

2005

03060

Universidad Nacional Autónoma de México

***Posgrado en Ciencias de la Tierra***

***GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DEL SISTEMA DE FALLAS TRANSCURRENTES POST-CRETÁCICO DE LA REGIÓN DE TIQUICHEO, MICHOACÁN, SUR DE MÉXICO.***



Tesis

Que para obtener el grado de

Maestro en Ciencias (Geología)

Presenta: Miguel Morales Gámez

Mayo 2005

MORALES GÁMEZ, MIGUEL

m 343815



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## CONTENIDO

<b>CONTENIDO</b> -----	<b>2</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> -----	<b>4</b>
<b>RESUMEN</b> -----	<b>10</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> -----	<b>13</b>
<i>Geología Regional</i> -----	15
<i>Geología de la Región de Tierra Caliente</i> -----	16
<i>Antecedentes</i> -----	18
<i>Objetivos</i> -----	23
<i>Metodología</i> -----	23
<b>ESTRATIGRAFÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO</b> -----	<b>25</b>
<i>Complejo Arteaga</i> -----	26
<i>Sucesión Volcano-Sedimentaria del Jurásico Superior-Cretácico Inferior</i> -----	28
Formaciones Angao y San Lucas-----	28
Formación Comburindio-----	31
<i>Rocas Continentales del Cretácico Superior-Paleógeno.</i> -----	34
Formación Cutzamala-----	34
Unidad El Aguacate.-----	38
<b>GEOLOGÍA ESTRUCTURAL</b> -----	<b>40</b>
<i>Rocas polideformadas del Complejo Arteaga y formaciones Angao San Lucas no diferenciadas</i> -----	42
<i>Sistema de Fallas Normales Sector Suroeste Región de Eréndira</i> -----	44
<i>Sistema de Fallas Transcurrentes Tzitzio-Altamirano</i> -----	45
Falla La Sábila-----	46
Falla Purungueo-San Pedro-----	56
Falla Tzentzénuario-----	59
Falla La Palma-----	61
Falla La Escondida-----	62
<i>Fallas Este-Oeste sector oriental</i> -----	63
<i>Estructuras de desplazamiento lateral NE-SW</i> -----	67
<b>CUERPOS ÍGNEOS Y SU RELACIÓN CON LA DEFORMACIÓN</b> -----	<b>71</b>
<i>Granitoide La Ceiba Negra</i> -----	71

<i>Diques Janindipo</i> -----	73
<i>Granitoide Purungueo</i> -----	73
<i>Intrusivo La Gotera</i> -----	75
<i>Enjambres de Diques Copándaro</i> -----	76
Relación entre deformación y los enjambres de diques -----	78
<b>DISCUSIÓN</b> -----	<b>81</b>
<i>Relaciones estratigráficas y de contacto</i> -----	81
<i>Sistemas de fallas y relaciones de corte</i> -----	82
<i>Rocas intrusivas y relaciones de contacto</i> -----	83
<i>Anticlinal de Tzitzio y su relación con las fallas laterales</i> -----	85
<b>CONCLUSIONES</b> -----	<b>93</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> -----	<b>97</b>
<b>Anexo I</b> -----	<b>103</b>
<b>Anexo II</b> -----	<b>104</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Localización de la zona de estudio, toponimia y rasgos geográficos importantes. Al Oeste se ubica la región de Eréndira en una franja que tiene una dirección NNE-SSW. La región Este comprende una franja con una dirección NNW-SSE. ----- 14
- Figura 2. Provincias geológicas de Michoacán: Sierra Madre del Sur donde se localiza la zona de estudio. El Cinturón Volcánico Mexicano se ubica al norte del estado. ----- 15
- Figura 3. Mapa simplificado del terreno tectonoestratigráfico Guerrero y los subterrenos que lo integran. (Centeno-García, 1994; Centeno-García et al., 2003). Otros terrenos tectonoestratigráficos en el centro y sur de México son Oaxaquía, Maya, Mixteco y Xolapa (en blanco).----- 16
- Figura 4. Compilación cartográfica regional. (Campa, 1978; DeCserna, 1982 y 1983; Menella et al., 2000; Altamira-Areyán, 2002; Morales-Gómez et al., 2004; Pantoja-Alor and Gómez-Caballero, 2003; Ferrari et al., 2004).----- 19
- Figura 5. Lineamientos observados en la imagen de satélite. En ambos recuadros inferior izquierda (Altamira-Areyán, 2002) y superior derecha (Islas et al., 1988, Garduño-Monroy, 1999), se muestran las interpretaciones realizadas por autores previos, para explicar los lineamientos asociados a la estructura de Tzitzio. El esquema trata de mostrar parte de la recopilación de trabajos anteriores e interpretación fotogeológica. previos al trabajo cartográfico en campo y no muestra ninguna interpretación por parte del autor del presente estudio. ----- 22
- Figura 6. Rocas del Complejo Arteaga localizadas en la parte central de la zona de estudio. En el extremo derecho de la imagen se observa uno de los cuerpos de cuarcita abudados típicos de esta unidad. Puede observarse otros cuerpos de cuarcita en la parte centro superior de la imagen. Estos pertenecen a la primera fase de deformación y se encuentran plegados por una segunda fase. Esta última presenta desarrollo de crenulación y kink bands. Al centro en la parte inferior el lapicero (Elipse) indica la escala del afloramiento. ----- 27
- Figura 7. La Formación San Lucas está cubierta discordantemente por los depósitos continentales de la Formación Cutzamala cerca del puente sobre el Río Purungueo, al sur del pueblo de Tiquicheo.30
- Figura 8. Rocas de la Formación San Lucas, sobre la carretera que va de Tiquicheo a Eréndira en estas se observan estructuras asociadas a fallas normales, las cuales tienen una orientación aproximada hacia el E-W y forma arreglos de fallas conjugadas.----- 31
- Figura 9. Contacto transicional entre las rocas conglomeráticas y calcáreas de la Formación Comburindio. Cerca del poblado de Sacanguerete. La matriz esta constituida por arenisca calcárea que soporta a clastos de composición ígnea y sedimentaria.----- 33
- Figura 10. Columna estratigráfica simplificada de Altamira-Areyán (2002), donde se ubica la facies dentro de la cual se encontraron los restos fósiles de un hadrosaurio (Benammi et al., 2004). --- 36
- Figura 11. Conglomerado cercano a la parte basal de las rocas sedimentarias del sector occidental, el cual presenta lentes conglomeráticos de clastos calcáreos en un arreglo anastomosado. Nótese la escala (lapicero al centro izquierda de la imagen). ----- 38
- Figura 12. Estratos de la Unidad del Aguacate observados en la cima del cerro La Empina. ----- 39
- Figura 13. Mapa estructural de la región de Tiquicheo-Eréndira, se muestran las fallas principales, y otras estructuras menores. Así como los lineamientos inferidos (fotografía aérea, escala 1:50 000) y los obtenidos en trabajos previos para la zona de Tiquicheo (Medina-Hernández et al., 1983). En general para las fallas mayores el predominio de la orientación de los lineamientos es Norte-sur con un fuerte cambio de dirección hacia el Noreste, como puede observarse a este respecto, las fallas convergen hacia el noreste. Y en un punto cercano a Tzetzénguaru el SFTT-A, continua hacia el norte limitando las rocas del núcleo de la estructura de Tzitzio. Al suroeste se observan fallas normales con dirección noreste-sureste. En la parte oeste la población de diques, que en este trabajo se denominan Janindipo, no es tan evidente como en el caso de la parte Este donde afloran lo diques Copándaro, los cuales están emplazados en capas rojas de la Formación Cutzamala y también cortan al cuerpo intrusivo La Gotera. Existen fallas normales con orientación ~ENE-WSW y son subparalelos a la orientación de los diques Copándaro. Nótese en el extremo superior derecho de la figura, la línea que representa a la falla que tiene una dirección NE-SW y que en este trabajo, a pesar de no tener evidencias radiométricas que nos digan la edad

- de la deformación, consideramos que están relacionadas con eventos de deformación más recientes en esta zona. A la izquierda son representadas secciones estructurales de la zona de Tiquicheo-Eréndira. Nota: La Formación Cutzamala en esta figura no está separada en las facies que la constituyen. ----- 41
- Figura 14. Estilo de deformación de las rocas del Complejo Arteaga localizadas en la parte central de la zona de estudio. Las cuales representan las rocas basales de la región, en ellas se observan pliegues isoclinales de la primera fase de deformación. La línea blanca indica la actitud de los planos de crucero tipo kink bands, asociados a la segunda fase compresiva, esta última se observa también en las rocas del arco Ju-K. Al centro el cuaderno muestra la escala. ----- 43
- Figura 15. Ambos diagramas muestran los polos de los planos de estratificación medidos a lo largo de dos caminamientos en las rocas de las Formaciones Angao-San Lucas no diferenciadas. Los datos fueron medidos en la parte central del área de estudio. En las estaciones T-82, T-97, T-98, T-99, T-100, T-103, T-104, T-105, T-101, T-102, T-83, T-84, T-85, T-86, T-87, T-94, T-95, T-89, T-88, T-92, T-93. Para ver la ubicación de las estaciones consultar anexo II. ----- 44
- Figura 16. De izquierda a derecha los diagramas muestran la traza ciclográfica de los planos de falla normales medidos en la estación T-353 en rocas conglomeráticas. Este diagrama está compuesto por planos medidos en varias estaciones en rocas calcáreas y conglomeráticas, y el último diagrama presenta los planos de fallas normales en caliza de la estación T-24, y que corresponden a fallas normales. Todas las estaciones ubicadas en rocas de la Formación Comburindio. ----- 45
- Figura 17. En el sector sur de la falla La Sabila se observa un arreglo trenzado de planos de falla. Se observan arreglos de fallas que limitan a cuerpos sigmoides en la caliza, conglomerados y sucesiones de lutita-arenisca de las formaciones Comburindio y San Lucas respectivamente. El desplazamiento de estos cuerpos sigmoides sugiere un movimiento lateral derecho (flechas de horts y grabens, que deforma a las rocas de la Formación Comburindio, y que son cortadas por la Falla de la Sábila. Al oeste de Quenchendio se observa una disposición subvertical de los estratos mientras que al este después de la zona de falla La Sabila la disposición varía desde  $\sim 75^\circ$  a  $40^\circ$  de inclinación. La estratigrafía está fue tomada de Pantoja-Alor y Gómez-Caballero (200), modificada en este estudio. ----- 47
- Figura 18. Traza de la falla La Sabila (en blanco) que pone en contacto rocas de la Formación Cutzamala, hacia el frente de la figura, con rocas calcáreas de la Formación Comburindio, hacia el fondo de la figura. Vista desde el pueblo de Quenchendio, con dirección hacia el SSE. ----- 48
- Figura 19. El efecto de la falla La Sabila en la caliza de la Formación Comburindio, al lado norte de la terracería a Ocuaro, presenta zonas de brecha con un espesor de más de 100 m de ancho. Los planos de fallas asociadas a este sector sur de la falla La Sabila están representados en la red estereográfica de la derecha, los cuales representan un arreglo caótico y no se observa una tendencia estadística predominante de la dirección de los planos de falla (ver figura 17 y 18 para la ubicación de este punto). ----- 49
- Figura 20. En esta vista se muestra el plano de falla aproximado. La alteración en el conglomerado es debida al intemperismo (zona clara) de la zona con deformación. La lutita y arenisca de las formaciones Angao-San Lucas presentan brechamiento y pliegues de arrastre (izquierda de la figura). Esta localidad se encuentra al norte del poblado de Eréndira. ----- 50
- Figura 21. Sector Sur de la falla La Sabila. En el diagrama de la izquierda se muestran los planos de fallas derechas. El de la derecha muestra los planos de falla izquierdos. En este último las proyecciones ciclográficas se orientan dentro de un rango NNE-SSW y NNW-SSE, que sin embargo no son lo suficientemente determinantes para proporcionarnos el sentido del movimiento de la falla en este sector, los datos graficados fueron tomados en las estaciones T-211, T-213, T-220 y T-225. ----- 51
- Figura 22. a y b) El crestón que se forma a lo largo de este lineamiento sobre el cerro El Carrizal a) pone en contacto rocas de la Formación Cutzamala al occidente con rocas de la Formación San Lucas al oriente b). Al centro de la imagen se observa una serie de lineamientos subparalelos a la falla La Sabila en el sector central. (1= Aluvión, 2= conglomerado El Aguacate, 5= Intrusivo La Ceiba Negra, 7= Formación Cutzamala Sector occidental, 8b= Conglomerado Formación Comburindio, 9= Formación Angao San Lucas no diferenciadas. UTM = Universal Transversa de Mercator. Datum NAD27. ----- 52

- Figura 23. La deformación en la sucesión de lutita-arenisca es muy intensa en esta localidad del sector central de la falla La Sabila (cerca del poblado del mismo nombre) el círculo señala la referencia de escala. En recuadro blanco indica una zona que presenta mineralización y detalles de la estriación en las rocas. También puede decirse que el recuadro indica la zona cercana al plano de la falla. Donde se localizan bandas con roca de textura vítrea (harina de falla) y esquistosas. La zona de deformación se prolonga hacia los lados de la traza en una banda de un ancho de ~ 300m. ----- 53
- Figura 24. El efecto de la falla La Sabila en el sector norte nuevamente presenta una zona con arreglos trenzados. Las fallas presentan vetillas de cuarzo que rellenan planos de falla y grietas de tensión. La imagen de la derecha muestra la zona de falla que se hospeda en areniscas finas. La imagen de la izquierda muestra un detalle de la mineralización en la zona de fallas. ----- 54
- Figura 25. Esquema (sin escala) del arreglo de fallas trenzadas en el sector norte de la Falla de La Sábila, al noroeste del área de estudio. La disposición de los bloques sugiere que las fallas tienen una componente lateral importante, como lo sugiere el acuñaamientos de los bloques formados por las rocas más viejas, que se desplazan al norte con respecto a las rocas más jóvenes. Nuevamente la distribución de estos bloques sugiere desplazamiento lateral derecho. Al oeste de la zona de falla, los estratos buzcan con ángulo de 90 a 58° hacia el oeste (Lamina I). Hacia la parte este los estratos tienen un ángulo de echado mucho menor. En el diagrama también se representa el desplazamiento vertical, inferido con base en la distribución superficial que tienen las rocas. ---- 55
- Figura 26. En la figura superior se observa el modelo de sombras, las fallas marcadas son las a medidas en campo, en la figura inferior se muestra que las fallas Purungueo-San Pedro, Tzentsénguaru y el sector norte de la Falla La Sabila se unen al norte de la zona de estudio (9= Formación Angao San Lucas, 6 y 7= Formación Cutzamala sectores orientada y occidental respectivamente, 3= Intrusivo Purungueo y 10= Complejo Arteaga, coordenadas UTM, E14A44 INEGI). ----- 57
- Figura 27. Este afloramiento de la falla Purungueo-San Pedro se localiza al norte del pueblo de San Pedro antes de cruzar el puente sobre el río Purungueo y pone en contacto rocas pre-jurásicas del Complejo Arteaga y rocas conglomeráticas de la Formación Cutzamala. Justo en el contacto litológico se observa el emplazamiento de un dique, no deformado, el cual preserva la orientación de esta falla. Con una orientación de ~ N4°E y tiene un buzamiento hacia el oeste de 72°.----- 58
- Figura 28. Diagramas estereográficos (equiareales) de planos de falla y estrías medidos en la falla Purungueo-San Pedro y Tzentsénguaru y otras fallas localizadas a lo largo de la terracería que une el poblado de El Limón con el pueblo de Purungueo. Los datos indican que las fallas tienen una orientación preferencial N-S y son principalmente laterales derechas, con la excepción de la falla Tzentsénguaru donde se observa una alta abundancia de fallas con una cinemática lateral izquierda. ----- 59
- Figura 29. La fotografía muestra una vista de sur a norte en la cual se observa la traza de la falla de Tzentsénguaru que pone en contacto a rocas de la Formación Cutzamala (derecha de la imagen) y Complejo Arteaga. La orientación de la falla Tzentsénguaru se alinea de forma aproximada a la línea dibujada al centro de la imagen. A la derecha de la imagen se observa la topografía que se desarrolló en las rocas de la Formación Cutzamala. ----- 60
- Figura 30. Diagramas estereográficos (equiareales) de planos de falla y estrías medidos en la zona de falla La Palma. Los datos fueron tomados en las estaciones T-351 y T-352. Al sur del pueblo de Tiquicheo. ----- 62
- Figura 31. La roseta de la izquierda muestra dos tendencias en el rumbo, sin embargo, predominan las fallas orientadas hacia el WNW-ESE, las otras dos rosetas se observa una ligera variación hacia el E-W franco, aunque con una mayor concentración de rumbos hacia el WSW-ENE ver el diagrama de la derecha. Datos tomados en planos de falla en tres zonas del este de la región de estudio. Norte (izquierda), sur (centro) y oeste (izquierda) del pueblo de Tiquicheo. ----- 63
- Figura 32. En la parte superior de la figura se representan en primer lugar a la izquierda la proyección estereográfica de las estructuras de planos de falla, diques y estratos, En segundo lugar se observan las trazas ciclográficas de los diques, los cuales son sub-paralelos a los planos de falla mostrados en el tercer diagrama y por último los planos de estratificación de la facies Tiquicheo. Se muestra esquemáticamente una sección estructural ubicada al norte de Tiquicheo, en la cual se observa la disposición de los estratos con relación a las fallas y a los diques. Nótese al sur de la sección la falla que deforma al dique, en este caso no se observaron estrías que indicaran un movimiento lateral, pero el dique presenta una zona de salvanda, lo que indica deformación

- posterior al enfriamiento del dique. Las fallas normales presentan desplazamiento del orden de centímetros y en algunos casos se llega a desplazamiento de 0.5 m o más, los pliegues de arrastre de los estratos indican movimiento normal. Algunas fallas tiene una componente lateral, o un desplazamiento de tijera, como se observa en el ángulo de inclinación de las estrías que varía de los 40 a 55°, coordenada UTM, Datum NAD 27.----- 64
- Figura 33. El diagrama de la izquierda muestra las trazas ciclográficas de los planos de falla conjugados medidos en el intrusivo La Gotera (14Q E0320214, N2092188), el diagrama central muestra un arreglo conjugado de fallas medido en la facies Tiquicheo (14QE0319327, N2091329); se trata de comparar ambos arreglos, y finalmente se presenta el análisis de este par conjugado que nos muestra la configuración de los paleoesfuerzos. 3 se refiere a la dirección del paleoesfuerzo principal de compresión, 2 es el paleoesfuerzo intermedio y 1 está relacionado con el paleoesfuerzo principal de extensión.----- 65
- Figura 34. En esta figura se pretende mostrar la evidencia de la deformación en dos litologías distintas. En la figura superior que corresponde a un intrusivo se remarcaron los lineamientos observados, la imagen del extremo inferior izquierdos se muestra una superficie con estrías, la flecha doble indica (~ 20cm) la lineación por estría.----- 66
- Figura 35. La imagen del extremo superior izquierdo muestra la topografía del valle al norte del pueblo de Tiquicheo. En la coordenada ~(209800 UTM, 315000 UTM) se observa una discontinuidad de las sierras que forman los estratos a lo largo de una dirección aproximada norte-sur marcada por las líneas negras. La figura del extremo inferior izquierdo representa la ubicación del área ocupada por la fotografía aérea donde se muestra además la ubicación de los poblados de Purungueo y Copándaro como referencia. La línea gris al centro de la imagen representa la carretera Tiquicheo-Papatzingán. La imagen del extremo inferior izquierdo muestra las estructuras formados por los estratos de la facies Tiquicheo remarcados en sus crestas por líneas que muestran la pérdida de continuidad, y se encuentran desplazados por una falla lateral (línea continua, la línea discontinua es inferida), en el campo se observo la falla y se tomaron los siguientes datos N24°E 90° 14E, otro dato es N40°E 80°NW 0. El dato de la estratificación es N20°W 40°NE y N29°W 45°NE. La coordenada donde se ubica esta estación (en UTM) es 14Q0316508 y 2099166 NAD 27). ----- 67
- Figura 36. Proyección estereográfica de estratos medidos en tres localidades en la parte norte del área de estudio. Al Este (Papatzingán) predomina una disposición de los estratos controlada por la falla Tzentzenguero, en las cercanías del pueblo de Purungueo se tiene que los estratos presentan buzamientos menores a los que se observan en las cercanías de Papatzingán y San Pedro. Los del estratos Oeste fueron medidos en la zona cercana a la falla Purungueo-San Pedro, entre las localidades de Papatzingán y San Pedro la disposición de los estratos esta controlada a su vez por fallas de menor orden de magnitud en comparación con las fallas mencionadas en este párrafo. 69
- Figura 37. El desplazamiento observado de la facies Tiquicheo (ArLm) en esta cartografía de Centeno-García y colaboradores (comunicación personal, 2004), se aprecia regionalmente y es de aproximadamente 55km línea blanca. (Cg = Conglomerado, ArCg = Arenisca conglomerática, ArLm = Arenisca limolita, vcl = Volcaniclásticos (Centeno-García, 2004. Comunicación personal). ----- 70
- Figura 38. Los cuerpos ígneos se observan en la zona norte, sureste y este de la región de estudio. Existen tres cuerpos hipabisales llamados, La Ceiba Negra ubicado al suroeste de la región de estudio, Purungueo se localiza en la parte norte y es aparentemente más viejo que el sistema de Fallas Transcurrentes Tzitzio-Altamirano. Así mismo, al este aflora el intrusivo de La Gotera que es el cuerpo hipabisal con mayor extensión superficial en la región de estudio. El área contiene enjambres de diques, los cuales son más abundantes en la parte Este que la Oeste de la región de Tiquicheo-Eréndira. ----- 72
- Figura 39. Fotografía aérea escala 1:50,000 (20ª R-530 5-48 [163]) (A). Acercamiento al intrusivo Purungueo (B). En (C) se dibujaron líneas punteadas que muestran los límites aproximados de este intrusivo y las líneas con dirección ~ Norte-Sur son lineamientos probablemente asociados al SFTT-A. El lineamiento en la parte norte presenta sobre la terracería que va de El Limón a Purungueo una serie de planos de fallas y zonas de cizalla de entre 10 cm hasta 10 m de ancho con una dirección aproximada N-S. En la zona cercana a la antena de radio, (círculo blanco en C), afloran rocas ígneas, sin embargo, no se cuenta con un estudio de campo que permita determinar

- si estas rocas ígneas pertenecen al granitoide Purungueo que aflora en las inmediaciones del pueblo del mismo nombre. ----- 74
- Figura 40. Fotografía del intrusivo La Gotera cortado por un dique del enjambre Copándaro (cuerpo tabular al centro de la imagen). Ambos están afectados por fallas frágiles. Esta relación indica que el intrusivo de La Gotera es más antiguo que los diques Copándaro. ----- 75
- Figura 41. La relación de intrusión de los diques Copándaro en la parte Este de la región de Tiquicheo-Eréndira se observa principalmente en la facies Tiquicheo a lo largo de la carretera Tiquicheo-Papatzingán. Al interior estos diques se observan fallas como en la imagen en la parte central de la misma hay una delgada zona de cizalla, con salbanda, lo cual indica que la deformación ocurrió en condiciones frágiles. ----- 76
- Figura 42. Roseta de dirección de los diques donde se muestra la tendencia estadística del rumbo y echado de los diques, así mismo en la figura de la derecha se representan sus proyecciones estereográficas. ----- 77
- Figura 43. Sobre el río Tuzantla al este del pueblo de Tiquicheo se observa la relación entre el sistema de fallas normales que afectan al intrusivo La Gotera y la intrusión de los diques que pertenecen al enjambre Copándaro. En la imagen dicha relación se observa en el extremo izquierdo a la parte central, donde los diques están limitados por fallas indicadas por líneas punteadas. ----- 77
- Figura 44. Se muestran las trazas ciclográficas de las fallas normales en el diagrama superior izquierdo y los diques se representan en el diagrama del extremo superior derecho. Los diagramas que se localizan en la parte inferior de la figura, representan la traza ciclográficas de los planos de falla con movimientos laterales como se indica por las flechas colocadas cerca de la proyección de las alineaciones. En la figura de extremo inferior derecho se muestra el paralelismo que existe entre fallas normales, transcurrentes y diques. Los datos fueron tomados a lo largo de la carretera entre Tiquicheo y El Limón de Papatzingán en el sector oriente del área. ----- 79
- Figura 45. Disposición estratigráfica de las rocas de la Formación Cutzamala la toma fotográfica es desde el puente de Tiquicheo hacia en noroeste, el relieve topográfico hace evidente el cambio litológico que en este caso el contacto es por medio de una discordancia angular para un detalle ver la figura 9.----- 81
- Figura 46. Discordancia angular entre rocas asociadas con el Complejos Arteaga y rocas conglomeráticas de la Formación Cutzamala al norte del pueblo de Purungueo en este punto se midieron planos de falla con un tren de orientación N-S. ----- 82
- Figura 47. Dos escalas diferentes, la figura del extremo superior izquierdo muestra una escala regional, en la cual se muestra la geometría que guarda con el relieve, al centro y en la parte superior se observa el anticlinal de Tzitzio, en la imagen del extremo inferior derecho se muestran líneas que representan las fallas asociadas con el Sistema de Fallas Transcurrentes Tzitzio-Altamirano. --- 87
- Figura 48. Esquema de la geometría de un pliegue, esta figura se muestra para representar la posible asociación de la estructura de Tzitzio con un pliegue cerrado, a) estado después del plegamiento de las rocas de la Formación Cutzamala y rocas basales, posteriormente b) un basculamiento de la estructura y la posterior erosión c) y d) muestran la distribución de las rocas en superficie. Las rocas más viejas se localizarían al centro del pliegue.----- 89
- Figura 49. Sección vertical perpendicular a la dirección de la cizalla en un modelo para el sistema de fallas Yamasaky en el suroeste del Japón, en la cual se muestra la geometría de la falla observada en CT (Caso B, desplazamiento del basamento = 18 cm). (a) Patrones de cizalla en la superficie de la caja de arena. R1 a R7, L1 a L5 y P5 a P6 son fallas de Riedel. Las de ángulo bajo son las fallas antitéticas. a-c son secciones perpendiculares a las fallas del basamento. (b) Imágenes CT de la sección vertical a, b y c. (c) Secciones sucesivas verticales perpendiculares a la dirección de la cizalla en la cual se muestra la geometría de las fallas por CT. (d) secciones sucesivas verticales. (Tomado de Ueta, K. et al, 2000). ----- 90
- Figura 50. Mapa geológico estructural del área de estudio. En él se muestran las fallas medidas en campo y en la parte inferior central se observa en el recuadro la interpretación para explicar el sistema de fallas Transcurrentes de Tzitzio-Altamirano. Esta interpretación se basa exclusivamente en la geometría que muestran las fallas en la cartografía generadas a partir de datos tomados en campo. Por medio de esta interpretación se infiere que la cinemática del SFTT-A, está asociada con una cizalla lateral derecha de manera regional. ----- 92
- A-1. Muestra MMG-1 a) Mollusca-Gastropoda, Familia Nerineidae. *Diptyxis luttikei* (Blanckenhorn). Edad: Aptiano Superior-Albiano Inferior. Muestra MMG-2 b) *Diptyxis euphyes* (Felix). Edad:

Aptiano Superior-Albiano Inferior. Muestra MMG-3 c) Familia Naticidae Gasterópodo-Tylostómido. Cortes sagitales de un gasterópodo no identificables a nivel genérico. (Blanca Estela Buitrón Sánchez, comunicación escrita.) -----	103
A-2. Localización de las estaciones de trabajo durante la cartografía en la región de Tiquicheo-Eréndira. Coordenadas en UTM. Nat 27. Zona 14-Q. -----	104

## RESUMEN

El presente trabajo se enfocó a la cartografía y definición de las estructuras (fallas) que deformaron a las capas rojas que afloran en la región de Tiquicheo-Eréndira. Identificándose un conjunto de fallas transcurrentes denominado Sistema de Fallas Transcurrente Tzitzio-Altamirano (SFTT-A). Este rasgo estructural se manifiesta linealmente desde Tzitzio, Michoacán hasta Altamirano, Guerrero. La deformación asociada a dicho sistema provocó el basculamiento de los estratos, hacia el Este y Oeste dando origen a la Antiforma de Tzitzio. Dicho sistema de fallas pone en contacto a las rocas sedimentarias ¿triásicas? (Complejo Arteaga) y a las sucesiones volcano-sedimentarias jurásico-cretácicas, (Formaciones Angao, San Lucas, Zirándaro y Huetamo) con sucesiones sedimentarias continentales del Cretácico Superior (Formación Cutzamala). Las fallas mayores que se identificaron y estudiaron en este sistema fueron denominadas como La Sabila<sup>1</sup>, Purungueo-San Pedro, Tzentzenguero, La palma y La Escondida.

Varios de los trabajos geológicos realizados en la región limítrofe entre Michoacán y Guerrero al norte de Huetamo se habían enfocado principalmente a las rocas más viejas de la región. En la mayoría de estos trabajos las capas continentales se habían asociado a depósitos del Eoceno tardío-Oligoceno medio (Grupo Balsas), Sin embargo una serie de investigaciones recientes, proponen que algunas de las capas rojas que afloran en esta región no pertenecen al Grupo Balsas como se proponía anteriormente.

La estratigrafía del área de estudio comprende rocas marinas siliciclásticas que probablemente pertenecen al Mesozoico temprano (Complejo Arteaga), cubiertas discordantemente por rocas volcánicas intercaladas con arenisca volcánica, lutita y conglomerado del Jurásico-Cretácico. Estas unidades son a su vez cubiertas discordantemente por sucesiones de la Formación Cutzamala (Cretácico Superior), la cual está representada en la región de estudio por arenisca, conglomerado y rocas volcánicas continentales, distribuidas en ambos flancos de la estructura de Tzitzio.

El objetivo principal de este trabajo consistió en estudiar la deformación que afecta a las rocas sedimentarias de origen continental del Cretácico Superior de la zona de

---

<sup>1</sup> La toponimia se tomo tal como esta anotada en las cartas topográficas de Tiquicheo (E14A54) y el Limón de Papatzingán (E14A44) editadas por el INEGI.

Tiquicheo-Eréndira y definir la distribución regional, relación estructural y cinemática de los eventos de deformación pos-Cretácico Tardío registrados en las capas continentales.

Se realizó un estudio de las fallas a nivel regional por medio de fotografías aéreas escala 1:50000 e imágenes de satélite escala 1:250000 donde se observaron lineamientos con varias orientaciones. En la imagen de satélite se observan los lineamientos con una orientación N-S que remarcan el relieve de la estructura de Tzitzio. Otros lineamientos presentan orientaciones NE-SW, NW-SE y E-W.

La estructura de Tzitzio está limitada en ambos flancos por fallas del SFTT-A. En la región de Tiquicheo-Eréndira la zona de falla se amplía justo en la parte norte de la región de estudio. En la parte suroeste se observa una dirección de los lineamientos aproximada al N-S y al centro de la región cambia a un rumbo de NE30°SW. Al norte, nuevamente cambia a una dirección NW4°SE. La geometría de los lineamientos en la zona de cizalla implica una deformación compleja que se explica por medio de movimientos laterales convergentes. El sistema de fallas presenta una disminución, en la distancia entre planos de fallas hacia el norte, mientras que al sur los sistemas de falla divergen de manera considerable.

En general, en el bloque de techo de la parte oeste del área, la deformación se distribuye en varias fallas que corren en forma subparalela a la orientación del sistema. El SFTT-A en la parte central (bloque de piso) del área de estudio muestra mayor densidad de planos de fallas en la parte norte que en la parte sur del área. Mientras que hacia el Este de la región de estudio, en el bloque de techo, las fallas que predominan tienen un tren WNW-ESE y en los planos de falla se observan indicadores de movimientos verticales y sobreimpuesto a la evidencia de movimientos laterales, además dentro de estos planos se emplazaron los diques Copándaro.

En este trabajo son reportados algunos sistemas de fallas que posiblemente sean más antiguos que el SFTT-A. Estas fallas se localizan en la parte suroeste de la región de estudio y tienen una dirección WNW-ESE, las cuales forman pequeños horst y grabens. Además se registró un sistema de fallas más jóvenes que el sistema SFTT-A, el cual tiene una orientación NE-SW y está asociado a movimientos laterales derechos, por otra parte este mismo sistema presenta una orientación subparalela al dique de Tuzantla ubicado al NE, fuera de la región de estudio.

La cinemática regional del sistema de fallas con predominio N-S se plantea, en este trabajo, como parte de movimientos transcurrentes asociados con acortamiento que elevaron el núcleo compuesto por rocas que representan a sucesiones de rocas marinas polideformadas asociadas al Complejo Arteaga y rocas que pertenecen a las formaciones Angao y San Lucas no diferenciadas en este trabajo. Regionalmente la deformación provocó la formación de un alto del basamento en el núcleo de la estructura. Hacia el suroeste del área de estudio la deformación extensional que originó un enjambre de diques, posiblemente esté asociada con el salto del plano de falla principal hacia el Oeste. El levantamiento del núcleo del SFTT-A dio lugar a la morfología actual que se observa en la Sierra de Huetamo-Tzitzio.

En este trabajo se documentaron por lo menos tres eventos de deformación en régimen frágil, a partir de la orientación y relaciones de corte de las fallas observadas en la zona de Tiquicheo-Eréndira, el primer evento es de extensión y dio lugar al sistema de fallas normales de la región suroccidental. Dichas fallas normales afectan a las unidades del Aptiano-Albiano y están cubiertas discordantemente por capas rojas de edad desconocida.

El segundo evento corresponde a una convergencia transcurrente y dio lugar al SFTT-A el cual incluye fallas regionales con orientación N-S, fallas Riedel y otras estructuras formadas en una cizalla lateral derecha. Dicho sistema de fallas afecta a las capas rojas del Cretácico Tardío. En la zona Este de la región de estudio la deformación asociada al SFTT-A es aparentemente posterior al emplazamiento del granitoide Purungueo, de acuerdo a la relación de corte que se observó en imágenes de satélite y fotografías aéreas, sin embargo, esto no se corroboró en el campo. Por lo cual se concluye que la deformación tiene una edad máxima de fines del Cretácico y hay la posibilidad de que la deformación sea pos-Eoceno. El SFTT-A no afecta a las rocas del Eje Neovolcánico Transmexicano que afloran al norte del área de estudio.

Finalmente se tienen un tercer evento asociado con fallas laterales derechas que deforman con una dirección NE-SW a las rocas de la Formación Cutzamala y las formaciones no diferenciadas Angao San Lucas, cuya edad de la deformación se desconoce.

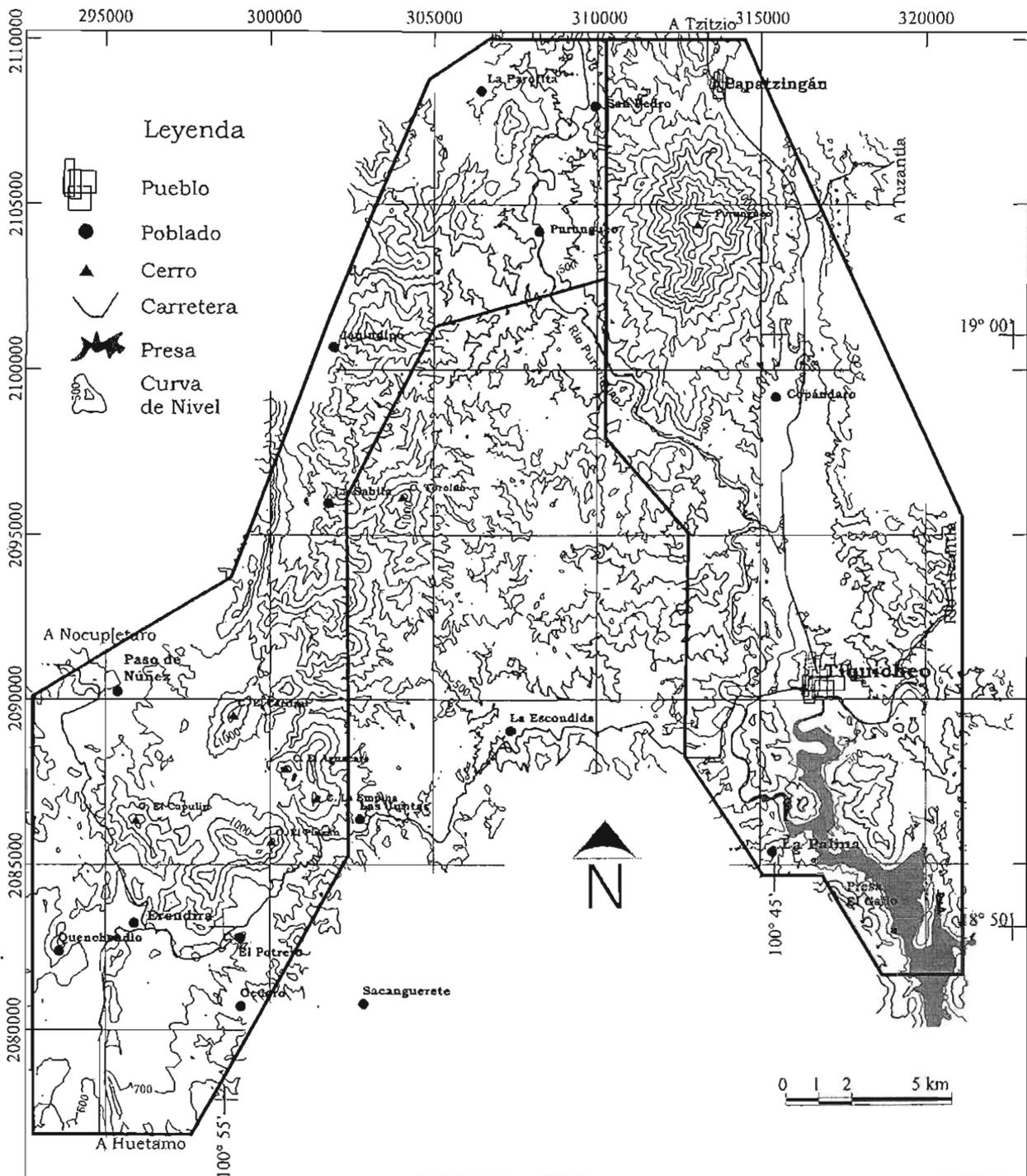
## INTRODUCCIÓN

Uno de los rasgos que se distingue en el oriente del estado de Michoacán por su escala regional es la estructura conocida como Anticlinal de Tzitzio, cuya traza principal muestra una orientación ~ norte-sur observable tanto en imágenes de satélite escala 1:250 000, como en mapas topográficos y fotografías aéreas escala 1:50 000, en él resaltan una serie de lineamientos en los paquetes de rocas continentales que afloran al sur del Cinturón Volcánico Mexicano.

