérmico son las siguientes:

- 1) Fuente de calor.** El magma en gran volumen y de alta temperatura encontrada en la corteza terrestre puede generar el calor adecuado para formar un sistema geotérmico cercano a la superficie de la Tierra. Este magma puede ser originado por una intrusión en proceso de enfriamiento o por una cámara magmática. Para que un área sea de mayor interés se necesita que el volumen del magma se encuentre a poca profundidad (7 a 10 km) y que las diferentes fallas o bloques fallados formen trampas adecuadas (González Partida et. al, 2016).
- 2) Material permeable y su base impermeable (por donde circula el fluido).** Para que un yacimiento geotérmico sea viablemente explotable, la permeabilidad debe de presentar un volumen extenso y estar localizado dentro de un sistema hidrológico que permita la recarga hidráulica en la zona de explotación. La permeabilidad puede ser primaria (de acuerdo con la porosidad de la roca) o secundaria (fracturamiento de la roca), en este caso, la mayoría de los campos está regida por esta última. La deformación tectónica tipo frágil y concentración térmica aumentan la permeabilidad, mientras que la expansión térmica, deformación dúctil y depositación química de minerales sellan la roca. En cuanto a la circulación de fluidos (en su mayoría agua meteórica) se necesita que la roca del yacimiento esté en contacto con la superficie por un afloramiento o por medio de fallas o fracturas que corten las rocas impermeables, así el movimiento de los fluidos está asegurado. Esto en consecuencia produce manifestaciones termales (González Partida et. al, 2016).
- 3) Capa o sello que no permita la salida del fluido.** Esta capa sello se compone por una roca o secuencia de rocas impermeables como: rocas sedimentarias (arcilla, limo, arenas, etc.) o rocas impermeabilizadas por auto sellamiento. Para determinar los espesores de las unidades es necesario de estudios geofísicos (González Partida et. al, 2016).

1.4.3 Aprovechamiento de la energía geotérmica convencional

En la actualidad la energía geotérmica convencional en México es aprovechada para la generación de energía eléctrica, aunque, cabe mencionar que en otros países los recursos geotérmicos también son utilizados por una gran variedad de actividades, tales como: calefacción (Islandia, Estados Unidos y Filipinas), lavado y secado de lana (China y Nueva Zelanda), industria papelera (Australia, China y Nuevaaa Zlanda), producción de ácido sulfúrico (Nueva Zelanda), manufactura de cemento (Islandia y China), procesado de alimentos (Estados Unidada y Filipinas), etc (González Partida et. al 2016).

1.4.4 Energía geotérmica no convencional

Como ya se había explicado anteriormente la energía geotérmica es aquella que proviene del interior del Tierra. Por otro lado, las energías “no convencionales” son aquellas que no son muy comunes en el mundo y son de uso limitado, ya que la obtención, transformación y producción a energía eléctrica es muy costosa (Milla, 2002).

Por ello, podemos definir “energía geotérmica no convencional” como: Energía de no muy común y de uso ilimitado, donde el calor proviene desde el interior de la Tierra. En los últimos años este tipo de recursos geotérmicos se han estudiado más a fondo para explicar el funcionamiento del yacimiento y determinar si este tipo de energía no convencional presenta algún potencial geotérmico.

1.4.5 Estudios recientes en Australia

Las investigaciones y estudios más recientes en los que se hace referencia la geotermia no convencional se han llevado a cabo en Australia. Los sistemas geotérmicos que se encuentran en Australia son de tipo no convencional (Meixner et. al, 2014). Australia se encuentra en el centro de la placa australiana, lejos del volcanismo activo o rifting, por lo que lo que se excluye de los sistemas geotérmicos convencionales como fuente de calor. Para el tipo de energía geotérmico no convencional las fuentes de calor son generalmente rocas graníticas Paleozoicas y Precámbricas, que se enriquecen en los elementos radiactivos uranio (U), torio (Th) y potasio (K). La descomposición de estos elementos (decaimiento radioactivo) con el tiempo genera calor (Allis et. al, 2012, citado por Meixner et. al, 2014). Estas rocas productoras de calor se encuentran cubiertas por un

paquete sedimentario grueso (> 3500 m) (las cuencas apiladas de Cooper, Eromanga y Lake Eyre) que proporciona suficiente aislamiento térmico para atrapar el calor radiogénico. Esto ha resultado en temperaturas superiores a 244 ° C a profundidades de menos de 5 km (Beardsmore, 2004; Chopra y Holgate, 2005; Wyborn, 2012; Hogarth et al., 2013, citado por Ayling et. al, 2016).

Algunos de los estudios que se han realizado para asumir o determinar el potencial geotérmico no convencional en Australia son los siguientes: modelos termales en 3D, modelamiento térmico estocástico, monitoreo magnetoteléurico de mejora de permeabilidad, mapa en 3D de la distribución de temperatura, modelación térmica y flujo de calor, modelo de inversión gravitacional, trazadores geoquímicos, entre otros.

De acuerdo a lo dicho anteriormente, los yacimientos geotérmicos no convencionales siguen siendo poco conocidos, por lo que requieren de un amplio campo de estudio para determinar su potencial.

1.5 Antecedentes

Para contextualizar la geología y estructura de la región en la que se ubica el Graben de Juchipila y la zona de estudio, se realizó una investigación bibliográfica. Los trabajos previos encontrados, que resultan de relevancia para el presente trabajo, se enumeran a continuación, junto con una breve descripción de lo reportado en ellos.

McDowell y Keizer (1977) definen que la Sierra Madre Occidental (SMO) es una meseta lineal de 1,200 km de longitud y de 200 km a 300 km de ancho con una máxima elevación de 3,000 m.s.n.m. La provincia consta principalmente por rocas volcánicas silícicas que se generaron en la edad del Terciario Medio. Ellos determinaron la distribución de rocas de la provincia SMO en la Ciudad de Durango y dentro de un transecto de la carretera Durango-Mazatlán. Por otra parte, los estudios geocronológicos que realizaron sugieren que desde el inicio y el final de los episodios magmáticos calco-alcalinos en el oeste de México hubo cambios de movimientos de las placas dentro de los 45, 32 y 23 Ma.

Basados en estudios estratigráficos y análisis geoquímicos **McDowell y Clabaugh (1979,1981)** determinaron que rocas ubicadas en Durango, Mazatlán y Chihuahua se dividen en dos episodios extensos de rocas ígneas. Ambas secuencias son calco-alcalinos y contienen ignimbritas, pero son diferentes en otros aspectos. La secuencia inferior (100 a 45 Ma) contiene rocas batolíticas y volcánicas de composición intermedia con deformación sintectónica (contemporáneo a los movimientos de formación tectónica). Entre los 45 a 34 Ma, el magmatismo disminuyó y posteriormente una aparición de actividad volcánica surgió formando la secuencia superior (34 a 27 Ma), probablemente producida por calderas. Esta se encuentra conformada por flujos de ceniza, lavas máficas e ignimbritas o tobas riolíticas. Para concluir, mencionan que la actividad ígnea en esta provincia decreció bruscamente después de 27 Ma, ya que el proceso de subducción comenzó a disminuir.

Lahiere (1982) estudió la petrología de depósitos lacustres, a los que informalmente llamó "Formación Juchipila", expuestos en el valle del Río Juchipila. El objetivo principal de su estudio fue determinar el ambiente de depósito, la extensión y diagénesis de dichos depósitos. Definió cinco litofacies, las cuales están conformadas por limolitas tufáceas, limolitas tobáceas, conglomerados y areniscas con fósiles como gasterópodos, oolitos, fragmentos de madera y raíces. Como conclusión el autor determinó que la deposición de la Formación Juchipila fue la siguiente: 1) los depósitos de costa se concentran en el norte y 2) los depósitos profundos o centrales de la cuenca están expuestos en el sur. También concluyó que de acuerdo con la información paleontológica la depositación de esta formación ocurrió durante el Mioceno tardío.

Mediante análisis petrográficos y estratigráficos **López (1991)** caracterizó dieciocho litofacies y estableció un marco de depósito de la secuencia sedimentaria "Formación Juchipila". Argumenta que los sedimentos lacustres se encuentran depositados de manera inconforme al Supergrupo Volcánico Superior (SVS) por el fallamiento posterior a la formación del graben. Debido a la presencia de depósitos piroclásticos intercalados, sugiere que el área era volcánicamente activa mientras se formaba el valle. De acuerdo a las relaciones estratigráficas vertical y lateral, muestran cuatro entornos de deposición: abiertos lacustres, abanicos aluviales, distales y lacustres

marginales. A medida que disminuía la afluencia terrígena se producía una deposición de carbonatos, la cual tuvo lugar principalmente en las partes centrales y marginales del lago.

A partir de distintos estudios, **Henry y Aranda-Gómez (1992)** proponen que gran parte del norte y centro de México constituye una porción del Basin and Range de Norteamérica. Por otra parte, el *Basin and Range Mexicano* es un área que va del norte del país posiblemente hasta el Cinturón Volcánico Transmexicano (CVTM). Los autores Henry y Aranda-Gómez establecen que los principales episodios de fallamiento fueron acompañadas por erupciones de basaltos alcalinos, alrededor de los 23 a 24 Ma y 12 a 13 Ma, típicos de ruptura intraplaca y mencionan que **Stock and Hodges (1989)** y **Henry (1989)** sugieren que la extensión este-noreste en la SMO se produjo al oeste de la SMO en la época del Mioceno, alrededor de lo que hoy es el Golfo de California.

Mediante la recolección de muestras dentro de la SMO y CVTM, análisis de edades radiométricas y estudios microtectónicos previos, **Garduño y Gutiérrez-Negrín (1992)** juntaron todos los datos de estos estudios para presentar una clasificación general de los periodos de ausencia de actividad volcánica en la SMO y Cinturón Volcánico Transmexicano (CVTM). Determinaron tres episodios magmáticos distintos los cuales son: El primer evento de 28 a 25 Ma coincide con el final de una fase compresiva previa al Basin and Range, el final del siguiente suceso, que duró de 17 a 15 Ma, parece señalar el inicio del volcanismo basamental del CVTM. El último de 7 a 5 Ma sólo se presenta en las porciones oriental y occidental del CVTM.

Webber et al. (1994) realizaron estudios estratigráficos y geoquímicos de la porción sureste de la SMO en Juchipila, Zacatecas; esto con la finalidad de establecer una columna estratigráfica que ayudara a reconocer los episodios magmáticos que se presentaron en el área de estudio. Distinguieron cuatro: 1) consiste en flujos de lava de traquiandesita-andesita (62%wt de SiO₂ y 7%wt Na₂O+K₂O), basalto-andesita (55%wt de SiO₂ y 4.8%wt de Na₂O) y basalto-traquiandesita (53%wt de SiO₂ y 6.3%wt Na₂O+K₂O) el Eoceno. Determinaron la edad de esta unidad por el método K-Ar (separación de feldespatos) y obtuvieron una edad de 48 ± 2.6 Ma superpuesta por el

2) segundo episodio que se conforma AFT (Ash-Flow Tuff, por sus siglas en inglés o en español se traduce como tobas de flujo de ceniza) conformada por ocho unidades las cuales son: Toba Presa Los Luna, Toba Cerro Caballos, Toba Los Indios (25.9 ± 2.5 Ma), Toba Mesa Galeana (24 ± 2.7 Ma), Toba Las Presas, Toba Mesa La Laguna, Toba Boquillas y Toba San Miguel (25.2 ± 2.2 Ma). En la misma secuencia se tiene un Miembro de Toba Amarillo con edad de 25.3 ± 2 ; 3) el tercer evento formado por flujos de lava de basalto en el Oligoceno (23 ± 1.4 Ma) y para finalizar; 4) el cuarto evento formó flujos de lava basáltica y andesítica intercalados con AFT (Ash-Flow Tuffs o tobas de flujo de ceniza). Por último sugieren que las AFT (Ash-Flow Tuffs o tobas de flujo de ceniza) surgieron de al menos dos calderas llamadas “Juchipila” y “Jalpa”, encontradas alrededor de las ciudades respectivas (Fig. 5).

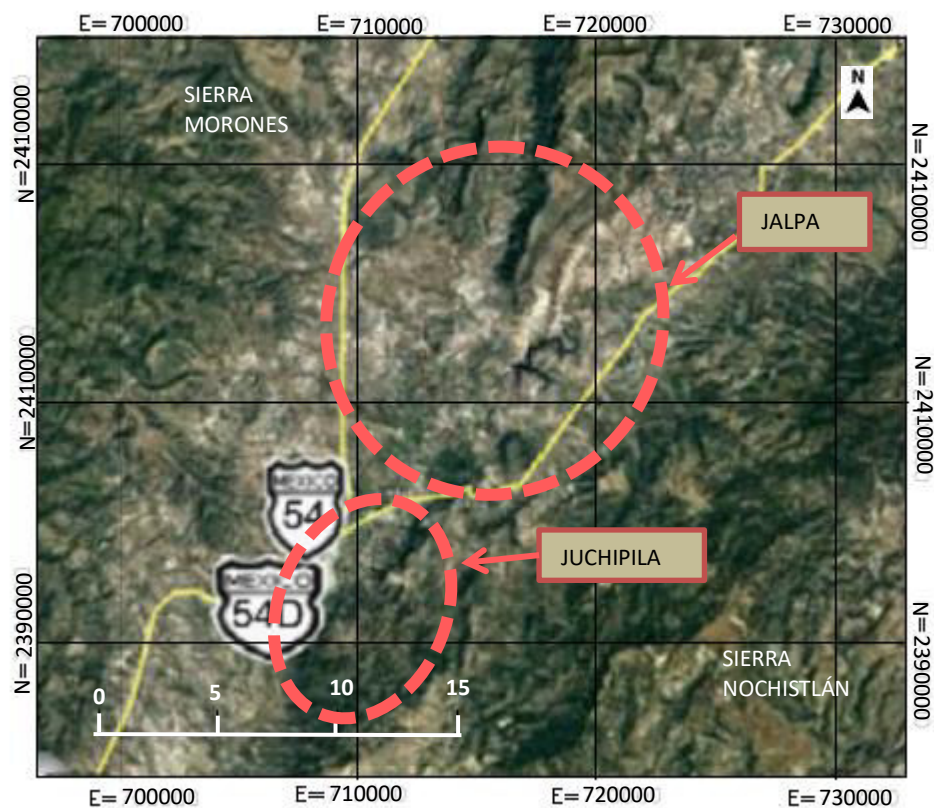


Fig. 5. Imagen de satélite obtenida en Google Earth que nos muestra la ubicación de las calderas propuestas por Webber. (Modificado y tomado de Webber et al., 1994).

Nieto-Samaniego et al. (1996) realizaron estudios geocronológicos de muestras obtenidas en el Cerro El Cabrito-La Tomatina ubicado en el estado de Aguascalientes, cerca de Calvillo. El área presenta domos riolíticos e ignimbritas. La primera muestra llamada Riolita Venaderito fue obtenida en el Cerro El Picacho, sobre la carretera Aguascalientes-Calvillo, esta roca fue fechada mediante el método $40_{Ar}/39_{Ar}$ y reportaron una edad de 40.6 ± 1 Ma, por lo que se ubica dentro del Eoceno tardío. La segunda muestra igualmente fechada por el método $40_{Ar}/39_{Ar}$ es una ignimbrita formada por cinco miembros (Ignimbrita Presa Los Arquitos), ésta fue tomada al norte del poblado La Tomatina, se obtuvo la edad de 47.2 ± 1.2 Ma por lo que se la asigna una edad del Eoceno Medio.

De acuerdo a sus trabajos iniciales **Aranda-Gómez et al., (2000)** generaron diagramas tectonomagmáticos y modelos geodinámicos donde se relacionan el magmatismo, la tectónica, naturaleza del basamento continental, manto litosférico y la dinámica de placas, para explicar el origen y evolución de la SMO, el fallamiento de la parte meridional del Basin and Range y la interrelación entre ambos en la edad Post-Paleocena. Aranda-Gómez et al., concluyeron acorde a los rasgos más sobresalientes que: 1) En los periodos 30-27, 27-24, 13-10 y <5 Ma hubo actividad magmática y pulsos de extensión simultáneos a través de la parte meridional del Basin and Range; 2) La intensidad y carácter de cada uno de los pulsos varió de manera sistemática de un lugar a otro y 3) El volcanismo asociado al margen convergente con dirección norte-sur cambió a un magmatismo intraplaca con dirección este a oeste.

Ferrari et al., (2002) realizaron un mapeo geológico, tomaron datos estructurales en la parte sur de la SMO e hicieron fechamientos isotópicos utilizando el método $40_{Ar}/39_{Ar}$ para obtener nuevas edades. Los autores demuestran que la SMO se formó en dos episodios volcánicos de ignimbrita (*ignimbrite flare-up*) el primero dentro del periodo del Oligoceno (31.5-28 Ma) y el segundo durante el Mioceno temprano (23.5-20 Ma). En el segundo evento, la deformación extensional se produjo principalmente antes de la transferencia de Baja California a la placa del Pacífico.

Aguirre Díaz y Labarthe-Hernández (2003) presentaron evidencias geológicas que indican que las ignimbritas fisurales que afloran en el sur de la SMO, Juchipila, Zacatecas, muestran una tendencia regional de fallas de Basin and Range y sirvieron como conductos de salida. Para explicar mejor ésta teoría propusieron un modelo en el que cámaras de magma del tamaño de batolitos alcanzaron niveles de la corteza poco profundos y entraron en erupción cuando las fallas normales alcanzaron las cámaras. Como consecuencia las fallas actuaron como respiraderos y ayudaron a causar una descompresión cuando se abrió la corteza, por lo que grandes volúmenes de magmas silícicos estallaron explosivamente. Para finalizar comentaron que los magmas riolíticos desvolatizados se colocaron como cúpulas o diques y a este término lo denominaron “ignimbritas de fisura o ignimbritas fisurales”.

En su artículo **Ferrari et al. (2005)** pretenden resumir el conocimiento geológico sobre la evolución de la tectónica y magmatismo del Cretácico al Cenozoico en la SMO; mediante información estratigráfica, estudios geocronológicos, geofísicos, geoquímicos, petrográficos, modelos de cinemática, geometría y fallamiento que ha afectado a la SMO. Mencionan que la estratigrafía de la SMO consta de cinco conjuntos ígneos: 1) rocas plutónicas y volcánicas; 2) rocas volcánicas andesíticas y dacítico silícicas; 3) ignimbritas silícicas; 4) coladas basalto-andesíticas y 5) coladas de basaltos alcalinas e ignimbritas. Mediante estudios geoquímicos y petrológicos los autores indican que las rocas de la SMO forman un conjunto calco-alcalino con altas concentraciones de K y muy bajas en Fe. Por otro lado, mencionan que la petrogénesis fue dominada por procesos de mezcla de asimilación-cristalización fraccionada para producir grandes volúmenes silíceos y menores de magmas basáltico-andesíticos. Los autores mediante los estudios geofísicos muestran que en la parte del núcleo de la corteza el espesor máximo es de 55 km y en la parte este presenta 40 km. En la franja costera del Golfo de California los espesores tienen un rango de 25 km y el espesor anómalo en la parte central de la corteza indica que esta fue intrusionada por magmas máficos. Finalmente, concluyen que, de acuerdo con la tectónica y el magmatismo, la SMO es el resultado de la evolución del sistema de subducción Cretácico-Cenozoico. El origen de todos los pulsos ignimbríticos posiblemente

fue generado por la sustracción de la placa de Farallón, lo cual produjo un alto grado de subducción y el despegue de la parte más profunda de la placa subducida.

Aguirre-Díaz et al. (2008) resumen las principales características de la provincia volcánica SMO centrándose en los grabens de Bolaños, Juchipila, Malpaso y algunos en San Luis Potosí en el evento “Ignimbrite Flare-up” (Fig. 6) que constituyó la mayor parte de una secuencia de ignimbritas silíceas. Proponen un modelo para explicar el término “caldera-graben” de acuerdo a observaciones geológicas en campo y con ello incluyen cinco líneas de evidencia: (1) diques piroclásticos que usaron fallas regionales como conductos, (2) brechas coignimbrita líticas que ocurren junto a las fallas del graben, (3) lava silícica post-colapso y diques de lava que ocurren alineados a lo largo de las fallas principales del graben, (4) inclinación hacia el interior y/o caótica de bloques caídos dentro del graben, (5) variaciones drásticas de espesor de la ignimbrita intra-graben con respecto a la ignimbrita de salida. Al final concluyen que las calderas ya mencionadas incluyen tres tipos: de un solo bloque, de rompecabezas y caldera medio-graben.

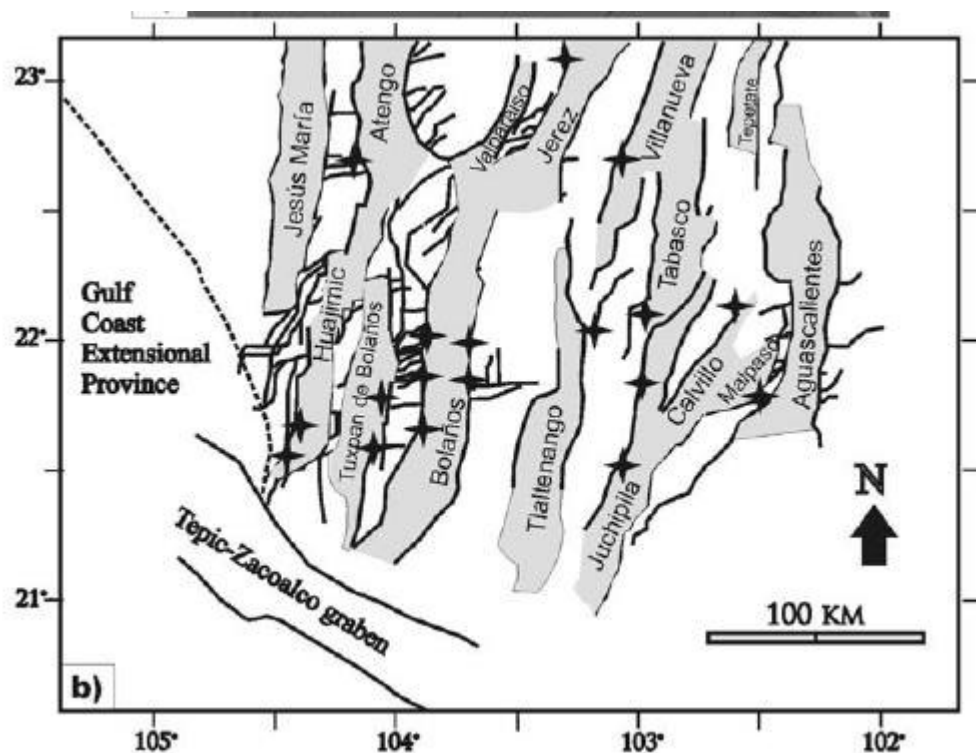


Fig. 6. Mapa de los grabens encontrados al sur de la Sierra Madre Occidental incluyendo al graben Tepic-Zacoalco y la Provincia Extensional del Golfo. Se muestra el nombre de los grabens, al igual que las estructuras mayores que rigen los límites de cada uno. (Tomado de Aguirre-Díaz et al., 2008).

En su trabajo **Aranda-Gómez et al. (2008)** realizan una breve descripción de la "Formación Juchipila" de edad Mioceno tardío -Plioceno temprano, la cual fue estudiada en Zacatecas, entre los poblados de Moyahua y Apozol. Mencionan que cuenta con una altura mínima de 200m y se compone por capas de caliza, claystone, mudstone y siltstone calcáreo intercaladas con sedimentos epiclástico- volcánico (arenisca y conglomerado), al igual que presenta algunos horizontes delgados de tobas félsicas de caída. Definen que estas litologías presentan ambientes de depósito lacustre, fluvial y de abanico aluvial en una fosa tectónica con rumbo NNE, en el extremo suroriental de la SMO.

Bryan et al. (2008) realizaron estudios geocronológicos mediante análisis U-Pb (ELA-ICP-MS) de muestras recolectadas en el sector norte (parte central del estado de Chihuahua) y sur (dentro del graben de Bolaños) de la SMO para identificar los cambios que sufrieron los materiales de la corteza que estuvieron involucrados en la petrogénesis de los magmas que formaron el gran volumen de las ignimbritas silíceas. De acuerdo a los resultados obtenidos concluyen que en ambos sectores se tiene una discrepancia de 1 a 4 Ma entre edades previamente determinadas por $40_{Ar}/39_{Ar}$ y edades reportadas en este trabajo de estas mismas ignimbritas. Esta diferencia podría resultar por las fases minerales que se presentan en el magma. Por otra parte, mencionan que los materiales de la corteza tuvieron cambios durante el volcanismo de la SMO por dos razones: 1. Incremento de intrusiones y actividad ígnea dentro de la corteza con el paso del tiempo y 2. Migración lateral y vertical de la intrusión máfica y fusión de la corteza. Para finalizar comentan que, en el sector sur, las ignimbritas riolíticas jóvenes presentan una subpoblación de antecristales de zircones químicamente distintos en su contenido de U (>1000 ppm a 1.3wt%).

Cárdenas-Rivera y Aguirre-Díaz (2009) mencionan que el Graben de Juchipila tiene un largo de 85 km y un ancho de 20 a 32 km, se localiza dentro de los estados de Aguascalientes, Jalisco y Zacatecas, está rodeado por horsts que forman la Sierra Fría, Nochistlán y Morones y se encuentra bordeado por un sistema de fallas NNE, por lo que se relaciona con la tectónica extensional del Basin and Range. Afirman que a lo largo de las

paredes del graben se tiene una secuencia volcánico- sedimentaria que consta de: andesitas y capas rojas (areniscas y conglomerados) del Eoceno, ignimbritas riolíticas de gran volumen y domos riolíticos del Oligoceno, andesitas de grano fino del Mioceno que son propiamente del CVTM y sedimentos lacustres y fluviales (Mioceno al Presente) que rellenan el graben.

Ferrari et al. (2013) presentan un nuevo mapa geológico regional a través de mapas a escala 1:50,000 de SGM, trabajo de campo, análisis de edades radiométricas y datos geoquímicos. Con ello proponen la posibilidad de una extensión más temprana en la Provincia Extensional del Golfo de México (GEP) durante el Oligoceno a Mioceno Medio y el episodio silícico del Mioceno Temprano de la SMO. Por lo que se muestra que ocurrió un adelgazamiento sustancial de la corteza antes del final de la subducción a los 14 a 12 Ma. Suponen que la extensión de Basin and Range y el volcanismo de la SMO representan la etapa inicial de un largo proceso de separación que llevó a la formación del Golfo de California.

1.6 Justificación.

Este proyecto se centra en el estudio estructural y estratigráfico del transecto centro- norte del graben de Juchipila para saber su formación y evolución y así determinar si el área de estudio es una zona de potencial geotérmico no convencional.

Para evaluar el potencial geotérmico de cualquier lugar se necesita tener un conocimiento detallado de la geología de la zona. Primeramente se determina si es el área es adecuada para la explotación geotérmica, para ello se tienen que reunir ciertas características de acuerdo a lo observado en otras zonas similares. Por esta razón se realizó la cartografía geológica del área de interés para conocer la distribución espacial de las unidades de las rocas que afloran, datos estructurales para entender con mayor precisión la geometría del graben, generar un mapa geológico-estructural a detalle, saber la ubicación de las principales estructuras geológicas y realizar análisis cinemáticos y dinámicos para comprender la formación y evolución del graben.

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo General

Realizar un trabajo de cartografía geológico-estructural a detalle que aporte un conocimiento puntualizado sobre la distribución de las rocas y la configuración estructural en el transecto Jalpa, porción centro-norte del Graben de Juchipila.

1.7.2 Objetivos Específicos

- a) Elaborar un mapa geológico-estructural a mayor detalle de la cartografía existente del transecto Jalpa.
- b) Establecer la columna estratigráfica de la zona de estudio.
- c) Determinar la distribución, geometría y cinemática de las fallas principales que forman el Graben de Juchipila en la zona de estudio.
- d) Comparar las similitudes y diferencias geológicas entre el transecto Jalpa y la zona geotérmica no convencional de Australia.

1.8 Metodología

De acuerdo a las actividades señaladas anteriormente se tiene un desarrollo de metodología de la siguiente manera:

1.8.1 Recopilación y análisis de trabajos previos

Se llevó a cabo una recopilación, análisis y síntesis de bibliografía previa disponible sobre el área de estudio y regiones vecinas. Para tener un previo conocimiento del lugar o la zona de estudio. Se seleccionaron artículos publicados, trabajos de tesis y cartas geológicas disponibles en el Servicio Geológico Mexicano (SGM) e Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

1.8.2 Mapa Geológico-Estructural preliminar

Se utilizaron cartas geológicas editadas por el Servicio Geológico Mexicano (SGM) a escala 1: 250,000 (AGUASCALIENTES F13-9) y 1:50,000 (JALPA F13-D27), también se ocuparon cartas topográficas editadas por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía

(INEGI) a escala 1:50,000 (CALVILLO F13-D27) y geológicas con escalas 1:50,000 (TEPECHITLÁN F13-D26 y JALPA F13-D27). Todas ellas se usaron principalmente para determinar contactos geológicos mediante polígonos en el programa Google Earth al igual que señalar estructuras o lineamientos importantes que estuvieran presentes dentro del mapa preliminar. Se hizo una compilación de la cartografía previa disponible utilizando los softwares Google Earth y Quantum Geographic Information System (QGis), revisando mediante fotointerpretación las unidades geológicas definidas en los trabajos previos buscando dar mayor detalle al mapa.

1.8.3 Trabajo de Campo

A través de la recopilación de información de diferentes proyectos y mapas geológicos, se fue detallando el área para posteriormente planear el trabajo de campo. Se realizaron tres salidas, cada una a diferentes zonas del área de estudio. La primera salida consistió en abarcar la zona Oeste, la segunda en la zona Este. En ambas se recolectaron muestras que afloran en el lugar de estudio para su posterior análisis, se tomaron datos estructurales con la ayuda de instrumentos como: brújula, sistema de posición geográfica (GPS), rumbera, entre otros. La tercera salida tuvo como objetivo: completar información acerca de algunas zonas que no se habían podido cubrir en las visitas anteriores. Así que, se colectaron datos estructurales, estratigráficos, se integró la información obtenida en los softwares Google Earth y Quantum Geographic Information System (QGis) y se hicieron secciones geo-estructurales.

1.8.4 Elaboración de Láminas Delgadas

Del total de las 68 muestras obtenidas en campo, solamente se seleccionaron 14 de acuerdo a la importancia de su estudio (Tabla 1), esto se hizo para tener una descripción detallada de las unidades más representativas. La preparación de láminas delgadas se realizó en el laboratorio de petrología del Departamento de Minas, Metalurgia y Geología, División de Ingenierías, de la Universidad de Guanajuato. A continuación se hace un listado de ellas y se habla detalladamente del procedimiento para la elaboración de éstas.

Se generó una tabla (Tabla 1) con el número de lámina y el número de muestra para que con ello se tuviera un control.

Tabla 1. Listado de muestras que fueron utilizadas para análisis petrográfico

No. de Lámina	Muestra	Latitud	Longitud	Altura
1	JAT 1	21°39'58.45"N	103° 9'24.04"O	2502 m.s.n.m
2	JAT 4	21°39'32.46"N	103° 9'22.02"O	2428 m.s.n.m
3	JAT 27 A	21°38'34.36"N	103° 6'9.67"O	1995 m.s.n.m
4	JAT 27 B	21°38'34.36"N	103° 6'9.67"O	1995 m.s.n.m
5	JAT 30	21°38'33.30"N	103° 6'24.15"O	1934 m.s.n.m
6	JAT 33 A	21°36'55.27"N	103° 4'25.98"O	1727 m.s.n.m
7	JAT 33 B	21°36'55.27"N	103° 4'25.98"O	1727 m.s.n.m
8	JAT 41	21°36'40.29"N	102°56'5.99"O	1473 m.s.n.m
9	JAT 42	21°36'2.27"N	102°57'19.88"O	1589 m.s.n.m
10	JAT 44	21°34'57.09"N	102°56'53.88"O	1802 m.s.n.m
11	JAT 47	21°34'49.49"N	102°56'32.53"O	1810 m.s.n.m
12	JAT 52	21°34'32.80"N	102°45'42.38"O	2057 m.s.n.m
13	JAT 53	21°33'40.91"N	102°46'36.11"O	2477 m.s.n.m
14	JAT 54	21°37'26.71"N	102°48'0.52"O	2486 m.s.n.m

De acuerdo al orden del listado de láminas (Tabla 1 y Fig. 7a) y muestras se fue cortando cada una de ellas mediante una cortadora de disco de muestras de campo. El disco presenta un diámetro de 10 pulgadas y dependiendo de la muestra a la que se va a realizar el corte va a ser el tipo de disco. Para las muestras que contienen minerales con una dureza alta (ejemplo: cuarzo) se utiliza el disco de diamante dentado y si la muestra es menos dura se usa el disco de diamante de rin continuo. En este caso se utilizaron ambos discos. Así que, se fue cortando cada una de las muestras hasta que quedaran como un rectángulo con las siguientes dimensiones 4x3x1cm. Con la ayuda de la tabla ya generada se fueron colocando las muestras ordenadamente. Posteriormente se tomó cada una de ellas y se esmeriló para obtener una medida de aproximadamente de 0.5 a 2 mm (Fig. 7b).

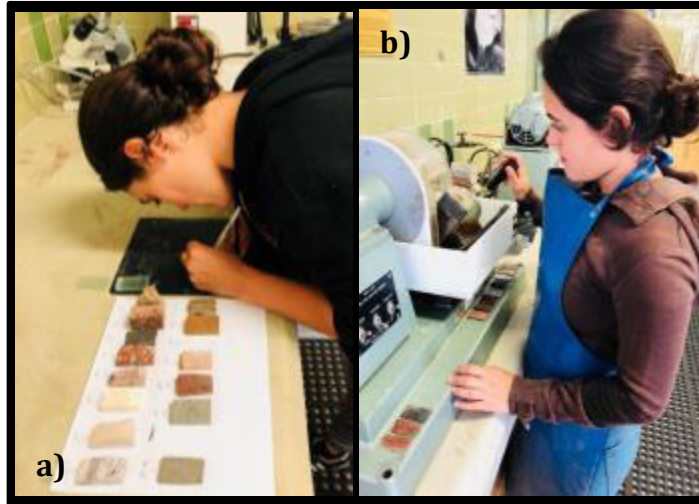


Fig. 7. Muestra el procedimiento que se llevó a cabo para la elaboración de láminas delgadas. a) Ordenamiento de láminas delgadas por número de muestra y b) Cortando las muestras hasta dejarlas a un grosor de 0.5 a 2mm.

Después se pegó la lámina en un vidrio portaobjetos. El tipo de pegamento utilizado se llama loctite epoxy, el cual sólo se ocupa para para pegar rocas por sus propiedades adherentes. Se deja unos segundos apretando la lámina al portaobjetos y posteriormente se lleva a un lugar donde irradie sol para que seque el pegamento. Para finalizar, se pule la lámina iniciando con abrasivo de carbono de silicio de 600 y se termina de pulir con uno de 1000 para desbastar las láminas y dejarlas a un espesor de 30 μm .

1.8.5 Petrografía

Teniendo las láminas delgadas preparadas se pudo llevar a cabo, en las instalaciones del Departamento de Ingeniería en Minas, Metalurgia y Geología, y por medio del microscopio óptico el estudio petrográfico donde se crearon tablas en las que se describieron las características mineralógicas como: textura, hábito, forma, minerales esenciales, minerales accesorios, entre otras; para establecer la formación, cristalización y alteración de los minerales que constituyen cada roca y así mismo poder determinar el tipo de roca según su mineralogía y la estructura de los minerales.

1.8.6 Geocronología

Para tener un mejor entendimiento acerca de la sucesión de rocas antiguas y jóvenes se seleccionaron las más representativas en el del área (muestra JAT-54, JAT-42 y JAT-30) y se realizaron fechamientos isotópicos correspondientes.

Para el procesamiento de las muestras se utilizaron las instalaciones del Laboratorio de Metalurgia del Departamento de Ingeniería en Minas, Metalurgia y Geología. Se molieron las muestras en la trituradora para dejarlas a un tamaño aproximado de 64 mm (grava) (Fig. 8a). Mediante los tamices de malla y acorde con la Norma ASTM, las muestras se tamizaron en orden ascendente de acuerdo al tamaño de malla. En este caso la última que se utilizó para el proceso fue de 180 micras (#80) (Fig. 8b). Esto se hace con la finalidad de que todos los minerales mayores a la medida de la última malla queden aislados y el concentrado final tenga una granulometría homogénea. Se busca concentrar y separar cristales de un mineral llamado zircón, que suele tener tamaños menores a 180 micras, por lo que el material con una granulometría mayor no es considerado (Fig. 8c).

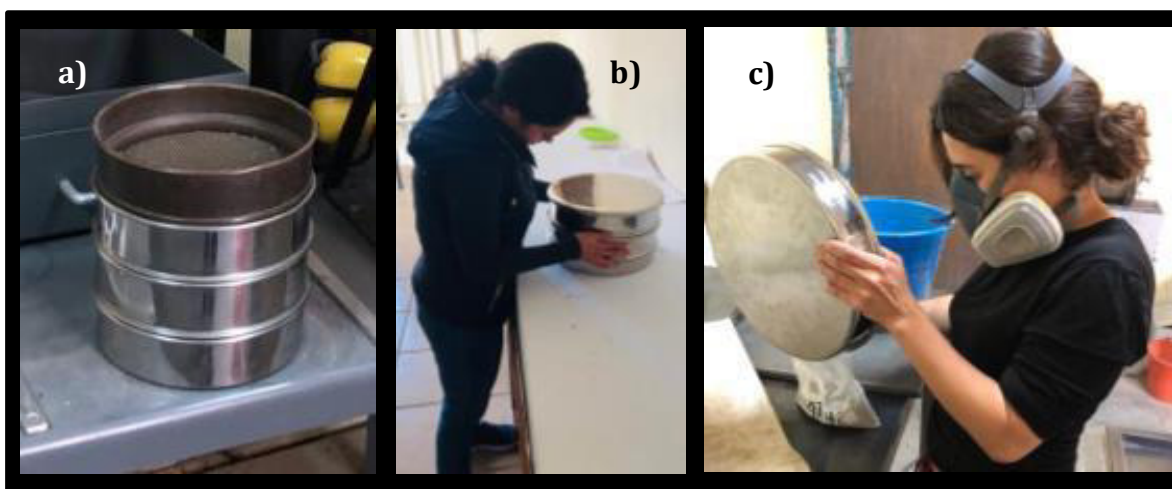


Fig. 8. Proceso de tamizado. a) Tamices en orden ascendente de acuerdo a sus tamaños, b) Tamizando y c) Vertiendo la muestra con el tamaño requerido (180 micras).

Después de haber tamizado, se lava el concentrado final para eliminar todas las partículas finas como polvo de arcillas que alteren el análisis o que haga que el Separador de Laboratorio de Barrera Magnética se traben. Se secan las muestras en el horno de secado de acero inoxidable (Fig. 9a) a una temperatura de 70 a 80 grados Celsius para que, se pasen por el Separador de Laboratorio de Barrera Magnética (Fig. 9b).

Este separador magnético divide los minerales magnéticos de los no magnéticos, puede controlar el movimiento de los materiales y consta de dos bobinas (en espiral) de alambre de cobre. Para comenzar a utilizarlo, este se induce a corriente eléctrica y empieza a generar un campo magnético. Se calibra el amperaje para evitar que se calienten demasiado las bobinas y generar un campo magnético estable. Se deposita el concentrado final de la muestra en un embudo de forma de reloj de arena, el concentrado ingresa y cae por gravedad en dos contenedores: 1) uno donde caen los minerales magnéticos y otro 2) los no magnéticos. La velocidad de caída se calcula a través del rango de susceptibilidad magnética, el peso y densidad del mineral. La inclinación y pendiente de la canaleta tiene un rango de 0 a 40 grados, en este caso para los zircones la inclinación debe ser menor (de acuerdo con su susceptibilidad magnética). Después de cierto tiempo (no se tiene un tiempo específico) se apaga el separador magnético, ya que en muchas ocasiones sucede que, de tantos minerales que atrae el magneto se hace una aglomeración y la separación de los minerales ya no es posible.

Ya separados los minerales, se toma en contenedor que contiene los minerales no magnéticos (zircones, apatitos y otros minerales de los cuales se puede obtener la edad de roca). Los minerales no magnéticos se colocan en una cápsula Petri transparente. Para la identificación de dichos minerales se utiliza un Microscopio Bifocal (Fig. 9c) de luz reflejante. Posteriormente se prepara un vidrio limpio y se pega en él una cinta doble de lado transparente. Los zircones encontrados se colocan de manera ordenada (en columnas o de manera vertical) en la cinta doble de lado transparente. Se montaron 5 columnas con 10 zircones en cada una de ellas, para dar un total de 50 zircones por muestra. Posteriormente se mandaron a analizar los zircones ya montados al Laboratorio de Estudios Isotópicos del Centro de Geociencias (LEI), UNAM, Campus Juriquilla para obtener las edades isotópicas de las muestras (Fig. 9d).

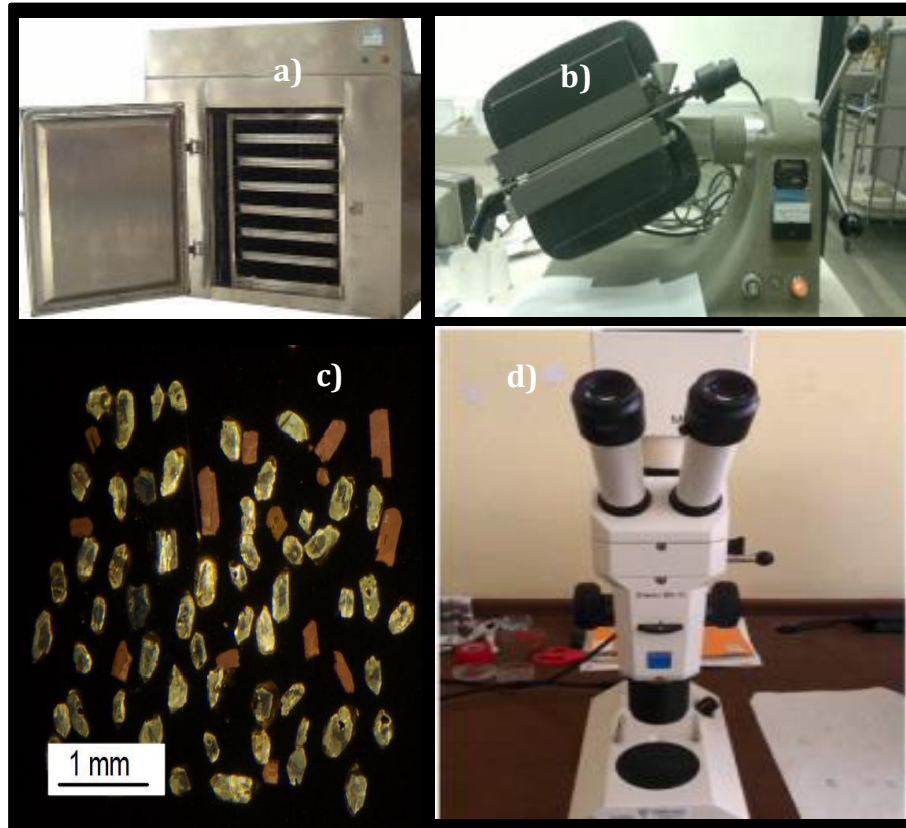


Fig. 9. Máquinas, microscopio y zircones usados en el proceso de preparación de muestras. a) Horno de secado para laboratorio, b) Separador magnético, c) Zircones montados en probeta y d) Microscopio Bifocal reflejante de luz

A la hora de recibir los resultados de los fechamientos isotópicos U/Pb, se interpretó la información de la siguiente manera:

- 1) En la base de datos enviada por el Laboratorio de Estudios Isotópicos del Centro de Geociencias (LEI) se descartaron los zircones que se encuentran fuera del rango de edad esperada.
- 2) Las edades de los zircones se ordenaron de manera descendente (más viejo a más joven)
- 3) Se integró la base de datos en la página web de IsoplotR (<https://www.ucl.ac.uk/~ucfbpve/isoplotr/>), el cual nos ayuda a determinar la edad promedio de la roca mediante los datos de las edades de los zircones.

- 4) Una vez insertada la información se presionó la opción de graficar, la cual muestra la edad promedio de la roca.

1.8.7 Digitalización del mapa

A partir de las notas tomadas en campo, recolección de muestras, obtención de datos estructurales, análisis petrográficos y geocronológicos toda la información es recabada e introducida dentro de los softwares Google Earth y Quantum Geographic Information System (QGis). Con ello se generó un mapa digital geo-estructural definitivo. Posteriormente se crearon secciones geo-estructurales a detalle para generar un modelo inferido de la formación del graben.

Capítulo II. Marco Geológico Regional

2.1 Geología Regional

2.1.1 Estratigrafía Regional

La Sierra Madre Occidental es el resultado de diferentes episodios magmáticos y tectónicos durante el Cretácico-Cenozoico formado por la subducción de la placa Farallón debajo de la placa Norteamericana durante el Terciario medio (Ferrari et al., 2005). Bryan et al. (2002) denominaron a este tipo de cinturones vulcano-plutónicos de composición en su mayoría riolítica como grandes provincias ígneas silíceas (Silic Large Igneous Provinces, SLIP).

Por medio de investigaciones consecutivas, se ha podido llegar a tener más información acerca de la génesis, tectónica, formación y rocas de esta provincia. En lo que respecta a la estratigrafía, Ferrari et al. (2005) mencionan dos grandes episodios magmáticos durante el Cretácico-Cenozoico, en donde la estratigrafía de la SMO se divide en cinco conjuntos ígneos. El primero consiste en rocas plutónicas y volcánicas del Cretácico Superior-Paleoceno; el segundo cuenta con rocas volcánicas andesíticas y en menor cantidad dacítico-riolíticas del Eoceno; el tercero conformado por ignimbritas silíceas emplazadas en dos pulsos durante el Oligoceno temprano y el Mioceno temprano; el cuarto son principalmente coladas basáltico-andesíticas extravasadas después de cada pulso ignimbrítico y el quinto episodio consiste en coladas de basaltos e ignimbritas

alcalinos emplazados en la parte central de la SMO en diferentes episodios del Mioceno tardío, Plioceno y Cuaternario (Fig. 10).

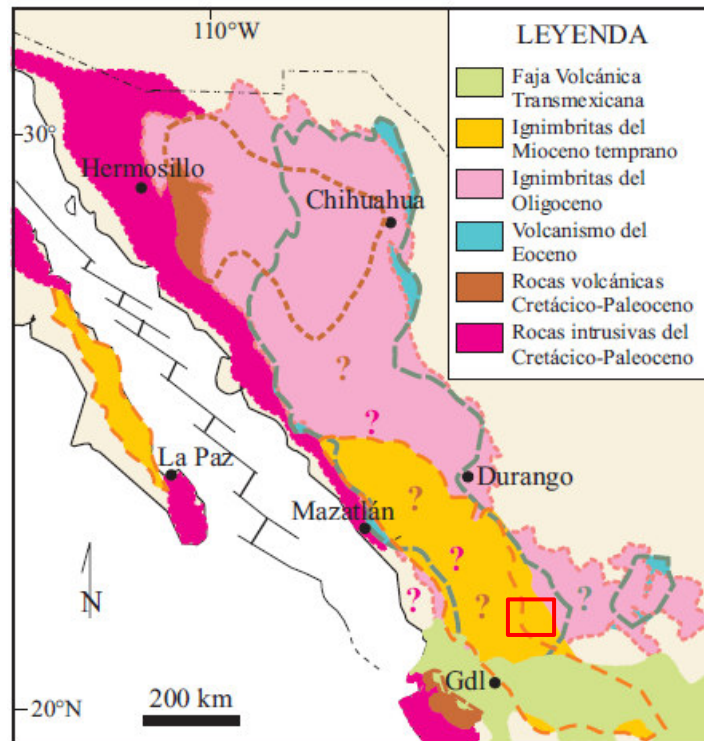


Fig. 10. Conjuntos ígneos que conforman la Sierra Madre Occidental, el cuadrado rojo muestra el área de estudio. (Mapa tomado y modificado de Ferrari et al., 2005).

Anteriormente, McDowell y Keizer (1977) llamaron a los primeros dos conjuntos que mencionan Ferrari et al. (2005) como Complejo Volcánico Inferior (CVI) y el tercero definido como Supergrupo Volcánico Superior (SVS). El cuarto episodio se encuentra en la parte norte de la SMO y por su extensión de acuerdo con Cameron et al., 1989 se determina como “Basalto-Andesitas del Sur de la Cordillera” (SCORBA por sus siglas en inglés). Finalmente, los basaltos del conjunto quinto de Ferrari et al. (2005), han sido interpretados como testigos de varios episodios de extensión relacionados con la apertura del Golfo de California (Henry y Aranda-Gómez, 2000).

Para usos prácticos, la Sierra Madre Occidental fue dividida en 3 sectores por Ferrari et al., (2005): Norte, Centro y Sur. La zona Norte abarca el este de Sonora, parte central y norte de Chihuahua, el noroeste de Durango, el noreste de Sinaloa y ciertas áreas en el estado de Coahuila. El sector Centro presenta una extensión que comprende el sureste de Sinaloa, sur de Durango y norte de Nayarit. Para finalizar, la parte Sur de la Sierra Madre Occidental abarca parte del suroeste de Zacatecas, norte de Jalisco y sureste de Nayarit. Cabe mencionar que el área de estudio no aparece en los mapas de Ferrari et al. (2005), pero la zona más cercana es la región sur de la SMO, por lo que, se hará una descripción de la estratigrafía y la geología estructural de este sector.

2.1.1.1 Estratigrafía Regional del Sector Sur de la Sierra Madre Occidental

A continuación se explicará cada una de las unidades litológicas que la conforman.

2.1.1.1.1 Pre-Cenozoico

Batolitos encontrados a lo largo del flanco de la SMO en los estados de Durango y Sinaloa son relacionados al periodo de actividad magmática 100 a 45 Ma de acuerdo con estudios geocronológicos realizados por Henry (1975) y presentan un origen parecido al de rocas intrusivas y extrusivas, principalmente lavas andesíticas del Cretácico-Paleoceno, las cuales forman parte del Complejo Volcánico Inferior (McDowell y Keizer, 1977; McDowell y Clabaugh, 1979). Rodríguez-Castañeda y Rodríguez Torres (1992) proponen cambiar el término de Complejo Volcánico Inferior por Estribaciones Sierra Madre Occidental de edad Cretácico Tardío hasta Cenozoico medio y lo definen como un supergrupo compuesto por sedimentos, rocas ígneas y volcanosedimentos que afloran en lomeríos y sierras bajas desde Sonora, pasando por Sinaloa hasta Nayarit y Jalisco.

En la parte este de la SMO, en el estado de Zacatecas, afloran cuerpos intrusivos de edad Cretácico- Paleoceno de composición granodiorítica en donde se reportaron fechas K-Ar 74 ± 6 Ma en biotita (Mujica-Mondragón y Albarrán, 1983) y 77 ± 3 Ma en biotita (Solé et al., en prensa, citado por Ferrari et al. 2005). En el flanco oeste de la SMO, dentro del estado de Nayarit se encontraron cuerpos intrusivos de composición ácido-intermedio del

límite Cretácico-Cenozoico en el área de Huajicori-Mineral de Cucharas (Ojeda Macedo, 2017).

En la parte oeste de la ciudad de Zacatecas afloran metasedimentos triásicos, rocas intrusivas terciarias y cretácicas. La Microdiorita Zacatecas es una roca ígnea de composición básica clasificada como “roca verde”, esta se encuentra intemperizada y alterada (Loza-Aguirre, 2005). Ranson et al., (1982) realizó fechamientos por medio del método K/Ar para esta unidad, por lo que, los resultados dieron edades de entre 73.8 ± 2.1 y 75.1 ± 1.9 Ma, ubicándola dentro del Cretácico Superior.

Flujos de lava andesítica del Paleoceno y Eoceno temprano, asociadas al Arco Laramide, se encuentran aflorando al norte de Durango y Jalisco y al sur de Zacatecas de acuerdo con el mapa geológico que presentan Ferrari et al. (2018).

