

GEOLOGÍA ESTRUCTURAL Y ESTRATIGRAFÍA DEL ÁREA ENTRE GUADALAJARA Y TEPIC, ESTADOS DE JALISCO Y NAYARIT, MÉXICO

José Luis Rodríguez-Castañeda¹ y
Rafael Rodríguez-Torres²

RESUMEN

El área de estudio, ubicada en la parte centrooccidental de México, se encuentra en la intersección de la Sierra Madre Occidental y la Meseta Neovolcánica. Aunque el estudio tiene un enfoque estructural principalmente, se propone cambiar la nomenclatura estratigráfica usada hasta ahora, con base en el Código Estratigráfico Norteamericano.

La configuración de fallas y fracturas sugiere la existencia de una falla transcurrente cuya traza es ahora ocupada por el río Santiago. Esta gran falla de desplazamiento lateral produce extensión y subsidencia (Cuenca Alta), y compresión y levantamiento (Cuenca Baja), reflejados por la geometría de las fallas. Una explicación admisible de este desplazamiento a rumbo requiere de compresión oblicua entre la placa Rivera y la placa Norteamericana, más que de un punto triple, como ha sido indicado por algunos autores.

El estudio de las fallas y la orientación de los esfuerzos calculados indican al menos tres eventos: uno de compresión, orientado NW-SE, y dos de extensión NE-SW y NW-SE. Por las características que presenta, este fallamiento puede ser correlacionado con el que ocurre dentro de la provincia fisiográfica de Sierras y Valles, y la falla postulada pudiera ser parte de la evolución del Golfo de California en su prolongación meridional extrema.

Palabras clave: tectónica, estructura, estratigrafía, Jalisco, Nayarit, México.

ABSTRACT

The study area lies in the west-central part of Mexico, at the intersection of the Sierra Madre Occidental and the Neovolcanic Plateau. Although structural geology is the main focus of this paper, changes in the current stratigraphic nomenclature are proposed, based upon the North American Code of Stratigraphic Nomenclature.

The deformation patterns of faulting and fracturing suggest the presence of a transcurrent fault whose trace follows the bed of Río Santiago. This large strike-slip fault resulted in extension and subsidence (Cuenca Alta) at releasing bends, or uplift and deformation at restraining bends (Cuenca Baja), as it was interpreted from analysis of fault geometry.

The most likely explanation of this strike-slip movement involves an oblique compression between the North American and the Pacific plates, rather than a triple junction as it has been inferred by some authors.

The analysis of fault populations allows the distinction of two phases of extension: a NE-SW and a NW-SE. In addition, a NW-SE oriented compressional phase was also recognized. The timing and style of faulting are similar to those of the extensional faulting of the Basin and Range Province. The suggested transcurrent fault could be part of the southern evolution of the Gulf of California. These results are in part reasonably consistent with other studies carried out around the Gulf of California.

Key words: tectonics, structure, stratigraphy, Jalisco, Nayarit, Mexico.

INTRODUCCIÓN

La zona de Guadalajara-Tepic (ZGT) está localizada entre las ciudades de Guadalajara y Tepic, en los estados de Jalisco y Nayarit, respectivamente. Los límites de la zona quedan enmarcados al noreste por el río Grande de Santiago y al sudoeste por la carretera federal 15 (Figura 1). Las observaciones estructurales y litológicas fueron hechas, principalmente, a lo largo de la margen izquierda del río Santiago y, algunas veces, cuando el acceso lo permitió, en la margen derecha.

El objetivo principal del estudio es establecer un marco estructural que ayude a entender la evolución tectónica del área

propuesta. Esta región, así como la ubicada entre Guadalajara y Colima y parte del llamado "graben de Chapala", han sido estudiadas por numerosos investigadores, entre los que están Gastil y colaboradores (1978), Demant (1981), Nieto y colaboradores (1985) y Allan (1986).

De acuerdo con estos autores, la región entre Guadalajara y Tepic ha estado sujeta a fracturamiento profundo (*rifting*) por lo menos desde el Mioceno temprano. Allan (1986) propuso, en relación con este fracturamiento, la existencia de un punto triple formado por el *graben* de Chapala, el *graben* de Zacoalco (*graben* Tepic-Chapala según Demant, 1981) y el *graben* de Colima, cada uno bien caracterizado, aun cuando algunos otros autores, entre ellos Luhr y colaboradores (1985), consideraron algún otro tipo de mecanismo para explicar la generación de esta continuidad aparente entre las estructuras mencionadas.

Un problema que aparece es la intersección entre el Eje Neovolcánico y la Sierra Madre Occidental: dos de los grandes

¹Estación Regional del Noroeste, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Apartado Postal 1039, 83000 Hermosillo, Sonora.

²Departamento de Geología, Universidad de Sonora, 83000 Hermosillo, Sonora.

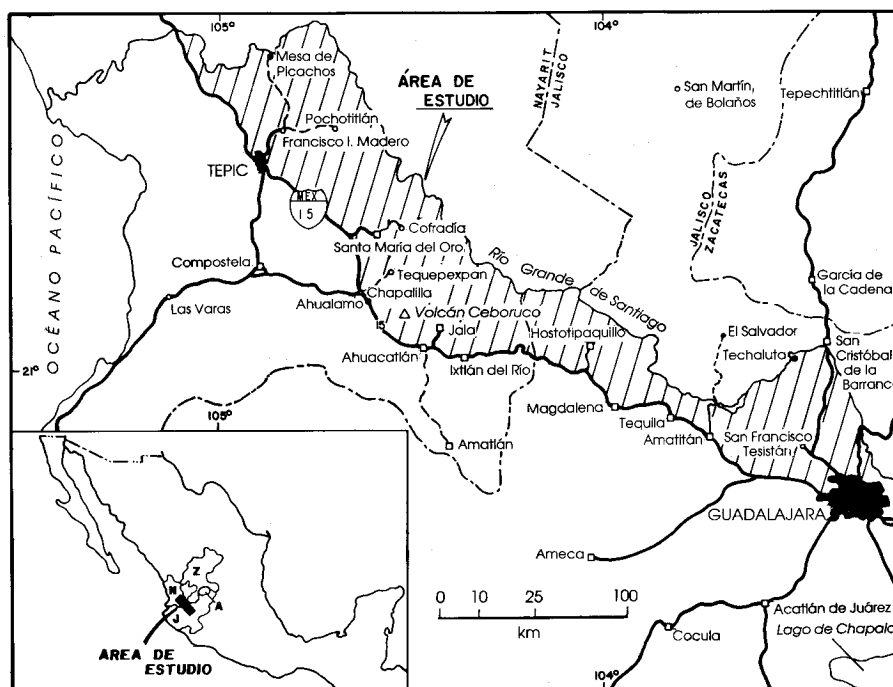


Figura 1.- Mapa de localización del área de estudio (indicada con rayas) que muestra algunas localidades mencionadas en el texto.

campos magmáticos de México, asociados con la subducción de la placa Rivera y la placa Farallón, respectivamente, bajo la placa Norteamericana. La solución de este problema, el cual deriva de los pocos estudios radiométricos existentes, es el diferenciar los tipos de vulcanismo entre estos arcos.

La expresión neotectónica en la región puede explicarse por otros procesos, no necesariamente por el fracturamiento originado por los procesos de subducción que ocurren en las costas de la región.

Se presenta en este estudio observaciones de campo hechas principalmente a lo largo de los caminos que conducen de la carretera federal 15 a los diferentes pueblos y rancherías que están sobre la margen occidental del río Santiago. Estas observaciones incluyen principalmente consideraciones sobre estratigrafía, análisis de sistemas de fallas, y rumbos e inclinaciones de algunas capas volcánicas.

ESTRATIGRAFÍA

En esta región afloran rocas que varían en edad desde el Mesozoico—o quizá más antiguas—hasta el Holoceno.

Aprovechando mapas geológicos locales y regionales ya publicados, además de las observaciones realizadas en el estudio presente, se propone la siguiente estratigrafía de reconocimiento y compilación, provisional y en proceso de formalización, para la ZGT (Lámina 1; Figura 2).

ERATEMA MESOZOICO-ERATEMA CENOZOICO

Supergrupo Estribaciones Sierra Madre (TKesm)