Originalmente, este rasgo estructural fue considerado como una estructura asociada a eventos netamente compresivos, como lo muestran los primeros reportes (Demant *et al.*, 1975; Mauvois *et al.*, 1976). Sin embargo, Altamira-Areyán (2002) reporta una probable relación entre la antiforma con un sistema de fallas de desplazamiento lateral. El mismo autor sugiere que la deformación en la región Tiquicheo-Eréndira comprende sistemas transpresivos. Este estilo de deformación fue sugerido con base en el registro, en el campo, de planos de falla al norte (Tzentzenguaro, Michoacán) y al sur (Cutzamala, Guerrero) de la región de Tiquicheo-Eréndira.

El presente trabajo consistió en estudiar los sistemas de fallas desarrollados en régimen frágil, en un área entre los sitios en donde fueron reportadas fallas transcurrentes (Altamira-Areyán, 2002), para determinar su relación genética con la estructura denominada como Anticlinal de Tzitzio en la parte sur de éste. Este estudio se basa en la cartografía detallada de dos áreas, una al occidente y otra al oriente, de la estructura de Tzitzio, que juntas integran la región denominada Tiquicheo-Eréndira (Figura 1).

En esta región se identificó un conjunto de fallas importantes a nivel regional al cual se propone definir como Sistema de Fallas Transcurrentes Tzitzio-Altamirano (SFTT-A). La zona objetivo está localizada aproximadamente a 200km al sur de la ciudad de Morelia (Figura 2). Se ubica entre las coordenadas geográficas 18°45' y 19°05' de latitud norte y 101°00' y 100°42' de longitud oeste. Entre los poblados más importantes están Tiquicheo en la zona este, Eréndira en la zona oeste y El Limón de Papatzingán al Norte (Figura 1).



*Figura 1. Localización de la zona de estudio, toponimia y rasgos geográficos importantes. Al Oeste se ubica la región de Eréndira en una franja que tiene una dirección NNE-SSW. La región Este comprende una franja con una dirección NNW-SSE.*

## Geología Regional

En el estado de Michoacán se reconocen dos provincias geológicas (Figura 2): la provincia de la Sierra Madre del Sur, integrada por secuencias sedimentarias del Triásico (Campa *et al.*, 1982, Centeno, 1994,) y volcano-sedimentarias del Cretácico Inferior (Pantoja-Alor, 1959), así como cuerpos plutónicos de diferentes edades (López-Infazón y Grajales-Nishimura, 1984; Schaaf, 1990) y sucesiones volcánicas y volcano-sedimentarias cenozoicas. Estos grupos litológicos (sedimentarios e ígneos) conforman el sustrato que infrayace a rocas ígneas de la otra provincia: el Cinturón Volcánico Mexicano (CVM; Corona, 1999). El área objetivo de este estudio se localiza dentro de la Provincia de la Sierra Madre del Sur, en la región conocida como Tierra Caliente.

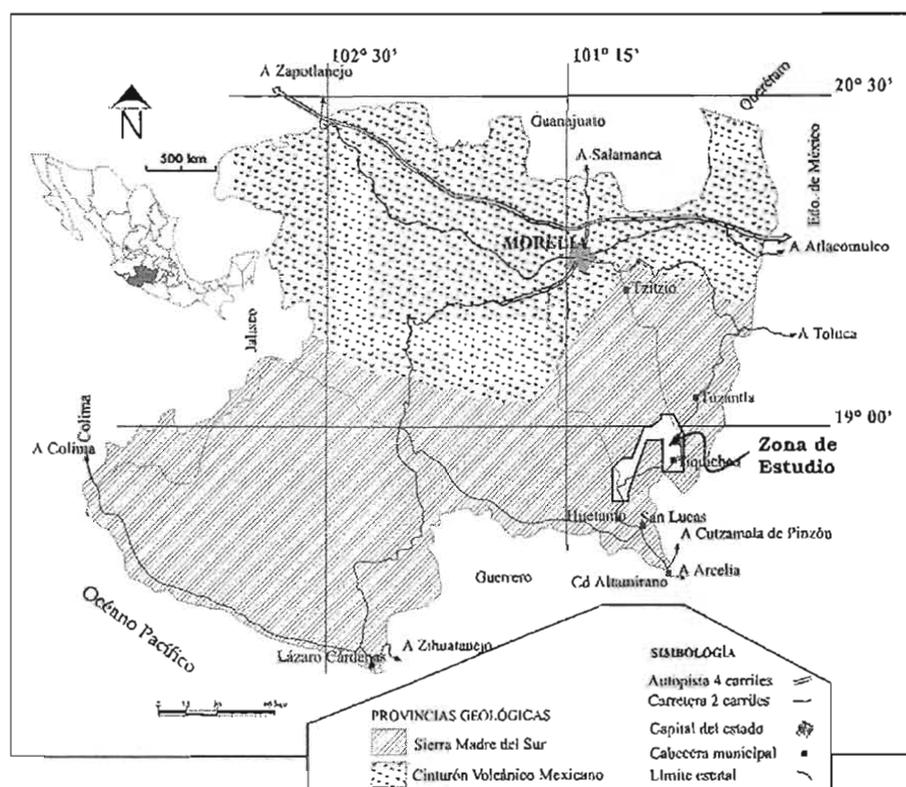


Figura 2. Provincias geológicas de Michoacán: Sierra Madre del Sur donde se localiza la zona de estudio. El Cinturón Volcánico Mexicano se ubica al norte del estado.

## Geología de la Región de Tierra Caliente

En la región de Tierra Caliente, hacia la porción sur-oriental del Estado de Michoacán, en el límite con el Estado de Guerrero afloran rocas que se originaron en un arco volcánico de tipo insular (Campa and Coney, 1983), las cuales dominan una gran parte del sur-occidente de México. Estas rocas han sido definidas como parte del terreno Guerrero (Campa y Coney, 1983; Elías-Herrera y Sánchez-Zavala, 1990), el cual ha sido considerado como uno de los terrenos tectonoestratigráficos más grandes y jóvenes del país (Talavera-Mendoza *et al.*, 1993; Corona-Chávez, 1999).

Las rocas del terreno Guerrero muestran una evolución tectono-magmática compleja. Este terreno fue dividido primero en tres subterrenos: Teloloapan, Huetamo y Zihuatanejo (Campa y Coney, 1983). Sin embargo, a la luz de nuevos trabajos, se ha propuesto subdividirlo en cinco subterrenos los cuales son: Zihuatanejo (donde se ubica el área de estudio), Arcelia, Teloloapan, Guanajuato y San José de Gracia; este último ubicado entre los estados de Durango y Sinaloa (Centeno-García *et al.*, 2003). Esta subdivisión se basa en una reagrupación estratigráfica apoyada en nuevos datos geocronológicos y geoquímicos obtenidos del estudio de las rocas de estos terrenos (Centeno-García *et al.*, 2003) (Figura 3).

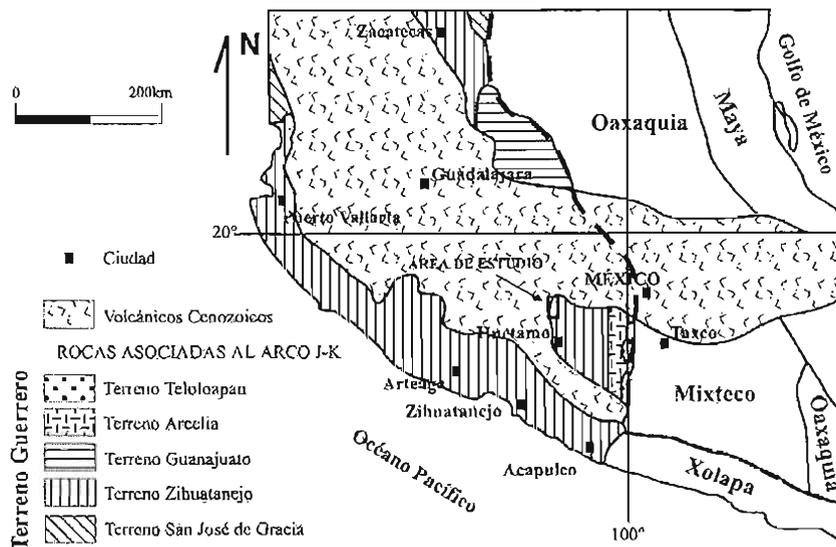


Figura 3. Mapa simplificado del terreno tectonoestratigráfico Guerrero y los subterrenos que lo integran. (Centeno-García, 1994; Centeno-García *et al.*, 2003). Otros terrenos tectonoestratigráficos en el centro y sur de México son Oaxaquía, Maya, Mixteco y Xolapa (en blanco).

La evolución en el tiempo y el espacio del terreno Guerrero ha sido interpretada como la acreción de uno o varios arcos magmáticos oceánicos al continente, durante el Cretácico tardío (Tardy, *et al.*, 1994; Lapierre, *et al.*, 1992; Campa y Ramírez, 1979; Ramírez-Espinosa, *et al.*, 1991; Talavera-Mendoza y Suastegui, 2000). Otros lo consideran como un arco continental (De Cserna, 1978, Elías-Herrera y Sánchez-Zavala, 1999), y otros como un arco marginal (Centeno-García *et al.*, 2003).

El subterreno Zihuatanejo ocupa la parte sur-occidental del terreno compuesto Guerrero a lo largo de la costa del Pacífico e incluye la región de estudio. Está caracterizado por varios ensamblajes tectónicos, entre ellos un basamento Triásico-Jurásico inferior que corresponde a rocas asociadas a piso oceánico con sedimentos derivados de fuentes continentales (Centeno-García *et al.*, 2003). El primer evento de deformación que se registra en estas rocas es en el Triásico tardío o Jurásico temprano (Centeno-García *et al.*, 2003), y estuvo asociado a la colisión de la cuenca marina de Arteaga contra el continente. La acreción del Complejo Las Ollas (norte de la ciudad de Zihuatanejo) ocurre entre el Jurásico superior-Cretácico medio (Talavera-Mendoza *et al.*, 1993; Talavera-Mendoza, 2000), el cual a su vez está cubierto discordantemente por un conjunto de rocas originadas en un arco volcánico; en partes de origen submarino y en otras subaéreo, cuyas edades varían del Jurásico Tardío al Cretácico Tardío.

La actividad magmática se inició en tiempos distintos para los terrenos Zihuatanejo, Teloloapan y Arcelia durante el Titoniano, Hauteriviano y Albiano respectivamente (Centeno-García, *et al.*, 2003). Finalmente, la amalgamación de los arcos a la margen oeste del Sur de México se considera para el final de Cretácico (Campa y Ramírez, 1979).

Posterior a estos eventos de deformación, las rocas estudiadas en la región de Tiquicheo-Eréndira fueron depositadas en grandes cuencas continentales, a finales del Cretácico de forma discordante sobre las sucesiones volcánico-sedimentarias del Triásico y Jurásico-Cretácico (ver columnas estratigráficas en Lámina 1). El depósito de estas cuencas continuó probablemente durante el Cenozoico. Sin embargo no se tienen registros estratigráficos completos que permitan diferenciar los depósitos cretácicos de los reportados como de edad terciaria. Por último estas rocas han sido afectadas por varios eventos de deformación en régimen frágil, los cuales son el objetivo del presente estudio.

## *Antecedentes*

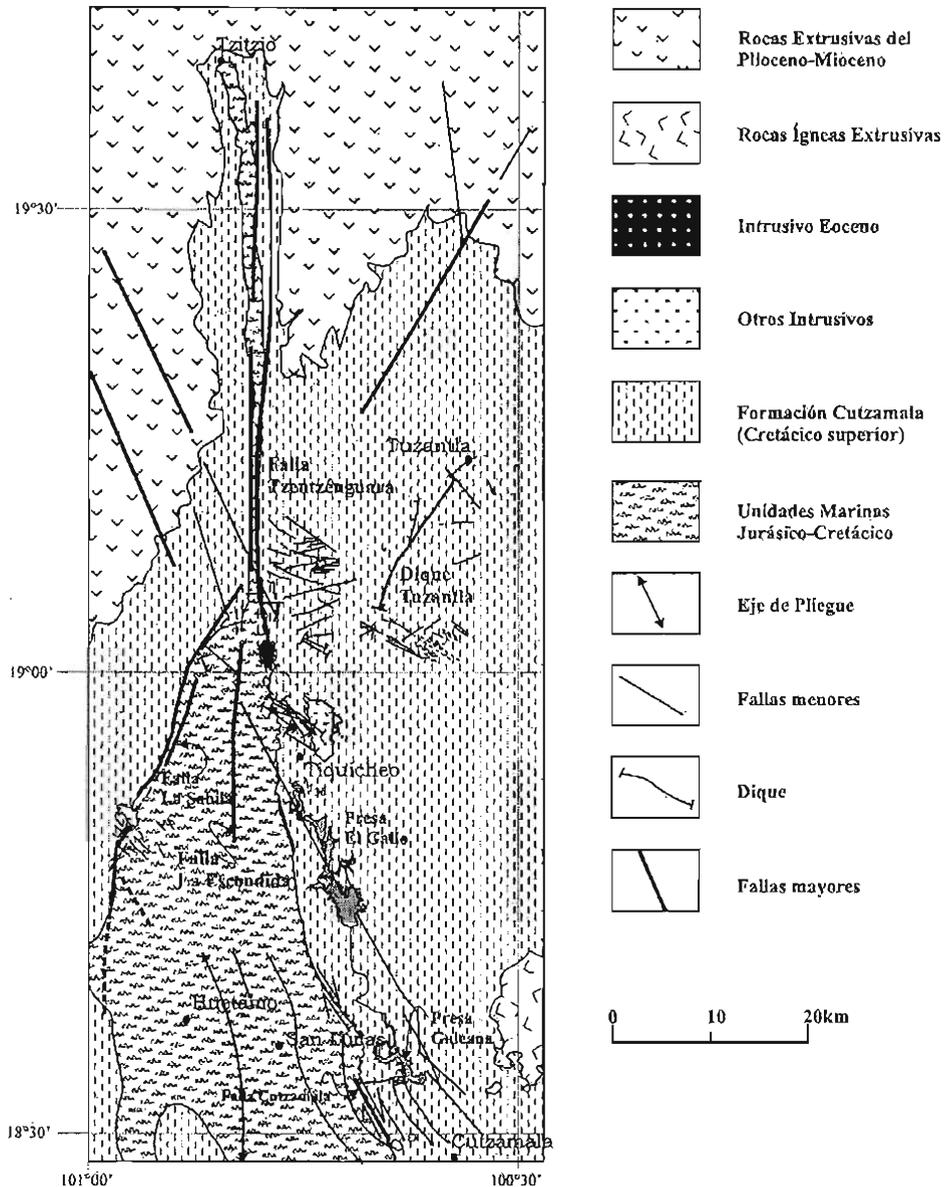
En la región de Tierra Caliente, donde se encuentra el área de estudio, situada en los límites entre los estados de Michoacán y Guerrero, se han llevado a cabo varios trabajos dirigidos a definir la geología de la zona. La mayoría de los trabajos se han enfocado al estudio de las rocas marinas del Jurásico-Cretácico (Pantoja-Alor, 1959; Campa, 1978; entre otros). Los trabajos orientados al estudio de las capas continentales que sobreyacen discordantemente a las rocas marinas (Lámina 1), son reducidos y aún menor es el número de trabajos realizados sobre la caracterización de la deformación que afecta a dichas rocas. Como el objetivo de este trabajo es la deformación posterior al depósito de los grandes paquetes continentales, no se detallan los trabajos previos orientados al estudio de las sucesiones marinas, y solo se hará mención de aquellos que aportaron datos para el conocimiento de los paquetes continentales posteriores a las sucesiones marinas, así como de su deformación.

En la década de los 70 varios trabajos geológicos describen las unidades continentales (capas rojas) de la región, en algunos casos éstas son mencionadas de forma breve (Demant *et al.*, 1975; Mauvois *et al.*, 1976; Mauvois, 1977; Campa, 1978; DeCserna *et al.*, 1978; DeCserna, 1978; Campa y Ramírez, 1979), la mayoría de estos trabajos se refieren a áreas que incluyen a Tiquicheo de forma marginal.

Demant y colaboradores (1975) realizaron un reconocimiento geológico al sur de Morelia y Maravatío, Michoacán, en el cual presentan la cartografía de esta área y además describen las unidades continentales que afloran al sur de Tzitzio, Michoacán. En este mismo trabajo hacen una correlación de las sucesiones continentales con el Grupo Balsas (Eoceno tardío-Oligoceno medio), y consideran que la deformación es Mioceno inferior-medio, sin presentar argumentos que apoyen esta interpretación, ya que no realizaron, ni estudios paleontológicos, ni estudios radiométricos de las rocas de la región.

Mauvois y colaboradores (1976), proponen a la estructura de Tzitzio como un anticlinal formado en el Mioceno, ubicado al sur del Cinturón Volcánico Mexicano, el cual tiene una orientación de N10°W y que se prolonga por más de 80km desde Tzitzio hacia el Sur con un ancho de ~ 10km. (Figura 4). Estos autores identifican en el núcleo rocas afectadas por metamorfismo que consideran de edad Jurásico-Cretácico (Mauvois *et al.*,

1976). La edad que ellos proponen para el plegamiento y formación del anticlinal es miocénica.



**Figura 4. Compilación cartográfica regional.** (Campa, 1978; DeCserna, 1982 y 1983; Menella et al., 2000; Altamira-Areyán, 2002; Morales-Gómez et al., 2004; Pantoja-Alor and Gómez-Caballero, 2003; Ferrari et al., 2004).

Los autores mencionados hasta aquí, interpretan a la estructura de Tzitzio como originada por eventos de acortamiento en su parte norte; mientras que al suroeste de la región Tiquicheo-Eréndira, Mauvois (1977), propone la existencia de un cabalgamiento

miocénico para explicar la posición estratigráfica de los paquetes de caliza marina encima de las sucesiones continentales que este autor consideró como de edad cenozoica. Sin embargo, Campa (1978) observa en el campo que las capas rojas se encuentran interestratificadas con los paquetes calcáreos, por lo tanto las capas rojas son de edad Cretácico y no Cenozoico como lo sugiere Mauvois (1977), por lo cual no existe cabalgadura y se trata de un contacto estratigráfico.

Este mismo autor (Campa, 1978) propone la existencia de varias fases de deformación: La primera que determina, la describe como una fase compresiva del Cenomaniano, la cual originó un plegamiento y foliación de las secuencias volcanosedimentarias del Cretácico Temprano. Una segunda fase de acortamiento que se superpone a la anterior y que es responsable de los grandes pliegues anticlinales y sinclinales de la región de Huetamo. Y por último una tercera fase extensional del Mioceno.

Islas y colaboradores (1989) proponen un pliegue de fondo para explicar la estructura de Tzitzio. Pasquarè y colaboradores (1991) mencionan que las rocas más jóvenes involucradas en la fase compresiva del anticlinal de Tzitzio, son del Mioceno temprano y fueron cubiertas discordantemente por depósitos volcánicos del Mioceno tardío; lo cual implica que la fase de acortamiento ocurrió antes del fin del Mioceno temprano. Los mismos autores proponen que, posterior al evento de acortamiento se tiene la intrusión de cuerpos ígneos, como es el caso del intrusivo Purungueo al cual le asignan una edad correspondiente al Mioceno sin realizar estudios geocronológicos (Pasquarè *et al*, 1991).

Menella y colaboradores (1994), asignan una edad Oligoceno-Mioceno para las capas rojas que afloran en la región y las correlacionan con el Grupo Balsas (este grupo fue propuesto por Fries (1960) para describir una serie de capas rojas en la región de Taxco y Tilizapota, Guerrero). Así mismo, proponen una deformación frágil que afecta a dichas rocas en el Paleoceno.

Como puede observarse, en la mayoría de los casos los trabajos previos presentan argumentos regionales y muchos de ellos asignan una edad a los eventos con base principalmente en correlaciones estratigráficas de unidades no fechadas.

Altamira-Areyán (2002) contribuye con un estudio detallado de las facies sedimentarias de las capas rojas y propone un modelo de ambientes de depósito para las

regiones de Tiquicheo y Cutzamala. Este mismo autor propone una edad paleocénica para dichas rocas (Altamira-Areyán *et al.*, 2000), sin embargo, Martín-Hernández (comunicación escrita) sugiere que los taxa de palinomorfos descritos por Altamira tienen un rango de edad más amplio que va del Cretácico Tardío al Paleoceno.

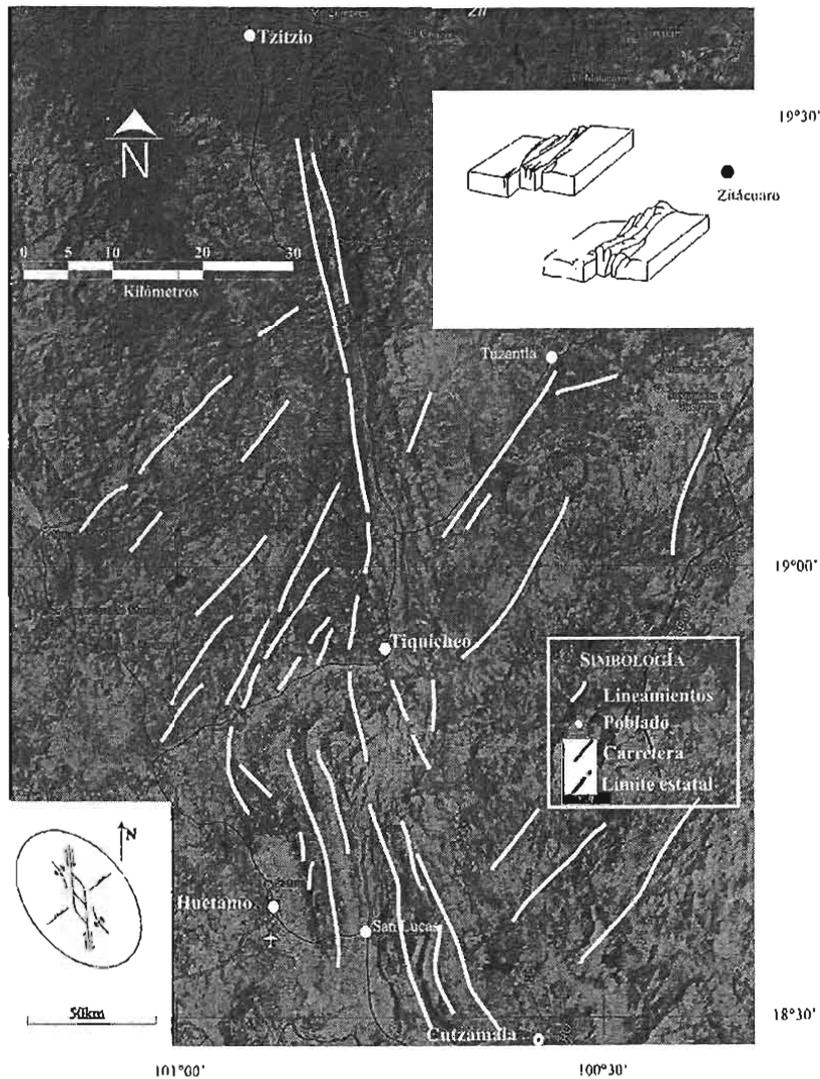
Altamira-Areyán (2002) documentó fallas asociadas a un evento transpresivo con una cinemática lateral derecha que afectaron a las sucesiones sedimentarias que describe para las regiones de Tiquicheo y Cutzamala. Sin embargo, en dicho trabajo la descripción de la geología estructural es breve y solo identifica que el evento de deformación es debido a movimientos laterales, sin realizar un estudio detallado de la deformación.

Finalmente, al norte de la región de estudio fueron encontrados restos fósiles de vertebrados del Cretácico Tardío, reportados por Benammi y colaboradores (2004) en la parte media de la sucesión sedimentaria continental, previamente considerada por todos los autores antes mencionados como del Cenozoico. Los restos fósiles consisten de la tibia de un dinosaurio conocido como *Hadrosaurio* (“Pico de Pato”), además de otros fragmentos de huesos de dinosaurio. Este reporte precisa la edad de las capas rojas de esta región, por lo que la edad de la deformación transcurrente está constreñida eventualmente a procesos tectónicos pos-cretácicos.

Desde un punto de vista estructural podemos considerar que existen dos interpretaciones básicas respecto al sistema de fallas Tzitzio-Altamirano, una que la asocian a eventos puros de acortamiento o bien a un pliegue de fondo (Mauvois, *et al.* 1976, Islas *et al.*, 1989, Garduño-Monroy, 1999), y otra en la cual se asocia dicha estructura con una deformación transcurrente (Altamira-Areyán, 2002).

En los trabajos previos la deformación en régimen frágil no había sido estudiada a fondo en la región de Tiquicheo-Eréndira. El rasgo estructural más importante de la zona fue concebido como parte de una deformación asociada a eventos de acortamiento, y expresado en superficie como un anticlinal definido al norte de la zona de estudio; en la región de Tzitzio (Figura 5, ver recuadros). Estos modelos se basaron principalmente en la morfología que se observa en las imágenes de satélite de esta región, así como a la disposición estratigráfica de las capas rojas que cubren a las rocas marinas. De esta manera, la disposición estructural de los estratos se interpretó como los flancos del anticlinal con su eje orientado hacia el NNW-SSE.

De los últimos trabajos realizados en la zona de estudio se tiene que la edad del cuerpo intrusivo de Purungueo, el cual se encuentra emplazado en las capas rojas de edad cretácica, es del Eoceno tardío (Ferrari *et al.*, 2004). Esto es un dato importante, ya que contribuye a constreñir eventualmente la edad de las fallas que se alinean con una dirección N-S.



*Figura 5. Lineamientos observados en la imagen de satélite. En ambos recuadros inferior izquierda (Altamira-Areyán, 2002) y superior derecha (Islas et al., 1988, Garduño-Monroy, 1999), se muestran las interpretaciones realizadas por autores previos, para explicar los lineamientos asociados a la estructura de Tzitzio. El esquema trata de mostrar parte de la recopilación de trabajos anteriores e interpretación fotogeológica. previos al trabajo cartográfico en campo y no muestra ninguna interpretación por parte del autor del presente estudio.*

## ***Objetivos***

El objetivo principal del presente trabajo fue estudiar la deformación que afecta a las rocas sedimentarias de origen continental del Cretácico Superior de la zona de Tiquicheo-Eréndira y definir la distribución regional, relación estructural y cinemática de los eventos de deformación pos-Cretácico Tardío registrados en dichas capas continentales. Para lo cual se establecieron una serie de objetivos particulares:

- Cartografía geológica y estructural de la región de Tiquicheo-Eréndira a una escala 1:50,000.
- Identificar la deformación registrada en las distintas unidades litológicas que afloran en la zona de estudio.
- Definir temporalmente las relaciones estructurales de los distintos eventos de deformación en las rocas del área de estudio.
- Definir por medio de la geometría de los sistemas de fallas frágiles la cinemática asociada a las estructuras mayores que afectan a las rocas Cretácico superior-Paleógeno de la región de Tiquicheo-Eréndira.
- Definir la relación entre el magmatismo y la deformación en el área estudiada.

## ***Metodología***

El estudio realizado en la región de Tiquicheo-Eréndira consistió en un reconocimiento regional de Tierra Caliente durante una campaña inicial, en la cual se hizo una delimitación general de la región de estudio y se definieron los objetivos principales. Durante esta breve campaña de dos días fueron localizados los primeros restos fósiles de fauna cretácica reportados por Benammi y colaboradores (2004). Así mismo se realizó una fotointerpretación preliminar a escala 1:50,000 y la interpretación de imágenes de satélite, con el objetivo de identificar los rasgos estructurales y lineamientos importantes.

Después se realizaron varias campañas de campo, la primera se hizo a localidades distribuidas en las áreas que cubren las cartas de INEGI: E14A44, E14A45, E14A54, E14A55, en las cuales se inició la cartografía geológica y la toma de datos estructurales.

Posteriormente los datos fueron procesados y se obtuvieron los primeros resultados a partir de un estudio estadístico de las estructuras mesoscópicas asociadas a la deformación registrada en cada una de las litologías cartografiadas. Con la segunda campaña se inició el trabajo relacionado a los objetivos particulares y específicamente se trabajó en la región de Tiquicheo-Eréndira, que está contenida en las cartas E14A44 y E14A54 editadas y publicadas por INEGI. En esta etapa se continuó con la cartografía a detalle de las unidades y la toma de datos estructurales, se revisaron algunas relaciones de corte y además se inició la cartografía de enjambres de diques que afloran en el área.

Los enjambres de diques se cartografiaron básicamente porque, por una parte presentan una relación directa con los eventos de deformación estudiados en esta tesis y por otra constriñen, por medio de relaciones de corte, la edad relativa del desplazamiento de las fallas. Durante el intervalo entre esta campaña de campo y la tercera se realizó un segundo análisis de fotointerpretación a detalle del área de estudio para refinar el mapa geológico e identificar los diques.

En la siguiente campaña se procedió a afinar la cartografía y se visitaron puntos de la zona en los cuales, por medio de la fotointerpretación, se observaban lineamientos de estructuras mayores. La cuarta campaña de campo consistió en caracterizar las fallas de mayor orden y ver las relaciones de contacto y su cinemática regional.

Por último, se complementó la cartografía de las trazas de los sistemas de fallas mayores en la parte norte de la zona de estudio, así como las relaciones de corte entre los sistemas estudiados y los eventos posteriores sucedidos en el área de estudio. En total se requirió un total de 59 días de campo para cartografiar la zona.

Con todos los datos recopilados se realizó un análisis estadístico-estructural de las fallas en cada una de las unidades cartografiadas, para tener un control sobre los eventos de deformación y verificar si era posible definir más de un evento o fase de deformación relacionado con los sistemas transcurrentes con orientación N-S encontrados. Finalmente se realizó una interpretación geométrica de la zona de cizalla a partir de los lineamientos mayores documentados en campo, junto con los datos obtenidos de trabajos previos y se generó un modelo de la deformación que afectó a las capas continentales de la región Tiquicheo-Eréndira.

## ESTRATIGRAFÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO

En el presente trabajo no se llevó a cabo el levantamiento de columnas estratigráficas detalladas. La mayoría de los nombres de las unidades fueron tomados de trabajos previos que otros autores realizaron en el área (Pantoja-Alor 1959, Campa y Ramírez, 1979; Altamira-Areyán, 2002). De manera general se puede dividir a las rocas de la región en tres conjuntos separados por dos fases de deformación regional importantes.

El conjunto de rocas más viejas que afloran en la zona de Tiquicheo-Eréndira son sucesiones de lutita-arenisca marinas, intensamente deformadas que probablemente se correlacionan con el Complejo Arteaga (Altamira-Areyán, 2002), y que se encuentran en la parte central de la zona de estudio. Esta unidad fue plegada y parcialmente metamorfozada antes del depósito de sucesiones sedimentarias y volcánicas marinas, que contiene además, intercalaciones de escasos paquetes continentales que afloran principalmente en la parte centro y suroeste de la región de estudio. Dichas unidades volcano-sedimentarias varían en edad del Jurásico Superior al Cretácico Inferior a medio, y se originaron en un ambiente de arco magmático submarino y parcialmente subaéreo; estas rocas integran parte del subterreno Zihuatanejo (Centeno-García *et al.*, 2003).

Las unidades volcano-sedimentarias del Jurásico-Cretácico, junto con la unidad más vieja, sufrieron un evento de plegamiento, con escasas fallas inversas y cabalgaduras, previo al depósito de los grandes paquetes de capas rojas. Estos últimos predominan hacia los extremos este y oeste de la zona estudiada. Dicha sucesión continental, que cubre discordantemente a todas las unidades anteriores, fue en parte depositada en el Cretácico Superior de acuerdo al contenido fósil reportado por Benammi y colaboradores (2004). La sucesión continental muestra una posterior intrusión de cuerpos hipabisales. Y a su vez, ambas rocas fueron intrusionadas por enjambres de diques, como se pudo apreciar en afloramientos de ambas litologías, principalmente a lo largo de la carretera Tiquicheo-Papatzingán al norte de Tiquicheo. La deformación presente en dichas rocas es el objetivo central de este estudio.

A continuación se hace una descripción breve de cada una de las unidades litológicas cartografiadas en la región de estudio. La lámina I muestra las columnas estratigráficas esquemáticas, así como la cartografía realizada en el área de estudio.

## ***Complejo Arteaga***

Las rocas más viejas que afloran en la zona de estudio presentan composiciones y estilos de deformación parecidos a las rocas que afloran al sur de Ciudad Altamirano, en los alrededores de Placeres del Oro. Estas rocas metamórficas presentan similitudes mineralógicas y características tectónicas semejantes a las rocas del Complejo Arteaga y fueron descritas como Formación Río Placeres por Pantoja-Alor y Gómez-Caballero (2003), y como Complejo Placeres por Centeno-García *et al.*, (1993) quién a su vez las describe como lutita negra intercalada con arenisca rica en cuarzo y pedernal negro. Estas rocas están fuertemente deformadas y en partes muestran metamorfismo de bajo grado. A su vez éstas se correlacionan con las rocas de la Formación Varales, que forma parte del Complejo Arteaga, definido por Centeno-García (1994) en la costa de Michoacán. La Formación Varales esta compuesta por sedimentos siliciclásticos, como lutita negra, arenisca rica en cuarzo y pedernal negro formando una secuencia rítmica (Centeno-García, 1994). El complejo Arteaga constituye el basamento del subterreno Zihuatanejo perteneciente al terreno Guerrero descrito por Campa y Coney (1983).

Las rocas que muestran similitudes con la Formación Varales (Centeno-García, 1994), y que afloran en el área de estudio se consideran de manera preliminar como Complejo Arteaga en este estudio (Figura 6). Dicha sucesión no fue cartografiada a detalle; sin embargo, se ubicaron puntos en los cuales afloran estas rocas. Su distribución se concentra, al norte, y en la parte central de la zona de estudio. Los principales afloramientos se encuentran al norte a partir del cerro Purungueo y es posible seguirlos hacia el norte hasta la localidad de El Devanador ubicado en la Hoja E14A34 de INEGI, donde la carretera corta afloramientos de esta sucesión. Al sur del área de estudio, los afloramientos se encuentran al sur del rancho de Las Juntas sobre la carretera Tiquicheo-Eréndira.

En las rocas que se correlaciona con el Complejo Arteaga que afloran en el área de estudio, no se han encontrado fósiles que permitan asignar una edad paleontológica al depósito. La similitud en el estilo de deformación y la petrografía son el único argumento que hasta ahora se tiene para sostener que estas rocas sean análogas a la Formación Varales del Complejo Arteaga, cuyo depósito ocurrió en el Triásico Tardío, esta edad se asignó con base en la presencia de fósiles de radiolarios (Centeno-García, 1994).