2.1.1.1.2 Cenozoico

Eoceno medio- tardío

En la región de Juchipila Zacatecas las rocas que se formaron en este periodo se relacionan con el Complejo Volcánico Inferior y consisten principalmente por flujo de lavas de composición intermedia. Se determinó mediante K-Ar la edad de una andesita y se reportó de 48.1 ± 2.6 Ma (Webber et al. 1994). Estos flujos de lava se encuentran cubiertos por paquetes de areniscas y conglomerados rojos de más de 200 m de altura conformados por clastos de andesita (Roesler, 1987, citado por Webber 1994).

Derrames, domos de riolita (Riolita Venaderito) e ignimbritas (Presa Los Arquitos) afloran en el Cerro El Picacho dentro de Calvillo y en la Presa Los Arquitos, al norte de del poblado La Tomatina, Aguascalientes, respectivamente (Aranda-Gómez, 1989).

Nieto-Samaniego et al. (1996) determinaron fechamientos de ambas unidades, donde la Riolita Venaderito es de edad 40.6 ± 1.0 Ma, por lo que se ubica en el Eoceno tardío e Ignimbrita Presa Los Arquitos de edad 47.2 ± 1.2 Ma ubicada en el Eoceno Medio. Al sur del estado de Zacatecas y al norte de Aguascalientes entre el límite de la SMO y la Mesa Central afloran distintas litologías. Se le asigna el nombre de Ignimbrita el Devisador

a una roca compuesta por clastos de rocas volcánicas y del basamento mesozoico; por otra parte se reporta un conjunto de depósitos conformados por fragmentos de rocas volcánicas y matriz arenosa (Volcanoclástico Las Viejas), en base a relaciones estratigráficas se asignan edades a ambos depósitos del Eoceno Medio (Nieto-Samaniego et al., 1996). Para la Formación Presillas se obtuvo una edad isotópica de $42.3 \pm \text{Ma}$ por lo que corresponde del Eoceno medio y se describe como un grupo de depósitos piroclásticos constituidos por fragmentos soportados por ceniza (Nieto-Samaniego et al., 1996).

Al sur de la ciudad de Zacatecas fue estudiada por Ponce y Clark (1988, citado por Loza-Aguirre et al., 2008) la formación La Virgen compuesta de dos miembros, el inferior consiste en un flujo de ceniza su color varía de morado a café rojizo y el superior formado por una toba cristalina vítrea, fue analizada y se obtuvo una edad de 36.8 Ma , con base a ello se ubica en el Eoceno tardío (Loza-Aguirre et al., 2008).

Escalona-Alcazár et al. (2016) obtuvieron fechamientos U-Pb del Conglomerado Zacatecas que pertenece a los lechos rojos del Paleógeno depositados en las cuencas limitadas durante el Cretácico Tardío al Eoceno. El miembro con una edad máxima varía de 63 a 81 Ma , posteriormente superpuesta de manera inconforme continua un conglomerado intercalado con toba de $37.64 \pm 0.36 \text{ Ma}$.

Oligoceno temprano

En Aguascalientes, Zacatecas y norte de Jalisco, ignimbritas del Oligoceno son dominantes en la parte este de la SMO (Nieto-Samaniego et al., 1999 citado por Ferrari, 2005). Para una de las ignimbritas expuestas al sureste de la SMO formando parte de la Sierra Morones, entre Jalpa y Tlatenango, se obtuvo una edad de $29.1 \pm 0.6 \text{ Ma}$ ubicada en el Oligoceno temprano (Nieto- Obregón et al. 1981). Esta zona se compone principalmente de tobas de flujo de cenizas silíceas oligocénicas (Ferrari et al., 2005). Al norte de Zacatecas, en Fresnillo, afloran riolitas e ignimbritas para las que se reportan edades K-Ar de 29.1 y 27.5 Ma , mientras que cuerpos subvolcánicos fueron fechados entre 33.5 y 32.2 Ma (Lang et al., 1988). Ferrari et al., (2002) determinan edades por

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}/$ entre 31.5 y 28 Ma de ignimbritas y riolitas que conforman la Sierra Valparaíso expuestas en Huejuquilla y el semigraben Atengo.

También fueron fechados un conjunto de domos riolíticos en la parte oeste del semigraben de Atengo por $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}/$ en 27.9 ± 0.3 Ma ubicándolas temporalmente en el Oligoceno temprano. Por otra parte fueron reconocidos en la parte sur del graben de Bolaños un paquete de ignimbritas donde se obtuvo una edad K-Ar de 30.1 Ma. (Ferrari et al. 2002).

El graben de Aguascalientes está constituido por rocas félsicas pertenecientes a la provincia volcánica SMO. La secuencia se dividió en cuatro unidades: Riolita El Venaderito, Toba El Picacho (depósito volcánoclastico de color amarillo paja), Riolita La Peña Blanca (incluye más de dos tobas depositadas por derrames cineréticos y dos volcanoclasticos) y Riolita La Tomatina. No se tiene un registro de fechamientos pero de acuerdo a sus relaciones estratigráficas se infiere que pertenecen al Oligoceno Temprano-Medio. (Aranda-Gómez, 1989).

Loza-Aguirre et al., (2008) describen un depósito de ignimbrita (Ignimbrita La Congoja) formado por una intercalación de depósitos piroclásticos de color rojo y amarillo crema, la cual se encuentra en el límite entre el Oligoceno temprano y tardío; principalmente esta unidad aflora al oeste de San José de Gracia en el estado de Aguascalientes.

Se reportan edades U-Pb de 30.84 ± 0.47 Ma de un depósito formado por conglomerado intercalado con toba y otra edad de 31.5 Ma de una arenisca, ubicándolas en Oligoceno temprano, ambas unidades forman parte del Conglomerado Zacatecas (Escalona-Alcázar et al., 2016).

Oligoceno tardío

Nieto-Samaniego et al. (1999) obtuvieron un fechamiento K-Ar de 26.6 ± 0.7 Ma de una de las ignimbritas superiores de la Sierra Nochistlán dentro de Juchipila, éstas

ignimbritas comúnmente se intercalan con una secuencia volcanoclástica formada por arcilla, caliza y conglomerado.

En la Sierra Morones y Nochistlán, Juchipila, Zacatecas, Webber et al., (1994) identificaron ocho unidades de tobas-riolíticas denominadas AFT (Ash-Flow Tuff, por sus siglas en inglés o en español se traduce como tobas de flujo de ceniza) y basaltos afaníticos con edades que varían entre el Oligoceno tardío al Mioceno temprano. Las primeras ocho unidades fueron datadas por trazas de fisión de zircón y la serie de basaltos mediante el método K-Ar.

Dentro del estado de Aguascalientes afloran derrames y domos riolíticos que forman el núcleo de la Sierra Fría (Riolita Sierra Fría), acorde con la edad isotópica obtenida por método K-Ar de 27.0 ± 0.7 Ma se le asigna una posición en el Oligoceno tardío, lo mismo sucede con la Ignimbrita Garabato con la edad obtenida de 28.0 ± 0.8 Ma. Esta litología comprende varios depósitos no diferenciados soldados de color morado a oscuro (Loza-Aguirre et al., 2008).

Coladas de basalto ubicados en el hombro este del graben de Juchipila dentro del poblado de Tlachichila, Zacatecas arrojaron una edad $40_{Ar}/39_{Ar}/$ de 25.90 ± 0.15 Ma (Martínez Resendiz, 2016).

Mioceno temprano

El grupo volcánico del Mioceno de la SMO se conforma por tres principales componentes: rocas volcánicas silíceas del Mioceno temprano, andesitas basálticas del Mioceno temprano y basaltos del Mioceno tardío. Más de 1200 m de flujo de cenizas tobáceas con edades de 23.7 y 20.1 Ma afloran en el graben Bolaños (Scheubel et al., 1988; Lyons, 1988; Moore et al., 1994), al oeste del área de estudio. En la Sierra Santa Lucía, Zacatecas afloran ignimbritas con alturas de 1000 m y se obtuvieron edades de 23.5 Ma de tobas expuestas en lo más alto de esta sucesión (Clark et al., 1981). Al norte de Guadalajara, la sucesión de la Sierra Madre Occidental se disecciona con grabenes de

tendencia norte a noreste. Se reportan edades de 21 a 19 Ma y 21.8 Ma de andesitas basálticas en el graben de Bolaños y en el graben de Tlaltenango respectivamente (Moore et al., 1994), éstas se observan como lavas y diques paralelos a fallas normales (Nieto-Obregón et al., 1981, citado por Nieto-Samaniego et al., 1999).

Dentro de los límites de la SMO y CVTM en la región de Guadalajara Moore et al., 1994 (citado por Rossetti, 2002) reportan una secuencia de ignimbritas de edad de 22.99 ± 0.005 Ma. Se tiene una secuencia más joven a la nombrada anteriormente llamada “Los Jalitos” que consiste en flujos de lava que se encuentran cubiertos por arenas rojas y por conglomerado andesítico fuertemente soldado. De acuerdo con dataciones por el método de $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}/$ se obtuvo una edad de 21.6 ± 0.3 Ma ubicado en el Mioceno temprano (Rossetti et al. 2002).

Ferrari et al., (2002) reportaron edades K-Ar de 21 Ma de coladas basálticas posteriores al pulso ignimbrítico del Mioceno temprano en el área de Milpillas, Nayarit igualmente fueron encontradas éstas unidades en Mesa Nayar y Jesús María, Nayarit en esta área se obtuvo una edad de $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}/$ de 21.3 Ma. Al interior de la caldera del Nayar se cuentan hasta 11 unidades ignimbríticas (Ferrari et al., 2002). Para la secuencia del Nayar estos autores obtuvieron 7 edades $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}/$ las cuales se relacionan en tiempo y espacio por lo que se considera un rango de 21.2 a 19.9 Ma con un promedio de 20.9 Ma. En la parte sur de la secuencia de ignimbritas expuestas en Santa María del Oro, Nayarit se correlacionan (21.3 Ma; Gastil *et al.*, 1979), Aguamilpa, Nayarit (22.4 Ma; Damon *et al.*, 1979), al igual que en la parte superior de la secuencia del graben de Bolaños (21.3-20.1 Ma Scheubel *et al.*, 1988, citado por Ferrari et al., 2005)

Se determinaron edades mediante $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}/$ de distintas lavas basálticas que afloran en todo el graben de Juchipila, para el Mioceno temprano se tiene un rango de edades entre 21.6 y 14.8 Ma. (Martínez-Resendiz, 2016).

Mioceno tardío

Lavas basálticas fisurales intercaladas con sedimentos que rellenan el graben de Juchipila se encuentran ubicados en la zona de falla principal, de éstas se obtuvo una edad de 13.78 ± 0.12 Ma (Martínez-Reséndiz, 2016). En Tepaltitlán, Jalisco una colada de andesita basáltica subyace a sedimentos continentales en la base de la meseta de los Altos de Jalisco, esta fue determinada con una edad de 11.76 ± 0.29 Ma. Bloques de lava de un volcán escudo ubicado en Sierra Pajaritos, Nayarit, muestra una edad de 11.82 ± 0.27 Ma, mientras que al sur del graben se tienen coladas de basalto con una edad registrada de 11.10 ± 0.12 Ma. (Martínez-Resendiz, 2016).

Plioceno – Cuaternario

La Formación Juchipila de acuerdo con Lahiere (1982) y López (1991) constituye el relleno de cuencas terciarias del Graben de Juchipila y está compuesta por depósitos aluviales y lacustres que constan de calizas, conglomerados, arcillas, gravas, arenas, limolitas tufáceas, cenizas, todas estas presentan una gran abundancia de fósiles. Carranza-Castañeda et al. (2013) obtuvieron edades de U-Pb de 6.95 ± 0.27 , 6.53 ± 0.11 y 5.59 ± 0.11 Ma mediante zircones muestreados de diferentes capas de ceniza que se encontraban intercaladas con sedimentos y fauna y flora fósil, por esta razón los lacustres son ubicados en Mioceno tardío a Plioceno Temprano.

2.1.2 Estructura Regional

2.1.2.1 Estructura Regional del Sector Sur de la Sierra Madre Occidental

A finales del Eoceno y principios del Oligoceno diferentes eventos principalmente de deformación extensional con una tendencia de dirección de extensión E-W, afectaron una gran parte de esta provincia a excepción del núcleo de la SMO (Henry y Aranda-Gómez, 2000). Ferrari et al. (2002) clasificaron las estructuras que perturbaron la parte sur de la SMO de acuerdo a su geometría y cinemática, se dividieron en dominios de extensión oriental meridional y occidental (Fig. 11).

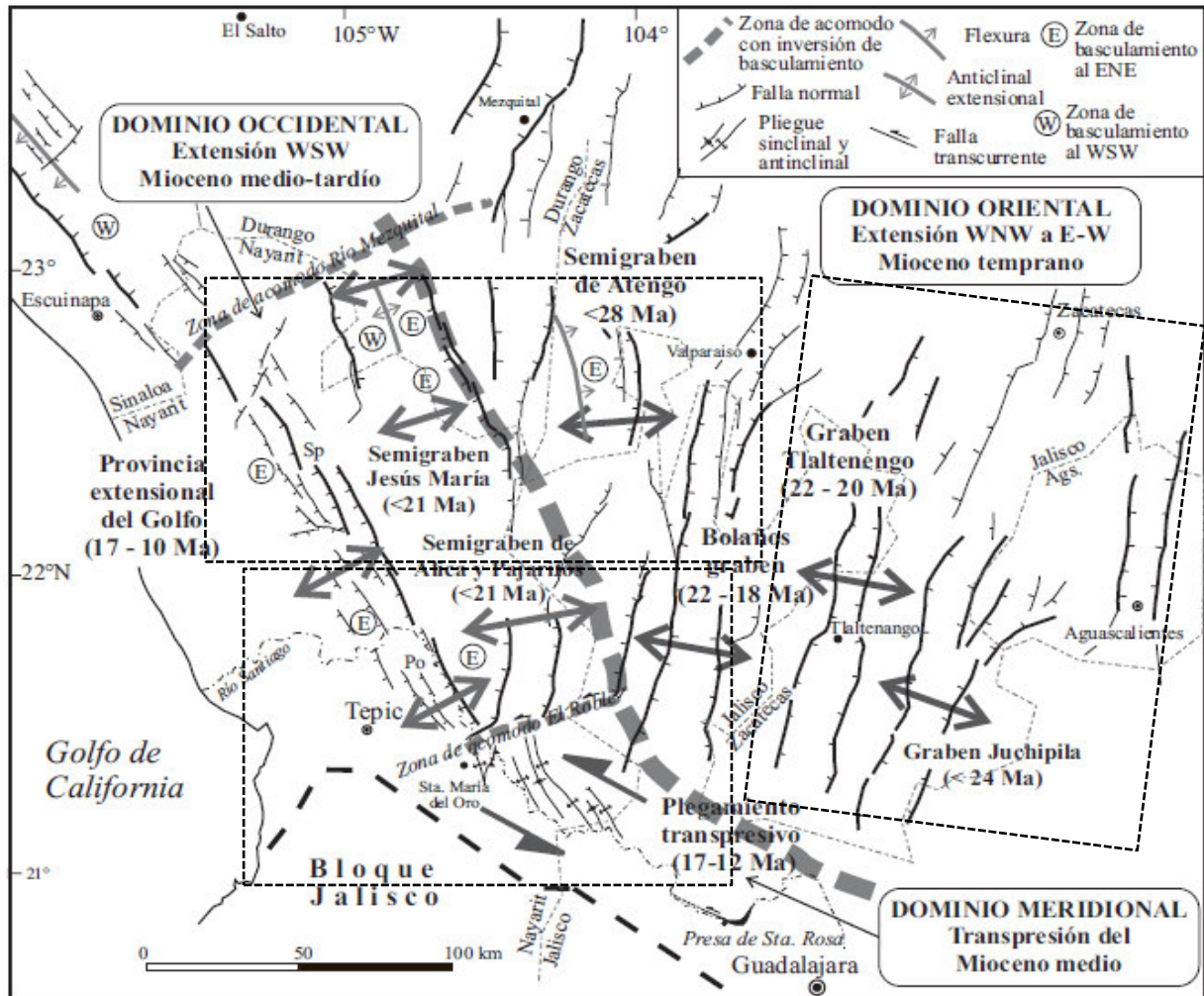


Fig. 11. Mapa regional representando la tectónica del sector sur de la Sierra Madre Occidental, separándola de acuerdo a sus características estructurales en tres dominios. En cada uno de los recuadros de texto se muestra la edad de deformación extensional de cada uno de ellos. (Tomado y modificado de Ferrari et al., 2005).

2.1.2.1.1 Dominio Extensional Meridional ó Corredor Transpresivo Santa María del Oro-Santa Rosa

El dominio extensional meridional o también conocido como Corredor Transpresivo Santa María del Oro- Santa Rosa se encuentra localizado cerca del límite del bloque de Jalisco. Este dominio, en vez de presentar estructuras extensionales, se

encuentra regida por deformación contráctil y es parte de la Provincia Extensional del Golfo o también llamado PEG (17-10 Ma).

Sistema de Fallas y Pliegues

Al este de Santa María del Oro y en la presa de Santa Rosa, Nayarit pliegues escalonados (en échelon) y abiertos presentan una longitud de 10 a 40 km con una orientación NNW. Por otra parte, los pliegues nos proporcionan una edad mínima de deformación, de acuerdo con los diques máficos verticales de 11 Ma que se encuentran cortando ignimbritas del Mioceno temprano (Damon et al., 1979, citado por Ferrari et al., 2005).

En La Manga, Nayarit pliegues con tendencia N-S se encuentran al WNW de los pliegues escalonados previamente mencionados. Por otra parte, los estratos están inclinados con ángulos de 5° a 10°. Posiblemente estos pliegues fueron formados por compresión E-W (Ferrari et al. 2002).

En la Sierra El Pinabete, Jalisco se encuentra un conjunto de ignimbritas plegadas; donde, sus pliegues presentan una inclinación entre 30° a 35° y los estratos muestran ángulos de 75° a 80°. También se observaron fallas con movimiento lateral izquierdo y fallas de deslizamiento. Así que, todas estas estructuras nos muestran que hubo un cizallamiento lateral izquierdo representativo en la zona (Ferrari et al., 2002).

2.1.2.1.2 Dominio Extensional Oriental

Este dominio está conformado por los grabens Bolaños (22-18 Ma), Tlatenango (22-20 Ma), Juchipila (<24 Ma) y Aguascalientes. Éstos están formados por capas volcánicas y sedimentarias que presentan inclinaciones de 10 a 20 grados hacia el Este y Oeste. Además, cuentan con una tendencia entre N10°E a N-S y tienen más de 100 km de largo y 20 km de ancho, están limitados por fallas de alto ángulo y fallas laterales (Ferrari et al., 2002).

Sistema de Fallas

Existen tres familias de estructuras geológicas en lo que respecta al graben de Bolaños (22-18 Ma), donde un grupo de fallas normales con una orientación de N60°E corta un conjunto de estructuras con rumbo N30°E que a su vez son cortadas por otra agrupación de fallas con dirección N-S (Lyons et al., 1988, citado por Ferrari et al., 2002).

El graben de Tlatenango (22-20 Ma) ubicado al oeste de Juchipila presenta una extensión de 400m, muestra una orientación N10°E y tiene una longitud de 120 km y 15 km de ancho (Nieto-Samaniego et al., 1999). En este graben se ha reportado una ignimbrita con edad de 22.9 Ma, la cual se encuentra cortada por fallas con un desplazamiento de 400m, también se registra un volcán escudo basáltico con 21 Ma (Moore et al., 1994) posiblemente alimentado por fallas ya que tiene escarpes de 50 m, por lo que se considera que la extensión aconteció entre 22 a 20 Ma (Ferrari et al., 2002, citado por Ferrari et al., 2005).

Con 80 km de longitud y 15 km de ancho, el graben de Juchipila (<24 Ma) presenta una orientación de N10° (Nieto-Samaniego et al., 1999) y afecta el sur del estado de Zacatecas, suroeste de Aguascalientes y noroeste de Jalisco. Éste incluye los grabens de Tabasco y Villanueva, se encuentra limitado por fallas normales con un rumbo NNW y NNE que forman las paredes del graben (Cárdenas-Rivera y Aguirre-Díaz, 2009).

El graben de Aguascalientes cuenta con una orientación de N15°E, presenta una longitud de 40 km y 12 km de ancho. Se tienen 6 fallas asociadas al graben llamadas "Fallas Garabato". Este conjunto de estructuras geológicas presentan distintas características, por lo que fueron divididas de acuerdo al rumbo que las rige. El primer grupo (3 fallas) tiene una orientación N10°a 20°W y buzcan hacia el NE, la siguiente estructura (cuarta falla) ubicada al sur del graben tiene un rumbo E-W, por último el tercer grupo (2 fallas) cuenta con una orientación N10°E e inclinación SE. Otro sistema llamado fallas San José ubicado al este de San José de Gracia comprende dos fallas normales con rumbos N0°-10°E y N25°E y buzcan al SE. La Falla de La Congoja tiene un rumbo preferente de N45°E y se inclina al SE, el cuarto sistema llamado Fallas de Cd. Cuahutémoc cuentan con orientaciones N10-20°W y N0°-10°E. El Pilar de Zacatecas es un

bloque elevado bordeado por fallas con rumbo preferente NNE y por último el graben de Guadalupe presenta un rumbo N10°-20°E (Loza-Aguirre et al., 2008).

2.1.2.1.3 Dominio Extensional Occidental

Este dominio es constituido por una pequeña parte del graben de Bolaños (22-18 Ma) e igualmente por los semigrabens: Alica (<21 Ma), Pajaritos (<21 Ma), Atengo (<28 Ma) y Jesús María (<21 Ma), y los sistema de fallas normales: Pochotitán y San Pedro. A continuación se explicará más a detalle cada uno de estos sistemas.

Sistema de Fallas

Todas las estructuras que constituyen el dominio occidental cuentan con una dirección N-S a NNW-SSE que basculan al ENE bloques de ignimbritas del Mioceno temprano. Las ignimbritas de la secuencia Nayar de 21 Ma son cortadas por fallas que conforman los semigrabens mencionados.

El graben de Bolaños (22-18 Ma) y el plano costero se vieron afectados por cuatro estructuras con tendencia N-S a NNW (Nieto-Samaniego et al., 1999).

Los semigrabens Sierra Alica (<21 Ma) y Sierra Pajaritos (<21 Ma) presentan un hundimiento de aproximadamente 1.3 km, mientras que los semigrabens Jesús María (<21 Ma) y Atengo (<28 Ma) cuentan con un hundimiento de más de 2.2 km y 1 km, respectivamente, en su parte norte el semigraben Jesús María (<21 Ma) se transforma en un graben por completo el cual es llamado San Agustín (Ferrari et al., 2002).

Los sistemas de fallas de San Pedro y Pochotitán son el resultado de una extensión de dirección ENE a NE-SW y se consideran parte de la Provincia Extensional del Golfo. Diques máficos con edades de 11.9 a 10.9 Ma de esta zona intrusionan a fallas normales de orientación NNW o subparalelos a ellas y se consideran contemporáneos a la extensión (Ferrari et al., 2002, citado por Ferrari et al., 2005).

Capítulo III. Tectónica

3.1 Eventos de Deformación

Este capítulo se divide en tres partes y menciona los principales episodios tectónicos que surgieron mayormente en la parte sur de la Sierra Madre Occidental desde Cretácico Superior hasta el Cuaternario.

3.1.1 Eventos tectónicos previos al Basin and Range

Uno de los eventos tectónicos previos al Basin and Range más importantes es La Orogenia Laramide. Este es un evento de deformación contractiva de la corteza que afectó a rocas formadas durante el Mesozoico. De acuerdo con distintos estudios recientes en la parte central de México, la deformación por acortamiento aumentó entre los 94 y 79 Ma y terminó por el surgimiento de cuerpos intrusivos que presentan edades de 74 a 73 Ma (Cuéllar-Cárdenas et al., 2012).

Entre 45 a 34 Ma la interacción entre las placas de Farallón y Norteamérica produjo un magmatismo lento en el margen continental de la SMO. La naturaleza de esta interacción tal vez fue una pausa por declive en la velocidad de la convergencia y/o un cambio en la inclinación de la placa de Farallón (McDowell y Clabaugh, 1979, 1981) por lo que se tiene pocos registros de actividad.

En la Sierra de Guanajuato, capas rojas llamadas como Conglomerado Guanajuato y Conglomerado Duarte fueron depositados en el Eoceno temprano y Oligoceno temprano, respectivamente, por lo que corresponden a depósitos clásticos post-Laramide y pre-vulcanismo Sierra Madre Occidental. De acuerdo con estudios estratigráficos, sedimentológicos y estructurales se interpreta que la depositación de ambos Conglomerados fue generado debido al eventos de distensión y/o transtensión. Por otra parte, comparando la depositación de ambos conglomerados, se interpreta que hubo mayor actividad tectónica durante el depósito del Conglomerado Guanajuato. Esto se dedujo por la evidencia de la geometría de los estratos y discontinuidades que presenta el miembro superior e inferior del Conglomerado Guanajuato comparado con el Conglomerado Duarte (Miranda-Áviles et al., 2016).

Pulsos de actividad tectónica y subsidencia existieron durante el Eoceno de acuerdo con la presencia de litofacies relacionadas a flujos de gravedad y basculamientos presentados en las capas de ambas unidades (Conglomerado Duarte y Conglomerado Guanajuato) (Aranda-Gómez y McDowell; 1998). Por otra parte, Miranda-Áviles et al. (2016), concluyen que el basculamiento de capas y la dirección de flujo interpretada con la imbricación de clastos determinan la existencia de pulsos de actividad tectónica, los cuales, ayudaron a levantar bloques de la Sierra de Guanajuato en un sentido NE y SW.

3.1.2 Basin and Range

El Basin and Range es una provincia caracterizada por fallamiento producido por un evento de deformación extensional. Esta provincia está conformada por cuencas y sierras con dirección NNE y abarca una extensión de $9.4 \times 10^5 \text{ km}^2$ en el territorio mexicano. Esta región es una continuación desde los estados de California, Arizona, Nuevo México y Texas hasta el CVTM y/o el sur de Oaxaca. En el centro y norte de México se presentan estructuras geológicas o fallas secundarias con una tendencia general ENE que fueron formadas durante el Cenozoico medio-tardío. Éstas se encuentran uniendo grabens profundos o separando zonas con diferente sentido de basculamientos al sur de la SMO (Aranda y Henry, 1992; Aguirre-Díaz et al., 2008).

3.1.2.1 Inicio de extensión y episodios del Basin and Range

Aún no se ha concretado por completo cuando fue exactamente el comienzo de la extensión del Basin and Range, pero de acuerdo a trabajos previos y recientes se ha determinado que este evento empezó hace 30 a 24 Ma. Aranda et al., (2000) mencionan que en muchos sitios el comienzo del fallamiento seguía después de un breve lapso de vulcanismo o que estos mismos fueron simultáneos. Ambos eventos se encontraban asociados a subducción y fallamiento normal. A pesar de eso, la intensidad de estos pulsos varió de manera significativa de un lugar a otro. Por lo que, el frente del vulcanismo asociado a subducción y fallamiento normal se desplazaron de NE a SW. Posteriormente estos eventos (subducción y fallamiento normal) fueron reemplazados hacia el interior del continente por actividad alcalina intraplaca.

El inicio de la extensión, hace 30 Ma, pudo estar relacionada con los efectos de límite de placa entre Farallón-Pacífico, por otra parte no se sabe con exactitud las orientaciones de estrés, pero se infiere que la tensión principal máxima era ENE, por lo que refleja la convergencia de las placas ya mencionadas (Aranda, 1991; Henry y Aranda, 1992). Durante el Oligoceno tardío- Mioceno temprano (24 a 21 Ma) un extenso episodio de vulcanismo de ignimbrita generó una extensión E-W que produjo grabenes espaciados que afectan a la Sierra Madre Occidental (Nieto-Samaniego, 1999). Posteriormente durante el Mioceno temprano-medio (23 a 12 Ma) los episodios mejor definidos se encuentran ubicados dentro de la región central y sur de México. Se cree que la extensión continúa hasta el presente debido a la presencia de fallas cuaternarias y basaltos alcalinos que se encuentran en la región norte del CVTM (Henry y Aranda, 1992).

3.1.2.2 Mecanismos que rigen los orígenes del Basin and Range

Se tienen tres hipótesis principales acerca del origen del Basin and Range. Sonder y Jones (1999) propusieron modelos para el oeste de EUA. Estos modelos también pueden ser una herramienta para poder interpretar la formación y desarrollo del Basin and Range en la parte norte y centro de México. A continuación se mencionan cada uno de ellos:

1. Por procesos interplacas debido a fuerzas diversas producidas por la interacción entre las placas de Norteamérica, Farallón y Pacífico (Severinghaus y Atwater, 1990).
2. Por extensión a procesos subcorticales de levantamiento o formación de una “ampolla” en el manto (Scholz et al., 1971).
3. Mediante mecanismos intraplaca, principalmente la energía potencial gravitacional generada por el engrosamiento local de la corteza por plegamiento y/o magmatismo (Wernicke et al., 1987).

3.1.2.3 Migración del Basin and Range

Ferrari et al., (1999) presentan un análisis estadístico de variaciones espaciotemporales del vulcanismo del centro de México, muestran que la orientación del arco volcánico fue girando en sentido contrario al de las manecillas del reloj, desde la orientación característica de la SMO en el Oligoceno (NNW) hasta el rumbo actual del CVTM. La reorientación de la actividad volcánica se asocia a cambios en la estructura

térmica de la placa consumida y a variaciones en la geometría de los límites entre las placas.

La migración del fallamiento y volcanismo inició durante el Oligoceno temprano y el Mioceno-temprano y a su vez comenzó la migración del arco volcánico y la subducción de partes pertenecientes a la placa de Farallón (Nieto-Samaniego et al., 1999). Posteriormente la extensión se trasladó hacia el oeste para llegar al área del Golfo de California al final del Mioceno Medio (Cameron et al., 1989; McDowell y Mauger, 1994; Henry y Aranda-Gómez, 2000; Luhr et al., 2001; Umhoefer et al., 2001; Aranda-Gómez et al., 2003; citados por Duque Trujillo et al., 2013).

3.1.3 Inicio del Rift del Golfo de California

Es difícil establecer un límite entre la Provincia Extensional del Golfo (PEG) y el Basin and Range mexicano. Henry y Aranda-Gómez (2000) proponen que la PEG sea parte de la provincia Basin and Range, y que sólo en la parte central, el núcleo relativamente no extendido de la SMO, separa geográficamente las dos provincias (Ferrari et al., 2005).

Duque-Trujillo et al., (2013) concluyen que durante el Oligoceno tardío el oeste de México ha estado dominado por la extensión litosférica producida por diferentes mecanismos geodinámicos, desde la parte oriental de la SMO hasta la región del futuro Golfo de California. Una de las razones principales por las que comenzó la formación de la PEG y el Golfo de California fue la siguiente: La extensión Basin and Range mexicano fue la primera parte de la historia extensional, por lo que, el rifting comenzó entre 30 y 20 Ma. Posteriormente se dirigió hacia la parte oeste de la SMO y el Golfo de California (20-18 Ma).

Pero el verdadero cambio ocurrió a los 12.5 Ma, la interacción entre las placas del Pacífico y América del Norte dio lugar a que: 1) las fallas se centraran en la parte más occidental de un cinturón ancho, ya adelgazado de litósfera y 2) al cambio de la cinemática de la deformación, lo que genera un alto grado de oblicuidad. En este contexto, el GEP solo puede distinguirse de los episodios previos de extensión por su componente lateral derecho de deformación (Duque-Trujillo et al., 2013).

Finalmente la deformación transtensional oblicua terminó de romper la franja litosférica anteriormente extendida (Duque-Trujillo et al., 2014).

De acuerdo con lo dicho anteriormente, la formación del Graben de Juchipila y los grabens cercanos a él, pudieron haber pasado por varias etapas o episodios tectónicos para su formación. El primer evento pudo estar relacionado con el término de la Orogenia Laramide (deformación contractiva) o con la poca actividad magmática generada en la SMO durante 45 a 34 Ma. El segundo con la llegada del Basin and Range (deformación distensiva) y para finalizar, el tercer evento, con la formación del rift del Golfo de California, el cual, tuvo impacto en la parte oriental de la SMO y el Golfo de California.

Capítulo IV. Geología Local

En este capítulo se presenta un mapa geológico-estructural del área de estudio, junto con una columna estratigráfica donde son descritas todas las unidades geológicas que la conforman, igualmente son mencionados datos estructurales que fueron recolectados dentro del transecto Jalpa, centro-norte del Graben de Juchipila (Fig. 12). De acuerdo a los datos de campo se registraron 138 puntos en total (Fig. 12) y se recolectaron 68 muestras a las que se les asignó la clave JAT, 15 fueron seleccionadas para análisis petrográfico y tres de ellas para obtener su edad, dos mediante el método U/Pb en zircones y una por el método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$.

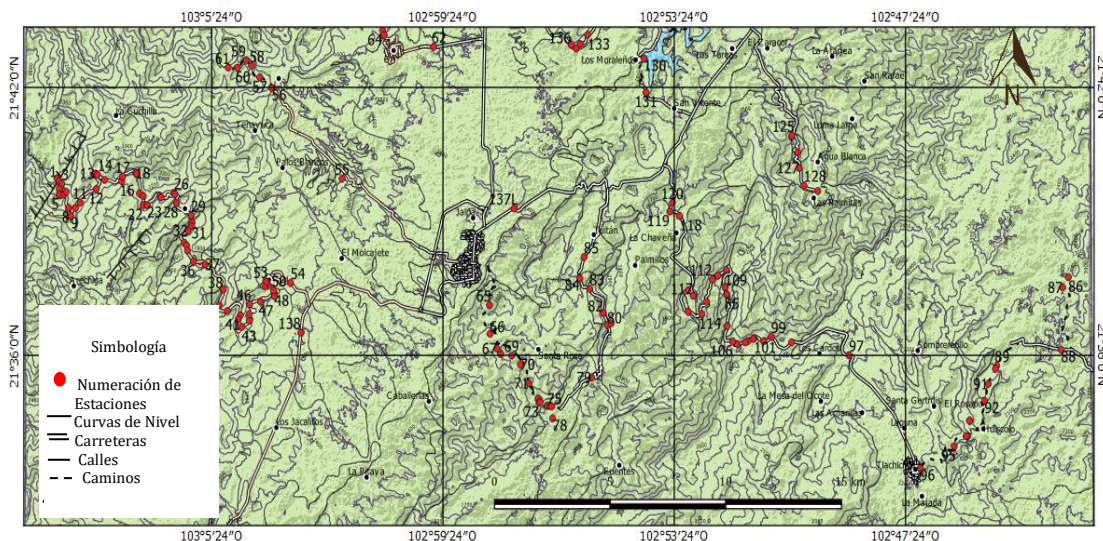


Fig. 12. Mapa topográfico del transecto centro-norte del Graben de Juchipila mostrando la numeración de las estaciones que se encuentran en el Anexo A.

4.1 Estratigrafía del transecto Jalpa

A continuación, se describen cada una de las formaciones que conforman el transecto centro-norte del graben de Juchipila, las cuales poseen edades del Cretácico Superior, Paleógeno, Neógeno y Cuaternario. Se definieron un total de 18 unidades, donde en la parte oeste afloran andesitas, arenas o capas rojas, riolitas, basaltos y depósitos piroclásticos. En lo que respecta a la zona este, se encontraron domos riolíticos, basaltos, flujos de tobas, arenas, gravas, conglomerado, andesitas e ignimbritas. Por último en la parte central del graben encontramos lacustres, conglomerado reciente y depósito aluvial.

4.1.1 Mesozoico

4.1.1.1 Cretácico Superior

Andesita Santa Rosa

Esta unidad es considerada como el basamento de toda la columna estratigráfica y la más antigua del área de estudio. Ésta se encuentra en la parte este del área de estudio, aflorando en un camino de terracería al SE de Jalpa, cerca del poblado Santa Rosa (puntos 65 al 74). Se reconocieron derrames de hasta 3m de andesitas de colores verdes, cafés y grises, poco densas y presenta alto contenido de plagioclasas alteradas por distintos procesos como oxidación, argilización y propilitización (Fig. 13 A, B, C y D). Para esta formación se considera una altura total aproximada de 400 m de acuerdo con los afloramientos vistos en campo, imágenes satelitales y fotointerpretación en Google Earth.

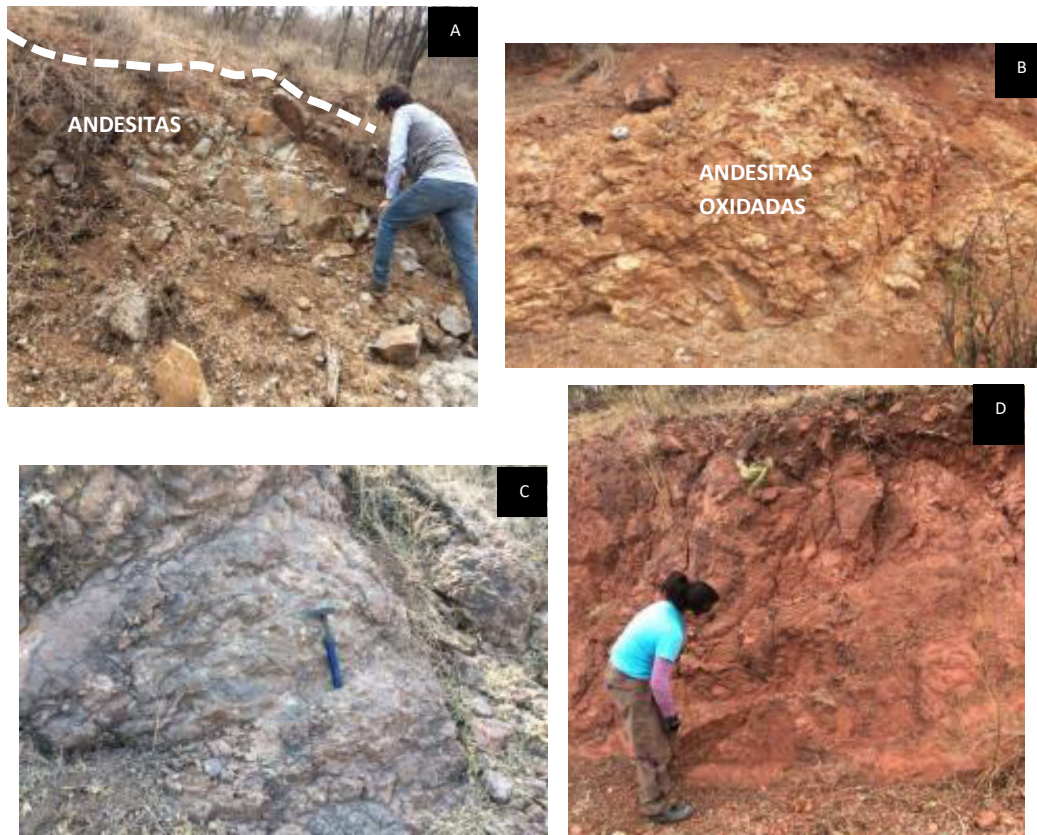


Fig. 13. Afloramientos de no más de 3 m de andesitas alteradas por oxidación y argilización encontradas a 900m de la comunidad Santa Rosa al este del graben. A) Esta imagen muestra el afloramiento donde se obtuvo la muestra JAT-42, la cual fue seleccionada para el proceso de datación, B) Andesitas alteradas por oxidación, C) Andesitas alteradas por argilización y D) Afloramiento de 2.5m de andesitas afectadas por fallas menores.

En muestra de mano de esta unidad, se observa que está conformada principalmente por plagioclasas blancas alargadas y alteradas. También se observaron depósitos de brechas volcánicas que presentan una matriz porosa, contienen plagioclasas blancas alteradas y líticos subredondeados con tamaños no mayores a 1 cm, todos tienen distintos colores pero principalmente presentan una tonalidad oscura (Fig. 14 A y B).



Fig. 14. Muestras de la unidad Andesita Santa Rosa, éstas fueron obtenidas en los puntos 65 y 68. A) Roca con tonalidades oscuras y corresponde a la muestra JAT-40B, y B) Roca ubicada en una zona de brecha correspondiente a la muestra JAT-41.

En lámina delgada la muestra JAT-41 presenta una textura porfídica y una matriz compuesta de cristales tabulares de plagioclasa en su mayoría, cuarzo, líticos subredondeados y opacos (Fig. 15A). La muestra JAT-42 es una roca de colores leucocráticos a mesocráticos, presentando una textura porfídica, con cristales de plagioclasa, cuarzo y feldespatos (Fig. 15B) en formas tabulares y prismáticos, alotriomorfos y subidiomorfos, respectivamente, dentro de una matriz de microcristales de plagioclasa (Anexo B).

La muestra JAT-42 fue analizada por el método de U/Pb de ablación en zircones, los resultados dieron una edad de 69.86 ± 0.26 Ma, por lo que es ubicada dentro del Cretácico Superior (Fig.16).

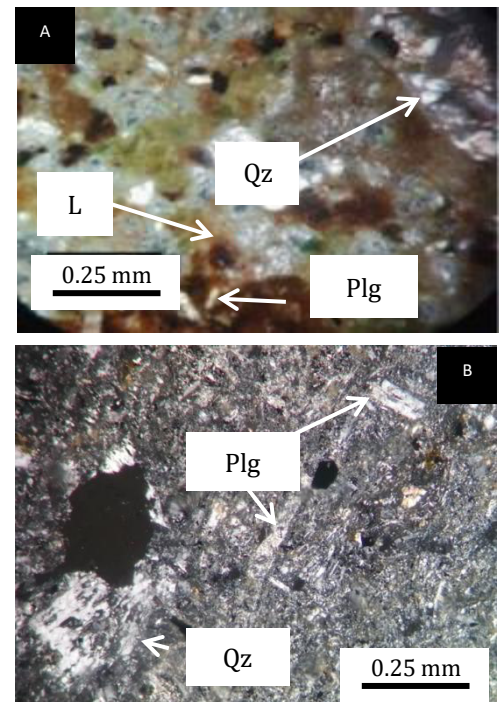


Fig. 15. A) Lámina delgada de Andesita Santa Rosa (JAT-41), Cuarzo (Qz), Plagioclasa (Plg) y Líticos (L). B) Lámina delgada de Andesita Santa Rosa (JAT-42), Cuarzo (Qz), Plagioclasa (Plg).

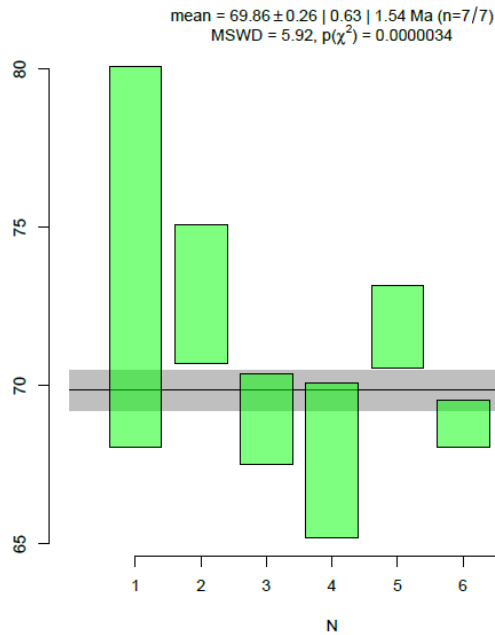


Fig. 16. Fechamientos isotópicos por el método U-Pb en ablación láser en zircones para la Andesita Santa Rosa (muestra JAT-42).

4.1.2 Cenozoico

4.1.2.1 Paleógeno

4.1.2.1.1 Eoceno

Andesita Aréchiga

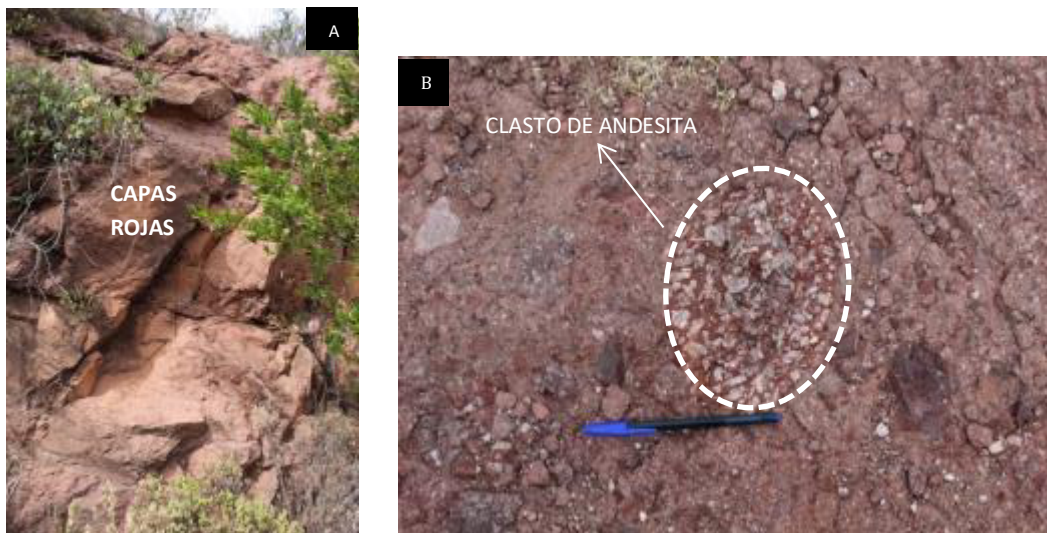
Webber et al. (1994) reconocieron andesitas basálticas porfídicas localizadas en los valles disectados de la Sierra Morones y determinaron la edad de K-Ar 48.1 ± 2.6 Ma, por lo que se le ubica dentro del Eoceno temprano. Éstas andesitas se encuentran subyaciendo a Capas Rojas Las Azucenas (33.92 ± 0.21 Ma; Martínez-Reséndiz, tesis en proceso) las cuales son arenas y conglomerados con clastos angulares y subangulares de estas mismas andesitas.

Durante las salidas a campo en la parte oeste del transecto no se observó dicha unidad, pero a través de una “comunicación personal” con Ferrari se sabe que aflora, dentro de la comunidad de Aréchiga en la Sierra Morones. De acuerdo con el dato proporcionado por Ferrari esta andesita es la misma que fechó Webber et al., (1994).

Capas Rojas Las Azucenas

Las arenas rojas del Eoceno, o también consideradas como capas rojas, son un conjunto de conglomerados, arenas y arcillas intercaladas con depósitos piroclásticos. Afloran dentro de la parte oeste del transecto, principalmente en las partes altas y en las partes medias de la Sierra Morones.

Durante la salida de campo se observaron, a unos 16 km al WNW de Jalpa, cercanos a las comunidades de Las Azucenas y El Cajón (puntos 5 al 27, excepto 6, 8, 13, 17, 21 y 23), depósitos de arenas rojas consolidadas con matriz fina y conglomerados rojos con clastos de andesita de 8 a 9 cm (Fig. 17 A y B), se encuentran intercaladas con ignimbritas, tobas y cenizas (Fig. 17 C y D). Según Webber et al., (1994) de acuerdo a su posición se encuentran sobreyaciendo discordantemente a la Andesita Aréchiga. Por los afloramientos vistos en campo, imágenes satelitales y fotointerpretación en Google Earth su altura total es de 300 a 400m.



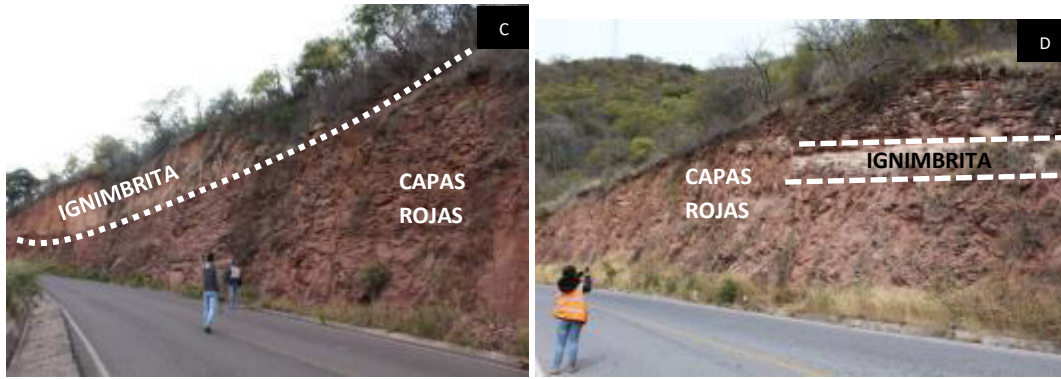


Fig. 17. Afloramientos de Capas Rojas Las Azucenas intercaladas con ignimbritas. A) En este primer depósito se observan arenas compactadas y estratificadas en la parte superior, B) Depósito mayor de arenas finas presentando clastos de andesita, C y D) Estos son de los más grandes afloramientos dentro de la zona presentando capas rojas intercaladas con ignimbrita.

En muestra de mano presentan una matriz fina de limos y arenas de color rojizo (Fig. 18A), otras contienen pómez de colores amarillos con distintos tamaños que pueden llegar a alcanzar más de 1 mm y menos de 1cm (Fig. 18B), clastos de andesita subangulares de 7 a 9 cm, cristales de cuarzo y líticos subredondeados y alterados, soportados por una matriz fina medianamente soldada (Fig. 18C).

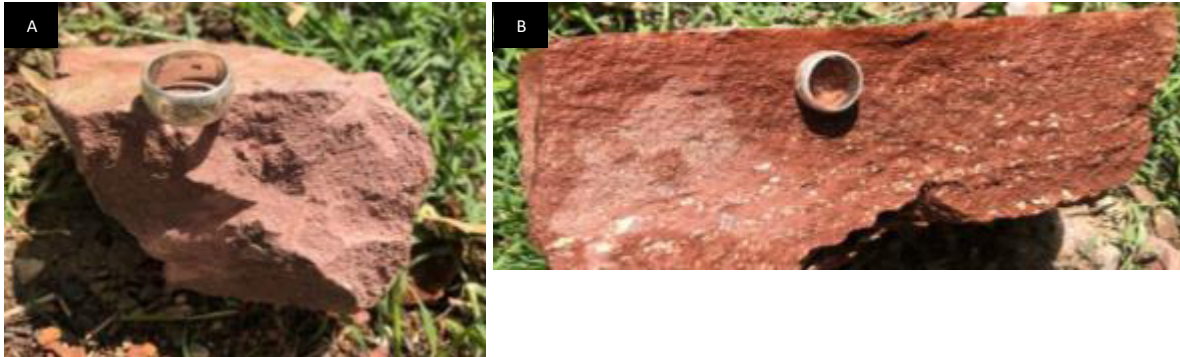


Fig. 18. Imágenes de las muestras recabadas en la Sierra Morones en la parte oeste del transecto, éstas pertenecen a la unidad Capas Rojas Las Azucenas. A) Muestra obtenida en el punto 5, presentando una matriz fina y B) Muestra obtenida en el punto 15, presentando pómez amarillas.

La muestra JAT-04 fue seleccionada para análisis petrográfico ya que presenta mayor cementación que las demás. En el microscopio petrográfico se encontró que la muestra presenta una textura fragmental clástica con tamaño de grano medio, el porcentaje de porosidad es de 10%, y está constituida por líticos alterados, cristales de cuarzo, feldespatos y plagioclasas redondeados, subangulares y tabulares (Fig. 19 y Anexo B).

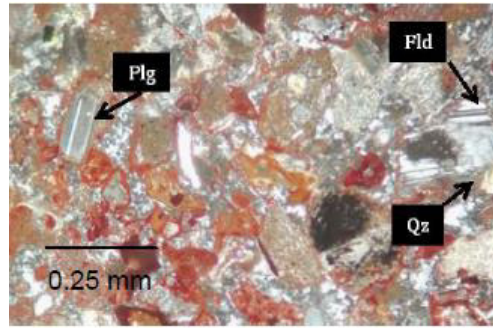


Fig. 19. Lámina delgada de Capas Rojas Las Azucenas (JAT-04), Cuarzo (Qz), Plagioclasa (Plg) y Feldespato (Fld).

También cerca de la zona de relleno del graben a 5 km hacia el noroeste de la comunidad Los Jacalitos se encuentran afloramientos de más de 20 m de altura de una intercalación de depósitos piroclásticos (punto 45 y 46) como tobas, cenizas ignimbritas de tonalidades claras y arenas rojizas poco consolidadas (JAT-32 y 33 A) (Fig. 21A y B).