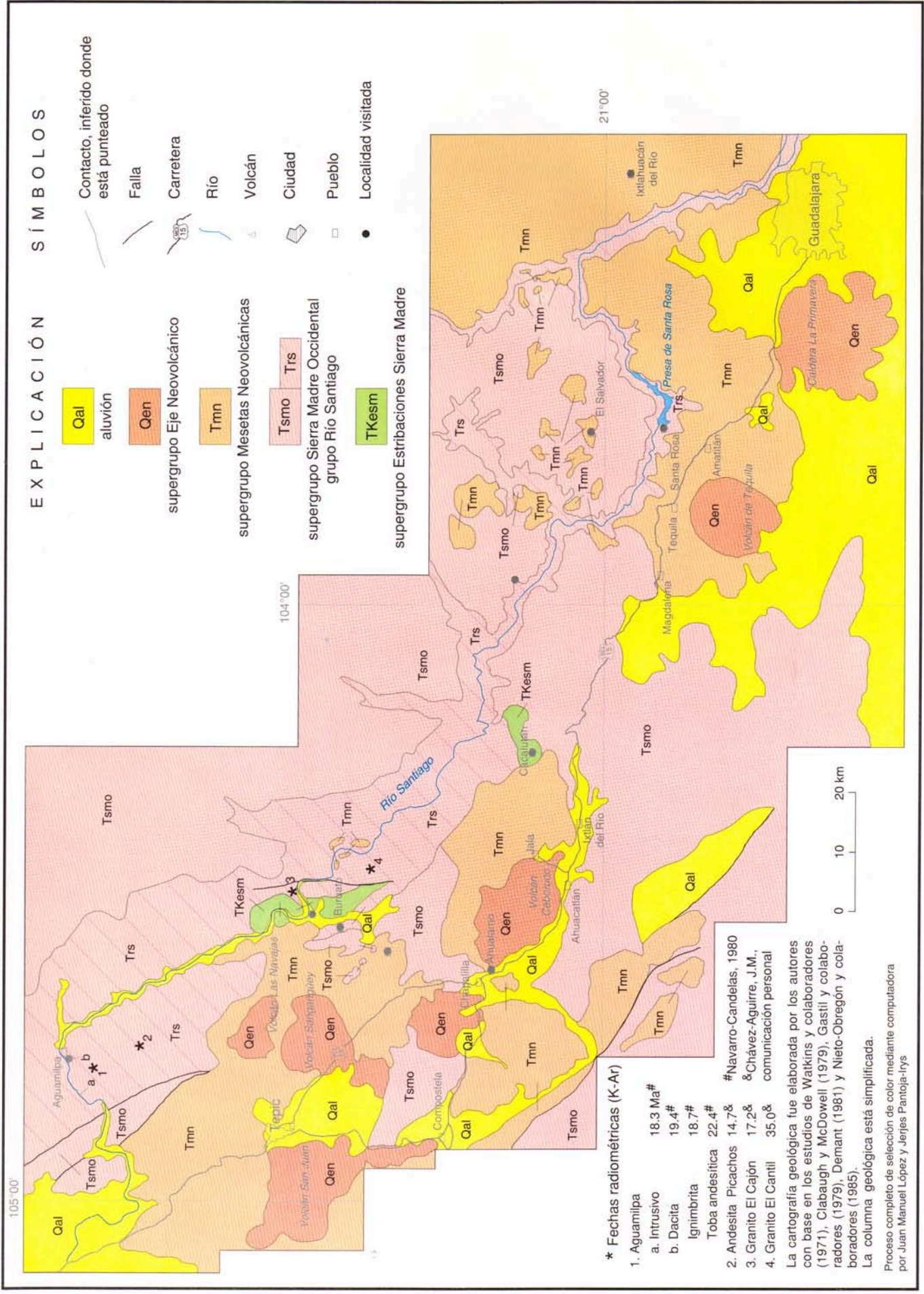
En este artículo se emplea, de manera totalmente informal, el nombre de "supergrupo Estribaciones Sierra Madre" para reemplazar a la unidad "complejo volcánico inferior", propuesta por Clabaugh y McDowell (1979). Se modificó este último término cambiándolo al de supergrupo, siguiendo lo establecido en los artículos 37(b), 29, 7(a), así como 17, 18, y 19 del Código Estratigráfico Norteamericano (Comisión Norteamericana de

Nomenclatura Estratigráfica, 1984), y además se corrigió el término indefinido "inferior" por el nombre de la subunidad fisiográfica que la contiene y caracteriza: las Sierras de las Estribaciones de la Sierra Madre Occidental (Raisz, 1964), a la que se redujo el nombre a Estribaciones Sierra Madre.

Se considera que dentro de esta unidad de reconocimiento o compilación regional (Art. 29 del código), se incluye a los sedimentos, los vulcanosedimentos y las rocas ígneas, cuya edad varía desde el Mesozoico tardío (Cretácico Tardío, específicamente) hasta el Cenozoico medio, que afloran en los lomeríos y sierras bajas que rodean a las Sierras de las Estribaciones, que flanquean a la Sierra Madre Occidental (SMO), sirviéndole de acceso y que definen una continuidad fisiográfica desde Sonora, pasando por Sinaloa y, finalmente, adentrándose hacia el continente a través de Nayarit y Jalisco. Este supergrupo incluye dentro de sus subunidades al grupo Sierra Vallejo.

Grupo Sierra Vallejo. En este estudio se propone este nombre, de manera totalmente informal, para hacer referencia a los sedimentos marinos y vulcanitas interestratificadas que afloran en forma discontinua desde el área de Bahía de Banderas hasta la región de Las Varas (fuera del área cartografiada) y Compostela, en el Estado de Nayarit (Formaciones Buruato y Cacalutan, respectivamente, con localidades tipo en los poblados de los mismos nombres). La falta de continuidad geográfica entre los afloramientos extensos del grupo Sierra Vallejo, el cual es atravesado por la carretera que une a Compostela con Bahía de Banderas, obligó a considerar a los afloramientos del extremo austral de la SMO como dos unidades estratigráficas: la formación Buruato y la formación Cacalutan, ambas dentro del grupo ya mencionado.

La litología observada en los afloramientos sugiere que tanto la formación Buruato como la formación Cacalutan estén constituidas por turbiditas de grano medio a fino, con horizontes escasos de sedimentos silíceos, así como vulcanitas (lavas y piroclastos) félsicas.



Equivalencia aproximada a: Sistemas, Series y/o Pisos		NORTE DE GUADALAJARA	CARRETERA DURANGO-MAZATLÁN	OCCIDENTE DE NAYARIT	SECTOR OCCIDENTAL EJE NEOVOLCÁNICO	ÁREA SANTA ROSA- SAN PEDRO ANALCO	ZONA TEPIIC- GUADALAJARA
		Watkins <i>et al.</i> , 1971	Clabaugh y McDowell, 1979	Gastil <i>et al.</i> , 1979	Demant, 1981	Nieto <i>et al.</i> , 1985	Rodríguez y Rodríguez (esta pub.)
Sistema CUATERNARIO	Serie HOLOCENO			Arco volcánico moderno	San Juan Sangangüey Tepetitit Ceboruco Tequila La Primavera	Unidad VII: lahares y Unidad VI: brechas basaltos alcalinos RGS Unidad V: basaltos Santa Rosa	Supergrupo Eje Neovolcánico
	Serie PLEISTOCENO	Evento volcánico pre-FVM y post-SMO		Riolita y basalto		Unidad IV: seds., lacs., toba, basalto	0.01 Ma
Serie PLIOCENO						Unidad III "suite" bimodal: latitas cálcicas, ignimbritas ácidas (proto-Eje Neovolcánico)	1.6 Ma
Serie MIOCENO	Piso Superior						
	Piso Medio			SMO no deformada		Unidad II: ignimbritas ácidas latitas calcialcalinas	11.2 Ma
	Piso Inferior		Supergrupo Sierra Madre Occidental			Unidad I: intrusiones subvolcánicas	Supergrupo Sierra Madre Occidental
Serie OLIGOCENO	Piso Superior			SMO deformada			
	Piso Inferior						36.6 Ma
Sistema(s): TERCIARIO- CRETÁCICO			Complejo Volcánico Inferior				Supergrupo Estribaciones SM

Dibujó Enrique Gutiérrez-Navarrete

Figura 2.-Tabla de correlación estratigráfica que muestra la nomenclatura que se propone en este estudio, obtenida a partir de diferentes autores.

Hasta este momento no se ha hecho estudio alguno estratigráfico adicional para acabar de conocer o formalizar a esta unidad.

ERATEMA CENOZOICO

Supergrupo Sierra Madre Occidental (Tsmo)

Para los fines de este estudio, se consideró aceptable el término litoestratigráfico informal propuesto por Clabaugh y McDowell (1979) para ser usado como unidad de síntesis regional y como término estratigráfico para hacer referencia a la mayor parte de la secuencia volcánica que constituye a la SMO como unidad fisiográfica.

Se considera que este supergrupo está constituido por otros grandes grupos y el grupo Río Santiago, el cual incluye a

todas las rocas volcánicas oligocénico-miocénicas que el río Santiago corta a lo largo de su curso y que se define a continuación:

Grupo Río Santiago (Trs). En el estudio presente, se acuñó este nombre para hacer referencia a las gruesas secuencias vulcanosedimentarias continentales que afloran a lo largo de los diversos accesos hacia la SMO, que parten desde la carretera federal 15, en su tramo Guadalajara-Tepic, atravesando o llegando hasta el río Santiago.

Formaciones El Cajón y Aguamilpa. - El grupo Río Santiago comprende a las diversas unidades o formaciones que son definidas dentro de las secuencias de rocas lávicas y piroclásticas (tanto ignimbritas como tobas sueltas), así como en algunos cuerpos subvolcánicos o hipabisales. Además, esta secuencia

incluye abundantes horizontes de sedimentos continentales interestratificados. Por lo tanto, este grupo incluye a las formaciones (informales) El Cajón y Aguamilpa, quedando las localidades tipo de cada una de ellas en los estrechamientos de esos nombres utilizados por la Comisión Federal de Electricidad en sus proyectos hidroeléctricos.

Las rocas ígneas varían—en composición petrográfica—entre andesita, dacita, traquita y riolita, la que es abundante. Se ha obtenido edades radiométricas que definen un intervalo entre 35.0 (granito El Cantil; J.M. Chávez-Aguirre, comunicación personal) y 14.7 Ma (andesita Picachos; Chávez-Aguirre, comunicación personal), tanto para las rocas volcánicas como para las hipabisales, y aun las intrusivas profundas.

Supergrupo Mesetas Neovolcánicas (Tmn)

El supergrupo Mesetas Neovolcánicas es propuesto como una unidad informal de compilación regional para hacer referencia al paquete litológico (integrado por derrames de lava y rocas sedimentarias) que debió estar asociado al evento tectónico de la apertura del proto-Eje Neovolcánico. Algunos autores consideraron que dicho evento debió haberse desarrollado hace aproximadamente 10 Ma; tomando en cuenta este factor restrictivo para la edad del mismo, se ha decidido incluir dentro de este supergrupo a todas aquellas unidades litológicas que por algún medio de determinación de edad se pueda considerar como asignables a este intervalo. Este supergrupo está constituido por dos grupos:

Grupo Mesetas o Altiplanos Nayaritas. Este grupo está integrado por las formaciones Francisco I. Madero, Compostela, San José Mojarras e Ixtlán del Río, que contienen a la totalidad del material lávico emitido sobre esos elementos fisiográficos.