*Figura 6. Rocas del Complejo Arteaga localizadas en la parte central de la zona de estudio. En el extremo derecho de la imagen se observa uno de los cuerpos de cuarcita abudados típicos de esta unidad. Pueden observarse otros cuerpos de cuarcita en la parte centro superior de la imagen. Estos pertenecen a la primera fase de deformación y se encuentran plegados por una segunda fase. Esta última presenta desarrollo de crenulación y kink bands. Al centro en la parte inferior el lapicero (Elipse) indica la escala del afloramiento.*

No aflora la base de la lutita y cuarzoarenita, por lo cual el espesor se desconoce. Esta unidad se considera como el basamento de la zona e infrayace a las unidades de arco del terreno Guerrero. Las rocas de las formaciones Angao y San Lucas no diferenciadas, sobreyacen a la lutita y cuarzoarenita. El contacto que se observa cerca de la carretera Tiquicheo-Eréndira, (Lámina I) entre estas dos litologías es discordante ya que las capas de la unidad suprayacente se encuentran solo ligeramente inclinadas, en cambio, las rocas de la unidad inferior (Complejo Arteaga), presentan mayor intensidad de la deformación.

El contacto entre el Complejo Arteaga y el paquete de capas rojas de la Formación Cutzamala en las localidades donde se preserva es por medio de fallas laterales (Lámina I), estos contactos se localizan principalmente al norte de la región de Tiquicheo-Eréndira cerca del poblado de Tzentzenguaro y el cual fue descrito por Altamira-Areyán (2002). También, este mismo autor, sugiere que en el área de estudio el contacto fue probablemente discordante originalmente, ya que el conglomerado basal de dichas rocas continentales presenta clastos de cuarcita derivados del Complejo Arteaga (Altamira-Areyán, 2002).

Dicho fallamiento lo puso en contacto por falla con las rocas continentales del Cretácico tardío, como puede observarse en la localidad de Tzetzénguaró, donde fue descrito este contacto por primera vez por Altamira-Areyán (2002).

### ***Sucesión Volcano-Sedimentaria del Jurásico Superior-Cretácico Inferior***

Esta sucesión está integrada por varias formaciones que han sido descritas al sur del área de estudio (Pantoja-Alor 1959, Campa-Uranga, 1977; Campa y Ramírez, 1979; Guerrero-Suástegui, 1997; Omaña-Pulido y Pantoja-Alor, 1998; Buitrón-Sánchez y Pantoja-Alor, 1994; Buitrón-Sánchez y Pantoja-Alor, 1998). El mosaico de nombres de formaciones propuestas por varios autores no es claro, ya que al Este se propone una estratigrafía constituida por las formaciones Angao, San Lucas, El Cajón, y Mal Paso (Pantoja-Alor, 1959, 1990), y para rocas de la misma edad y litologías similares que afloran al occidente de la región se han propuesto los nombres de Formación Zirándaro, Comburindio, Turitzio y Huetamo (Alencaster y Pantoja-Alor, 1995). Todas estas unidades no han sido delimitadas superficialmente en el área donde fueron definidas (Zámudio-Ángeles *et al.* 2002).

Debido a que no es el objetivo de este trabajo, no se llevo a cabo una diferenciación y correlación estratigráfica entre dichas unidades y la sucesión volcano-sedimentaria que afloran en la región de Tiquicheo-Eréndira. A continuación se describen brevemente las características litológicas de las formaciones que afloran al sur del área objeto de este estudio, y la localización de afloramientos similares en el área de Tiquicheo-Eréndira. Dichas descripciones se basan en la revisión detallada de la estratigrafía realizada por Guerrero-Suástegui (1997). En el mapa de la lámina I no fueron diferenciadas las formaciones Angao y San Lucas.

### **Formaciones Angao y San Lucas**

La Formación Angao propuesta originalmente por Pantoja-Alor (1959) está constituida por una alternancia de arenisca, lutita y conglomerado. Campa (1977), incluye

en dicha unidad una serie de derrames basáltico-andesíticos que presentan estructuras de almohadilla además de arenisca tobácea y toba. Guerrero-Suástegui (1997) interpreta dicha unidad como depósitos turbidíticos. El mismo autor concluye, con base en los rangos de edad de los amonites y bivalvos que contiene, que la edad del depósito es Berrisiano - Valanganiano tardío.

La Formación Angao descansa de manera discordante sobre las rocas del Complejo Arteaga (o Formación Río Placeres) al sur de Ciudad Altamirano (Centeno-García *et al.*, 1993), y en el área de estudio en la carretera entre Eréndira y Tiquicheo. A su vez la Formación Angao está cubierta de forma transicional por la Formación San Lucas. Cabe resaltar que varios autores han comentado que es difícil separar la Formación Angao de la Formación San Lucas, ya que las litologías son iguales, la diferencia más importante es que la Formación San Lucas se depositó en ambientes más someros y contiene intercalaciones de caliza.

La Formación San Lucas fue definida por Pantoja (1959), como una sucesión clástica marina, formada por lodolita, lutita, arenisca y conglomerado, con intervalos intercalados de caliza con colores variados. Posteriormente Salazar (1975) la considera como Grupo San Lucas y la divide en Formación San Lucas Inferior, Caliza Comburindio y Formación San Lucas Superior. En cambio Guerrero-Suastegui (1997) sugiere que se continúe utilizando la definición de Pantoja-Alor (1959).

La Formación San Lucas en su área tipo, la cual se encuentra sobre la carretera que va de Cd. Altamirano, Guerrero a Huetamo, Michoacán cerca del pueblo de San Lucas (Pantoja-Alor y Gómez Caballero 2003; Pantoja-Alor *et al.*, 2004), está constituida por una alternancia de arenisca y lutita con escasos horizontes de conglomerados y que llega a presentar horizontes de toba. La sucesión fue depositada principalmente por corrientes turbidíticas y contiene abundantes fósiles, entre ellos amonites, nerineas, plantas y madera, además de abundantes microfósiles. Esta unidad es interpretada por Guerrero-Suastegui (1997) como depósitos marinos someros a costeros. Con base en el contenido fósil se considera que la Formación San Lucas tiene una edad del Valanginiense al Aptiano Tardío (Guerrero-Suastegui, 1997).



*Figura 7. La Formación San Lucas está cubierta discordantemente por los depósitos continentales de la Formación Cutzamala cerca del puente sobre el Río Purungueo, al sur del pueblo de Tiquicheo.*

La Formación San Lucas está en contacto transicional con las Formaciones Angao (más antigua) y Comburindio (más joven). Además, está cubierta discordantemente por los depósitos continentales de la Formación Cutzamala (Altamira-Areyán, 2002), (Figura 7). Las areniscas y conglomerados de ambas formaciones, tanto Angao como San Lucas, presentan como componente principal de sus clastos, fragmentos de andesita y basalto, seguidos en abundancia por feldespatos y fragmentos de arenisca de cuarzo y esquistos.

En el área de estudio la mayor parte de los afloramientos de rocas cretácicas observados a lo largo de la carretera Tiquicheo-Eréndira, coinciden litológicamente con las descripciones de las formaciones Angao y San Lucas (Figura 8), al sur de Eréndira fueron identificados fósiles marinos en la localidad de Los Llano (Valdez-Gómez, 1984), asociados con la Formación San Lucas. Hacia el centro y este del área de estudio afloran sucesiones rítmicas de lutita y arenisca volcánicas, intercaladas con derrames y brechas andesíticas y paquetes de conglomerados formados en su totalidad por clastos volcánicos. Las estructuras primarias sugieren que estas rocas fueron depósitos de turbiditas y confirman un ambiente marino similar al descrito para las formaciones Angao y San Lucas hacia el sur.



*Figura 8. Rocas de la Formación San Lucas, sobre la carretera que va de Tiquicheo a Eréndira en estas se observan estructuras asociadas a fallas normales, las cuales tienen una orientación aproximada hacia el E-W y forma arreglos de fallas conjugadas.*

Los afloramientos de estas rocas se observan también al Norte, sobre el río Purungueo, hasta las cercanías del pueblo con el mismo nombre. Al norte de la zona de estudio los afloramientos están limitados por zonas de fallas laterales y su distribución superficial se reduce a unos pocos centenares de metros a lo largo de una franja que corre con una dirección norte-sur y que contrasta en el sur por la gran distribución superficial que tienen estas unidades marinas.

## **Formación Comburindio<sup>2</sup>**

Los diversos paquetes calcáreos que afloran a diferentes niveles de la columna estratigráfica, pero que se concentran hacia la cima de la sucesión volcano-sedimentaria,

---

<sup>2</sup> En algunos artículos de descripciones estratigráficas y geológicas se ha encontrado que se usa indiscriminadamente el nombre de Formación Cumburindio/Comburindio por ejemplo en Alencaster y Pantoja-Alor (1988) se usa Cumburindio en el mapa de localización, mientras que en el texto se le da el nombre de Formación Comburindio. Otro ejemplo es en Pantoja-Alor y Gómez-Caballero (2003) donde se verifica lo contrario, en el texto es Cumburindio mientras que en las figuras aparece Cumburindio y Comburindio. En este texto se empleará el nombre de Formación Comburindio ya que es la forma correcta del nombre de la población en la cual afloran las rocas.

han sido descritos con diferentes nombres por distintos autores (Formación Morelos, El Cajón, Mal Paso, o Huetamo). En este trabajo se adoptó el nombre de Formación Comburindio propuesto por Salazar (1975), porque es ampliamente utilizado por Pantoja y otros autores en diversas publicaciones (Alencaster y Pantoja-Alor, 1995; Pantoja-Alor y Gómez-Caballero, 2003), para las rocas que afloran en el área de estudio, por sus similitudes litológicas con las rocas aflorantes en la región de Comburindio.

En la localidad tipo del pueblo de Comburindio, la Formación Comburindio está constituida por caliza masiva y caliza detrítica en estratos que van de masivos a delgados. En ocasiones se encuentra intercalada con horizontes de lodolita o arenisca volcánica. Texturalmente, la caliza varía de packstone, a wackstone biogénicos con intercalaciones de bounstone de rudistas. Hacia el este de la región de Huetamo, esta unidad presenta intercalaciones de paquetes de conglomerado formados por clastos volcánicos (Alencaster y Pantoja-Alor, 1995). Una de las características principales de esta unidad es su abundante fauna fósil que consiste en nerineas, casiopidos, rudistas, y amonites, además de foraminíferos (Alencaster y Pantoja-Alor, 1995; Guerrero-Suastegui, 1997).

La edad asignada a esta formación con base en los rangos estratigráficos de los fósiles que contiene es Aptiano tardío-Albiano (Guerrero-Suastegui, 1997; Omaña-Pulido y Pantoja-Alor, 1998). Esta formación sobreyace a la Formación San Lucas de manera concordante y transicional y está cubierta discordantemente por los depósitos continentales de la Formación Cutzamala (Altamira-Areyán, 2002).

En el área de estudio hay una sucesión de estratos conglomeráticos que cambian hacia la cima a un paquete de rocas calcáreas. El paquete conglomerático se consideró por algunos autores como parte del Grupo Balsas (Mauvois, 1977), Estas rocas afloran hacia la parte suroeste del área de estudio. Su distribución total se desconoce, ya que se extiende hacia el sur y sus límites quedan fuera de los sitios cartografiados en este trabajo. Este paquete está formado por clastos angulosos a subredondeados que proceden de rocas volcánicas y arenisca.

En la parte superior se encuentra en contacto transicional con un grueso paquete de caliza. Dicho contacto puede observarse al sur de Ócuaro, así como en Sacanguerete (Figura 9). La parte superior de la caliza es masiva donde se observa un abundante contenido de fósiles marinos de edad albiana (moluscos, nerineas, rudistas y turritelas).

Ambos paquetes, el conglomerático y el calcáreo, coinciden con las descripciones de la Formación Comburindio y además contiene fósiles que en su mayoría están representados por organismos similares a los descritos en Alencaster & Pantoja-Alor (1998), y en Buitrón y Pantoja-Alor (1998) para la Formación Comburindio (B. Buitrón, comunicación escrita, 2005, ver anexo I), por lo cual en el presente trabajo se incluyen en dicha formación.



*Figura 9. Contacto transicional entre las rocas conglomeráticas y calcáreas de la Formación Comburindio. Cerca del poblado de Sacanguerete. La matriz esta constituida por arenisca calcárea que soporta a clastos de composición ígnea y sedimentaria.*

El espesor total de las Formaciones Angao, San Lucas y Comburindio no se conoce con precisión, pero de acuerdo a los cálculos realizados por otros autores , al sur del área de estudio (Pantoja-Alor, 1990) y sintetizados en el trabajo de Centeno-García (1994) éste es menor a 1,450m en la parte central de la región de Huetamo. En cuanto al espesor de estas rocas en el área de estudio, se desconoce debido a que las unidades están afectadas por fallas en los afloramientos visitados. Se estima, con base en el relieve topográfico, que este paquete tiene un espesor aproximado de 1,000m medido en la zona cercana al pueblo de Eréndira.

## ***Rocas Continentales del Cretácico Superior-Paleógeno.***

Las facies sedimentarias continentales del Cretácico Superior (Benammi, *et al.*, 2004), han sido bien definidas en la zona de Tiquicheo-Eréndira en el sector oriental del área cartografiada por Altamira-Areyán (2002). Estas rocas pertenecen a la Formación Cutzamala la cual fue descrita por Campa y Ramírez (1979) en la región de Cutzamala Guerrero. En la región occidental del área de estudio afloran facies sedimentarias que pueden ser correlacionadas con las facies descritas por Altamira-Areyán (2002). A continuación se describen las rocas continentales del Cretácico Superior-Paleógeno, las cuales fueron cartografiadas como Formación Cutzamala sector oriental (Lámina I). Los cuerpos intrusivos serán descritos en el capítulo de cuerpos ígneos y su relación con la deformación.

### **Formación Cutzamala**

#### *Sector Oriental de la Zona Tiquicheo-Eréndira*

Estas rocas fueron descritas por Altamira-Areyán (2002) como una asociación de facies sedimentaria, todas depositadas en un ambiente fluvial. Están formadas por una alternancia de arenisca y conglomerado, agrupadas en cinco facies distintas, todas ellas son concordantes entre sí y con cambios transicionales, las cuales se describen brevemente a continuación, de la base la cima:

Asociación de facies La Cañita 3: Es la parte basal de las facies descritas por Altamira-Areyán (2002) en la región de Tiquicheo. Está compuesta por arenas de grano grueso con lentes conglomeráticos, y horizontes de conglomerados y areniscas estratificados. Se distribuye en una franja con una orientación norte-sur, ubicada en la parte occidental del área de Tiquicheo. Al norte del Cerro Purungueo, está en contacto por falla con rocas de la Formación Varales, y hacia el sur descansa discordantemente sobre las unidades marinas del Jurásico-Cretácico (formaciones Angao-San Lucas-El Cajón). Al Este

la relación de contacto con la facies Tzentzenguaro que las sobreyace es transicional. La facies La Cañita 3 tiene un espesor aproximado de 700m.

Asociación de facies Tzentzenguaro: Representa una transición de depósitos conglomeráticos de las barras, hacia las zonas planas adyacentes a los canales fluviales, con desarrollo de paleosuelos. El tipo de desbordamiento que sufren, produce sabanas efímeras de agua con carga de sedimentos finos lo cual produce rizaduras o laminaciones cruzadas de arena fina. Está compuesta principalmente por arenisca con lentes conglomeráticos y limolitas con laminación cruzada. Esta facies es la transición arenosa entre la facies La Cañita 3 y la facies fina Tiquicheo 1, y tiene un espesor aproximado de 430m.

Asociación de facies Tiquicheo 1: Esta formada por interestratificaciones de capas delgadas a laminares de arenisca fina a limolita, con muy escasos lentes de conglomerado. En algunas zonas se pierde la estratificación, y en general presenta abundantes restos de raíces. Esta facies presenta características típicas de planicies de inundación, con el desarrollo de horizontes de suelo. Su espesor aproximado es de 1300m y presenta contactos transicionales con las facies Tzentzenguaro y El Cirián.

Asociación de facies El Cirián: Esta asociación está constituida por una alternancia de arenisca y arenisca con limolita, así como, conglomerados masivos matriz soportados. Hacia la base, los conglomerados están formados principalmente de clastos calcáreos, y este paquete es muy similar a la parte basal de la facies Eréndira-El Carrizal de la parte occidental del área de estudio. Esta facies representa depósitos resultado del desbordamiento de causas fluviales. Está cubierta por rocas volcánicas y volcanoclásticas de la facies Los Bonetes y tiene un espesor ~ 500m.

Asociación de facies Los Bonetes: La parte basal consiste de derrames y brechas volcánicas de composición andesítica a riolítica y hacia la parte media de la facies se observan conglomerado, brechas volcánicas, arenisca volcánica, caliza y limolita. Esta facies se originó de depósitos fluviales y palustres limitados por horizontes de paleosuelos. Sus contactos son transicionales, y, presenta un espesor aproximado de 2260 m. En esta unidad fueron localizados los restos fósiles de dinosaurio reportados por Benammi y colaboradores (2004) en la barranca de Los Bonetes al norte de Tiquicheo (Figura 10).

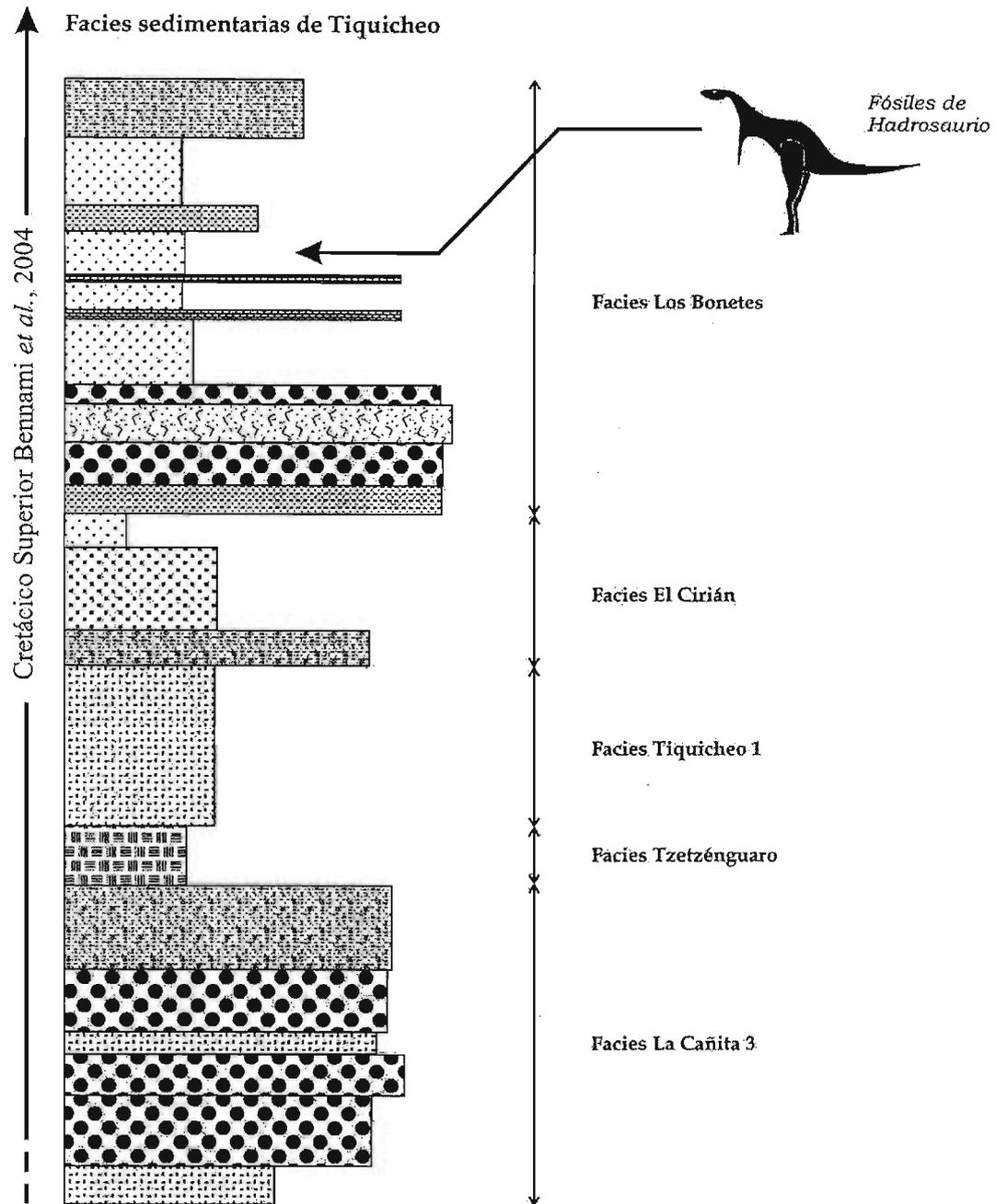


Figura 10. Columna estratigráfica simplificada de Altamira-Areyán (2002), donde se ubica la facies dentro de la cual se encontraron los restos fósiles de un hadrosaurio (Benammi et al., 2004).

La edad asignada a estas facies ha sido ampliamente discutida por varios autores, por ejemplo Campa (1978) regionalmente asigna una edad del Cretácico Superior, mientras que Menella y colaboradores (1994) ubican a las rocas de la zona de Papatzingán en el

Terciario. En este sentido Altamira-Areyán (2002) les asigna una edad del Paleoceno tardío, con base en la diversidad de los taxa de palinomorfos encontrados, sin embargo, como ya se mencionó en los antecedentes, la edad basada en los taxa de palinomorfos se extiende en su límite inferior, es decir hacia el Cretácico (Martínez-Hernández, 2004 comunicación escrita). Por último los restos fósiles encontrados en la facies Los Bonetes precisan una edad del Cretácico Superior para estas facies sedimentarias. En este sentido solamente se espera corroborar esta edad por medio de fechamientos radiométricos.

### *Sector Occidental de la Región Tiquicheo-Eréndira*

En la cartografía del sector occidental no se diferenciaron todas las facies que identifica Altamira-Areyán (2002) en el sector oriental, por lo cual esta sucesión agrupa varias litologías que posiblemente corresponden a depósitos continentales análogos a las facies sedimentarias de la región Este. Las rocas de la parte inferior están constituidas por capas conglomeráticas intercaladas con capas de arena de grano grueso con un alto contenido de fragmentos volcánicos y de areniscas de cuarzo. La sucesión presenta en las cercanías del pueblo de Quenchendio sobre el lecho del arroyo estratos con estratificación cruzada, rellenos de canal y en algunos casos estratificación delgada. Su composición y características sedimentarias sugieren que estas unidades pueden ser la continuación hacia el oeste de las facies La Cañita y Tzetzéngaro descritas por Altamira-Areyán (2002)

En la región de Janindipo, al noreste del área, y cerca del pueblo de Purungueo en la parte oeste del STTF-A, aflora una sucesión de arenisca y limolita, en estratos delgados a laminares, con estructuras primarias y ambiente de depósito similares a las de la facies Tiquicheo I del sector oriental.

Al noroeste de Quenchendio las facies sedimentarias se tornan más conglomeráticas, presentan además de clastos de volcánicos (andesíticos) y areniscas, clastos de caliza (Figura 11). La sucesión se continua al oeste con un cambio gradual de areniscas volcánicas a conglomerados y brecha volcánica. Estas rocas no presentan una estratificación bien desarrollada, como lo muestran las unidades que la subyacen. Por su composición y características de la sedimentación, esta unidad se correlaciona de manera preliminar con las facies Cirián y Bonetes de la margen oriental del área de estudio.

La orientación de los estratos es aproximada al NNE-SSW y su buzamiento varia de 56° hacia el NW a subverticales. Esta formación está en contacto por falla lateral con las unidades marinas de las formaciones Angao San Lucas no diferenciadas. Hacia el Oeste no se tiene documentado la relación estratigráfica con precisión, así como tampoco el espesor que tiene esta sucesión, debido básicamente a que el límite superior de ésta no fue observado en el área cartografiada.



*Figura 11. Conglomerado cercano a la parte basal de las rocas sedimentarias del sector occidental, el cual presenta lentes conglomeráticos de clastos calcáreos en un arreglo anastomosado. Nótese la escala (lapicero al centro izquierda de la imagen).*

### **Unidad El Aguacate.**

Esta unidad se describió en la ladera norte del cerro El Aguacate, y en la cima del cerro La Empina (Figura 12). Es un conglomerado compuesto por clastos de arenisca, volcánicos (andesíticos), cuarzo y granito sub-redondeados. La matriz está compuesta por arenisca de grano grueso. Los estratos presentan una gradación normal. Esta unidad también incluye estratos de arenisca gruesa. Se localiza al noreste del pueblo El Potrero y se distribuye a lo largo de una franja que tiene una dirección NE-SW.



*Figura 12. Estratos de la Unidad del Aguacate observados en la cima del cerro La Empina.*

Estas rocas se describen de manera independiente porque presentan diferencias en la composición de los clastos, con respecto a la composición de los clastos de la Formación Cutzamala, ya que no muestran clastos calcáreos y contienen fragmentos de andesita y dacitas, además, los clastos son más angulosos que los clastos en las facies de la Formación Cutzamala. Por otra parte, presenta diferencias en las estructuras primarias y ambiente de formación con respecto a las observadas en la Formación Cutzamala o en la Formación Comburindio que la subyacen (Lámina I). Al noroeste del área, la unidad El Aguacate está en contacto por falla con las rocas marinas de la Formación Angao-San Lucas no diferenciadas, mientras que en la ladera Este del cerro La Empina la relación de contacto con estas mismas unidades es una discordancia angular. Hacia el sur el contacto con el miembro conglomerático de la Formación Comburindio no se observa de manera clara, pero se distingue una diferencia entre el echado de las capas rojas El Aguacate respecto a la unidad conglomerática que la subyace (Formación Comburindio) (Lámina I). El espesor total de esta sucesión no fue medido a detalle pero se estima por la diferencia en elevación, que los afloramientos tendrán un espesor de ~ 400m. La edad de estos conglomerados no pudo determinarse, básicamente debido a la ausencia de restos fósiles. Por su estratificación subhorizontal, que contrasta con la inclinación de las capas rojas de la Formación Cutzamala, se infiere que la Unidad El Aguacate es más joven que la Formación Cutzamala que la subyace.

## GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Las rocas que afloran en la región Tiquicheo-Eréndira presentan varias etapas y estilos de deformación. En las sucesiones más viejas la deformación predominante está asociada a plegamiento, y presentan además metamorfismo de bajo grado. Las rocas de la Formación Cutzamala, así como los cuerpos intrusivos están deformados por eventos ocurridos en régimen frágil. En este capítulo se describen los sistemas de fallas que se hospedan principalmente en las rocas sedimentarias continentales de la Formación Cutzamala, que sobreyacen al Complejo Arteaga y a las formaciones Angao, San Lucas y Comburindio.

Para el estudio de las fallas a nivel regional se revisaron fotografías aéreas a escalas 1:50,000, en las cuales se analizó la disposición de los lineamientos. En la imagen de satélite (de la región de estudio, escala 1:250,000) se observan lineamientos con varias orientaciones, pero predominan los rasgos estructurales que se alinean con una dirección N-S y que remarcan el relieve de la estructura de Tzitzio. En las fotografías aéreas algunos de estos lineamientos pueden ser observados con mayor detalle (INEGI, Escala 1:50, 000), y se hacen evidentes otros rasgos estructurales y lineamientos con orientaciones NE-SW, NW-SE (Figura 13), así como lineamientos regionales que corren con una dirección WNW-ESE, hacia el Este de la región de Tiquicheo-Eréndira. Estos lineamientos son subparalelos a las fallas donde fueron emplazados enjambres de diques y que se observan sobre la carretera que va de Tiquicheo al Limón de Papatzingán y que cortan a las sucesiones de capas rojas de la Formación Cutzamala.

En campo fueron verificados varios de estos lineamientos. Se identificaron principalmente las zonas de fallas de magnitud regional que tienen una orientación que coincide con los lineamientos N-S observados en fotos aéreas e imagen de satélite. Los datos estructurales tomados en los afloramientos se emplearon para determinar la cinemática de las fallas. Los indicadores cinemáticos utilizados para definir el sentido del movimiento fueron estrías y escalones sobre la superficie de falla (Doblas, 1999), vetillas de cuarzo y grietas de tensión, así como pliegues de arrastre.



Las zonas de cizalla asociadas a movimientos laterales han sido documentadas en varias partes del mundo. Los estudios realizados en ellas, han concluido que presentan arreglos complejos de la deformación. En los cuales se combinan efectos provocados por acortamiento y extensión simultáneos en diferentes zonas a lo largo de la línea de falla. Estos arreglos pueden generar en las rocas fenómenos de transcurrencia convergente o también conocidos como efectos debido a la transpresión. El término transcurrencia convergente se emplea en este texto en lugar del término de transpresión. Este último término implica generalmente estudios dinámicos. Mientras que en nuestro análisis estructural no se tomó en cuenta la dinámica de la deformación. Más bien el estudio se basó en las relaciones geométricas de las fallas para estudiar la cinemática del SFTT-A. Puede verse una discusión con más detalle relacionada con la terminología empleada en la relación esfuerzo-deformación en una serie de tres artículos (Marret and Peacock, 1999; Pollard, 2000 y Peacock and Marret, 2000).

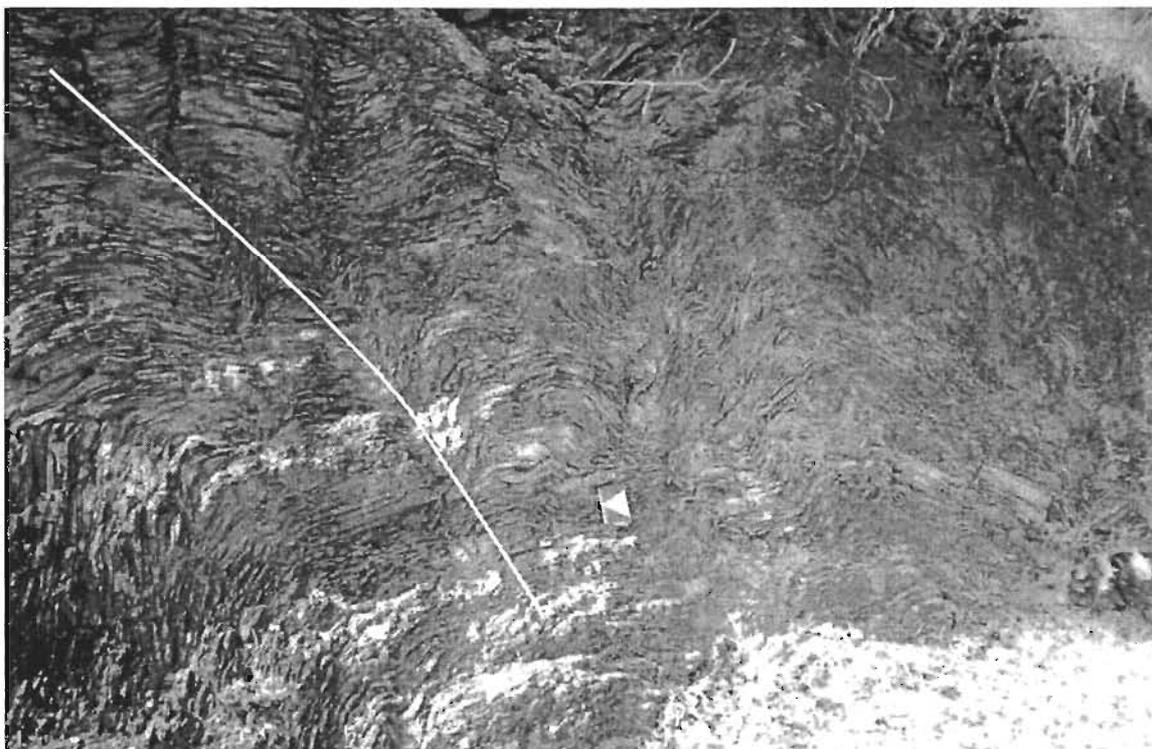
A continuación se hace una breve descripción de las fases de deformación previas al fallamiento frágil que se observa en la región de estudio y que ocurre principalmente en las rocas relacionadas al Complejo Arteaga y las formaciones San Lucas y Angao. Posteriormente se detallan las fallas mayores y estructuras asociadas al evento de deformación frágil, objetivo de esta tesis.

### **Rocas polideformadas del Complejo Arteaga y formaciones Angao San Lucas no diferenciadas**

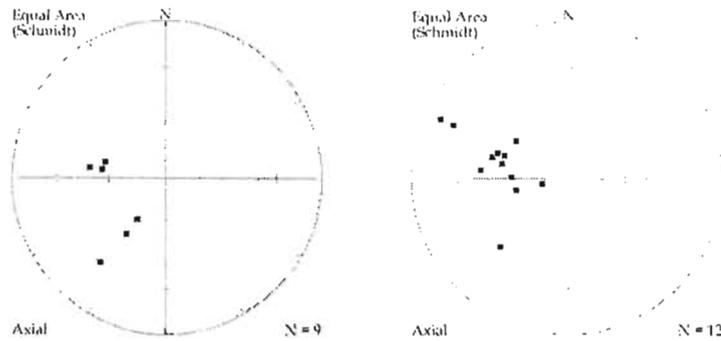
En este trabajo no se estudiaron a fondo las fases de deformación en las rocas basales que afloran en el área de Tiquicheo-Eréndira. Sin embargo, se observó en el campo que las secuencias de lutita-cuarcita correlacionables con el Complejo Arteaga (Altamira-Areyán, 2002) muestran una deformación y metamorfismo similar a los descritos para esa unidad en otras áreas (Centeno-García, 1994) como se describió en la sección anterior. En los afloramientos visitados se registró que las estructuras son principalmente foliación incipiente de plano axial, pliegues isoclinales, pliegues de funda y planos de cizalla subparalelos a la estratificación (Figura 14). También se presentan localmente lentes de

cuarcita abudados dentro de una matriz lutítica intensamente deformada. Localmente hay crecimiento de minerales metamórficos de la facies de esquistos verdes.

Las rocas de las formaciones Angao, San Lucas y Comburindio muestran una fase de plegamiento con una aparente dirección de acortamiento NNW-SSE, inferida en la zona de estudio por la actitud de las capas (Figura 15). Entre las estructuras asociadas a esta deformación se observaron pliegues abiertos regionales, pliegues tipo chevron, con desarrollo de clivaje de plano axial, y desarrollo de kink bands. Dicho plegamiento también afecto a las rocas del basamento (Complejo Arteaga, el cual presenta pliegues replegados y kink bands con la misma orientación que los observados en las unidades cretácicas que la sobreyacen (Figura 14). No se realizo un estudio detallado de estas fases de deformación porque no es el objetivo de este estudio.



*Figura 14. Estilo de deformación de las rocas del Complejo Arteaga localizadas en la parte central de la zona de estudio. Las cuales representan las rocas basales de la región, en ellas se observan pliegues isoclinales de la primera fase de deformación. La línea blanca indica la actitud de los planos de crucero tipo kink bands, asociados a la segunda fase compresiva, esta última se observa también en las rocas del arco Ju-K. Al centro el cuaderno muestra la escala.*

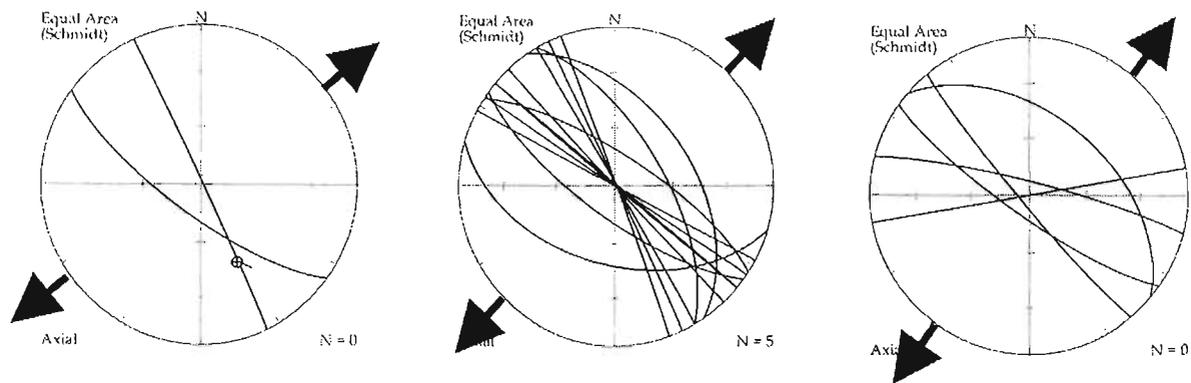


**Figura 15.** Ambos diagramas muestran los polos de los planos de estratificación medidos a lo largo de dos caminamientos en las rocas de las Formaciones Angao-San Lucas no diferenciadas. Los datos fueron medidos en la parte central del área de estudio. En las estaciones T-82, T-97, T-98, T-99, T-100, T-103, T-104, T-105, T-101, T-102, T-83, T-84, T-85, T-86, T-87, T-94, T-95, T-89, T-88, T-92, T-93. Para ver la ubicación de las estaciones consultar anexo II.

### **Sistema de Fallas Normales Sector Suroeste Región de Eréndira**

En la parte suroeste de la región de Tiquicheo-Eréndira se observa un sistema de fallas normales con una dirección hacia el WNW-ESE (Lámina I, figura 16). Las cuales forman horts y grabens en las rocas de la Formación Comburindio. La longitud de cada una de las fallas normales en el área cartografiada es menor a 3km.