Fig. 20. Afloramientos vistos en las partes bajas de la Sierra Morones, cercano al Valle de Juchipila. A) Depósito de Capas Rojas Las Azucenas intercaladas con tobas y cenizas de espesores menores a 1 m, B) Mismo afloramiento que la Imagen A, sólo que aquí se muestra una toba de color morado, la cual se encuentra sobreyaciendo a Capas Rojas.

En muestra de mano la muestra JAT-32A presenta una textura fanerítica, se encuentran poco consolidada y se conforma por líticos subredondeados a redondeados de tamaños menores a 1 cm, contiene pómez amarillas y blancas de 2 mm a 2 cm y en su minoría cristales de cuarzo, feldespatos y plagioclasas (Fig. 22A). La muestra 33 B contiene líticos mayores a 1 cm en tonalidades claras y redondeados, fenocristales de cuarzo soportados por una matriz afanítica (Fig. 22B).



Fig. 21. Muestras obtenidas en el punto 45 de la Unidad Capas Rojas Las Azucenas. A) Muestra JAT-33A de arena con una matriz fina, presentando pómez amarillas y B) Muestra JAT 33-B que pudo haber resultado de alguna brecha lítica.

De acuerdo con los análisis petrográficos, la lámina 33 A (arena roja) muestra una textura fragmental (clástica), se tiene una porosidad del 5% y los cristales que conforman la roca son principalmente de cuarzo y en su minoría se observan plagioclasas tabulares y prismáticos de color blanco, se presentan aleatoriamente con maclado polisintético y Carlsbad (Fig. 23a y Anexo B). La muestra 33 B (toba) cuenta con una textura vítrea, presenta líticos subredondeados y su matriz se compone de vidrio y de microcristales de cuarzo subidiomorfos y alotrioformos (Fig. 23b y Anexo B).

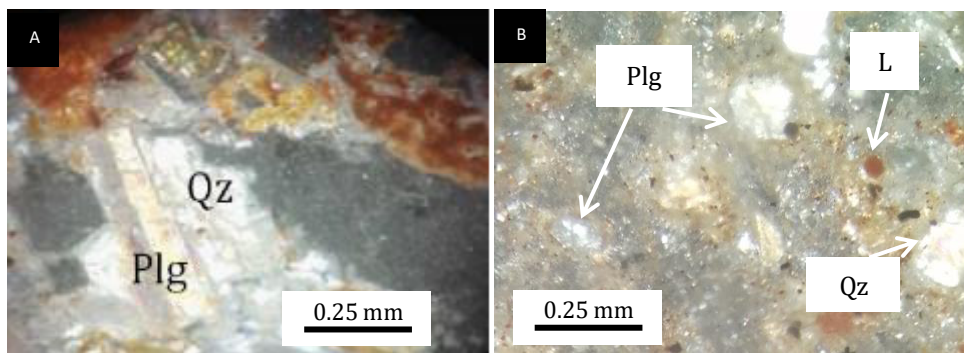


Fig. 22. A) Lámina delgada de Capas Rojas Las Azucenas (muestra JAT-33a). Cuarzo (Qz), Plagioclasa (Plg), B) Lámina delgada Depósitos de Capas Rojas Las Azucenas (muestra JAT-33B), Cuarzo (Qz), Plagioclasa (Plg) y Líticos (L)

Otros afloramientos se encuentran en la parte NW del poblado de El Zapotillo donde se observaron depósitos de arenas de tonalidades diversas (punto 56 y 57), inclinadas a casi horizontales y al NE de la comunidad Guadalupe Victoria se pueden distinguir colinas de más de 20 m de éstas arenas rojas, éstas se encuentran subyacidas por un paquete de ignimbritas (Fig. 24A). Se reconocen ignimbritas (Ignimbrita Joaquín

Amaro) (puntos 58 y 59) que subyacen afloramientos de 2m de arenas rojas y cafés (puntos 60 y 61) (Fig. 24B).

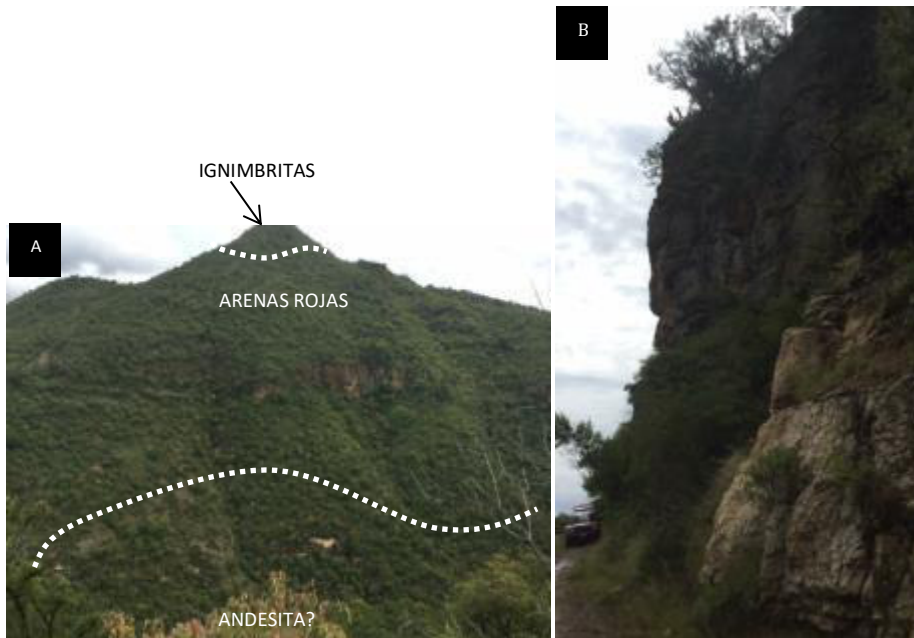


Fig. 23. Afloramientos de más de 20m de altura de arenas rojas e ignimbritas que presentan espesores de 15 a 20m. A) Afloramiento de arenas rojas parece ser que conforma casi toda la colina pero encima de ellas se encuentra un pequeño paquete de ignimbritas. B) Depósito de ignimbrita (Ignimbrita Joaquín Amaro) de 20m subyaciendo arenas rojas y cafés.

Martínez-Reséndiz (parte de este mismo proyecto en 2018) obtuvo una muestra de la unidad Capas Rojas y dató la muestra JUC-10 (punto 10) ubicada en la Sierra Morones, al SW de la comunidad Las Azucenas. Reportan una edad por el método U/Pb de ablación láser en zircones de $33.92 \pm 0.21\text{Ma}$, por lo que se le asigna dentro del Eoceno tardío.

Intercalada con las capas rojas se identificó una ignimbrita de 3 m, presenta tonalidades lilas a rosas claros y se encuentra afectada por fallas rellenas de calcita (Fig. 20A). Aflora en la parte oeste del transecto a 1.6 km de la comunidad El Cajón (punto 20). En muestra de mano la roca presenta una matriz porfídica alterada, se observan fenocristales de cuarzo, fiammes y huecos rellenos de calcita (Fig. 20B). Martínez-Reséndiz que se encuentra dentro del mismo proyecto obtuvo una muestra de roca de

este mismo afloramiento y dató esta ignimbrita (JUC-19) por el método U/Pb de ablación láser de zircones de 32.83 ± 0.12 Ma, por lo que es ubicada dentro del Eoceno-tardío Oligoceno-Temprano.



Fig. 24. A) Afloramientos de no más de 2 m de ignimbrita con tonalidades rosas afectada por fallas rellenas de calcita. B) Muestra de ignimbrita rosada obtenida del afloramiento mostrado en la imagen A.

4.1.2.1.2 Oligoceno

Arenas Blancas El Caracol

Depósitos de arenas, conglomerados y gravas se presentan estratificados, de colores claros y con afloramientos que llegan a tener una altura de 1 a 3 m (Fig. 25A y B). Estos afloramientos se localizan aproximadamente 6 km al este de Jalpa, dentro del poblado El Caracol y al oeste de las comunidades La Atarjea y Agua Blanca.

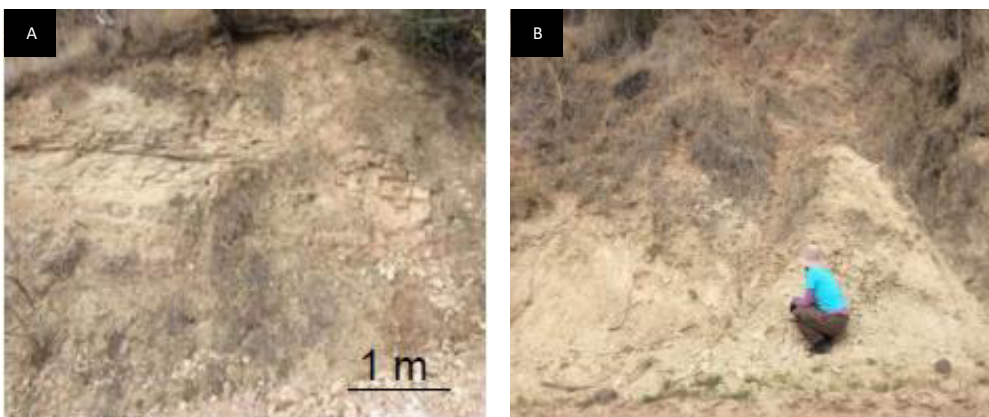


Fig. 25. Depósito de arenas blancas poco consolidadas de la unidad geológica Arenas Blancas El Caracol. A y B) Ambos afloramientos se encuentran ubicados en el este del transecto en los puntos 82 y 83.

En muestra de mano la roca se encuentra medianamente soldada de color crema a blanco, con presencia de cuarzo, micas y líticos soportados por una matriz afanítica. Ferrari y Martínez-Reséndiz en 2018 dataron la muestra JUC- 06 (punto 83) que es parte de esta unidad por el método U/Pb de ablación láser en zircones dando como resultado una edad de 32.42 ± 0.16 , por lo que se ubican en el Oligoceno temprano.

Ignimbrita La Soledad

La Ignimbrita La Soledad se ubica solamente en el este del área de estudio, encontrada 8 km al noroeste del poblado Fuentes. Los afloramientos presentan una altura aproximada de 2 m de ignimbrita altamente soldada. Posiblemente su altura total llegue a ser 200 m de acuerdo con las observaciones de campo y la



Fig. 26. Muestra de mano de Ignimbrita La Soledad correspondiente a JAT-44.

fotointerpretación de imágenes satelitales de alta definición en Google Earth. En muestra de mano presenta una textura vítrea, se conforma por fenocristales de cuarzo, feldespatos alterados, fiammes recristalizados a cuarzo, líticos subredondeados y pómez blancas con tamaños menores a 1 mm inmersos en una matriz de tonalidades moradas y rosadas (Fig. 26).

En el análisis petrográfico la lámina JAT-44 muestra una textura holocristalina, presentando colores leucocráticos a mesocráticos, conformada por una matriz de microcristales de cuarzo, espículas de vidrio, líticos de gran tamaño y fenocristales de cuarzo ideomorfos (Fig. 27 y Anexo B). De acuerdo con las observaciones en campo esta unidad se encuentra sobreyaciendo discordantemente a Andesita Santa Rosa (punto 75). A pesar de que

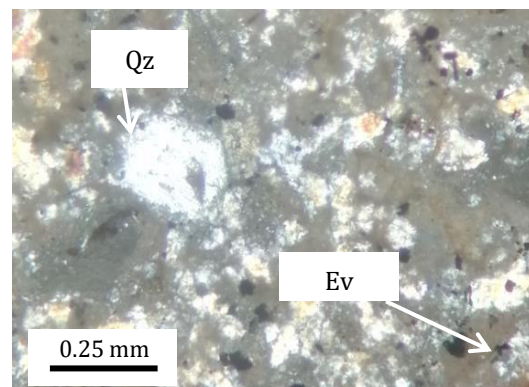


Fig. 27. Lámina delgada de Ignimbrita La Soledad (JAT-44), Cuarzo (Qz) y Espículas de vidrio (Ev).

no fue datada esta roca concorde con su posición estratigráfica se le asigna dentro del periodo Oligoceno temprano.

Ignimbrita Joaquín Amaro

Afloramientos de esta unidad se pueden identificar en la parte NW del transecto, a 2 o 3 km de la comunidad El Zapotillo y aproximadamente a 3 km del poblado de Guadalupe Victoria (puntos 58 y 59), donde depósitos de 20m de ignimbritas medianamente soldadas y alteradas se observan depositadas encima de Capas Rojas Las Azucenas (Fig. 28).

En muestra de mano la roca se encuentra medianamente soldada, conformada por pómez de colores anaranjados y amarillentos, exhiben distintos tamaños que pueden llegar a medir desde 0.5 cm hasta 4 cm, presenta una gran cantidad de líticos de colores claros con medidas de 0.2 a 5 cm, todos estos se



Fig. 28. Afloramiento de Ignimbrita Joaquín Amaro de más de 20 de altura.



Fig. 29. Ambas imágenes muestran a Ignimbrita Joaquín Amaro. A) Afloramiento menor a 0.5m mostrando un plano de falla, B) Muestra de mano JAT-45.

encuentran soportados por una matriz amarillenta con textura afanítica. En la parte superior del afloramiento se presenta con distintas características de acuerdo con las anteriores, pero solo difieren principalmente en el contenido de líticos los cuales son más abundantes y su tamaño es relativamente reducido, se encuentra menos soldada y con una matriz de color beige a crema.

En la parte SE del transecto encontramos esta unidad al este de la comunidad La Pitaya y a unos 4 km al NW de la comunidad Fuentes (puntos 76 y 77) encima de Ignimbrita Soledad. Los

depósitos de esta zona, pueden llegar a tener una altura de hasta 1 m y presentan tonalidades claras y poco alteradas (Fig. 29A). En muestra de mano presenta una matriz afanítica de tonalidades claras, contiene pómez amarillas y naranjas de tamaños de 1 a 2 cm, se observan líticos pequeños menores a 1 cm y se encuentra medianamente soldada (Fig. 29B).

La Ignimbrita Joaquín Amaro se encuentra al SE del área de estudio sobreyaciendo a la Toba Joaquín Amaro. Conforme al fechamiento realizado por el método U/Pb de ablación láser en zircones Beltrán-Martínez (2019) registra en su tesis a la “Toba Joaquín Amaro” con la edad de 31.55 ± 0.28 Ma. Así que, debido a los fechamientos obtenidos por Beltrán-Martínez (2019) la Ignimbrita Joaquín Amaro se le asigna una edad del Oligoceno temprano.

Ignimbrita Fuentes

En la parte oeste del transecto a 3 km hacia el oeste del poblado de Santa Rosa, cercano a la Sierra Laurel (puntos 78 y 79), se observan depósitos de ignimbrita soldada de alturas de menos de 2 m.

La roca en muestra de mano presenta una textura fanerítica con tonalidades azules. Está conformada principalmente por fenocristales de cuarzo subredondeados y feldespatos menores a 1 mm muy bien conservados. También encontramos pómez de 2 mm de colores claros en menor cantidad, la presencia de líticos es casi nula y estos se encuentran de distintos colores sobre todo de tonalidades cafés y subangulares (Fig. 31).

Conforme al estudio petrográfico la lámina JAT -47 muestra una textura porfídica-fluidal,



Fig. 30. Muestra de mano correspondiente a la unidad geológica Ignimbrita Fuentes (JAT-47).

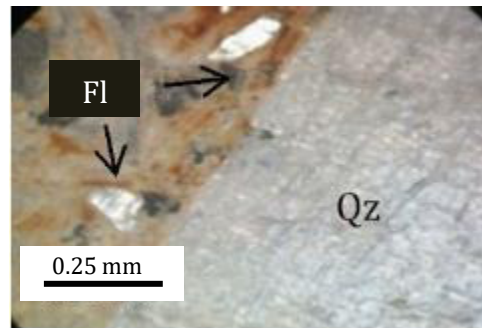


Fig. 31. Lámina delgada de Ignimbrita Fuentes (JAT-47), Cuarzo (Qz) y Flujo (Fl).

conformada por una mesostasis de flujo, soportando fenocristales de cuarzo prismáticos. El tamaño relativo de los cristales de cuarzo es inequigranular –seriada y su grado de cristalinidad se determina como perlítica (Fig. 31 y Anexo B).

Esta unidad se encuentra subyaciendo discordantemente a la Ignimbrita Joaquín Amaro. Martínez-Reséndiz en su tesis (2018) realizó un fechamiento mediante el método U/Pb de ablación láser en zircones de la muestra JUC-27, parte de esta unidad. Como resultado de la datación se obtuvo la edad de 29.22 ± 0.11 Ma por lo que se ubica en el límite del Oligoceno temprano y tardío.

Depósitos Piroclásticos Hermanos

Este grupo de depósitos piroclásticos está conformado por tobas, cenizas e ignimbritas medianamente a altamente soldadas y de tonalidades diversas. Podemos encontrar éste paquete solamente aflorando al oeste del transecto a 1 km de la comunidad El Cajón en las inmediaciones de la Sierra Morones. Los afloramientos de las muestras JAT 24, 25, 26 (a, b, c, d), 27 (a, b), 28 (a, b) y 31 (puntos 31 a 35, 38 y 39) llegan a medir aproximadamente 2m de altura. A esta unidad se le considera una altura total posible de 250 m conforme a la fotogeología realizada en el software Google Earth.

De acuerdo con lo visto en campo se interpreta que la sucesión de estos depósitos se presenta de la siguiente manera (iniciando con la unidad más vieja a la más joven): 1) Dos paquetes de ignimbritas altamente soldadas presentando colores rosados y lilas, la primera unidad conformada por una matriz afanítica rosada, fiammes muy largas y fenocristales como cuarzos y feldespatos, sobre esta se encuentra la siguiente unidad compuesta por líticos oscuros no mayores a 2 mm, pómez blancas de tamaños de 1 cm (JAT-24 y 25, respectivamente) (Fig. 32A y Fig. 33A y B); 2). Cuatro depósitos de tobas, cenizas e ignimbritas con alturas de 0.5 m con tonalidades rojizas y beige, poco soldadas, presentando pómez blancas y amarillas (JAT-26 (a, b, c, d)(Fig. 32B y Fig. 33C); 3) Dos paquetes de ignimbritas bien soldadas, de colores lilas y rosados, presentando la muestra JAT-27A una matriz afanítica, conformada por líticos mayores a 1 cm, pómez blancas de 2 cm y fenocristales de cuarzo, sobre ella se tiene otra ignimbrita (JAT-27B) con una textura vítrea y una matriz soportando fiammes y oquedades rellenas de sílice (Fig. 32C y Fig.

32D); 4) Dos paquetes de tobas laminadas de tonalidades rojas y amarillas, soldadas, presentando líticos menores a 1 mm (JAT-28 (A YB) (Fig. 32D y Fig. 33E) y 5) Un depósito de ignimbrita con una matriz de tonalidades rosas, medianamente soldada y textura afanítica, contiene oquedades, fiammes, pómez blancas menores a 1 mm y líticos oscuros menores a 2 mm (JAT-31) (Fig. 32E y Fig. 33F). En la Fig. 32F se muestran todos los depósitos piroclásticos.

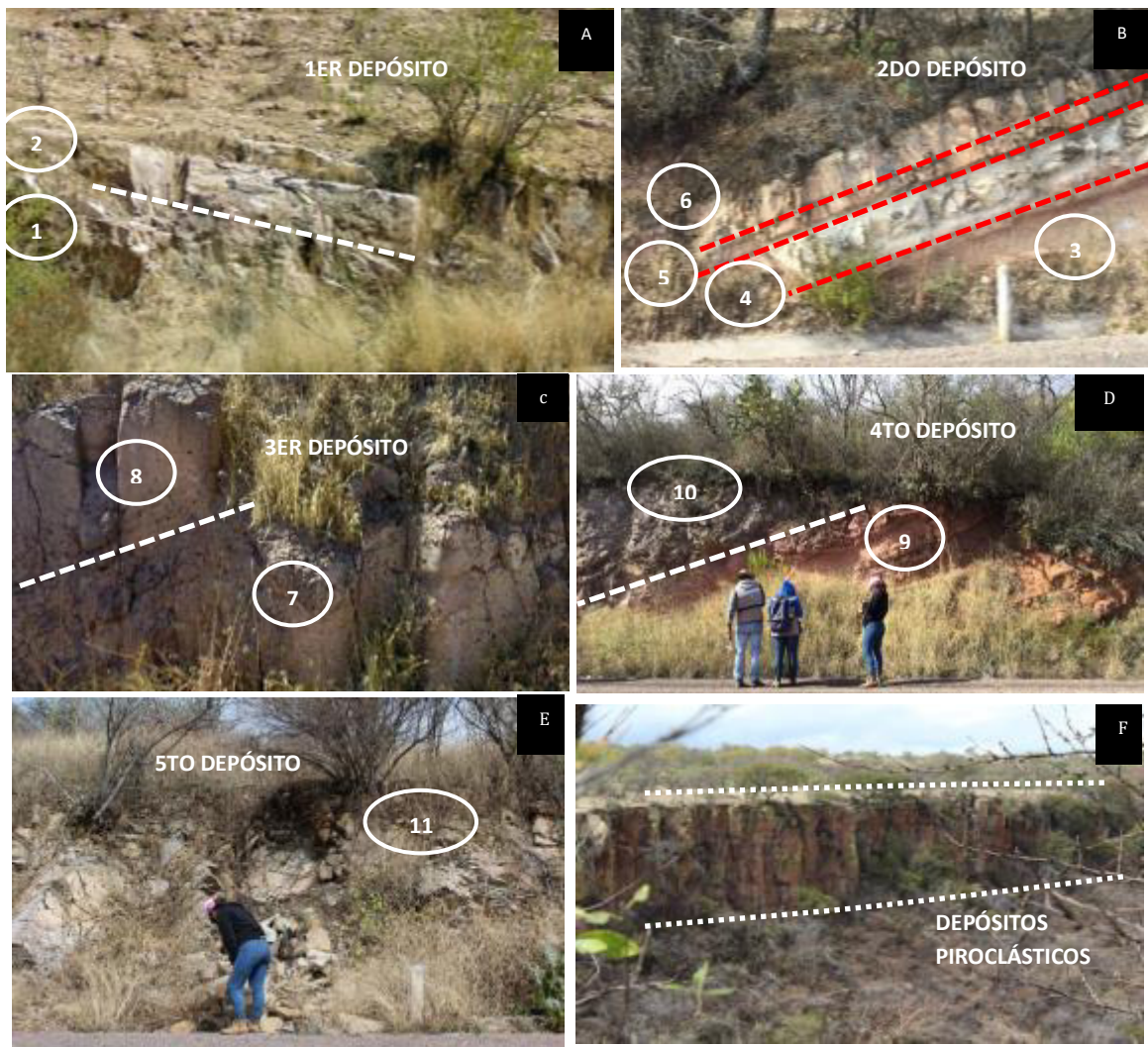


Fig. 32. Afloramientos de todas las ignimbritas que conforman los Depósitos Piroclásticos Hermanos. A) Este primer depósito se encuentra en el punto 30, B) Segundo afloramiento conformado por 4 depósitos ubicados en el punto 31, C) Tercer afloramiento localizado en el punto 35, D) Cuarto depósito encontrado en el punto 36, E) Cuarto afloramiento conformado por el último depósito piroclástico ubicado en el punto 38 y F) Imagen que muestra todos depósitos con una alturamayor a 30m.

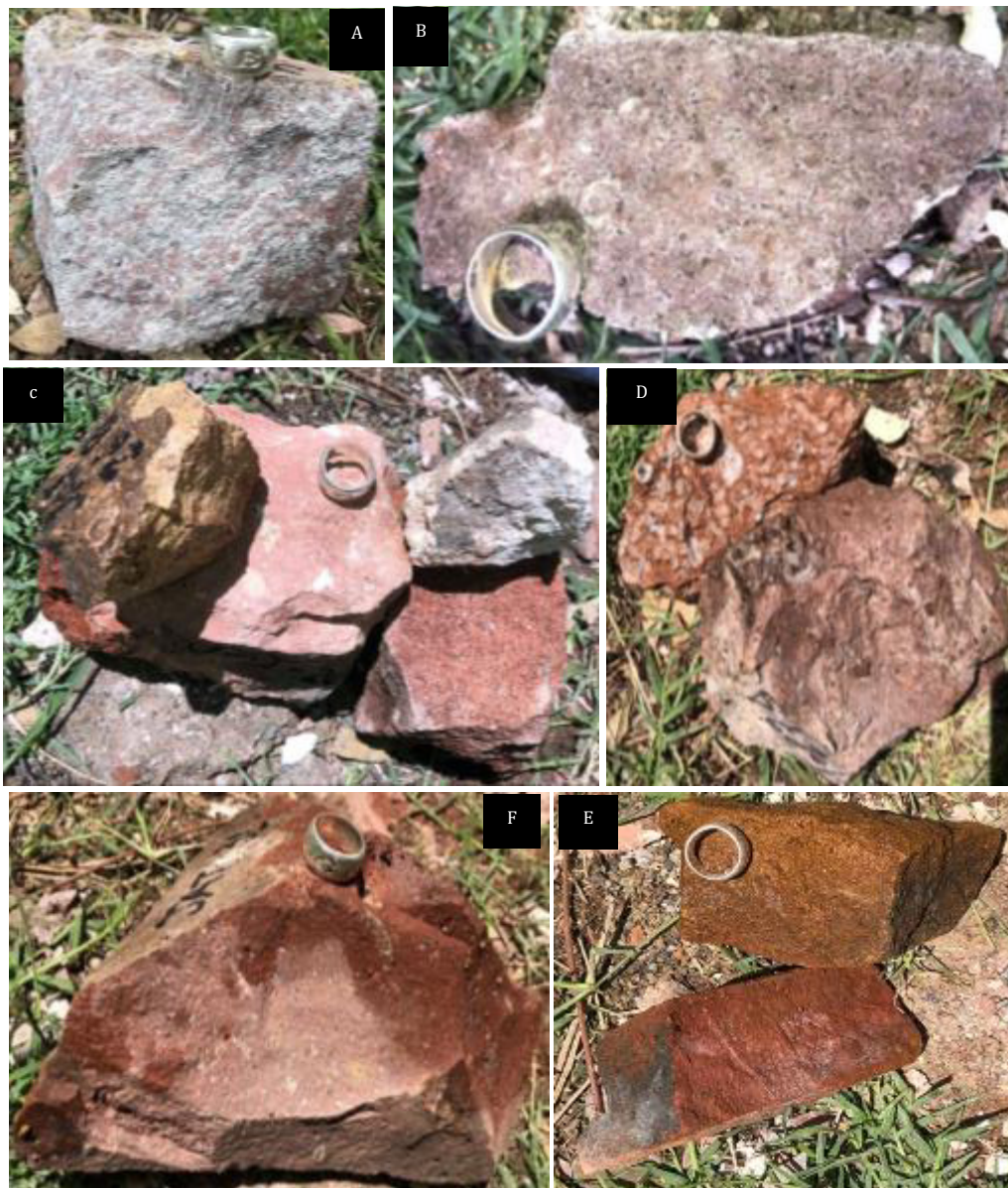


Fig. 33. Imágenes que presentan las muestras de mano obtenidas de todos los afloramientos que son parte de Depósitos Piroclastos Los Hermanos. A) Muestra JAT-24, B) Muestra JAT-25, C) Muestra JAT 26 (a, b, c y d), D) Muestra JAT-27 (a y b), E) Muestra JAT-28 (a y b) y F) Muestra JAT-31

Respecto a la petrografía solamente fueron analizadas las muestras 27 A y B; en la primera se observa una textura porfídica, una matriz criptocristalina conformada por microcristales alotriomorfos y subidiomorfos de cuarzo, también contiene opacos alrededor de los microcristales de cuarzo (Fig. 34a). En la siguiente lámina (muestra JAT-27B) se pueden observar fenocristales anhedrales de cuarzo en su totalidad y estos se encuentran soportados por una matriz vítrea (Fig. 34b y Anexo B).

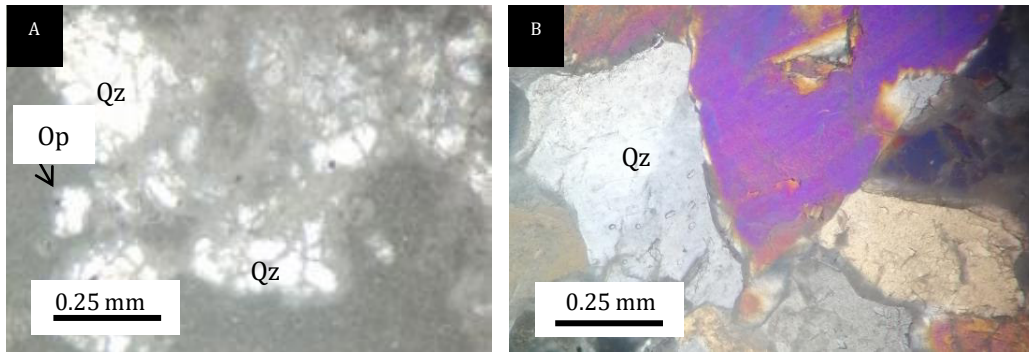


Fig. 34. A) Lámina delgada Depósitos Piroclásticos Hermanos (muestra JAT-27A), Cuarzo (Qz), Opacos (Op). B) Lámina delgada Depósitos Piroclásticos Hermanos (muestra JAT-27B), Cuarzo (Qz).

A 800m del poblado El Corral de Piedra aflora la misma secuencia de depósitos piroclásticos (punto 47), los cuales se encuentran medianamente soldados mostrando tonalidades rosadas, lilas y blancas, con alturas que sobrepasan los 15 m y presentan un ancho promedio de 75 m. Estos diques piroclásticos se dividen en cinco depósitos, los cuales son los siguientes: 1) ignimbrita con tonalidades rosadas con una matriz afanítica, soldada, presentando fiamas alargadas mayores a 3 cm rellenas de cuarzo, 2) depósito de ignimbrita muy bien soldada, presentando tonalidades lilas, con una matriz afanítica soportando fenocristales de cuarzo y contiene oquedades rellenas de cuarzo, 3) unidad de ignimbrita rosa, compuesta por pómez blancas y naranjas mayores a 2 cm, fenocristales de cuarzo, feldespatos y micas, 4) un depósito de ceniza, soldada con tonalidades rosadas-blancas y 5) una ignimbrita soldada, presentando una matriz afanítica soportando fenocristales de cuarzo, plagioclasa y feldespatos, líticos, pómez de 5 cm en su minoría y fiamas más de 5 cm de largo (Fig. 35 A, B y C).

A esta unidad se le asigna una edad entre el límite del Oligoceno temprano-tardío de acuerdo con su posición estratigráfica.



Fig. 35. Imagen que muestra afloramientos y muestras de mano de los 5 diques piroclásticos visibles. A) Afloramiento vista de frente ubicado en el punto 47 , B)Afloramiento vista de lado localizado en el unto 47 y C) Muestras correspondientes a JAT 35 (a ,b c, d y e).

Secuencia Los Cardos

Esta unidad está conformada por intercalaciones de basaltos, tobas e ignimbritas. Afloramientos de entre 2 a 10 m se presentan únicamente en los alrededores de la Sierra de Nochistlán, en las comunidades Los Cardos, La Soledad y cerca de Huiscolo (puntos 92, 93, 97 a 107 y 110 a 114).

Las rocas y depósitos que se agruparon en esta unidad conforman la siguiente secuencia estratigráfica (de la más antigua a la más joven): 1) Un paquete de basaltos con una altura de 2m, alterados con una textura eutaxítica, de una matriz afanítica soportando cristales de feldespatos (sanidino), plagioclasas y en su mayoría olivinos, 2) un depósito de toba de color crema, poco soldada, compuesta por líticos redondeados menores a 1

mm de colores oscuros, pómez pequeñas de colores anaranjados y amarillentos, cristales de cuarzo y pirita, 3) un vitrófido con una altura total de 1.5 m, 4) ignimbrita muy bien soldada, de tonalidad morada, compuesta principalmente por fenocristales de cuarzo y feldespatos (sanidino), líticos oxidados, fiames y oquedades menores a 1cm rellenas de cuarzo, contenidos en una matriz afanítica, y 5) un depósito de toba con una matriz de ceniza de color café, conformada por pómez pequeñas de tonalidades amarillentas y anaranjadas, en menor proporción se presentan líticos redondeados (Fig. 36 A, B y C). La muestra JAT-52 se encuentra aflorando (20 m de altura) cerca de Huiscolo. Esta roca de acuerdo con la fotointerpretación e imágenes satelitales de Google Earth pertenece a la Secuencia Los Cardos.

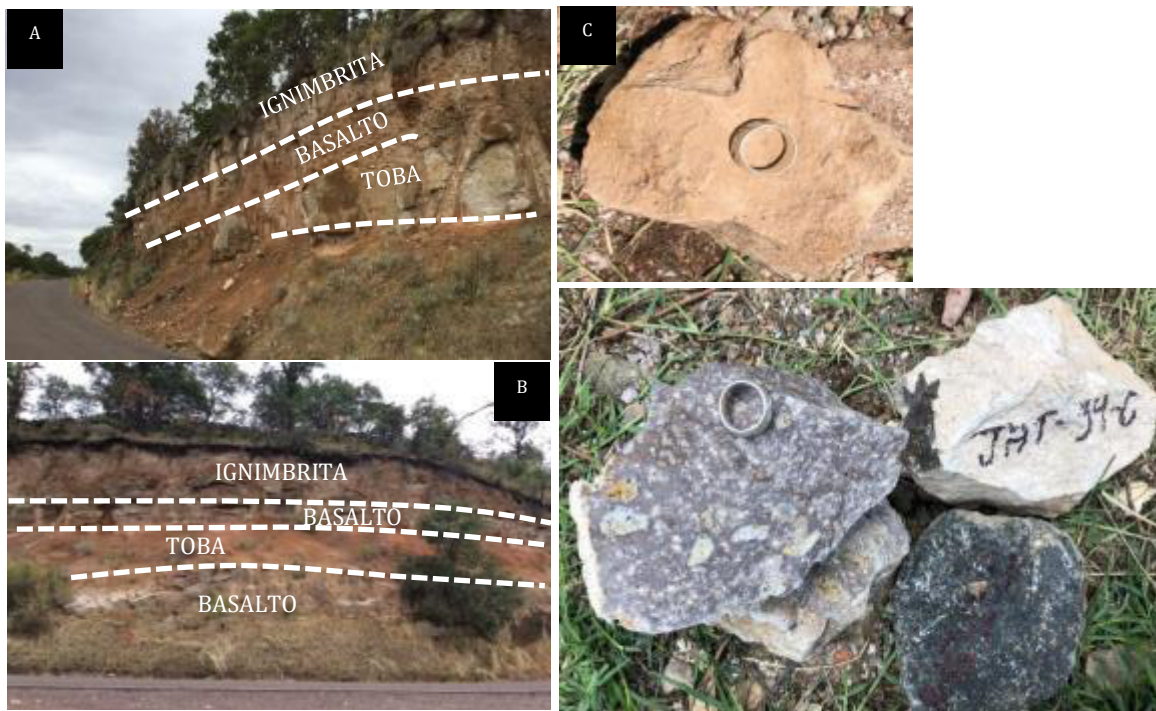


Fig. 36. Imágenes de afloramientos y muestras de mano de la Secuencia Los Cardos. A) Depósito de toba, basaltos e ignimbrita con alturas mayores a 4m ubicados en el punto 99 vista de lado, B) Mismo afloramiento que la imagen A vista de frente y C) Muestras de mano correspondientes a JAT-53 y 54 (a, b y c).

La lámina de la muestra JAT-52 presenta colores mesocráticos a leucocráticos, de textura porfídica. Su matriz criptocristalina se conforma por feldespatos subidiomorfos,

cristales de plagioclasa y por último se observan cristales prismáticos de cuarzo, los cuales, se presentan en mayor proporción (Fig. 37A y Anexo B). En cuanto a JAT-53, en ésta se observa una textura vítrea, su matriz se encuentra soportando microcristales de cuarzo subredondeados y líticos subredondeados de colores oscuros (Fig. 37B y Anexo B). La lámina de la muestra JAT-54, presenta una textura porfídica. Esta roca se compone por fenocristales de cuarzo euhedrales, plagioclasas tabulares, feldespatos y líticos subangulares, soportados por una matriz criptocristalina formada por cristales de cuarzo. (Fig. 37C y Anexo B).

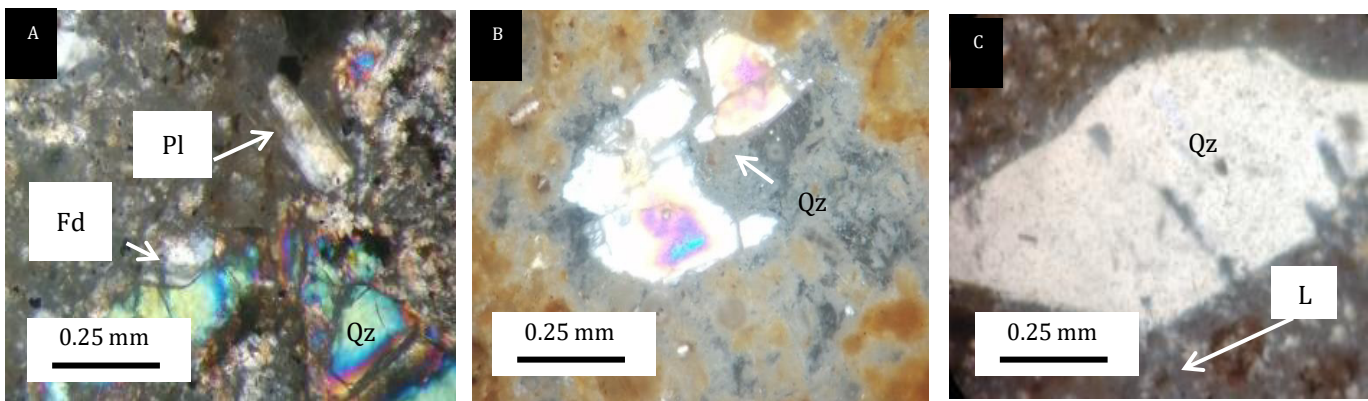


Fig. 37. A) Lámina delgada de una toba que es parte de Secuencia Los Cardos (muestra JAT-52), Plagioclasa (Pl) y Feldespato (Fd). B) Lámina delgada de una toba que es parte de Secuencia Los Cardos (muestra JAT-53), Cuarzo (Q). C) Lámina delgada de una ignimbrita que es parte de Secuencia Los Cardos (muestra JAT-54), Cuarzo (Qz) y Líticos (L).

Se analizó la muestra JAT-54 por el método U-Pb de ablación láser en zircones, esta roca dio una edad de 29.51 ± 0.26 Ma, por lo que esta unidad se ubica dentro del Oligoceno-medio (Fig. 30).

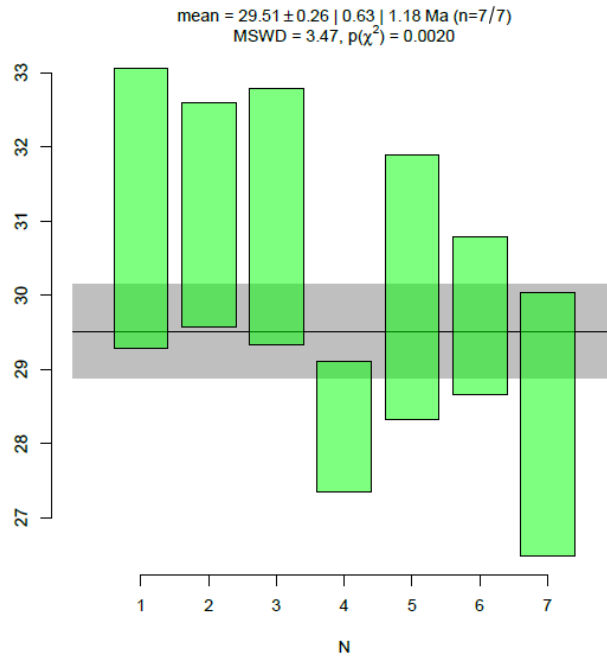


Fig. 38. Fechamiento isotópico por el método U-Pb en ablación láser en zircones para una ignimbrita de la unidad Secuencia Los Cardos (JAT-54).

Domos Riolíticos Garruño- Huiscolo

Esta unidad aflora al este de Jalpa, en los alrededores de la Sierra de Nochistlán, donde abarca desde el noreste del transecto hasta el sureste del mismo. Afloramientos de domos y derrames riolíticos con alturas de 30 a 40 m se observan en la comunidad El Rosario y al noreste de Huiscolco principalmente subyacidas discordantemente por Basaltos de Tlachichila (puntos 86, 87, 88 y 89) (Fig. 39 A, B y C). Hacia el NE del transecto se observa esta unidad dentro de los poblados de Loma Larga, San Rafael y La Atarjea. La roca muestra tonalidades lilas y rosadas, se compone por una matriz afanítica que soporta primordialmente fenocristales de cuarzos bien formados con tamaños menores a 2 mm y feldespatos (sanidino) tabulares (Fig. 39D).



Fig. 39. Afloramientos y muestra de Domos Riolíticas Garruño-Huiscolo. A) Afloramiento de riolita de más de 20m , B) Afloramiento de flujo riolítico sobre el suelo obtenido en el punto 88, C) Afloramiento de domos riolíticos vista de frente localizado en el punto 94 y D) Muestra de mano correspondiente a JAT-49.

De acuerdo con el fechamiento mediante el método U/Pb de ablación láser en zircones reportado por Beltrán-Martínez (2019) se obtuvo una edad de 27.90 ± 0.60 Ma para la Riolita Garruño encontrada cerca de estos domos riolíticos, por esta razón se cree que ambas unidades pertenecen a un mismo evento volcánico. Así que esta unidad se ubica dentro del Oligoceno temprano-tardío.

Toba Los Indios

Este depósito se observa en los alrededores de la Sierra Morones ubicada en la zona oeste del área de estudio. Durante todo el recorrido se aprecian (puntos 28, 36, 41 y 42) afloramientos de entre 7 a 20 m de un depósito de toba nada soldada. Cerca de la

Carretera Federal 54 Tabasco- Juchipila se encuentran afloramientos de 2 m de una toba lítica poco soldada (punto 138) (Fig. 40 B, C y D). En muestra de mano la roca cuenta con líticos redondeados de colores oscuros, su matriz presenta tonalidades grises y morados, pómez mayores de 1 cm oscuras y fragmentos de andesita de 1.5 cm (Fig. 40A).

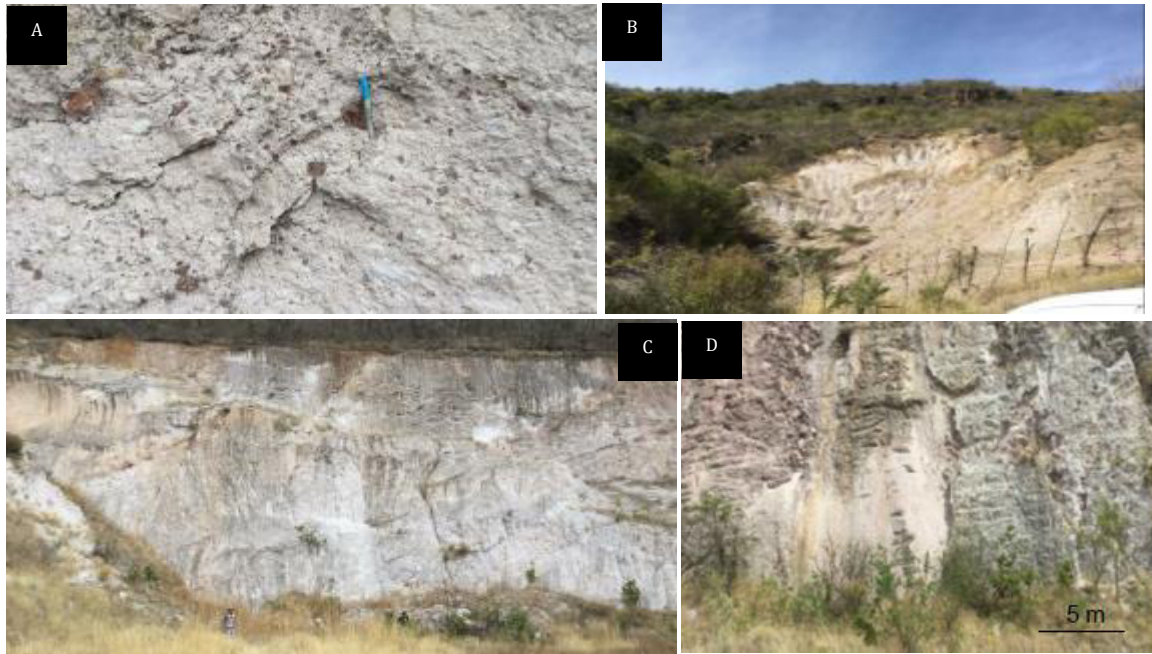


Fig. 41. Afloramientos de más de 20m de Toba Los Indios. A) Se puede observar los líticos de diferentes tamaños que conforman la toba (punto 28), B) Depósito localizado en el punto 36, C) Afloramiento ubicados en el punto 42 y D) Toba Los Indios encontrada sobre la Carretera Federal Tabasco- Juchipila (punto 138).

Igualmente esta unidad la podemos observar en las partes más altas de la Sierra Morones al oeste del transecto en la comunidad La Cuchilla, donde afloramientos de 2 a 3 m de altura (punto 1) (Fig. 42). En muestra de mano la matriz es afanítica con tonalidades rosados, lilas y blancos, está compuesta por fenocristales de cuarzos, algunos minerales opacos, líticos subredondeados a redondeados oscuros, fragmentos de andesita y pómez menores a 0.5 cm.



Fig. 40. Afloramiento de 1.5m de Toba Los Indios localizada en el punto 1.

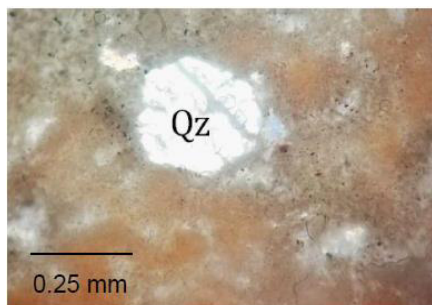


Fig. 42. Lámina delgada de Toba Los Indios (muestra JAT-01), Cuarzo (Qz).

Se hizo el análisis petrográfico de la muestra JAT-01, ésta presenta una matriz criptocristalina y contiene cristales alotriomorfos de cuarzos alterados con una alineación preferente vertical (Fig. 41 y Anexo B).

Esta unidad se encuentra sobrayaciendo discordantemente las Capas Rojas Las Azucenas, cubriendo discordantemente a la litología Depósitos Piroclásticos Hermanos y rellenando parte del graben.

Discordantemente se encuentra cubierta por Basaltos Tlachichila. Webber et al. (1994) clasificaron este paquete como “Toba Los Indios”, fue datada por el método trazas de fisión y se le asignó una edad de 25.9 ± 2.5 Ma, por lo que, es ubicada dentro del Oligoceno tardío.

Basaltos Tlachichila

Los Basaltos Tlachichila son un conjunto de derrames basálticos que afloran en la parte este del transecto, principalmente en la Sierra Nochistlán en los alrededores de los poblados de Laguna, Las Amarillas, Tlachichila, Sombreretillo, Mesa del Ocote, Santa Gertrudis y La Majada. Estos afloramientos presentan alturas de aproximadamente 0.5 m (puntos 89, 90, 91, 94, 95, 96 y 98). En muestra de mano la roca se encuentra vesiculada, alterada y se conforma por fenocristales de plagioclasas alargadas, olivinos rojizos (generado por la alteración) dentro de una matriz vítrea. Respecto a su posición estratigráfica esta unidad se encuentra cubriendo Secuencia Los Cardos y Domos Riolíticos Garruño-Huiscolo.

Basaltos alterados por intemperismo se encuentran ubicados dentro de la comunidad Agua Blanca y Las Palmitas. Los afloramientos vistos en campo presentan una altura menor a 3 m. En muestra de mano la roca contiene cristales plagioclasas y olivinos rojizos alterados soportados por una matriz afanítica (Fig. 43B). Estos se hallan en contacto con Domos Riolíticos Garruño-Huiscolo y se presentan subyaciendo discordantemente a Secuencia Los Cardos (Fig. 43A).



Fig. 43. Afloramiento y muestra de mano de un basaltos (flujo de lava tipo pahohoe) encontrados en la parte este del transecto. A) Pedazos de basalto y afloramientos de suelo de Basaltos Tlachichila (punto 96) y B) Muestra de mano correspondiente a JAT-50.

En la parte oeste del transecto (puntos 29, 37 y 43), en los alrededores de la Sierra Morones hacia el sureste del poblado El Cajón también podemos observar este tipo de flujo de basaltos. Los afloramientos que se encuentran en esta zona puede llegar tener una altura de hasta 5 m. En muestra de mano exhibe una matriz oscura con textura afanítica soportando pequeños cristales de plagioclasas con tamaños relativos no más de 1 mm, micas y olivinos rojizos alterados (Fig. 44C).



Fig. 44. Basaltos Tlachichila encontrados en el oeste del transecto. A) Afloramiento de 2m de basaltos impermeizados (punto 37), B) Muestra de mano correspondiente a JAT-29 y C) Muestra de mano correspondiente a JAT-30.

La muestra JAT-30 fue analizada bajo el microscopio, por lo que se determinó que la roca presenta una textura intersectal, con colores mesocráticos, con una matriz conformada por microcristales subidiomorfos e ideomorfos de plagioclasa, también se distinguen

fenocristales de piroxenos subidiomorfos (Fig. 45). Esta unidad sobreyace discordantemente a Miembro Toba Amarilla y Depósitos Piroclásticos Hermanos. Se cree que por su posición estratigráfica esta unidad es parte del Oligoceno temprano-tardío.

Miembro Toba Amarilla

Esta unidad se encuentra ubicada en los bordes del graben y en cierta parte rellenándolo (puntos 130, 131 y 135). Igualmente se pueden visualizar afloramientos en la Sierra El Laurel y Nochistlán (puntos 108 y 109). Este depósito de tobas finas cuenta con afloramientos que van desde 3 m hasta los 25 m y se identifican en la parte noreste-centro del área de estudio, dentro de las comunidades de Las Tareas, San Vicente y Los Moraleños, y dentro de la parte sureste-centro cerca de la comunidad La Soledad, ésta se encuentra cubriendo discordantemente solo una pequeña parte de La Secuencia Los Cardos (Fig. 46 A, B y C). En muestra de mano se observa que la roca se compone de una matriz de ceniza, medianamente soldada y con tonalidades blancas a amarillentas soportando líticos blancos con tamaños menores de 1 mm.

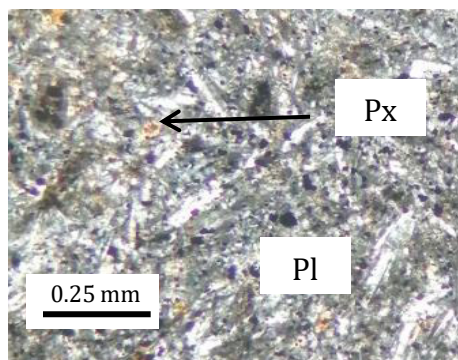


Fig. 45. Lámina delgada de Basaltos Tlachichila (muestra JAT-30), Plagioclasa (Pl) y Piroxenos (Px).