Grupo Mesetas o Altiplanos Jaliscienses. Este grupo hasta el momento se considera constituido por las formaciones Magdalena e Ixtlahuacan. Estas formaciones contienen a la totalidad del material volcánico emitido sobre las mesetas que, como elementos fisiográficos, caracterizan la morfología de los alrededores de Magdalena y de Ixtlahuacan; este último está ubicada directamente al norte de Guadalajara y fuera del área cartografiada.

Debe enfatizarse especialmente que estos grupos incluirían el material volcánico que ha sido extravasado desde hace unos 10 Ma, aproximadamente, y únicamente quedaría excluido el material volcánico emitido por los elementos volcánicos asignables a la época del Holoceno.

Supergrupo Eje Neovolcánico (Qen)

En este estudio se efectuó una revisión del antiguo y mal definido término Eje Neovolcánico, y se adopta este nombre para hacer referencia a la totalidad de las rocas volcánicas asignables al Holoceno, que construyen los aparatos volcánicos característicos de este último episodio de vulcanismo.

La integración de este supergrupo se efectuó por medio de criterios puramente geográficos y en una forma totalmente independiente de conceptos geoquímicos o petrológicos; por tanto, lo único que se hizo y obtuvo fue un agrupamiento indistinto de las lavas y sus piroclastos asociados, de acuerdo con su edad.

Se logró definir dos grandes grupos dentro de este supergrupo, por lo que únicamente resta el estudio detallado de las posibles formaciones o complejos volcánicos dentro de cada uno de ellos, que son el grupo Tepic y el grupo Guadalajara.

La edad característica de las rocas que constituyen a estos grupos, y por ende al supergrupo, es del Cuaternario, principalmente del Holoceno, y por lo tanto de menos de 1.6 Ma.

Grupo Tepic. Se considera que el grupo Tepic está constituido por las rocas que han sido extravasadas por varios aparatos volcánicos y sus productos de meteorización, las cuales están representadas por las lavas y los piroclastos del volcán San Juan, las lavas y los piroclastos del volcán Sangangüey, el basalto y la riolita del volcán Las Navajas, el material emitido por el volcán Tepeltitic y, por último, el material lávico y piroclástico del volcán Ceboruco.

La composición mineralógica de las lavas es muy variable; hasta el momento se ha clasificado a basalto y pumicita.

Grupo Guadalajara. Se incluye en este grupo a todas las demás rocas volcánicas, localizadas al oriente de los límites del último grupo descrito. Esta determinación no tiene un contexto genético o estructural y únicamente se consideró para reducir el número de unidades por describir dentro del supergrupo Eje Neovolcánico.

En este caso se ha agrupado a volcanes que han emitido lavas de composición muy diversa, que varía de riolítica (ignimbritas y derrames de lava) a intermedia y basáltica. Dentro de las formaciones de este grupo, que incluye a aparatos volcánicos complejos, compuestos y monogenéticos, quedan incluidos volcanes como el de Tequila y la caldera de La Primavera, los que dan nombre a las dos unidades o formaciones de este grupo: formación Tequila y formación La Primavera.

El nombre de este grupo fue derivado de la antigua cuenca lacustre de Guadalajara, la cual puede considerarse como área tipo del grupo.

GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La ZGT está intensamente fracturada en un área aproximada de 11,000 km² (CETENAL, 1972a–c, 1973a–g, 1977).

El área de estudio fue dividida en dos zonas, a las cuales se llamó Cuenca Alta (parte sudoriental) y Cuenca Baja (parte noroccidental) [Figura 1].

Se hace una descripción de cada uno de los reconocimientos que fueron hechos en lugares accesibles, ya que la mayoría de las veces los grandes cañones que forma el río Santiago y los profundos arroyos que desembocan en el mismo no permitieron el acceso total a las márgenes del río.

CUENCA ALTA

La Cuenca Alta está fracturada intensamente (Figura 3) en un área que comprende los siguientes lugares: Techaluta (TE), San Cristóbal de la Barranca-Arroyo de Camotán (SCB), Agua Escondida (AE), La Mesita (LM), Arroyo San Antonio (ASA), Santa Rosa-El Salvador (SRS) y El Limón (EL).

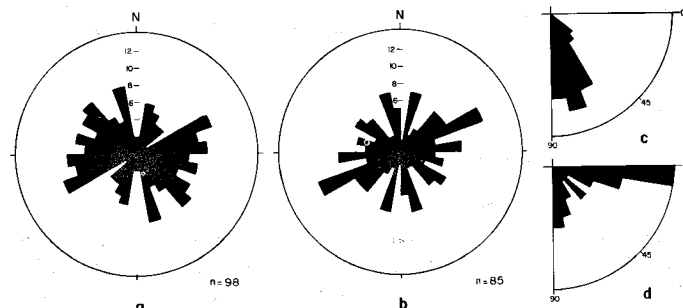


Figura 3.- Diagrama de rosas para: (a) rumbos de fallas y (b) fracturas, (c) histograma circular para la inclinación de las fallas y (d) histograma para los rakes en la zona de la Cuenca Alta; (a), (b), (c) y (d) en intervalos de 10°.

En el área de TE, SCB, AE y LM están presentes fallas del Neógeno con las siguientes orientaciones: ENE-WSW (TE), NW-SE (LM, SCB) y NE-SW (SCB, AE) [Figura 4].

El grupo de fallas que tiene rumbo ENE (acimut entre 60–90°) tiene una inclinación principalmente al NW con algunos ángulos superiores a 50°, siendo el movimiento principal normal al plano. En SCB y AE también se aprecia movimientos con desplazamiento a rumbo. Las fallas tienen una inclinación de más de 60°. La secuencia de esta área está caracterizada por andesitas y tobas del supergrupo Sierra Madre Occidental, que tiene una edad asignable al Mioceno, y que están basculadas 12° al SW. Los movimientos con deslizamiento a rumbo pudieran tener relación con estructuras preexistentes que fueran reactivadas posteriormente. Muchas de las fallas son mesoscópicas con poco desplazamiento, aunque en algunas localidades presentan desplazamiento de algunas decenas de metros.

En ASA, el fracturamiento presenta un rumbo principal NE-SW con inclinaciones casi verticales, similar al fallamiento que ocurre en SCB y AE.

En la zona comprendida entre la presa de Santa Rosa (SRS)-El Limón (EL)-La Labor-San Pedro Analco (LSP), las características estructurales son las siguientes:

En el área SRS se puede observar que la parte superior de la secuencia expuesta (del pueblo El Chiltillo hacia el norte) está formada por tobas, basaltos y brechas volcánicas basálticas del grupo Guadalajara, que forma parte del supergrupo Mesetas Neovolcánicas, y en las cuales sólo se observa un fracturamiento cuyo rumbo principal es en promedio WNW-ESE. Debe observarse que, a partir del lugar mencionado, la secuencia hacia arriba, topográficamente, no presenta ninguna alteración, pero la secuencia inferior, compuesta de andesitas, tobas, basaltos e ignimbritas, se encuentra alterada.

En las fallas que afectan a esta secuencia inferior en el área SRS sobresale la orientación WNW-ESE (acimut 90–100°) y, en menor proporción, pero no por eso menos importantes, las orientaciones NW-SE (acimut 120–150°) y NE-SW (acimut 60–80°) [Figura 4].

Las fallas, en su mayoría, se inclinan principalmente al SW con ángulos superiores a 40° (con un máximo de 79–80°) y movimientos importantes a rumbo observables en la ignimbrita que se encuentra en las inmediaciones de la presa. Sobre el camino, después de pasar el río, en las paredes casi verticales que forma la ignimbrita del grupo Mesetas Jaliscienses, están presentes estrías casi horizontales que indican un movimiento lateral derecho. Las fallas menores asociadas a esta estructura presentan un acimut de 120–150° (fallas paralelas al vector de compresión derivado del deslizamiento a rumbo) y las fallas que presentan un acimut de 90–100° corresponderían a las fallas sintéticas. Las fallas antitéticas en esta área no están bien desarrolladas, pero tendrían aproximadamente un acimut de 165°, en promedio.

En el área EL también se puede observar fallamiento lateral. Aquí sobresalen las siguientes orientaciones: NNW-SSE (acimut 150–170°), NNE-SSW (10–30°) y, en menor proporción, NW-SE (Figura 4).

La mayoría de las fallas tiene una inclinación de más de 60°. Las fallas que presentan un acimut entre 150–170° corresponderían a las fallas antitéticas, compatiblemente con lo observado en SRS. En la margen derecha del río se aprecia un domo riolítico formado por piroclastos o derrames de lava, dentro del grupo Mesetas Jaliscienses, el cual ha sido cortado casi a la mitad, sugiriendo la presencia del fallamiento lateral. El fallamiento NE-SW, en general, probablemente represente características

inherentes a un evento de extensión similar al que se observa en la zona de San Cristóbal de la Barranca.

CUENCA BAJA

Siguiendo el curso del río aguas abajo, en el área de La Labor-San Pedro Analco (LSP) se observa fallamiento con rumbos NW-SE, ENE-WSW y NNE-SSW (Figuras 4 y 5). Aquí hay que considerar que en la zona del Llano de los Vela (LLV) se recolectó datos de fracturamiento con las orientaciones siguientes: NW-SE, NNE-SSW y ENE-WSW, similares a los rumbos de fallas de LSP. La presencia de arcilla que rellena las fracturas confirma que este fracturamiento es producto de una extensión.

El fallamiento en LSP y el fracturamiento en el Llano de los Vela están afectando a rocas miocénicas y quizá más antiguas, asignables a la formación Cacalutan y ésta, a su vez, al grupo Sierra Vallejo, constitutivo del supergrupo Sierras de las Etribaciones, de edad cretácico-terciaria.

Sin embargo, de las mediciones del *rake* de las fallas con estrías se desprende la existencia también de fallamiento a rumbo y oblicuo, aunque es mayor la frecuencia de fallamiento normal. Las fallas, en su mayoría, presentan inclinaciones superiores a 30°, siendo más importantes las de 50–60° (Figura 5).

En la región central del área de estudio, fueron hechos dos recorridos principales: uno en el lugar denominado La Playa-Los Mezquites (LPM) y otro en San Antonio-Cacalutan (SAC).