Estas fallas se observan a lo largo de un tramo de la carretera Tiquicheo-Eréndira. Una de estas fallas se localiza a 2km hacia el WSW del poblado de El Potrero, tiene una dirección N65°W y un buzamiento de 65° hacia el NE, y deforma a rocas calcáreas. Cerca de la carretera antes mencionada y aproximadamente a 1km de El Potrero en la misma dirección que la falla anterior se midió otra falla normal con una orientación hacia el N50°W y con un plano de 90°. El contacto entre las rocas de la Formación Comburindio y La Formación San Lucas ubicada al noreste del poblado de El Potrero, es por falla y tiene una dirección promedio de N50°W y con un buzamiento de 85° hacia el SW. Sobre el tramo de carretera ya mencionado en una zona sinuosa se observa un arreglo conjugado de fallas que forman un graben con un desplazamiento vertical de ~10 metros de las rocas conglomeráticas de la Formación Comburindio respecto a las rocas de la Formación San Lucas.



*Figura 16. De izquierda a derecha los diagramas muestran la traza ciclográfica de los planos de falla normales medidos en la estación T-353 en rocas conglomeráticas. Este diagrama está compuesto por planos medidos en varias estaciones en rocas calcáreas y conglomeráticas, y el último diagrama presenta los planos de fallas normales en caliza de la estación T-24, y que corresponden a fallas normales. Todas las estaciones ubicadas en rocas de la Formación Comburindio.*

La edad de esta deformación se desconoce. En los puntos de verificación las fallas normales no cortan a las rocas de la Unidad El Aguacate, la cual sobreyace a los planos de falla y no permiten establecer una edad relativa para la deformación. Tampoco se observa su propagación hacia las rocas de la Formación Cutzamala que afloran en esta zona, por lo cual se infiere que probablemente son más antiguas que el depósito de la Formación Cutzamala (Cretácico Tardío).

### **Sistema de Fallas Transcurrentes Tzitzio-Altamirano**

Las sucesiones de la Formación Cutzamala muestran a escala regional un basculamiento en forma de una estructura antiformal, que fue originalmente descrita como el Anticlinal de Tzitzio.

El Sistema de Fallas Transcurrentes Tzitzio-Altamirano (SFTT-A), el cual forma un sistema angosto de fallas separadas entre sí por distancias que van de los 500 a los 1,000 metros en algunas zonas de la región de estudio, principalmente al norte y oeste. Se ramifica formando un complejo de fallas que corta a la estructura que se observa desde Tzitzio hasta el Limón de Papatzingán. Localmente se observa un arreglo trenzado de las

fallas del lado occidental, en la zona norte y sur de la falla de La Sábila. Mientras que al este la deformación se concentra en fallas que siguen trayectorias más o menos lineales, aunque localmente se observan pequeños bloques (entre 1 y 3m de diámetro) de diferentes litologías mezclados en arreglo trezado. A continuación se hace una descripción de las fallas relacionadas con el SFTT-A.

### Falla La Sábila

La falla La Sábila forma parte de un sistema de fallas subparalelas (Figura 17). Este sistema se localiza en la zona oeste de la región Tiquicheo-Eréndira y presenta una orientación NNE-SSW y buzamiento subvertical. Es una falla que sirve de contacto a varias litologías. La cual no había sido reportada en trabajos anteriores. Tiene una longitud en el área de estudio de ~ 35km. Y se localiza al oeste de la región de Tiquicheo-Eréndira. Esta falla se estudió en tres sectores: Sur, Central y Norte. Al norte de la región de estudio la falla; una vez que se une al resto de las fallas del SFTT-A a la altura del pueblo de Tzetzénguar; se continua hacia el norte hasta el poblado de Tzitzio. Mientras que al sur se desconoce hasta donde se prolonga.

#### *Sector Sur*

En el sector sur del área de estudio, la falla tiene una dirección N-S, el principal rasgo morfológico-estructural que se observa es que la deformación no se concentra en un solo plano de falla, sino en un conjunto de planos que dan lugar a varios acñamientos tectónicos de la caliza del miembro superior de la Formación Comburindio (Figura 18). Estos acñamientos le dan en planta, la forma de proas de barco al patrón de afloramiento de la caliza, rodeadas por las capas rojas, mismo que se observa claramente en la región cercana al pueblo de Eréndira (Figura 18). Las cuñas tectónicas fueron interpretadas por Mauvois (1977) como remanentes de una zona de cabalgadura miocénica denominada “El Testigo de Eréndira”.

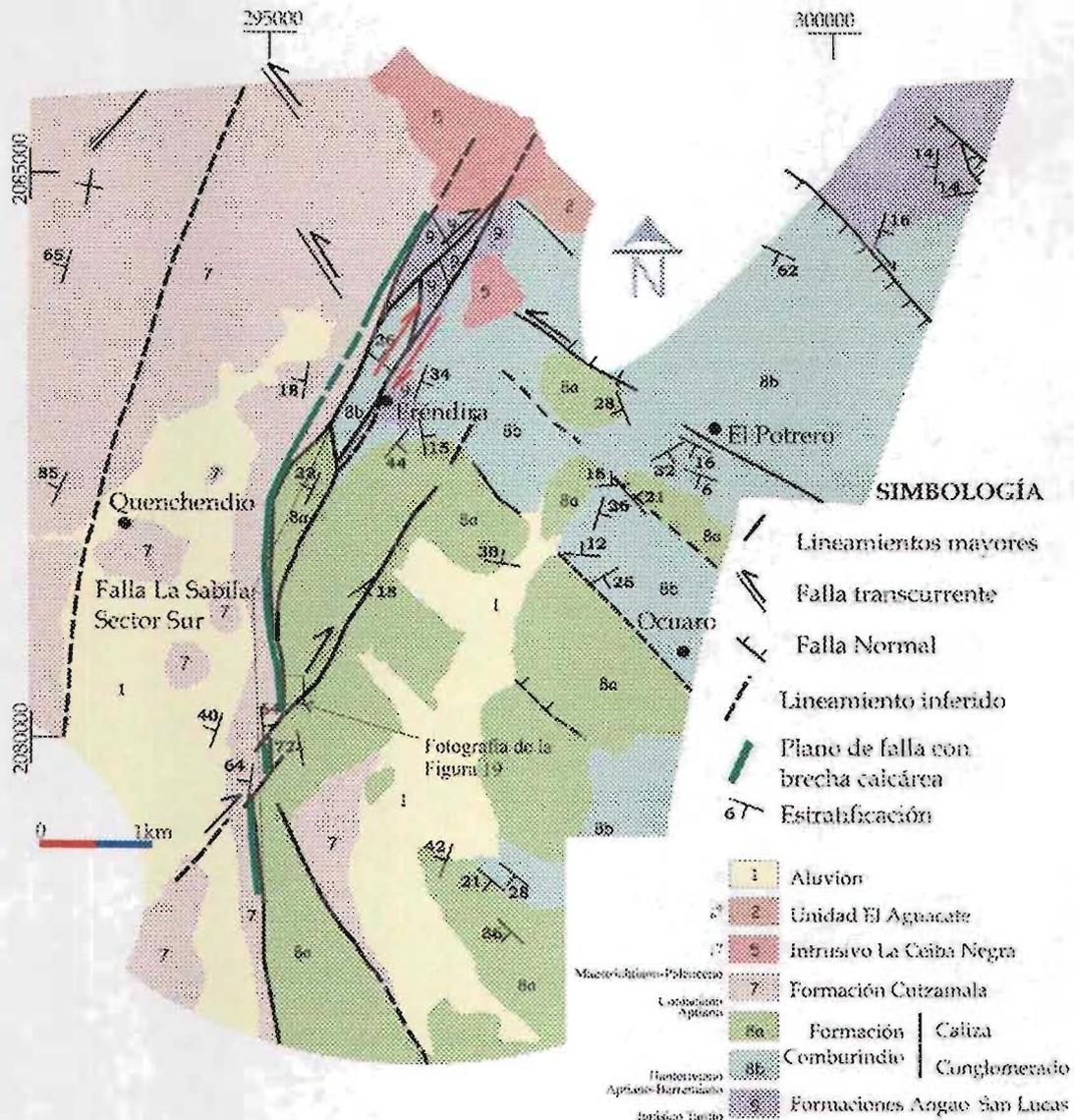
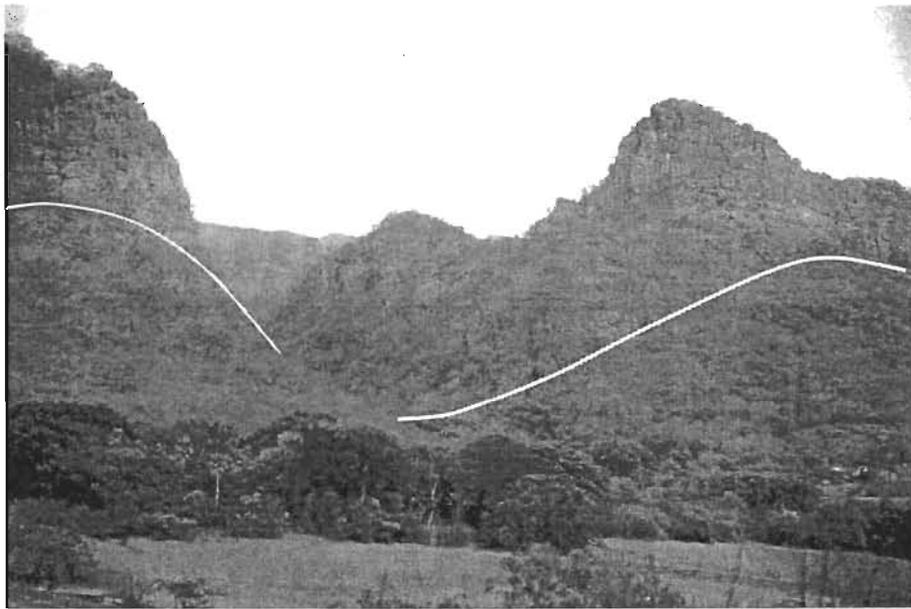


Figura 17. En el sector sur de la falla La Sábila se observa un arreglo trenzado de planos de falla. Se observan arreglos de fallas que limitan a cuerpos sigmoides en la caliza, conglomerados y sucesiones de lutita-arenisca de las formaciones Comburindio y San Lucas respectivamente. El desplazamiento de estos cuerpos sigmoides sugiere un movimiento lateral derecho (flechas en rojo). En el extremo derecho se observa el sistema de fallas normales que forman arreglos de horts y grabens, que deforma a las rocas de la Formación Comburindio, y que son cortadas por la Falla de la Sábila. Al oeste de Quenchendío se observa una disposición subvertical de los estratos mientras que al este después de la zona de falla La Sábila la disposición varía desde  $\sim 75^\circ$  a  $40^\circ$  de inclinación. La estratigrafía está fue tomada de Pantoja-Alor y Gómez-Caballero (200), modificada en este estudio.

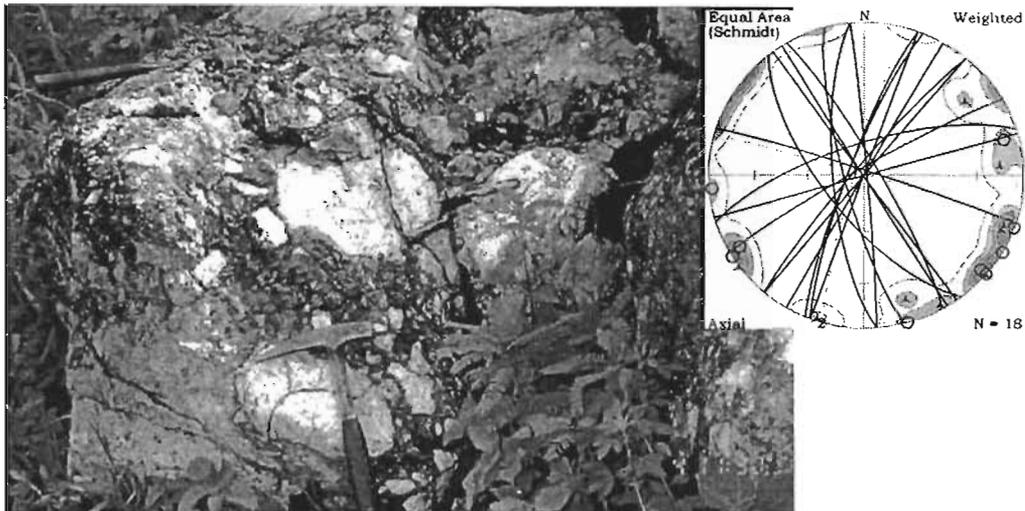
En el campo se observó que en efecto, la caliza descansa sobre un paquete de conglomerado compuesto de clastos de andesita, arenisca y cuarcita, pero el contacto es transicional con las calizas. Dichos conglomerados que subyacen a la caliza son distintos a aquellos que la rodean tectónicamente, los cuales pertenecen a la Formación Cutzamala y que están compuestos de arenisca de grano grueso y contiene clastos volcánicos de composición intermedia a riolítica, además de clastos de caliza. Al acercarse al contacto entre las calizas y los conglomerados se observaron planos de fallas subverticales, y no subhorizontales como se esperaría en una cabalgadura (Figura 19 y 20).



*Figura 18. Trazo de la falla La Sábila (en blanco) que pone en contacto rocas de la Formación Cutzamala, hacia el frente de la figura, con rocas calcáreas de la Formación Comburindio, hacia el fondo de la figura. Vista desde el pueblo de Quenchendio, con dirección hacia el SSE.*

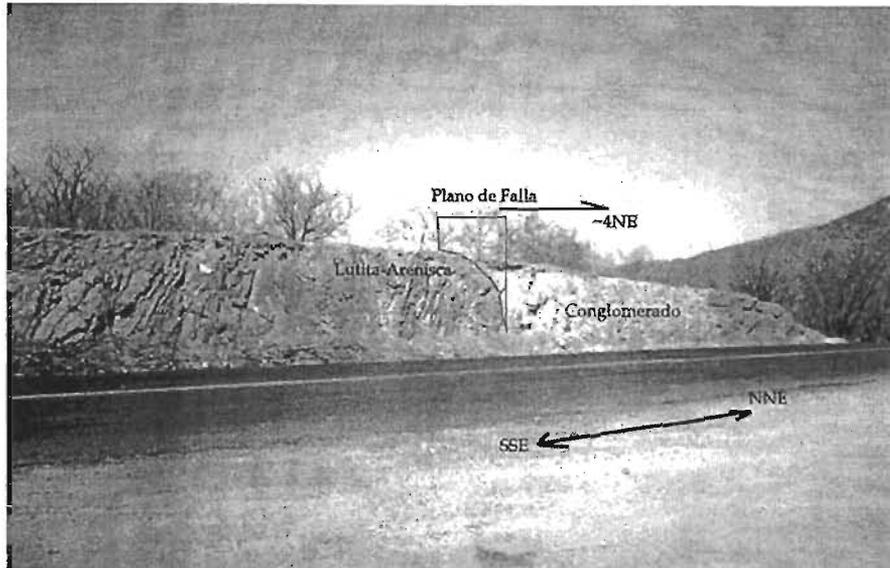
Los planos de falla que ponen en contacto rocas calcáreas y arenas de grano grueso de la Formación Cutzamala son los que definen la Falla La Sábila al sur. La deformación se manifiesta de manera distinta en cada una de las rocas debido a la diferencia en su competencia mecánica. La caliza forma bloques con forma de budín o sigmoides y están limitados por planos de fallas subverticales. En el plano de falla cercano a la caliza se observa una brecha en una banda aproximada de 100 metros de espesor (figura 19). Mientras que en las sucesiones de arenisca se presentan planos subverticales y el efecto de

la deformación se manifiesta como un "endurecimiento" de estas capas de areniscas (probablemente ocasionado por silicificación originada por fluidos asociados al fallamiento). La dirección de los planos de falla menores, medidos en las zonas cercanas a la falla principal, se alinean con una orientación general de  $N04^{\circ}E$ .



*Figura 19. El efecto de la falla La Sabila en la caliza de la Formación Comburindio, al lado norte de la terracería a Ocuaro, presenta zonas de brecha con un espesor de más de 100 m de ancho. Los planos de fallas asociadas a este sector sur de la falla La Sabila están representados en la red estereográfica de la derecha, los cuales representan un arreglo caótico y no se observa una tendencia estadística predominante de la dirección de los planos de falla (ver figura 17 y 18 para la ubicación de este punto).*

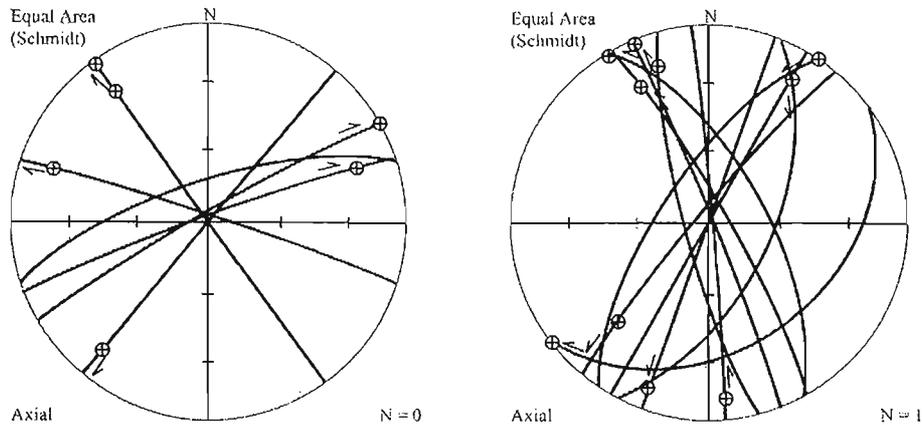
Al norte de dicho afloramiento, el conjunto de fallas pone en contacto rocas de la Formación San Lucas con los conglomerados de la Formación Comburindio y de la Formación Cutzamala. La deformación en la zona de falla se manifiesta de manera distinta en las rocas de ambas formaciones que están en contacto. En las sucesiones de lutita y arenisca de las Formaciones Angao-San Lucas se presentan pliegues cerrados. Mientras que en las rocas conglomeráticas se observa un cambio de tonalidad y también se encuentran brechadas cerca de la zona de contacto (Figura 20). En forma subparalela, al Oeste y Este del contacto, corre otro plano de falla que también forma parte de la zona de Falla La Sábila el cual presenta una zona de brecha tectónica con clastos de caliza de aproximadamente diez metros de ancho a lo largo de por lo menos dos o tres kilómetros.



*Figura 20. En esta vista se muestra el plano de falla aproximado. La alteración en el conglomerado es debida al intemperismo (zona clara) de la zona con deformación. La lutita y arenisca de las formaciones Angao-San Lucas presentan brechamiento y pliegues de arrastre (izquierda de la figura). Esta localidad se encuentra al norte del poblado de Eréndira.*

En toda la zona de falla en este sector sur se observaron abundantes planos entre bloques con estrías subhorizontales, lo cual sugiere que la dirección del desplazamiento es de falla lateral. Aunque la orientación de los planos en la zona de falla es variable por la forma trenzada de estos (que forman grandes sigmoides), se observaron dos agrupaciones de planos de falla. Aquellos que tienen un rumbo cercano a la traza principal (N-S), presentan indicadores con un movimiento lateral derecho (Figura 21).

Los planos que tienen una relación angular tienen indicadores con movimiento lateral izquierdo (Figura 21). Estos últimos probablemente representan fallas de riedel asociadas al sistema. El hecho que los bloques de forma sigmoidal, de dimensiones considerables, estén desplazados y avancen uno con respecto al otro en un sentido derecho con respecto a su posición original, sugieren un sentido lateral derecho para el sector sur de la Falla de la Sábila (Figura 17).



**Figura 21. Sector Sur de la falla La Sabila.** En el diagrama de la izquierda se muestran los planos de fallas derechas. El de la derecha muestra los planos de falla izquierdos. En este último las proyecciones ciclográficas se orientan dentro de un rango NNE-SSW y NNW-SSE, que sin embargo no son lo suficientemente determinantes para proporcionarnos el sentido del movimiento de la falla en este sector, los datos graficados fueron tomados en las estaciones T-211, T-213, T-220 y T-225.

### *Sector Central*

En el sector central la falla presenta claramente un conjunto de planos de falla subparalelos, más espaciados, que pueden ser observados en fotografía aérea (Figura 22) e imagen de satélite. Los planos de falla fueron confirmados en campo, donde se observan como escarpes discontinuos. Este es el caso del plano de falla en el cerro El Carrizal (Figura 22) que se ubica en la parte occidental del área de estudio, en su cima se encuentra un escarpe de falla que se alinea con una orientación  $\sim N30^{\circ}E$ . En esta parte la falla pone en contacto las areniscas de grano grueso del miembro inferior de la Formación Cutzamala con lutita-arenisca de las formaciones Angao y San Lucas. Existen otras fallas con una orientación subparalela a la que se describe aquí, sin embargo, estas no fueron estudiadas a detalle, y solamente se infiere su ubicación por los rasgos que se observan en el relieve topográfico. Este sistema de fallas subparalelo tiene aproximadamente de 2 a 4km de ancho.

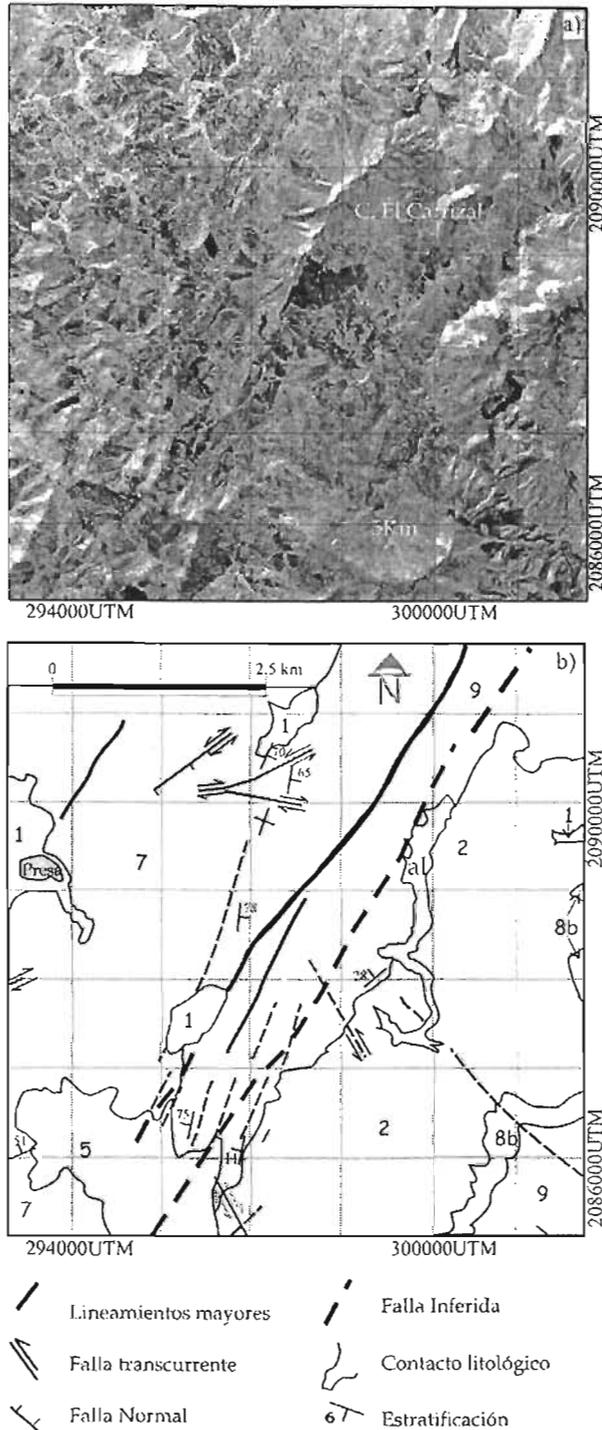
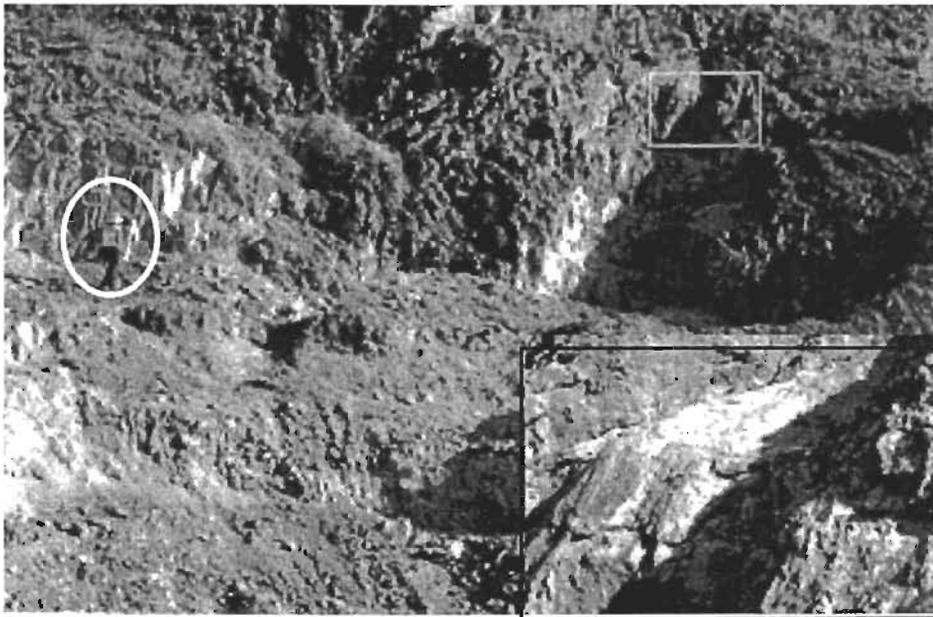


Figura 22. a y b) El crestón que se forma a lo largo de este lineamiento sobre el cerro El Carrizal a) pone en contacto rocas de la Formación Cutzamala al occidente con rocas de la Formación San Lucas al oriente b). Al centro de la imagen se observa una serie de lineamientos subparalelos a la falla La Sabila en el sector central. (1= Aluvión, 2= conglomerado El Aguacate, 5= Intrusivo La Ceiba Negra, 7= Formación Cutzamala Sector occidental, 8b= Conglomerado Formación Comburindio, 9= Formación Angao San Lucas no diferenciadas. UTM = Universal Transversa de Mercator. Datum NAD27.

Al norte del pueblo de El Carrizal se observan escarpes en la morfología del terreno que corresponden a la expresión topográfica de los estratos de las rocas continentales de La Formación Cutzamala, que se encuentran en posición subvertical. La orientación de la estratificación en estas rocas es subparalela a la orientación de la falla La Sabila y posiblemente se originó por arrastre de los estratos, como se discutirá en el último apartado de este trabajo. Al norte del cerro de El Carrizal se localiza el poblado de La Sabila. En donde se encuentra un afloramiento del plano de falla. En esta localidad se puede observar la magnitud de la deformación producida por la falla, en las rocas de la Formación San Lucas por la Falla La Sabila (Figura 23), en la cual se observa una zona de deformación de aproximadamente 300 m de ancho, con zonas de brecha a microbrecha, y vetas probablemente asociadas a fluidos hidrotermales originados por la actividad de la falla.



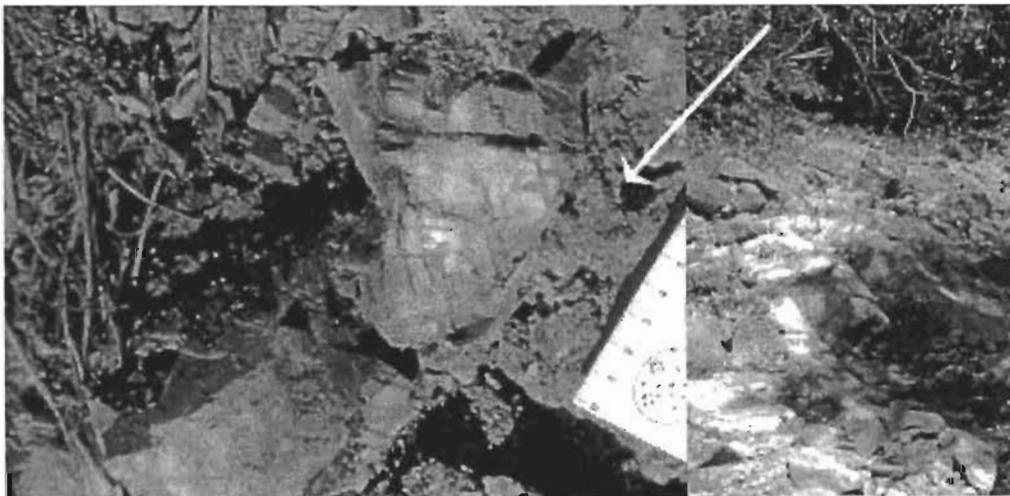
*Figura 23. La deformación en la sucesión de lutita-arenisca es muy intensa en esta localidad del sector central de la falla La Sabila (cerca del poblado del mismo nombre) el círculo señala la referencia de escala. En recuadro blanco indica una zona que presenta mineralización y detalles de la estriación en las rocas. También puede decirse que el recuadro indica la zona cercana al plano de la falla. Donde se localizan bandas con roca de textura vítrea (harina de falla) y esquistosas. La zona de deformación se prolonga hacia los lados de la traza en una banda de un ancho de ~ 300m.*

La parte central difiere de los otros dos sectores en que el efecto de la deformación es más intenso en las rocas de la Formación San Lucas. En forma subparalela corre otra

falla que se ubica al este de la traza principal de la falla La Sabila. En varias de las estaciones donde se tomaron medidas se obtuvieron dos orientaciones predominantes con dirección N30°E y con N29°W la otra. En este sector no se encontraron indicadores cinemáticos que nos dieran el sentido de la deformación.

### *Sector Norte*

La falla La Sabila en el sector norte, así como las fallas subparalelas en esta parte continúan a lo largo de una dirección ~ N30°E hasta converger al noroeste del pueblo de Tzetzénguaro con las fallas Purungueo-San Pedro y Papatzingán. Se observa en las cercanías del rancho de La Parotita nuevamente el efecto de fallas trenzadas. En esta zona, las rocas de la Formación Cutzamala y del Complejo Arteaga forman grandes bloques, de más de 1km de ancho y varios kilómetros de longitud, que se desplazan unos con respecto a otros, en forma de grandes sigmoides (Lámina I). Los planos de fallas en este sector equidistan entre sí distancias que van de los 500 a los 1000 metros, y forman un sistema complejo, donde bloques de diferentes niveles estratigráficos se mezclan. En uno de los planos de falla se observaron abundantes vetas de cuarzo de tamaño variable entre 10 cm y 1 m de ancho, las cuales sugieren el paso de fluidos durante la deformación (Figura 24).



*Figura 24. El efecto de la falla La Sabila en el sector norte nuevamente presenta una zona con arreglos trenzados. Las fallas presentan vetillas de cuarzo que rellenan planos de falla y grietas de tensión. La imagen de la derecha muestra la zona de falla que se hospeda en areniscas finas. La imagen de la izquierda muestra un detalle de la mineralización en la zona de fallas.*

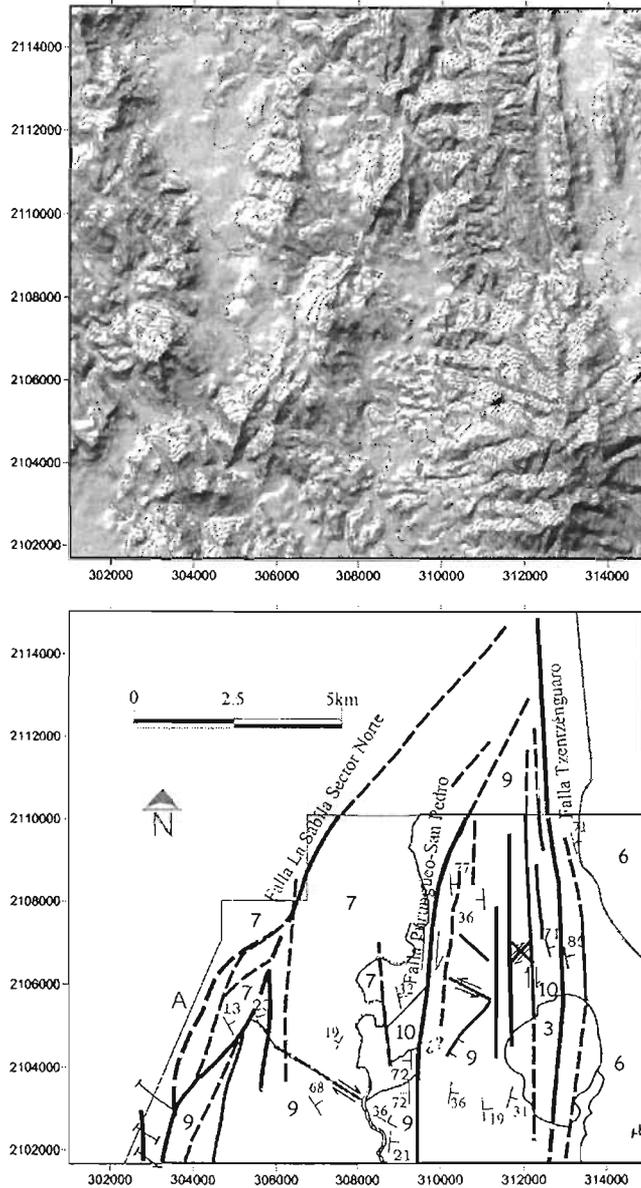
La traza de la falla se prolonga hacia el norte, se puede observar en varios puntos del trayecto de terracería que va del rancho de la Sabila al pueblo de Purungueo. En el rancho La Parotita en el sector norte de la falla La Sabila la dirección de ésta tiene un rumbo y echado de N28°E; 85°SE. Pone en contacto las capas rojas de la facies Tiquicheo 1 con las unidades marinas más antiguas. La estratificación de esta facies tiene un rumbo E-W y una inclinación de 24° hacia el sur.

En los tres sectores en que fue dividida la falla La Sabila se observa que la intensidad de la deformación varía de acuerdo a la litología en la cual se manifiesta. En el sector sur la caliza es limitada por fallas transcurrentes, tiene una textura masiva y cerca del contacto está brechada. Mientras que la brecha en el conglomerado se manifiesta como un cambio de coloración cerca de la zona de falla. En el caso de las rocas de la Formación San Lucas la deformación que se observa es intensa. El dominio de la deformación en esta roca se expresa en una banda de ancho considerable y la disposición de las rocas estratificadas es subvertical. Las rocas de la Formación Cutzamala presentan un basculamiento importante a lo largo de la zona de falla, y en la parte central están en posición subvertical.

Hacia esta parte del sector occidental del área se observan relaciones estructurales entre las rocas deformadas y los diques que están emplazados en las zonas de falla. En esta zona se han observado por lo menos dos familias de diques. Unos de composición máfica y otros de composición ácida. Los segundos son cortados por los primeros, esto se observa al norte de la localidad de Janindipo, a su vez, ambos diques son cortados por fallas con rumbo N-S y con estrías diagonales y horizontales (Lámina I).

#### Falla Purungueo-San Pedro

Se propone en este trabajo como Falla Purungueo-San Pedro a una falla que pone en contacto a rocas del Complejo Arteaga y de las formaciones Angao y San Lucas con rocas de la Formación Cutzamala al centro-norte de la región de estudio. Se localiza entre los poblados de Purungueo y San Pedro. Tiene una longitud aproximada de 8 kilómetros. Su prolongación hacia el sur no es conocida, mientras que al norte se continúa la estructura hasta unirse con la falla La Sabila (Figura 26).



**Figura 26.** En la figura superior se observa el modelo de sombras, las fallas marcadas son las a medidas en campo, en la figura inferior se muestra que las fallas Purungueo-San Pedro, Tzetzénguaro y el sector norte de la Falla La Sabila se unen al norte de la zona de estudio (9= Formación Angao San Lucas, 6 y 7= Formación Cutzamala sectores oriente y occidental respectivamente, 3= Intrusivo Purungueo y 10= Complejo Arteaga, coordenadas UTM, E14A44 INEGI).

Al norte de la región Tiquicheo-Eréndira la ocurrencia de fallas se intensifica, y es complicado definir el dominio de los límites de cada una de las fallas descritas en dicha zona. La falla Purungueo-San Pedro es un sistema de fallas laterales, tiene una orientación de N04°E subvertical, y se ubica ~ 2km al este de la falla La Sabila. Esta falla, al igual que

la de La Sabila limita el "flanco" occidental de la estructura de Tzitzio (Figura 26, Lámina I).