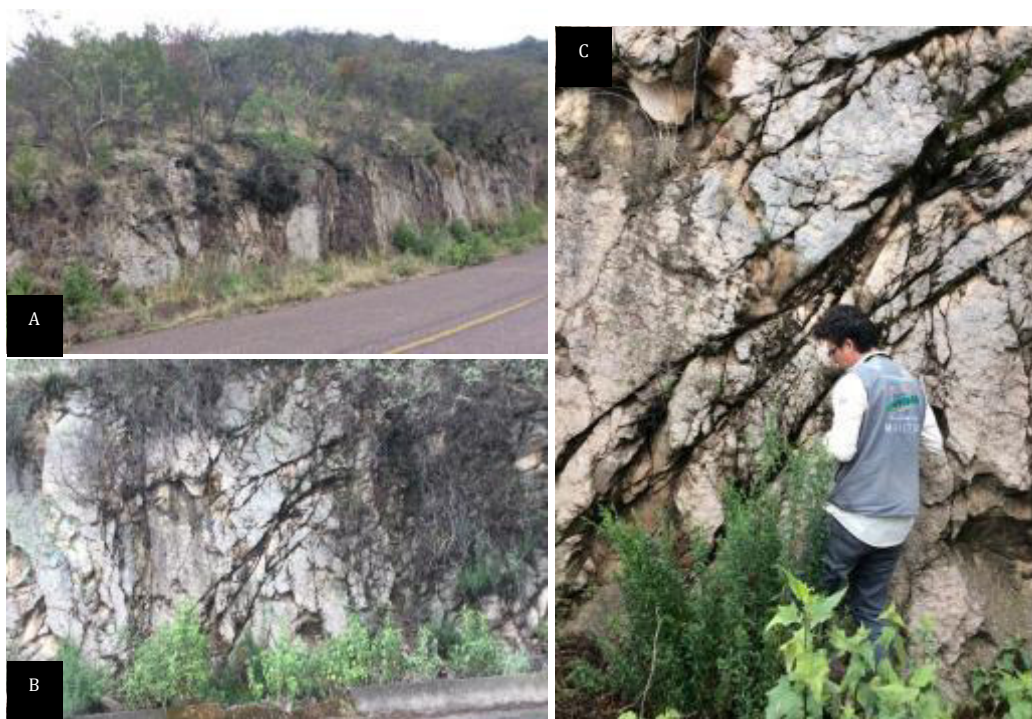


Fig. 46. Afloramientos de toba de ceniza afectados por fallas normales. A) Depósito de 1.5m encontrado al este del transecto (punto 108) B) Afloramiento de más de 2m (punto 108) y C) Mismo afloramiento que en Imagen B.

Webber et al., (1994) mediante el método de Trazas de Fisión basados en zircons determinaron la edad 25.3 ± 2 Ma de un depósito similar al descrito anteriormente conocido como “Miembro de Toba Amarilla”. Por esta razón esta unidad es ubicada en el Oligoceno tardío.

4.1.2.2 Néogeno

4.1.2.2.1 Mioceno

Ignimbrita Calvillo- Jalpa

Se describe esta unidad como un depósito de ignimbritas con matriz de ceniza de tonalidades blancas- rosadas. Esta litología se encuentra bordeando el relleno o centro del graben dentro del libramiento de Jalpa, aproximadamente a 6 km de Jalpa hacia el noreste. También podemos encontrar esta unidad aflorando cerca de la comunidad Las Palmillas (puntos 125 y 126). De acuerdo a las observaciones de campo se observan depósitos de 5 m de altura. En muestra de mano la roca contiene una matriz de ceniza con colores claros y soportando líticos oscuros subredondeados, algunos fragmentos de pómez, fenocristales de feldespatos (sanidino) y cuarzo (Fig. 47).



Fig. 47. Muestra de mano de la unidad Ignimbrita Calvillo-Jalpa (JAT-67).

Martínez-Reséndiz (2018) reportó un fechamiento de la muestra JUC-29 mediante el método U/Pb de ablación láser en zircons y como resultado se obtuvo la edad de 22.37 ± 0.28 , por lo que se ubica en el Mioceno Temprano.

Basaltos Tuitán

En la parte este del transecto en las zonas bajas de la Sierra Laurel aproximadamente a 800 m al noroeste de la comunidad La Soledad y dentro de los poblados La Chaveña, Palmillos y Tuitán (puntos 107, 115, 124, 127 y 128) afloran flujos de basaltos a una altura de no más de 1 m. Igualmente se visualizan diques de 5m de ancho cortando a Miembro Toba Amarilla (Fig. 48 A y B). En muestra de mano se exhibe

una textura afanítica con una matriz conformada por plagioclasas y en su minoría se presentan cristales de olivinos alterados.

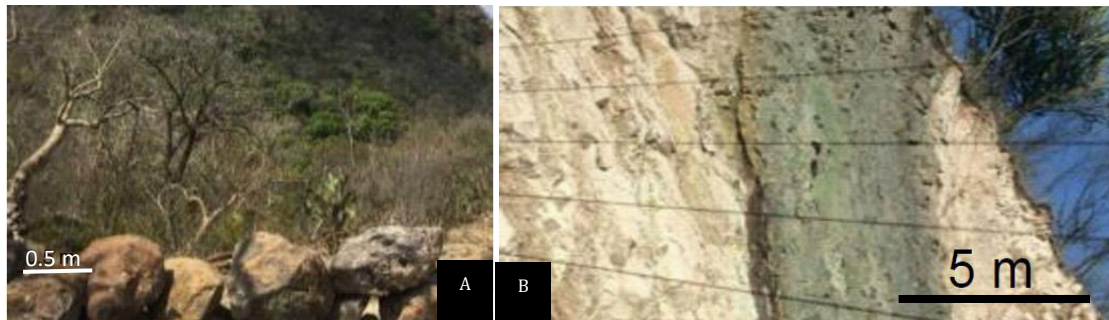


Fig. 48. Afloramientos de flujos de lava y diques de basaltos. A) Afloramiento sobre el suelo de basaltos B) Dique basáltico cortando a Miembro Toba Amarilla.

Afloramientos con alturas de no más de 2 m ubicados en la parte oeste del área de estudio, bordeando el graben, al suroeste de la comunidad El Molcajete y dentro del poblado El Corral de Piedra se presentan brechas y basaltos alterados (punto 43, 50 y 53), (Fig. 49).



Fig. 49. Afloramiento de basaltos alterados de la unidad Basaltos Tuitán ubicado en el punto 50.

Martínez-Reséndiz (2016) en su trabajo de tesis en la parte este del transecto realizó dataciones mediante el método $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}/$ y el resultado que obtuvieron fue que la edad para esta unidad es de 13.27 ± 0.45 Ma, en conclusión es ubicada dentro del Mioceno Medio.

Lacustres La Pitaya

Rellenando el graben, al centro del área de estudio, depósitos de 2 m hasta 20m de altura de lacustres se encuentran aflorando dentro de las comunidades La Pitaya, Caballerías y Los Jacalitos en los alrededores de Jalpa (puntos 134, 135 y 137). Esta roca presenta unas tonalidades claras principalmente beige, poco consolidadas (Fig. 50 A y B). Estos lacustres se depositaron de forma no conforme al Supergrupo Volcánico Superior de acuerdo con Lahiere (1982) y López (1991). Carranza-Castañeda et al., (2013) mediante dataciones de zircones obtenidos de cenizas volcánicas interestratificadas con sedimentos fluvio-lacustres y algunos fósiles presentes al sur del graben obtuvieron edades de U-Pb de 6.95 ± 0.27 , 6.53 ± 0.11 y 5.59 ± 0.11 Ma. Por esta razón son ubicados en Mioceno tardío a Plioceno Temprano.



Fig. 50. Afloramientos de Lacustres La Pitaya que muestran alturas de más de 20m. A) Depósitos de lacustres de más de 20 m ubicados al este del transecto y B) Afloramiento de lacustres estratificados casi horizontalmente.

4.1.2.3 Cuaternario

4.1.2.3.1 Pleistoceno-Holoceno

Conglomerado Reciente Tenayuca

Al oeste del área de estudio se presentan afloramientos de conglomerados, gravas, arenas y arcillas de colores rojizos y cafés, los cuales se componen principalmente por clastos subredondeados de basalto e ignimbritas pre-existentes a estos, se puede

interpretar que sea parte del relleno del graben (punto 55). Los afloramientos llegan a presentar alturas de un aproximado de 10m. Esta unidad se ubica dentro del Pleistoceno por su relación estratigráfica.

Aluvión

La unidad más joven de este paquete de rocas que aflora dentro del graben de Juchipila es el aluvión. Podemos encontrar depósitos de menos de 2 m de altura en los alrededores de Jalpa, principalmente en el centro del graben. El aluvión es conformado por partículas de todas las rocas que se encuentran alrededor de este. Se le ubica en el Holoceno por su posición estratigráfica.

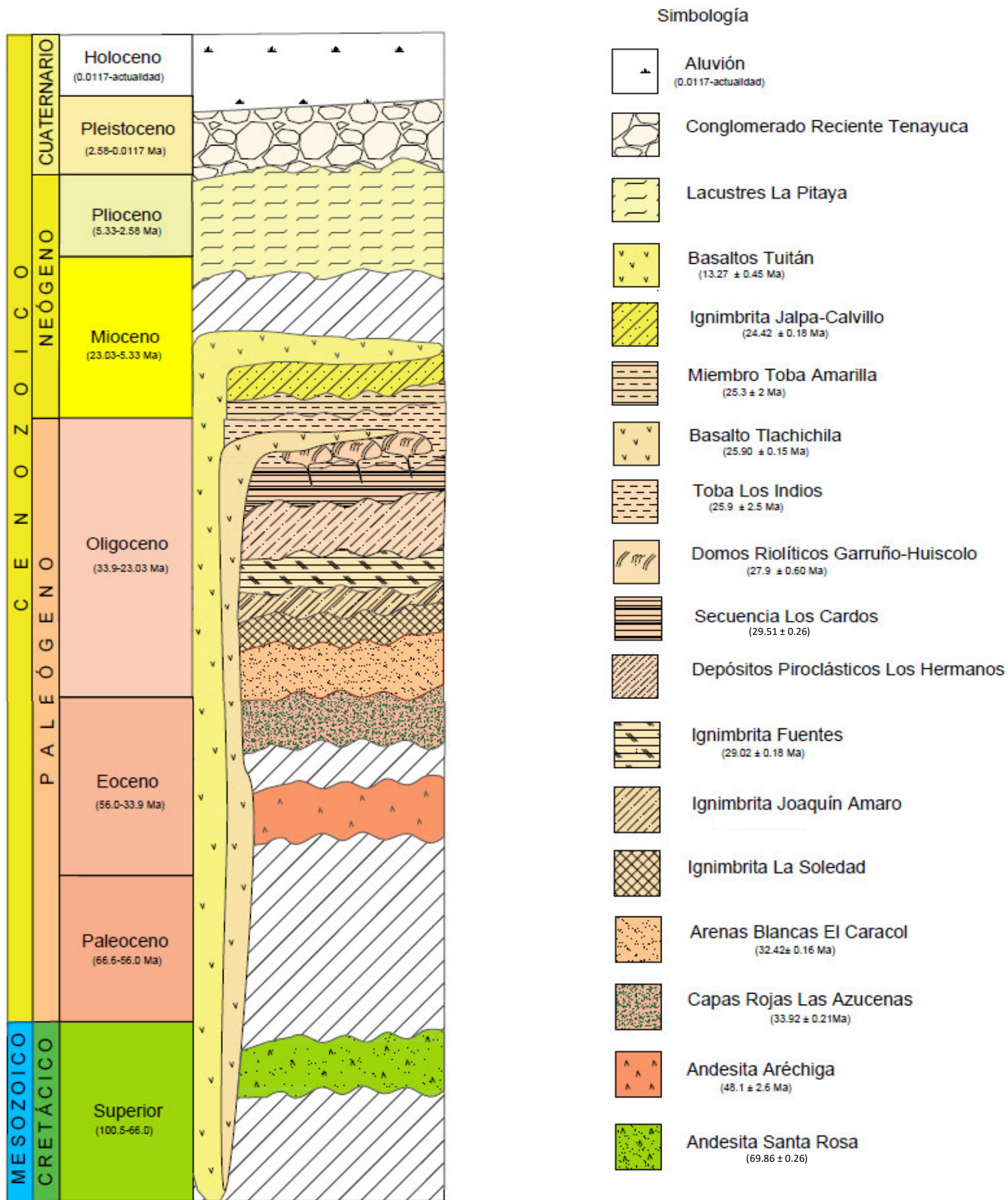
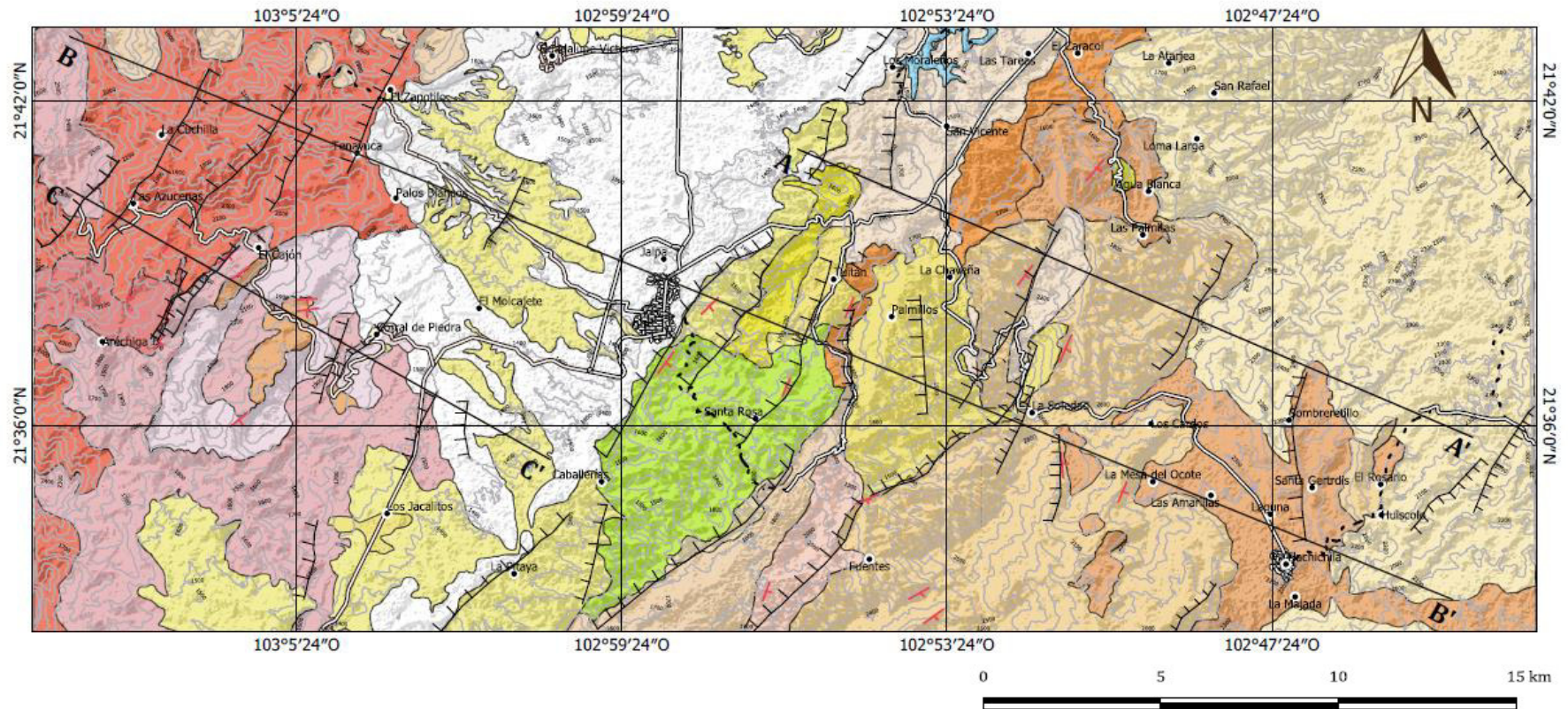


Fig. 51. Columna estratigráfica del transecto centro-norte del Graben de Juchipila.

MAPA GEOLÓGICO-ESTRUCTURAL DEL TRANSECTO CENTRO-NORTE DEL GRABEN DE JUCHIPILA



SIMBOLOGÍA

CUATERNARIO	Basaltos Tlachichila	Arenisca Blancas El Caracol	SÍMBOLOS TOPOGRÁFICOS
Aluvial	Toba Los Indios	Capas Rojas Las Azucenas	Localidad
TERCIARIO	Domos Riolíticos Garruño-Huiscolo	Andesita Aréchiga	Calles
Conglomerado Reciente Tenayuca	Complejo Los Cardos	CRETÁCICO SUPERIOR	Carretera
Lacustres La Pitaya	Depósitos Piroclásticos Los hermanos	Andesita Santa Rosa	Caminos
Basalto Tuitán	Ignimbrita Fuentes	ESTRUCTURAS	Cuerpos de Agua
Ignimbrita Calvillo-Jalpa	Ignimbrita Joaquín Amaro	Lineamientos	Curvas de Nivel
PALEÓGENO	Ignimbrita La Soledad	Basculamientos	
Miembro Toba Amarilla		Fallas Normales	
		Secciones	

Fig. 52. Mapa geológico estructural a detalle del transecto centro-norte del Graben de Juchipila, Jalpa, Zacatecas, Sierra Madre Occidental.

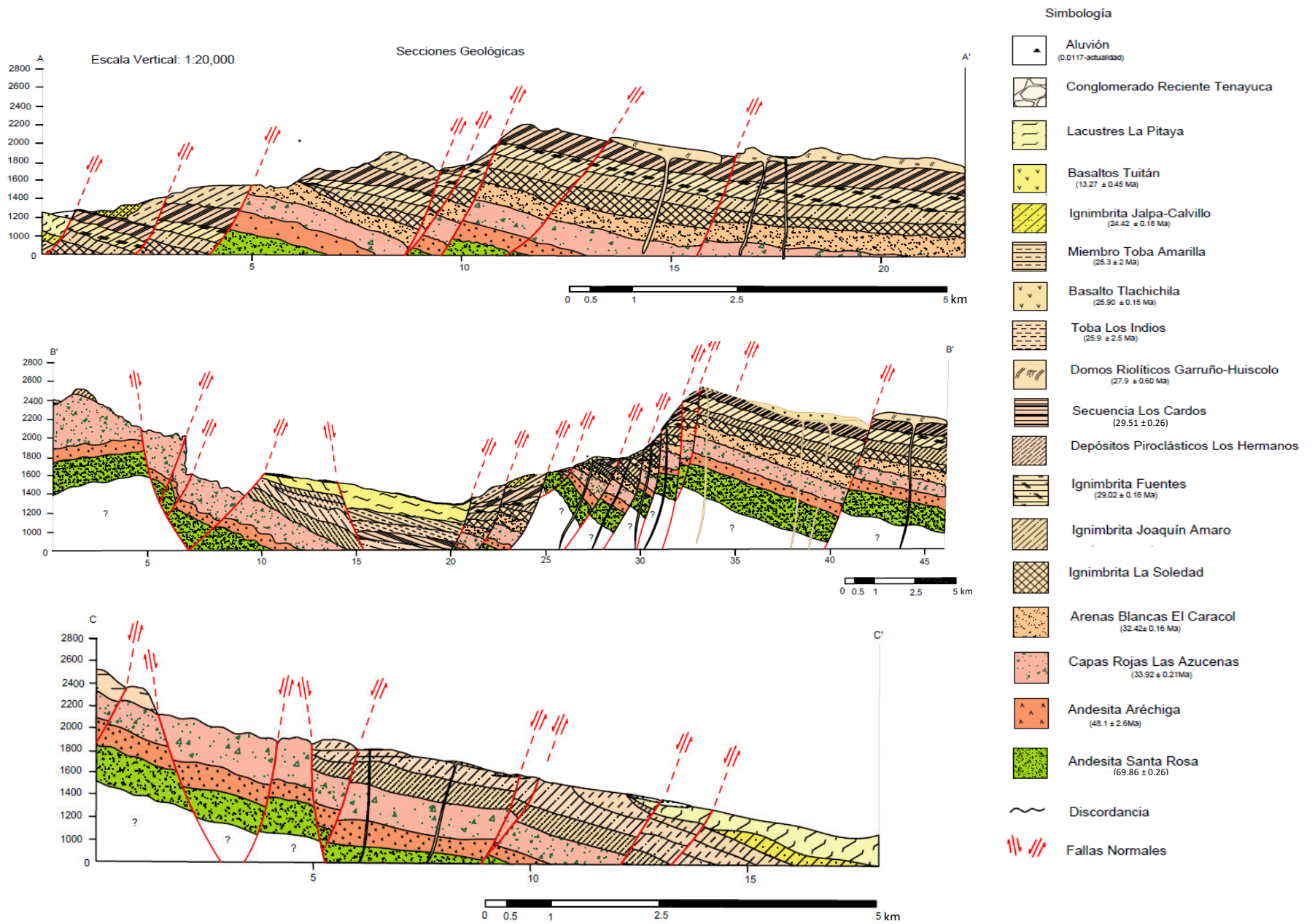


Fig. 53. Secciones geológicas a partir del mapa geológico-estructural a escala 1:45,000 del transecto centro-norte del Graben de Juchipila, Jalpa, Zacatecas, Sierra Madre Occidental.

4.2 Estructura del transecto Jalpa

En este subcapítulo se determina la geometría del graben de acuerdo con los datos estructurales (fallas, estratificación y dirección del flujo) que se obtuvieron durante el trabajo de campo. Posteriormente se hace mención de los análisis cinemáticos y dinámicos que se efectuaron para clasificar las fallas, que, conforme a su tendencia general fijan alguna relación entre la dinámica y cinemática del graben. Todo esto con la finalidad de comprender la formación y evolución del graben de Juchipila en la porción centro-norte.

4.2.1 Análisis de Lineamientos

Los lineamientos son rasgos estructurales lineales que representan zonas de fallas y fracturas con una tendencia preferente respecto a su orientación. Estos se pueden identificar por medio de imágenes satelitales, fotografías aéreas, mapas topográficos y geológicos. Para la primera etapa del trabajo estructural se identificaron y trazaron los lineamientos (no mayores a 3 km de largo) más representativos de la zona de estudio con la ayuda del software Google Earth que contiene imágenes satelitales de alta resolución (Fig. 54).

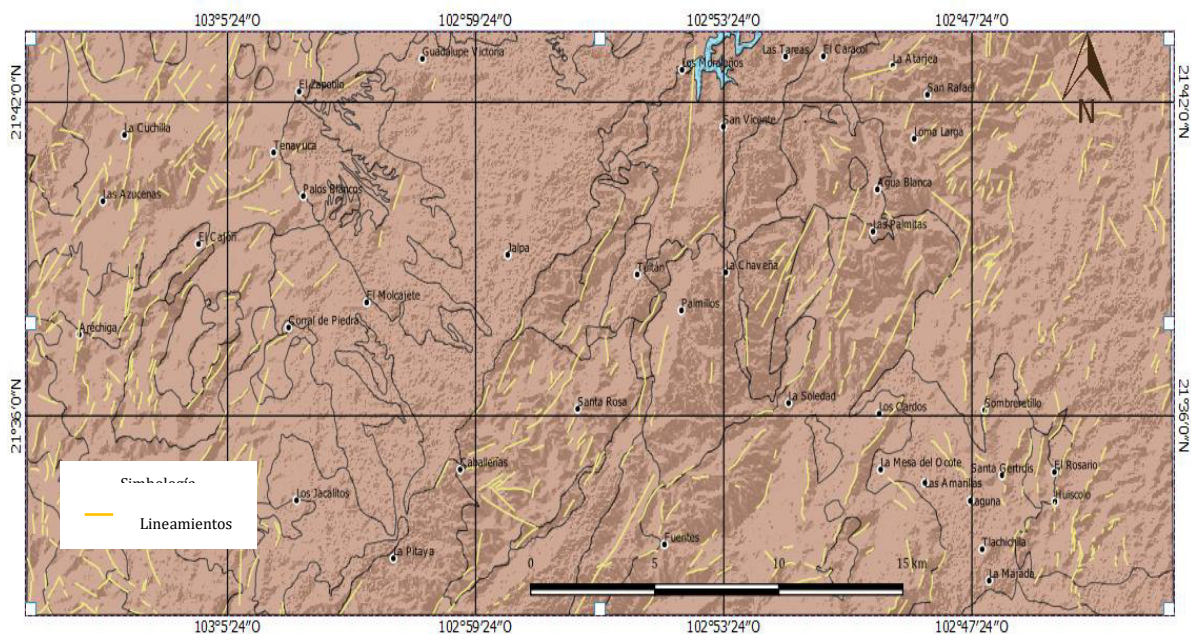


Fig. 54. Mapa de lineamientos mayores y menores (color amarillo), los cuales tienen una tendencia NE-SW.

Como se muestra en la Fig. anterior se observa que en la parte oeste del transecto la dirección principal tiene un rumbo NE-SW, aunque también y en menor cantidad se reconocen algunos lineamientos con orientaciones NW-SE y N-S. Comparando la parte este del transecto con la del oeste, estos se encuentran con direcciones distintas muy notables (NE-SW, NW-SE y E-W), pero aun así el graben se caracteriza por una tendencia principal con rumbo NE-SW.

4.2.2 Análisis de basculamiento de bloques

En la parte centro-norte del Graben de Juchipila podemos observar e identificar mediante imágenes satelitales con alta resolución bloques basculados que presentan longitudes hasta de 15 km con rumbos preferentes al NE-SW y buzando principalmente al NW o SE. La tendencia de inclinación de la estratificación de algunas de las unidades geológicas tiene una tendencia preferente al SE. (Fig. 55).

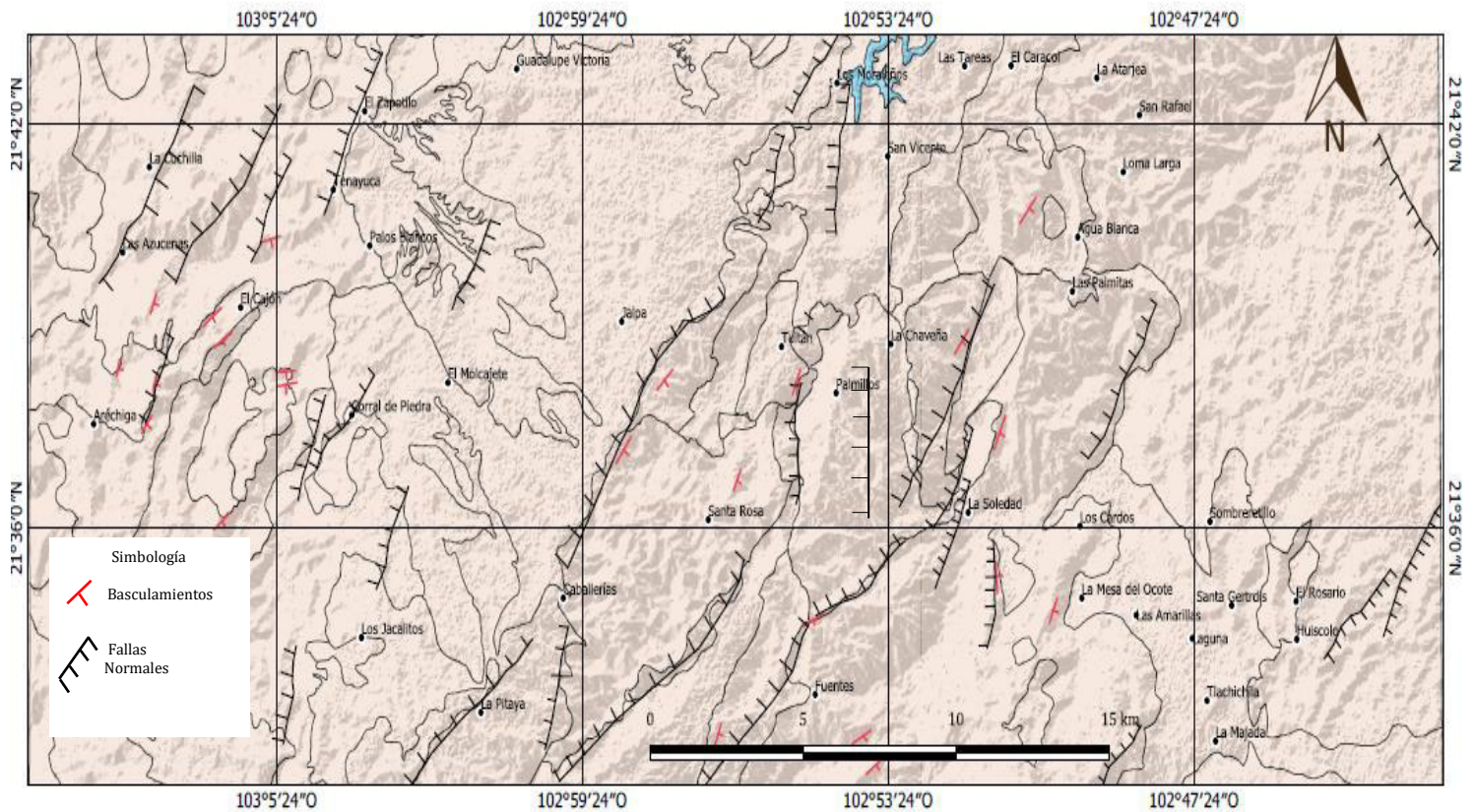


Fig. 55. Mapa de bloques basculados que se encuentran en el transecto centro-norte del graben de Juchipila.

De acuerdo con lo dicho anteriormente se puede interpretar que la parte oeste del transecto presenta bloques basculados con una inclinación preferente hacia el SE al igual que en la parte este. En cuanto a las fallas normales en la parte oeste la dirección predominante es NE-SW con inclinaciones hacia el NW y SE. Por otro lado, las estructuras muestran una tendencia de rumbo hacia el NE-SW y sus echados son NW, SW y SE. Así que, se puede concluir que ambos lados oeste y este muestran que los bloques basculados tienen una inclinación promedio al SE y sus fallas se caracterizan por tener un rumbo preferente NE-SW y un echado hacia el NW. Por lo que, estas estructuras se encuentran cortando a las unidades y formando a los bloques que conforman toda la parte centro-norte del graben de Juchipila.

4.2.3 Análisis de fallas y datos de estratificación

En las salidas a campo se midieron datos estructurales, donde se obtuvo un total de 52 datos de estratificación y 87 de fallas. Cabe mencionar que solo en algunos afloramientos fue posible tomar los siguientes parámetros de falla: datos de estrías y el sentido de movimiento.

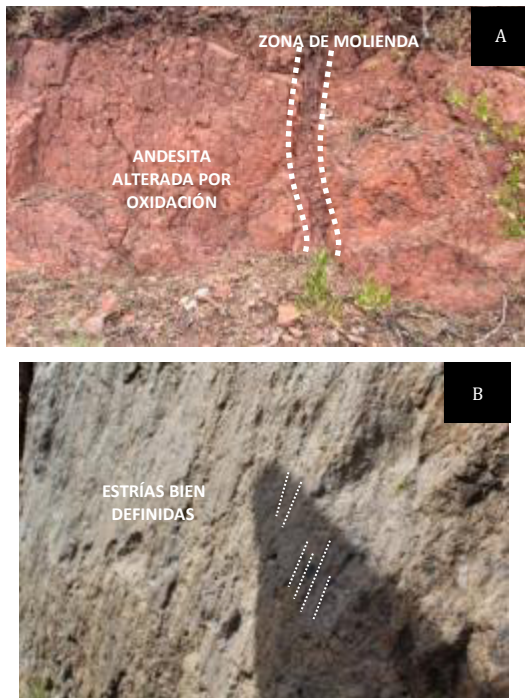


Fig. 56. Afloramientos de Andesita Santa Rosa en la parte este del transecto cerca de la comunidad Santa Rosa. A) Falla normal con un espesor de 10 cm de zona de molienda. B) Plano de falla con estrías bien definidas.

Mediante las fallas, datos de estratificación medidos y los programas: Stereonet, WinTensor y Faultkin (en donde se hicieron diagramas Schmidt, contornos, polos, inclinaciones y elongación de esfuerzos) se realizaron análisis geométricos, cinemáticos y dinámicos para determinar la geometría del graben, interpretar los movimientos de las estructuras y comprender las fuerzas que originaron los movimientos de un grupo de fallas de acuerdo a su geometría, respectivamente.

Las características generales de las fallas fueron identificadas a partir de la fotogeología realizada en imágenes satelitales de alta

resolución en el programa Google Earth. Estas estructuras presentan longitudes no mayores a 10 km y en los afloramientos se pudo llegar a notar algunas fallas mayores con desplazamientos de 2 m y otras que fueron clasificadas como fallas menores con desplazamientos de 10 hasta 15 cm. En algunas zonas las fallas se encontraban rellenas por calcita y presentaban espesores de 5 a 15 cm. La mayoría de los planos de falla que se presentaban en los afloramientos se encontraban bien definidos, por lo que, se pudo hacer las mediciones de las estrías (Fig. 56B) y calcular sus ángulos de manera más accesible. Los ángulos de las estrías presentaron un promedio general de 75°. En algunos las zonas de brecha o zonas de molienda presentan un espesor de 15cm hasta 1m (Fig. 56A).

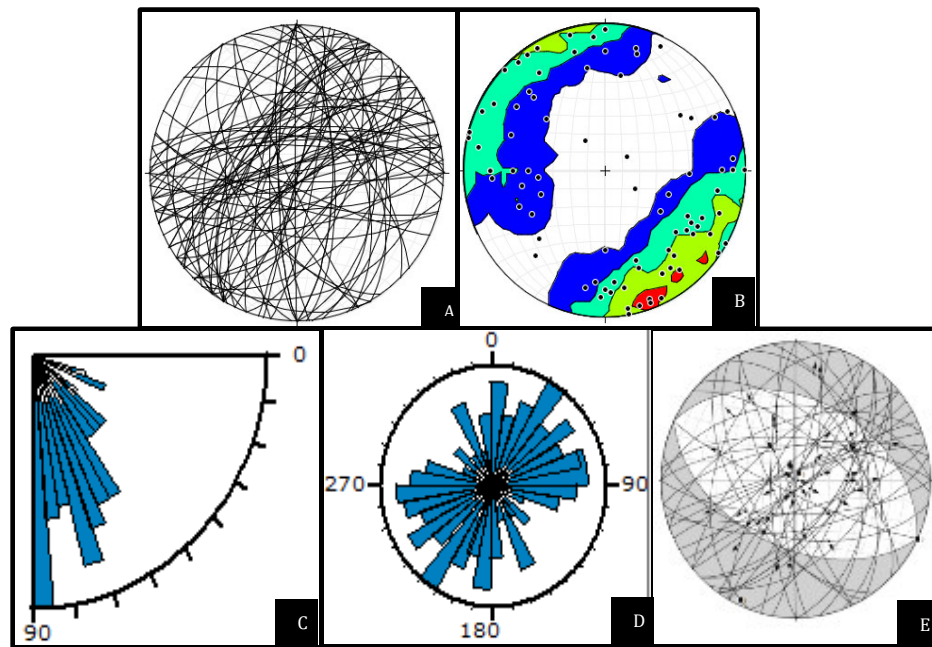


Fig. 57. Imagen representando las fallas que afectan al transecto centro-norte del Graben de Juchipila. Los tres primeros diagramas presentan un total de 87 fallas y el último sólo cuenta con 45 fallas. A) Diagrama de Schmidt (rumbos y echados), B) Diagrama de polos y contornos, C) Diagrama de inclinaciones, D) Diagrama de orientación de planos y E) Diagrama de diedros rectos.

De acuerdo con los análisis geométricos las fallas presentan rumbos: NE-SW (con un total de 56 fallas), NW-SE (con un total de 20 fallas), N-S (con un total de 7 fallas) y E-W (con un total de 4 fallas). Cabe mencionar que algunas de las fallas mayores fueron identificadas de acuerdo con los mapas geológicos del SGM, INEGI y a la

fotointerpretación. Conforme a los análisis realizados se determina que hay una familia de estructuras más representativa, ésta tiene un rumbo con una tendencia preferente NE-SW. El promedio, en cuanto a sus inclinaciones muestran ángulos de 70° y 90°, con direcciones de buzamiento hacia el NW, N y SE (Fig. 57 A, B, C y D). Mediante la toma de datos de estrías de las fallas se realizó el análisis cinemático y dinámico utilizando el diagrama de diedros de rectos. También es preciso mencionar que para el análisis cinemático (Fig. 57E) se hicieron agrupaciones de rangos de rumbos de fallas de la siguiente manera (Tabla 2):

Tabla 2. Rangos de rumbos de fallas

N-S		E-W		NE-SW		NW-SE	
Ángulos	<30	Ángulos	>60	Ángulos	30-60	Ángulos	30-60
grados (que van de NW30 a NE30)		grados (que van de NE60 a NE90 y de NW60 a NW90)		grados (que van de NW30 a NW60)		grados (que van de NE30 a NE60)	

Todo esto con la finalidad de realizar una mejor interpretación de los datos de fallas obtenidos en campo y entender los movimientos de elongación que rigieron el origen de la parte centro-norte del graben de Juchipila.

Por otra parte los datos de estratificación presentan rumbos: NE-SW (con un total de 38 datos), NW-SE (con un total de 10 datos), N-S (con un total de 4 datos) (Fig. 58 A, B y D). De acuerdo con la Fig. 58C la inclinación presenta un rango en sus ángulos de 4° hasta 35° y tienen una tendencia de dirección preferente hacia el SE.

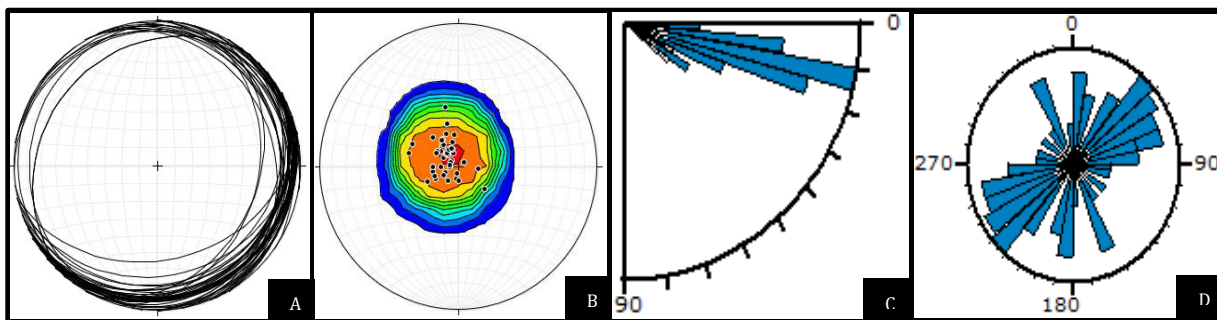


Fig. 58. Imagen representando un total de 52 datos estratigráficos tomados en toda la parte central-norte del graben. A) Diagrama de Schmidt (rumbos y echados), B) Diagrama de polos y contornos, C) Diagrama de inclinaciones y D) Diagrama de orientación de planos. 95

Para facilitar el entendimiento e interpretación de las estructuras que rigen el área de estudio, la parte centro-norte del graben de Juchipila se dividió en 4 sectores (Fig. 59).

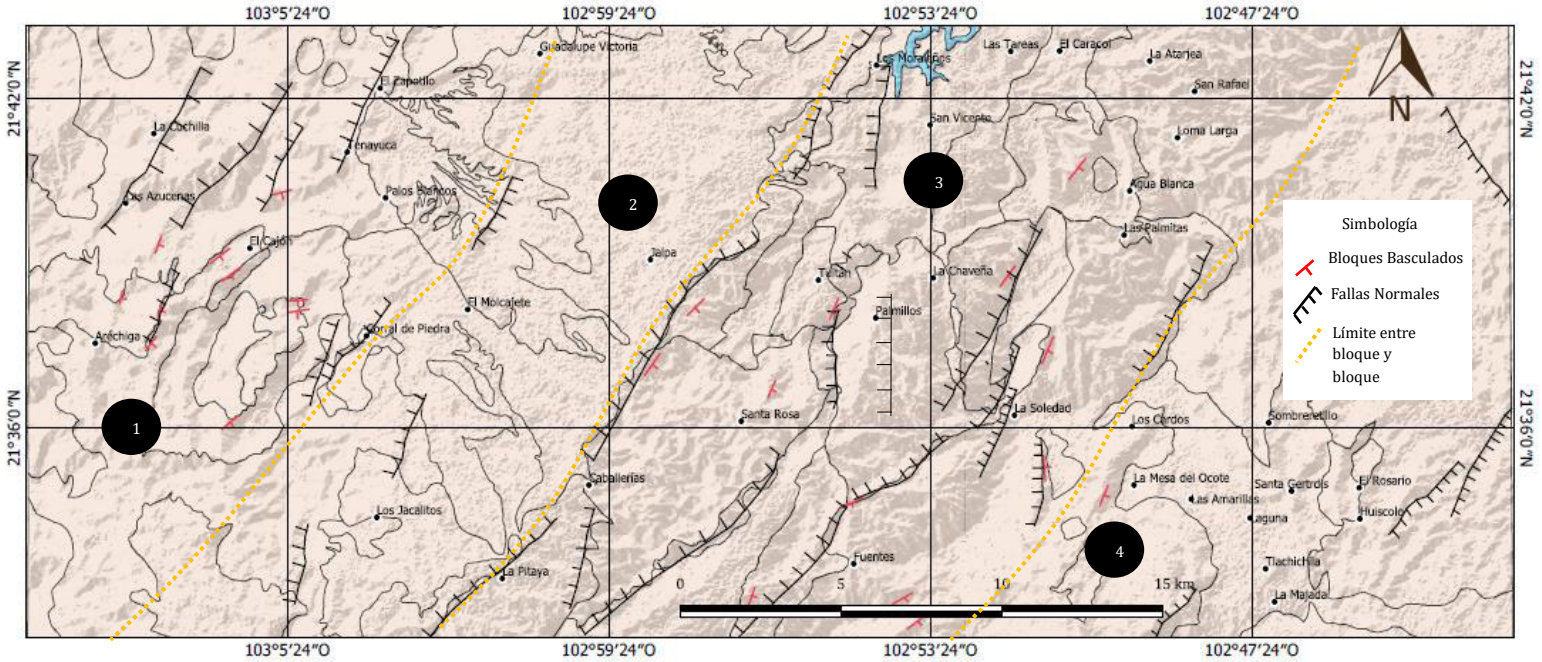


Fig. 59. Mapa estructural del transecto centro-norte del graben de Juchipila dividido por cuatro sectores: 1) Corral de Piedras Tlatenango, 2) Valle de Jalpa, 3) Calvillo-Jalpa y 4) Tlachichila-Huiscolo.

Estos fueron determinados por los análisis de lineamientos, basculamientos, fotointerpretación de imágenes satelitales de alta resolución en el software Google Earth y las características de las fallas (rumbos e inclinaciones) que rigen cada sector. Posteriormente se realizaron los análisis correspondientes (geométrico y cinemático) que a continuación se presentan:

4.2.3.1 Primer Sector Corral de Piedras-Tlatenango

El primer sector ubicado en la Sierra Morones, en el oeste del transecto, presenta elevaciones de 2500 a 2600 m.s.n.m. Se registraron 47 fallas en total (Fig. 60 A), las cuales presentan rumbos preferentes NE-SW (35 fallas en total; ver Fig. 60 B y D) y aunque en menor cantidad también se observaron estructuras con rumbos N-S (6 fallas en total) y NW-SE (6 fallas en total). Sus inclinaciones varían desde los 89° hasta los 40° (Fig. 60C) y

muestra un buzamiento con dirección predominante al NW. En cuanto al análisis cinemático de acuerdo al diagrama de diedros rectos este sector tiene una dirección de extensión máxima NW-SE (Fig. 60E).

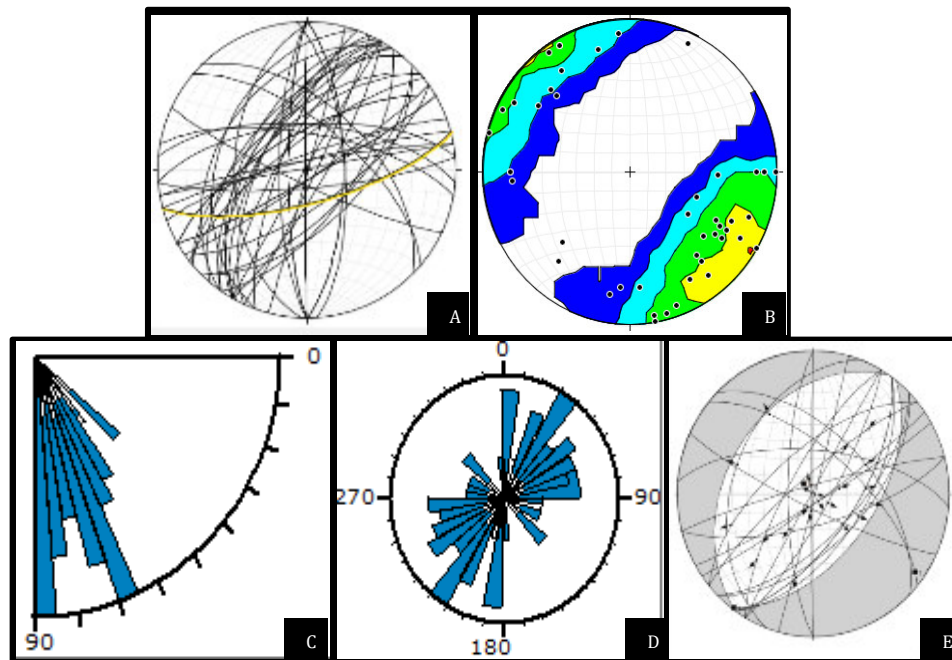


Fig. 60. Imagen representando las fallas que afectan al Primer Sector. Los tres primeros diagramas presentan un total de 47 fallas y el último sólo cuenta con 22 fallas. A) Diagrama de Schmidt (rumbos y echados), B) Diagrama de polos y contornos, C) Diagrama de inclinaciones, D) Diagrama de orientación de planos y E) Diagrama de diedros rectos.

Algunas estructuras (22 fallas en total) presentaban planos bien definidos por lo que se observaron estrías las cuales cuentan con un pitch de 90° a 40° . Las fallas menores se encuentran en conjuntos o familias con rumbos preferentes NE-SW, muestran desplazamientos menores a 1 m y están paralelas a las fallas mayores de acuerdo con la fotointerpretación de las imágenes satelitales de alta resolución en el programa Google Earth (Fig. 61 B C y D). También se encuentran rellenas de calcita con anchos no mayores a 15 cm (Fig. 61 A). En algunos afloramientos se identificaron estas estructuras presentando rumbos NE-SW y NW-SE que llegaban a formar pequeños grabens (Fig. 61B). Todas estas se presentan afectando las siguientes unidades geológicas: Toba Los Indios,

Depósitos Piroclásticos Hermanos, Basaltos Tlachichila y principalmente a Capas Rojas Las Azucenas.

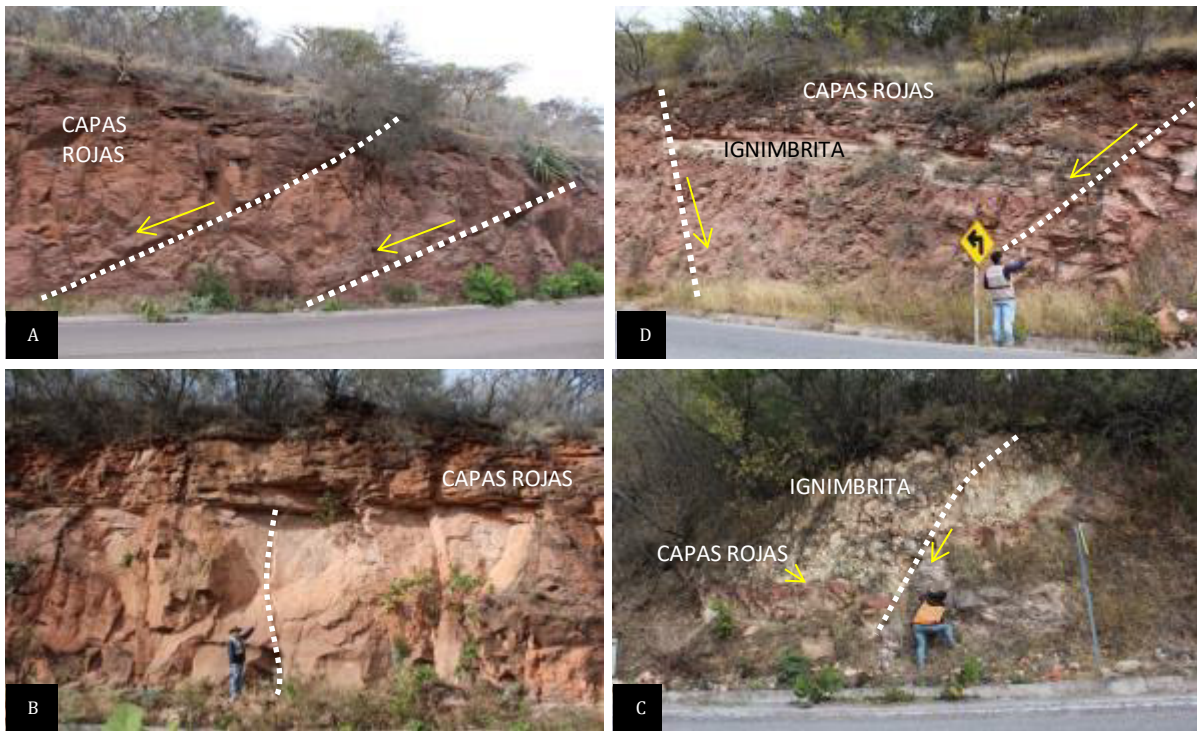


Fig. 61. Afloramientos de Capas Rojas Las Azucenas donde se muestra las fallas que la llegan a afectar. A) Juego de fallas menores paralelas con rumbos NE-SW (punto 16) , B) Falla con rumbo N-S (punto 15), C) Falla con rumbo NE-SW que generó un desplazamiento de 2m en capas rojas e Ignimbrita (punto 23) y D) Fallas con rumbos NE-SW y NW-SE formando un pequeño graben (punto 24).

En este sector se midieron 42 datos de estratificación en total, éstos presentan rumbos preferenciales NE-SW (31 datos estratigráficos en total) y en menor proporción muestran orientaciones NW-SE (8 datos estratigráficos en total) y N-S (3 datos estratigráficos en total) (Fig. 62 A, B y D). Sus inclinaciones fueron no mayores a 35° y su buzamiento predomina con una dirección SE (Fig. 62 C). Los datos de estratificación fueron medidos en las unidades geológicas: Capas Rojas Las Azucenas, Depósitos Piroclásticos Hermanos y Toba Los Indios.

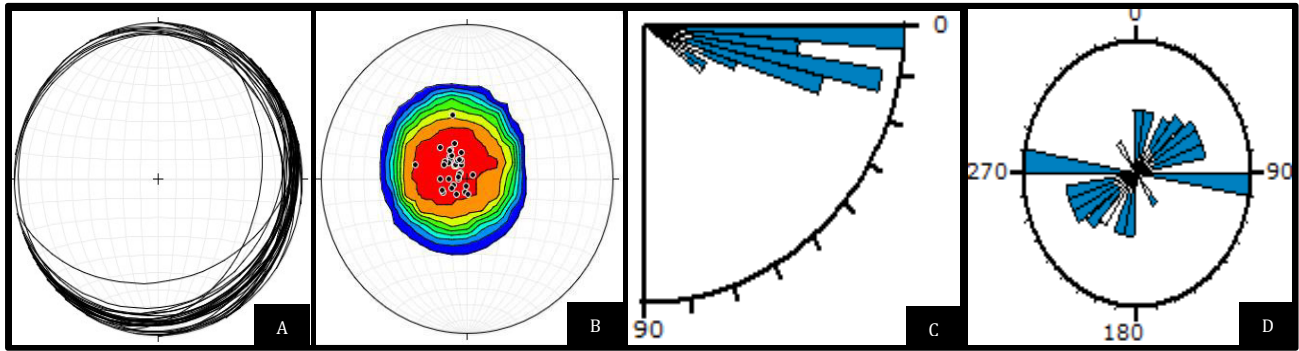


Fig. 62. Imagen representando un total de 42 datos estratigráficos para el Primer Sector. A) Diagrama de Schmidt (rumbos y echados), B) Diagrama de polos y contornos, C) Diagrama de inclinaciones y D) Diagrama de orientación de planos.

4.2.3.2 Segundo Sector Valle de Jalpa.

Este sector se encuentra dentro del Valle de Jalpa, en el centro del área de estudio, cuenta con elevaciones aproximadas 1500 a 1600 m.s.n.m. En esta área se midieron solamente 5 fallas en total, 3 de ellas se encuentran al sur del sector sobre la Carretera Federal 54 Tabasco-Juchipila a 3 km de la comunidad Los Jacalitos, sus longitudes aproximadas son menores a 5 km, presentan rumbos de WNW-ESE y NNW-SSE (Fig. 63 A y C), sus inclinaciones de 70° (Fig. 63 B) y presentan un buzamiento hacia el WSW y NNW; sólo una de ellas tiene pitch de 80°.