En el primero de ellos (LPM), las fallas presentes tienen un rumbo predominante NNE-SSW (Figura 4), con inclinaciones de más de 30°, principalmente al oeste. El *rake* de las estrías medidas sugiere un movimiento normal oblicuo. Las rocas asignadas al Neógeno (supergrupo Sierra Madre Occidental) generalmente se inclinan 40° hacia el sudeste.

En la región SAC, las fallas presentan orientaciones diferentes, siendo las más importantes E-W y ENE-WSW y, en menor proporción, NW-SE (Figura 4). Al igual que en LPM, las fallas son principalmente normales, con algunas oblicuas y a rumbo.

El comportamiento de este sistema de fallas en LPM y SAC difiere mucho de las orientaciones de los otros lugares, debido al posible cambio en la geometría de la tectónica regional. Las orientaciones NNE-SSW, E-W y ENE-WSW (casi orienteponiente) son más concordantes con el evento de distensión de la provincia fisiográfica de Sierras y Cuencas (*Basin and Range*) que afectó la mayor parte del NW de México y el SW de los Estados Unidos de América.

De los estudios en regiones más cercanas, Henry (1989), en la mitad meridional del Estado de Sinaloa, registra orientaciones similares (NNW y ENE) y todavía más al norte, en Sonora, Rodríguez-Castañeda y Anderson (en preparación) consiguen fallas asociadas al mismo evento de distensión con orientación principal NW-SE. Ambas comparaciones son concordantes con las observadas en LPM y SAC.

En el área que circunda al volcán Ceboruco, Ixtlán-Rosa Blanca (IRB), Ahualamo-Tequepexpan-El Zoquite-Jala (AHJ) y Ahuacatlán-Amatlán (AHA), se observa poco fallamiento con rumbos principales E-W y, en menor grado, NNW-SSE y NE-SW (Figura 4). Las fallas presentan inclinaciones que varían de 30 a 60° con desplazamiento oblicuo.

Las fallas que fueron medidas están ubicadas en el camino Ahuacatlán-Amatlán, y afectan a tobas líticas asignables al Mioceno (supergrupo Sierra Madre Occidental). Los rumbos de estas fallas son similares a los de las áreas LPM y SAC, por tanto compatibles con el evento de extensión que generó la provincia de Sierras y Cuencas.

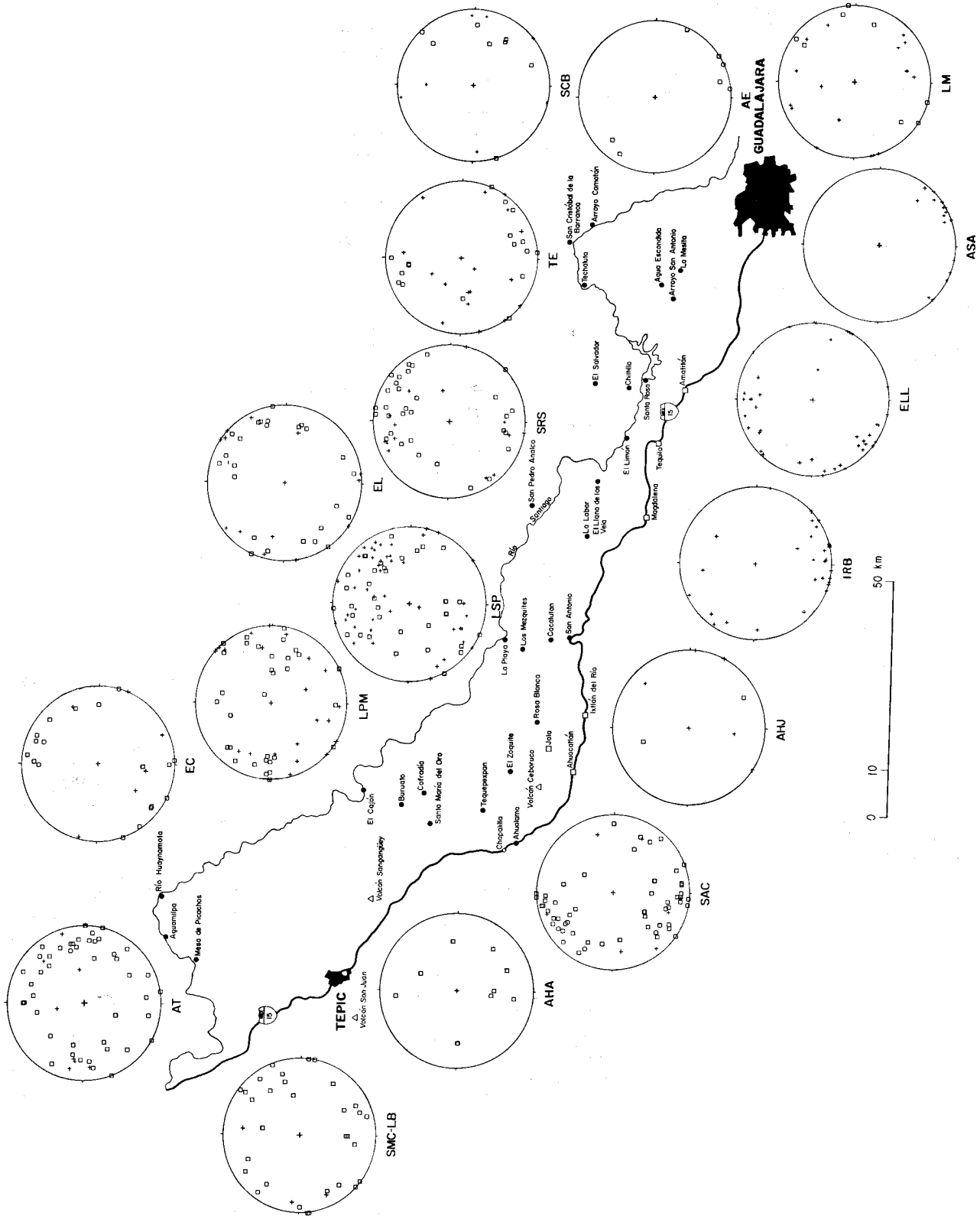


Figura 4.- Proyecciones estereográficas de igual área (red de Schmidt, hemisferio inferior) para datos estructurales, fallas y fracturas, en el área de estudio. Los cuadrados representan polos de fallas y las cruces polos de fracturas. AT—Aguamilpa-Tepic; EC—El Cajón; LPM—La Playa-Los Mezquites; LSP—La Labor-San Pedro Anasco; EL—Tequila-El Limón; SRS—Santa Rosa-El Salvador; TE—Techaluta-San Cristóbal de la Barranca; SCB—San Cristóbal de la Barranca-Arroyo Camotán; AE—Agua Escondida; LM—La Mesita; ASA—Arroyo San Antonio; ELL—Magdalena-EI Llano de los Vela; IRB—Ixtlán-Tequepexpan-Zoqueite-Jala; SAC—San Antonio-Cacalutan; AHA—Ahuatlamo-Tequepexpan-Zoqueite-Jala; AHU—Ahuatlamo-Tequepexpan-Zoqueite-Jala; IRB—Ixtlán-Tequepexpan-Zoqueite-Jala; SMC-LB—Santa María del Oro-Cofradía. LB—La Laguna-Buruato.

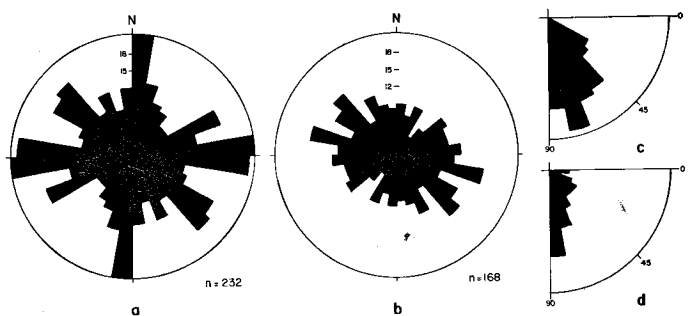


Figura 5.- Distribución en la Cuenca Baja de los (a) rumbos de fallas, (b) rumbos de fracturas, (c) inclinaciones y (d) rakes; (a) y (b) son diagramas de rosas graduados con intervalos de 10°, (c) y (d) histogramas circulares con intervalos de 10°.

En la zona IRB se registró datos de fracturas que tienen orientaciones ESE y ENE con inclinaciones superiores a 60°. Estos rumbos, que en promedio son E-W, coinciden con el de las fallas de AHA.

En la misma área, en el recorrido AHJ, en la parte septentrional del volcán Ceboruco, en la mayoría de las rocas compuestas por piroclastos (tefra) y basalto no se observó ningún tipo de fracturamiento. Las edades de estas rocas calcialcalinas quedan comprendidas desde el Pleistoceno hasta el Holoceno, y han sido asignadas al grupo Mesetas Nayaritas (supergrupo Mesetas Neovolcánicas).

Hacia el noroeste, en la región de Santa María del Oro-La Cofradía (SMC), La Laguna-Buruato (LB) y El Cajón (EC), los sistemas de fallas presentan las características (Figura 4) que a continuación se describe:

En el área EC afloran rocas volcanosedimentarias de posible edad mesozoica (asignables a la formación Buruato, dentro del grupo Sierra Vallejo y al supergrupo Estribaciones Sierra Madre) y un granito de 17 Ma, que están afectados por fallas con dos rumbos predominantes: E-W y NW-SE. Es importante indicar que tanto las rocas volcanoclásticas como el granito están cortados por diques con una orientación general E-W, similar a la de las fallas. Las fallas de orientación E-W y NW-SE, muestran característicamente un desplazamiento oblicuo, el cual es más obvio en las fallas que afectan a las rocas volcanoclásticas, con inclinación de más de 60° al NE y SW, principalmente.