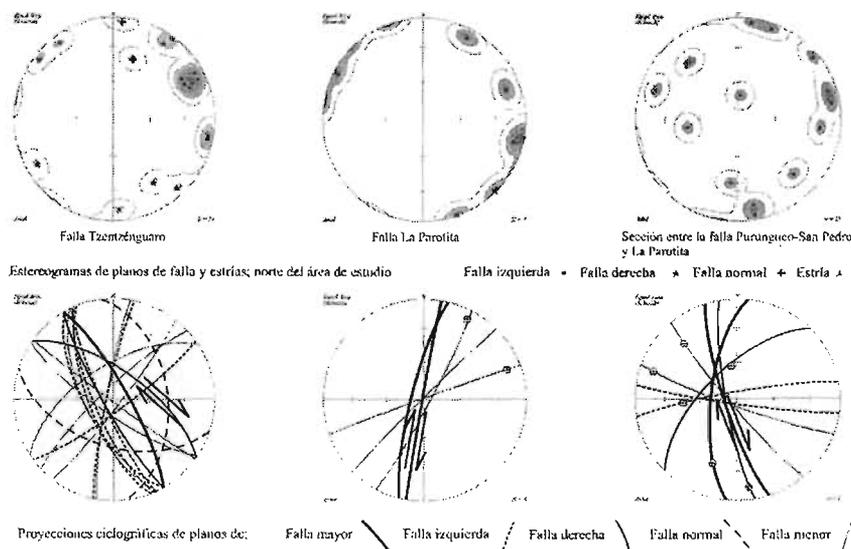
La falla Purungueo-San Pedro al sur del pueblo de Purungueo pone en contacto sucesiones marinas (al Este) y conglomerados continentales de la facies La Cañita 3 de la Formación Cutzamala (al Oeste, bloque de piso). Al norte esta estructura se prolonga más allá del Puente de San Pedro, que se ubica al norte franco de Purungueo sobre el río. En el Puente de San Pedro, se encuentra un dique emplazado en la zona de falla (Figura 27), cuya composición es basáltico-andésitica. En este sitio la falla pone en contacto rocas que pueden ser correlacionables con la Formación Cutzamala y sucesiones marinas polideformadas del Complejo Arteaga.



*Figura 27. Este afloramiento de la falla Purungueo-San Pedro se localiza al norte del pueblo de San Pedro antes de cruzar el puente sobre el río Purungueo y pone en contacto rocas pre-jurasicas del Complejo Arteaga y rocas conglomeráticas de la Formación Cutzamala. Justo en el contacto litológico se observa el emplazamiento de un dique, no deformado, el cual preserva la orientación de esta falla. Con una orientación de  $\sim N4^{\circ}E$  y tiene un buzamiento hacia el oeste de  $72^{\circ}$ .*

Puede seguirse cierta alineación sobre la cima de los cerros entre los poblados de Purungueo y San Pedro, la orientación de los lineamientos es aproximadamente N-S. Esta falla coincide con uno de los lineamientos observados en la imagen de satélite para esta zona. En la parte sur la falla Purungueo-San Pedro presenta planos subverticales con estrías subhorizontales. En la margen oeste del río Purungueo se observan fallas cuya orientación es WNW-ESE. Esta falla presenta pliegues de arrastre en los estratos de la facies limoso-

arenosa Tiquicheo. La traza de esta falla es aproximadamente lineal, no se observan segmentos que se curven o cambien de dirección abruptamente, por lo menos en los extremos donde fue medida esta falla. En la parte sur, la falla Purungueo-San Pedro presenta planos subverticales con estrías subhorizontales. Se midieron varios planos de falla en algunos de los sitios donde aflora. En la parte norte la dirección es de  $\sim N 10^\circ E$  y con un buzamiento de  $72^\circ$  al oeste, los indicadores cinemáticos muestran un sentido de movimiento lateral derecho (Figura 28). En ambos casos las litologías relacionadas por las fallas son capas rojas de la Formación Cutzamala y lutita-cuarcita del Complejo Arteaga y de la Formación San Lucas.



**Figura 28.** Diagramas estereográficos (equiareales) de planos de falla y estrías medidos en la falla Purungueo-San Pedro y Tzetzénguaro y otras fallas localizadas a lo largo de la terracería que une el poblado de El Limón con el pueblo de Purungueo. Los datos indican que las fallas tienen una orientación preferencial N-S y son principalmente laterales derechas, con la excepción de la falla Tzetzénguaro donde se observa una alta abundancia de fallas con una cinemática lateral izquierda.

### Falla Tzetzénguaro

Esta falla fue definida por Altamira-Areyán (2002) al noroeste del pueblo de Tzetzénguaro como una falla lateral derecha. Esta determinación fue con base en el análisis estadístico de la orientación de los planos medidos en dicha localidad (Altamira-Areyán, 2002).

En el presente estudio se identificó la prolongación de esta falla hacia el sur en la ladera norte del cerro Purungueo (Figura 26), donde se caracteriza por una serie de fallas subparalelas que se hospedan en las rocas jurásicas y cretácicas (Formaciones Angao y San Lucas) que integran el núcleo de la estructura del Anticlinal de Tzitzio. Dicha falla limita a esta estructura en su flanco este, donde la dirección del tren de fallas es de  $\sim 4^\circ$  hacia el noroeste, y su echado varía de  $90^\circ$  a  $80^\circ\text{E}$ , por lo que localmente forma una falla inversa (figura 29). Su relación con el intrusivo Purungueo es poco clara, debido a que no fue posible ver el contacto franco entre las rocas encajonante y el intrusivo. Sin embargo, es posible observar en fotografías aéreas un lineamiento que corta al cerro Purungueo. Las fallas subparalelas se observan sobre el camino de terracería que lleva a la torre de microondas. En esta parte se pueden observar zonas con salvanda y rocas muy fracturadas. Las estrías en esta zona son subhorizontales.



*Figura 29. La fotografía muestra una vista de sur a norte en la cual se observa la traza de la falla de Tzetzénguaru que pone en contacto a rocas de la Formación Cutzamala (derecha de la imagen) y Complejo Arteaga. La orientación de la falla Tzetzénguaru se alinea de forma aproximada a la línea dibujada al centro de la imagen. A la derecha de la imagen se observa la topografía que se desarrolló en las rocas de la Formación Cutzamala.*

El sistema de fallas al norte de la región Tiquicheo-Eréndira converge y tiene nuevamente una orientación norte-sur. La falla es una zona de cizalla importante donde se ponen en contacto rocas de la Formación San Lucas con sucesiones continentales de la Formación Cutzamala.

Se analizaron varios planos a lo largo del camino que va de la terracería que comunica a El Limón de Papatzingán con Purungueo hacia la antena de microondas,

localizada en la ladera norte del cerro Purungueo. La medición de planos, estadísticamente, muestra una orientación preferencial ~ N-S con fallas asociadas con orientaciones hacia el NNE-SSW. Las estrías son subhorizontales y los indicadores cinemáticos son de falla lateral derecha (Figura 28). La estratificación al Este de la falla tiene una orientación ~ N-S y buzamiento hacia el Este con inclinaciones entre 60° y 57°.

Desde la ladera norte del cerro Purungueo se observan colinas donde predominan las rocas marinas de la Formación San Lucas, y que están en contacto con la facies basal de la Formación Cutzamala (Altamira-Areyán, 2002). Las capas rojas tienen un rumbo aproximado norte-sur y un echado hacia el Oriente de 61° a 71° de inclinación. En la parte oeste de la estructura de Tzitzio, los estratos también tiene un rumbo ~ N-S con un echado de entre 50° y 36° al NE. En las zonas distales de la zona de falla el buzamiento de las capas es aproximado a 10° de inclinación hacia el Este.

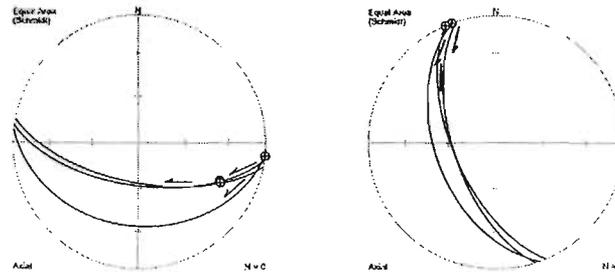
#### Falla La Palma

Se propone el nombre de falla La Palma a una serie de lineamientos localizados al sureste de la región, al sur del pueblo de Tiquicheo. Esta falla no había sido documentada en trabajos previos, y pone en contacto a capas rojas de la Formación Cutzamala con rocas de la Formación Angao-San Lucas no diferenciada. La longitud de la falla La Palma en el área cartografiada es de ~5km. El ancho de la zona de deformación es cercano a los 100 m.

Esta falla presenta una trayectoria de su rumbo con orientación hacia el NNW-SSE. La expresión de esta falla es mayormente observable en las rocas de la Formación San Lucas. Mientras que en las rocas de la Formación Cutzamala, se expresa por medio de fracturamiento y fallas de poco desplazamiento lateral. Se caracteriza por formar parte de un sistema de fallas con arreglo escalonado y se localiza al NE de la falla de Cutzamala, descrita por Altamira-Areyán (2002).

A nivel de afloramiento la orientación de los planos es aproximadamente norte-sur. Los planos presentan estrías subhorizontales pero no se observa algún tipo de indicador que nos dé el sentido de movimiento. Presenta estructuras abudnadas, y planos de fallas con estrías en todas las direcciones.

En la zona de cizalla se pueden observar planos aislados en los cuales es posible ver estructuras que muestran la dirección del movimiento. Estos sistemas pueden separarse en dos direcciones, los movimientos derechos corresponde a una dirección aproximada de  $N72^{\circ}W$   $62^{\circ}NE$ , mientras que en el caso de las fallas laterales derechas el rumbo es  $N22^{\circ}W$   $72^{\circ}NE$  (Figura 30). Estas fallas guardan una relación similar a las observadas en la falla de la Sábila, por lo que se interpretan como fallas principales (N-S) y fallas de Riedel (NW-SE).



**Figura 30.** Diagramas estereográficos (equiareales) de planos de falla y estrías medidos en la zona de falla La Palma. Los datos fueron tomados en las estaciones T-351 y T-352. Al sur del pueblo de Tiquicheo.

### Falla La Escondida

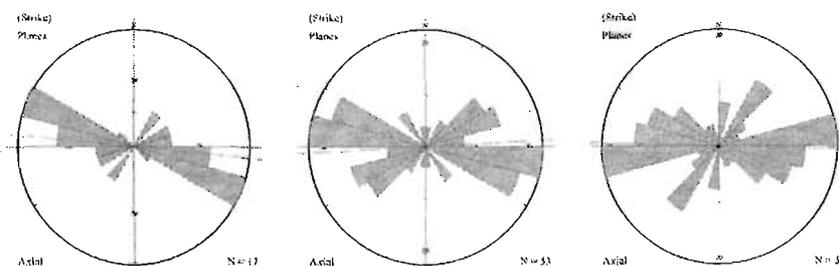
La falla La Escondida se localiza en la parte centro-sur de la región Tiquicheo-Eréndira, tiene una dirección norte-sur. La traza de la falla se expresa a lo largo de aproximadamente 10km, presenta ligeros cambios de dirección y localmente el efecto de la deformación se observa en una banda de aproximadamente un ancho de 300 metros. Esta falla fue caracterizada únicamente en este punto y se observan planos asociados a estructuras sigmoidales en este afloramiento. Los lineamientos hacia el norte y el sur de esta falla se observan en fotografía aérea. La falla está hospedada en las sucesiones marinas de las Formaciones Angao-San Lucas, y su expresión morfoestructural no es tan clara como en las zonas donde las fallas ponen en contacto dos litologías. En la imagen de satélite es posible observar cierto lineamiento que se asocia a esta estructura, esta falla no tiene una expresión continua como es el caso de las fallas que ocurren hacia el occidente de la región Tiquicheo-Eréndira.

El efecto intenso de la deformación se observa en una franja que contiene planos de falla que limitan estructuras sigmoidales y entre estos planos se observan rellenos de harina de falla. La deformación es muy intensa y se observa por un cambio textural de las rocas marinas que fueron afectadas. En la zona de falla se observan diques de composición riolítica, los cuales son cortados por la falla y presentan planos con indicadores cinemáticos impresos en algunas superficies del cuerpo riolítico.

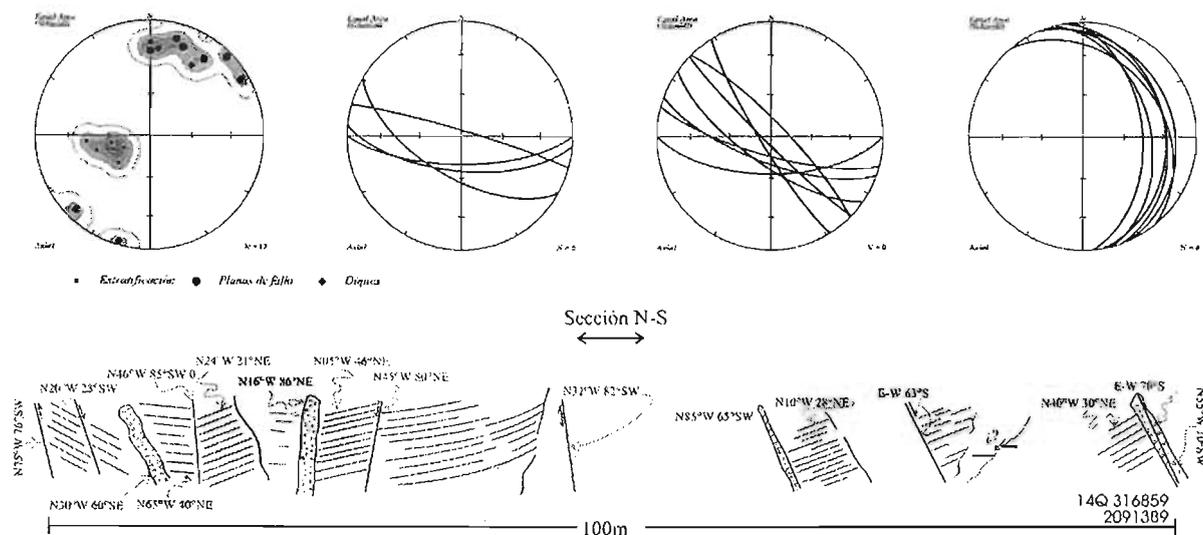
El afloramiento es una zona que contiene salvanda, los escasos planos definidos presentan estrías en varias direcciones, y limitan cuerpos sigmoidales. No fue posible determinar su cinemática. Sin embargo, se infiere que forma parte del sistema de fallas transcurrentes ya que es un plano subvertical, con deformación frágil, sub-paralelo a las otras fallas descritas y que corta las estructuras originadas por la deformación compresiva previa. A lo largo de la falla se encuentra emplazado un dique riolítico.

### ***Fallas Este-Oeste sector oriental***

Al este de la región de Tiquicheo-Eréndira se observa una serie de planos de fallas con desplazamientos laterales derechos e izquierdos y normales. En muchas de estas fallas ocurrió el emplazamiento de los diques Copándaro. La relación entre fallas y diques se discute más adelante, en esta parte solamente se describirán las fallas y las rosetas de rumbo de los planos de fallas muestreados en tres zonas de la parte norte de Tiquicheo (Figura 31).



***Figura 31. La roseta de la izquierda muestra dos tendencias en el rumbo, sin embargo, predominan las fallas orientadas hacia el WNW-ESE, las otras dos rosetas se observa una ligera variación hacia el E-W franco, aunque con una mayor concentración de rumbos hacia en WSW-ENE ver el diagrama de la derecha. Datos tomados en planos de falla en tres zonas del este de la región de estudio. Norte (izquierda), sur (centro) y oeste (izquierda) del pueblo de Tiquicheo.***



*Figura 32. En la parte superior de la figura se representan en primer lugar a la izquierda la proyección estereográfica de las estructuras de planos de falla, diques y estratos, En segundo lugar se observan las trazas ciclográficas de los diques, los cuales son sub-paralelos a los planos de falla mostrados en el tercer diagrama y por último los planos de estratificación de la facies Tiquicheo. Se muestra esquemáticamente una sección estructural ubicada al norte de Tiquicheo, en la cual se observa la disposición de los estratos con relación a las fallas y a los diques. Nótese al sur de la sección la falla que deforma al dique, en este caso no se observaron estrías que indicaran un movimiento lateral, pero el dique presenta una zona de salvanda, lo que indica deformación posterior al enfriamiento del dique. Las fallas normales presentan desplazamiento del orden de centímetros y en algunos casos se llega a desplazamiento de 0.5 m o más, los pliegues de arrastre de los estratos indican movimiento normal. Algunas fallas tiene una componente lateral, o un desplazamiento de tijera, como se observa en el ángulo de inclinación de las estrías que varía de los 40 a 55°, coordenada UTM, Datum NAD 27.*

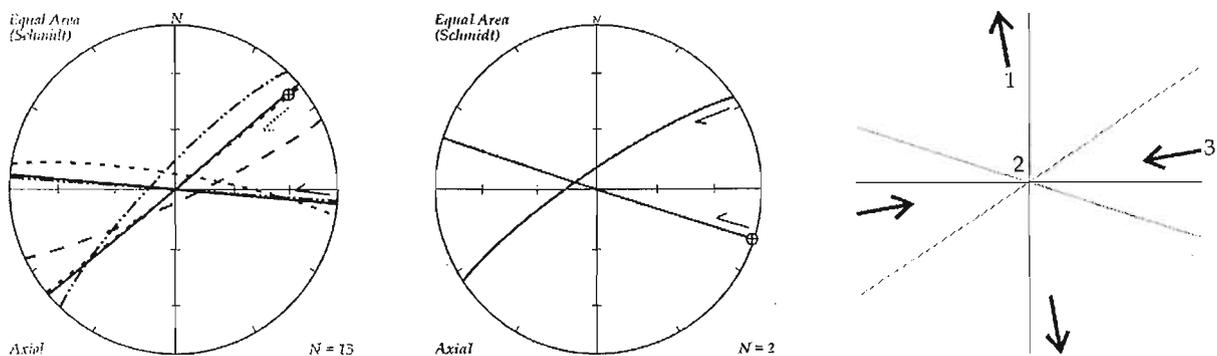
La medición de los planos de falla se efectuó a lo largo de la carretera Tiquicheo-Papatzingán principalmente, pero también se realizaron mediciones hacia el este donde la facies Tiquicheo 1 está intrusionada por el granitoide La Gotera y hacia el oeste donde se encuentra en contacto discordante con las rocas de las formaciones Angao y San Lucas no diferenciadas. Se hizo una sección representativa de 100 m de longitud en la estación T-11 (Figura 32) en donde se muestra la disposición esquemática de las estructuras y sus respectivas proyecciones estereográficas.

De manera regional se observa una variación en el rumbo de los planos de estratificación de la facies Tiquicheo desde el norte al sureste, la disposición de los estratos

varía de  $\sim$  N-S  $48^{\circ}$ NE al norte de Tiquicheo, sobre la carretera antes mencionada cerca del poblado de Copándaro, a  $\sim$  N40°W  $36^{\circ}$ NE en el sureste del pueblo de Tiquicheo. Esto indica una variación de 40 grados en la disposición de la orientación de los rumbos de los estratos de esta facies sedimentaria. El buzamiento no tiene una variación significativa, excepto en las zonas cercanas a las fallas.

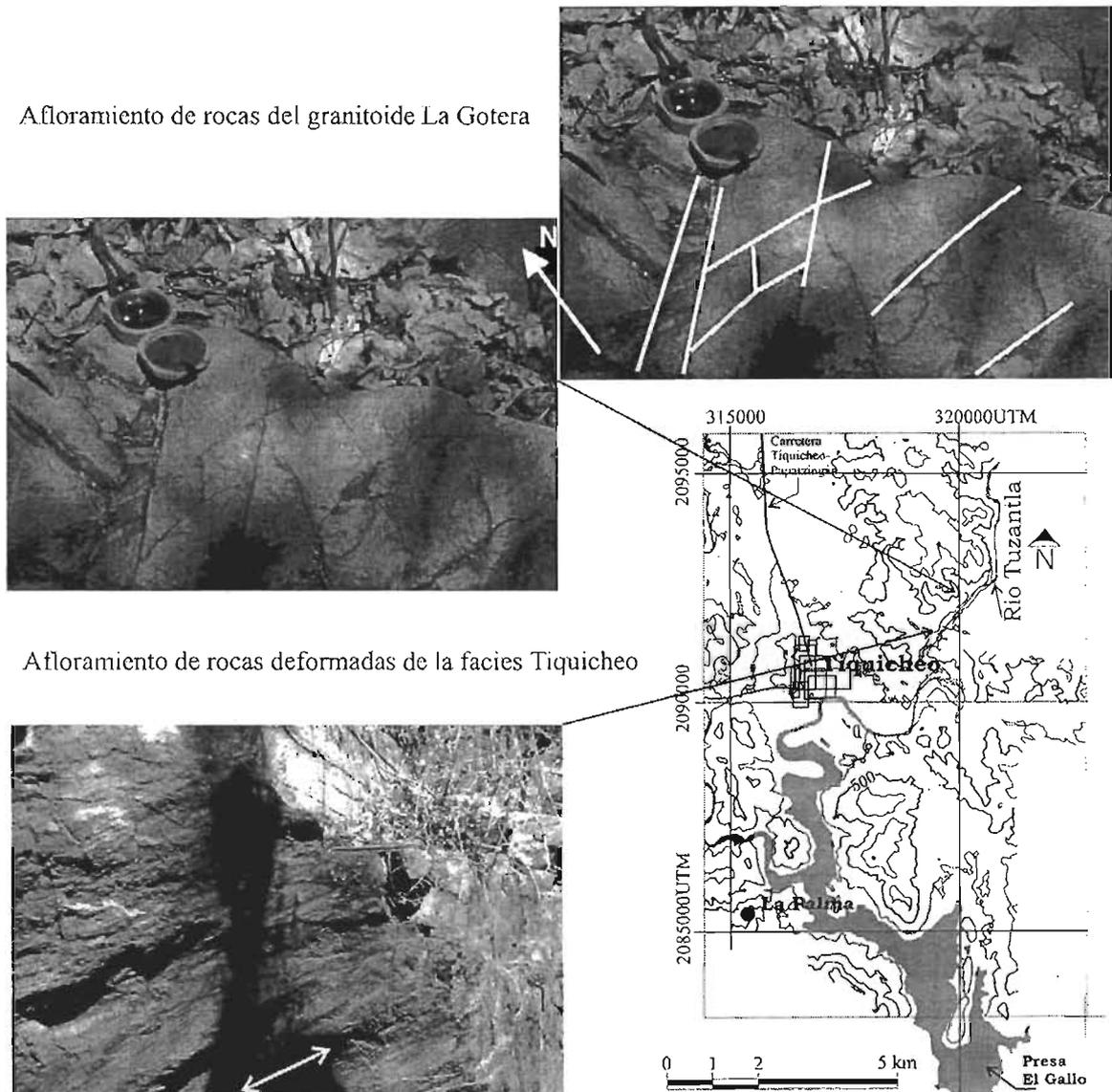
Es posible que durante la deformación asociada con los movimientos laterales los bloques hayan sido rotados. En algunos afloramientos son claras las relaciones temporales entre las fallas y los diques. Por los pliegues de arrastre se infiere que primero ocurrió el fallamiento normal, en los planos de falla se emplaza el dique, posterior al emplazamiento se desarrollan planos de falla frágil en el dique y estos presentan estrías subhorizontales, indicando desplazamiento lateral.

En este mismo sentido se midieron planos de falla y fracturas en el granitoide La Gotera en la rivera oeste del río de Tuzantla (coordenadas 14Q 0320214, 2092188, NAD 27) donde se observan arreglos conjugados de fallas con estos se realizó el ejercicio con redes estereográficas para calcular la dirección de los paleoesfuerzos hipotéticos con relación a estos planos de falla conjugados (Figura 33).



**Figura 33.** El diagrama de la izquierda muestra las trazas ciclográficas de los planos de falla conjugados medidos en el intrusivo La Gotera (14Q E0320214, N2092188), el diagrama central muestra un arreglo conjugado de fallas medido en la facies Tiquicheo (14QE0319327, N2091329); se trata de comparar ambos arreglos, y finalmente se presenta el análisis de este par conjugado que nos muestra la configuración de los paleoesfuerzos. 3 se refiere a la dirección del paleoesfuerzo principal de compresión, 2 es el paleoesfuerzo intermedio y 1 está relacionado con el paleoesfuerzo principal de extensión.

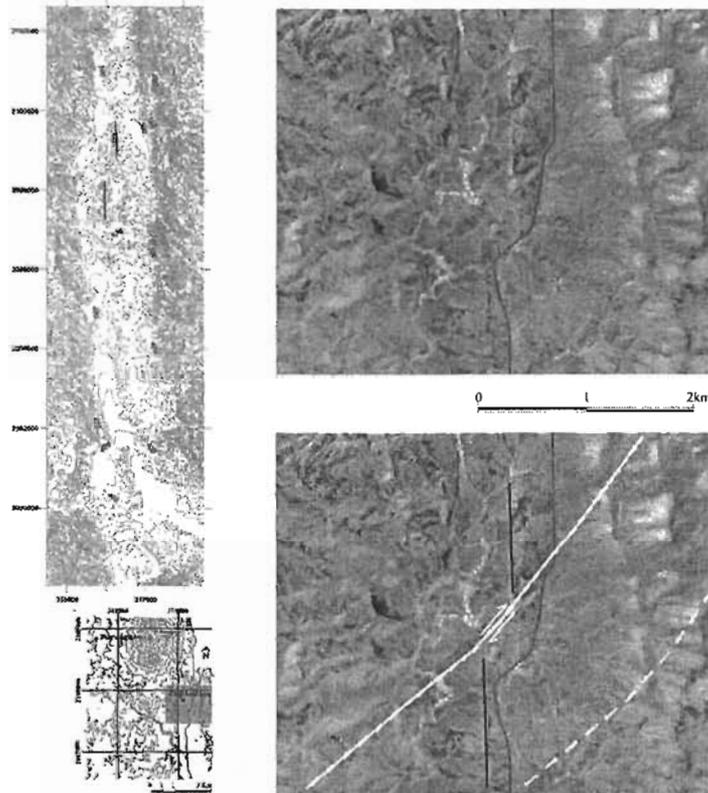
En la figura 33 se hace una comparación entre estructuras que afectan a cuerpos de roca distintos. Los datos provienen de puntos relativamente cercanos y puede observarse en la figura 34 su ubicación. Se puede observar que las rocas estratificadas muestran planos de falla con estrías y en el intrusivo la deformación se presenta como diaclasas, las estrías en este cuerpo no son tan evidentes, como en la facies Tiquicheo, pero se aprecian en algunos casos algunos escalones en los planos de las fallas del intrusivo.



*Figura 34. En esta figura se pretende mostrar la evidencia de la deformación en dos litologías distintas. En la figura superior que corresponde a un intrusivo se remarcaron los lineamientos observados, la imagen del extremo inferior izquierdos se muestra una superficie con estrías, la flecha doble indica (~ 20cm) la lineación por estría.*

### *Estructuras de desplazamiento lateral NE-SW*

Las estructuras más recientes que se observan en el área de estudio pertenecen a un sistema de fallas que tiene una orientación hacia el NE-SW y se alinean en la misma orientación que tiene el dique de Tuzantla y otros lineamientos al noreste de la región de Tiquicheo-Eréndira y se observaron únicamente en la parte norte del pueblo de Tiquicheo.



*Figura 35. La imagen del extremo superior izquierdo muestra la topografía del valle al norte del pueblo de Tiquicheo. En la coordenada  $\sim(209800$  UTM,  $315000$  UTM) se observa una discontinuidad de las sierras que forman los estratos a lo largo de una dirección aproximada norte-sur marcada por las líneas negras. La figura del extremo inferior izquierdo representa la ubicación del área ocupada por la fotografía aérea donde se muestra además la ubicación de los poblados de Purungueo y Copándaro como referencia. La línea gris al centro de la imagen representa la carretera Tiquicheo-Papatzingán. La imagen del extremo inferior izquierdo muestra las estructuras formados por los estratos de la facies Tiquicheo remarcados en sus crestas por líneas que muestran la pérdida de continuidad, y se encuentran desplazados por una falla lateral (línea continua, la línea discontinua es inferida), en el campo se observo la falla y se tomaron los siguientes datos  $N24^{\circ}E$   $90^{\circ}$   $14E$ , otro dato es  $N40^{\circ}E$   $80^{\circ}NW$   $0$ . El dato de la estratificación es  $N20^{\circ}W$   $40^{\circ}NE$  y  $N29^{\circ}W$   $45^{\circ}NE$ . La coordenada donde se ubica esta estación (en UTM) es  $14Q0316508$  y  $2099166$  NAD 27).*

Estos sistemas de falla afectan principalmente a la facies Tiquicheo. Estas estructuras no fueron estudiadas a detalle, pero se observó en afloramiento que las fallas de desplazamiento lateral NE-SW cortan por lo menos en un punto a las rocas estratificadas de la Formación Cutzamala del sector este (Figura 35), también desplazan el contacto discordante entre las rocas de la Formación Cutzamala y las formaciones no diferenciadas Angao-San Lucas (Lámina 1).

Se observa que los estratos se alinean con una dirección norte-sur y el buzamiento de sus estratos es hacia el Este franco a lo largo de la carretera Tiquicheo-Papatzingán. Se observa además en estas rocas una erosión diferencia provocada en los estratos de rocas sedimentarias más blandas. Esto ha ocasionado el relieve de pequeñas sierras a lo largo del valle ubicado al norte de Tiquicheo y que se continua hacia el norte de Papatzingán.

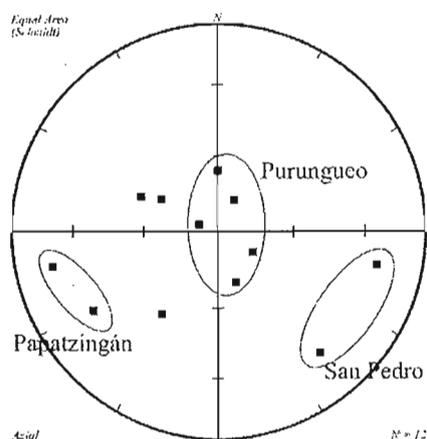
El plano de la falla medida tiene una dirección  $N43^{\circ}E$  con  $90^{\circ}$  en el plano se observan estrías que muestran un sentido del movimiento lateral. La edad de estas estructuras se desconoce, y no se pudo definir su relación con el SFTT-A. Por otra parte no se conoce su relación con los diques Copándaro, pues no se observan relaciones de corte cerca del afloramiento ni en otros sitios cercanos a la zona de falla.

#### *Disposición regional de los estratos de la Formación Cutzamala.*

Respecto a los estratos de las rocas conglomeráticas de la Formación Cutzamala, no presentan un arreglo homogéneo que defina un simple anticlinal. En la zona oeste de la región de estudio (al oeste de Eréndira) se puede decir que la estratificación presenta, en la parte sur, un rumbo aproximado NNE-SSW y variaciones en su buzamiento de  $56^{\circ}NW$  a  $90^{\circ}$ . Los estratos presentan un rumbo de  $N10^{\circ}E$  y buzamientos verticales en la parte media de la zona oeste, entre los pueblos de Eréndira y Purungueo. Mientras que al norte de Purungueo, entre Purungueo y San Pedro, los estratos tienen una posición promedio de  $N78^{\circ}E$   $81^{\circ}NW$  o inclusive llegan a ser subhorizontales o están inclinados hacia el este de la falla Purungueo San Pedro. En la zona Este, hacia el sur, entre La Playa y Tiquicheo hay un cambio gradual del rumbo y echado de los estratos sub-horizontales, con una variación paulatina a un rumbo de capa general NW-SE y buzando hacia el NE y continua un cambio a una dirección aproximada WNW-ESE, al este del pueblo de Tiquicheo, esto se puede apreciar en la salida norte del mismo pueblo rumbo a Papatzingán.

Hacia el norte entre Tiquicheo y Copándaro, los rumbos y echados de las rocas de la Formación Cutzamala tienen un arreglo más complejo, debido a las fallas normales y laterales que provocan la rotación y desplazamiento de los estratos. A la altura del pueblo de Copándaro la actitud de los estratos en general tiene un rumbo aproximado E-W buzando hacia el Norte.

Al oeste del pueblo de Papatzingán a medida que nos acercamos a la falla de Tzentzenguaro la actitud de los estratos varía de un rumbo general N-S y un echado de  $45^{\circ}\text{E}$ , en las zonas distales a la falla, a un rumbo N-S y un echado de  $84^{\circ}\text{E}$  en las zonas cercanas a la falla. El comportamiento de los estratos en la región estudiada no define claramente un anticlinal como puede observarse en la figura 36.

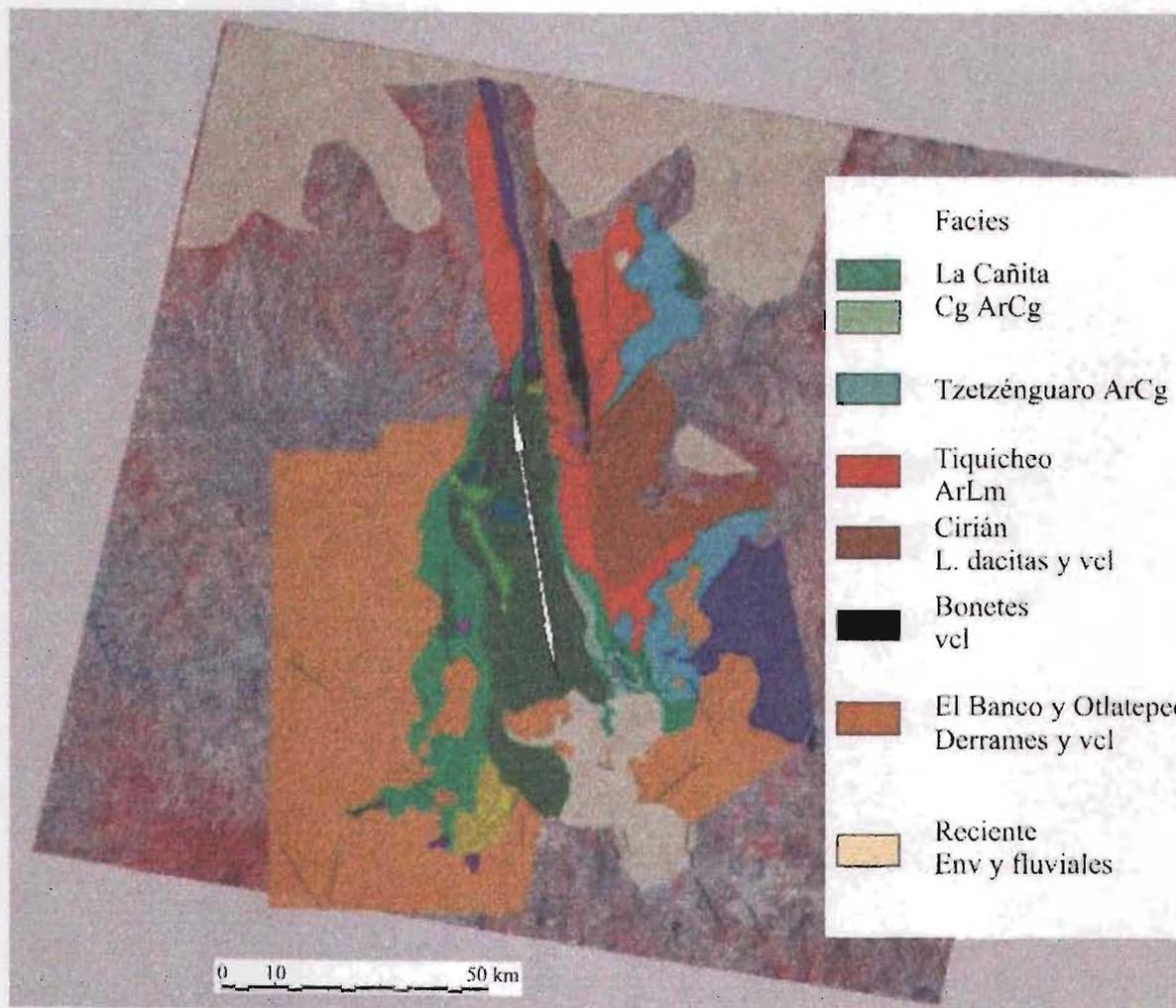


**Figura 36. Proyección estereográfica de estratos medidos en tres localidades en la parte norte del área de estudio. Al Este (Papatzingán) predomina una disposición de los estratos controlada por la falla Tzentzenguaro, en las cercanías del pueblo de Purungueo se tiene que los estratos presentan buzamientos menores a los que se observan en las cercanías de Papatzingán y San Pedro. Los del estratos Oeste fueron medidos en la zona cercana a la falla Purungueo-San Pedro, entre las localidades de Papatzingán y San Pedro la disposición de los estratos esta controlada a su vez por fallas de menor orden de magnitud en comparación con las fallas mencionadas en este párrafo.**

#### *Magnitud y dirección del desplazamiento*

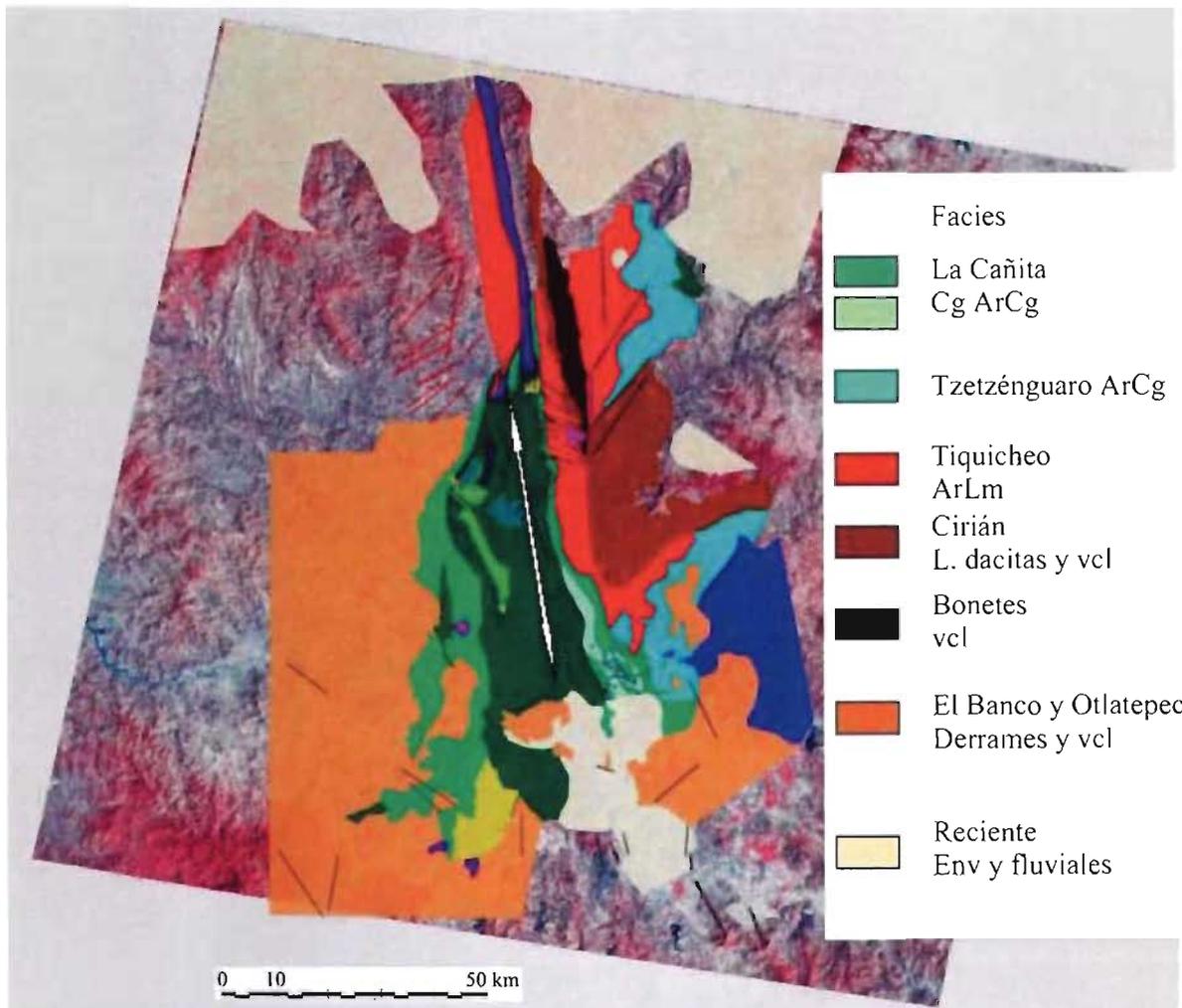
Es difícil calcular la magnitud del desplazamiento del SFTT-A, ya que no se han identificado horizontes marcadores que permitan cuantificarlo. Para el área de estudio, un estimado preliminar, de desplazamiento mínimo horizontal se calcula de 2 a 5km, sólo reconstruyendo la posición de los sigmoides. En cuanto al desplazamiento vertical, se

calcula un mínimo de levantamiento del bloque de piso (parte central) de 600 a 1,800 m, considerando el nivel topográfico al cual afloran las rocas marinas que forman el horst central y los espesores aproximados de la Formación Cutzamala, considerando una inclinación promedio de 40 grados (Lámina I). En cuanto a todo el sistema, observaciones preliminares basadas en la distribución regional de los afloramientos de la facies Tiquicheo, permiten realizar una estimación aproximada del desplazamiento lateral derecho de 55 kilómetros, aunque aún se requiere de cartografía detallada para corroborar dicha magnitud de desplazamiento (Figura 37) (Centeno-García *et al.*, 2004).