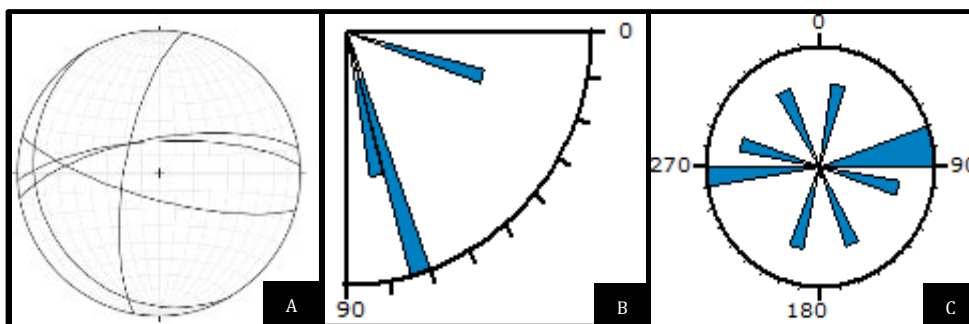


Fig. 63. Imagen representando un total de 5 datos de fallas para el Segundo Sector. A) Diagrama de Schmidt (rumbos y echados), B) Diagrama de inclinaciones y C) Diagrama De orientación de planos.

Cabe mencionar que llegan a cortar únicamente a Toba Los Indios (Fig. 64). La última falla por mencionar se encuentra ubicada cerca de la Carretera Federal 70

Poniente a 2 km de Jalpa cortando a un depósito de 20 m de Lacustres La Pitaya, esta estructura presenta un rumbo NW-SE buzando al SW.

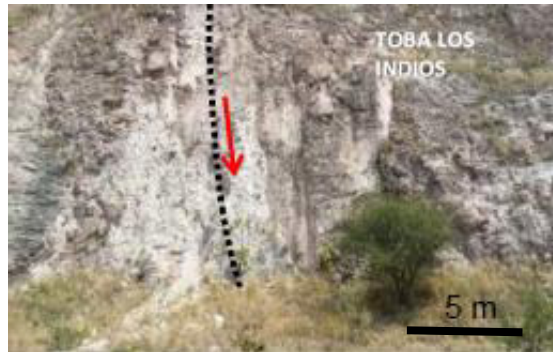


Fig. 64. Falla con rumbo NE-SW cortando a Toba Los Indios.

Se obtuvieron sólo 3 datos de estratificación. Se midieron dos datos estratigráficos en Lacustres La Pitaya, en un afloramiento ubicado al E a 8 km de la comunidad Las Tareas (punto 135). Ambos tienen rumbos NE-SW y presentan ángulos no mayores a 20° (Fig. 65 A, B, C y D) y buza al NW. El último fue medido en un afloramiento de 20m de los Lacustres la Pitaya cerca de la Carretera Federal 70 Poniente a 2 km de Jalpa (punto 137), éste presenta un rumbo $N6^\circ E$ y buza 12° (Fig. 65 A, B y C) hacia el NW.

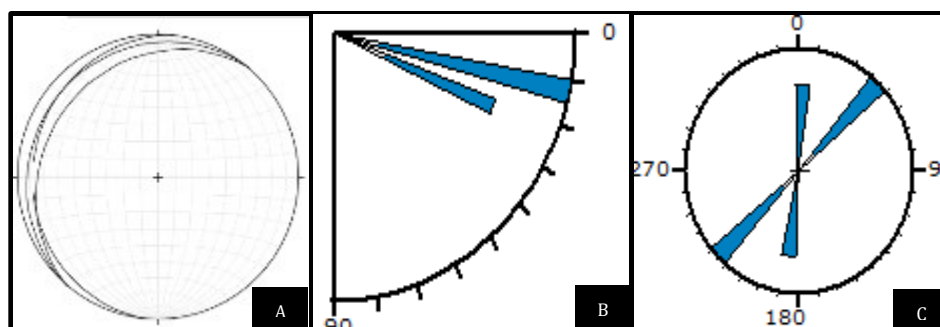


Fig. 65. Imagen representando un total de 3 datos estratigráficos para el Segundo Sector. A) Diagrama de Schmidt (rumbos y echados), B) Diagrama de inclinaciones y C) Diagrama de orientación de planos.

4.2.3.3 Tercer Sector Calvillo-Jalpa

Este sector se encuentra en la parte este del transecto, como parte del relieve la zona presenta una altura promedio de 2100 m.s.n.m. Se midieron 19 fallas en total, la tendencia que presentan sus rumbos son NE-SW (9 fallas en total), NW-SE (7 fallas en total) y E-W (3 fallas en total) (Fig. 66 A, B y D). Sus echados muestran inclinaciones de 39° hasta 88° con direcciones: NW, SW, S y E (Fig. 66 C). La mayoría de las estrías son verticales aunque también encontramos pitch con ángulos de 30°. De acuerdo al análisis cinemático, el diagrama de diedros rectos muestra una dirección de extensión máxima NE-SW (Fig. 66E).

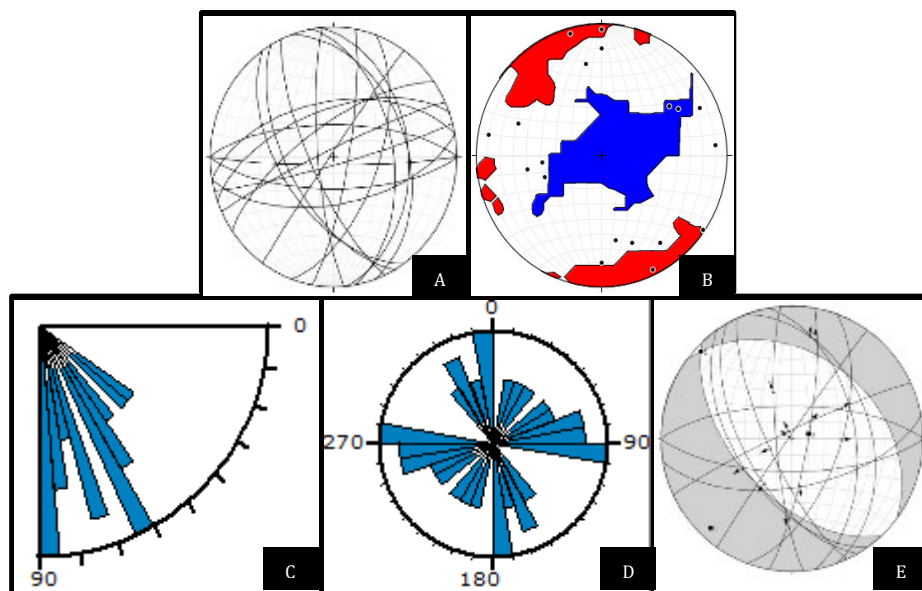


Fig. 66. Imagen representando las fallas que afectan al Tercer Sector. Los tres primeros diagramas presentan un total de 19 fallas y el último sólo cuenta con 13 fallas. A) Diagrama de Schmidt (rumbos y echados), B) Diagrama de polos y contornos, C) Diagrama de inclinaciones, D) Diagrama de inclinación de planos y E) Diagrama de diedros rectos.

De acuerdo a las observaciones en campo, las fallas menores presentan desplazamientos de 2 m a casi nulos también se identificaron zonas de brecha y molienda de aproximadamente 20 cm de ancho (Fig. 67 A y B). Estas estructuras se identificaron cerca de la comunidad Santa Rosa, en un camino de terracería donde solo aflora la

Andesita Santa Rosa, por lo que, casi el 100% de las fallas se encuentran cortando a dicha unidad geológica.

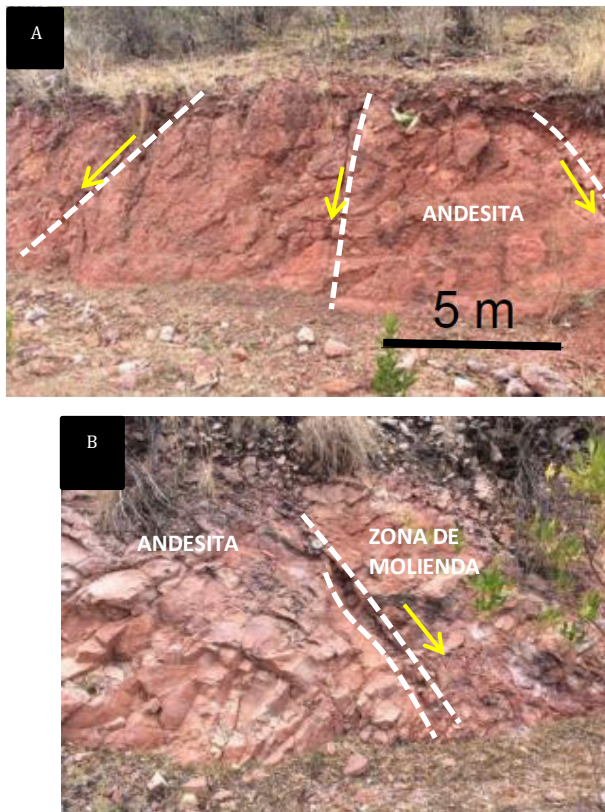


Fig. 67. Afloramientos de Andesita Santa Rosa afectada por fallas mayores y menores. A) Fallas con rumbos variables y B) Falla presentando zona de molienda con un espesor de 20cm.

Se midieron 7 datos de estratificación en total, en cuanto a sus rumbos presentan orientaciones NE-SW (4 datos estratigráficos en total), NW-SE (2 datos de estratificación) y N-S (1 dato de estratificación) (Fig. 68 A, B y D). Sus echados se encuentran en un rango de 35° a 10° (Fig. 68 C) y tienen buzamientos: SSE y ENE. Los datos de estratificación fueron medidos en Arenas Blancas El Caracol y los depósitos piroclásticos que se encuentran intercalados con Andesita Santa Rosa.

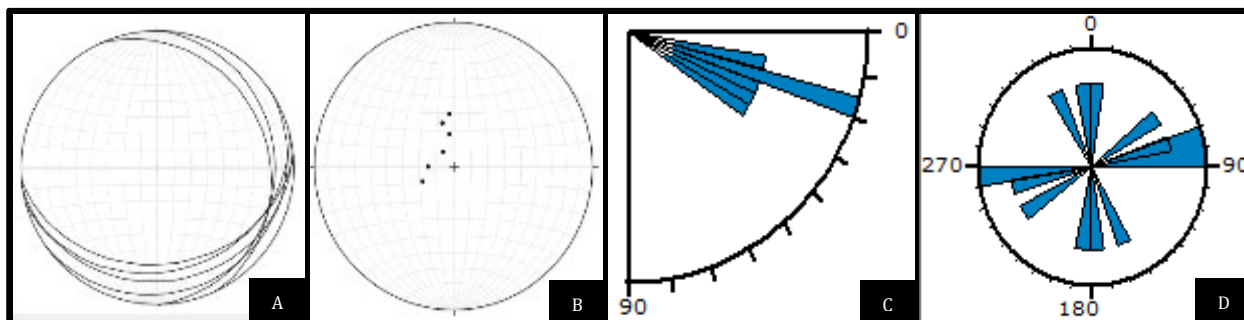


Fig. 68. Imagen representando un total de 7 datos estratigráficos para el Tercer Sector. A) Diagrama de Schmidt (rumbos y echados), B) Diagrama polos, C) Diagrama de inclinaciones y D) Diagrama de orientación de planos.

4.2.3.4 Cuarto Sector Tlachichila-Huiscolo

El último sector se encuentra al este del transecto dentro de la Sierra Nochistlán. Se registró un total de 16 fallas con rumbos predominantes al NE-SW (9 fallas en total), NW-SE (5 fallas en total), E-W (1 falla en total) y N-S (1 falla en total) (Fig. 69 A, B y D), sus echados van desde los 89° hasta los 20° (Fig. 69 C) con direcciones de buzamiento predominantes al SW, SE, NW, N y NE. Algunas de ellas muestran un pitch con ángulos 90° a 40° . Todas estas estructuras se encuentran cortando a las unidades: Domos Riolíticos Garruño-Huiscolo, Secuencia Los Cardos e Ignimbrita Calvillo-Jalpa.

De acuerdo con las imágenes satelitales en el programa Google Earth las fallas mayores pueden llegar a medir hasta 8 km longitud. Las estructuras menores identificadas en los afloramientos llegan a tener desplazamientos de centímetros y presentan zonas de molienda de no más de 10 cm. De acuerdo con el análisis cinemático, el diagrama de diedros rectos presenta una dirección de máxima elongación N-S (Fig. 69E).

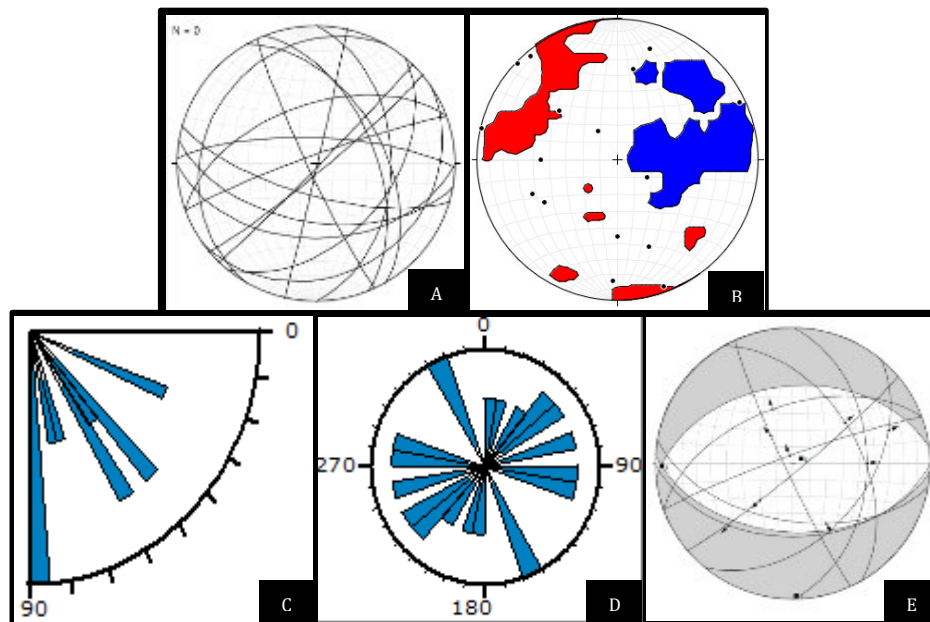


Fig. 69. Imagen representando las fallas que afectan al Cuarto Sector. Los tres primeros diagramas presentan un total de 16 fallas y el último sólo cuenta con 9 fallas. A) Diagrama de Schmidt (rumbos y echados), B) Diagrama de polos y contornos, C) Diagrama de inclinaciones, D) Diagrama de orientación de planos y E) Diagrama de diedros rectos.

Por otra parte se midió solo 1 dato de estratificación, el cual tiene un rumbo NW-SE e inclinación al 15° al NE, este fue tomado en la Secuencia Los Cardos (Fig. 70 A y B).

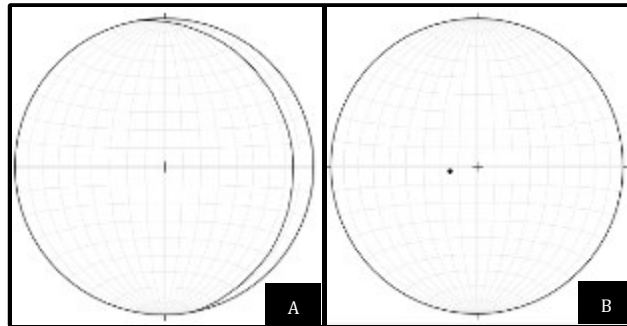


Fig. 70. Imagen representando un total de 1 dato estratigráfico para el Cuarto Sector. A) Diagrama de Schmidt (rumbos y echados) y B) Diagrama de polos.

4.2.4 Diferencias y similitudes estructurales entre sectores.

Debido a los análisis realizados, se puede hacer una comparación entre las diferencias y similitudes de los cuatro sectores. De acuerdo con los análisis realizados se llegó a estas comparaciones:

- Los diagramas de Schmidt, contornos, polos y orientación de planos muestran que cada sector presenta diferentes rumbos de falla (Sector 1: NE-SW, Sector 2: ENE-WSW, Sector 3: NNW-SSE Y WNW-ESE y Sector 4: NNW-SSE). Se determina mediante el diagrama de orientación de planos que la dirección NNW-SSE es igual para los sectores tres y cuatro.
- Para todos los sectores los diagramas de inclinación muestran que sus ángulos presentan un rango entre 90° y 60°.
- El diagrama de Schmidt, polos y contornos nos indica que la dirección de sus echados varía en los sectores dos, tres y cuatro, mientras que en el primer sector se ve claramente la dirección en la que se inclinan las estructuras (NW y SE).
- De acuerdo a los diagramas de diedros rectos y lo dicho anteriormente la dirección de extensión máxima de cada uno de los sectores es diferente

(Sector 1: NW-SE, Sector 3: NE-SW y Sector 4: N-S), por lo que, se puede interpretar que cada sector pudo formarse en distintos eventos. Por la falta de información en el Sector 2 no se pudo realizar un análisis de diedros rectos.

- En los datos estratigráficos los diagramas Schmidt, orientación de planos y polos presentan variaciones muy marcadas en lo que respecta a sus echados. Capas Rojas Las Azucenas, Depósitos Piroclásticos Hermanos, Toba Los Indios y Andesita Santa Rosa muestran una tendencia predominante de buzamiento al SE (primer y tercer sector), mientras que en el segundo sector Los Lacustres Pitaya se encuentran buzando primordialmente al NW. En cuanto al cuarto sector solo tiene un dato estratigráfico con rumbo NW-SE e inclinación al 15° al NE, por la falta de información no se puede tener una cierta confiabilidad en los diagramas realizados, por lo que, no se puede hacer un promedio de cómo buzando todas las unidades que se encuentran en esta zona.
- En cuanto a sus echados, los diagramas de inclinaciones nos muestran que todos los sectores presentan que sus ángulos tienen un rango entre 10° y 20° .

A continuación se muestran dos tablas con las comparaciones de datos estratigráficos y fallas de cada sector.

Tabla 3. Comparación de datos estratigráficos entre sectores

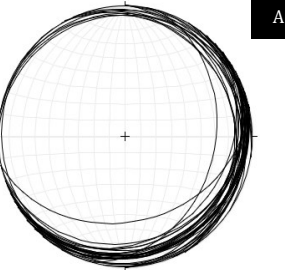
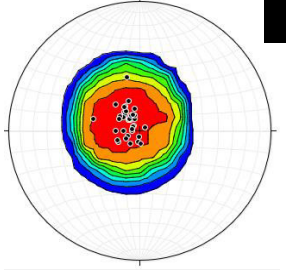
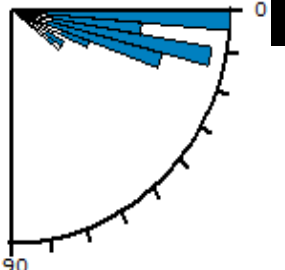
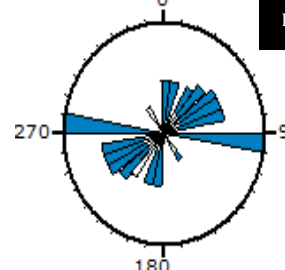
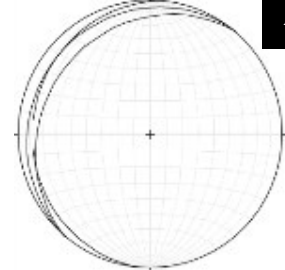
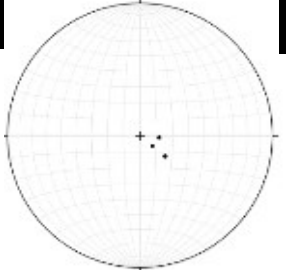
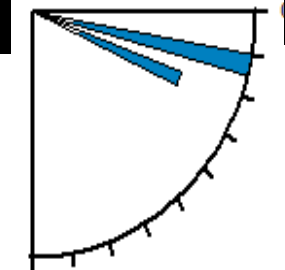
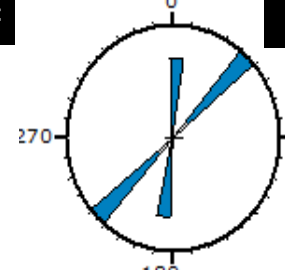
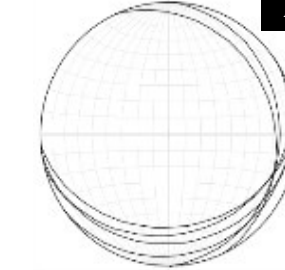
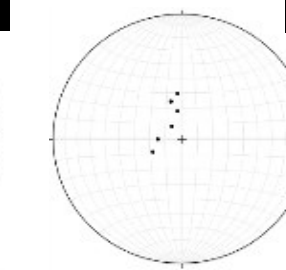
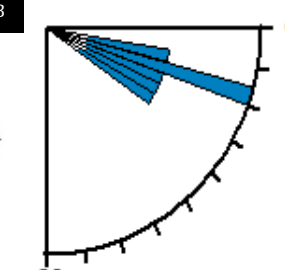
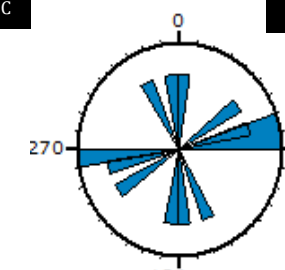
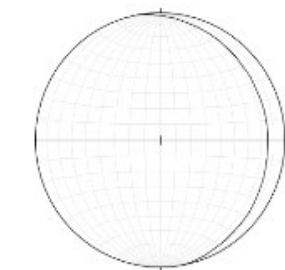
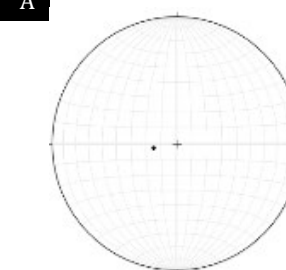
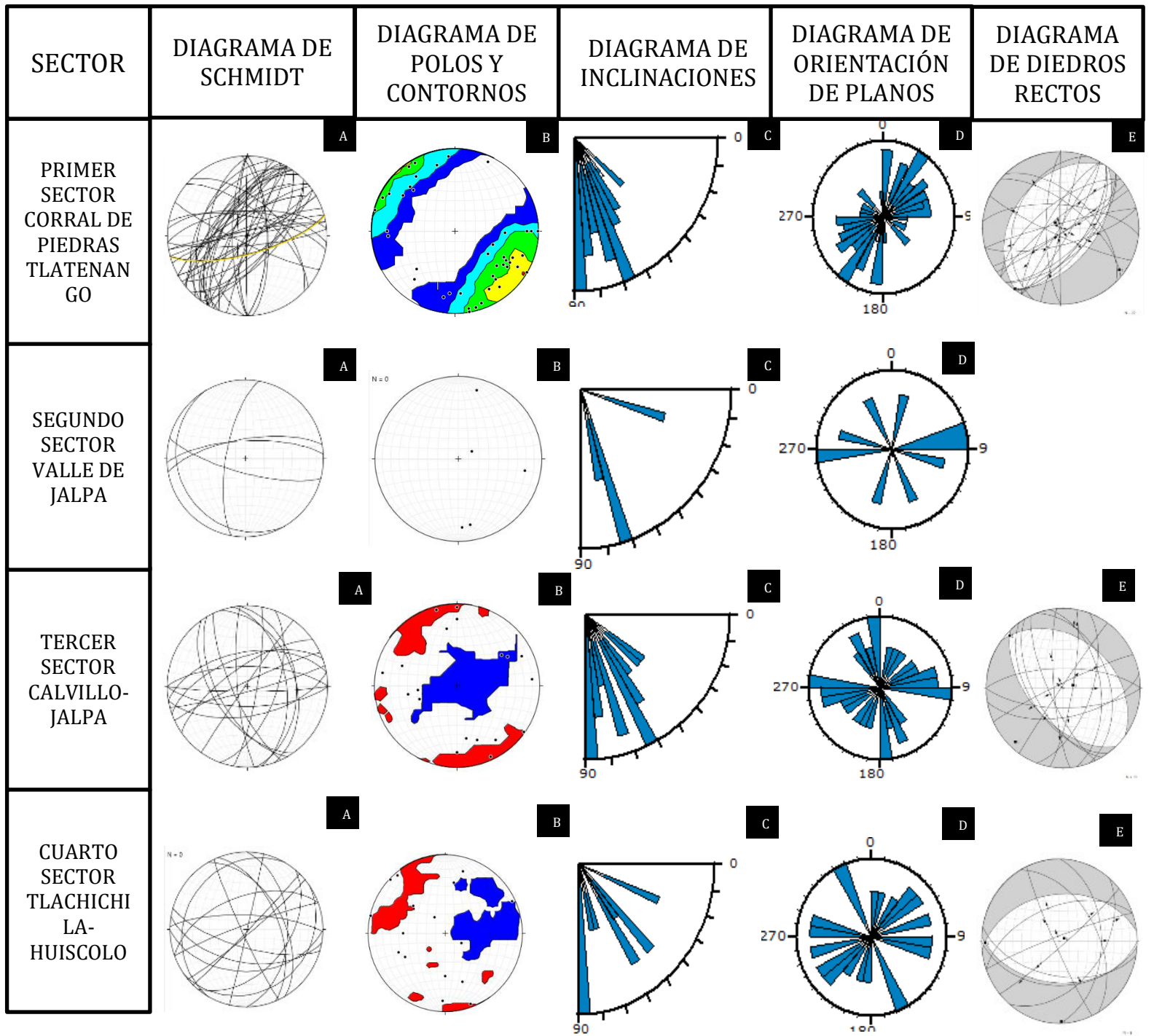
SECTOR	DIAGRAMA DE SCHMIDT	DIAGRAMA DE POLOS Y CONTORNOS	DIAGRAMA DE INCLINACIONES	DIAGRAMA DE ORIENTACIÓN DE PLANOS
PRIMER SECTOR CORRAL DE PIEDRAS TLATENANGO				
SEGUNDO SECTOR VALLE DE JALPA				
TERCER SECTOR CALVILLO- JALPA				
CUARTO SECTOR TLACHICHILA- HUISCOLO				

Tabla 4. Comparación de fallas entre sectores.



4.2.5 Análisis de fallas y datos estratigráficos por unidad geológica

Para saber en qué evento tectónico fueron afectadas y cómo fue el emplazamiento de las unidades geológicas que se encuentran aflorando dentro del área de estudio se tomaron en cuenta sólo las fallas que presentan estrías y datos de estratificación que fueron tomados en campo. A continuación se mencionan las unidades geológicas que presentan estas dos características:

4.2.5.1 Andesita Santa Rosa

Ésta unidad se encuentra en el este del transecto (tercer sector) y presenta una edad de 69.86 ± 0.26 Ma ubicándola en el Cretácico Superior. Con un total de 18 fallas sólo 12 de ellas muestran estrías bien definidas. Las estructuras presentan rumbos ENE-WSW (6 fallas), NNW-SSE (4 fallas), y E-W (2 fallas) (Fig. 71 A, B y D) sus inclinaciones varían de 40° hasta 85° (Fig. 71 C) y sus direcciones son: SW, N, S, y E. Sus estrías exhiben ángulos distintos que van desde 40° hasta 90° . Por último de acuerdo con el análisis cinemático, el diagrama de diedros rectos muestra una dirección de máxima extensión NE-SW (Fig. 71E).

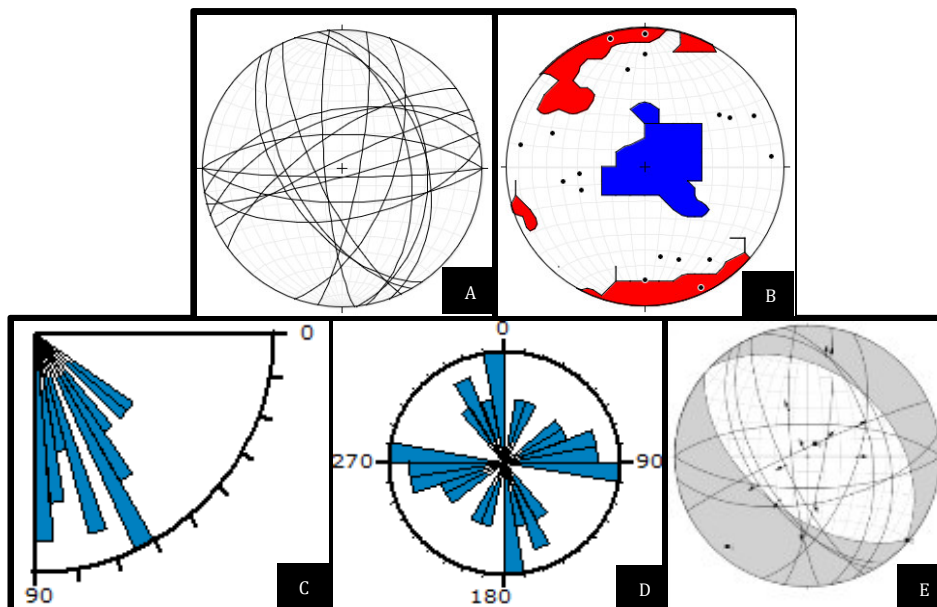


Fig. 71. Imagen representando las fallas que afectan a la Andesita Santa Rosa. Los tres primeros diagramas presentan un total de 18 fallas y el último sólo cuenta con 12 fallas. A) Diagrama de Schmidt (rumbos y echados), B) Diagrama de polos y contornos, C) Diagrama de inclinaciones, D) Diagrama de orientación de planos y E) Diagrama de diedros rectos.

En esta unidad se midieron solamente 3 datos de estratificación, donde su dirección tiene una tendencia ENE-WSW y su inclinación al SSE con ángulos no mayores a 30° (Fig. 72 A, B, C y D).

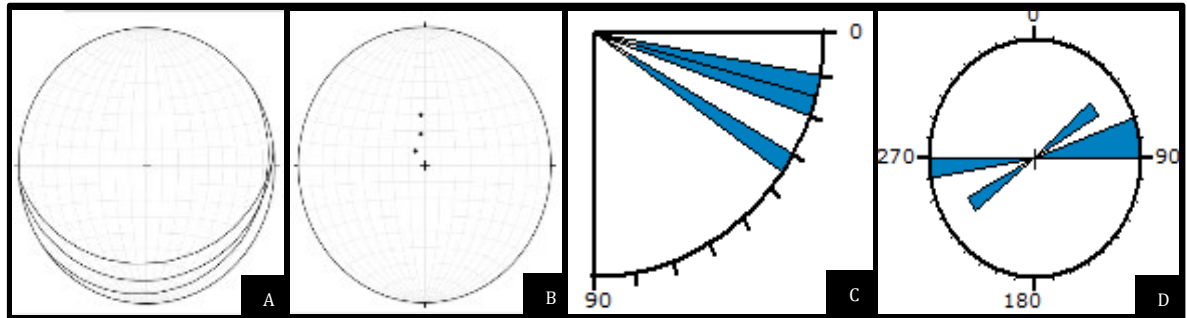


Fig. 72. Imagen representando un total de 3 datos estratigráficos para Andesita Santa Rosa. A) Diagrama de Schmidt (rumbos y echados), B) Diagrama de polos de las fallas, C) Diagrama de inclinaciones y D) Diagrama de orientación de planos.

4.2.5.2 Capas Rojas Las Azucenas

Aflorando al oeste del transecto dentro del primer sector esta unidad cuenta con un total de 31 fallas medidas pero sólo 15 presentaron estrías, sus rumbos preferentes son NE-SW (13 fallas)(Fig. 73 A, B y D) y sólo 2 de ellas presentaron una dirección NW-SE. Éstas exhiben inclinaciones variadas que van desde los 40° hasta los 89° (Fig. 73 C) con direcciones preferentes

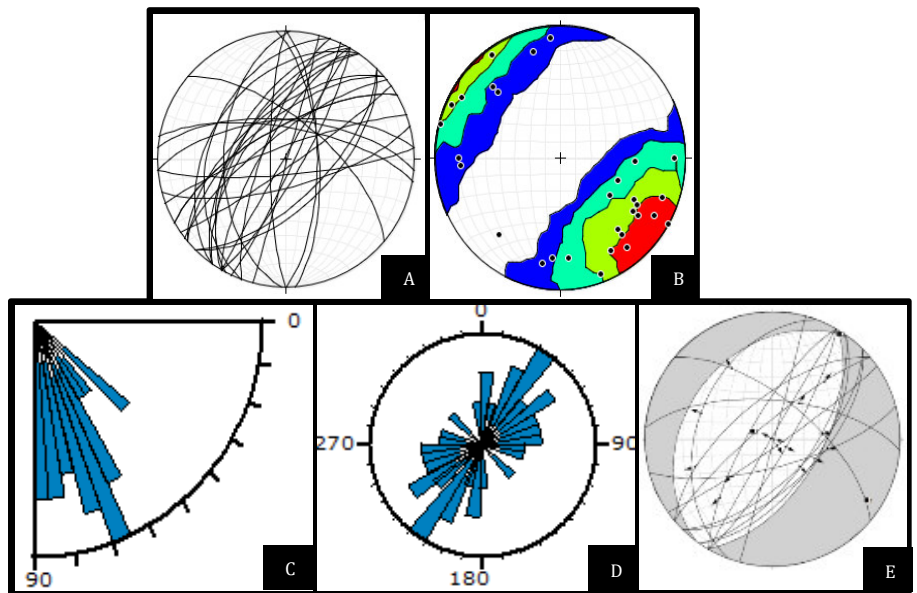


Fig. 73. Imagen representando las fallas que afectan a Capas Rojas Las Azucenas. Los tres primeros diagramas presentan un total de 31 fallas y el último sólo cuenta con 15 fallas. A) Diagrama de Schmidt (rumbos y echados), B) Diagrama de polos y contornos, C) Diagrama de inclinaciones, D) Diagrama de orientación de planos y E) Diagrama de diedros rectos.

NW y SE un ejemplo de ello como se muestra en la Fig. 74. Se muestran estrías con

ángulos de 90° hasta 40°. De acuerdo con el análisis cinemático, el diagrama de diedros rectos presenta una dirección de extensión máxima NW-SE (Fig. 73E).

Para esta unidad se tomaron 25 datos de estratificación los cuales tienen rumbos NE-SW (15 datos estratigráficos), NW-SE (8 datos estratigráficos), N-S (2 datos de estratificación) (Fig. 75 A, B y D), con inclinaciones no mayores a 35° (Fig. 75 C) y con direcciones NE y SE.



Fig. 74. Falla mayor con rumbo NW-SE desplazando capas rojas.

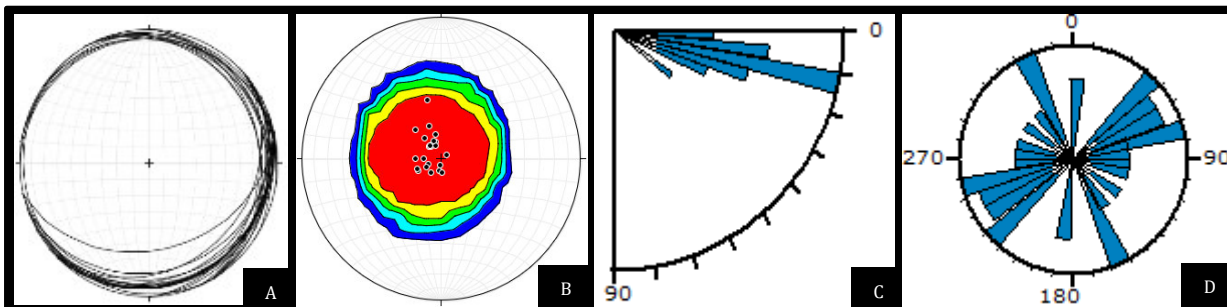


Fig. 75. Imagen representando un total de 25 datos estratigráficos para Capas Rojas Las Azucenas. A) Diagrama de Schmidt (rumbos y echados), B) Diagrama de polos y contornos, C) Diagrama de inclinaciones y D) Diagrama de orientación de planos.

4.2.5.3 Arenas Blancas El Caracol

Esta unidad se encuentra en la parte este del transecto, aflorando en el cuarto y tercer sector. Fueron tomados solamente datos de estratificación ya que en los afloramientos no se llegó a identificar alguna falla que afectara a las arenas blancas. Por lo que se obtuvieron 4 datos de estratificación con rumbos NE-SW (2 datos) y NW-SE (2 datos) (Fig. 76 A, B y D) y sus inclinaciones presentaban ángulos de 10° a 25° (Fig. 76 C) con direcciones NE y SE.

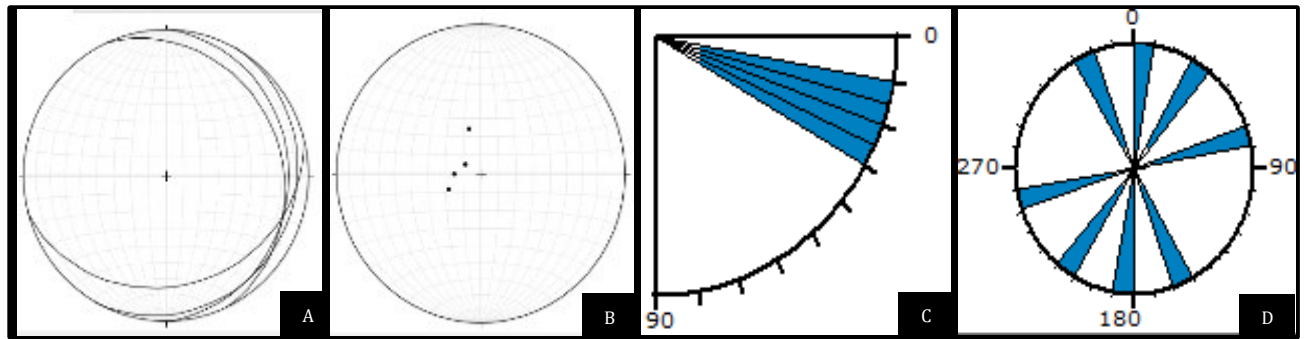


Fig. 75. Imagen representando un total de 4 datos estratigráficos para Arenas Blancas El Caracol. A) Diagrama de Schmidt (rumbos y echados), B) Diagrama de polos, C) Diagrama de inclinaciones y D) Diagrama de orientación de planos.

4.2.5.4 Ignimbrita Joaquín Amaro

Esta unidad ubicada en el oeste del transecto, dentro del tercer sector, presenta solo una falla con un rumbo NE-SW (Fig. 77), una inclinación de 88° buzando hacia el NW y con exhibe un pitch de 90° (Fig. 78A, B y Fig. 77). Ya que sólo se cuenta con un dato estructural no se puede realizar el análisis de diedros rectos.



Fig. 76. Plano de falla con estrías de 90° en Ignimbrita Joaquín Amaro.

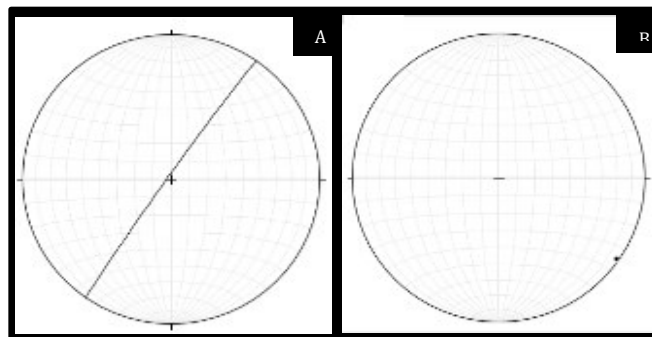


Fig. 77. Imagen representando un total de 1 dato de falla para Ignimbrita Joaquín Amaro. A) Diagrama de Schmidt (rumbos y echados) y B) Diagrama de polos de fallas.

4.2.5.5 Depósitos Piroclásticos Hermanos

Aflorando al oeste del transecto dentro del primer sector a esta unidad se le midió un total de 2 fallas (Fig. 79 A y B) pero ninguna de ellas mostró estrías bien definidas, por lo que no se realizó el Diagrama de diedros rectos.

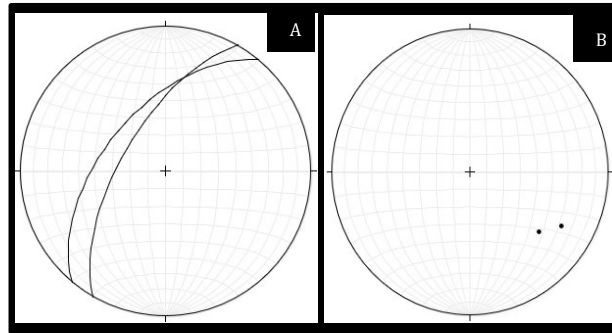


Fig. 78. Imagen representando las fallas que afectan Depósitos Piroclásticos Los Hermanos. Los diagramas presentan un total de 2 fallas. A) Diagrama de Schmidt (rumbos y echados) y B) Diagrama de polos

Por otro lado se tiene un total de 12 datos de estratificación, los cuales presentan rumbos únicamente NE-SW (Fig. 80 A, B y D) sus inclinaciones varían de los 5° a los 30° (Fig. 80 C) y todos buzanan hacia el SE.

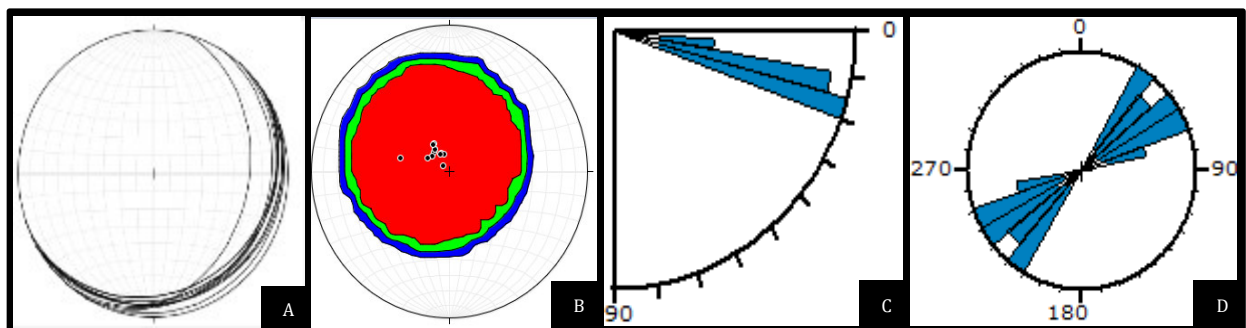


Fig. 79. Imagen representando un total de 12 datos estratigráficos para Depósitos Piroclásticos Hermanos. A) Diagrama de Schmidt (rumbos y echados), B) Diagrama de polos y contornos, C) Diagrama de inclinaciones y D) Diagrama de orientación de planos

4.2.5.6 Secuencia Los Cardos

Encontrándose en la parte este del transecto, dentro del cuarto sector, ésta unidad presenta un total de 7 fallas, 5 de ellas muestran un pitch de 40° a 90° (Fig. 81), tienen rumbos NE-SW (2 fallas en total), NW-SE (2 fallas en total) y una E-W (1 falla en total) (Fig. A, B y D), sus inclinaciones van de los 45° a 85° (Fig. 82 C) y sus buzamientos se presentan en las siguientes direcciones: SE, NW y SW.

Conforme al análisis de cinemático, el diagrama de diedros rectos muestra una dirección de máxima extensión al WNW-ESE (Fig. 82E).



Fig. 80. Plano de falla en ignimbrita mostrando estrías de 85° a 90° .

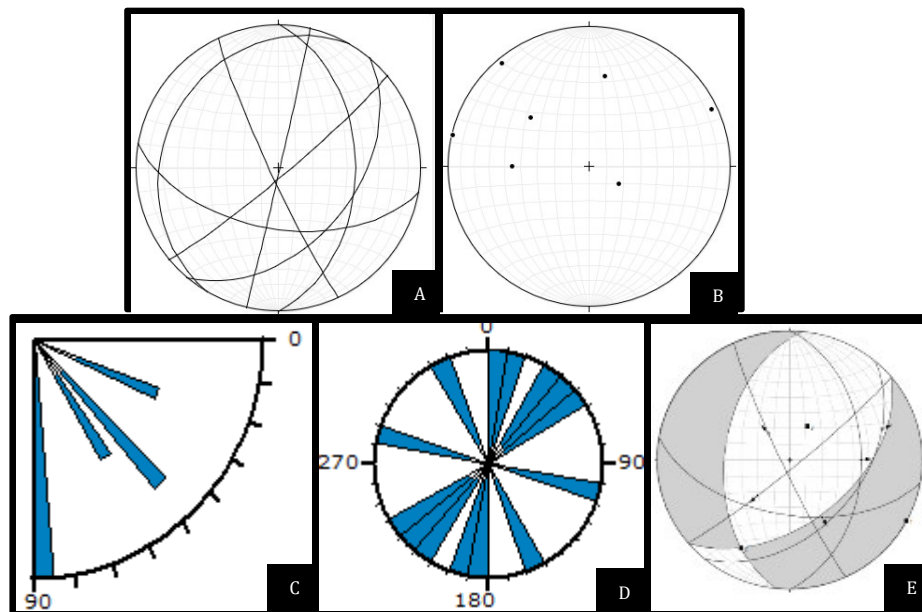


Fig. 81. Imagen representando las fallas que afectan Secuencia Los Cardos. Los tres primeros diagramas presentan un total de 7 fallas y el último sólo cuenta con 5 fallas. A) Diagrama de Schmidt (rumbos y echados), B) Diagrama de polos, C) Diagrama de inclinaciones, D) Diagrama de orientación de planos y E) Diagrama de diedros rectos.

Se tiene registro solo de un dato de estratificación con rumbo NNW-SSE y buza 15° al ENE, este fue medido en una toba que conforma la Secuencia Los Cardos (Fig. 83 A y B).

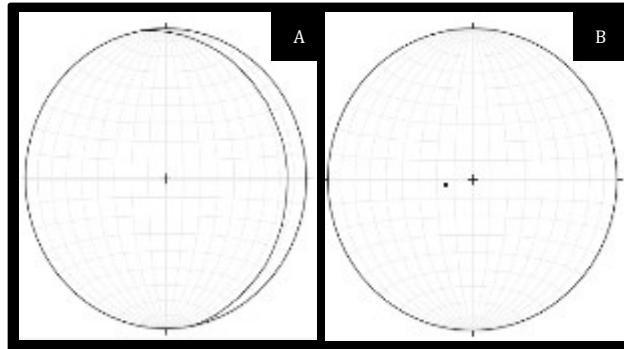


Fig. 82. Imagen representando un total de 1 dato estratigráfico tomado de una toba que forma parte de Secuencia Los Cardos. A) Diagrama de Schmidt (rumbos y echados) y B) Diagrama de polos.

4.2.5.7 Domos Riolíticos Garruño-Huiscolo

Los Domos Riolíticos Garruño-Huiscolo se encuentran en la parte este del transecto, dentro del cuarto sector, se tiene un total de 4 fallas medidas (Fig. 84 A, B, C y D) y sólo una de ellas presentó un pitch de 55° con rumbo E-W con 45° de inclinación y una dirección S, igualmente que Ignimbrita Joaquín Amaro no se puede realizar un análisis de diedros rectos por la falta de información de fallas y sus pitches.

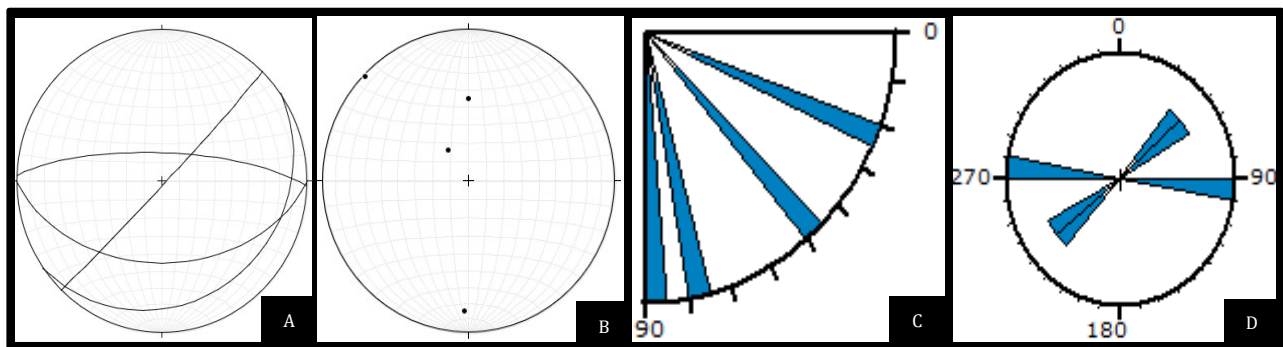


Fig. 83. Imagen representando un total de 4 datos de fallas para Domos Riolíticos Garruño-Huiscolo. A) Diagrama de Schmidt (rumbos y echados), B) Diagrama de polos, C) Diagrama de inclinaciones y D) Diagrama de orientación de planos.

4.2.5.8 Toba Los Indios

Esta unidad se encuentra al oeste y centro del transecto (primer y segundo sector), en estos afloramientos se midieron 16 fallas en total, 8 de ellas presentaron pitch de 55° a 89° , los rumbos de estas fallas son variados: NE-SW (4 fallas en total), N-S (2 fallas en total) y NW-SE (2 fallas en total) (Fig. 85 A, B y D), sus inclinaciones presentan ángulos de 55° a 89° (Fig. 85 C) y muestran direcciones NE, SSW y WSW. De acuerdo con los diagramas de diedros rectos la dirección máxima de extensión es N-S.

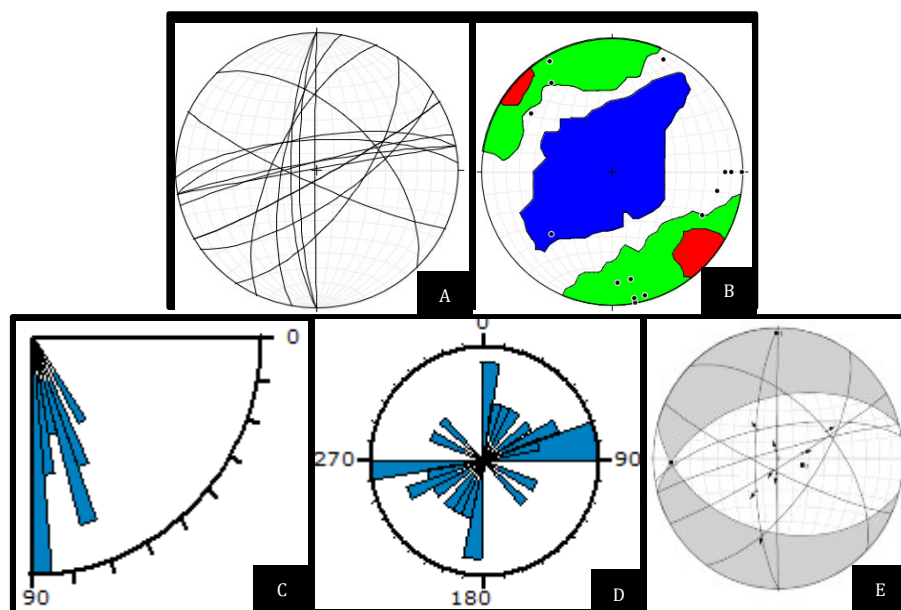


Fig. 84. Imagen representando las fallas que afectan Toba Los Indios. Los tres primeros diagramas presentan un total de 16 fallas y el último sólo cuenta con 8 fallas. A) Diagrama de Schmidt (rumbos y echados), B) Diagrama de polos y contornos, C) Diagrama de inclinaciones. D) Diagrama de orientación de planos y E) Diagrama de diedros rectos.

Sólo se obtuvo un dato estratigráfico (punto 35) que dio un rumbo NE-SW y un buzamiento de 15° al SE (Fig. 86 A y B).

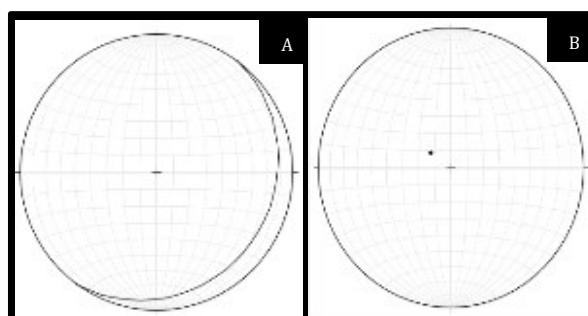


Fig. 85. Imagen representando un total de 1 dato estratigráfico para Toba Los Indios. A) Diagrama de Schmidt (rumbos y echados) y B) Diagrama de polos.