El área SMC-LB presenta un grupo de fallas con tres rumbos sobresalientes: (1) NW-SE, (2) NE-SW, y (3) NNW-SSE. Las fallas tienen una inclinación de más de 60° (Figura 4), con un máximo entre 80 y 90°; muestran movimientos normales oblicuos y, en menor proporción, normales.

Los rumbos de fallas E-W, NW-SE y NNW-SSE son compatibles con otras orientaciones ya descritas (LPM, SAC, AHA), correlacionables con el fallamiento normal de tipo *basin and range*. Sin embargo, el rumbo NE-SW, que no coincide con el tipo antes mencionado, también se asigna al mismo evento tectónico, siendo el más antiguo. Para este último, se considera un movimiento de rotación en el sentido de las manecillas del reloj, causado por la evolución geométrica de las placas. Dicho evento es semejante al descrito por Rodríguez-Castañeda y Anderson (en preparación) en Sonora, quienes consignan fallas que presentan las mismas orientaciones.

El último grupo de fallas se midió en el sector Mesa de Picachos-Aguamilpa-Río Huaynamota (AT), al noreste de Tepic. Los sistemas de fallas en esta región presentan dos rumbos principales: uno N-S general y otro ENE-WSW (Figura 4).

El rumbo que presentan las fallas norte-sur se desvía tanto al oeste como al este 20°. Estas fallas se inclinan principalmente

al NW y SW más de 60°. Los movimientos indicados en las mismas son normales y normales con desplazamiento oblicuo. El comportamiento de este sistema de fallas es similar al que se ha observado a partir de aproximadamente la mitad noroccidental (Cuenca Baja) de la ZGT, que se puede asociar al evento de distensión del fallamiento *basin and range*, el cual se inició en el Oligoceno tardío-Mioceno temprano, al menos en el noroeste del país (Sinaloa y Sonora).

Como se indicó anteriormente, muchas de las fallas son de escala mesoscópica en las diferentes áreas. Es necesario señalar que en fotografías aéreas se había identificado grandes lineamientos, pero por las condiciones topográficas del terreno no fue posible verificarlos; sin embargo, los pocos en los que sí fue posible, no correspondieron a ninguna estructura, sino que coincidieron con direcciones de flujo de las rocas volcánicas, con la estratificación o, a veces, con nada. En el tramo San Cristóbal de la Barranca-Techaluta, el río se comporta como corriente subsecuente y después, tal vez, como obsecuente. Se considera que posiblemente exista una falla de grandes dimensiones, pero que es difícil verificar, ya que a ambos lados no se yuxtaponen rocas que contrasten entre sí, lo que hace difícil su identificación. Otros autores han marcado grandes fallas comprobadas o interpretadas, siendo algunas similares en dirección a las que se describe en el área de estudio.

CINEMÁTICA DE FALLAS

En párrafos anteriores se analizó el sentido, rumbo y desplazamiento resultante de los sistemas de fallamiento en las localidades donde las rocas están afectadas por una gran cantidad de fallas y fracturas. Resulta evidente que el área es compleja, pues hay varios sistemas, pero el sentido y la dirección de cizallamiento de cada falla pueden asociarse con un evento regional coherente.

Utilizando diagramas donde se muestra los polos de fallas a los que se ha agregado una flecha que indica dirección y sentido de desplazamiento, se observa el comportamiento cinemático de los grupos de aquéllas.

Así, de las Figuras 6 y 7 se desprende lo siguiente: los polos de fallas, con su dirección y sentido de cizallamiento respectivos, forman un arreglo paralelo al círculo primitivo, el cual indica un fallamiento principal a rumbo para esta región. También se presenta fallamiento normal y oblicuo. Es fácil concluir que muchas de las fallas estén inclinándose hacia el SE y NW con inclinaciones de más de 45°.

En la Figura 7 (Cuenca Baja) se aprecia que el fallamiento con desplazamiento normal oblicuo está presente, indicado por la disposición radial de los lineamientos. También se puede observar movimientos de fallas con desplazamiento normal.

Del análisis de las figuras anteriores surge la idea de la presencia de un evento tectónico de compresión. El aspecto antes mencionado cae en cierta contradicción con el análisis inicial donde se asocia el comportamiento de los sistemas de fallas con el evento de distensión conocido como "fallamiento *basin and range*", pero aquí se considera que ambas hipótesis tienen una gran relación entre sí y que son resultado de un solo evento de deformación.

Otra conclusión que se puede alcanzar de las figuras anteriores es la heterogeneidad en las orientaciones de los ejes principales de esfuerzo (σ_1 , σ_2 , σ_3). En la Figura 8, que corresponde a la Cuenca Alta, se observa la variación de las direcciones principales; pero en combinación con las direcciones que establecen las estrías, se obtiene una orientación promedio (por agrupación geométrica) de estos ejes. Así, se ve que el vector de compresión (σ_1) tiene una orientación promedio NW-SE (~144°)

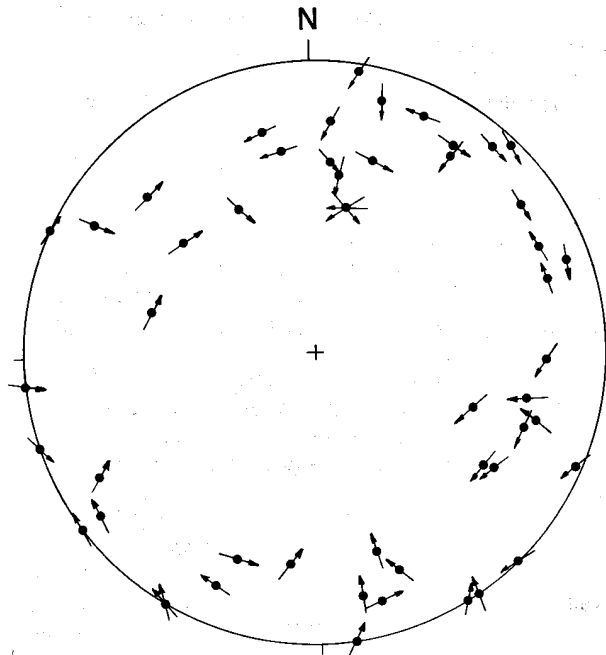


Figura 6.- Diagrama de proyecciones estereográficas (hemisferio inferior) de igual área, que indica la cinemática del movimiento en la Cuenca Alta. El punto representa el polo de la falla y la flecha la dirección de las estrías. Se aprecia que muchos de los arreglos son casi paralelos al círculo primitivo, sugiriendo un movimiento lateral.

aproximadamente horizontal, al igual que el eje σ_3 . Otro indicador de la heterogeneidad es la orientación de σ_2 con inclinaciones superiores a 45° (fallamiento a rumbo).

Como se ha mencionado, el conocimiento del área de estudio indica la presencia de fallamiento a rumbo y normal oblicuo y la sospecha en la variación de la dirección de los ejes principales de extensión. Esta diferencia en orientación se puede apreciar en la Figura 9.

La primera dirección de extensión tiene un acimut promedio de 158° y la segunda una orientación de extensión $\sim 68^\circ$. En ambos casos, los ejes σ_3 calculados son aproximadamente horizontales y tienen las orientaciones antes mencionadas.

Estos resultados son muy similares a aquéllos obtenidos por otros métodos de separación, usando clasificaciones geométricas simples, donde fueron distinguidos mecanismos de fallamiento a rumbo y normal (Figura 10).

Lo anterior también muestra que no hay diferencia, en términos de dirección de extensión, entre los sistemas de fallas a rumbo y las fallas con desplazamiento oblicuo (cf. Figuras 8 y 9).

En la Figura 9, se aprecia que las dos orientaciones de σ_3 son ortogonales entre sí ($\sim 90^\circ$, NE y NW).

Con base en correlaciones geológicas regionales, Henry (1989), en Sinaloa, registró una extensión ENE, sugiriendo que al menos σ_3 estuvo orientado en tal dirección. Esta dirección es similar a la que se consigna en este estudio (NE). El mismo autor también menciona una extensión menor al NW indicada por las orientaciones de las fallas y de las estrías, y establece que la extensión nororiental es más antigua que la noroccidental.

Mediante la observación de la superposición de diferentes grupos de estrías, se establece que hay un grupo de ellas con orientación al SW cortado por estrías con orientación al SE, lo cual se ajusta a lo ya mencionado: la extensión noroccidental es más joven que la nororiental.

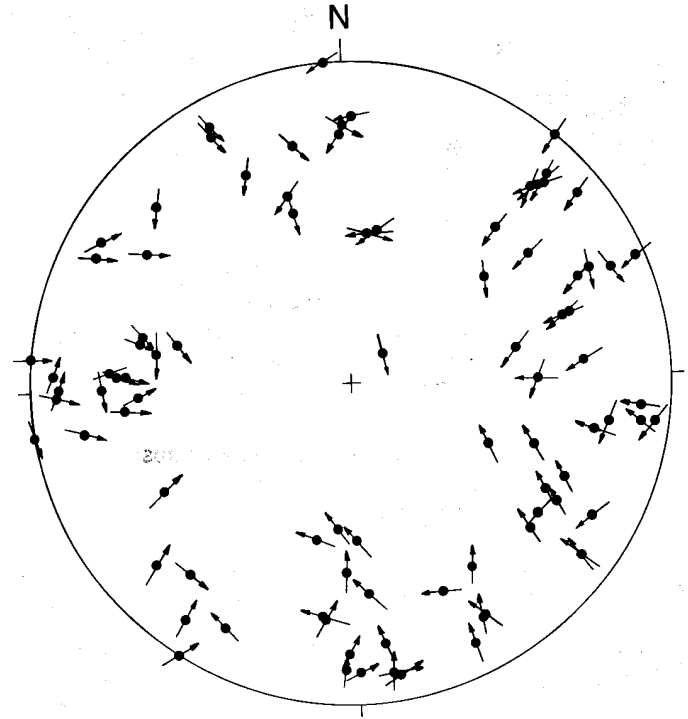


Figura 7.- Proyecciones estereográficas (hemisferio inferior) de igual área que indican la cinemática del movimiento en la Cuenca Baja de la zona de estudio. El punto es igual al polo de la falla, la flecha indica el sentido de movimiento de las estrías. Muchos datos del arreglo indican un movimiento oblicuo y, en menor grado, normal.