*Figura 37. El desplazamiento observado de la facies Tiquicheo (ArLm) en esta cartografía de Centeno-García y colaboradores (comunicación personal, 2004), se aprecia regionalmente y es de aproximadamente 55km línea blanca. (Cg = Conglomerado, ArCg = Arenisca conglomerática, ArLm = Arenisca limolita, vcl = Volcaniclásticos (Centeno-García, 2004. Comunicación personal).*

calcula un mínimo de levantamiento del bloque de piso (parte central) de 600 a 1,800 m, considerando el nivel topográfico al cual afloran las rocas marinas que forman el horst central y los espesores aproximados de la Formación Cutzamala, considerando una inclinación promedio de 40 grados (Lámina I). En cuanto a todo el sistema, observaciones preliminares basadas en la distribución regional de los afloramientos de la facies Tiquicheo, permiten realizar una estimación aproximada del desplazamiento lateral derecho de 55 kilómetros, aunque aún se requiere de cartografía detallada para corroborar dicha magnitud de desplazamiento (Figura 37) (Centeno-García *et al.*, 2004).



*Figura 37. El desplazamiento observado de la facies Tiquicheo (ArLm) en esta cartografía de Centeno-García y colaboradores (comunicación personal, 2004), se aprecia regionalmente y es de aproximadamente 55km línea blanca. (Cg = Conglomerado, ArCg = Arenisca conglomerática, ArLm = Arenisca limolita, vcl = Volcaniclasticos (Centeno-García, 2004. Comunicación personal).*

## CUERPOS ÍGNEOS Y SU RELACIÓN CON LA DEFORMACIÓN

En el área de estudio afloran cuerpos ígneos de composición y textura variables (Figura 38) que intrusionan a las sucesiones sedimentarias tanto marinas como continentales. En este capítulo se describen las rocas ígneas y su relación con los eventos de deformación. Por una parte se tiene que los cuerpos intrusivos fueron emplazados antes de la actividad mayor de las fallas. Por lo que se puede constreñir de manera relativa la edad de la deformación. Por otra parte se observó que la relación cogenética que guardan los enjambres de diques que afloran en la región de estudio con las fallas permite entender la cinemática del Sistema de Fallas Tzitzio-Altamirano. A continuación se hace una breve descripción de los cuerpos intrusivos cartografiados en el área de estudio.

### *Granitoide La Ceiba Negra*

En la zona sur-occidental, al norte del poblado de Eréndira las rocas asociadas al arco Cretácico (Formaciones Angao y San Lucas) se ven afectadas por la intrusión de un cuerpo con una mineralogía de tonalita, y textura fanerítica denominado en este trabajo como La Ceiba Negra (Figura 38, lámina I). El contacto en el sitio no fue posible observarlo pero, las rocas encajonantes muestran una fuerte silicificación aunque preserva la estratificación original. Las rocas conglomeráticas de la Formación Comburindio están también silicificadas en las zonas cercanas al contacto. En los escasos afloramientos no se observaron planos de falla mayores en este intrusivo, sin embargo, en lámina delgada se observan cristales de plagioclasa rotos asociada posiblemente a una deformación frágil posterior a su emplazamiento. No se disponen de datos acerca de la edad de este cuerpo intrusivo, dada su relación de intrusión tiene una edad relativa pos-Formación Comburindio.

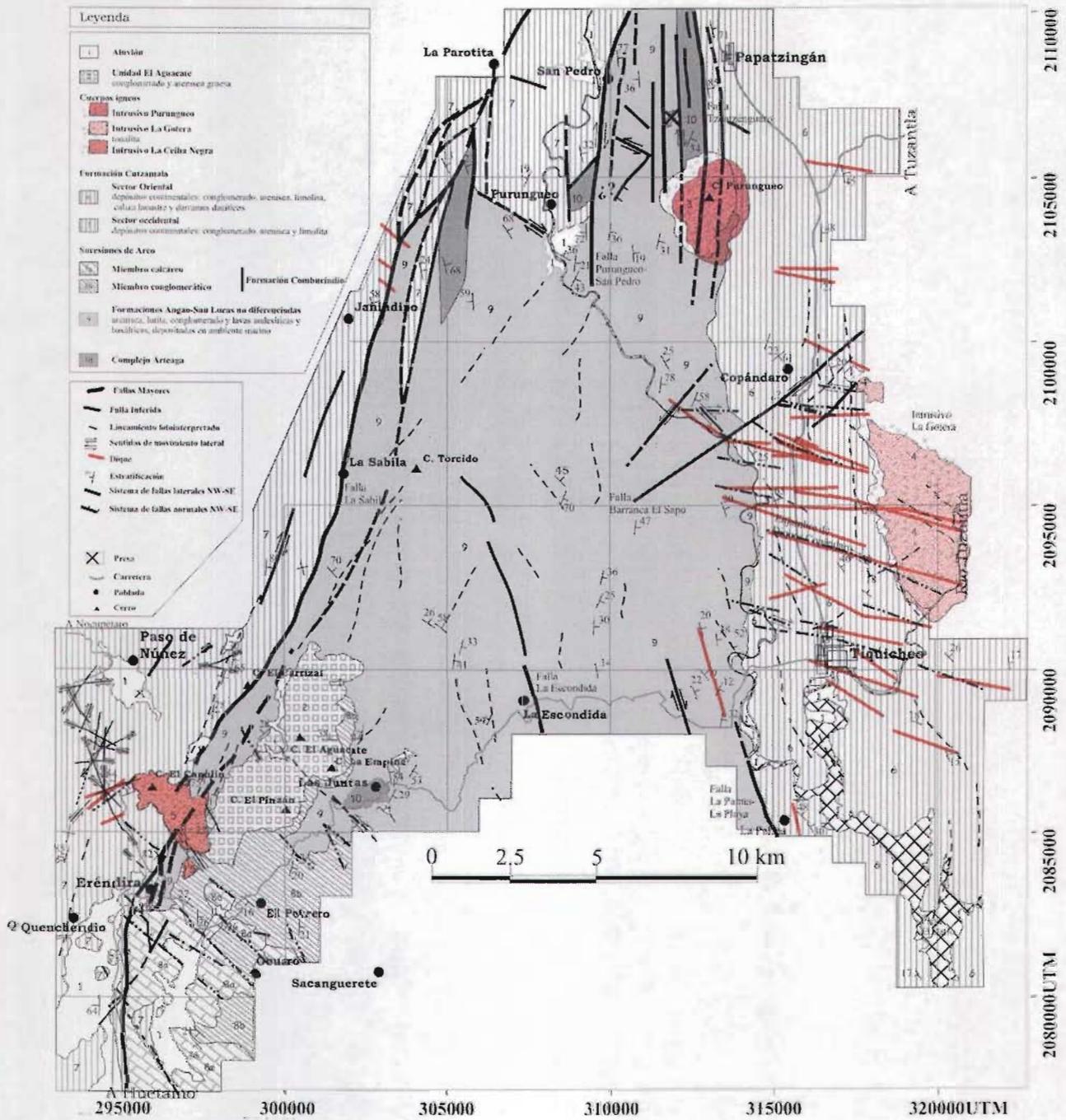


Figura 38. Los cuerpos ígneos se observan en la zona norte, sureste y este de la región de estudio. Existen tres cuerpos hipabisales llamados, La Ceiba Negra ubicado al suroeste de la región de estudio, Purungueo se localiza en la parte norte y es aparentemente más viejo que el sistema de Fallas Transcurrentes Tzitzio-Altamirano. Así mismo, al este aflora el intrusivo de La Gotera que es el cuerpo hipabisal con mayor extensión superficial en la región de estudio. El área contiene enjambres de diques, los cuales son más abundantes en la parte Este que la Oeste de la región de Tiquicheo-Eréndira.

## ***Diques Janindipo***

En la parte occidental del área de estudio, al noreste de la región de Tiquicheo-Eréndira aflora un grupo de diques denominados diques Janindipo cuya composición es félsica y presentan una textura fanerítica. Tienen una disposición paralela entre sí con una orientación preferencial hacia el Noroeste-Sureste, y se localizan al noreste del pueblo de Janindipo (Lámina I). Los diques Eréndira son de composición básica.

La relación de estos diques con respecto a la cinemática de la falla la Sabila no se estudió con detalle, sin embargo en el noreste de la zona de estudio se observó que los diques de composición félsica (Janindipo) son cortados por fallas del SFTT-A y presentan una deformación importante hacia su interior, incluyendo planos bien desarrollados de falla, con zonas con microbrecha o con pequeños sigmoides (<10 cm) esto se observa cerca del poblado de Janindipo. Dichos diques son cortados también por diques máficos (Eréndira) con una orientación de N60°E y presentan estrías en los planos de contacto, en su interior estos diques presentan delgadas zonas de cizalla. No se observaron los diques máficos cortando a la falla del SFTT-A en esta zona.

## ***Granitoide Purungueo***

Al noreste de la región de estudio se encuentra emplazado el intrusivo Purungueo (Lámina I), al cual Pasquaré y colaboradores (1990) le asignaron una edad miocénica; sin embargo, dicha edad se basó en la correlación estratigráfica de las rocas encajonantes, que dichos autores consideraron como parte del Grupo Balsas, y no con base en estudios geocronológicos ni en el detalle estratigráfico. Actualmente ha sido fechado y se reporta una edad del Eoceno Tardío (Ferrari *et al.* 2004).

Este granitoide se encuentra emplazado en las rocas metamórficas del Complejo Arteaga y las rocas de la secuencia de arco Cretácico (Formaciones Angao y San Lucas). La composición de este intrusivos es tonalítica con abundante plagioclasa y piroxeno. Los afloramientos de este granitoide están restringidos a la cima y margen occidental del cerro del mismo nombre. El intrusivo Purungueo no presenta evidencias de deformación

importante en los afloramientos accesibles por la terracería. En fotografías aéreas (Figura 39) se distingue que los rasgos lineales que corresponden a las fallas mayores del SFTT-A, cortan al intrusivo. Sin embargo, es necesario realizar un trabajo de campo de mayor detalle para determinar si en efecto estas fallas se continúan a través del intrusivo.

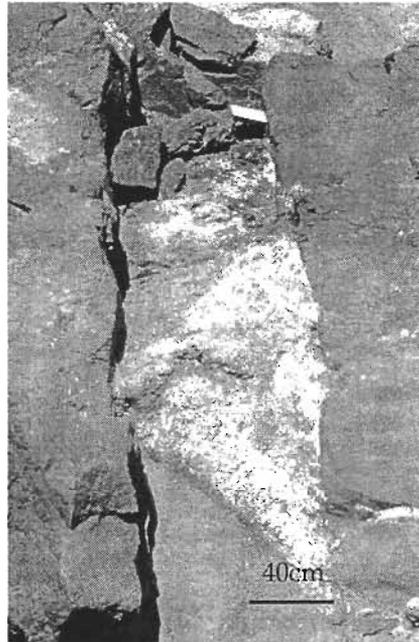
Sobre la terracería que une los poblados de El Limón y Purungueo se observó también un dique félsico afectado por las fallas frágiles del sistema. No se determinó la relación de dicho dique con el intrusivo.



*Figura 39. Fotografía aérea escala 1:50,000 (20ª R-530 5-48 [163]) (A). Acercamiento al intrusivo Purungueo (B). En (C) se dibujaron líneas punteadas que muestran los límites aproximados de este intrusivo y las líneas con dirección ~ Norte-Sur son lineamientos probablemente asociados al SFTT-A. El lineamiento en la parte norte presenta sobre la terracería que va de El Limón a Purungueo una serie de planos de fallas y zonas de cizalla de entre 10 cm hasta 10 m de ancho con una dirección aproximada N-S. En la zona cercana a la antena de radio, (círculo blanco en C), afloran rocas ígneas, sin embargo, no se cuenta con un estudio de campo que permita determinar si estas rocas ígneas pertenecen al granitoide Purungueo que aflora en las inmediaciones del pueblo del mismo nombre.*

### ***Intrusivo La Gotera***

Este es un cuerpo hipabisal con una composición tonalítica y textura holocristalina de plagioclasa y anfíbol. El intrusivo de La Gotera aflora en un área de por lo menos 20 km<sup>2</sup> y se ubica al noreste del pueblo de Tiquicheo. Está emplazado en las capas rojas de la facies Tiquicheo de la Formación Cutzamala (Lámina I).



***Figura 40. Fotografía del intrusivo La Gotera cortado por un dique del enjambre Copándaro (cuerpo tabular al centro de la imagen). Ambos están afectados por fallas frágiles. Esta relación indica que el intrusivo de La Gotera es más antiguo que los diques Copándaro.***

Estas capas presentan una aureola de metamorfismo de contacto, con silicificación y zonas de vetas con hidrotermalismo asociadas al emplazamiento de dicho cuerpo. En fotografía aérea se observan familias de lineamientos que se distribuyen a lo largo de una dirección noroeste-sureste, y que afectan al intrusivo, en el campo se registró que dichos lineamientos corresponden a fallas frágiles laterales. Por lo cual se cree que dicho intrusivo es más antiguo que el sistema de fallas Este-Oeste y que el emplazamiento de los diques Copándaro. Los cuales cortan al intrusivo La Gotera como se observa principalmente en el lecho del río Tuzantla (Figura 40). En los afloramientos que se encuentran a lo largo de

dicho río, se observó que las fallas y los diques continúan teniendo una disposición subparalela entre sí.

### ***Enjambres de Diques Copándaro***

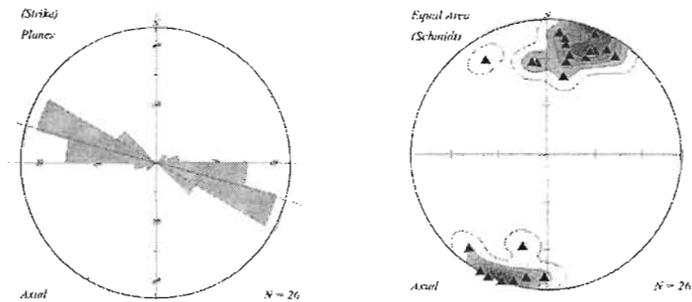
Este enjambre de diques está formado por un buen número de cuerpos subverticales de composición basáltico-andesítica que se encuentran al este de la región Tiquicheo-Eréndira. Pueden observarse a lo largo de la carretera Tiquicheo-Papatzingán y cortan a las rocas marinas no diferenciadas de las formaciones Angao y San Lucas, así como a las facies sedimentarias de Tiquicheo y al intrusivo La Gotera. El espesor de estos cuerpos tabulares varía desde unos pocos centímetros hasta dos metros en promedio (Figura 41).



***Figura 41. La relación de intrusión de los diques Copándaro en la parte Este de la región de Tiquicheo-Eréndira se observa principalmente en la facies Tiquicheo a lo largo de la carretera Tiquicheo-Papatzingán. Al interior estos diques se observan fallas como en la imagen en la parte central de la misma hay una delgada zona de cizalla, con salbanda, lo cual indica que la deformación ocurrió en condiciones frágiles.***

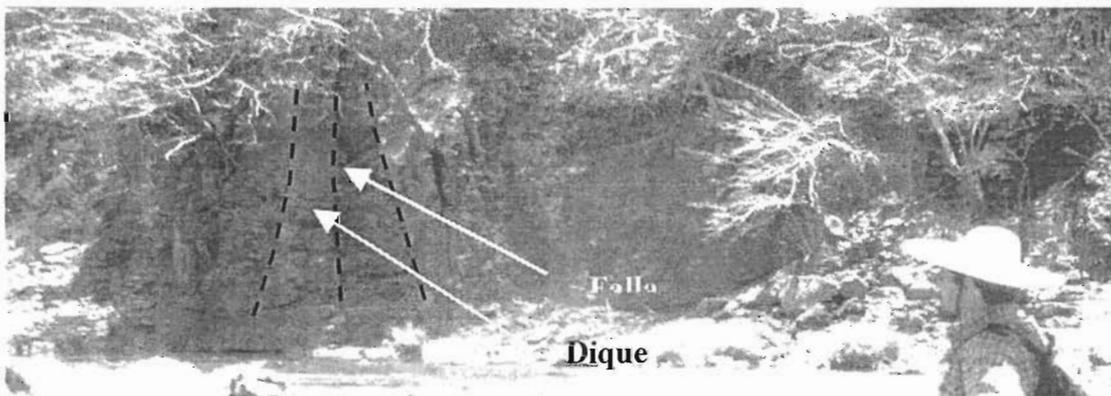
El rumbo de los diques se agrupa en un rango que va de  $\sim$  E-W y  $\sim$  NW70°SE (Figura 42). Los diques *in situ* muestran evidencias de deformación posterior a su emplazamiento. Los datos tomados de los planos de falla y de los diques en varios puntos tienen la misma orientación. Aproximadamente un 70% de los diques fueron emplazados en los planos de falla. Como se menciona en el capítulo anterior, los planos de falla

presentan estrías que indican movimientos normales y movimientos laterales; también se observaron fallas normales con una fuerte componente lateral. Indistintamente se encuentran dichos planos de falla previos al emplazamiento del dique o posteriores, también se observaron planos de falla sin diques.



**Figura 42.** Roseta de dirección de los diques donde se muestra la tendencia estadística del rumbo y echado de los diques, así mismo en la figura de la derecha se representan sus proyecciones estereográficas.

Los diques no son completamente lineales un sentido estricto, por que presentan en algunas partes arreglos anastomosados y llegan a unirse entre sí, esto puede observarse sobre la carretera Tiquicheo-Eréndira (ver figura 38), a la salida del pueblo de Tiquicheo. La deformación transcurrente probablemente es posterior al emplazamiento de estos cuerpos, ya que deforman a los diques en su interior y puede ser parte de la deformación progresiva asociada a los eventos de fallamiento (Figura 43).



**Figura 43.** Sobre el río Tuzantla al este del pueblo de Tiquicheo se observa la relación entre el sistema de fallas normales que afectan al intrusivo La Gotera y la intrusión de los diques que pertenecen al enjambre Copándaro. En la imagen dicha relación se observa en el extremo izquierdo a la parte central, donde los diques están limitados por fallas indicadas por líneas punteadas.

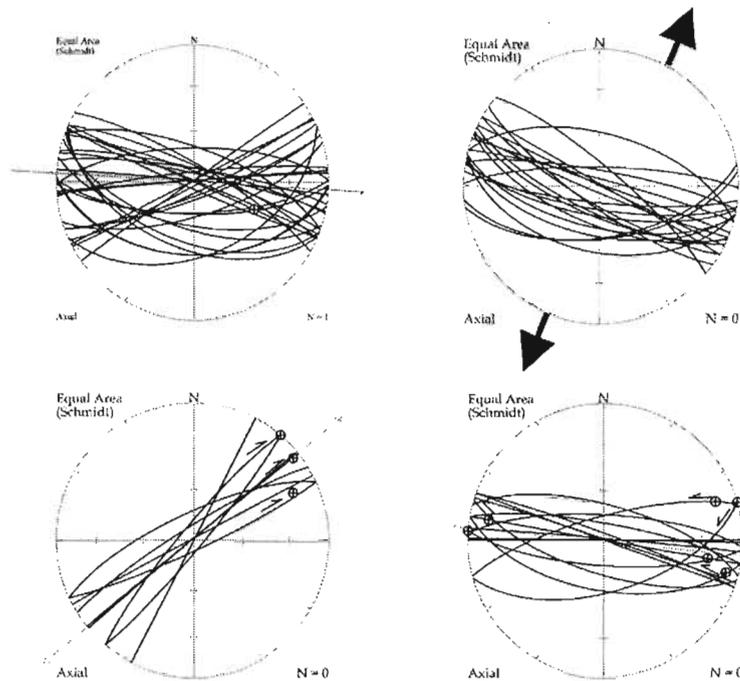
## Relación entre deformación y los enjambres de diques

El emplazamiento de diques está relacionado generalmente a procesos de extensión, y puede ocurrir a lo largo de grandes distancias con una relación espesor / longitud pequeña. Los cuerpos tabulares durante su emplazamiento en grietas o fallas se desplazan a altas velocidades y tienen pérdidas grandes de calor por conducción. Lo anterior repercute en la longitud que pueden llegar a tener estos cuerpos ígneos laminares, los cuales constituyen conductos efectivos para el desplazamiento del magma (Shaw, 1980; Rubin, 1995; Petford *et al.*, 1993).

De acuerdo a su distribución espacial los enjambres de diques se clasifican en diques paralelos o longitudinales, nombre que reciben cuando están asociados a grandes *fracturas lineales*. Diques radiales cuando convergen en un punto central, y están asociados a *estructuras de colapso*. Diques cónicos asociados a un *sistema cónico concéntrico buzante* hacia el punto central a profundidad, donde está la máxima actividad magmática. De acuerdo a lo anterior los enjambres de diques Copándaro presentan un patrón espacial longitudinal.

Como se mencionó anteriormente, en general, los planos de falla normal limitan a los diques mientras que las fallas laterales se localizan dentro de ellos (diques) (Figura 44). Es decir se observa en primer lugar que los diques se emplazan en las zonas de debilidad producidas por las fallas normales, inclusive en algunos diques se observan estrías subverticales, lo que indica que en algunos casos, las fallas normales son posteriores al emplazamiento de los diques, en estos casos la deformación se ha concentrado en las zonas de contacto con la roca encajonante (Figura 44). En la mayoría de las estaciones de campo donde se tomaron datos estructurales, las fallas normales y diques son anteriores a las fallas laterales, ya que no se observó que las estrías que indican este sentido sean cortadas por los movimientos normales (Figura 44).

En el intrusivo La Gotera también se preserva una deformación conjugada lateral asociada a este sistema ~ E-W, pero no se observaron trazas de fallas normales. De las observaciones de campo se infiere que la deformación sea geológicamente hablando en tiempo, progresiva, es decir apertura, fallas normales, emplazamiento de diques y posteriormente se deforman lateralmente (Figura 44).



**Figura 44.** Se muestran las trazas ciclográficas de las fallas normales en el diagrama superior izquierdo y los diques se representan en el diagrama del extremo superior derecho. Los diagramas que se localizan en la parte inferior de la figura, representan la traza ciclográficas de los planos de falla con movimientos laterales como se indica por las flechas colocadas cerca de la proyección de las alineaciones. En la figura de extremo inferior derecho se muestra el paralelismo que existe entre fallas normales, transcurrentes y diques. Los datos fueron tomados a lo largo de la carretera entre Tiquicheo y El Limón de Papapatzingán en el sector oriente del área.

Por otra parte se observan de manera aislada diques que presentan una dirección N-S emplazados en las fallas del SFTT-A, y los cuales presentan una composición también máfica. Dichos diques en algunas localidades cortan a las fallas (figura 27) y en otras son cortados por las fallas de este mismo sistema (Figura 41), lo cual sugiere que el magmatismo probablemente puede ser contemporáneo al fallamiento. Sin embargo, es importante señalar que la edad de estos diques se desconoce.

La hipótesis que se propone en este trabajo es que los diques fueron emplazados en fallas asociadas a extensión y posteriormente se continuó el proceso de deformación en la región por medio de desplazamientos laterales como se observa la deformación hacia el interior de los diques, y con una dirección subparalela a la dirección de los mismos. Esta cinemática no es exclusiva de los diques, pues se presenta también en las capas rojas y se

manifiestan como desplazamientos de fallas normales del orden de milímetros a metros orientadas en forma subparalela a los diques. Algunas de ellas con reactivaciones o cortadas por fallas laterales (en estos casos no se registró el desplazamiento vertical de las capas porque es aparente). La abundancia de estas fallas normales sistemáticas implica regionalmente una extensión considerable, al sumar el total de los desplazamientos ocurridos en cada una de estas fallas. La variación en el rumbo de los estratos, como se señaló en el capítulo anterior puede estar asociada a ligeras rotaciones de bloques.

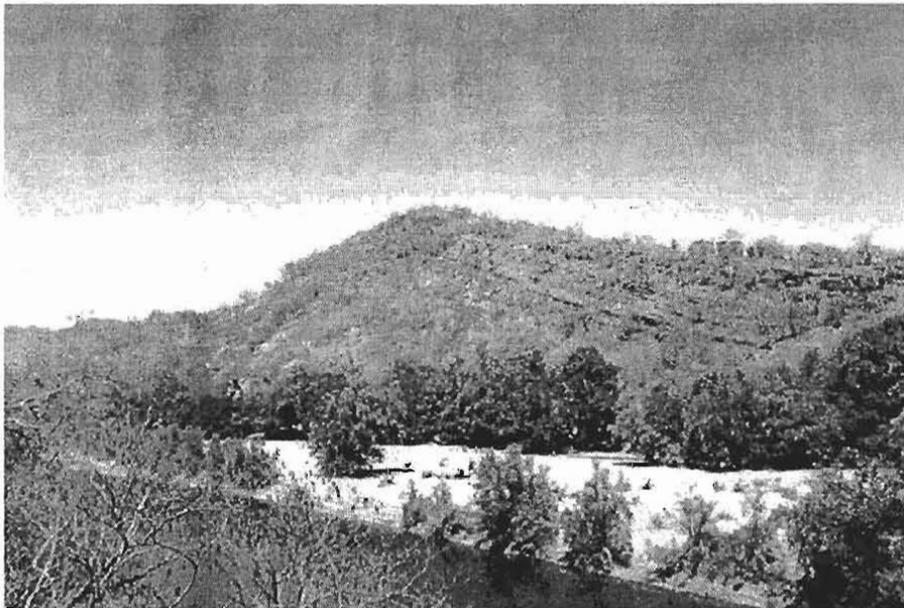
En cuanto a la relación entre el SFTT-A y las fallas y enjambre de diques Copándaro, hay dos observaciones de campo que apoyan la hipótesis de una probable relación genética: 1) Los diques no se prolongan, o no son tan abundantes en el bloque de piso, formado por las unidades marinas Cretácicas (Lámina I, figura 38), lo que sugiere que la extensión es mayor en la zona de Tiquicheo-Copándaro. 2) Esta zona con abundantes diques se localiza entre las terminaciones de dos segmentos de fallas importantes del SFTT-A (terminación sur de la falla de Tzentzenguaro, terminación norte de la falla de La Palma). Por otra parte, la evolución de extensión a desplazamiento lateral ha sido registrada en fallas Riedel en zonas de transcurrancia (Referencia del libro wrench). Sin embargo, se requiere de mayor estudio del área para determinar si existe dicha relación.

## DISCUSIÓN

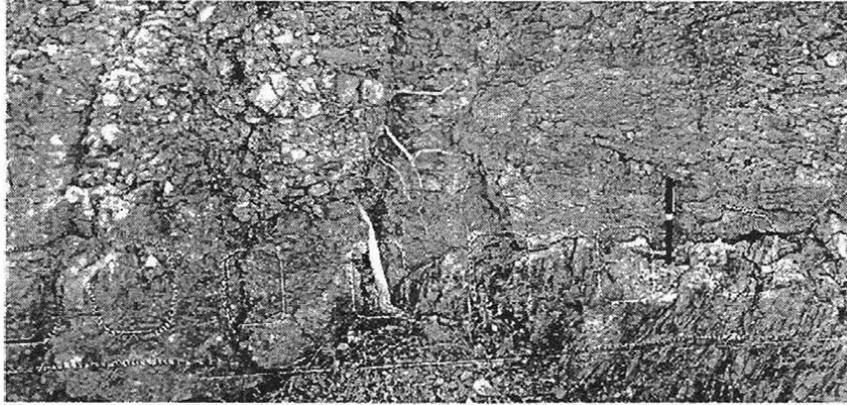
### *Relaciones estratigráficas y de contacto*

Los contactos entre las rocas de las formaciones Angao y San Lucas no diferenciadas con las rocas de la Formación Cutzamala, en el extremo oeste de la región de Tiquicheo-Eréndira es por medio de falla.

En el límite Este de las rocas no diferenciadas de las formaciones Angao y San Lucas el contacto es por medio de una discordancia angular con las rocas de la Formación Cutzamala, esto se observa en las cercanías del puente de Tiquicheo sobre el río Purungueo (Figura 45). Así mismo en este sector se observan contactos por falla sobre todo al sur de este punto, donde la falla La Palma pone en contacto a dichas unidades. Al norte, se observan contactos entre el Complejo Arteaga y la Formación Cutzamala por medio de fallas (Tzetzénguar) y discordantes (Figura 46).



*Figura 45. Disposición estratigráfica de las rocas de la Formación Cutzamala la toma fotográfica es desde el puente de Tiquicheo hacia en noroeste, el relieve topográfico hace evidente el cambio litológico que en este caso el contacto es por medio de una discordancia angular para un detalle ver la figura 9.*



*Figura 46. Discordancia angular entre rocas asociadas con el Complejos Arteaga y rocas conglomeráticas de la Formación Cutzamala al norte del pueblo de Purungueo en este punto se midieron planos de falla con un tren de orientación N-S.*

Esta discordancia sugiere que hubo un evento de acortamiento y deformación de las formaciones marinas más antiguas, además estas sufrieron un levantamiento diferencial, previo al depósito de la Formación Cutzamala, ya que dicha formación descansa al sur sobre unidades cretácicas, mientras que al norte descansa sobre rocas triásicas (?).

### *Sistemas de fallas y relaciones de corte*

En la región de Tiquicheo-Eréndira la deformación observada en las rocas que afloran muestran patrones complejos de fallas en régimen frágil, las cuales es posible asociar con varios eventos de deformación.

Las fallas que se localizan al suroeste de la región de Tiquicheo-Eréndira, con una dirección predominante NW-SE y que se manifiesta en las rocas de la Formación Comburindio (Aptiano-Barremiano) y rocas de las formaciones Angao-San Lucas no diferenciadas, son fallas normales que forman fosas tectónicas con desplazamientos de unos cuantos metros. No se observaron estas fallas en las rocas de la Unidad El Aguacate, la cual las cubre discordantemente, y tampoco se observaron fallas con orientación similar en la Formación Cutzamala. Por lo cual se intuye que probablemente este sistema de fallas esté

asociado a una deformación más antigua, previa al depósito de la Unidad El Aguacate y la Formación Cutzamala.

Existe un predominio de trenes de falla norte-sur que ponen en contacto las rocas del Complejo Arteaga (Jurásico) y las formaciones Angao-San Lucas y Comburindio (Cretácico Inferior) con rocas de la Formación Cutzamala (Cretácico Superior).

En la *zona este* se midieron estructuras que están relacionadas con un tren de fallas Este-Oeste, las cuales presentan movimientos de fallas normales, así como laterales (tanto izquierdos como derechos). Esta orientación coincide con la dirección en que fueron emplazados los diques del enjambre Copándaro. Este sistema de fallas se observa a lo largo de la carretera Tiquicheo-Eréndira en las rocas de la Formación Cutzamala y en la ribera del río Purungueo y Tuzantla. En ningún afloramiento se observó que las fallas E-W corten a las N-S o viceversa.

La deformación más reciente verificada, está expresada por medio de fallas que tienen una orientación NE-SW y que desplazan el contacto discordante entre las rocas de las formaciones Angao-San Lucas no diferenciadas, y la Formación Cutzamala, esto se puede observar en la ribera del Río Purungueo al suroeste del pueblo de Copándaro, así mismo al norte de este río se midieron otras estructuras con trenes orientados en la misma dirección. Por otra parte, cerca de la carretera de Tiquicheo-Papatzingán en un punto ubicado al oeste del pueblo de Copándaro se observa la continuación de esta falla (NE-SW), donde se midieron planos de falla con un orientación NE-SW en rocas de la Formación Cutzamala.

La relación de corte entre el sistema de fallas NE-SW y las fallas E-W, no pudo verificarse de manera directa, sin embargo, la falla NE-SW (Barranca El Sapo) corta a diques máficos que pertenecen al enjambre emplazado en las estructuras E-W. Por lo cual se infiere que el sistema NE-SW es posterior al fallamiento E-W y al emplazamiento de los diques Copándaro.

### ***Rocas intrusivas y relaciones de contacto***

Los cuerpos ígneos intrusivos que afloran en la región de estudio, son de naturaleza variada, hay cuerpos faneríticos (Intrusivo de Purungueo), cuerpos subvolcánicos de

composición intermedia a ácida (Ceiba Negra y La Gotera), y diques afaníticos de composición intermedia a básica (diques Janindipo y Copándaro). De todos estos aparentemente los diques son de los cuerpos más jóvenes, ya que cortan al Intrusivo La Gotera. Este último, al igual que los diques Janindipo y Copándaro, son afectados por las fallas E-W.

En este trabajo no se verificó en el campo si el intrusivo de Purungueo es o no cortado por las fallas N-S, aunque en la fotografía aérea si se observan rasgos lineales al interior del cuerpo intrusivo.