4.2.5.9 Miembro Toba Amarilla

Esta unidad aflora dentro del transecto este y centro del área de estudio (segundo y tercer sector), se obtuvo un total de 5 fallas, sólo en 3 de ellas se midieron estrías que presentaron ángulos de 90° , rumbos NE-SW (2 fallas en total) y NW-SE (1 falla en total) e inclinaciones que buzaban preferentemente al NNW, NE y SW (Fig. 87 A, B, C y D). Ya que se necesita un mínimo de 4 datos de falla con estrías para realizar el análisis de diedros rectos se determinó que estos 3 datos estructurales que presentan pitch fueran incluidos en los datos de falla de Toba Los Indios dentro del análisis de diedros rectos, esto porque ambas unidades presentan edades similares.

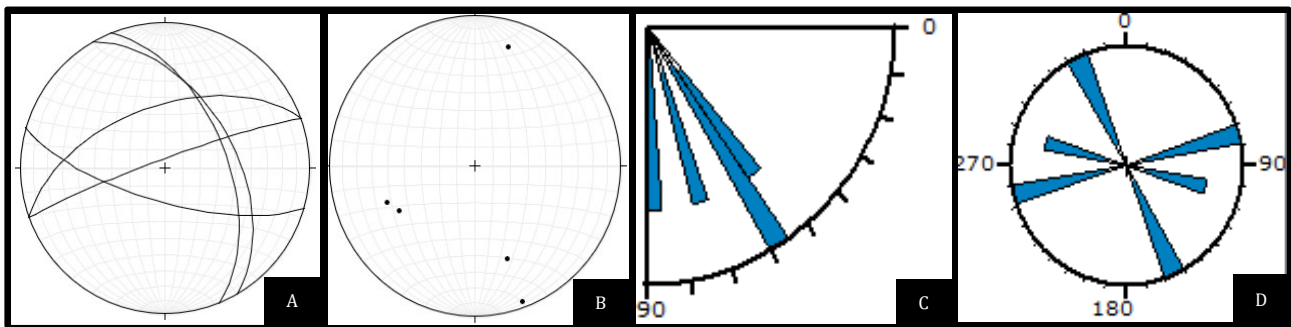


Fig. 86. Imagen representando un total de 3 datos de falla para el Miembro Toba Amarilla. A) Diagrama de Schmidt (rumbos y echados), B) Diagrama de polos, C) Diagrama de inclinaciones y D) Diagrama de orientación de planos.

4.2.5.10 Lacustres La Pitaya

En estos afloramientos se tomaron dos datos de fallas ambos con dirección NW-SE y se encuentran buzando hacia el SW, ambas estructuras no mostraron planos con estrías. Por otra parte, se tiene un total de 3 datos registrados todos con un rumbo NE-SW (Fig. 89 A, B y D) e inclinaciones de 10° a 20° (Fig. 88 y 89 C) con un buzamiento al NW.

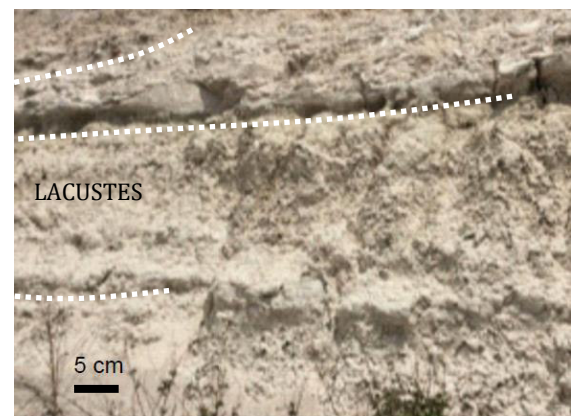


Fig. 87. Planos de estratificación de lacustres con inclinaciones menores a 20° .

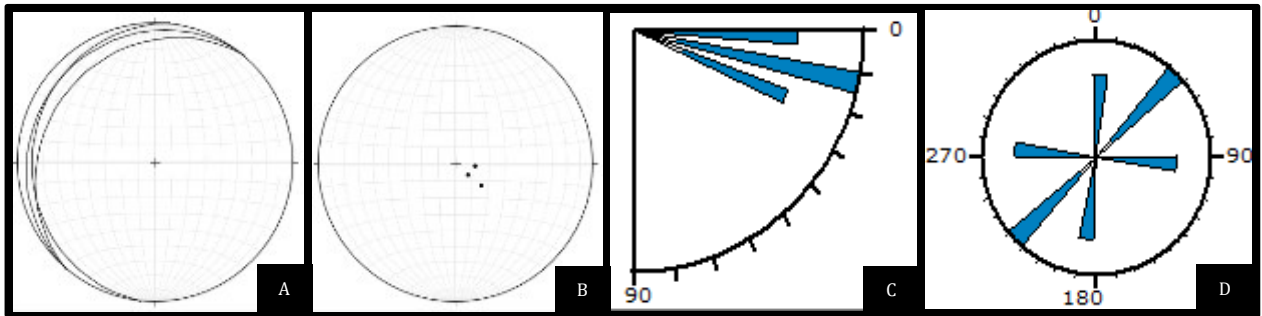


Fig. 88. Imagen representando un total de 3 datos estratigráficos para Lacustres La Pitaya A) Diagrama de Schmidt (rumbos y echados), B) Diagrama de polos de fallas, C) Diagrama de inclinaciones y D) Diagrama de orientación de planos.

A continuación se muestra la columna estratigráfica del transecto centro-norte del Graben de Juchipila con las direcciones extensivas respectivas de cada unidad geológica que aflora en el área de estudio.

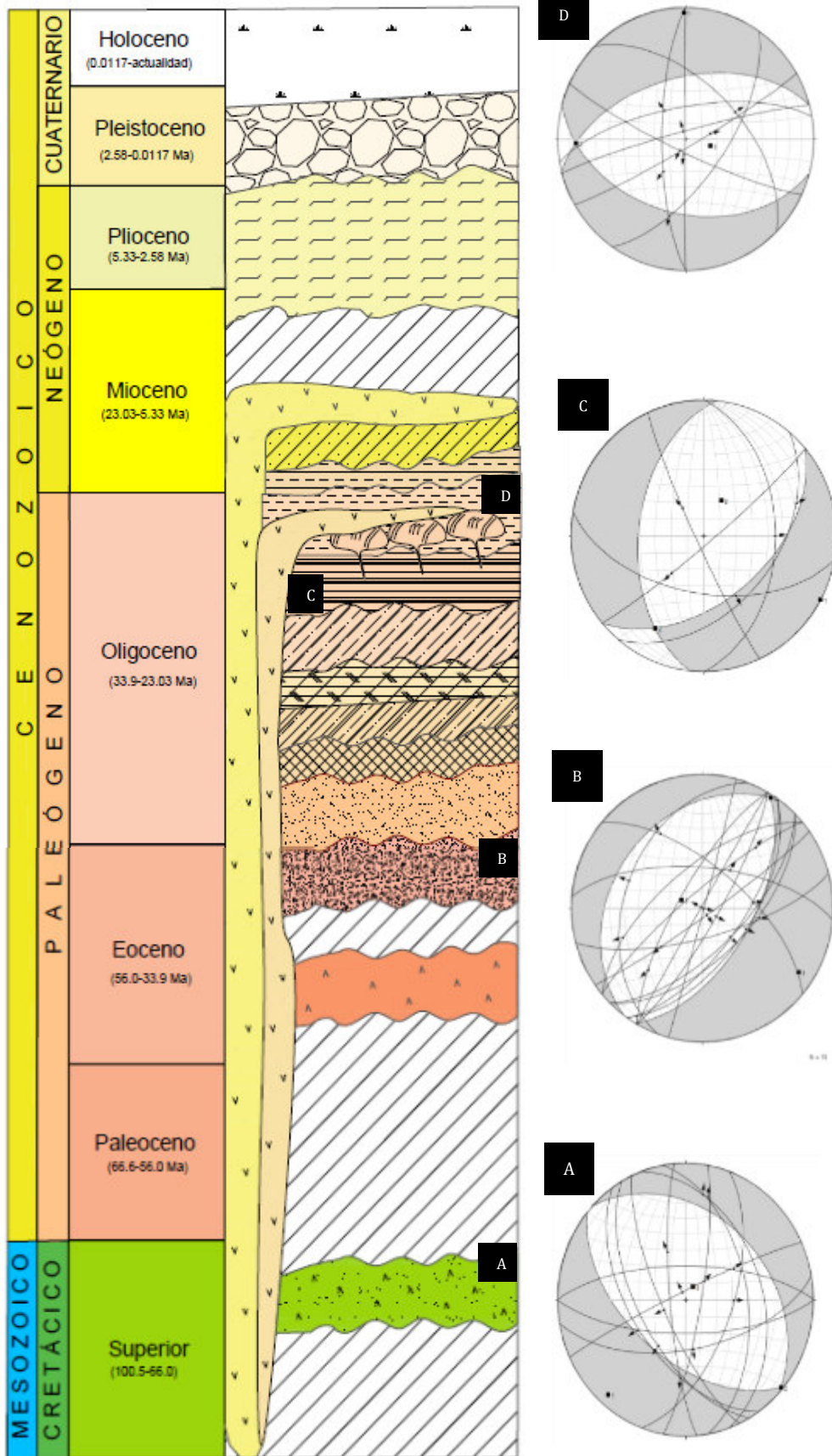


Fig. 89. Columna estratigráfica del transecto centro-norte del Graben de Juchipila mostrando las direcciones de extensiones que rigen cada unidad geológica que aflora en el área de estudio.

Así que con lo dicho anteriormente se interpreta que las fallas que afectan a Andesita Santa Rosa tienen una dirección de extensión NE-SW (Fig. 89A), por lo que, puede que este movimiento extensivo haya sido el inicio de la formación de la porción centro-norte del graben de Juchipila. Para las unidades Capas Rojas Las Azucenas, Ignimbrita Joaquín Amaro y Secuencia Los Cardos se tiene un registro de una dirección de extensión preferente NW-SE (Fig. 89B) que posiblemente sea esta el segundo episodio distensivo que haya formado más bloques y ayudado a que el valle se hiciera más profundo. En cuanto a la unidad Toba Los Indios la dirección de extensión es NNW-SSE (Fig. 89C) y por último el Miembro Toba Amarilla presenta una dirección de extensión N-S (Fig. 89D), posiblemente estos dos eventos extensivos puedan ser uno sólo por las edades próximas de ambas unidades. Para los datos estratigráficos se concluye que la mayoría de estos tienen dos tendencias de inclinación: SE y NW. Estos buzamientos al parecer son contrarios a las inclinaciones de las fallas regionales que rigen la geometría del graben.

4.2.6 Análisis de falla individual

A continuación se muestra una tabla (Tabla 5) presentando los puntos donde fueron medidos sólo fallas que contienen estrías y sus parámetros (rumbo y echado), la unidad a la que afectan, dirección de extensión y los eventos distensivos que surgieron antes, durante y después de la formación del graben.

Tabla 5. Presentando los puntos donde fueron medidos sólo fallas que contienen estrías y sus parámetros (rumbo y echado), la unidad a la que afectan, dirección de extensión y los eventos distensivos que surgieron antes, durante y después de la formación del graben,

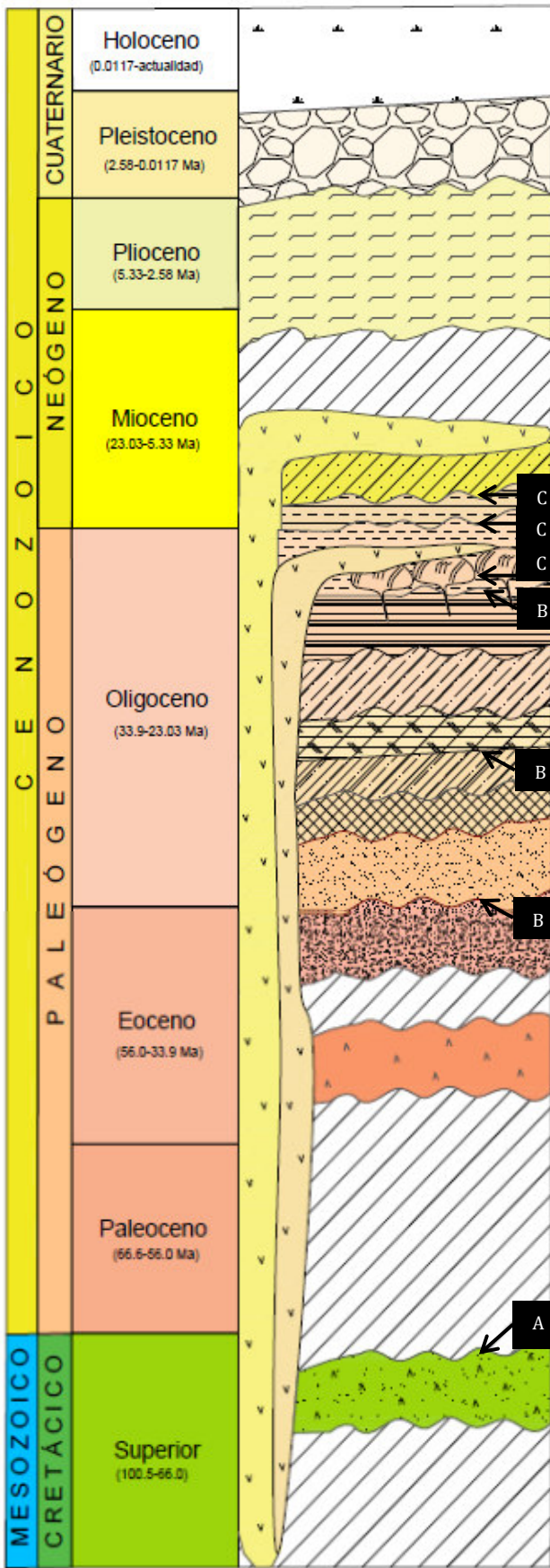
No. Fallas	Punto	Unidad	Rumbo	Echado	Pitch	Dirección de la extensión	Evento distensivo
24	69	Andesita Santa Rosa	145	55	55 BA	NE-SW	Posterior a la formación del graben
25	69	Andesita Santa Rosa	150	60	75 BA	ENE-WSW	1
26	71	Andesita Santa	350	50	30 BB	ENE-WSW	1

		Rosa					
27	71	Andesita Santa Rosa	340	40	40 BB	ENE-WSW	1
28	72	Andesita Santa Rosa	20	60	80 BA	ENE-WSW	1
29	72	Andesita Santa Rosa	175	80	60 BA	WNW-ESE	3
30	72	Andesita Santa Rosa	245	85	90 BB	NW-SE	2
31	72	Andesita Santa Rosa	80	60	90 BB	NNW-SSE	3
32	73	Andesita Santa Rosa	155	75	90 BB	WNW-ESE	1
33	74	Andesita Santa Rosa	90	70	60 BB	NNE-SSW	3
34	74	Andesita Santa Rosa	10	80	77 BA	E-W	1
35	74	Andesita Santa Rosa	90	70	60 BA	NNE-SSW	3
1	3	Capas Rojas Las Azucenas	215	60	85 BA	NW-SE	2
2	17	Capas Rojas Las Azucenas	215	65	70 BA	NW-SE	2
3	21	Capas Rojas Las Azucenas	210	89	90 BB	NW-SE	2
4	21	Capas Rojas Las Azucenas	200	40	90 BB	ENE-WSW	Posterior a la formación del graben
5	21	Capas Rojas Las Azucenas	15	89	90 BB	ENE-WSW	Posterior a la formación del

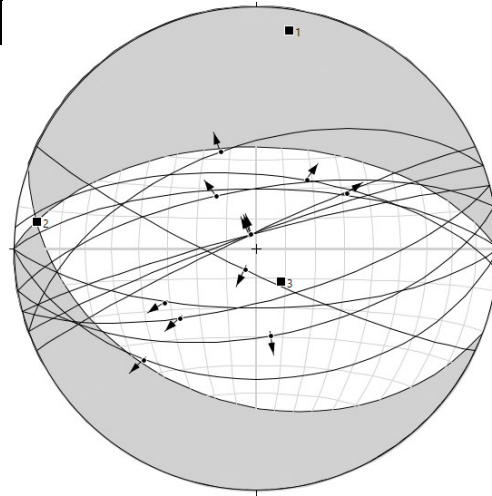
							graben
6	22	Capas Rojas Las Azucenas	45	60	70 BA	NW-SE	2
7	22	Capas Rojas Las Azucenas	230	60	40 BA	NNW-SSE	3
8	25	Capas Rojas Las Azucenas	265	65	105 BB	NNE-SSW	3
9	26	Capas Rojas Las Azucenas	30	80	90 BB	NW-SE	2
10	27	Capas Rojas Las Azucenas	55	85	90 BB	NW-SE	2
11	27	Capas Rojas Las Azucenas	45	65	90 BB	NW-SE	2
19	46	Capas Rojas Las Azucenas	210	75	40 BB	NNE-SSW	3
20	46	Capas Rojas Las Azucenas	230	65	40 BB	NW-SE	2
21	46	Capas Rojas Las Azucenas	310	65	40 BB	NW-SE	2
22	56	Capas Rojas Las Azucenas	75	72	60 BB	NNE-SSW	3
36	76	Ignimbrita Joaquín Amaro	215	88	90 BA	NW-SE	2
38	106	Secuencia Los Cardos	40	45	40 BA	NW-SE	2
39	106	Secuencia Los Cardos	50	85	60 BB	NNW-SSE	3
43	109	Secuencia Los Cardos	250	55	90 BA	ENE-WSW	Posterior a la formación del graben

44	110	Secuencia Los Cardos	155	85	70 BB	NNE-SSW	3
45	112	Secuencia Los Cardos	100	55	65 BA	ENE-WSW	Posterior a la formación del Graben
37	88	Domos Riolíticas Garduño-Huiscolo	90	45	55 BB	NNE-SSW	3
12	28	Toba Los Indios	255	75	90	NNW-SSE	3
13	41	Toba Los Indios	60	85	75 BA	NW-SE	Posterior a la formación del Graben
14	41	Toba Los Indios	180	89	80 BA	ENE-WSW	Posterior a la formación del Graben
15	41	Toba Los Indios	225	55	80 BB	NE-SW	Posterior a la formación del Graben
16	42	Toba Los Indios	180	75	70 BB	ENE-WSW	Posterior a la formación del Graben
17	42	Toba Los Indios	115	82	90 BA	NE-SW	3
18	42	Toba Los Indios	35	65	45 BB	NNW-SSE	3
23	138	Toba Los Indios	260	70	80 BB	NNW-SSE	3
40	108	Miembro Toba Amarilla	330	50	85 BA	NE-SW	Posterior a la formación del Graben
41	109	Miembro Toba Amarilla	250	85	90 BA	NNW-SSE	3
42	109	Miembro Toba Amarilla	250	65	90 BB	NNW-SSE	3

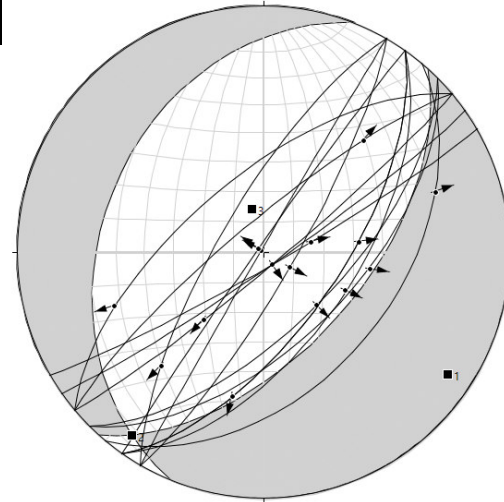
A continuación se muestra una columna estratigráfica con las direcciones de extensiones que rigen a todo el graben, esto se determinó a través de los análisis de fallas por sector, unidad geológica y fallas individuales. Cabe destacar que las estructuras que posiblemente fueron originadas por otro evento distensivo posterior a la formación del graben (a excepción de la 13) fueron agregadas a los estereogramas que presentan una misma dirección de rumbo. Esto con la finalidad de que la dirección principal de los rumbos no se viera afectada por el cambio de las direcciones de las fallas que no conforman ese mismo grupo.



C



B



A

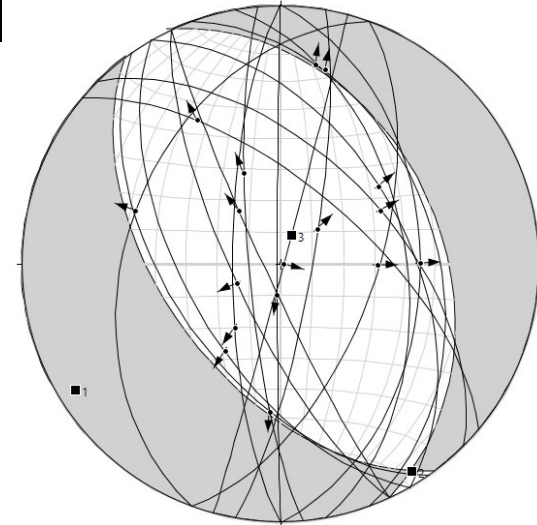


Fig. 90. Columna estratigráfica mostrando las direcciones de extensiones que rigen el transecto centro-norte del graben de Juchipila

A causa de todos estos análisis realizados, podemos relacionar las unidades geológicas que se encuentran dentro de un mismo evento de extensión y determinar cómo fue evolucionando el graben. Los análisis estructurales presentados muestran que posiblemente existieron 3 eventos distensivos que rigen la formación de la parte centro-norte del graben de Juchipila: 1) se originó después de la deposición de Andesita Santa Rosa y Andesita Aréchiga (Cretácico Superior-Eoceno-temprano). Este presenta una dirección de extensión ENE-WSW (Fig. 90A); 2) el evento más significativo e importante, ya que, pudo haber sido el episodio que dio origen a la mayoría de los bloques con conforman el transecto centro-norte de Juchipila, se presenta después de la depositación de Capas Rojas Las Azucenas, Arenas Blancas El Caracol (Eoceno-tardío) y del surgimiento de grandes paquetes de ignimbritas, tobas y basaltos (Ignimbrita La Soledad, Ignimbrita Joaquín Amaro, Ignimbrita Fuentes, Depósitos Piroclásticos Hermanos y Secuencia Los Cardos) en el Oligoceno temprano-Oligoceno tardío. Este segundo evento distensivo muestra una dirección de extensión NW-SE (Fig. 90B) y 3) el tercer episodio de extensión con dirección NNE-SSW (Fig. 90C) fue originado después de la depositación de un grupo de ignimbritas, tobas riolitas y basaltos (Domos Riolíticos Garruño-Huiscolo, Toba Los Indios, Basaltos Tlachichila, Miembro Toba Amarilla) durante el Oligoceno tardío-Mioceno tardío. Por otra parte, durante el Mioceno temprano al Holoceno no se tiene claro si algún otro episodio extensivo llegó a terminar con la formación del graben, sólo se tienen registros de fallas mayores con orientaciones ENE-WSW, NW-SE y NE-SW e inclinaciones de 20° en Lacustres La Pitaya, los cuales nos indican que esto podrían estar asociado a la apertura del Golfo de California.

4.2.7 Evolución tectónica del graben

Para la última etapa de este análisis estructural se integró toda la información obtenida (recopilación bibliográfica, observaciones en campo, datos estratigráficos y estructurales y análisis cinemáticos y dinámicos). Todo esto con la finalidad de comprender la formación y evolución de la parte centro-norte del graben de Juchipila.

A continuación se presenta una reconstrucción de la formación del graben mediante imágenes, se describe cómo fueron depositándose las unidades geológicas de acuerdo con sus edades y se explica cómo afectaron los 3 eventos extensivos que dieron origen a la parte centro-norte del graben de Juchipila.

EOCENO

La formación del graben pudo haber iniciado, de acuerdo con los datos estratigráficos y estructurales, al principio del Eoceno, donde un pulso magmático posiblemente correlacionable al episodio que formó el CVI dio origen a Andesita Santa Rosa (69.86 ± 0.26, edad obtenida en esta tesis). Ésta llegó a emplazarse por toda la parte centro norte del graben de Juchipila. Después de aproximadamente 22 Ma una andesita (Andesita Aréchiga, 48.1 ± 2.6 Ma) registrada y datada por Webber et al., 1994 llegó a depositarse encima de Andesita Santa Rosa (Fig. 92).

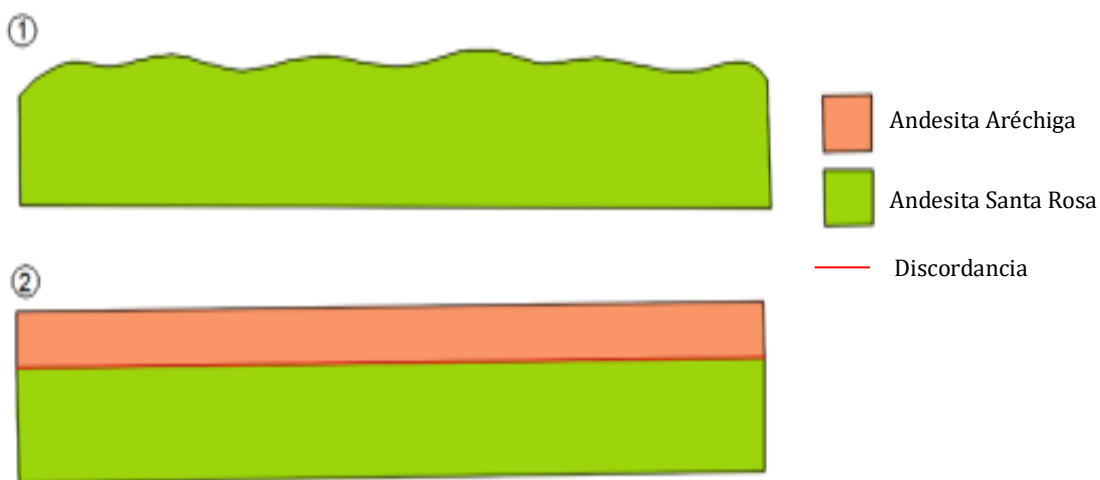


Fig. 91. Sección geológica esquemática de la parte centro-norte del Graben de Juchipila presentando la depositación de cada unidad.

Después del surgimiento de estas unidades un evento distensivo con dirección de extensión predominante ENE-WSW creó fallas que afectaron a ambas andesitas (Fig. 93).

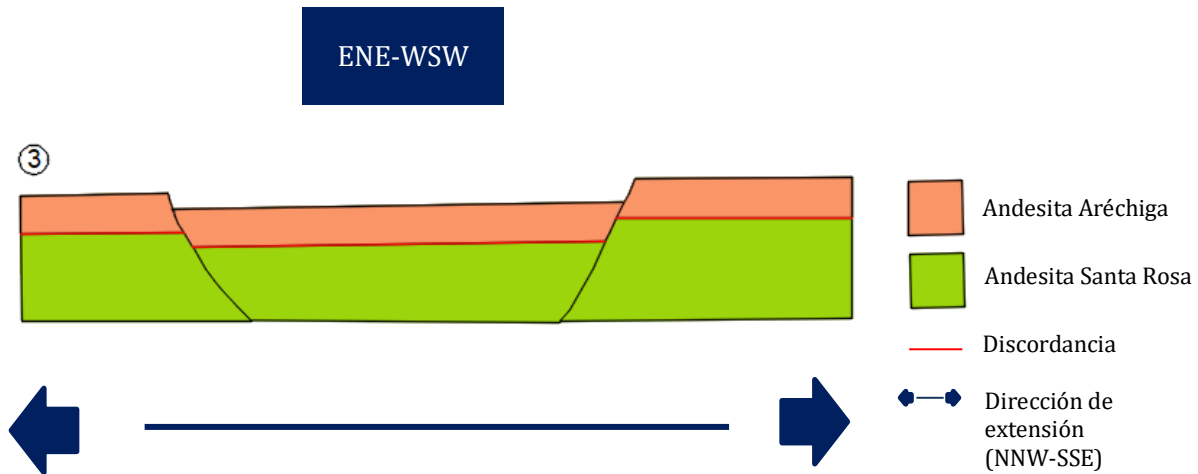


Fig. 92. Sección geológica esquemática presentando el evento distensivo con dirección ENE-WSW que probablemente dio origen a la parte centro-norte del Graben de Juchipila de cada unidad.

EOCENO –TARDÍO OLIGOCENO-TEMPRANO

Posteriormente en el Eoceno-tardío arenas y conglomerados rojos intercalados con tobas e ignimbritas (Capas Rojas Las Azucenas, 33.92 ± 0.21 Ma; datadas por Martínez-Reséndiz en este mismo proyecto), junto con arenas blancas (Arenas Blancas El caracol 32.42 ± 0.16 Ma; datadas por Martínez-Reséndiz en este mismo proyecto) llegaron a concentrarse y acumularse. Cabe mencionar que ambas tienen distintas edades pero puede ser que por la poca diferencia de edad se hayan depositado casi al mismo tiempo.

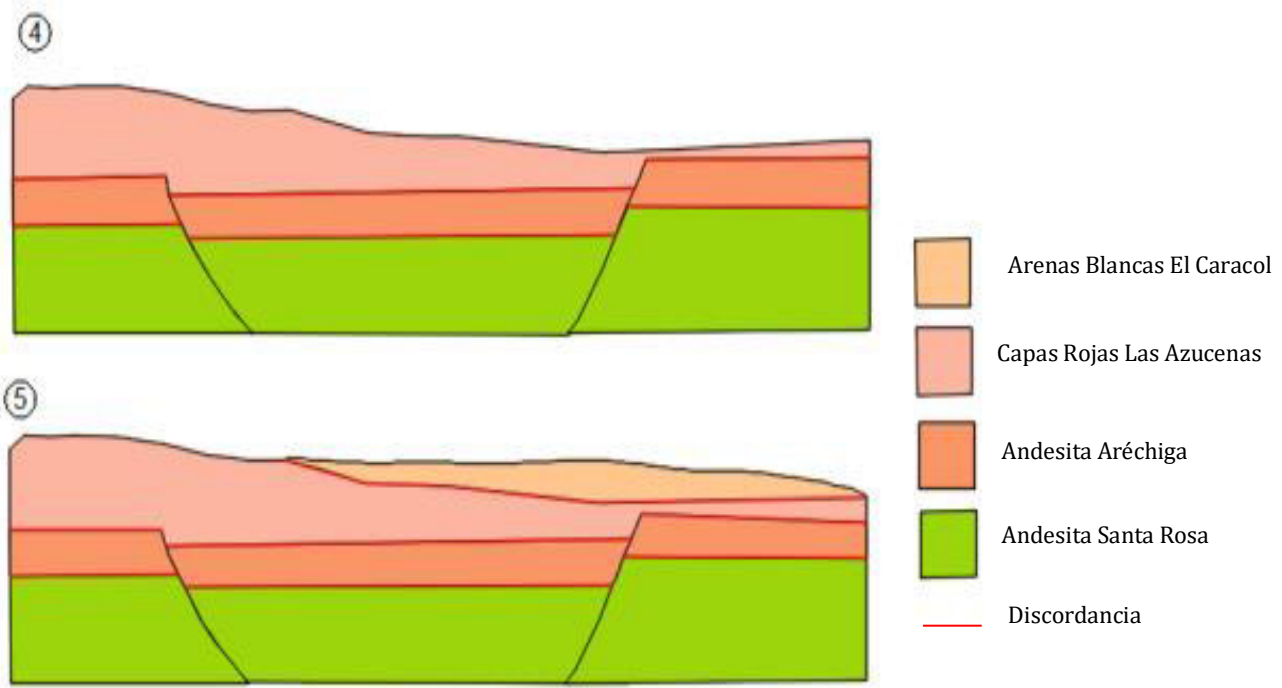
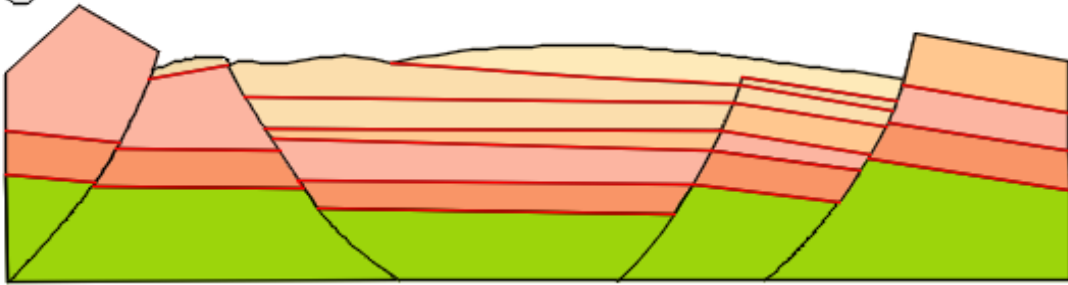


Fig. 93. Sección geológica esquemática de la parte centro-norte del Graben de Juchipila presentando la depositación de cada unidad.

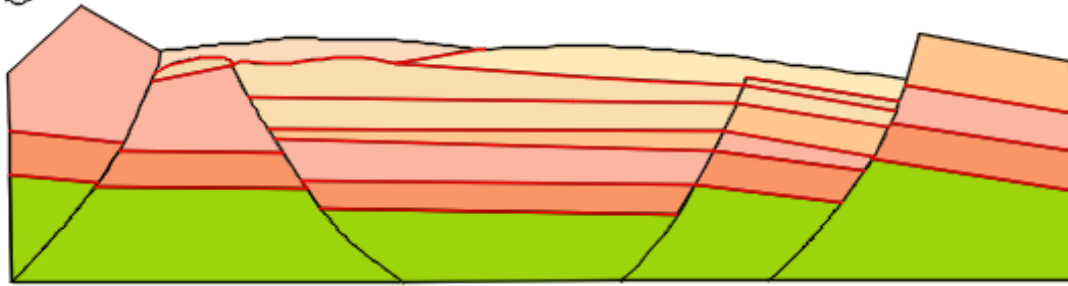
OLIGOCENO TEMPRANO- OLIGOCENO TARDÍO

Después de la formación de Capas Rojas Las Azucenas y Arenas Blancas El Caracol un conjunto de ignimbritas, tobas, riolitas y basaltos (Ignimbrita Soledad, Ignimbrita Joaquín Amaro de 31.55 ± 0.28 Ma; Beltrán-Martínez et al., 2019; Ignimbrita Fuentes de 29.02 ± 0.18 Ma, Martínez-Reséndiz, en este mismo proyecto, Depósitos Pircolásticos Hermanos y Secuencia Los Cardos de 29.51 ± 0.26 Ma, en esta misma tesis) llegó a emplazarse y a cubrir toda la parte centro norte del Graben de Juchipila. Cabe mencionar que este gran volumen de rocas silíceas pudiera estar relacionado con el “*ignimbrite flare up*” que se originó en el Oligoceno (31.5-28 Ma) de acuerdo con Ferrari (2002). También se puede interpretar que toda la actividad magmática que se presentó ayudó a crear tensión cortical casi continua, la cual fue la causante de originar la mayoría de los bloques que conforman el área de estudio. Por lo que, este evento pudo llegar a ser el más importante y significativo para la formación del graben (Fig. 95).

⑦



⑧



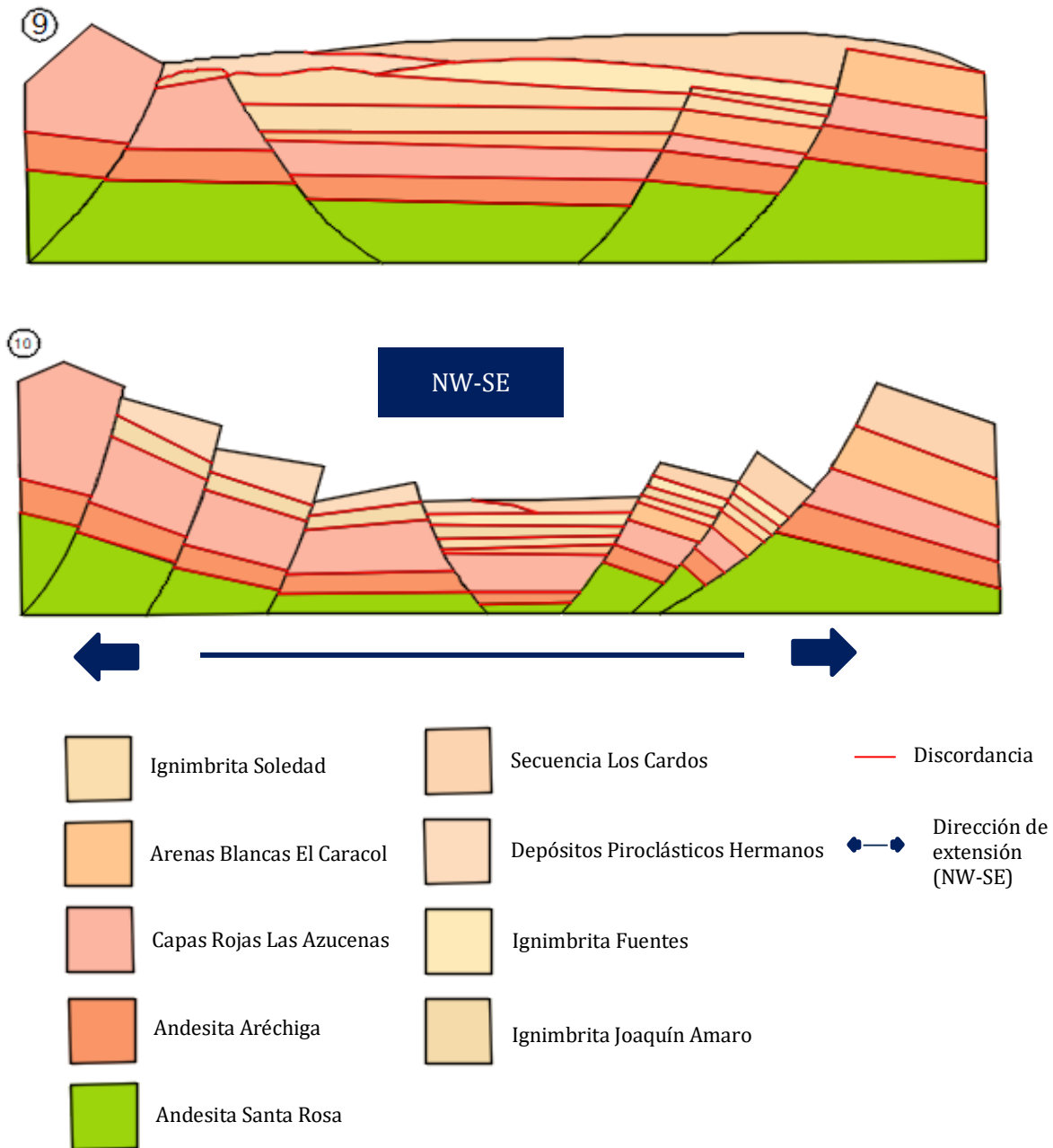


Fig. 94. Sección geológica esquemática presentando el evento distensivo con dirección NW-SE que probablemente dio origen a la parte centro-norte del Graben de Juchipila de cada unidad.

OLIGOCENO TARDÍO- MIOCENO TEMPRANO

Después del evento extensivo NW-SE, un pulso magmático generó domos riolíticos (Domas Riolíticas Gerruño-Huiscolo; 27.9 ± 0.60 Ma; Beltrán-Martínez, 2019 en su tesis) que fueron extravasados y emplazados por toda la parte este del graben. Posterior a ello en el Oligoceno tardío otra secuencia de tobas y basaltos (Toba Los Indios 25.9 ± 2.5 Ma, Webber et al. 1994; Basaltos Tlachichila, 25.90 ± 0.15 Ma, Webber et al., 1994; Miembro Toba Amarilla, 25.3 ± 2 Ma, Webber et al. 1994) llegaron a surgir, ambas tobas en su mayoría rellenaron las partes bajas de los bloques ya creados por los episodios distensivos pasados. Cabe mencionar que estas 3 unidades tienen una edad muy cercana entre ellas se puede decir que se depositaron sucesivamente (Fig. 96).

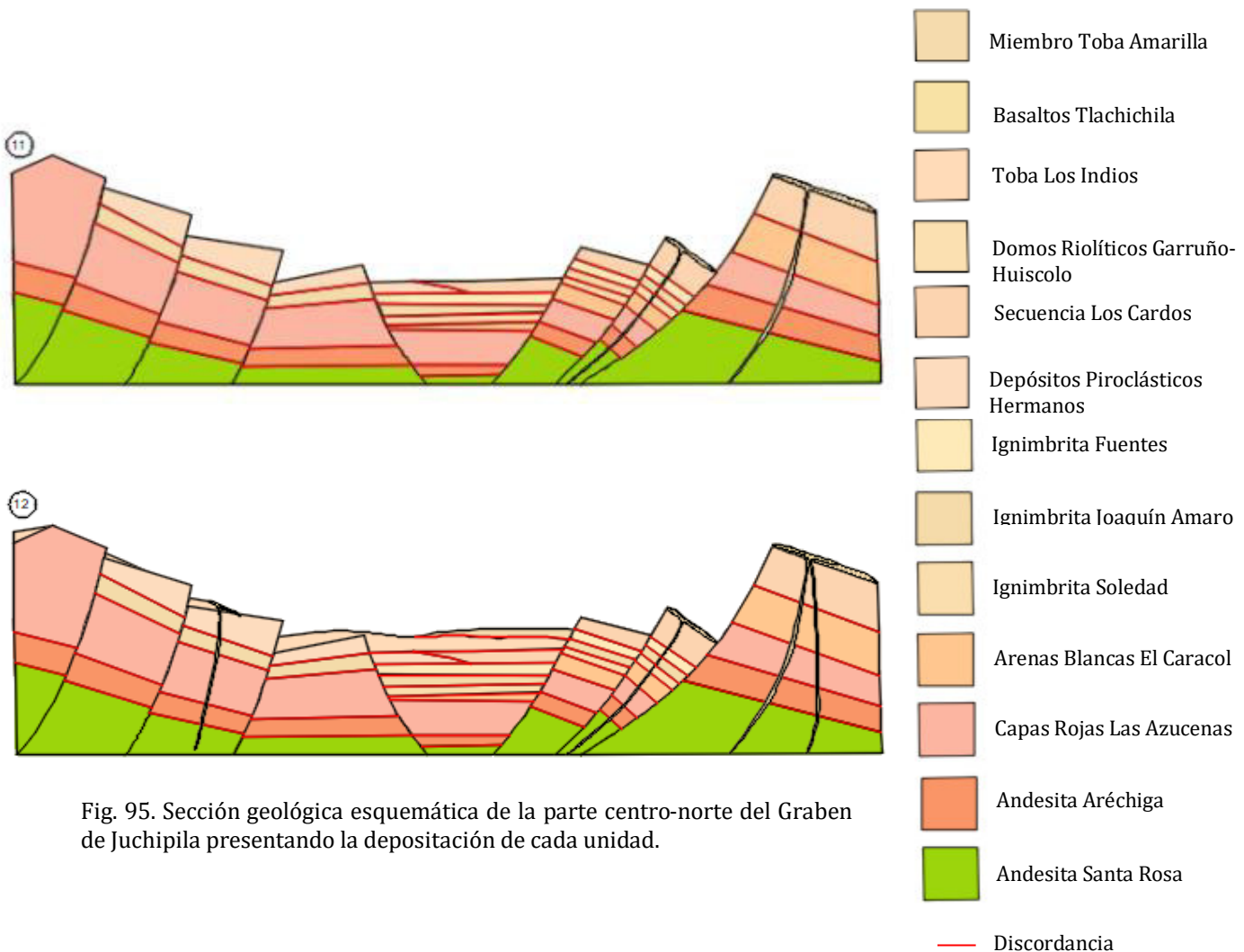


Fig. 95. Sección geológica esquemática de la parte centro-norte del Graben de Juchipila presentando la depositación de cada unidad.

Seguido a esto durante el Oligoceno tardío-Mioceno temprano el tercer evento de extensión con dirección NNW-SSE llegó a presentarse. Este episodio distensivo posiblemente produjo la rotación de bloques principalmente en la parte oeste del graben (Fig. 97).

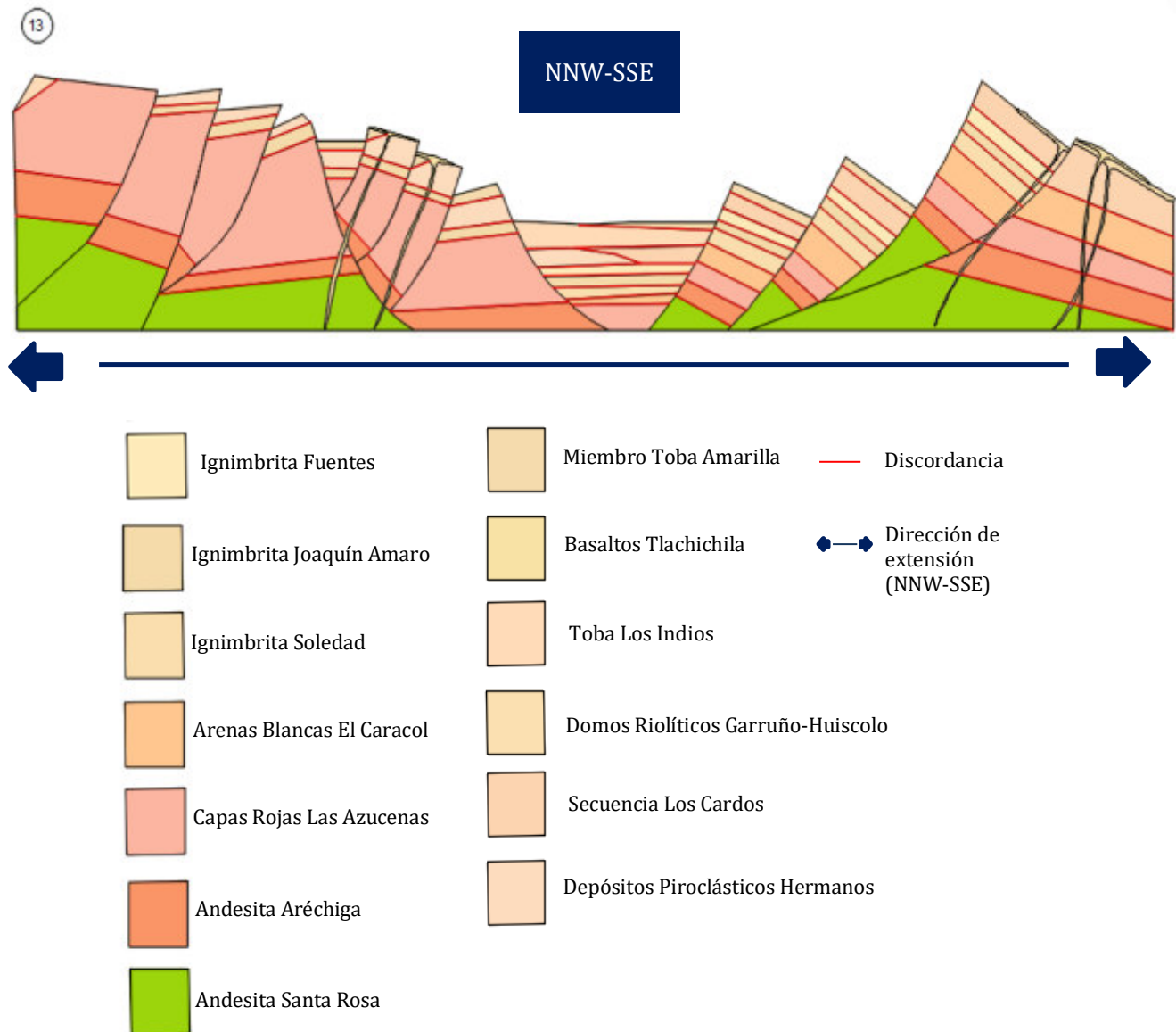
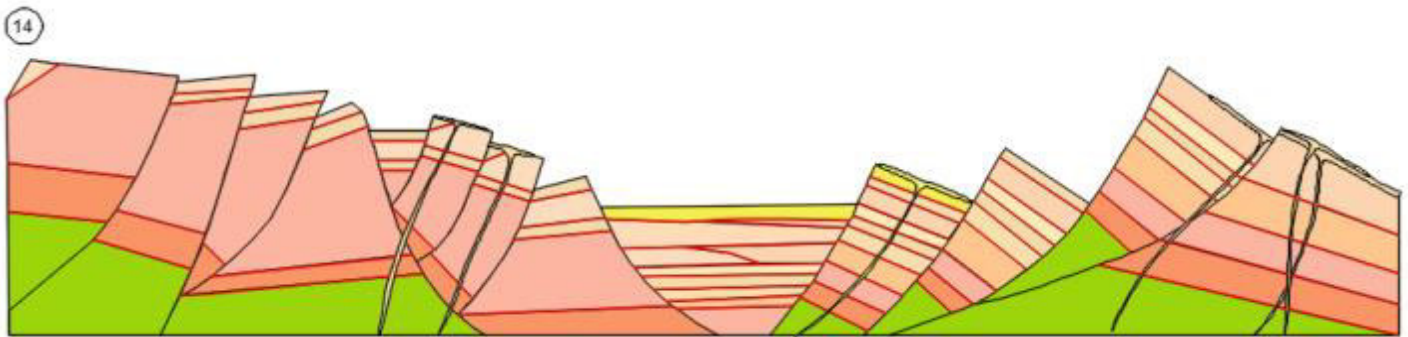


Fig. 96. Sección geológica esquemática del evento distensivo con dirección NW-SE que creó nuevos bloques y posteriormente fueron rotados.

En el Oligoceno-tardío Mioceno-temprano un pulso ignimbrítico llegó a presentarse y depositar a Ignimbrita Calvillo-Jalpa (24.42 ± 0.18 Ma; Martínez-Reséndiz, en esta mismo proyecto). Después de 9 Ma aproximadamente la actividad magmática disminuyó, por lo que en el Mioceno-medio se reactivó esta actividad volcánica que ayudó a expulsar y emplazar coladas y diques (Basaltos Tuitán 13.27 ± 0.45 Ma, Martínez-Reséndiz; 2016) que atraviesan a Miembro Toba Amarilla (Fig. 98).

PLIOCENO-CUATERNARIO

Finalmente para el Plioceno-temprano Lacustres La Pitaya se acumularon en los bordes y la parte central del Valle de Jalpa. Se cree que de acuerdo a las inclinaciones que presentan estos lacustres y fallas que cortan a ignimbritas recientes eventos distensivos posteriores afectaron cierta parte al Graben de Juchipila. Por medio de la erosión de todas estas unidades la concentración de sedimentos llegó a formar el Conglomerado Reciente Tenayuca y Aluvión (Fig. 98).