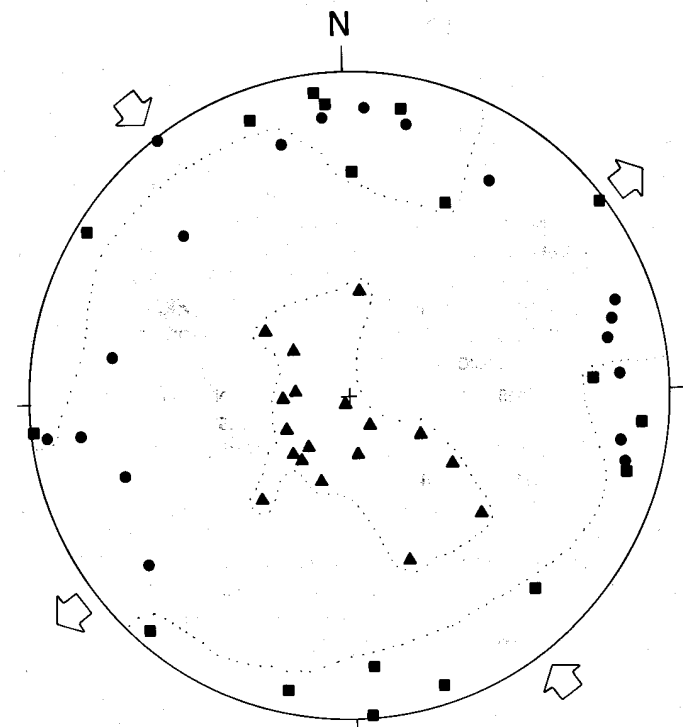


Figura 8.- Orientaciones promedio de los esfuerzos de tensión σ_1 , σ_2 y σ_3 en la Cuenca Alta. σ_1 = cuadrado, σ_2 = triángulo, σ_3 = punto. Se aprecia la presencia de un evento tanto compresivo como de distensión (método aplicado: Marshak y Mitra, 1988).

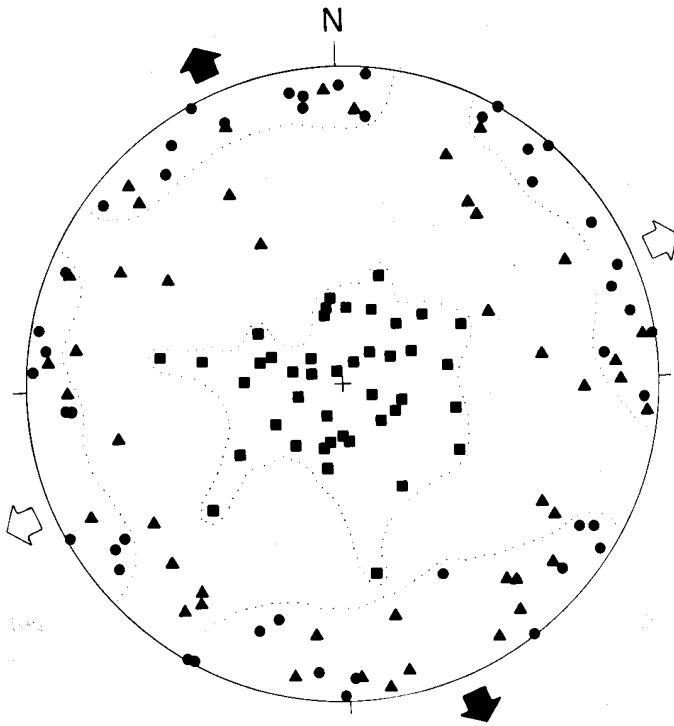


Figura 9.- Orientaciones promedio de los esfuerzos de tensión σ_1 , σ_2 , σ_3 en la Cuenca Baja. σ_1 = cuadro, σ_2 = triángulo, σ_3 = punto. Se observa dos direcciones principales de σ_3 , indicando dos eventos de extensión (método aplicado: Marshak y Mitra, 1988).

Según Henry (1989), la extensión NE comenzó aproximadamente hace 30 Ma y el cambio a la extensión NW o WNW, hace 10 Ma. Sin embargo, el mismo autor consigna para esa misma área un evento compresivo con estructuras orientadas ENE, lo cual sugiere una compresión NNW (Henry, 1986). Estas estructuras pudieran haberse formado en el mismo lugar o pudieran haber sido transportadas por fallamiento lateral.

DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS ESTRUCTURALES

Por lo que respecta a los sistemas de fallas analizados en la ZGT, éstos indican la presencia de fallamiento lateral derecho, el cual es más obvio en el área de la Cuenca Alta (Figura 11).

Este fallamiento de desplazamiento a rumbo parece ser la respuesta más factible a una subducción oblicua.

La diferencia que se presenta en las dos cuencas (Alta y Baja) puede deberse a que los dos bloques de corteza no se movieron en forma paralela a medida que se desarrollaba el deslizamiento. Así, los movimientos oblicuos observados en la Cuenca Baja están relacionados con este desplazamiento no paralelo de los bloques a escala regional, o pueden deberse a cambios locales en el rumbo general del deslizamiento paralelo. Es común que tanto convergencia como divergencia se desarrollen localmente a lo largo del fallamiento.

El deslizamiento convergente tiende a aumentar las estructuras en la zona de deslizamiento compresivo (transpresión). Estas estructuras pueden ser pliegues o fallas a rumbo conjugadas. Una fuerte convergencia puede causar fallamiento inverso y cabalgamientos. Por otro lado, la formación de estructuras de tensión, principalmente fallas normales, es típica de deslizamiento divergente.

Podemos observar que la traza de la falla es curva (Figura 11), lo que podría dar lugar a ciertas características como

son las cuencas por tensión (*releasing bend*) en forma semejante a lo que ocurre en la zona de la presa Santa Rosa. Por el contrario, en la parte de la Cuenca Baja existe levantamiento (*restraining bend*), indicado en este caso por la exposición de las rocas mesozoicas en el área de El Cajón (EC) y Santa María del Oro-La Cofradía (Figura 10).

Es posible que algunas de las fallas que existen en la Cuenca Alta tengan gran penetración, lo que pudo haber permitido que los basaltos estén presentes en la superficie, por lo que el magmatismo asociado fue basáltico o bimodal. Estos productos son resultado de una fase tardía en la evolución tectónica de la región, lo que indica además un movimiento continuo hasta hace, por lo menos, 5 Ma.

La orientación al NW de σ_1 (Figura 8) es compatible con lo reportado por Henry (1986) para estructuras de compresión en el occidente de México. Se sugiere que las fallas con orientación NW y NE en SCB y SRS sean la respuesta a un σ_1 regional que estuvo orientado al NW.

Por otro lado, la variación en la orientación de σ_3 en la Cuenca Alta (Figura 9), de ENE a WNW, es similar a la registrada en otras regiones de México. En respuesta a σ_3 al ENE fueron formadas fallas con rumbos NW y NNW, donde el movimiento es normal u oblicuo, como se observa en muchas de las fallas. Con el cambio de σ_3 de ENE a WNW, muchas de las fallas anteriores quizá continuaron moviéndose, pero con un incremento en el movimiento a rumbo. Las fallas asociadas con σ_3 al WNW tienen rumbos ENE, NE y E-W.

Como es sabido, la margen occidental de América del Norte, desde fines del Triásico o principios del Jurásico, hasta el Oligoceno (30 Ma), se mantuvo como una zona de convergencia estable entre las placas del Océano Pacífico en general y la Norteamericana. Esta interacción de placas dio origen a diferentes eventos de deformación y magmatismo, tales como la falla transcurrente denominada Megacizallamiento Mojave-Sonora (Anderson y Silver, 1979) o el arco jurásico que se desarrolló desde Alaska hasta su expresión más meridional, en Sonora central. Producto de esta convergencia es también el emplazamiento de una gran cantidad de batolitos en la costa occidental de América del Norte y la presencia de la Sierra Madre Occidental, como resultado de la subducción de la Placa Farallón debajo de la Norteamericana (Atwater, 1970).

Sin embargo, parte de estas deformaciones es resultado de fallamiento lateral izquierdo (convergencia oblicua izquierda) por lo que se presume un cambio a movimiento derecho hace 100 Ma (Figura 12) [Page y Engebretson, 1984, in Henry, 1986].

Como el comportamiento de las fallas no se puede asociar con un evento de distensión (punto triple: Luhr *et al.*, 1985), se tiene que correlacionar con un evento compresivo, que en este caso sería la formación de la falla de San Andrés y, por ende, del proto-Golfo de California en su prolongación meridional extrema. Esta fase de fallamiento lateral se supone que haya acontecido desde el Oligoceno tardío (30 Ma) hasta la parte media del Mioceno (10 Ma), produciendo una fase de extensión ENE, mientras que del Mioceno medio al Holoceno ocurre una extensión NW.