Las zonas de falla asociadas a transcurrencia se manifiestan en superficie como arreglos estructurales complejos relacionados con fenómenos de extensión o de acortamiento cuando están asociadas a zonas de cizalla en escala regional (Wilcox *et al.*, 1973; Woodcock and Rickards, 2003). Las fallas adoptan patrones estructurales controlados por las condiciones impuestas durante los eventos tectónicos que producen la deformación. Estos arreglos pueden ser identificados en campo y ser agrupados en sistemas inherentes a dominios de deformación extensionales, compresionales, transcurrentes o bien a combinaciones de estos, los cuales registran la historia de deformación a través del tiempo geológico en rocas preexistentes.

De esta manera la deformación asociada a transcurrencia ha sido modelada y los resultados de los experimentos muestran una relación importante entre el movimiento lateral y las estructuras de extensión o de acortamiento. Así mismo, se ha estudiado la relación entre estilos de deformación y la geometría observada en la expresión superficial de las regiones donde ocurre este tipo de fenómenos (Crowell, 1974; Wilcox *et al.*, 1973; Hardin and Tuminas, 1988; Woodcock and Rickards, 2003, Casas *et al.*, 2001).

Por otra parte, los perfiles sísmicos observados en secciones que cortan a zonas de cizalla, han permitido documentar que dichos arreglos complejos de fallas se generan a varios kilómetros de profundidad (Wilcox *et al.*, 1973), y que muestran una dispersión en la distribución de los patrones de las fallas expresados en superficie como estructuras de flor negativa o positiva. Es decir a profundidad la deformación se manifiesta como angostas zonas de cizalla en comparación con las zonas de falla amplias desarrolladas en superficie.

### *Anticlinal de Tzitzio y su relación con las fallas laterales*

Regionalmente se observa al norte una estructura con una dirección norte-sur, la cual ha sido interpretadas en otros trabajos como un anticlinal, que se desarrolla longitudinalmente por más de 80km con una orientación  $\sim 170^\circ$ . La cual justo al norte del área de estudio presenta un cambio abrupto en su geometría anticlinal esto en la cercanías del pueblo de Papatzingán. Donde casualmente aflora el intrusivo Purungueo y además por una parte se observa un intenso fallamiento con orientaciones aproximadas Norte-Sur, mientras que por otra al oeste de dicha estructura las fallas que limitan a las rocas del núcleo del anticlinal cambian a una dirección, desde este punto, hacia el SW, lo cual presenta un contacto por falla en todo este sector. Al Sureste el contacto es por medio de una discordancia angular entre las rocas de la Formación Cutzamala y las rocas de las formaciones no diferenciadas Angao y San Lucas. Mientras que al norte del intrusivo Purungueo el contacto entre las rocas de la Formación Cutzamala y las relacionadas con el Complejo Arteaga es por medio de falla en el sector Este. Aquí es importante indicar algunos puntos trascendentes que serán utilizados más adelante en esta discusión.

El intrusivo Purungueo oculta cual es la relación entre rocas del Complejo Arteaga y las rocas de la Formación Angao San Lucas. En este sentido las rocas de la Formación Cutzamala están en contacto por falla con las rocas del Complejo Arteaga, mientras que al sur el contacto es entre las primeras y las rocas de las formaciones Angao-San Lucas no diferenciadas por medio de una discordancia angular.

Si agregamos a lo anterior el hecho que el intrusivo Purungueo muestra en imagen de satélite un lineamiento que se puede interpretar como una falla (ver figura 39) es posible argumentar que tal deformación se continúe por las rocas de las formaciones no diferenciadas Angao-San Lucas. Es decir, a pesar que no se hizo un trabajo cartográfico de detalle hacia en interior de estas rocas para documentar la deformación frágil, se intuye que en efecto la deformación se manifiesta en estas rocas, los argumentos por supuesto pueden no ser de peso, sin embargo, se tiene documentada una falla (La Escondida) y se observan lineamientos con esta dirección en fotografías aérea (escala 1:50, 000), los cuales se infieren como fallas. Así mismo se observan en fotos aéreas lineamientos al este de la falla La Sabila cerca del pueblo de El Carrizal. En el cerro del mismo nombre, la falla La Sabila

corta a éste y en su cima no es posible medir los planos de falla por estar ocultos por bloques rodados, sin embargo, es posible apreciar en estos rodados planos de falla con estrías y alteración hidrotermal, hacia el interior de las rocas de las formaciones Angao San Lucas no se realizaron caminamientos para verificar los lineamientos que se observan al Este de la falla La Sabila en este sector.

Las fallas al norte y oeste del intrusivo Purungueo se concentran en una zona de falla con un ancho aproximado al ancho del anticlinal de Tzitzio, y penetran en las rocas del núcleo con una dirección norte, a su vez ponen en contacto rocas viejas del núcleo con rocas de la Formación Cutzamala. Por otra parte aunque no se realizó la cartografía detallada del núcleo de la estructura en la zona sur, con el objetivo de buscar planos de deformación frágil en el Complejo Arteaga y las rocas de las formaciones no diferenciadas Angao y San Lucas, si se observan varios lineamientos, que son paralelos a la falla La Escondida, que es la única falla identificada en la parte sur del núcleo.

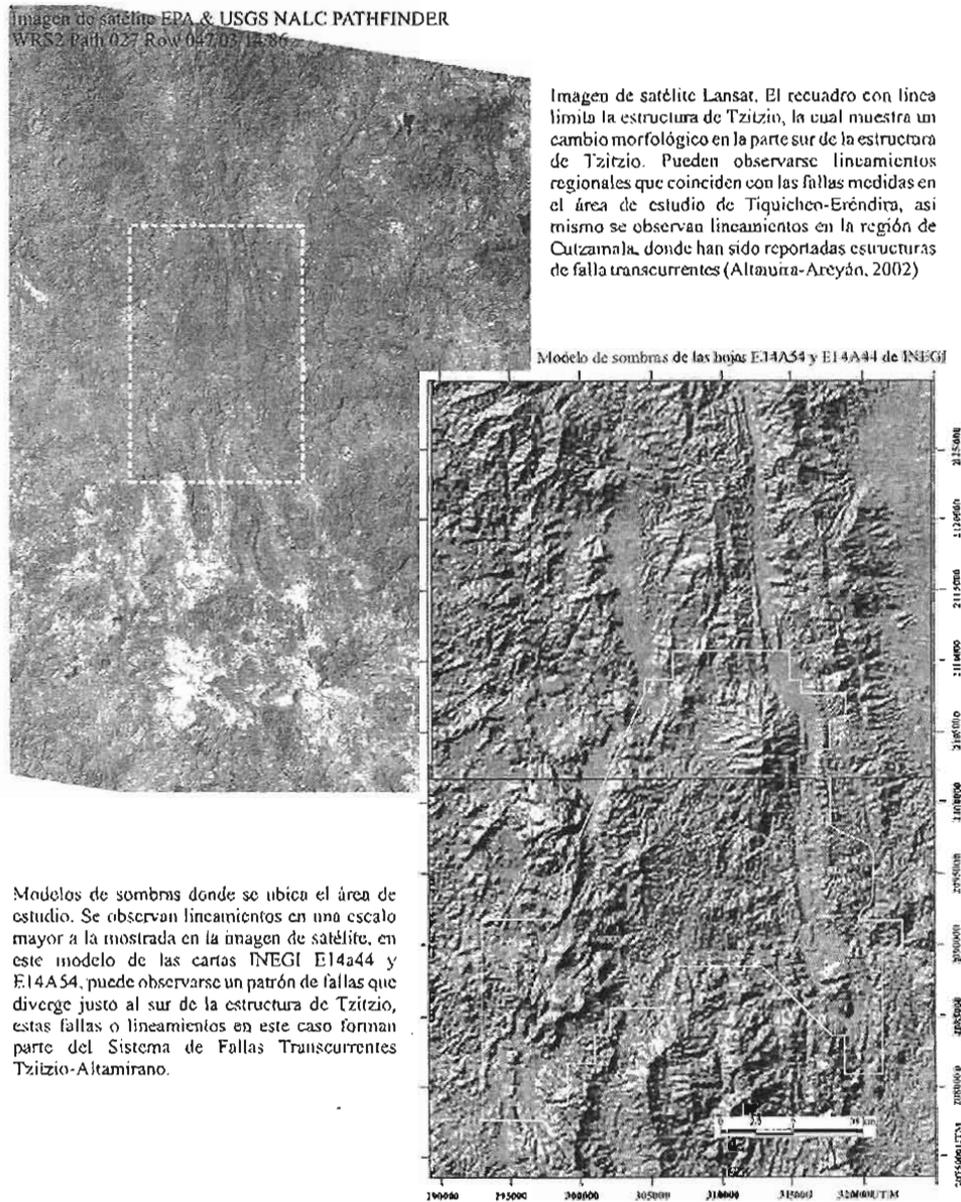
Como hipótesis de trabajo se planteó que la deformación predominante en la región de estudio estaba relacionada con una deformación de tipo transcurrente, al sistema formado por este se le asignó el nombre de Sistema de Fallas Transcurrentes Tzitzio – Altamirano, lo cual se apoyó en principio en la existencia de fallas laterales documentadas por Altamira-Areyán (2002), quién determinó además fallas laterales, al sur y norte de la región de Tiquicheo-Eréndira. Al sur en las cercanías del pueblo de Cutzamala<sup>3</sup> donde se observa una falla donde existe una zona de cizalla en rocas calcáreas y rocas de la Formación Cutzamala.

En la región al norte en el área de estudio se observó el contacto por falla, como ya se mencionó, entre las rocas de la Formación Cutzamala (Facies La Cañita 3) y las rocas asociadas al Complejo Arteaga. La magnitud de la deformación o el desplazamiento, en efecto no pudo determinarse cuantitativamente. Sin embargo, las fallas se manifiestan a lo largo de varios kilómetros en la región de estudio, que es el caso de la falla La Sabila y Tzentzenguaro, por poner dos ejemplos. En el sur la deformación se expresa en las rocas calcáreas por estructuras asociadas a cizallas y la dirección de las estructuras sigmoidales es con una dirección norte-sur con una dirección del movimiento derecho. Los trabajos

---

<sup>3</sup> Esta localidad fue visitada para tener un panorama regional, de la zona de estudio y las posibles estructuras relacionadas con la deformación observada en la región de Tiquicheo-Eréndira.

previos de la región proponen, principalmente al norte, que la estructura de Tzitzio se desarrolló por eventos de acortamiento o bien a dos o más eventos de deformación uno de acortamiento y uno posterior de transcurrencia. Sin embargo en este trabajo se considera que la deformación se debe, en efecto a eventos de acortamiento pero con una fuerte componente lateral que actúo de manera simultánea durante la deformación.



*Figura 47. Dos escalas diferentes, la figura del extremo superior izquierdo muestra una escala regional, en la cual se muestra la geometría que guarda con el relieve, al centro y en la parte superior se observa el anticlinal de Tzitzio, en la imagen del extremo inferior derecho se muestran líneas que representan las fallas asociadas con el Sistema de Fallas Transcurrentes Tzitzio-Altamirano.*

En primer lugar, puede observarse tanto al sur como al norte del área de estudio la geomorfología en varias escalas (Figura 47). De esta manera es posible establecer que la zona ha estado sometida a varios eventos de deformación posteriores al depósito de las capas rojas de la Formación Cutzamala, las cuales tienen una edad relativa del Cretácico Superior basada en los restos fósiles encontrados en la facies Los Bonetes y reportadas por Benammi y colaboradores (2004).

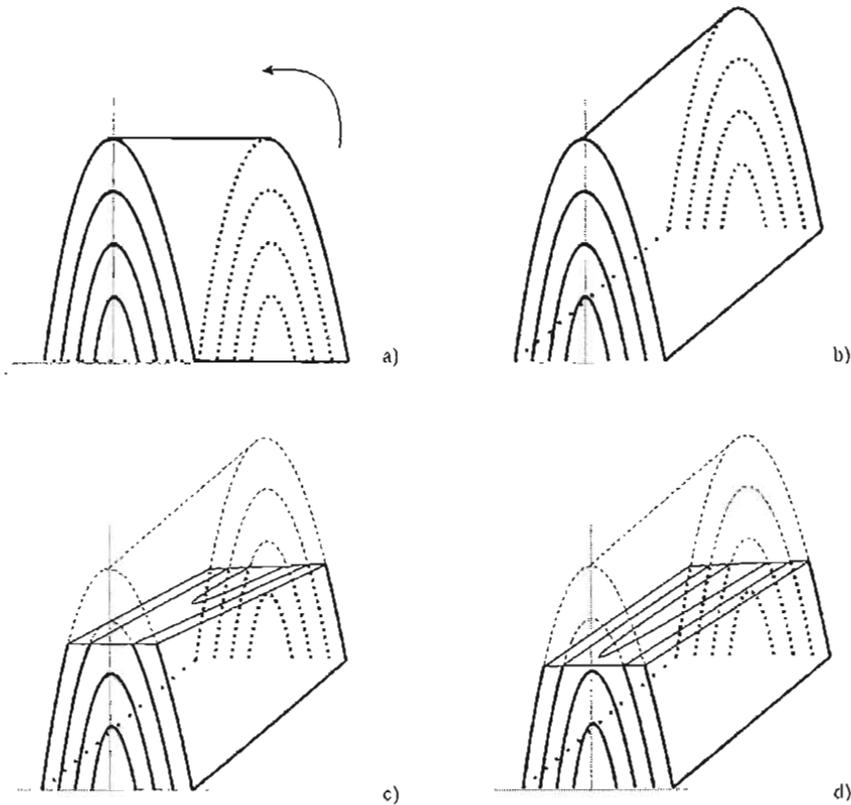
La estructura de Tzitzio se define como un anticlinal por primera vez por Demant y colaboradores (1975). Esta interpretación sigue siendo utilizada para explicar dicha estructura y en efecto un anticlinal es una estructura convexa donde las rocas más viejas se localizan hacia el interior de la superficie curva, mientras que las rocas más jóvenes están en la parte externa de ésta (Ramsay and Huber, 1987). En este sentido al norte de la región de estudio se observa que<sup>4</sup> las rocas más viejas están en la parte central del valle mientras que limitándolo hay capas rojas, sin embargo, no hay, en toda el área de estudio un contacto primario, sin fallamiento, entre capas rojas y las rocas metamorfozadas-polideformadas del posible núcleo del anticlinal, con excepción de una pequeña área la sur de Tiquicheo. En general se tienen contactos por medio de fallas a todo lo largo del trayecto entre El Limón de Papatzingán y El Devanador. El ancho del núcleo constituido por rocas polideformadas es de, como ya se mencionó, aproximadamente 10km de ancho, a lo largo de los más de 80km. Los párrafos anteriores sirven solamente para establecer que las relaciones de contacto entre las litologías del núcleo y las de la Formación Cutzamala es por medio de fallas, esto por supuesto no excluye que hayan sucedido eventos de acortamiento anteriores al SFTT-A pero no se observa actualmente esta deformación.

Durante el desarrollo del presente trabajo fueron sugeridos varios modelos para explicar la estructura de Tzitzio en la región de Tiquicheo-Eréndira. Uno de ellos está asociado con un evento compresivo que pudo dar lugar a un pliegue cerrado, el cual explica la distribución actual de rocas que afloran en la parte norte de la región de estudio, por ejemplo, en un estadio uno, el pliegue se forma y posteriormente es basculado en su eje

---

<sup>4</sup> Se hizo un recorrido por la carretera Papatzingán-Tzitzio, con el fin de verificar la disposición de los estratos y si las fallas continuaban hacia el norte, esta carretera cambia de dirección hacia el oeste a la altura del pueblo de El Devanador. En este punto no fue posible observar la relación de contacto entre secuencias polideformadas compuestas de lutita-cuarcita y las capas rojas por medio de un contacto discordante franco, pero fueron observadas fallas con dirección norte-sur tanto en las zonas cercanas al contacto como hacia el interior de las rocas del núcleo de la estructura antiforma.

longitudinal o tal vez de manera simultánea, acto seguido la erosión va desgastando la zona de charnela y se muestran finalmente las rocas que conforman su núcleo (Figura 48), sin embargo cabe la posibilidad, la cual ya había sido planteada (Islas *et al.*, 1989, Menella, 2000 y Garduño, 1999) en la que se proponen eventos de acortamiento y posteriores eventos transcurrentes, lo cual también resulta probable y se acerca más a la interpretación realizada en este trabajo, que es un sistema transpresivo.



*Figura 48. Esquema de la geometría de un pliegue, esta figura se muestra para representar la posible asociación de la estructura de Tzitzio con un pliegue cerrado, a) estado después del plegamiento de las rocas de la Formación Cutzamala y rocas basales, posteriormente b) un basculamiento de la estructura y la posterior erosión c) y d) muestran la distribución de las rocas en superficie. Las rocas más viejas se localizarían al centro del pliegue.*

Ambas interpretaciones son posibles como lo es, lo propuesto para una zona de transurrencia en un segmento de una falla del Sistema de fallas Yamasaki en el suroeste de Japón (Ueta, K. *et al.*, 2000). En la cual por medio de un modelo (por cierto muy

interesante) se produce una deformación por cizalla lateral la cual provoca en el modelo fallas de Riedel y además producen un levantamiento de las rocas basales (Figura 49).

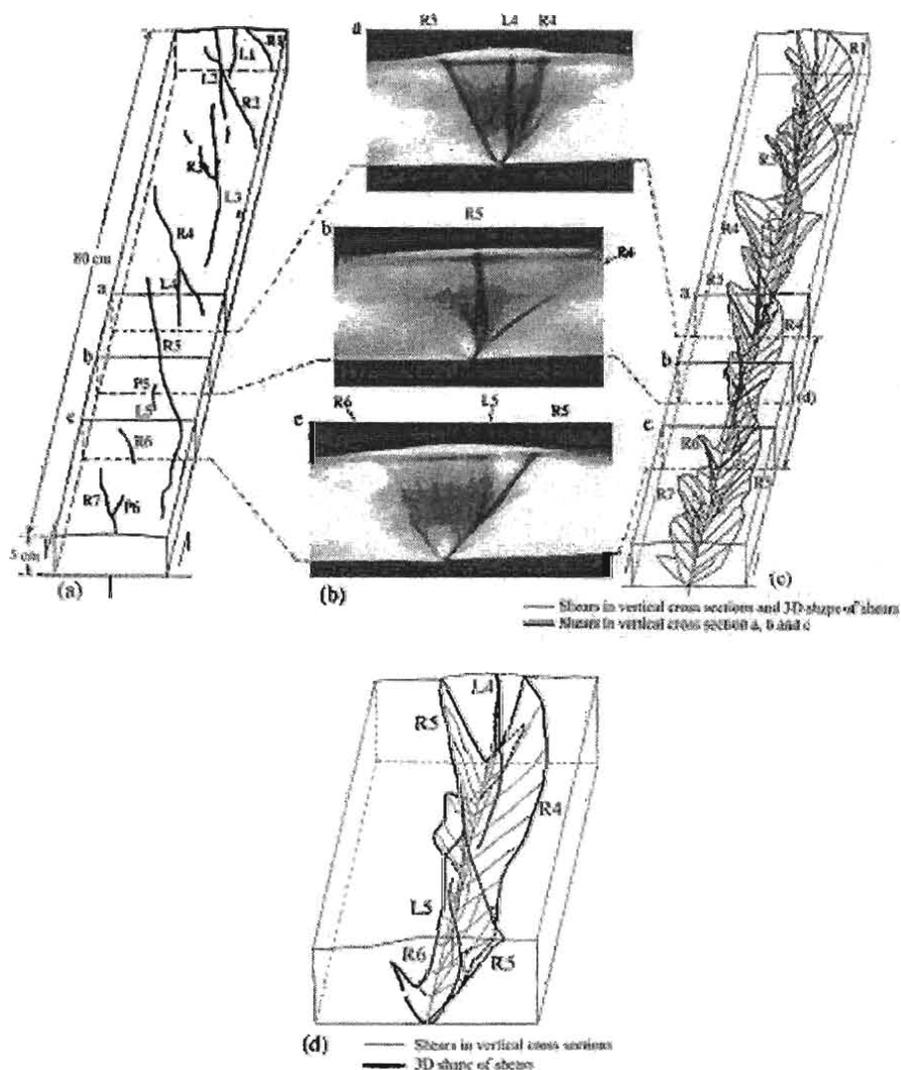


Figura 49. Sección vertical perpendicular a la dirección de la cizalla en un modelo para el sistema de fallas Yamasaky en el suroeste del Japón, en la cual se muestra la geometría de la falla observada en CT (Caso B, desplazamiento del basamento = 18 cm). (a) Patrones de cizalla en la superficie de la caja de arena. R1 a R7, L1 a L5 y P5 a P6 son fallas de Riedel. Las de ángulo bajo son las fallas antitéticas. a-c son secciones perpendiculares a las fallas del basamento. (b) Imágenes CT de la sección vertical a, b y c. (c) Secciones sucesivas verticales perpendiculares a la dirección de la cizalla en la cual se muestra la geometría de las fallas por CT. (d) secciones sucesivas verticales. (Tomado de Ueta, K. et al, 2000).

Se tiene en efecto fallas norte sur con movimientos laterales deducidos por el estriamiento en los planos de las fallas y un zócalo exhumado. Además existen fallas laterales relacionadas con fallas R', las cuales son posteriores al emplazamiento de los diques, pues estas fallas laterales deforman a estos cuerpos.

Otro aspecto interesante para esta discusión es la posición vertical de los estratos ubicados en la zona oeste de la región de estudio y que se encuentran en contacto por falla con las rocas de la Formación Angao-San Lucas no diferenciadas. Se describen varias fallas que en este trabajo se consideran fallas mayores asociadas con una deformación transcurrente y que limitan al oeste y este (fallas La Sabila y La Palma, respectivamente) a las rocas de las formaciones Angao-San Lucas no diferenciadas.

Resulta significativo para explicar por medio de un pliegue muy cerrado esta actitud de las capas en posición subverticales, sin embargo a unos kilómetros al norte las capas se encuentran en posición sub-horizontal, o inclusive con echados hacia el este. De hecho la variación angular de los estratos, que por una parte al noroeste (Este de Janindipo) tienen una orientación aproximada NE-SW y buzamientos de  $58^{\circ}$ NW en promedio, mientras que al este a partir de esta localidad se tiene un comportamiento irregular de la disposición de los estratos de las rocas que se encuentran entre las fallas N-S. Al Este franco de la falla Tzetzénguaru como ya se explicó, la variación es gradual con datos de estratificación N-S y buzamientos que varían de  $80^{\circ}$  a  $34^{\circ}$  al E. Mientras que al sur el comportamiento es que cerca de la falla La Sabila los estratos tienen buzamientos subverticales, mientras que al este los estratos además de tener una variación angular respecto a sus rumbos su buzamiento no es muy variable, en este caso el contacto, posiblemente desde el cerro Purungueo hasta el sur de Tiquicheo es discordante y después el contacto es por falla nuevamente.

Bajo el anterior panorama resulta difícil mantener una posición que no implique acortamientos asociados con movimientos laterales, un pliegue en efecto puede explicar la estructura de Tzitzio, pero solamente de manera parcial, por lo que en este trabajo se asume que la deformación asociada al Sistema de Fallas Transcurrentes Tzitzio-Altamirano provocó la exhumación de un bloque o cuña de rocas basales (formaciones Angao-San Lucas no diferenciadas y Complejo Arteaga) y las puso en contacto con las rocas más jóvenes que pertenecen a la Formación Cutzamala por medio de un sistemas de fallas

laterales con una componente de acortamiento y asociada con el desarrollo de arreglos de fallas de Riedel.

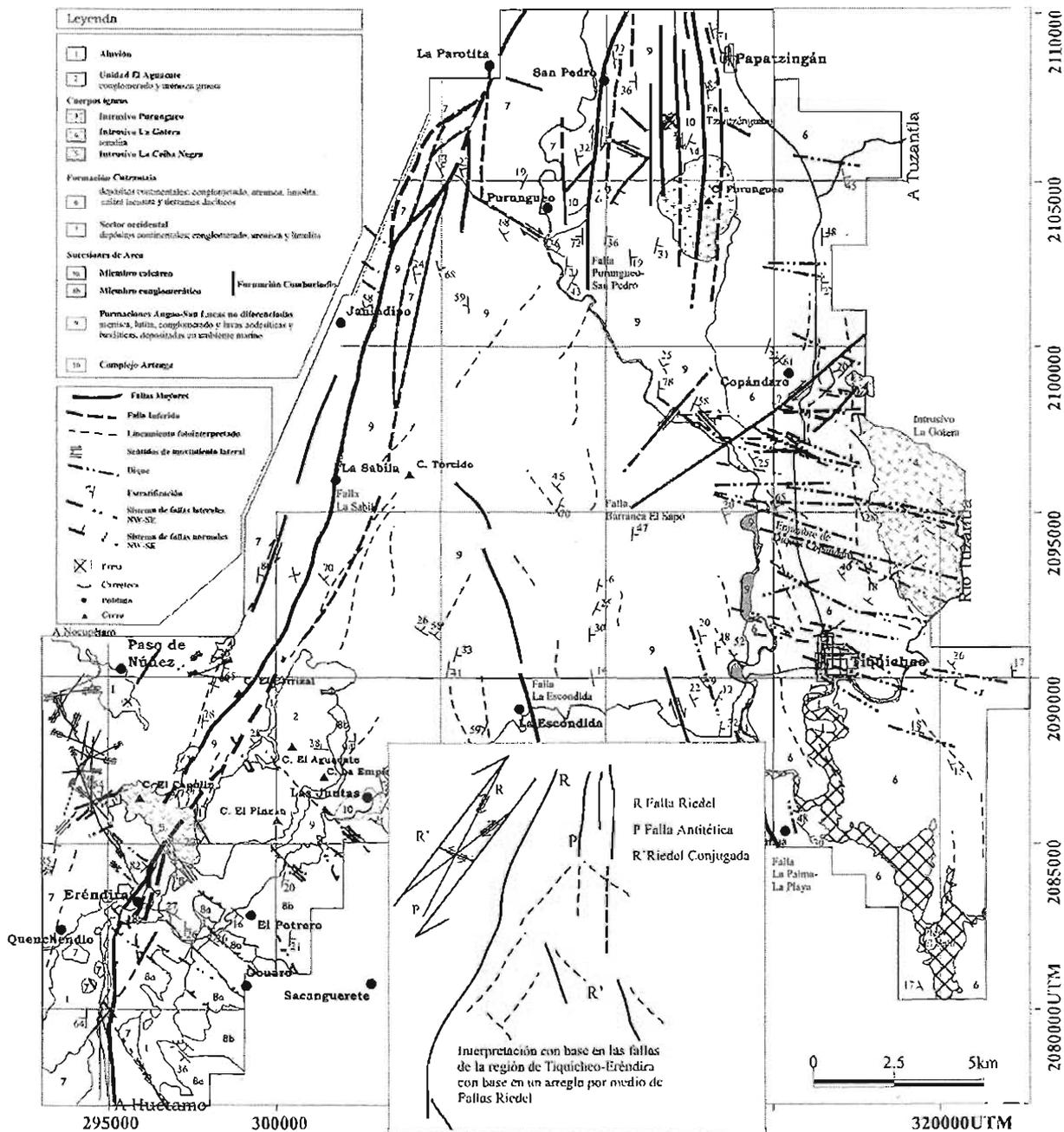


Figura 50. Mapa geológico estructural del área de estudio. En él se muestran las fallas medidas en campo y en la parte inferior central se observa en el recuadro la interpretación para explicar el sistema de fallas Transcurrentes de Tzitzio-Altamirano. Esta interpretación se basa exclusivamente en la geometría que muestran las fallas en la cartografía generadas a partir de datos tomados en campo. Por medio de esta interpretación se infiere que la cinemática del SFTT-A, está asociada con una cizalla lateral derecha de manera regional.

## CONCLUSIONES

La geometría regional del sistema de fallas con trenes orientados hacia el N-S, con movimientos transcurrentes, y asociados con acortamiento implican una elevación de las rocas basales que representan a las sucesiones de rocas marinas polideformadas relacionadas con el Complejo Arteaga o Formación Río Placeres (Jurásico Superior-Cretácico Inferior), Formaciones Angao y San Lucas (Cretácico Inferior), no diferenciadas en este trabajo y Formación Comburindio (Cretácico medio), las cuales estuvieron sometidas a eventos de deformación previos al depósito de la sucesión de capas rojas del Cretácico Superior de la Formación Cutzamala. Mismas que posteriormente en conjunto fueron deformadas por sistemas de fallas desarrollados en régimen frágil.

Se reconocieron al menos tres eventos de deformación separados en tiempo, el primero corresponde a una tren de fallas con una dirección WNW-ESE el cual está formado por fallas normales en arreglos de horts y grabens, el desplazamiento provocado por estas fallas muestra magnitudes del orden de metros y se manifiesta principalmente en las rocas relacionadas con la Formación Comburindio, la edad de este evento de deformación es posterior al depósito del miembro calcáreo de esta formación, se observa la deformación también en las rocas que pertenecen a la Formación Angao-San Lucas no diferenciada en este trabajo. Las rocas de la Unidad El Aguacate no presentan trenes análogos de deformación a este sistema, tampoco se observa en el intrusivo La Ceiba Negra registro de este evento de extensión.

El Sistema de Fallas Transcurrentes Tzitzio-Altamirano, posterior al sistema WNW-ESE pone en contacto litologías que pertenecen a las rocas basales y rocas más jóvenes dentro de la sucesión de rocas sedimentarias. Las rocas involucradas en la deformación transcurrente han sido afectadas por la deformación en varios grados en función de su competencia mecánica, esto hace que los estilos de la deformación sean distintos en cada uno de los segmentos de la falla que involucra a varias litologías. Este sistema está formado por varias fallas.

La falla La Sábila forma parte de un sistema localizado en la zona oeste de la región Tiquicheo-Eréndira y presenta una orientación NNE-SSW y buzamiento subvertical de los planos que la integran. Pone en contacto tectónico a varias litologías a lo largo de su

desarrollo cuya longitud en el área de estudio es de ~ 35km. Este sistema de fallas se estudió en los sectores Sur, Central y Norte. Los cuales presentan grados de magnitud de la deformación variable en cada una de las litologías en las cuales se hospeda. Al norte de la región de estudio se une al resto de las fallas del SFTT-A a la altura del pueblo de Tzetzénguaró, y se continúa hacia el norte hasta el poblado de Tzitzio. Mientras que al sur se desconoce la longitud de su desarrollo.

En el sector Sur de la falla La Sabila se observa un arreglo trezado local de planos de falla que limitan a cuerpos sigmoidales compuesto por roca calcárea y sucesiones de lutita-arenisca de las formaciones Comburindio y Angao-San Lucas respectivamente. El desplazamiento de estos cuerpos sigmoidales sugiere un movimiento lateral derecho. Las rocas estratificadas tienen una disposición subvertical cerca de la zona de falla y en regiones distales las capas disminuyen el ángulo de buzamiento de sus estratos, esto se observa a ambos lados de las rocas más antiguas.

En el sector central la falla La Sábila presenta claramente un conjunto de planos de falla subparalelos, más espaciados. En este sector se pone en contacto tectónico areniscas de grano grueso del miembro inferior de la Formación Cutzamala con lutita-arenisca de las formaciones Angao-San Lucas. El sistema de fallas asociado a este sector presenta planos subparalelos en una banda de entre 2 y 4km de ancho.

La falla La Sabila en el sector norte, así como las fallas subparalelas en esta parte continúan a lo largo de una dirección ~ N30°E hasta converger al noroeste del pueblo de Tzetzénguaró. En este sector, las rocas de la Formación Cutzamala y del Complejo Arteaga forman grandes bloques, de más de 1km de ancho y varios kilómetros de longitud, que se desplazan unos con respecto a otros, en forma de grandes sigmoides (Lámina I). Los planos de fallas en este sector equidistan entre sí distancias que van de los 500 a los 1000 metros, y forman un sistema complejo, donde bloques de diferentes niveles estratigráficos se alternan.

La deformación asociada al SFTT-A se distribuye en otras fallas que en algunos casos limitan litologías y en otros se localizan hacia el interior de las rocas más viejas, como es el caso de las fallas La Palma en la parte oeste del área de estudio, al norte la falla Tzetzénguaró forman parte de las fallas de límite litológico, en el caso de las fallas San Pedro-Purungueo y La Escondida, se localizan hacia el interior de las sucesiones más

antiguas de rocas, a pesar que en la primera de estas dos fallas el contacto en parte esté asociado a límites litológicos.

La edad de este Sistema de Fallas Transcurrentes Tzitzio-Altamirano es relativo al intrusivo Purungueo el cual tiene una edad Eoceno tardío (Ferrari et al., 2004). Con base en los lineamientos que se observan en este cuerpo por medio de fotografía aérea. Por lo que es necesario determinar la relación en campo, para corroborar esta conclusión.

Respecto a las estructuras que se alinean con un tren de dirección E-W se tiene la posibilidad que durante los eventos de deformación laterales (SFTT-A) los bloques hayan sido rotados. En algunos afloramientos las relaciones temporales entre las fallas y los diques: están asociadas con pliegues de arrastre por lo que se deduce que primero ocurrió el fallamiento normal, y posteriormente fueron emplazados los diques, y finalmente se desarrollaron planos de falla frágil en algunos diques los cuales presentan como evidencia estrías subhorizontales, indicando desplazamiento lateral.

Las estructuras más recientes pertenecen a un sistema de fallas orientadas hacia el NE-SW, a su vez este rumbo se alinea con la orientación análoga al dique de Tuzantla y otros lineamientos al noreste de la región de Tiquicheo-Eréndira, los cuales se observaron únicamente en la parte norte del pueblo de Tiquicheo. La edad de este sistema de fallas es posterior al evento que produjo el SFTT-A.

No existen marcadores horizontales que permitan cuantificar la magnitud del desplazamiento del SFTT-A, pero se tiene una estimación preliminar calculada de un desplazamiento mínimo horizontal de 2 a 5km, con base en los sigmoides. Verticalmente el desplazamiento presenta un mínimo de levantamiento del bloque de piso de 600 a 1,800 m, con base en el nivel topográfico en el cual afloran las unidades más antiguas las cuales forman el horst central y los espesores aproximados de la Formación Cutzamala. Respecto al sistema en general y con base la distribución regional de los afloramientos de la facies Tiquicheo, se hizo una estimación la cual arroja un desplazamiento aproximado de 55 kilómetros y con un movimiento derecho, para corroborarse este cálculo son necesarios trabajos de campo en zonas tanto al sur como al norte, así como un análisis de facies detallado y análogo al realizado por Altamira-Areyán (2002) para el sector este del área de Eréndira-Purungueo.

Con respecto a la relación entre el SFTT-A y las fallas Este-Oeste y enjambre de diques Copándaro, se presenta por una parte una probable relación genética basada en observaciones de campo la cual se apoya en que los diques no se prolongan, o no son tan abundantes en el bloque de piso (formaciones no diferenciadas Angao-San Lucas). Esto sugiere que la deformación asociada a extensión es mayor en la zona de Tiquicheo-Copándaro. Mientras que por otra, esta zona de abundancia de diques se localiza entre las terminaciones de dos segmentos de fallas importantes del SFTT-A, estas son el sur de la falla Tzentzenguaro y la terminación norte de la falla La Palma. Por lo que se concluye parcialmente que la evolución de extensión a desplazamiento lateral ha sido parte de una deformación progresiva en fallas Riedel en zonas de transcurrencia. No obstante, la evidencia no es concluyente y son necesarios más estudios para corroborar dicha relación.

La edad de cada uno de los eventos de deformación frágil reportados en este trabajo ha sido constreñida en función de indicadores cronológicos relativos a edades basadas en el registro fósil que guardan algunas unidades marinas (Formación Comburindio). Las rocas que pertenecen a esta formación están deformadas por fallas normales las cuales presentan un sistema con un tren WNW-ESE. La edad de este evento esta constreñida a un evento posterior al depósito del miembro superior calcáreo de la Formación Comburindio. La edad del sistema de fallas Tzitzio-Altamirano se infiere que al menos es pos-Cretácico tardío, si en trabajos futuros se corrobora en el campo que en efecto corta al intrusivo de Purungueo entonces es por lo menos pos-Eocénica. De lo contrario, si en el campo se verifica que este intrusivo corta los planos de falla entonces la edad se constreñiría al posCretácico-preEoceno.