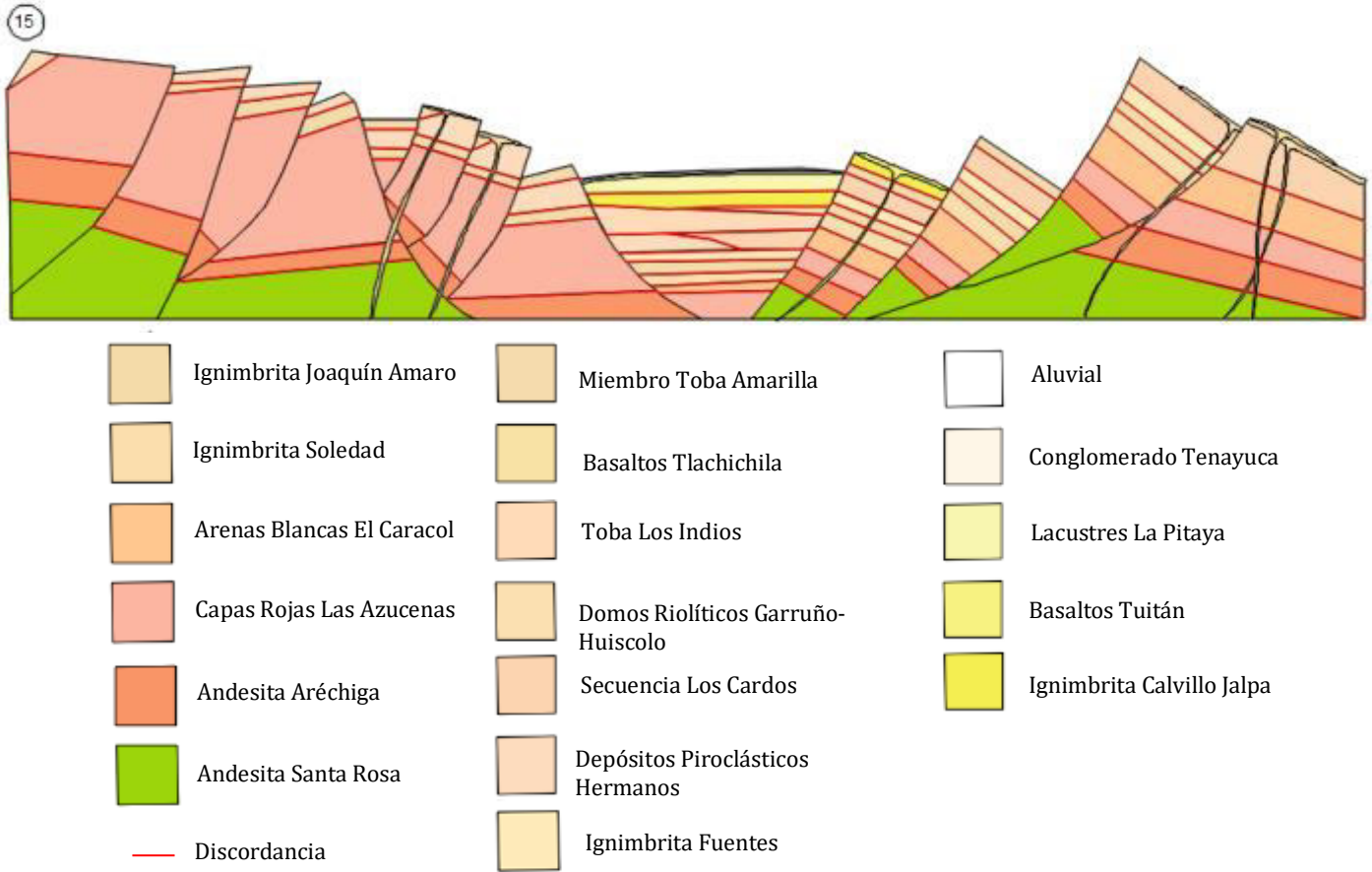


Fig. 97. Sección geológica esquemática de la parte centro-norte del Graben de Juchipila presentando la depositación de cada unidad.

Capítulo V. Conclusiones

De acuerdo con el mapa preliminar y la cartografía se pudo crear un mapa geológico-estructural a detalle, el cual ayuda a saber la distribución de las unidades geológicas que se encuentran ubicadas en el transecto centro-norte del Graben de Juchipila.

Debido a los datos obtenidos en campo, la petrografía y fechamientos isotópicos analizados por el método U/Pb se pudieron seleccionar las rocas más representativas del área de estudio y con ello se definió la columna estratigráfica del transecto centro-norte del Graben de Juchipila. Esta presenta rocas con edades que van desde el Cretácico Superior hasta el Holoceno. Se tienen 18 unidades geológicas las cuales 13 de ellas son clasificadas como ígneas volcánicas: Andesita Santa Rosa (69.86 ± 0.26 , edad obtenida en esta tesis), Andesita Aréchiga (48.1 ± 2.6 Ma, Webber et al., 1994), Ignimbrita La Soldad, Ignimbrita Joaquín Amaro (31.55 ± 0.28 Ma; Beltrán-Martínez, 2019), Ignimbrita Fuentes (29.02 ± 0.18 Ma, Martínez-Reséndiz, en este mismo proyecto), Depósitos Piroclásticos Hermanos, Secuencia Los Cardos (29.51 ± 0.26 Ma, en esta misma tesis) Domos Riolíticos Garruño-Huiscolo (27.9 ± 0.60 Ma; Beltrán-Martínez, 2019), Toba Los Indios (25.9 ± 2.5 Ma, Webber et al. 1994), Basaltos Tlachichila (25.90 ± 0.15 Ma, Webber et al., 1994), Miembro Toba Amarilla (25.3 ± 2 Ma, Webber et al. 1994), Ignimbrita Calvillo-Jalpa (24.42 ± 0.18 Ma; Martínez-Reséndiz, en este mismo proyecto) y Basaltos Tuitán (13.27 ± 0.45 Ma, Martínez-Reséndiz; 2016). También fueron reconocidas 5 unidades sedimentarias: Capas Rojas Las Azucenas (33.92 ± 0.21 Ma; Martínez-Reséndiz en este mismo proyecto), Arenas Blancas El caracol (32.42 ± 0.16 Ma; Martínez-Reséndiz en este mismo proyecto), Lacustres La Pitaya, Conglomerado Reciente y Aluvial (0.0117-actualidad).

Para entender la geometría del graben y la formación del mismo se midieron datos estructurales en campo, se realizó fotointerpretación y análisis cinemáticos y dinámicos, los cuales ayudaron a reconocer 3 eventos extensivos: 1) El primer evento presenta una dirección de extensión ENE-WSW posterior a la depositación de Andesita Santa Rosa (69.86 ± 0.26 , edad obtenida en esta tesis) y Andesita Aréchiga (48.1 ± 2.6 Ma, Webber et

al., 1994); 2) presentando una dirección de extensión NW-SE, se originó después del depósito de Capas Rojas Las Azucenas (33.92 ± 0.21 Ma), Arenas Blancas El caracol (Eoceno tardío) y del surgimiento de un conjunto de tobas, basaltos e ignimbritas (Secuencia Los Cardos, 29.51 ± 0.26 Ma, datos obtenidos en la presente tesis) dentro del Oligoceno temprano-tardío. Durante el Oligoceno tardío-Mioceno tardío, el tercer episodio de extensión con dirección NNE-SSW fue originado después de la depositación de un grupo de ignimbritas, tobas riolitas y basaltos (Domos Riolíticos Garruño-Huiscolo, Toba Los Indios, Basaltos Tlachichila, Miembro Toba Amarilla). Probablemente este tercer evento llegó afectar en menor proporción al graben. No se tiene claro si algún otro episodio extensivo durante el Mioceno temprano-Holoceno pudo haber sido el concluyente a la formación del graben, sólo se tienen registros de fallas mayores con orientaciones ENE-WSW, NW-SE y NE-SW e inclinaciones de 20° en Lacustres La Pitaya, los cuales nos indican que esto podrían estar asociado al evento extensivo Basin and Range.

De acuerdo a las observaciones de trabajo de campo, fotointerpretación de imágenes satelitales de alta resolución en el software Google Earth y la posible formación geo-estructural de la parte centro-norte del Graben de Juchipila, se puede interpretar que durante todos los episodios extensivos que sufrió el graben, el valle, fue desplazado por fallamiento normal junto con todas las rocas ígneas y sedimentarias pre-existentes a lacustres y sedimentos del Plioceno-Holoceno. Por lo que, se fue creando una fosa tectónica, la cual, con el último evento distensivo pudo haber incrementado su profundidad y así crear un ambiente de depositación adecuado para que los lacustres y sedimentos llegaran a acumularse y concentrarse hasta llegar a alcanzar alturas de más de 300 m.

El transecto Jalpa contiene un serie de rocas silíceas del Cenozoico (riolitas e ignimbritas) cubiertas por sedimentos (arenas, lacustres y arcillas) con espesores de 300 m a 400 m. Tal como es el caso en Australia la estratigrafía es la misma, ya que presenta un paquete sedimentario con un espesor de más de 3500 m (Ayling et. al, 2016) cubriendo rocas silíceas (principalmente granitos) que corresponden al Paleozoico-Proterozoico (Allis et. al, 2012, citado por Meixner et. al, 2014). La estructura de las

cuencas formadas en Australia (Cooper Basin, Eromanga, Lake Eyre, entre otras) comparadas con la encontrada en el transecto Jalpa muestran una similitud, posiblemente en su formación y evolución ya que la tectónica en ambos lugares propició el acumulamiento y depositación de sedimentos. Por otra parte, es posible que por la diferencia del tiempo geológico de formación en ambas unidades geológicas, el decaimiento de isótopos radiactivos generado en los granitos de Australia haya producido una gran abundancia de calor, mientras que en la zona de estudio la cantidad de calor generada no es suficiente para ser explotable. También se puede interpretar que la cubierta de sedimentos en el transecto Jalpa es demasiado delgada (en espesor) comparada con el paquete de sedimentos de Australia, por lo que, probablemente en la zona de estudio el calor no quede atrapado, sea transportado a la superficie y se vea reflejado como manifestaciones termales. Estas diferencias entre ambos lugares puede que sean significativas, es por ello que la zona de estudio no llegue a ser un área de potencial geotérmico no convencional. Pero para determinar con certeza dicho potencial en el transecto Jalpa se necesita más información y realizar estudios y análisis a detalle.

Referencias Bibliográficas

- Aguirre-Díaz, G. J. y Labarthe-Hernández, G. (2003). Fissure-source origin for voluminous ignimbrites of the Sierra Madre Occidental and its relationship with Basin and Range faulting. *Geological Society of America, Geology*, 31 (9), 773-776.
- Aguirre-Díaz, G. J., Labarthe-Hernández, G., Tristán-González, M., Nieto-Obregón, J., y Gutierrez-Palomares, I. (2008). The Ignimbrite Flare-Up and Graben Calderas of the Sierra Madre Occidental, Mexico. *Developments in Volcanology*, 10, 143-174.
- Aranda-Gómez, J. J. (1989). Geología preliminar del Graben de Aguascalientes. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 8 (1), 22-32.
- Aranda-Gómez, J. J., Carranza-Castañeda, O., Cervantes-Corona J., Wang, X., Tseng-Zhijie, J., Troncoso-Altamirano, H., y Chávez-Cabello, G. (2008). Los sedimentos continentales (Formación Juchipila) en la región entre Apozol y Tabasco, Zacatecas. *Geos*, 28 (2), 190-191.
- Aranda-Gómez, J. J., Henry, C. y Luhr, J. (2000). Evolución tectonomagmática post Paleocénica de la Sierra Madre Occidental y de la porción meridional de la provincia tectónica de Cuencas y Sierras, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, LIII, 59-71.
- Ayling, B. F., Hogarth, R. A., y Rose, P. E. (2016). Tracer testing at the Habanero EGS site, central Australia. *Geothermics*, 63, 15-26.
- Beltrán Martínez, B. C. (2019). *Caracterización geológico estructural de la porción norte del Graben de Juchipila, estados de Zacatecas y Aguascalientes*. Tesis de Licenciatura no publicada. Universidad Autónoma de Guerrero, Guerrero, México.
- Bryan, S. E., Ferrari, L., Reiners, P. W., Allen, C. M., Petrone, C. M., Ramos-Rosique, y Campbell, I. H. (2008). New insights into crustal contributions to large-volume rhyolite generation in the mid-tertiary Sierra Madre Occidental Province, Mexico, revealed by U-Pb geochronology. *Journal of Petrology*, 49 (1), 47- 77.

- Bryan, S. E., Riley, T. R., Jerram, D. A., Leat, P. T. y Stephens, C. J. (2002). Silicic volcanism: an undervalued component of large igneous provinces and volcanic rifted margins. *Geological Society of America Special Paper 362*, 99-120.
- Cameron, K. L., Nimz, G. J., Kuentz, D., Niemeyer, S. y Gunn, S. (1989). Southern Cordilleran basaltic andesite suite, southern Chihuahua, Mexico: A link between Tertiary continental arc and flood basalt magmatism in North America. *Journal of Geophysical Research*, 94, 7817-7840.
- Cárdenas-Rivera, J. y Aguirre-Díaz, G. (2009). El Graben Caldera de Juchipila, Zacatecas: Geología y Estructura. *Geos*, 29 (1), 116-117.
- Carranza-Castañeda, O., Aranda-Gómez, J.J., Iriondo, A. y Wang, X. (2013). The early-late Hempephillian (Hh2) faunal assemblage from Juchipila basin, State of Zacatecas, Mexico, and its biochronologic correlation with other hemphillian faunas in central Mexico. *Contributions of Science*, (1), 37.
- Clark, K. F., Damon, P. E., Shafiquillah, M., Ponce, B. F. y Cárdenas, D. (1981). Sección geológica-estructural a través de la parte sur de la Sierra Madre Occidental, entre Fresnillo y la costa de Nayarit. *Asociación Ingenieros Mineros, Metalúrgicos y Geólogos de México, Memoria Técnica, XIV*, 69-99.
- Cuellar-Cárdenas, M.A., Nieto-Samaniego, A.F., Levresse-Gilles, Alaniz-Álvarez, S.A., Solari, L., Ortega-Obregón, C. y López-Martínez, M. (2012). Límites temporales de la deformación por acortamiento Laramide en el centro de México. *Revista Mexicana Ciencias Geológicas*, 29 (1), 179-203.
- Damon, P. E., Nieto-Obregón, J. y Delgado-Argote, L. (1979). Un plegamiento neogénico en Nayarit y Jalisco y evolución geomórfica del río Grande de Santiago. *Asociación Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México, Memoria Técnica, XIII*, 156-191.
- Ferrari, L., López-Martínez, M. y Rosas-Elguera, J. (2002). Ignimbrite flare-up and deformation in the southern Sierra Madre Occidental, western Mexico: Implications for the late subduction history of the Farallon plate. *Tectonics*, 21 (4), 17-1 a 17-26.
- Ferrari, L., López-Martínez, M., Orozco-Esquivel, T., E. Bryan, S., Duque-Trujillo, J., Lonsdale, P. y Solari, L. (2013). Late Oligocene to Middle Miocene rifting and synextensional magmatism in the southwestern Sierra Madre Occidental, Mexico: The beginning of the Gulf of California rift. *Geological Society of America Bulletin*, 9(5), 1-40.

- Ferrari, L., Valencia-Moreno, M. y Bryan, S. (2005). Magmatismo y tectonismo en la Sierra Madre Occidental y su relación con la evolución de la margen Occidental de Norteamérica. *Boletín de Sociedad Geológica Mexicana, Conmemorativo del Centenario, Temas selectos de la Geología Mexicana, LVII (3)*, 343-378.
- Ferrari, L., Valencia-Moreno, M. y Bryan, S. (2007). Magmatism and tectonics of the Sierra Madre Occidental and its relations with the evolution of the western margin of North America. *Geological Society of America, Special Paper 422*, 1-39.
- Ferrari, L., Castillo-Reynoso, J., C., Orozco-Esquivel, T. y Silvia-Fragoso A. (2018). Digital geologic map and geochronologic, geochemical and geothermal database of the south-eastern part of the Sierra Madre Occidental, Mexico. *International e journal of maps, 2 (2)*, 1-6.
- Garduño-Monroy, V. H. y Gutiérrez-Negrín, L. C. A. (1992). Magmatismo, hiatus y tectonismo de la Sierra Madre Occidental y del Cinturón Volcánico Mexicano. *Geofísica Internacional, 31 (4)*, 417-429.
- González-Partida, E. y González-Ruiz, M. L. (2016). Apuntes de Geología de la Geotermia (Material Didáctico). *Centro Mexicano de Innovación de Energía Geotérmica, 1-92*.
- Henry, C. D., y Aranda-Gómez, J. J. (1992). The real southern Basin and Range: Mid-to Late Cenozoic extension in Mexico. *Geology, 20*, 701-704.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2017). Anuario Estadístico y Geográfico de Zacatecas 2017. *Anuario Estadístico y Geográfico de Zacatecas*, 1-536.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2008). Características edafológicas, fisiográficas, climáticas e hidrográficas de México, 1-32.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Jalpa, Zacatecas, Clave geoestadística 32019, 1-9.
- Lahiere, L. (1982), *Petrology of lacustrine deposits, Juchipila Quadrangle, Zacatecas, Mexico*, Master of Science in Earth Science, University of New Orleans, New Orleans, USA.
- Lang, B., Steinitz, G., Sawkins, F. J. y Simmons, S., F. (1988). K-Ar age studies in the Fresnillo silver district, Zacatecas, Mexico. *Economy Geology, 83*, 1642-1646.

- López, J. C. (1991), *Stratigraphy and Petrology of Miocene Pliocene lacustrine deposits, Juchipila Quadrangle, Zacatecas, Mexico*, Master of Science of Geology, University of New Orleans, New Orleans, USA.
- Loza-Aguirre, I., Nieto-Samaniego, F., A., Alaniz-Álvariz, S., A. e Iriondo, A. (2008). Relaciones estratigráfico-estructurales en la intersección del Sistema de fallas San Luis Tepehuanes y el Graben de Aguascalientes, México central. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. 25 (3), 533-548.
- Loza-Aguirre, I. (2005), *Estudio estructural de la actividad Cenozoica del Sistema de Fallas San Luis Tepehuanes en la región Zacatecas-San José de Gracia*, Tesis de Licenciatura no publicada, Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, Tamaulipas, México.
- Lyons, J.I. (1988) Geology and ore deposits of the Bolaños silver district, Jalisco, Mexico. *Economic Geology*, 83, 1560-1582.
- Martínez Resendiz, E. V. (2016), *Petrografía y Geoquímica del vulcanismo máfico del Mioceno en la porción sur de la Sierra Madre Occidental*, Tesis de Licenciatura no publicada, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Facultad de Ciencias Campus Juriquilla, Querétaro, México.
- Meixner, A. J., Kirkby A. L., Horspool N. (2014). Using constrained gravity inversions to identify high-heat-producing granites beneath thick sedimentary cover in the Cooper Basin Region of central Australia. *Geothermics*, 51, 483-495.
- Milla, L. L. (2002). Evolución de la energía convencional y no convencional. *Industrial Data*, 5(2), 78-85.
- McDowell, F. y Clabaugh, S. (1979). Ignimbrites of the Sierra Madre Occidental their relation to the tectonic history of western Mexico. *Geological Society of America, Special Paper 180*, 133-124.
- McDowell, F. y Clabaugh, S. (1981). The Igneous History of the Sierra Madre Occidental and it's relation to the Tectonic evolution of the Western Mexico. *Revista*, 5(2), 195-206.
- McDowell, F. y Keizer, R. (1977). Timing of mid-Tertiary volcanism in the Sierra Madre Occidental between Durango City and Mazatlán México. *Geological Society of America Bulletin*, 88, 1479-1487.
- Miranda-Áviles, R., Puy-Alquiza, M., J., Omaña, L. y Loza-Aguirre I. (2016). Los depósitos clásticos post Laramidede la Sierra de Guanajuato: Implicaciones de su

composición en la evolución tectono-sedimentaria y paleográfica. *Estudios Geológicos* 72(2), 1-19. doi: 10.3989/42480.417.

Moore, G., Marone, C., Carmichael, I., S., E. y Renne, P. (1994). Basaltic volcanism and extension near the intersection of the Sierra Madre volcanic province and the Mexican Volcanic Belt. *Geological Society of America Bulletin*, 106 (3), 383-394.

Mújica-Mondragón, R. y Jacobo-Albarrán, J. (1983). Estudio petrogenético de las rocas ígneas y metamórficas del Altiplano Mexicano. Instituto Mexicano del Petróleo, Subdirección Técnica de Exploración, Proyecto C-1156, informe técnico (inédito).

Nieto-Obregón, J., Delgado-Argote, L. y Damon, P. E. (1981). Relaciones petrológicas y geocronológicas del magmatismo de la Sierra Madre Occidental el Eje Neovolcánico en Nayarit, Jalisco y Zacatecas. *Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México, Memoria Técnica, XIV*, 327-361.

Nieto-Samaniego, A., F., Macías-Romo, C. y Alaniz-Álvarez, S. A. (1996). Nuevas edades isotópicas de la cubierta volcánica cenozoica de la parte meridional de la Mesa Central, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 13 (1), 117-122.

Nieto-Samaniego, A., F., Ferrari, L., Alaniz-Álvarez, S., A., Labarthe-Hernández, G. y Rosas-Elguera J. (1999). Variation of Cenozoic extension and volcanism across the southern Sierra Madre Occidental volcanic province, Mexico. *GSA Bulletin*, 111 (3), 347-363.

Ojeda Macedo H. A. (2017). *Estratigrafía y estructuras cenozoicas del área Huajicori-Mineral de Cucharas, límite Nayarit-Sinaloa*. Tesis de Licenciatura no publicada, Universidad Autónoma de Guerrero, Taxco del Viejo, Guerrero, México.

Para todo México, (2018), *Sierra Madre Occidental Provincia Fisiográfica*. Recuperado de: <https://www.paratodomexico.com/geografia-de-mexico/relieve-de-mexico/provincia-sierra-madre-occidental.html>

Ranson, W.A., Fernández, L.A., Simmons, Jr., Wm. B. y Enciso de la Vega, S. (1982). Petrology of the metamorphic rocks of Zacatecas, Zac., Mexico. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Tomo XLIII (1)*, 37-59.

Rodríguez-Castañeda, J.L. y Rodríguez-Torres, R. (1992). Geología estructural y estratigrafía del área entre Guadalajara y Tepic, estados de Jalisco y Nayarit, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 10 (2), 99-110.

Rossetti, A., Ferrari, L., López-Martínez, M. y Rosas-Elguera J. (2002). Geology of the boundary between the Sierra Madre Occidental and the Trans-Mexican Volcanic

Belt in the Guadalajara región, western Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 19 (1), 1-15.

Secretaría de Programación y Presupuesto. Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática. (1981). Síntesis Geográfica de Zacatecas, 1-18.

Severinghaus, J. y Atwater, T. (1990). Cenozoic geometry and thermal state of the subducting slabs beneath western North America. *The Geological Society of America, Memoir*, 176, 1-22.

Siégl, C., Schrank, C. E., Bryan, S. E., Beardsmore, G. R. y Purdy, D. J. (2014). Heat-producing model re-evaluation of the geothermal potential in southwestern Queensland, Australia. *Geothermics*, 51, 182-200.

Scheubel, F.R., Clark, K.F. y Porter, E.W. (1988). Geology, tectonic environment, and structural controls in the San Martín de Bolaños district, Jalisco, Mexico. *Economic Geology*, 83, 1703-1720.

Scholz, C., Barazangi M. y Sbar, M.L. (1971). Late Cenozoic evolution of the Great Basin, western United States, as an ensialic interarc basin. *Geological Society of America Bulletin*, 82, 2979-2990.

Sonder, L.J. y Jones, C., H. (1999). Western United States Extension: How to west was widened. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 27, 417-462.

Webber, C. L., Fernández, L.A. y Simmons, Wm.B. (1994). Geochemistry and mineralogy of the Eocene-Oligocene volcanic sequence, Southern Sierra Madre Occidental, Juchipila, Zacatecas, México. *Geofísica Internacional*, 33 (1), 77-89.

Wernicke, B. P., Christiansen, R. L., England, P.C. y Sonder, L.J. (1987). Tectonomagmatic evolution of Cenozoic extension in the North American Cordillera. *Geological Society, Special Publication* (28), 203-221.

Anexos

Apéndices

Apéndice 1- Tabla de puntos y datos obtenidos del transecto centro-norte Jalpa, Zacatecas.

PUNTO	COORDENADAS (GEOGRÁFICAS)	MUESTRA	UNIDAD LITOLÓGICA	DESCRIPCIÓN
1	21°39'57.59"N 103° 9'25.21"O 2,544m	JAT-01	Toba Lítica	Afloramiento de toba que presenta líticos subredondeados, fragmentos de andesita y se encuentra alterada por argilización. Se encuentra cercana a la fuente que la generó.
2	21°39'54.00"N 103° 9'21.60"O		Toba Lítica	Mismo afloramiento de toba como el punto pasado.
3	21°39'50.39"N 103° 9'18.03"O	JAT- 02	Cenizas	Depósitos piroclásticos poco soldados de tonalidades claros. Se encuentran debajo de riolita.
4	21°39'43.20"N 103° 9'21.60"O	JAT-03	Cenizas -Arenas	Depósito piroclástico o volcanoclástico poco soldado de color blanco y debajo de ella otro de color rojo.
5	21°39'36.00"N 103° 9'21.60"O	JAT-04	Arenas	Arenas de color rojo de grano fino algunas con fragmentos de pómez de 1 mm.
6	21°39'35.98"N 103° 9'14.43"O	JAT-05	Ignimbrita	Ignimbrita con fragmentos de andesita, cuarzo, feldespato y pómez, de color rosa claro medianamente soldada.
7	21°39'39.60"N 103° 9'10.80"O	JAT-06 JAT-07	Volcano- clásticos o arenas	Depósito de volcanoclásticos o arenas con rojas con pómez amarillas a blancas de 1 a 2 mm. EL primer depósitos se encuentra muy saldada y con pseudo estratificación. El segundo poco soldado.
8	21°39'18.00"N 103° 9'7.20"O		Ignimbrita	Afloramiento de ignimbrita 2 m, con alto soldamiento de color rosa y presenta planos de estratificación.
9	21°39'7.18"N 103° 9'3.63"O	JAT-08	Arenas - Conglomerado	Afloramiento de 6m arenas y conglomerado fino y grueso con clastos de andesita aproximadamente de 8 a 9 cm.
10	21°39'18.00"N 103° 8'56.40"O		Arenas -Conglomerado	Se presenta el mismo afloramiento que el pasado. Se registraron planos de estratificación de N30W/ 5 a 10.
11	21°39'25.20"N 103° 8'49.20"O	JAT-09	Conglomerado	Depósito de 5m presentando arenas y conglomerado,
12	21°39'43.20"N 103° 8'24.00"O		Conglomerado	Depósito con planos de estratificación N55W/10 y N80W/7.
13	21°40'4.17"N 103° 8'26.24"O	JAT-10	Ignimbrita	Ignimbrita de color rosa oscuro, presentando oquedades rellenas de cuarzo, con alto soldamiento.
14	21°40'2.52"N 103° 8'21.97"O		Conglomerado	Conglomerado y arenas parecidos a afloramientos pasados.
15	21°39'55.70"N 103° 8'11.18"O	JAT-11	Arenas -Conglomerado	Depósito de arenas de color vino con estratos de pómez de 5 cm amarillas de 1 a 2 mm y poco saldada.

16	21°39'53.99"N 103° 7'44.42"O	JAT-12	Ignimbrita	Afloramiento de 6m de ignimbrita de color rosa claro con pómez que se encuentra sobrepuesta del depósito anterior.
17	21°39'59.99"N 103° 7'43.03"O	JAT-13	Arenas	Aflora 10 m de arenas o conglomerado.
18	21°40'4.80"N 103° 7'22.80"O		Arenas	Depósito de arenas con planos de estratificación N70E/10, N20E/15 y N50E/10.
19	21°40'4.10"N 103° 7'21.12"O	JAT-14	Ignimbrita	Depósito de 3m de ignimbrita rosa alterada, compuesta por esferulitas y rellena de cuarzo y calcita en oquedades. Presenta fenocristales y feldespatos. Se encuentran suprayaciendo a arenas.
20	21°39'37.30"N 103° 7'16.78"O	JAT-15	Ignimbrita	Afloramiento de ignimbrita morada clara basculada compuesta por fiames, oquedades rellenas de calcita y presenta alteración. Se tomó como dato estructural una vetilla de calcita N85E/75.
21	21°39'34.11"N 103° 7'10.95"O	JAT-16 JAT-17	Conglomerado -Ceniza	Afloramiento de 20- 25m de arenas y cenizas. Arenas rojas se muestran alteradas y sin soldamiento. Arriba de ellas cenizas de color blanco poco soldada.
22	21°39'21.60"N 103° 7'11.36"O	JAT-18	Ignimbrita	Depósito de ignimbrita de color rosa, con pómez y pocos líticos. Se encuentra encima de JAT-17.
23	21°39'21.60"N 103° 7'4.80"O	JAT-19 JAT-20	Ceniza- Arenas	Afloramiento de arenas rojas y ceniza blanca, poco soldada.
24	21°39'34.05"N 103° 6'45.00"O		Arenas - Conglomerado	Afloramiento de 6m de arenas y conglomerado rojos con estratificación horizontal y paralela.
25	21°39'32.40"N 103° 6'43.20"O		Arenas	Depósito de arenas, zona de fallamiento se obtuvieron los siguientes datos estructurales: N70E/82, N60E/70.
26	21°39'35.23"N 103° 6'30.52"O	JAT-21	Ignimbrita	Afloramiento de 12m de ignimbrita de color rosa claro, con líticos de 1 cm rica en pómez, medianamente soldada.
27	21°39'34.47"N 103° 6'16.75"O	JAT-22	Ignimbrita - Arenas	Afloramiento de arenas rojas y se tiene un cambio de litología hacia el este se tiene un afloramiento de ignimbrita de color morado claro, presenta líticos, fiames y pómez, medianamente soldada.
28	21°39'24.64"N 103° 6'19.03"O		Toba Lítica	Afloramiento de 12 a 14m de toba, color blanco con pómez y líticos.
29	21°39'7.63"N 103° 5'56.52"O	JAT-23	Basalto	Afloramiento de basalto color negro con matriz muy fina.
30	21°38'58.81"N 103° 5'54.86"O	JAT-24 JAT-25	Ignimbritas	Depósito de ignimbritas rosa con fiames y soldada encima de ella se encuentra una de color morado claro, soldada con líticos de diferentes tamaños, fiames y pómez.
31	21°38'53.69"N 103° 5'55.49"O	JAT-26 (a,b,c,d)	Ignimbritas	Depósitos de 3m de 4 tipos de ignimbritas o eventos piroclásticos soldadas con líticos, fenocristales, pómez.
32	21°38'47.49"N 103° 6'1.18"O	Sigue JAT 26	Ignimbritas	Mismo afloramiento que el pasado con planos de estratificación de N60E/18, N55E/15 y N50E/14.
33	21°38'31.20"N 103° 6'7.20"O	Sigue JAT 26	Ignimbritas	Mismo afloramiento que el punto pasado de 3m.
34	21°38'27.60"N 103° 6'3.60"O		Ignimbritas	Aflora secuencia de ignimbritas o flujos piroclásticos pasados cada uno de ellos de 1 a 2m de altura.
35	21°38'16.80"N 103° 5'60.00"O	JAT- 27 (a y b)	Ignimbritas	Depósito de flujos piroclásticos de 2 a 3m donde JAT-27 (a) se encuentra encima de JAT-27 (b) donde es una ignimbrita poco soldada con oquedades rellenas de cuarzo.
36	21°38'6.00"N 103° 5'52.80"O	JAT- 28 (a y b)	Depósitos piroclásticos	Afloramiento de 3m depósitos piroclásticos de color beig y otro de color rojo, soldadas.
37	21°38'2.40"N 103° 5'34.80"O	JAT-29 JAT-30	Basalto	Afloramiento de 5 a 6m de basalto.

38	21°37'28.33"N 103° 5'6.54"O	JAT-31	Ignimbrita	Afloramiento de .5m de ignimbrita rosa con fiames, pómez de 1mm y líticos con planos de estratificación de N30E/15.
39	21°37'7.11"N 103° 5'12.68"O	Sigue JAT 26	Ignimbritas	Mismo afloramiento que el de las muestras JAT-26.
40	21°36'59.50"N 103° 5'0.23"O		Toba lítica	Afloramiento de 12 a 14 m de toba lítica blanca con pómez moradas y líticos.
41	21°36'53.65"N 103° 4'39.76"O		Toba lítica	Falla de N45E/82 en depósito de Toba lítica.
42	21°36'48.77"N 103° 4'43.02"O		Toba lítica	Falla N-S/80 con pseudo estratificación S25W/65 del pasado afloramiento
43	21°36'37.88"N 103° 4'37.59"O		Basalto	Afloramiento de basalto en zona de brecha.
44	21°36'51.33"N 103° 4'28.25"O	JAT-32	Depósitos vulcano-sedimentarios	Secuencia de 20m de depósitos volcanosedimentarios retrabajos, en unos predominaban pómez alteradas de color amarillo y verde, se presentan de manera horizontal.
45	21°36'55.27"N 103° 4'25.98"O	JAT-33 (a y b)	Depósitos vulcano-sedimentarios	Afloramiento de 15m de depósitos vulcano-sedimentarios de color morado con planos de estratificación N-S/10.
46	21°37'8.31"N 103° 4'25.27"O	JAT-34	Arenisca	Afloramiento de arenisca de 12m de color café claro, presenta pómez amarillas, planos de estratificación N-S/15.
47	21°37'12.00"N 103° 4'8.40"O	JAT 35 (a,b,c,d,e)	Depósitos Piroclásticos rotados	Depósito de 5 diques piroclásticos, presenta colores rosa claro con pómez y líticos, lila medianamente soldada, rosa oscuro con fiames, rosa claro con líticos de 6cm y fiames, algunas presentan pseudo-estratificación de 340/70.
48	21°37'22.80"N 103° 3'46.80"O		Basalto	Afloramiento de basalto alterado con propilitización.
49	21°37'19.20"N 103° 3'46.80"O	JAT-36	Toba o ceniza	Depósito piroclástico de ceniza o toba poco consolidada de color blanca.
50	21°37'26.23"N 103° 3'48.18"O	JAT-37	Basalto	Depósito de basalto
51	21°37'33.79"N 103° 3'56.08"O	JAT-38	Ignimbrita	Afloramiento de ignimbritas de coloraciones rosadas y lilas con alto contenido en líticos y pómez de 2 cm, medianamente consolidadas, presenta fenocristales de cuarzo, feldespatos y plagioclasas.
52	21°37'33.09"N 103° 4'0.53"O		Relleno	Afloramiento de relleno.
53	21°37'38.74"N 103° 3'59.17"O	JAT-39	Basalto	Afloramiento de basalto en el suelo
54	21°37'37.20"N 103° 3'21.60"O		Aluvial	Afloramiento de 12 a 15m de relleno aluvial.
55	21°39'57.38"N 103° 2'1.33"O		Conglomerado Reciente	Gravas, conglomerado, arenas y arcillas del Mioceno.
56	21°41'59.28"N 103° 3'50.90"O		Arenas Rojas	Arenas rojas de grano fino inclinadas 30° hacia el norte.
57	21°42'13.55"N 103° 4'9.42"O		Arenas Rojas	Arenas rojas con misma tendencia de inclinación y alteradas como el punto pasado.
58	21°42'28.88"N 103° 4'22.41"O		Ignimbrita	Depósito de ignimbrita alterada con pómez de distintos tamaños con líticos de colores claros y una matriz clara.
59	21°42'36.23"N 103° 4'30.80"O		Ignimbrita	Afloramiento de 25m de ignimbrita con líticos menos soldada que la anterior y su matriz de color beige.
60	21°42'26.53"N 103° 4'44.29"O	JAT-61	Arenas	Afloramiento de arenas rojas con matriz afanítica con fenocristales.
61	21°42'26.70"N		Arenas	Arenas iguales al punto anterior con pómez.

	103° 4'58.65"O			
62	21°42'54.55"N 102°59'38.96"O		Lacustres	Afloramiento de lacustres.
63	21°43'34.83"N 103° 1'48.81"O	JAT-62	Toba	Afloramiento de 1m toba color blanco con líticos, pómez de color gris y amarillos de hasta 10 cm, con matriz cenicienta poco consolidada.
64	21°44'1.35"N 103° 2'10.37"O	JAT-63	Basalto	Afloramiento de basalto sobre el suelo negro, algo intemperizado, oquedados rellenos de cuarzo posteriores a la formación del basalto.
65	21°37'7.30"N 102°58'12.00"O	JAT-40	Andesita	Afloramiento de 2.5m de andesita con alto contenido de plagioclasas deformadas por alteración.
66	21°36'28.84"N 102°58'11.05"O		Brecha de andesita	Afloramiento de andesita, donde solo en la parte alta se puede observar brecha andesítica.
67	21°36'8.84"N 102°58'11.05"O	JAT-40B	Andesita	Andesita con menor alteración, contiene plagioclasas de tamaños relativamente pequeños y posibles piroxenos.
68	21°36'1.72"N 102°57'54.63"O	JAT- 41 JAT- 41B	Andesita	Afloramiento de depósito andesítico de color verde muy alterada por propilitización. Planos de estratificación de N55/10
69	21°35'59.43"N 102°57'37.18"O		Andesita	Andesita alterada por oxidación y argilización. Se tiene una medida de falla 145/55W.
70	21°35'47.62"N 102°57'23.82"O	JAT-42	Andesita	Afloramiento de andesita alterada por propilitización.
71	21°35'22.20"N 102°57'10.48"O		Andesita	Misma andesita del afloramiento pasado que presenta planos de falla 340/40NE, pitch 40.
72	21°35'1.61"N 102°56'56.38"O		Andesita	Afloramiento de 15 a 20m de andesita se tomaron medidas de falla 250/60SE, 235/70NW y 280/55N.
73	21°34'56.35"N 102°56'54.75"O	JAT-43	Andesita	Misma andesita al afloramiento pasado, se presenta porosa, estratificada con líticos, fenocristales oxidados y plagioclasas alteradas, Planos de estratificación 95/30SE.
74	21°34'56.69"N 102°56'53.25"O		Andesita	Misma andesita oxidada y alterada.
75	21°34'52.23"N 102°56'41.91"O	JAT-44	Ignimbrita	Afloramiento de ignimbrita rosa a lila con pómez, líticos, fenocristales, oquedades y fiames rellenos de cuarzo y algunos feldespatos alterados.
76	21°34'51.69"N 102°56'37.54"O	JAT-45	Ignimbrita	Ignimbritas alteradas de color crema la parte de abajo del afloramiento es una caída de ceniza, se encuentra poco soldada y la que se encuentra encima de ésta tiene un tono más claro con líticos y pómez amarillas, medianamente soldada.
77	21°34'51.17"N 102°56'35.08"O	JAT-46	Vitrófico	Afloramiento en suelo de vitrófico negro con clastos y vetillas.
78	21°34'35.09"N 102°56'33.61"O	JAT-47	Ignimbrita	Depósito de ignimbrita soldada con fenocristales (cuarzo, feldespatos) y líticos.
79	21°35'30.09"N 102°55'32.97"O	Sigue JAT-47	Ignimbrita	Afloramiento de ignimbrita azul claro con pómez blancos y fenocristales.
80	21°36'40.86"N 102°55'8.42"O		Andesita	Afloramiento de andesita igual a muestra JAT-40 o 40B.
81	21°36'42.81"N 102°55'2.26"O	JAT-48	Arenas	Depósito de arenas que se encuentra debajo de andesita. Presenta planos de estratificación N75/25E.
82	21°36'56.67"N 102°55'15.08"O	JAT-48B	Arenas	Afloramiento de arenas jóvenes con planos de estratificación de 335/20.
83	21°37'29.05"N 102°55'35.76"O		Arenas Blancas	Depósito de arenas blancas o color crema con planos de estratificación N-S/15E,
84	21°37'43.35"N		Andesita	Andesita alterada parecida a JAT-40.

	102°55'51.13"O			
85	Ubicarlo en la nota del Dr		Basalto	Afloramiento de basaltos probablemente contemporáneos a la formación del graben.
86	21°37'44.87"N 102°43'10.48"O	JAT-49	Riolita	Afloramiento de 20m de riolita con tonos grises a morados compuesta por cuarzos y feldespatos como sanidino.
87	21°37'21.65"N 102°43'9.10"O		Riolita	Afloramiento de riolita. Se cree que a lo largo del camino hay varios domos riolíticos.
88	21°36'7.48"N 102°43'21.84"O		Riolita	Afloramiento de riolita sobre el suelo con planos de foliación E-O/25S.
89	21°35'45.63"N 102°45'2.15"O		Riolita	Mismo afloramiento al punto anterior.
90	21°35'41.72"N 102°45'4.09"O	JAT-50	Basalto	Depósito de basalto negro vesiculado con fenocristales de plagioclasas y olivino alterados.
91	21°35'21.39"N 102°45'15.21"O		Basalto	Mismo afloramiento al pasado.
92	21°34'58.65"N 102°45'20.88"O	JAT-51	Toba	Depósito piroclástico o zona de brecha de toba silicificada de color crema, matriz cenicienta con líticos, clastos de riolita, pómez y fenocristales.
93	21°34'32.02"N 102°45'44.40"O	JAT-52	Toba	Depósito de toba o ceniza con pómez amarillas y algunos clastos retrabajados y anguales con fenocristales de cuarzo y feldespatos.
94	21°34'11.25"N 102°45'49.34"O		Basalto-Riolita	Contacto entre basalto y riolita.
95	21°33'57.49"N 102°46'8.32"O		Basalto	Afloramiento de basalto con planos de foliación de flujo E-O/25N.
96	21°33'28.06"N 102°47'1.04"O		Basalto	Afloramiento de basalto sobre el suelo.
97	21°35'59.97"N 102°48'52.01"O	JAT-53	Toba	Depósito de toba beig con matriz cenicienta, con pómez anaranjadas de 1 mm y líticos.
98	21°36'17.27"N 102°50'21.58"O	Sigue JAT-53	Toba	Mismo afloramiento al pasado.
99	21°36'24.60"N 102°50'53.24"O	JAT-54 (B - Ig y C-Basalto)	Secuencia Ignimbrita-Basalto-Toba-Basalto	Afloramiento de 8 m de una secuencia de ignimbrita (JAT-54) con tonalidades moradas, soldada, fenocristales (cuarzo y feldespatos), oquedades y fiames rellenas de cuarzo. Debajo de JAT-54 se observó basalto, debajo de él un depósito de ceniza y al final en la base otro basalto compuesto de olivino, feldespatos y plagioclasas.
100	21°36'18.77"N 102°51'5.01"O		Toba	Depósito de toba cenicienta de color crema.
101	21°36'22.87"N 102°51'19.90"O	JAT-55	Ignimbrita	Afloramiento de ignimbrita de 8 m, soldada con fenocristales (cuarzo y feldespatos), líticos, pómez alteradas. Rica en fenocristales y pobre en líticos.
102	21°36'21.98"N 102°51'21.30"O		Toba	Depósito de 30 cm caída de ceniza de color beig, poco soldada, rica en líticos y pómez de color blanco.
103	21°36'18.77"N 102°51'29.73"O	JAT-56	Ignimbrita	Afloramiento de ignimbrita soldada con líticos, pómez y fenocristales (cuarzo y feldespatos).
105	21°36'17.22"N 102°51'33.50"O		Basalto	Basalto alterado, no se distingue muy bien su contenido mineral. Pero se infiere que en su mayoría se tiene feldespatos, plagioclasas y olivino alterados.
106	21°36'18.25"N 102°51'52.82"O		Ignimbrita	Afloramiento de ignimbrita con pómez de colores blanco y amarillo parecida a JAT-56.
107	21°36'39.24"N 102°52'1.51"O	JAT-57	Basalto	Afloramiento de basalto alterado compuesto por plagioclasas y olivinos.
108	21°37'21.84"N		Toba	Depósito de toba cenicienta con pómez pequeñas y líticos.

	102°52'2.59"O			
109	21°37'31.79"N 102°52'5.19"O		Toba	Depósito de toba parecido al punto anterior.
110	21°37'54.61"N 102°52'2.98"O		Secuencia Ignimbrita- Basalto-Toba- Basalto	Misma secuencia de ignimbrita, basalto, ceniza y basalto. Presenta una falla normal de N155/85SW.
111	21°37'46.98"N 102°52'16.27"O	JAT-58	Secuencia Ignimbrita- Basalto-Toba- Basalto	Misma secuencia a la pasada, sólo que se tomó la muestra JAT-58 de una ignimbrita con líticos, pómez de color amarillo y fenocristales.
112	21°37'42.08"N 102°52'24.86"O	JAT-59 (A y B)	Ignimbrita- Toba	Ignimbrita parecida a JAT-56 poco soldada con fenocristales (cuarzo y feldespatos) pómez pequeñas de 1 a 2 cm blancas y líticos.
113	21°37'11.80"N 102°52'33.79"O		Basalto	Aflora basalto de menos de 2 m.
114	21°36'55.35"N 102°52'41.22"O		Toba	Afloramiento de toba cenicienta poco consolidada.
115	21°36'58.45"N 102°53'2.42"O		Basalto	Afloramiento de basalto.
116	21°37'27.16"N 102°53'2.87"O		Basalto	Aflora basalto en el suelo.
117	21°37'19.94"N 102°52'54.74"O		Toba	Depósito de toba cenicienta poco consolidada con pómez.
118	21°39'7.16"N 102°53'15.64"O		Arenas	Depósito de 10 m de gravas y arenas del Mioceno.
119	21°39'18.17"N 102°53'29.91"O		Toba	Depósito de toba cenicienta de altura de medio metro.
120	21°39'48.28"N 102°53'25.06"O		Toba	Afloramiento de toba cenicienta de color crema, igual al del punto pasado.
121	21°42'50.39"N 102°51'15.70"O		Sedimentos- Arenas	Aflora 2 m de sedimentos de color beige claro con líticos soportado y cementado de cuarzo.
122	21°41'57.57"N 102°50'46.70"O		Arenas	Depósito de 3 m de arenas y gravas rojas no consolidadas.
123	21°41'56.99"N 102°50'46.89"O		Ignimbrita	Afloramiento de 3 m de ignimbrita de color rosa soldada con fenocristales (cuarzo y feldespato), pómez amarillas y blancas.
124	21°41'8.43"N 102°50'15.26"O		Basalto	Afloramiento de basalto alterado con olivinos y plagioclasa.
125	21°40'55.24"N 102°50'20.95"O	JAT-67	Ignimbrita	Ignimbrita rica en líticos, pómez, fenocristales (cuarzo y feldespatos) para comparar con JAT 59B.
126	21°40'54.42"N 102°50'15.02"O		Toba	Afloramiento de 5 m de toba de color rosa oscuro.
127	21°40'11.63"N 102°50'9.64"O		Basalto	Aflora sobre el suelo basalto alterado compuesto de plagioclasa y olivino.
128	21°39'48.16"N 102°50'2.23"O		Basalto-Toba	Afloramiento de 2.5m de basalto alterado y entre el basalto se encuentran diques de toba de color crema con pómez, líticos de matriz cenicienta.
129	21°37'52.12"N 102°50'18.33"O	JAT-68 (A- B)	Ignimbrita	Afloramiento de 2 m de ignimbrita soldada, morada con líticos y pómez, de matriz cenicienta,
130	21°42'38.82"N 102°54'11.07"O		Toba Cenicienta	Afloramiento de toba cenicienta de color crema con pómez.
131	21°41'53.17"N 102°54'8.04"O	JAT-64	Toba Cenicienta	Afloramiento de 3 m de color crema con líticos, matriz cenicienta y consolidada.

132	21°43'28.19"N 102°55'22.23"O	JAT-65	Basalto	Afloramiento de basalto sobre suelo, con minerales alterados como plagioclasa y cuarzo.
133	21°43'10.58"N 102°55'38.91"O	JAT-66	Caliza-Travertino	Posible claiza, afloramiento sobre el suelo puede que se encuentre en contacto con basalto o debajo de él. De color beig claro, clastos de 2 cm de basalto.
134	21°42'58.18"N 102°55'50.67"O		Lacustres	Relleno de lacustres posteriores a basaltos.
135	21°42'52.34"N 102°55'56.77"O		Sedimentos	Relleno de sedimentos, arenas, arcillas y lacustres con planos de estratificación S40W/20NW.
136	21°42'57.15"N 102°56'4.50"O		Toba	Afloramiento de toba cenicienta.
137	21°39'16.83"N 102°57'22.97"O		Lacustres	Afloran 20 m de depósitos y se observa una falla normal que los corta con un rumbo 105/75
138	21°36'0.67"N 103° 3'1.22"O		Toba Lítica	Se encuentra afectada por una falla normal.

Apéndice 2- Formato de descripción petrográfica de las rocas analizadas en la parte centro-norte del Graben de Juchipila, Jalpa, Zacatecas.

PETROLOGÍA DEL TRANSECTO CENTRO-NORTE DEL GRABEN DE JUCHIPILA, ZACATECAS, SIERRA MADRE OCCIDENTAL.	
DATOS DE CAMPO	
LOCALIDAD:	JALPA, ZACATECAS
COORDENADAS:	NORTE: 21.662° ALTURA: 2,544m ESTE: -103.157°
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA	
MUESTRA:	JAT-01
COLOR:	Leucocrático
TEXTURA:	Porfídica-Fluidal
GRADO DE CRISTALINIDAD:	Hipocristalina
TAMAÑO RELATIVO DE LOS CRISTALES:	Inequigranular -Seriada
TAMAÑO ABSOLUTO DE GRANO:	Grano Medio
FORMA DE CRISTALES:	Alotriomorfos
MINERALOGÍA	
PRINCIPALES	ACCESORIOS
Cuarzo (Qz). Se presentan cristales anhedrales, subredondeados de color blanco con una alineación preferente vertical dentro de una matriz criptocristalina de cuarzo, flujo y fiammes. La presencia de fragmentos aplastados (fiammes Fm), flujo (dirección arriba-abajo o N-S) y la alineación de los cristales de cuarzo (A) forman una textura porfídica-fluidal.	Opacos (Op). Se muestran en pequeñas cantidades alrededor de cristales de cuarzo.
CLASIFICACIÓN	
TIPO DE ROCA:	Toba
EVIDENCIA FOTOGRÁFICA	
Con nícoles cruzados	Sin nícoles cruzados

PETROLOGÍA DEL TRANSECTO CENTRO-NORTE DEL GRABEN DE JUCHIPILA, ZACATECAS, SIERRA MADRE OCCIDENTAL.

DATOS DE CAMPO

LOCALIDAD:	JALPA, ZACATECAS
COORDENADAS:	NORTE: 21°39° ESTE: -103° 9'23°
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA	
MUESTRA:	JAT-04
CLASE:	Fragmental (clástica)
TAMAÑO DE GRANO:	Medio
EMPAQUE Y CONTACTOS INTERGRANULARES:	Contacto tangencial o de punto
REDONDEZ:	Angular a Subangular
ESFERICIDAD Y ORIENTACIÓN DE CLASTOS:	Baja esfericidad (0.59-0.4)
MADUREZ TEXTURAL:	Submadura-Moderadamente seleccionada
POROSIDAD:	10%

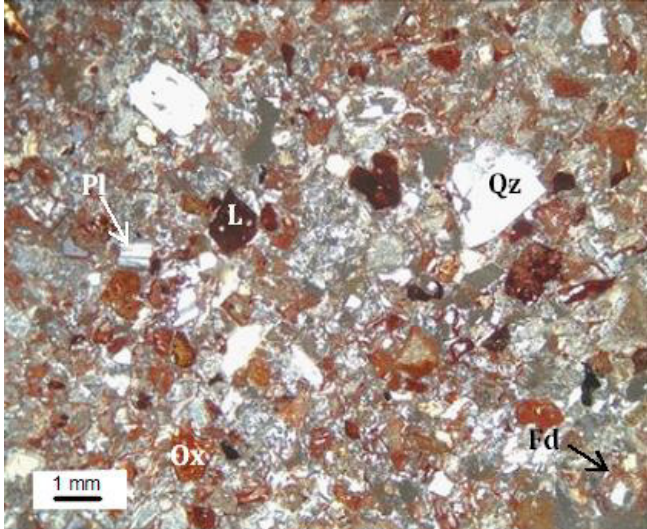
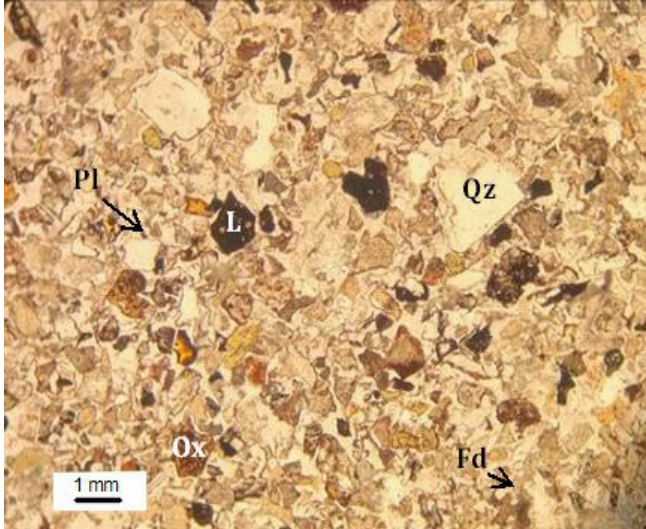
MINERALOGÍA:

PRINCIPALES	Accesorios
<p>Cuarzo (Qz). Se encuentran cristales subidiomorfos y alitroformos de color blanco, algunos presentan zoneamiento,</p> <p>Feldespatos (Fd). Se presenta de manera tabular y prismática de color blanco, con maclas simples.</p> <p>Plagioclasas (Pl). Se encuentran cristales de color blanco y gris claro, con forma tabular y subidiomorfa y maclado polisintético y Carlsbad. Se presentan en mayor abundancia.</p> <p>Líticos (L). Se presentan de maneras angulares y alteradas por la oxidación.</p>	<p>Óxidos (Op). Se presentan alrededor de los minerales principales alterándolos.</p>

CLASIFICACIÓN

TIPO DE ROCA	Arenas
--------------	--------

EVIDENCIA FOTOGRÁFICA

	
Con nícoles cruzados	Sin nícoles cruzados

PETROLOGÍA DEL TRANSECTO CENTRO-NORTE DEL GRABEN DE JUCHIPILA, ZACATECAS, SIERRA MADRE OCCIDENTAL.