Wilson (in Larson, 1972) propuso que el Golfo de California sea resultado de fallamiento a rumbo asociado con expansión del fondo oceánico. Por otro lado, Vine (in Larson, 1972) y Sykes (in Larson *et al.*, 1972) sugirieron lo mismo, pero con la posibilidad de que haya habido separación a lo largo de una serie de fallas transformantes formando un sistema *en échelon*. Probablemente, en alguna parte actualmente cubierta por el vulcanismo oligocénico-miocénico o pliocénico-pleistocénico, se desarrolló un sistema paralelo de fallas transcurrentes, de las cuales la falla

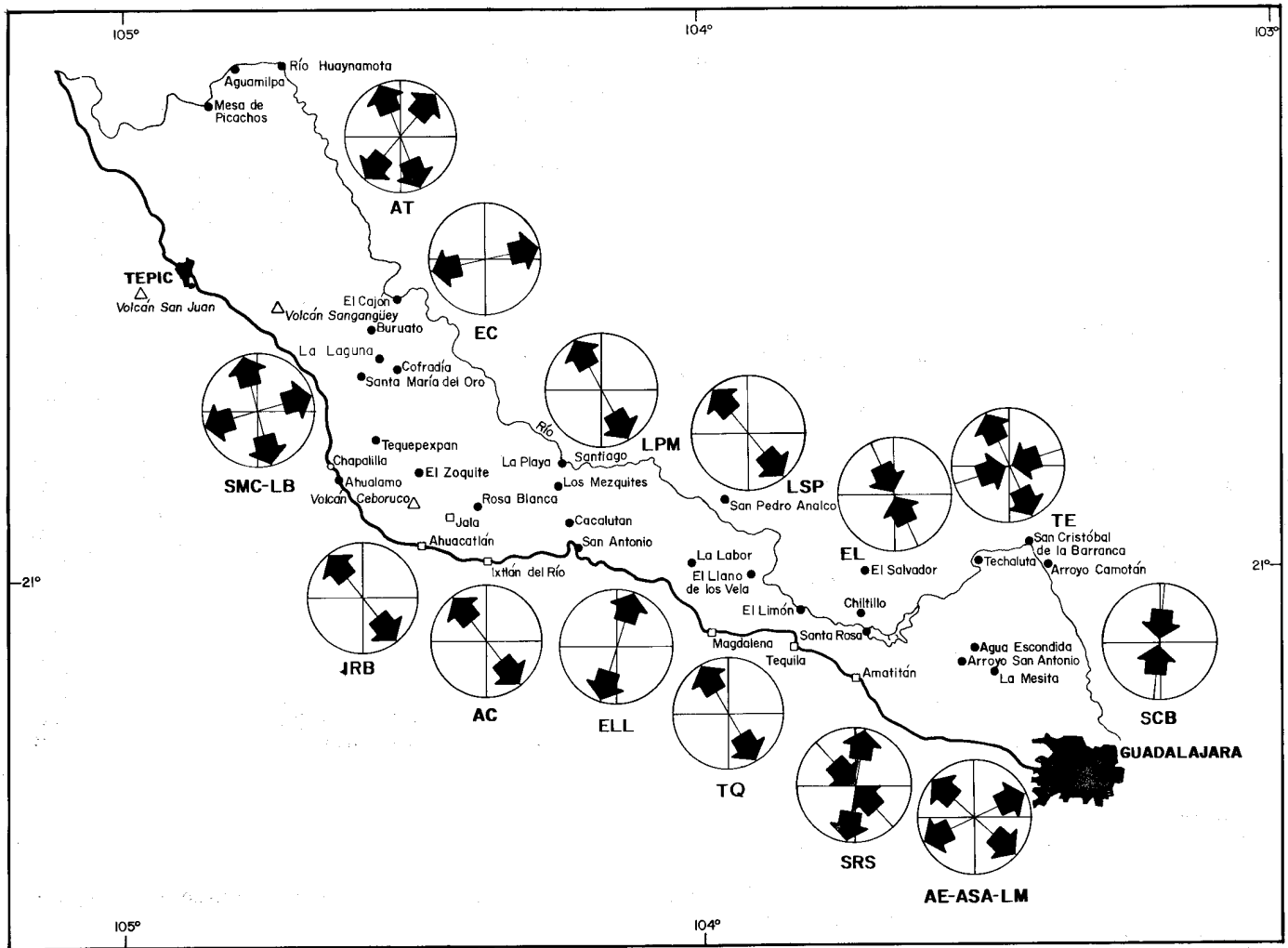


Figura 10.- Dirección de esfuerzos obtenidos a partir de la orientación de las estrias en las diferentes localidades visitadas. AT—Aguamilpa-Tepic, EC—El Cajón, LPM—La Playa-Los Mezquites, LSP—La Labor-San Pedro Anasco, EL—El Limón, TE—Techaluta-San Cristóbal de la Barranca, SCB—San Cristóbal de la Barranca-Arroyo Camotán, AE-ASA-LM—Agua Escondida-Arroyo San Antonio-La Mesita, SRS—Santa Rosa-El Salvador, TQ—Tequila, ELL—Magdalena-El Llano de los Vela, AC—San Antonio-Cacalutan, IRB—Ixtlán-Rosa Blanca, SMC—Santa María del Oro-Cofradía, LB—La Laguna-Buruato.

inferida a lo largo del actual cauce del río Santiago es la única evidencia hasta el momento cartografiada (Figura 12). Por tanto, se puede considerar que la estructura que se propone sea un antiguo testigo de ese sistema de fracturas, y que como éste existan en las orillas del Golfo de California otros remanentes que son poco o nada conocidos.

Los datos presentados son similares a los de otros estudios que han sido efectuados a lo largo de la costa occidental de México, pero también son diferentes a otros resultados, por lo que los estudios posteriores deben considerar tanto las similitudes como las diferencias.

CONCLUSIONES SOBRE LA ESTRATIGRAFÍA REGIONAL

Con base en la compilación cartográfica, se propone lo siguiente:

Abandonar el procedimiento pseudocientífico de acuñar y utilizar términos no litoestratigráficos y de tipo híbrido, para tratar de subsanar la aparente ausencia de unidades cartografiables a pequeña escala, en compilaciones estatales, regionales y nacionales. Lo anterior se refiere al uso de adjetivos tales como

clástico, sedimentario, volcánico, intrusivo, etc., para unidades cronoestratigráficas, específicamente eratemas, tales como Cenozoico superior o medio; sistemas, como Cuaternario; y aún más, series, como es el caso del Oligoceno. Otros autores han tratado de dar un sentido geocronométrico (al definir el intervalo de tiempo geológico) a los equivalentes geocronológicos de estos términos estratigráficos; o sea, era del Cenozoico, período Cuaternario y época del Oligoceno.

La cartografía compilatoria de reconocimiento permitió la definición de seis grupos, los cuales son propuestos como unidades informales, de acuerdo con el inciso a del Artículo 28 del Código Estratigráfico Norteamericano, por considerarlos útiles durante la compilación cartográfica efectuada, a escala pequeña y, al mismo tiempo, necesarios para el análisis estratigráfico regional hecho en este estudio.

El análisis estratigráfico preliminar y la presentación de los datos estratigráficos mediante una carta geológica a una escala de 1:1'000,000, obligó a considerar factible y aceptable el uso informal de la unidad estratigráfica de rango superior, supergrupo, con el único y exclusivo fin de que permitiera presentar la cartografía geológica de una manera más formal y utilizando

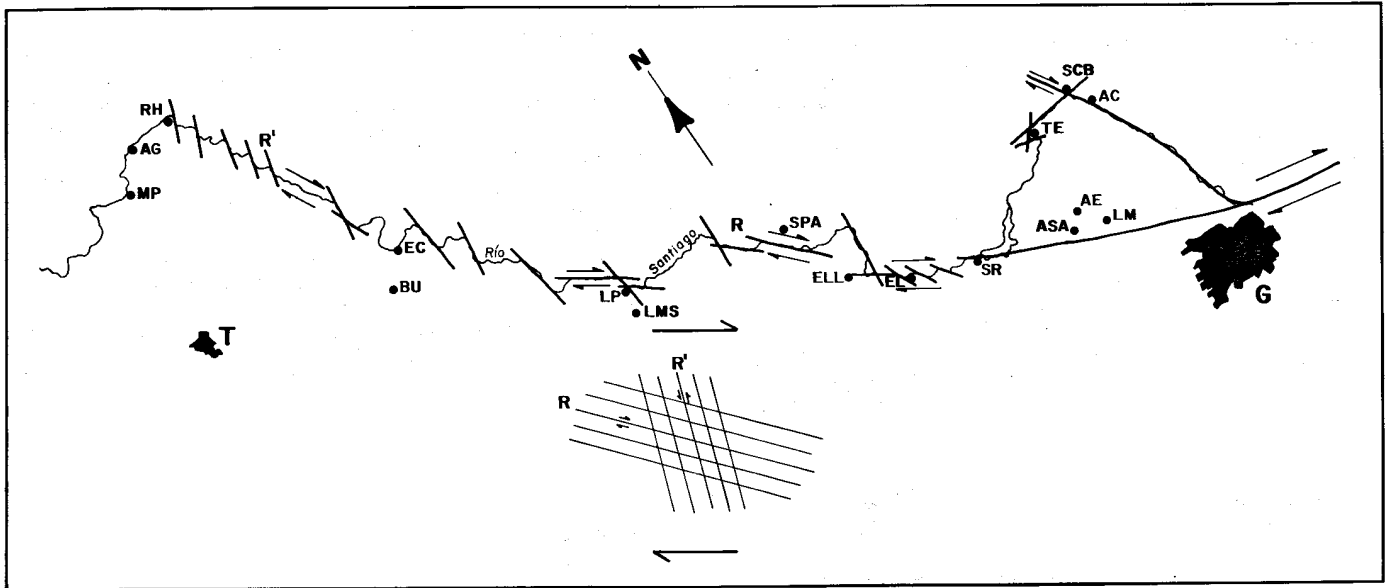


Figura 11.- Interpretación de lineamientos en el río Santiago, los cuales muestran un arreglo que sugiere la presencia de fallamiento transcurrente derecho. El diagrama inferior muestra la interpretación del experimento Riedel: (R) cizallamiento Riedel; (R') cizallamiento conjugado; las flechas indican la dirección general del movimiento inferido. RH—Río Huaynamota, AG—Aguamilpa, MP—Mesa de Picachos, EC—El Cajón, BU—Buruato, LP—La Playa, LMS—Los Mezquites, SPA—San Pedro Analco, ELL—El Llano de los Vela, EL—El Limón, SR—Santa Rosa, ASA—Arroyo San Antonio, AE—Agua Escondida, LM—La Mesita, TE—Techaluta, SCB—San Cristóbal de la Barranca, AC—Arroyo Camotán, T—Tepic, G—Guadalajara.