Finalmente el evento más reciente observado en el área de Tiquicheo-Eréndira está asociado con el sistema de fallas NNE-SSW observado en la parte Este del área de estudio y que está representado por la falla La Barranca El Sapo. Cuya edad es posterior al evento que generó al SFTT-A.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alencaster y Pantoja-Alor, 1995, **New early Aptian rudists (Bivalvia-Hippuritacea) from the Huetamo area in southwestem México.** *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. Vol. 12 No. 2 p. 123-134.
- Alencaster, G., & Pantoja-Alor J., 1998, **Two new Lower Cretaceous rudists (Bivalvia-Hippuritacea) from the Huetamo region; Southwestern Mexico.** *Geobios*. n 22. p.15-28.
- Altamira Areyán A., 2002, **Las litofacies y sus implicaciones de la cuenca sedimentaria Cutzamala-Tiquicheo, Estados de Guerrero y Michoacán México.** Tesis de Maestría (inédita). Instituto de Geología, UNAM. 71pp.
- Altamira-Areyán A.; Martínez-Hernández, E., Centeno García, E., 2000, **Facies paleoambientales y paleoclimas del Paleoceno-Eoceno de la zona norte de Tierra Caliente, Estados de Guerrero y Michoacán México.** *GEOS, Boletín Informativo, Resúmenes y programa*, 157pp.
- Benammi, M, Christian M.R, Centeno-García e.; Urrutia-Fucugauchi J., Martínez-Hernández E. Morales-Gámez m., 2004, Reporte preliminar sobre dinosaurios del Cretácico Tardío en el Sur de México (Tiquicheo, Estado de Michoacán). IX Congreso Nacional de Paleontología, Resúmenes.
- Benammi, M.; Centeno-García, E.; Urrutia-Fucugauchi, J.; Tolson, G.; Martínez-Hernández, E.; Morales-Gámez, M., 2004, **Una Nueva Localidad de Dinosaurios en el Sur de México.** *Agencia de Noticias de la A. M. C.* <http://www.amc.unam.mx>. p.112.
- Biddle, Kevin T.; Christie-Blinck, Nicolas, 1985, **Glossary—strike-slip deformation, basin formation, and sedimentation.** *SEPM Special Publication 37*, p.375-386.
- Buitrón-Sánchez y Pantoja-Alor, 1998, **Albian gastropods of the rudist-bearing Mal Paso Formation, Chumbitaro region, Guerrero, Mexico.** *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. Vol 15- No. 1 p. 14-20.
- Buitrón-Sánchez y Pantoja-Alor, 1994, **Esponjas perforantes de moluscos del Cretácico Temprano en la región centro occidental de México.** *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. Vol. 11. No. 2, p, 222-231.
- Campa M.F.; Coney, P.J., 1983, **Tectono-stratigraphic terranes and mineral resource distributions in Mexico.** *Canadian Journal Earth Sciences*, v. 20, p.1040-1051.
- Campa, M.F., 1978, **La Evolución tectónica de Tierra Caliente, Guerrero.** *Boletín de la Soc. Geol. Mex. IV Conv. Geol. Nal. Memoria*, Tomo XXXIX, No2, p.52-54.
- Campa, M.F.; Ramírez, E.J., 1979, **La evolución y metalogenética del noroccidente de Guerrero.** *Serie Técnica-Científica. Universidad Autónoma de Guerrero*. Tomo 1, 102pp.
- Campa-Uranga, M. F., 1977, **Estudio tectónico. Prospecto Altamirano-Huetamo: Poza Rica, Ver.,** Petróleos Mexicanos, Informe geológico 146 (IGPR-146) 94pp. (Inédito).
- Campa-Uranga, MF., Ramírez-Espinoza, j., and Bloome, C., 1982, **La secuencia volcano sedimentaria metamorfozada del Triásico (Ladiniano-Cárnico) de la región de Tumbiscatío, Michoacán.** *Soc. Geol. Mex. IV Conv. Geol. Nal. Abstract*, p.48,
- Casas A. M., Gapais, D., Nalpas, T., Besnard, K. Román-Berdiel, T., 2001, **Analogue models of transpressive systems.** *Journal of Structural Geology*, v 23, p.733-743.
- Centeno-García, E., 1994, **Tectonic evolution of the Guerrero Terrane, western Mexico.** *Tucson, University of Arizona*, Ph. D. dissertation, 220pp. (unpublished).
- Centeno-García, E., Corona-Chávez, P., Talavera-Mendoza, Ó.; Irondo, A., 2003, **Geology and tectonic evolution of the western Guerrero terrane—a transect from Puerto Vallarta to Zihuatanejo, Mexico.** *In: Geological transects across cordilleran Mexico. Guidebook for the field trips of the 99th Geological of America Cordilleran Section Annual*

- Meeting. Alcayde, M., and Gómez-Caballero, A. (ed). *Instituto de Geología, Centro de Geociencias, UNAM. México D.F. Publicación Especial 1*, p.201-228.
- Centeno-García, E.; García, J.L.; Guerrero, M.; Ramírez, J.; Talavera, O., 1993, **Geology of the southern part of the Guerrero Terrane, Ciudad Altamirano-Teloloapan area.** *Proceedings First CircumP-Pacific and Circum-Atlantic terrane Conference, Guanajuato, México, Field Trip guide II*, p.22-33.
  - Centeno-García, E., Benammi, M., Altamira-areyán, A., Martínez-Hernández, E., Morales-Gómez, M., y Callejas-Moreno, J., 2004, **Evolución tectono-sedimentaria de la cuenca continental cretácica de Tierra Caliente, Michoacán: resultados preliminares.** *IV Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra. Resúmenes*, p. 217.
  - Centeno-García, E.; Silva Romo, G., 1997, **Geology, geochemistry, and tectonic evolution of central Mexico during Mesozoic time.** *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, Inst. de Geol. UNAM*, v. 14, n. 2, p.244-260.
  - Corona-Chávez, P., 1999, **El basamento litológico y tectónico del estado de Michoacán. En: Carta geológica de Michoacán Escala 1:250000.** (ed) Corona-Chávez, P.; Israde-Alcántara, I. Depto. de Geol. y Min. I. I. M. UMSNH, p.10-26.
  - Correa-Mora, F., Tolson, G., 1996, **Una hoja de cálculo para la manipulación y visualización de datos de orientación.** *GEOS, Bol. Inform. Época II*, v. 16, n 3, p.142-145.
  - Cortes-Obregón, S., 1945, **Criadero de minerales cobrizos en el municipio de Tiquicheo Mich.,** *Fac. de Ing. UNAM, México D.F. Tesis de Licenciatura* 115pp. (Inédita).
  - Crowell, J.C., 1974, **Origin of Late Cenozoic basins in souther California.** *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication 22*, p.190-204.
  - De Cserna Z., Palacios-Nieto, M., Pantoja-Alor, J., 1978, **Relaciones de facies de las rocas cretácicas en el noreste de Guerrero y en áreas colindantes de México y Michoacán.** *Revista del Instituto de Geología, UNAM*, vol. 2, núm. 1, p.8-18.
  - De Cserna, Z., 1978, **Notas sobre la geología de la región comprendida entre Iguala, Ciudad Altamirano y Temascaltepec, estados de Guerrero y México.** *Soc. Geol. Mex., Libro-guía de la excursión geológica a Tierra Caliente*, p.1-34.
  - De Cserna, Z., 1982, **Hoja Tejupilco 14Q-g(9), Geología de los Estado de Guerrero, México y Michoacán.** *Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Carta Geológica de México, serie 1:100000 (mapa con texto explicativo)*, 29pp.
  - De Cserna, Z., 1983, **Hoja Tejupilco 14Q-h(7) con resumen de la geología de la hoja Taxco, Estados de Guerrero, México y Morelos.** *Carta geológica de México serie 1:100000. Instituto de Geología UNAM* 47pp.
  - Demant, A.; Mauvois, R.; Silva-Mora, L., 1975, **Estudio geológico de las hojas Morelia Maravatío (escala 1:100000) estado de Michoacán,** *CFE-Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos. Informe Inédito. CFE.* 30pp.
  - Doblas, M., 1998, **Slickenside kinematic indicators.** *Tectonophysics*, Vol. 295, No 1-2, p. 187-197.
  - Elias-Herrera, M., and Sanchez-Zavala, J., 1990 (1992), **Tectonic implications of a milonitic granite in the lower structural levels of the Tierra Caliente Complex (Guerrero State, Southern Mexico).** *UNAM, Instituto de Geología, Revista*, v. 9, p. 113-125.
  - Elías-Herrera, M.; Sánchez-Zavala, J.L.; Macías-Romo, C., 2000, **Geologic and geochronologic data from the Guerrero terrane in the Tejupilco area, southern Mexico: a new constraints on its tectonic interpretation.** *Journal of South American Earth Sciences*, v. 13, 1.4-5, p.355-375.
  - Ferrari L., Cerca- Martínez, M.; López-Martínez, M.; Serrano-Durán, L., y González-Cervantes, N., 2004, **Age of Formation of the Tzitzio antiform and structural Control**

- of Volcanism in Eastern Michoacán and Western Guerrero. *IV Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra. Resúmenes*, p. 68.
- Fossen, H. and Tikoff, B., 1993, **The deformation matrix for simultaneous simple shearing, pure shearing and volume change, and its application to transpression-transension tectonics.** *Journal of Structural Geology*. Vol. 15, p. 413-422.
  - Fries, C., Jr., 1960, **Geología del estado de Morelos y de partes adyacentes de México y Guerrero, región central meridional de México.** UNAM, Inst. de Geol. Bol. 60, 236pp.
  - Garduño-Monroy, 1999, **Marco Tectónico del Estado de Michoacán.** *En: Carta geológica de Michoacán Escala 1:250000.* (ed) Corona-Chávez, P.; Israde-Alcántara, I. Depto. de Geol. y Min. I. I. M. UMSNH, p.1-9.
  - Guerrero-Suastegui, 1997, **Depositional history and sedimentary petrology of the Huetamo sécuense, Southwestern México.** *Thesis of Master of Sciences: Department of Geological Sciences The University of Texas at El Paso.* 120 p.
  - Hardin, T.P.; Tuminas, A.C., 1988, **Interpretation of footwall (lowside) Fault Traps Sealed by reverse fault and convergent wrench faults.** *AAP, Bulletin*, v. 72, p.738-757.
  - INEGI, **Carta Topográfica Bejucos (E14A55, México, Guerrero y Michoacán) Escala 1:50000.** *Cetenal 2ª impresión*, 1985, México, D.F.
  - INEGI, **Carta Topográfica Papatzingán (E14A44, Michoacán) Escala 1:50000.** *Cetenal 2ª impresión*, 1987, México, D.F.
  - INEGI, **Carta Topográfica Tafetán (E14A34, Michoacán) Escala 1:50000.** *Cetenal 2ª impresión*, 1985, México, D.F.
  - INEGI, **Carta Topográfica Tiquicheo (E14A54, Michoacán y Guerrero) Escala 1:50000.** *Cetenal 2ª impresión*, 1982, México, D.F.
  - INEGI, **Carta Topográfica Tutzantla (E14A45, Michoacán y México) Escala 1:50000.** *Cetenal 2ª impresión*, 1985, México, D.F.
  - Islas de la, V.A.; Ortiz-Ezqueda, A.; Robles-Nolasco, J.; Sánchez-Escamilla, J.A., 1989, **Estudio estratigráfico-estructural y tectónico de la parte norte del pliegue de fondo de Tzitzio, Mich.** *Tesis de licenciatura, ESIA-IPN.* 144pp.
  - Johnson, C.A.; Lang, H.R.; Cabral-Cano, E., Harrison, C.G.A.; Barros, A.J., 1991, **Preliminary assessment of stratigraphy and structure, San Lucas Región, Michoacán and Guerrero States, SW Mexico.** *The Mountain Geologist, Special Issue*, v. 28, No. 2-3.
  - Kim, Young-Seog, Peacock, D.C.P. and Sanderson D.J., 2004, **Fault damage zones.** *Journal of Structural Geology*, Vol. 26, No. 3, p. 503-517
  - Lapierre, H., Ortiz, L.E., Abouchami, W., Monod, O., Coulon, C., Zimmermann, J.L., 1992, **A crustal section of an intra-oceanic island arc: the Late Jurassic-Early Cretaceous Guanajuato magmatic sequence, central Mexico.** *Earth Planetary Science L*, v. 108, p.1-77.
  - López-Infanzón, M.; Grajales-Nishimura, M., 1984, **Edades K-Ar de rocas ígneas y metamórficas del estado de Guerrero y Michoacán,** *Informe Inédito del IMP.*
  - Marret, R. and Peacock D.C.P., 1999, **Strain and stress.** *Journal of Structural geology.* Vol. 21, No 8-9, p. 1057-1063.
  - Martínez-Hernández, E., 2004, **Comunicación escrita.**
  - Mauvois R., 1977, **Cabalgamiento Miocénico (?) en la parte Centromeridional de México.** *UNAM, Inst. Geol. Revista*, v.1, No1; p.48-63.
  - Mauvois, R. Demant., A.: Silva Mora, L., 1976, **Estructura Terciaria en la base del Eje Neovolcánico Transmexicano (ejemplo de la depresión Tzitzio-Huetamo, estado de Michoacán),** *III Congreso Latino Americano, Geol. Acapulco*, resúmenes, p.87.
  - Medina-Hernández P.; Morales-Narvaez, V.M.; Pérez De La Cruz, J.A., 1983, **Estudio Geológico del Área de Tiquicheo, Edo. De Michoacán.** *Tesis Profesional (inédita), IPN. ESIA*, México D.F. 141pp.

- Menella, L.; Garduño, V.H.; Bonassi, O., 2000, **Fault-slips analysis in the basal of the Mexican Volcanic Belt on the eastern flank of the Tzitzio anticline, Michoacán, México.** *In: Delgado-Granados, H., Aguirre-Díaz, G.J.; Stock J.M. (ed.) Cenozoic tectonics and volcanism of México. Boulder, Colorado GSA Special Paper 334*, p.237 – 246.
- Morales-Gámez, M.; Centeno-García, E.; Tolson, G.; Benammi, M.; y Martínez-Hernández, E., 2004, **Definición y Cinemática del Sistema de Fallas Tzitzio-Altamirano, en la Región de Tiquicheo-Eréndira, Oriente de Michoacán.** *IV Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra. Resúmenes*, p. 67-68.
- Morley, C. K., 2002, **A tectonic model for the Tertiary evolution of strike-slip faults and rift basins in SE Asia.** *Tectonophysics*, Vol. 347, No 4, p. 189-215
- Negendank J.F.W.; Böhnel, H.; Frank, M.; Kratzeisen, M.; Terrel, D., 1993, **Structure and Evolution of the Continental Margin of the Southern Mexico Along the Cross Section Through the Sierra Madre del Sur, Zihuatanejo-Altamirano Guerrero.** *In: First Circum-Pacific and Circum-Atlantic Terrane Conference.* Ortega-Gutiérrez, F.; Coney, P.; Centeno-García, E.; Gómez-Caballero, A. (ed) Gto. Méx. Inst. Geol. UNAM. p.104-106.
- Nieto Samaniego, A.F., 1994, **Deformación tridimensional y patrones complejos de fallas en niveles superficiales de la corteza: teoría y estudio de tres casos mexicanos.** *Tesis Doctorado, CCH-UACP y P, UNAM, México 85pp.* (Inédita).
- Nieto-Samaniego, Á.F., 1999, **Stress, strain and fault patterns.** *Journal of Structural Geology*, Vol. 21, No. 8-9, p 1065-1070.
- Nixón, G. T.,
- Omaña-Pulido, L. y Pantoja-Alor, J., 1998, **Early Aptian benthic foraminifera from El Cajón Formation, Huetamo, Michoacán (SW Mexico).** *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas.* Vol. 15. No. 1, p. 64-72
- Pantoja-Alor, J. and Gómez-Caballero, J.A., 2003, **Geologic Features and Biostratigraphy of the Cretaceous of Southwestern México (Guerrero Terrane).** *Guidebook for the field trips of the 99th Geological of America Cordilleran Section Annual Meeting.* Alcayde, M., and Gómez-Caballero, A. (ed). *Instituto de Geología, Centro de Geociencias, UNAM. México D.F. Publicación Especial 1*, p. 229-260.
- Pantoja-Alor, J., 1959, **Estudio geológico de reconocimiento de la región de Huetamo, estado de Michoacán: Consejo de Recursos no Renovables.** *Boletín 50*, 36pp.
- Pantoja-Alor, J., 1990, **Redefinición de las unidades estratigráficas de la secuencia mesozoica de la región de Huetamo-Ciudad Altamirano, estados de Michoacán y Guerrero.** *Soc. Geol. Mex. Convención Geológica Nacional 10*, Memoria, p.121-123.
- Pantoja-Alor, J., Skelton, P. W. & Masse, J.-P., 2004, **Barremian Rudists of the San Lucas Formation Around San Lucas, Michoacan, SW Mexico.** *In: Contributions to the 5th International Congress on Rudists, held in Erlangen, Germany, 1999.* Ed.: Höfling, Richard. *Courier Forschungsinstitut Senckenberg*, p.1-19.
- Pasquaré, G., Ferrari, L., Garduño, V. H., Tibaldi, A., y Vezzoli, L., 1991, **Geological map of the central sector of Mexican Volcanic Belt, States of Guanajuato and Michoacán.** *Geological Society of America., map and chart series*, MCH 72.
- Peacock D.C.P., and Sanderson D.J., 1995. **Pull-aparts, shear fractures and pressure solution.** *Tectonophysics.* v, 241, p.1-13.
- Peacock, D.C.P. and Marret, R., 2000, **Strain and stress: Reply.** *Journal of Structural Geology*, Vol. 22, No. 9, p. 1369-1378.
- Petford, N., Kerr, R.C., and Lister, J.R., 1993, **Dike transport of granitoid magmas.** *Geology*, v. 21, p.845-848.
- Pollard, D.D., 2000, **Strain and stress: Discussion.** *Journal of Structural Geology*, Vol. 22, No. 9, p. 1359-1367.

- Ramírez-Espinosa, J. Campa, M.F., Talavera, O.; Guerrero, M., 1991, **Caracterización de los arcos insulares de la Sierra Madre del Sur y sus implicaciones tectónicas.** *En: Convención sobre la evolución Geológica Mexicana, 1er Congreso Mexicano de Mineralogía, Pachuca, Memorias*, p.163-166.
- Ramsay, J.G., and Huber, M.I., 1987, **The techniques of modern structural geology: Volume 2: Folds and fractures:** New York, Academic Press, (308-700) 392 p.
- Randall-Roberts, J.A., 1993, **Stratigraphy and Mineralization in the Cretaceous Mal Paso Formation, Subsurface of Ciudad Altamirano, State of Guerrero.** *In: First Circum-Pacific and Circum-Atlantic Terrane Conference.* Ortega-Gutiérrez, F.; Coney, P.J.; Centeno-García, E.; Gómez-Caballero, A., Gto, Méx. Inst. Geol. UNAM. p.117-119.
- Rubin A.M., 1995, **Propagation of magma-filled cracks.** *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* v. 23, p.287-336.
- Salazar, M.S., 1975, **Prospecto Huetamo-Morelia, PEMEX.** Informe Inédito.
- Schaaf, P., 1990, **Isotopengeochemische Untersuchungen an Granitoiden Gesteinen eines aktiven Kontinentalrandes. Alter und Herkunft der Tiefengesteinskomplexe an der Pazifikküste Mexikos zwischen Puerto Vallarta und Acapulco.** *Inagural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Fakultät für Geowissenschaften der Ludwig-Maximilians Universität, München*, 202pp.
- Shaw, H.R. 1980. **Fracture mechanism of magma transport from the mantle to the surface.** *In: Hargraves, R.B. (ed.) Physics of Magmatic Processes, New Jersey, Princeton, University Press.* p.201-264.
- Sylvester, A.G.; Smith, R.R., 1976. **Tectonic transpression and basement-controlled deformation in San Andreas fault zone, Salton trough, California:** *AAPG Bulletin*, v. 30, p.2081-2102.
- Talavera-Medoza, Ó., 2000, **Mélanges in southern Mexico: geochemistry and metamorphism of Las Ollas complex (Guerrero terrane).** *Canadian Journal Earth Sciences*, v. 37, p. 1309-1320.
- Talavera-Medoza, Ó., Ramírez-Espinoza, J., and Guerrero-Suástegui, M., 1993, **Geochemical Evolution of the Guerrero Terrane-Example of a Late Mesozoic Multi-Arc System.** *In: First Circum-Pacific and Circum-Atlantic Terrane Conference.* Ortega-Gutiérrez, F.; Coney, P.J.; Centeno-García, E.; Gómez-Caballero, A., Gto. Méx. Instituto de Geología. UNAM. p.150-152.
- Talavera-Mendoza, O., Suastegui, M.G., 2000, **Geochemistry and isotopic composition of the Guerrero Terrane (western Mexico): implications for the tectono-magmatic evolution of southwestern North America during the late Mesozoic.** *Journal of South American Earth Sciences*, v. 13, p.297-324
- Tardy, M.; Lapierre, H.; Freydier, C.; Coulon, C.; Gill, J.B.; Mercier de Lepinay, B.; Beck, C.; Martínez R., J.; Talavera M, O.; Ortiz H. E.; Stein, G.; Bourdier, J.L.; Yta, M, 1994, **The Guerrero suspect terrane (western Mexico) and coeval arc terranes (Greater Antilles and Western Cordillera of Colombia). A Late Mesozoic intra- oceanic arc accreted to cratonic America during the Cretaceous.** *Tectonophysics*, v. 230, p.49-73.
- Ueta, K., Tani a, K., Kato, T., 2000, **Computerized X-ray tomography analysis of three-dimensional fault geometries in basement-induced wrench faulting.** *Engineering Geology*. 56. p. 197-210.
- Valdez-Gómez, M. R., **Gastrópodos (Mollusca-Gastropoda) del Cretácico Temprano de Cocoaro y Los Llanos, Michoacán, México.** *En Perrilliat, M.C. ed. Memoria III Congreso Latinoamericano de Paleontología, 14-18 octubre, Oaxtepec, Morelos, México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología*, p. 289-295.

- White, S. R., 2002, **The Siberia Fault Zone, northwest Otago, and kinematics of mid-Cenozoic plate boundary deformation in southern New Zealand.** *New Zealand Journal of Geology & Geophysics*, v. 45, p.271-287.
- Wilcox, R.E.; Harding T.P.; Seely, D.R., 1973, **Basic wrench tectonics:** *AAPG Bulletin*, v. 57, p.343-347.
- Woodcock, N.H.; Rickards, R.B., 2003, **Transpressive duplex and flower structure: Dent Fault System, NW England.** *Journal of Structural Geology*, V. 25, p.1981-1992.
- Zamudio Ángeles, D.J.; Salinas Prieto J.C. y Sánchez Ramírez, D., 2002, **Contribución a la Sistematización de la Nomenclatura Estratigráfica del Cretácico Inferior en el Área de Huetamo, Mich.** *GEOS*. p. 329-330.

## Anexo I

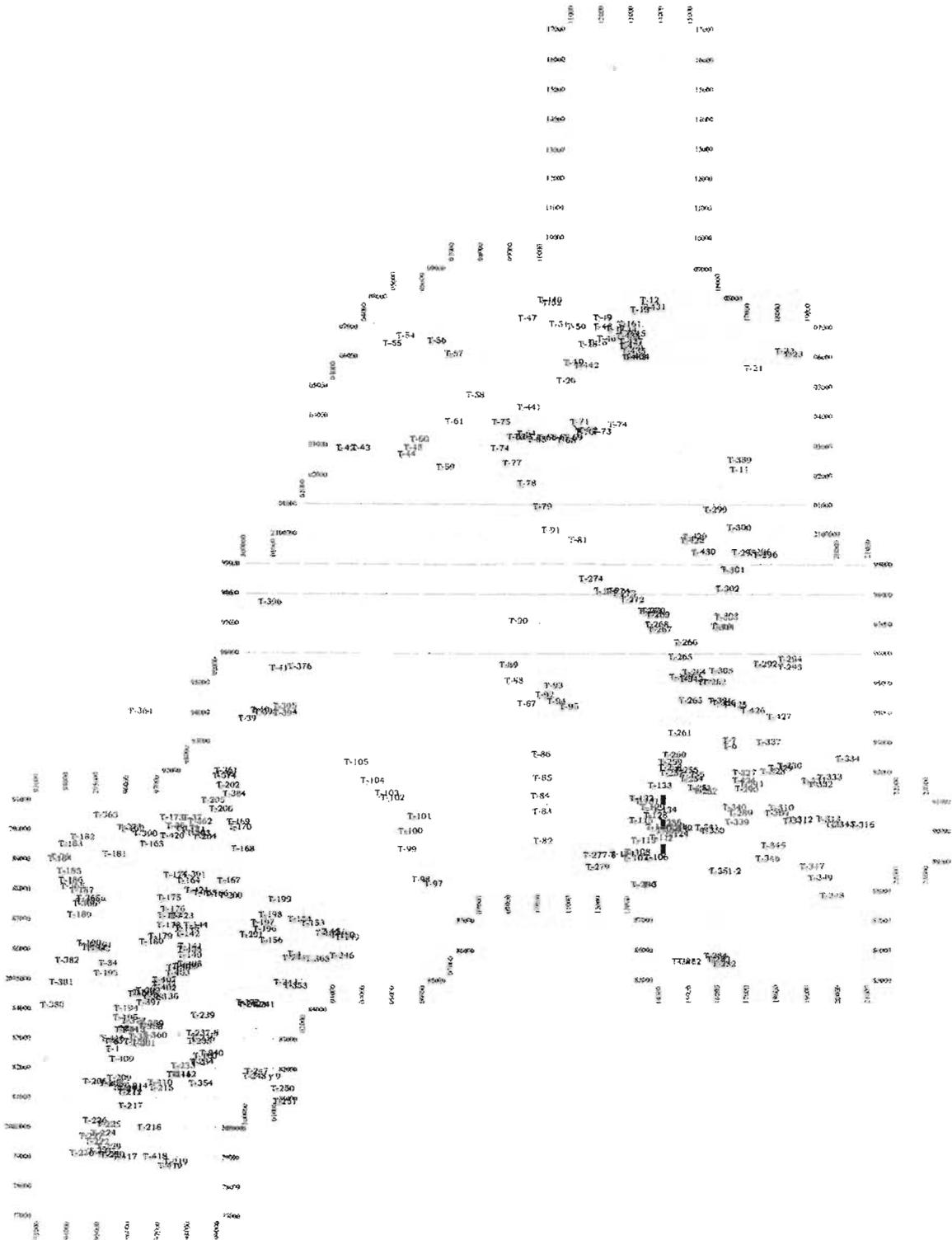


Fósiles marinos de roca calcárea procedente de la localidad de Eréndira, Michoacán, encontrados en la estación cuyas coordenadas UTM son: 14Q (0298413, 2082723). NAD- 27.

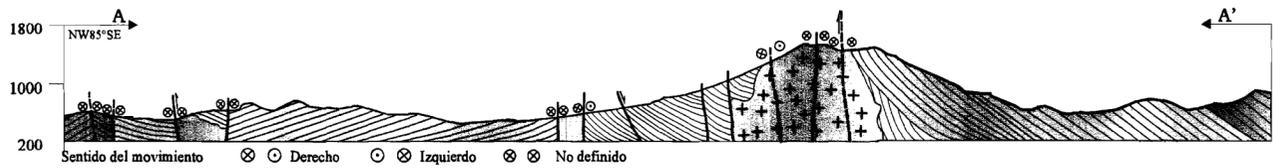
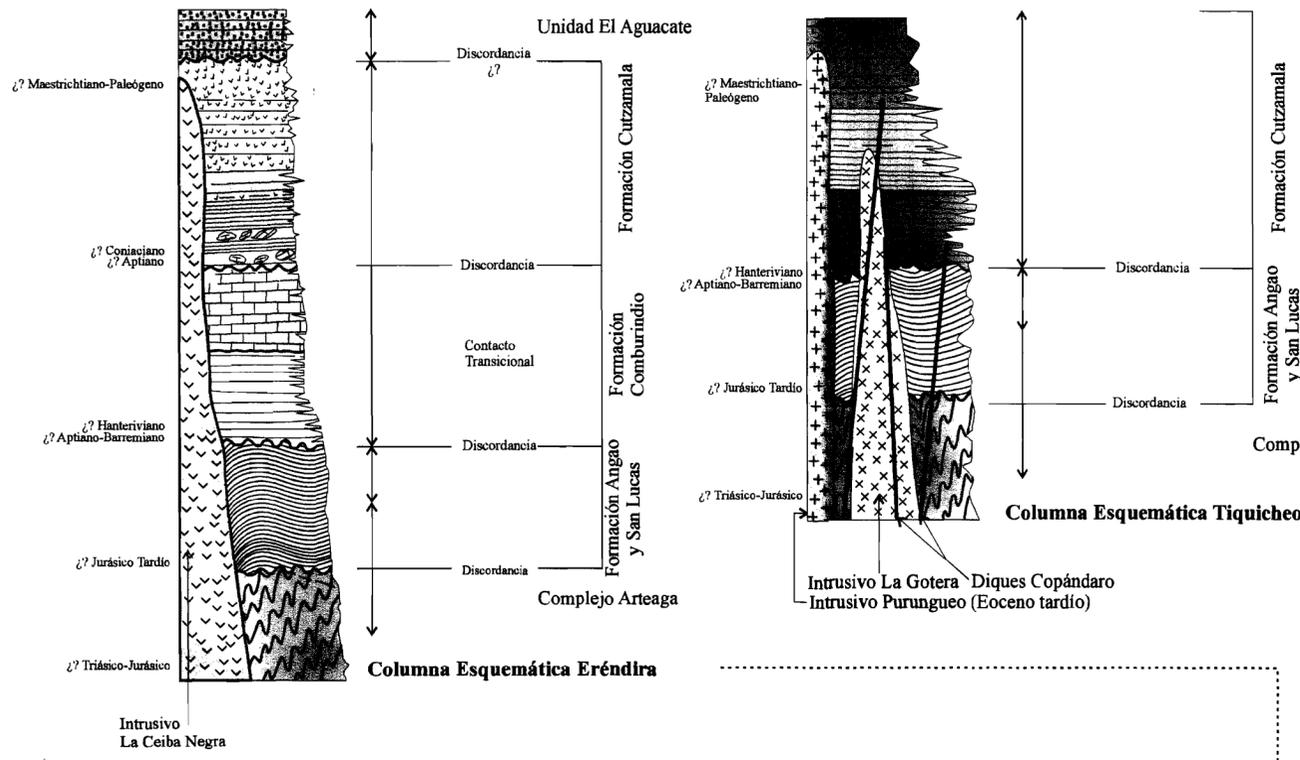


*A-1. Muestra MMG-1 a) Mollusca-Gastropoda, Familia Nerineidae. Diptyxis luttikei (Blanckenhorn). Edad: Aptiano Superior-Albiano Inferior. Muestra MMG-2 b) Diptyxis euphyes (Felix). Edad: Aptiano Superior-Albiano Inferior. Muestra MMG-3 c) Familia Naticidae Gasterópodo-Tylostómido. Cortes sagitales de un gasterópodo no identificables a nivel genérico. (Blanca Estela Buitrón Sánchez, comunicación escrita.)*

## Anexo II



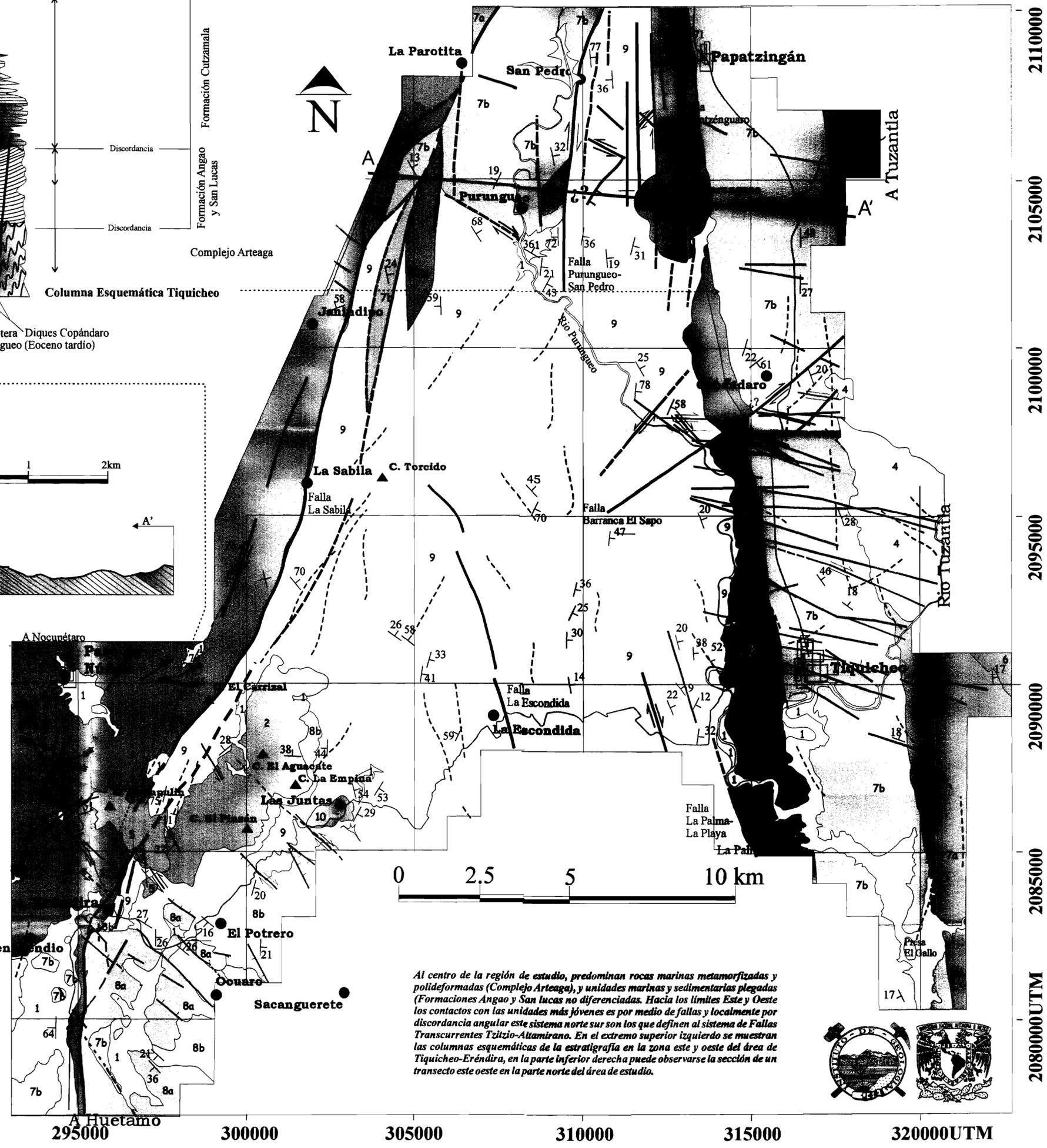
A-2. Localización de las estaciones de trabajo durante la cartografía en la región de Tiquicheo-Eréndira. Coordenadas en UTM. Nat 27. Zona 14-Q.



**Leyenda**

- 1 Aluvi3n
- Cuerpos igrneos**
  - 3 Intrusivo Purungueo
  - 4 Intrusivo La Gotera tonalita
  - 5 Intrusivo La Ceiba Negra
  - 2 Unidad El Aguacate conglomerado y arenisca gruesa
- Formaci3n Cutzamala**
  - Los Bonetes
  - 7a El Cirian
  - 7b Tiquiecho 1
  - 7c Tzetzenguaro
  - 7d La Cafita 3
- Sucesiones de Arco**
  - 8a Miembro calc3reo
  - 8b Miembro conglomer3tico
  - 9 Formaciones Angao-San Lucas no diferenciadas arenisca, lutita, conglomerado y lavas andesiticas y bas3lticas, depositadas en ambiente marino
  - 10 Complejo Arteaga
- Formaci3n Comburindio**
  - Sector Occidental y Oriental dep3sitos continentales: conglomerado, arenisca, limolita, caliza lacustre y derrames daciticos.
- Geomorfolog3a y Infraestructura**
  - Fallas Mayores
  - Falla Inferida
  - Lineamiento fotointerpretado
  - Sentidos de movimiento lateral
  - Dique
  - Estratificaci3n
  - Sistema de fallas laterales NW-SE
  - Sistema de fallas normales NW-SE
  - Presa
  - Carretera
  - Poblado
  - Cerro
  - Pueblo

UNIVERSIDAD NACIONAL AUT3NOMA DE M3XICO  
 Posgrado en Ciencias de la Tierra  
 Instituto de Geologia  
 Mapa Geol3gico de la Regi3n de Tiquiecho-Er3ndira, Estado de Michoac3n, M3xico.  
 Realiz3: Miguel Morales G3mez  
 Supervis3: Elena Centeno Garcia  
 Base Topogr3fica: Hojas E14A54 (Tiquiecho) y E14A44 (Papatzing3n) de INEGI



Al centro de la regi3n de estudio, predominan rocas marinas metamorfasadas y polideformadas (Complejo Arteaga), y unidades marinas y sedimentarias plegadas (Formaciones Angao y San Lucas no diferenciadas. Hacia los l3mites Este y Oeste los contactos con las unidades m3s j3venes es por medio de fallas y localmente por discordancias angular este norte sur son los que definen al sistema de Fallas Transcurrentes Tzitzio-Altamirano. En el extremo superior izquierdo se muestran las columnas esquem3ticas de la estratigraf3a en la zona este y oeste del 3rea de Tiquiecho-Er3ndira, en la parte inferior derecha puede observarse la secci3n de un transecto este oeste en la parte norte del 3rea de estudio.