DATOS DE CAMPO

LOCALIDAD:	JALPA, ZACATECAS
COORDENADAS:	NORTE: 21.638° ESTE: -103.100°

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

MUESTRA:	JAT-27A
COLOR:	Leucocrático
TEXTURA:	Porfídica
GRADO DE CRISTALINIDAD:	Hipocristalina
TAMAÑO RELATIVO DE LOS CRISTALES:	Inequigranular
TAMAÑO ABSOLUTO DE GRANO:	Grano medio
FORMA DE CRISTALES:	Subidiomorfos a Alotromiormos

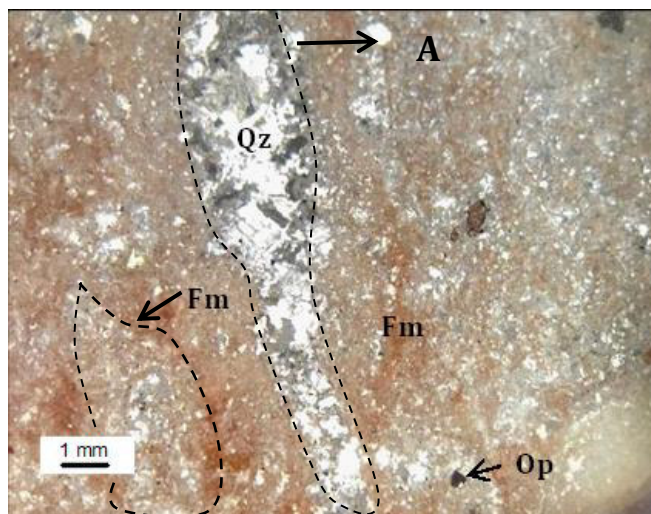
MINERALOGÍA

PRINCIPALES	ACCESORIOS
<p>Cuarzo (Qz). Se presentan microcristales de color blanco, subredondeados, alotriomorfos y subidiomorfos con una tendencia preferente vertical (A) posiblemente por la orientación de flujo (arriba-abajo o N-S), en una matriz criptocristalina de cristales de cuarzo y flujo. Los fiammes (Fm) se encuentran presentes formando estructuras de flama.</p>	<p>Opacos (Op). Se encuentran alrededor del cuarzo, de colores oscuros y de forma subredondeada a cuadrada,</p>

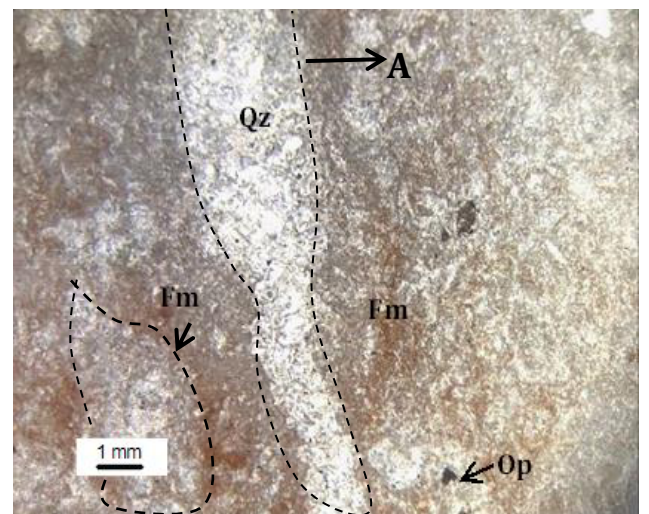
CLASIFICACIÓN

TIPO DE ROCA	Ignimbrita
--------------	------------

EVIDENCIA FOTOGRÁFICA



Con nicoles cruzados



Sin nicoles cruzados

PETROLOGÍA DEL TRANSECTO CENTRO-NORTE DEL GRABEN DE JUCHIPILA, ZACATECAS, SIERRA MADRE OCCIDENTAL.

DATOS DE CAMPO

LOCALIDAD:	JALPA, ZACATECAS
COORDENADAS:	NORTE: 21.638° ESTE: -103.100°

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

MUESTRA:	JAT-27B
COLOR:	Melanocrático
TEXTURA:	Vítrea
GRADO DE CRISTALINIDAD:	Perlítica
TAMAÑO RELATIVO DE LOS CRISTALES:	Inequigranular
TAMAÑO ABSOLUTO DE GRANO:	Grueso
FORMA DE CRISTALES:	Aliotroformos

MINERALOGÍA

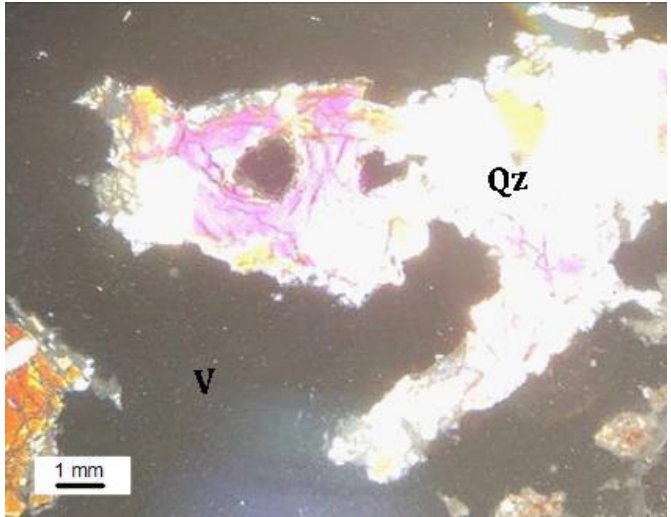
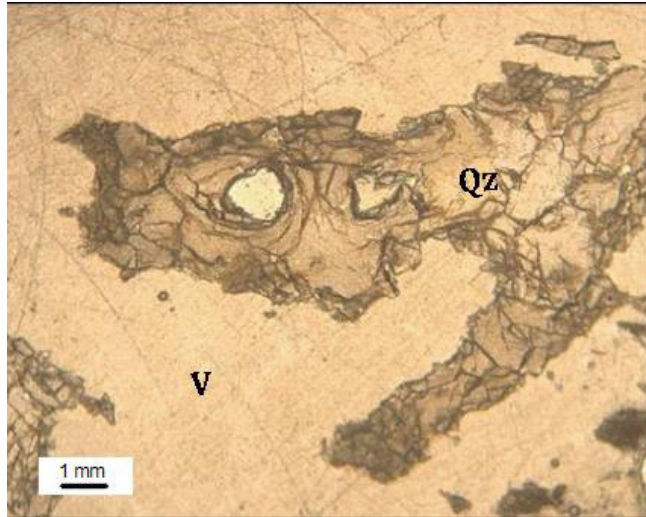
PRINCIPALES

Cuarzo (Qz). Se presentan fenocristales anhedrales fracturados y corroídos en una matriz vítrea (V). Estos fenocristales de cuarzo presentan distintos colores como blanco, rosa y naranja, éstos dos últimos colores se observan ya que, pueden tener alguna alteración o posiblemente sea por el mal tallado de la lámina.

CLASIFICACIÓN

TIPO DE ROCA	Ignimbrita
--------------	------------

EVIDENCIA FOTOGRÁFICA

	
Con nicoles cruzados	Sin nicoles cruzados

PETROLOGÍA DEL TRANSECTO CENTRO-NORTE DEL GRABEN DE JUCHIPILA, ZACATECAS, SIERRA MADRE OCCIDENTAL.

DATOS DE CAMPO

LOCALIDAD:	JALPA, ZACATECAS
COORDENADAS:	NORTE: 21.634° ESTE: -103.093°

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

MUESTRA:	JAT-30
COLOR:	Mesocrático
TEXTURA:	Porfídica-Seriada
GRADO DE CRISTALINIDAD:	Microcristalina
TAMAÑO RELATIVO DE LOS CRISTALES:	Equigranular-Félsica
TAMAÑO ABSOLUTO DE GRANO:	Criptocristalina
FORMA DE CRISTALES:	Ideomorfos-Subidiomorfos

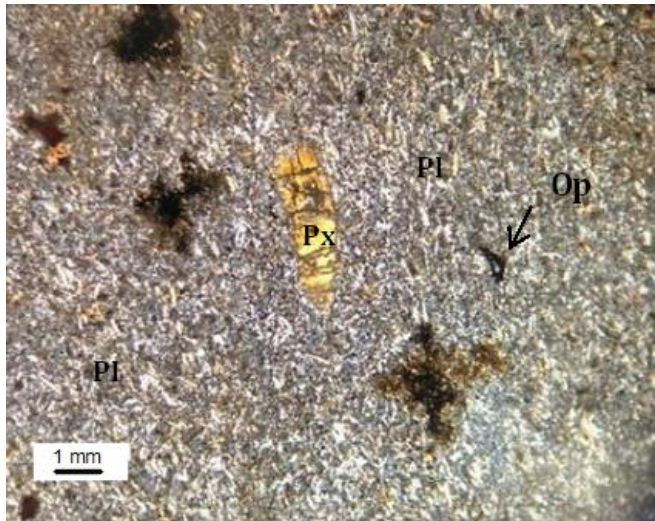
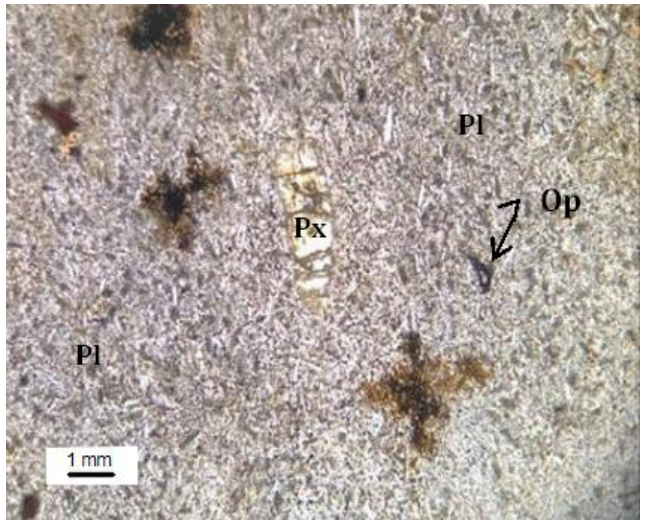
MINERALOGÍA

PRINCIPALES	ACCESORIOS
<p>Plagioclasa (Pl). Se presentan microcristales con hábito tabular, alargados, ideomorfos y subidiomorfos. Cuentan con un ángulo de extinción de 30° a 45° y los cristales de plagioclasa conforman la matriz de la roca.</p> <p>Piroxenos (Px). Se encuentran fenocristales subidiomorfos con birrefringencia de color amarillo, presentan algunos planos de exfoliación y su ángulo de extinción es de 45° a 50°. Estos cristales de piroxenos se encuentran dentro de una mesostasis de microcristales de plagioclasas.</p>	<p>Opacos (Op). Se encuentran en menor proporción, de color negro, dispersos y de forma cuadrangular y oval.</p>

CLASIFICACIÓN

TIPO DE ROCA	Basalto
--------------	---------

EVIDENCIA FOTOGRÁFICA

	
Con nicoles cruzados	Sin nicoles cruzados

PETROLOGÍA DEL TRANSECTO CENTRO-NORTE DEL GRABEN DE JUCHIPILA, ZACATECAS, SIERRA MADRE OCCIDENTAL.

DATOS DE CAMPO

LOCALIDAD:	JALPA, ZACATECAS
COORDENADAS:	NORTE: 21.618° ESTE: -103.073°
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA	
MUESTRA:	JAT-33A
CLASE:	Fragmental (clástica)
TAMAÑO DE GRANO:	Medio a Grueso
EMPAQUE Y CONTACTOS INTERGRANULARES:	Contacto Suturado
REDONDEZ:	Muy angular
ESFERICIDAD Y ORIENTACIÓN DE CLASTOS:	Baja esfericidad (0.59-0.4)
MADUREZ TEXTURAL:	Submadura-Pobrememente seleccionada
POROSIDAD:	5%

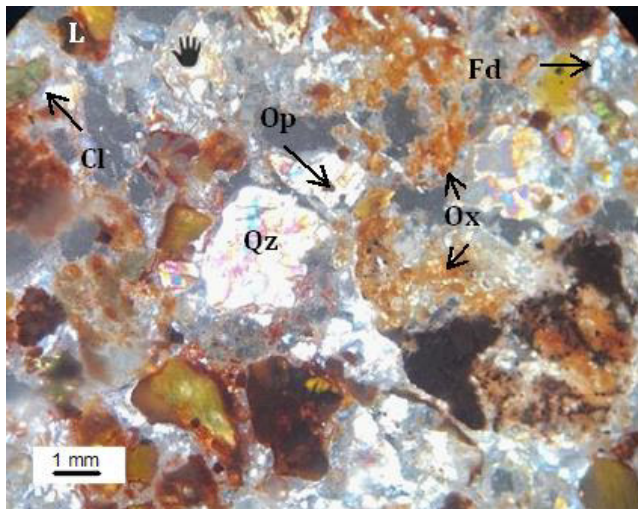
MINERALOGÍA:

PRINCIPALES	ACCESORIOS	SECUNDARIOS
<p>Cuarzo (Qz). Se presentan cristales subidiomorfos de color blanco con zoneamiento y son los más abundantes.</p> <p>Feldespatos (Fd). Se encuentran cristales de color gris oscuro, alotriomorfos y presentando maclas simples.</p> <p>Líticos (L). Se presentan de manera subredondeada y angular y se encuentran alterados por óxidos y clorita.</p>	<p>Opacos (Op). Se presentan de color negro, de forma cuadrangular y oval.</p> <p>Óxidos (Ox). Se encuentran alterando cristales de cuarzo y líticos.</p>	<p>Clorita (Cl). Se presenta alterando líticos y cristales de cuarzo.</p>

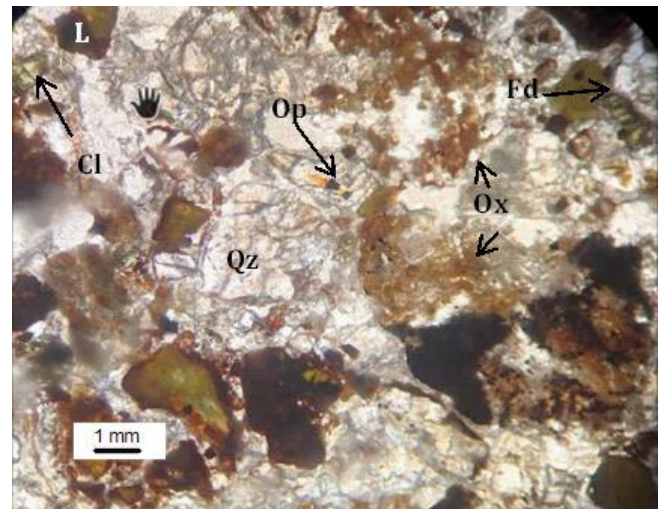
CLASIFICACIÓN

TIPO DE ROCA	Arenas
--------------	--------

EVIDENCIA FOTOGRÁFICA



Con nicoles cruzados



Sin nicoles cruzados

PETROLOGÍA DEL TRANSECTO CENTRO-NORTE DEL GRABEN DE JUCHIPILA, ZACATECAS, SIERRA MADRE OCCIDENTAL.

DATOS DE CAMPO

LOCALIDAD:	JALPA, ZACATECAS
COORDENADAS:	NORTE: 21.618° ESTE: -103.073°
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA	
MUESTRA:	JAT-33B
COLOR:	Mesocrático
TEXTURA:	Vítrea
GRADO DE CRISTALINIDAD:	Microcristalina
TAMAÑO RELATIVO DE LOS CRISTALES:	Inequigranular
TAMAÑO ABSOLUTO DE GRANO:	Grano fino
FORMA DE CRISTALES:	Subidiomorfos – Alotriomorfos

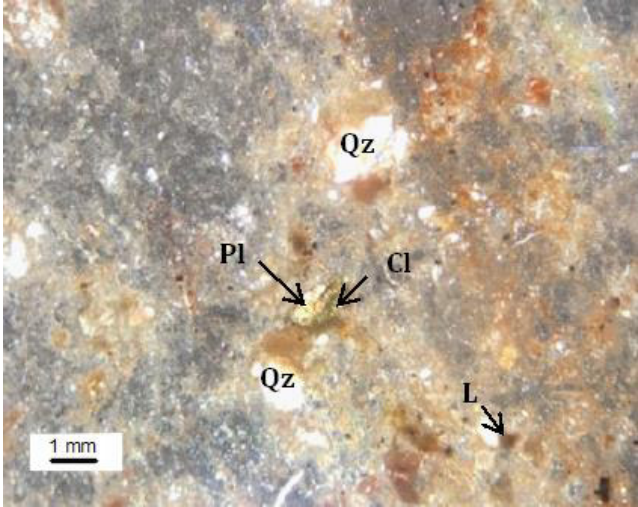
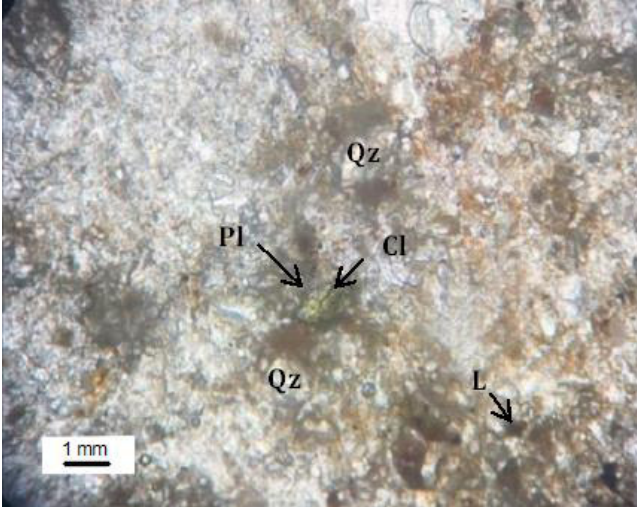
MINERALOGÍA

PRINCIPALES	SECUNDARIOS
<p>Cuarzo (Qz). Se presentan cristales subidiomorfos y alotriomorfos de distintos tamaños principalmente subredondeados dentro de una matriz vítrea.</p> <p>Plagioclasa (Pl). Se encuentran cristales con maclas simples angulares, subidiomorfos y alterados por clorita.</p> <p>Líticos (L). Se presentan de manera angular y subredondeados.</p>	<p>Clorita (Cl). Se encuentra alterando cristales de plagioclasa.</p>

CLASIFICACIÓN

TIPO DE ROCA	Toba
--------------	------

EVIDENCIA FOTOGRÁFICA

	
Con nícoles cruzados	Sin nícoles cruzados

PETROLOGÍA DEL TRANSECTO CENTRO-NORTE DEL GRABEN DE JUCHIPILA, ZACATECAS, SIERRA MADRE OCCIDENTAL.

DATOS DE CAMPO

LOCALIDAD:	JALPA, ZACATECAS	
COORDENADAS:	NORTE: 21.600° ESTE: -102.965°	ALTURA: 1458m

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

MUESTRA:	JAT-41
COLOR:	Mesocrático
TEXTURA:	Porfídica
GRADO DE CRISTALINIDAD:	Holocristalina
TAMAÑO RELATIVO DE LOS CRISTALES:	Porfídica
TAMAÑO ABSOLUTO DE GRANO:	Medio
FORMA DE CRISTALES:	Aliotroformos y subidiomorfos

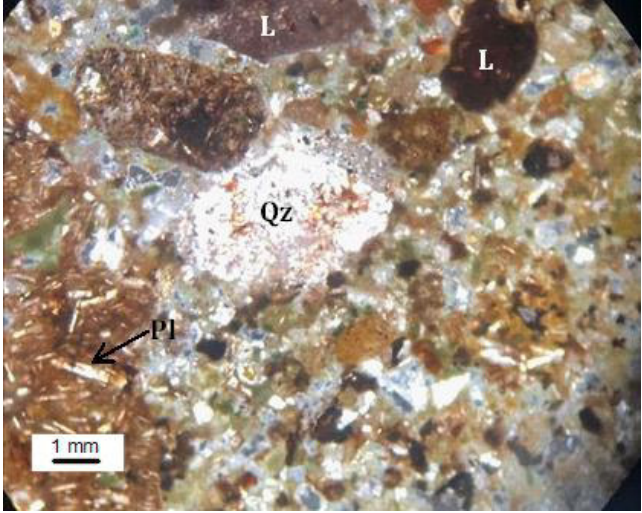
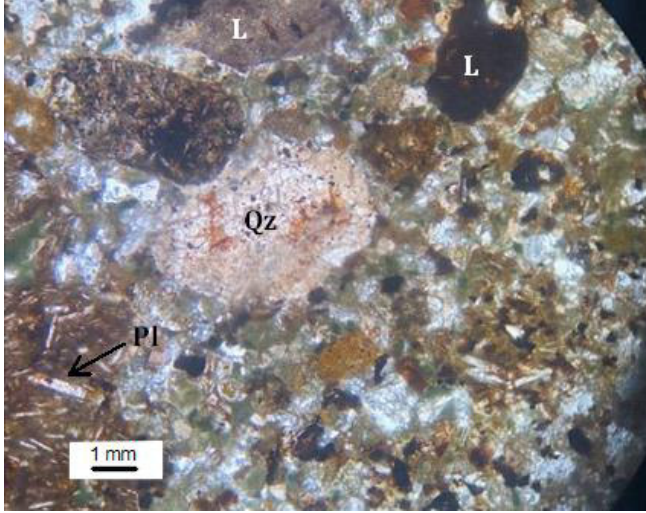
MINERALOGÍA

PRINCIPALES	ACCESORIOS
<p>Plagioclasa (Pl). Se presentan cristales prismáticos y tabulares, con maclas simples y alterados por oxidación. Son los cristales más abundantes,</p> <p>Cuarzo (Qz). Se encuentran cristales subredondeados, aliotroformos y subidiomorfos alterados por oxidación.</p> <p>Líticos (L). Se presentan subredondeados y de colores oscuros. La matriz se compone principalmente de cristales de plagioclasa.</p>	<p>Opacos (Op). Se presentan de formas alargadas y subredondeadas, de colores oscuros y se encuentran alrededor de cristales de cuarzo y plagioclasa.</p> <p>Óxidos (Ox). Se encuentran alterando cristales de plagioclasa y cuarzo.</p>

CLASIFICACIÓN

TIPO DE ROCA	Brecha andesítica
--------------	-------------------

EVIDENCIA FOTOGRÁFICA

	
Con nícoles cruzados	Sin nícoles cruzados

PETROLOGÍA DEL TRANSECTO CENTRO-NORTE DEL GRABEN DE JUCHIPILA, ZACATECAS, SIERRA MADRE OCCIDENTAL.

DATOS DE CAMPO

LOCALIDAD:	JALPA, ZACATECAS
COORDENADAS:	NORTE: 21.596° ALTURA: 1582m ESTE: -102.956°

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

MUESTRA:	JAT-42
COLOR:	Leucocrático-Mesocrático
TEXTURA:	Porfídica
GRADO DE CRISTALINIDAD:	Holocristalina
TAMAÑO RELATIVO DE LOS CRISTALES:	Porfídica
TAMAÑO ABSOLUTO DE GRANO:	Medio a Criptocrystalina
FORMA DE CRISTALES:	Tabular, prismático, subidiomorfos y alotriomorfos

MINERALOGÍA

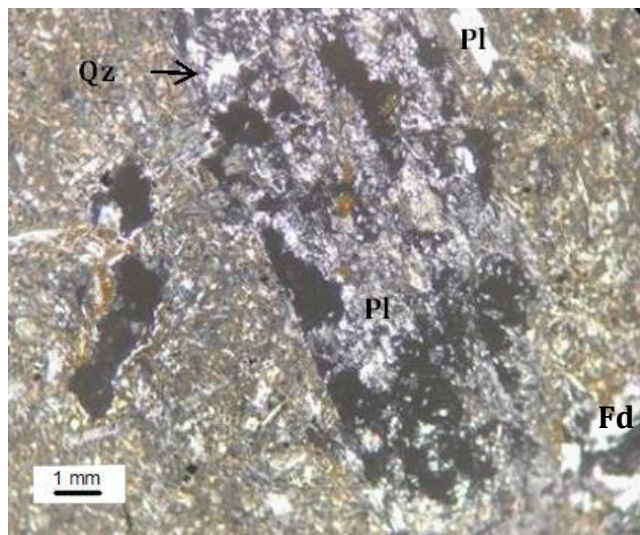
PRINCIPALES

Plagioclasa (Pl). Se presentan cristales tabulares y prismáticos, de diferentes tamaños, con maclado de Carlsbad. Los microcristales de plagioclasa conforman la matriz de la roca.
Cuarzo (Qz). Se presentan cristales con distintas formas como: alotriomorfos, subidiomorfos y primáticos. Presentan zoneamiento y algunos muestran una textura esferulítica.
Feldespatos (Fd). Se encuentran cristales alotriomorfos de color blanco, presentan maclas simples y se encuentran en menor proporción.

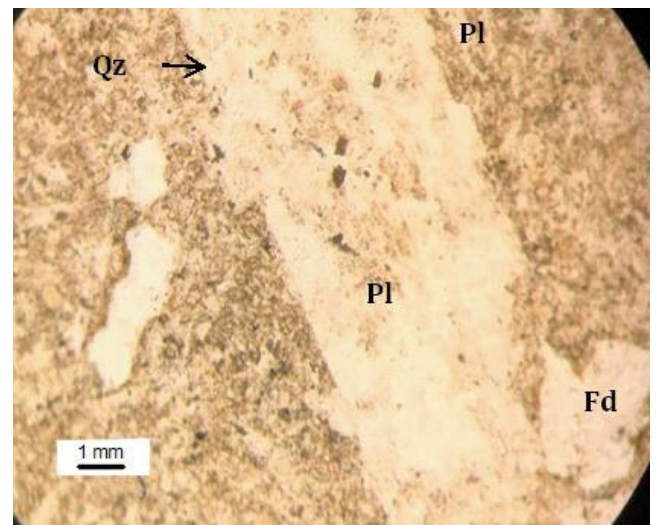
CLASIFICACIÓN

TIPO DE ROCA	Andesita
--------------	----------

EVIDENCIA FOTOGRÁFICA



Con nícoles cruzados



Sin nícoles cruzados

PETROLOGÍA DEL TRANSECTO CENTRO-NORTE DEL GRABEN DE JUCHIPILA, ZACATECAS, SIERRA MADRE OCCIDENTAL.

DATOS DE CAMPO

LOCALIDAD:	JALPA, ZACATECAS
COORDENADAS:	NORTE: 21.581° ALTURA: 1794m ESTE: -102.944°
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA	
MUESTRA:	JAT-44
COLOR:	Leucocrático-Mesocrático
TEXTURA:	Esferulítica
GRADO DE CRISTALINIDAD:	Holocristalina
TAMAÑO RELATIVO DE LOS CRISTALES:	Equigranular-Felsítica
TAMAÑO ABSOLUTO DE GRANO:	Grano Fino -Grueso
FORMA DE CRISTALES:	Idiomorfos, Subidiomorfo y Alotriomorfos

MINERALOGÍA

PRINCIPALES

Cuarzo (Qz). Se presenta microcristales alotriomorfos soldados entre sí, otros se identifican como cristales prismáticos e idiomorfos. Sólo se puede observar un fenocristal euhedral contenido en un lítico. Los microcristales de cuarzo, esferulitas (**Esf**) y espículas de vidrio (**Ev**) tricúspides conforma la matriz de la roca.

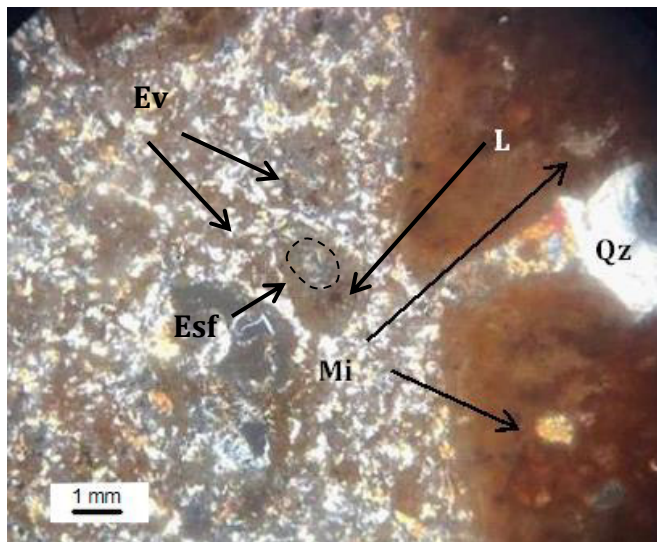
Micas (Mi). Se encuentran contenidas en líticos, tienen un color café anaranjado con forma tabular y maclas polisintéticas, por lo que se infiere que sea flogopita.

Líticos (L). Se presentan redondeados y con colores oscuros principalmente café y marrón.

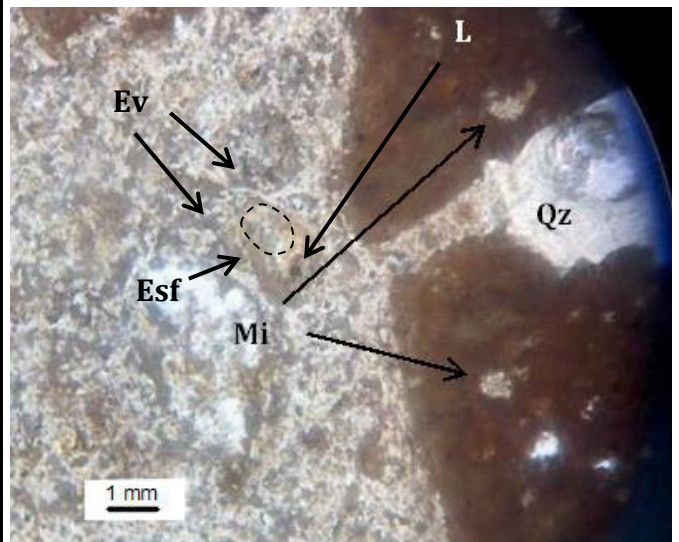
CLASIFICACIÓN

TIPO DE ROCA	Ignimbrita
--------------	------------

EVIDENCIA FOTOGRÁFICA



Con nícoles cruzados



Sin nícoles cruzados

PETROLOGÍA DEL TRANSECTO CENTRO-NORTE DEL GRABEN DE JUCHIPILA, ZACATECAS, SIERRA MADRE OCCIDENTAL.

DATOS DE CAMPO

LOCALIDAD:	JALPA, ZACATECAS	
COORDENADAS:	NORTE: 21.576°	ALTURA: 1802m
	ESTE: -102.942°	

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

MUESTRA:	JAT-47
COLOR:	Leucocrático
TEXTURA:	Porfídica-Fluidal
GRADO DE CRISTALINIDAD:	Perlítica
TAMAÑO RELATIVO DE LOS CRISTALES:	Inequigranular - Seriada
TAMAÑO ABSOLUTO DE GRANO:	Grano Medio- Grande
FORMA DE CRISTALES:	Idiomorfos y Subidiomorfos

MINERALOGÍA

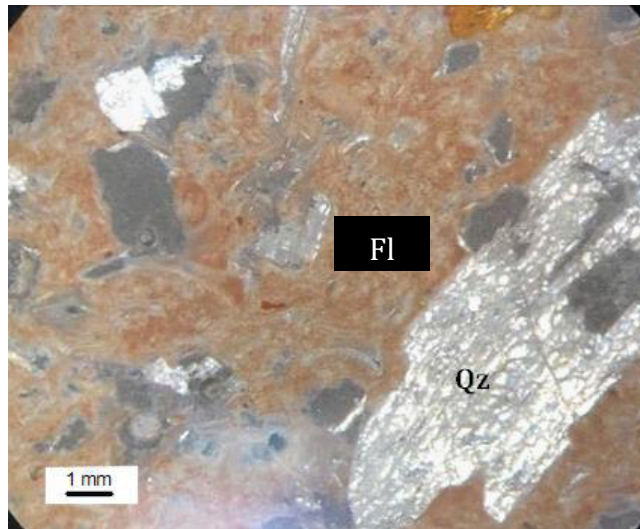
PRINCIPALES

Cuarzo (Qz). Se encuentran fenocristales prismáticos e idiomorfos de color blanco que presentan distintos tamaños, La matriz se conforma principalmente por flujo (FI) (orientación NE-SW) y fenocristales de cuarzo.

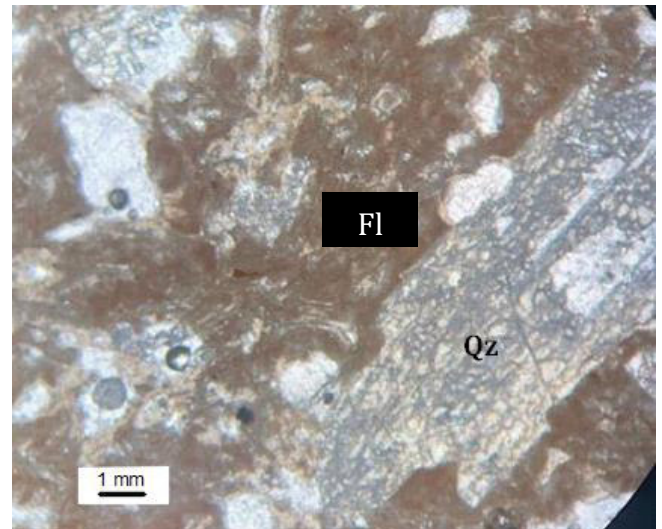
CLASIFICACIÓN

TIPO DE ROCA	Ignimbrita
--------------	------------

EVIDENCIA FOTOGRÁFICA



Con nícoles cruzados



Sin nícoles cruzados

PETROLOGÍA DEL TRANSECTO CENTRO-NORTE DEL GRABEN DE JUCHIPILA, ZACATECAS, SIERRA MADRE OCCIDENTAL.

DATOS DE CAMPO

LOCALIDAD:	TLACHICHILA, ZACATECAS
COORDENADAS:	NORTE: 21.575° ALTURA: 2050m ESTE: -102.762°
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA	
MUESTRA:	JAT-52
COLOR:	Mesocrático-Leucocrático
TEXTURA:	Porfídica
GRADO DE CRISTALINIDAD:	Hipocrystalina
TAMAÑO RELATIVO DE LOS CRISTALES:	Inequigranular
TAMAÑO ABSOLUTO DE GRANO:	Grano Medio
FORMA DE CRISTALES:	Subidiomorfos

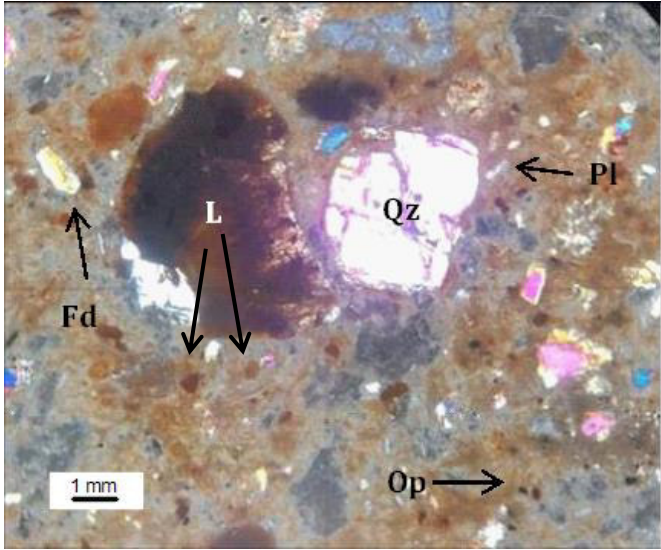
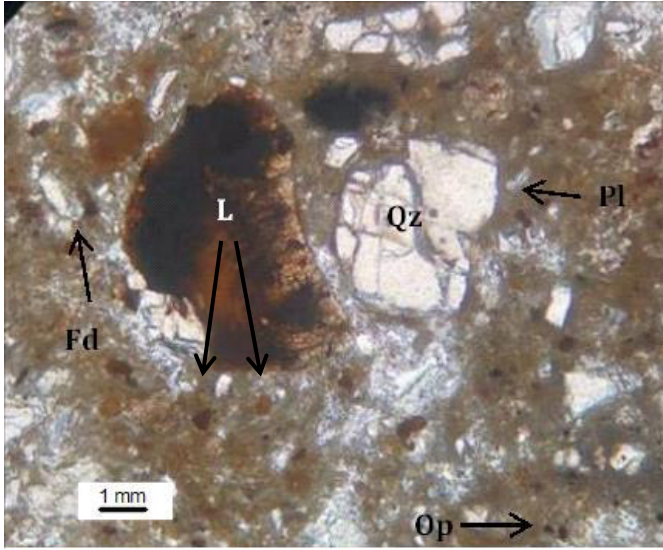
MINERALOGÍA

PRINCIPALES	ACCESORIOS
<p>Cuarzo (Qz). Se presentan fenocristales y microcristales de cuarzo prismáticos y subredondeados, algunos se encuentran alterados.</p> <p>Feldespatos (Fd). Se encuentran cristales subidiomorfos, angulares y tabulares alterados.</p> <p>Plagioclasas (Pl). Se presentan cristales tabulares y prismáticos, con macla simple y se encuentran en menor proporción casi a un 5% de la composición total de la roca.</p> <p>La matriz está compuesta por vidrio, cristales de plagioclasa, cuarzo y feldespatos.</p>	<p>Opacos (Op). Se pueden observar alrededor o al interior de los cristales de cuarzo. Se presentan de manera subredondeados y de colores oscuros.</p> <p>Líticos (L). Se presentan en colores oscuros con formas subredondeadas.</p>

CLASIFICACIÓN

TIPO DE ROCA	Toba
--------------	------

EVIDENCIA FOTOGRÁFICA

	
Con nícoles cruzados	Sin nícoles cruzados

PETROLOGÍA DEL TRANSECTO CENTRO-NORTE DEL GRABEN DE JUCHIPILA, ZACATECAS, SIERRA MADRE OCCIDENTAL.

DATOS DE CAMPO

LOCALIDAD:	LAS PRESITAS, ZACATECAS
COORDENADAS:	NORTE: 21.599° ALTURA: 2425m ESTE: -102.814°

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

MUESTRA:	JAT-53
COLOR:	Leucocrático
TEXTURA:	Vítrea
GRADO DE CRISTALINIDAD:	Hipocrystalina
TAMAÑO RELATIVO DE LOS CRISTALES:	Inequigranular
TAMAÑO ABSOLUTO DE GRANO:	Grano fino
FORMA DE CRISTALES:	Subidiomorfos a Aliotromorfos

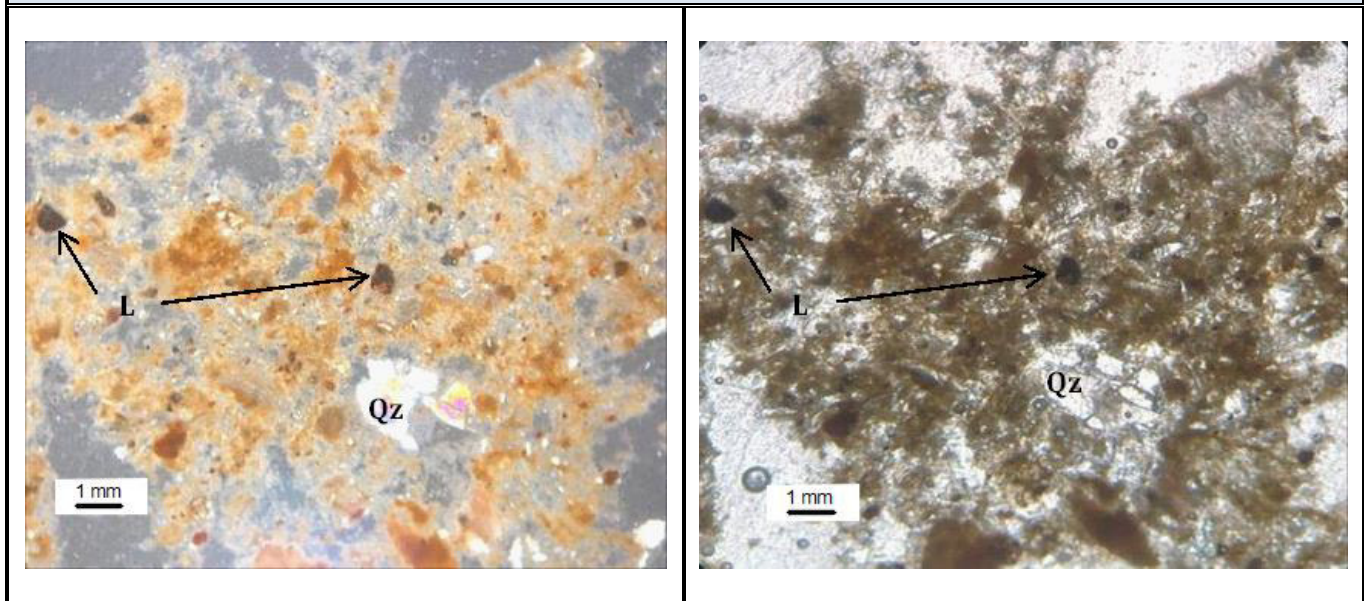
MINERALOGÍA

PRINCIPALES	ACCESORIOS
Cuarzo (Qz). Se encuentran microcristales prismáticos y subredondeados, se observan de manera dispersa en una matriz vítrea.	Líticos (L). Se encuentran de colores oscuros que van de marrón a negro de formas subredondeadas, alargadas y cuadradas.

CLASIFICACIÓN

TIPO DE ROCA	Toba
---------------------	------

EVIDENCIA FOTOGRÁFICA



Con nicoles cruzados

Sin nicoles cruzados

PETROLOGÍA DEL TRANSECTO CENTRO-NORTE DEL GRABEN DE JUCHIPILA, ZACATECAS, SIERRA MADRE OCCIDENTAL.

DATOS DE CAMPO

LOCALIDAD:	LAS PRESITAS, ZACATECAS	
COORDENADAS:	NORTE: 21.606°	ALTURA: 2527m
	ESTE: -102.848°	

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

MUESTRA:	JAT-54
COLOR:	Mesocrático
TEXTURA:	Porfídica
GRADO DE CRISTALINIDAD:	Hipocristalina
TAMAÑO RELATIVO DE LOS CRISTALES:	Inequigranular
TAMAÑO ABSOLUTO DE GRANO:	Grano Medio a Grande
FORMA DE CRISTALES:	Idiomorfos a Subidiomorfos

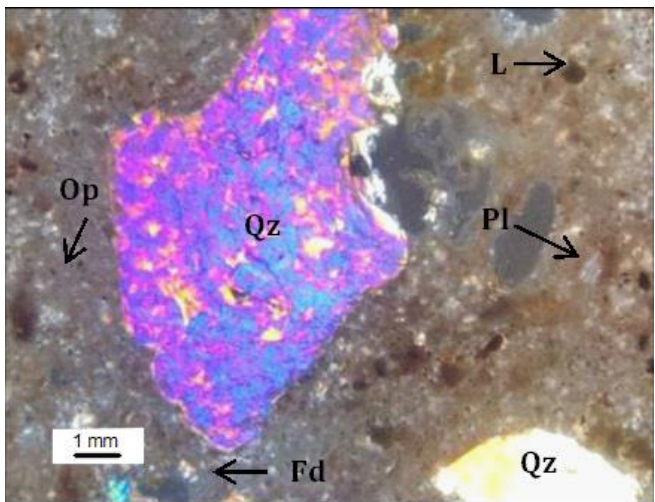
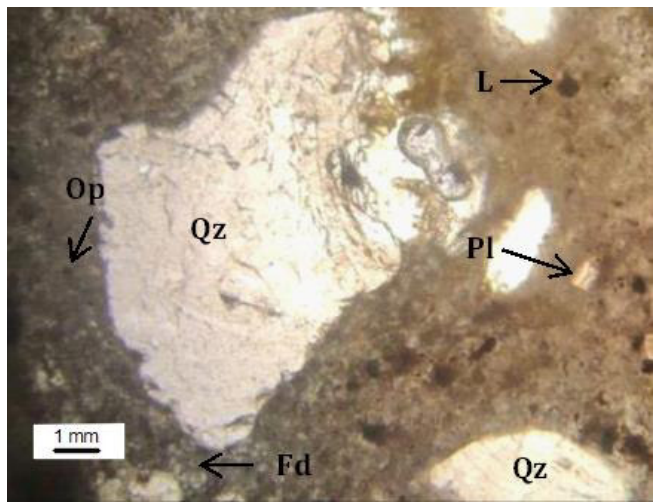
MINERALOGÍA

PRINCIPALES	ACCESORIOS
<p>Cuarzo (Qz). Se presentan fenocristales euhedrales y subhedrales de forma prismática y redondeada. Su color rosado indica que posiblemente esté alterado o la lámina no se encuentre bien esmerilizada.</p> <p>Plagioclasa (Pl). Se encuentran cristales tabulares y subredondeados, presentan maclado de Carlsbad.</p> <p>Feldespato (Fd). Se presentan cristales subangulares y tabulares con ángulo de extinción de 45° a 50°.</p> <p>La matriz criptocristalina está conformada por microcristales de cuarzo soldados entre sí y flujo.</p>	<p>Líticos (L). Se presentan en colores oscuros de marrón a café con forma redondeada.</p> <p>Opacos (Op). Se presentan de forma cuadrada y subredondeados, de color negro. Se puede observar que se encuentran dispersos por toda la matriz y junto con algunos fenocristales de cuarzo.</p>

CLASIFICACIÓN

TIPO DE ROCA	Ignimbrita
--------------	------------

EVIDENCIA FOTOGRÁFICA

	
Con nicoles cruzados	Sin nicoles cruzados

Apéndice 3. Tabla presentado los datos en U/Pb en zircones de la muestra JAT-42. Las muestras tachadas en columna de % de discordancia se omitieron, ya que no están dentro del promedio de edad esperada.

CORRECTED AGES (Ma)									
Muestra	206Pb/238U	±2s	207Pb/235U	±2s	207Pb/206Pb	±2s	Best age (Ma)	±2s	Disc %
JAT-42_Zrn-01	29.8	2.0	48.0	11.0	730.0	540.0	29.8	2.0	37.9
JAT-42_Zrn-02	67.1	1.1	73.1	2.1	229.0	86.0	67.1	1.1	8.2
JAT-42_Zrn-03	71.9	1.3	72.0	4.7	80.0	140.0	71.9	1.3	0.1
JAT-42_Zrn-04	79.3	2.5	82.0	13.0	170.0	300.0	79.3	2.5	3.3
JAT-42_Zrn-05	68.9	1.5	71.8	4.8	180.0	150.0	68.9	1.5	4.0
JAT-42_Zrn-06	73.1	6.1	91.0	8.4	540.0	220.0	73.1	6.1	19.7
JAT-42_Zrn-07	72.9	2.2	78.0	10.0	220.0	260.0	72.9	2.2	6.5
JAT-42_Zrn-09	67.9	2.5	86.0	11.0	690.0	280.0	67.9	2.5	21.0
JAT-42_Zrn-10	70.8	1.6	74.5	5.0	190.0	160.0	70.8	1.6	5.0

Apéndice 4. Tabla presentado los datos en U/Pb en zircones de la muestra JAT-54. Las muestras tachadas en columna de % de discordancia se omitieron, ya que no están dentro del promedio de edad esperada.

CORRECTED AGES (Ma)										
Muestra	206Pb/238U	±2s	207Pb/235U	±2s	207Pb/206Pb	±2s	Best age (Ma)	±2s	Disc %	
JAT-54_Zrn-01	578.0	62.0	2437.0	99.0	4931.0	51.0	578.0	62.0	76.2	
JAT-54_Zrn-02	33.5	1.8	98.0	13.0	2350.0	210.0	33.5	1.8	65.8	
JAT-54_Zrn-03	49.7	6.8	335.0	67.0	3760.0	260.0	49.7	6.8	85.2	
JAT-54_Zrn-04	32.9	2.3	82.0	19.0	1980.0	300.0	32.9	2.3	59.9	
JAT-54_Zrn-05	28.8	2.2	34.0	16.0	530.0	440.0	28.8	2.2	15.3	
JAT-54_Zrn-06	29.8	1.8	71.0	14.0	1480.0	430.0	29.8	1.8	58.0	
JAT-54_Zrn-07	28.0	1.4	49.6	10.0	1270.0	290.0	28.0	1.4	43.5	
JAT-54_Zrn-08	33.6	1.9	114.0	11.0	2390.0	200.0	33.6	1.9	70.5	
JAT-54_Zrn-09	29.1	2.4	74.0	21.0	2020.0	390.0	29.1	2.4	60.7	
JAT-54_Zrn-10	38.9	3.0	178.0	37.0	2870.0	270.0	38.9	3.0	78.1	
JAT-54_Zrn-11	29.2	1.5	81.0	9.6	2110.0	240.0	29.2	1.5	64.0	
JAT-54_Zrn-12	31.4	1.5	119.0	13.0	2520.0	200.0	31.4	1.5	73.6	
JAT-54_Zrn-13	32.3	2.0	105.0	15.0	2580.0	330.0	32.4	2.0	69.2	
JAT-54_Zrn-14	28.1	2.6	52.0	17.0	690.0	730.0	28.1	2.6	46.0	
JAT-54_Zrn-15	246.2	14.0	1633.0	65.0	4830.0	87.0	246.2	14.0	84.9	
JAT-54_Zrn-16	29.2	2.3	40.0	21.0	660.0	240.0	29.2	2.3	27.0	
JAT-54_Zrn-17	62.1	6.5	463.0	58.0	4160.0	260.0	62.1	6.5	86.6	
JAT-54_Zrn-18	32.4	1.4	103.0	11.0	2380.0	210.0	32.4	1.4	68.5	
JAT-54_Zrn-19	31.2	1.9	39.0	8.6	430.0	430.0	31.4	1.9	20.0	

JAT-54_Zrn-20	32.5	14.0	90.0	140.0	2070.0	450.0	32.5	14.0	64.7
JAT-54_Zrn-21	29.1	1.9	110.0	13.0	2600.0	180.0	29.1	1.9	73.5
JAT-54_Zrn-22	29.6	2.0	38.0	11.0	530.0	380.0	29.6	2.0	22.1
JAT-54_Zrn-23	26.4	5.1	43.0	71.0	960.0	530.0	26.4	5.1	38.6
JAT-54_Zrn-24	28.2	4.3	44.0	64.0	920.0	520.0	28.2	4.3	35.9
JAT-54_Zrn-25	31.1	1.5	41.0	7.5	740.0	330.0	31.1	1.5	24.1
JAT-54_Zrn-26	32.4	2.6	104.0	20.0	2200.0	380.0	32.4	2.6	68.8
JAT-54_Zrn-27	30.7	2.0	36.0	8.3	390.0	510.0	30.7	2.0	14.7
JAT-54_Zrn-28	29.5	1.2	33.0	5.4	370.0	290.0	29.5	1.2	10.6
JAT-54_Zrn-29	26.3	1.8	52.5	9.8	1550.0	360.0	26.3	1.8	49.9
JAT-54_Zrn-30	29.7	1.9	49.0	15.0	1040.0	390.0	29.7	1.9	39.4
JAT-54_Zrn-31	29.3	2.5	85.0	21.0	2350.0	410.0	29.3	2.5	65.5
JAT-54_Zrn-32	28.2	0.9	32.8	3.6	430.0	220.0	28.2	0.9	14.1
JAT-54_Zrn-33	30.0	1.9	89.0	17.0	2320.0	370.0	30.0	1.9	66.3
JAT-54_Zrn-34	34.2	3.2	134.0	39.0	2770.0	300.0	24.0	3.2	74.5