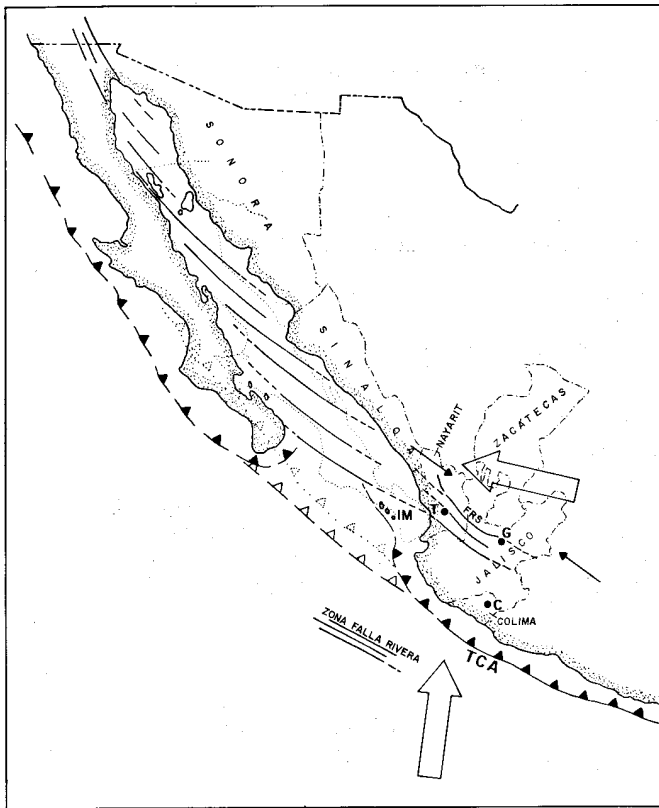


Figura 12.- Esquema tectónico inferido que explica las relaciones que prevalecían durante el Paleógeno tardío. El contorno geográfico actual, así como la tectónica del Golfo de California se usa nada más como referencia. IM—Islas Marías, T—Tepic, G—Guadalajara, FRS—Falla Río Santiago (propuesta en este trabajo), C—Colima, TCA—Trinchera Centroamericana. Las flechas pequeñas indican la dirección de los esfuerzos principales. Las flechas grandes indican los movimientos de las placas.

unidades litoestratigráficas, cartografiables y aceptables, tanto por el Código Estratigráfico Norteamericano como por la mayoría de la comunidad geológica. Por tanto, fueron integrados, con los seis grupos anteriormente mencionados, cuatro supergrupos, como unidades cartográficas regionales de tipo informal y con el premeditado objetivo de irlos formalizando conforme sean desarrollados análisis y evaluaciones estratigráficas más detallados al respecto.

AGRADECIMIENTOS

Los resultados de este estudio son debidos a un proyecto interinstitucional entre la Comisión Federal de Electricidad y el Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México, el cual sólo se desarrolló parcialmente, mediante un equipo de trabajo del cual formó parte el primer autor. El apoyo del Dr. Fernando Ortega-Gutiérrez, Director del Instituto de Geología, fue fundamental, así como su entusiasmo para el desarrollo del proyecto. Se agradece también a los árbitros revisores del artículo, Burke Burkart y Stephen Nelson, por sus atinadas sugerencias para el mejoramiento del manuscrito, aunque las ideas presentadas aquí son responsabilidad de los autores, puesto que están derivadas de observaciones de campo de los mismos y que no necesariamente son compartidas o aceptadas por el equipo originalmente participante.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allan, J.F., 1986, Geology of the northern Colima and Zacoalco grabens, southwest Mexico—late Cenozoic rifting in the Mexican Volcanic Belt: Geological Society of America Bulletin, v. 97, p. 473-485.
 Anderson, T.H., y Silver, L.T., 1979, The role of the Mojave-Sonora megashear in the tectonic evolution of northern Sonora, in Anderson, T.H., y Roldán-Quintana, Jaime, eds., Geology of northern Sonora: University of Pittsburgh, y Universidad Nacional Autónoma de México, Geological Society of America Annual Meeting, San Diego, Guidebook Field trip 27, p. 59-68.

- Atwater, Tanya, 1970, Implications of plate tectonics evolution of western North America: Geological Society of America Bulletin, v. 81, p. 3513-3536.
- CETENAL, 1972a, [Hoja] El Venado (F13-D11): México, D.F., Comisión de Estudios del Territorio Nacional, Carta topográfica, escala 1:50,000.
- 1972b, [Hoja] Sierra de Álica (F13-D22): México, D.F., Comisión de Estudios del Territorio Nacional, Carta topográfica, escala 1:50,000.
- 1972c, [Hoja] El Salvador (F13-D44): México, D.F., Comisión de Estudios del Territorio Nacional, Carta topográfica, escala 1:50,000.
- 1973a, [Hoja] Tepic (F13-D21): México, D.F., Comisión de Estudios del Territorio Nacional, Carta topográfica, escala 1:50,000.
- 1973b, [Hoja] Jalisco (F13-D31): México, D.F., Comisión de Estudios del Territorio Nacional, Carta topográfica, escala 1:50,000.
- 1973c, [Hoja] Santa María del Oro (F13-D32): México, D.F., Comisión de Estudios del Territorio Nacional, Carta topográfica, escala 1:50,000.
- 1973d, [Hoja] Ixtlán (F13-D42): México, D.F., Secretaría de Programación y Presupuesto, Comisión de Estudios del Territorio Nacional, Carta topográfica, escala 1:50,000.
- 1973e, [Hoja] Hostotipaquillo (F13-D43): México, D.F., Comisión de Estudios del Territorio Nacional, Carta topográfica, escala 1:50,000.
- 1973f, [Hoja] García de la Cadena (F13-D45): México, D.F., Comisión de Estudios del Territorio Nacional, Carta topográfica, escala 1:50,000.
- 1973g, [Hoja] Tequila (F13-D54): México, D.F., Comisión de Estudios del Territorio Nacional, Carta topográfica, escala 1:50,000.
- 1977, [Hoja] San Francisco Tesistán (F13-D55): México, D.F., Comisión de Estudios del Territorio Nacional, Carta topográfica, escala 1:50,000.
- Clabaugh, S.E., y McDowell, F.W., 1979, Ignimbrites of the Sierra Madre Occidental and their relations to the tectonic history of western Mexico, *in* Chapin, C.E., y Elston, W.E., eds., Ash-flow tuffs: Geological Society of America Special Paper 180, p. 113-124.
- Comisión Norteamericana de Nomenclatura Estratigráfica, 1984, Código Estratigráfico Norteamericano 1983: México, D.F., Comisión Federal de Electricidad; Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología; Sociedad Geológica Mexicana; Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 87 p.
- Demant, Alain, 1981, L'Axe Neo-volcanique Trans-Mexicain—étude volcanologique et pétrographique; signification géodynamique: Marsella, Université de Droit, d'Economie et des Sciences d'Aix-Marseille, disertación doctoral, 259 p. (inédita).
- Gastil, R.G.; Krummenacher, Daniel; y Jensky, W.A., 1978, Reconnaissance geology map of the west-central part of the State of Nayarit, Mexico: Geological Society of America Map and Chart Series, Map MC-24.
- Gastil, R.G.; Krummenacher, Daniel; y Minch, John, 1979, The record of Cenozoic volcanism around the Gulf of California: Geological Society of America Bulletin, v. 90, p. 839-857.
- Henry, C.D., 1986, East-northeast-trending structures in western Mexico—evidence for oblique convergence in the late Mesozoic: Geology, v. 14, p. 314-317.
- 1989, Late Cenozoic basin and range structure in western Mexico adjacent to the Gulf of California: Geological Society of America Bulletin, v. 101, p. 1147-1156.
- Larson, R.L., 1972, Bathymetry, magnetic anomalies, and plate tectonic history of the mouth of the Gulf of California: Geological Society of America Bulletin, v. 83, p. 3345-3360.
- Larson, R.L., y Mudie, J.D., 1972, Magnetic anomalies and fracture-zone trends in the Gulf of California: Geological Society of America Bulletin, v. 83, p. 3361-3368.
- Luhr, J.F.; Nelson, S.A.; Allan, J.F.; y Carmichael, I.S.E., 1985, Active rifting in southwestern Mexico—manifestations of an incipient eastward spreading-ridge jump: Geology, v. 13, p. 54-57.
- Marshak, Stephen, and Mitra, G., 1988, Basic methods of structural geology: Englewood Cliffs, N.J., Prentice Hall, 446 p.
- Navarro-Candelas, J.J., 1980, Geología y geotecnia de la alternativa El Sordo del proyecto hidroeléctrico Aguamilpa, río Grande de Santiago, Nayarit: Comisión Federal de Electricidad, Reunión Nacional de Geotecnia y Geotermia, 3, Memoria, tomo 2, p. 120-125.
- Nieto-Obregón, Jorge; Delgado-Argote, L.A.; y Damon, P.E., 1985, Geochronologic, petrologic and structural data related to large morphologic features between the Sierra Madre Occidental and the Mexican Volcanic Belt: Geofísica Internacional, v. 24, p. 623-663.
- Raisz, Erwin, 1964, Landforms of Mexico, 2^a ed.: Cambridge, Mass., mapa con texto, escala 1:3'000,000, edición privada.
- Rodríguez-Castañeda, J.L., y Anderson, T.H., enviado, Fault systems deformation of Jurassic, Cretaceous, and Tertiary rocks, northern Sonora, Mexico.
- Watkins, N.D.; Gunn, B.M.; Baksi, A.K.; York, Derek; y Ade-Hall, James, 1971, Paleomagnetism, geochemistry and potassium-argon ages of the Río Grande de Santiago volcanics, central Mexico: Geological Society of America Bulletin, v. 82, p. 1955-1968.
- Manuscrito presentado: 1 de marzo de 1991.
 Manuscrito corregido devuelto por el autor: 31 de agosto de 1992.
 Manuscrito aceptado: 15 de octubre de 1992.