

00364
2
24

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

"EVOLUCION ESTRUCTURAL DE LA FALLA DE OAXACA DURANTE EL CENOZOICO"

T E S I S

Que Para Obtener el Grado de
MAESTRA EN CIENCIAS (GEOLOGIA)

PRESENTA

ELENA CENTENO GARCIA

1 9 8 8

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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 está 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.

R E S U M E N

La Falla de Oaxaca se expresa topográficamente como un frente montañoso de 130 km de longitud, con una dirección general N-NW, que se extiende desde las cercanías de la ciudad de Tehuacán, Puebla hasta la de Oaxaca, Oaxaca. Constituye el límite fisiográfico entre las Sierras de Juárez y Mazateca y el Valle de Oaxaca y la Región de la Cañada.

En el bloque occidental de esta falla afloran el Complejo Oaxaqueño y su cubierta fanerozoica, considerados como pertenecientes al Terreno Zapoteco; en cambio, en el lado oriental, aflora el cinturón de rocas metamórficas y sedimentarias que constituyen al Terreno Cuicateco. La relación entre ambos terrenos es tectónica y es en esta misma zona de contacto donde se ha desarrollado a partir del Terciario temprano-medio hasta el Cuaternario la Falla de Oaxaca.

Dicha falla está constituida por varios segmentos que presentan en conjunto un arreglo en echelón derecho que están conectados por fallas laterales izquierdas de orientación NE, o por puentes. Al oeste de esta falla, hay una serie de fallas antitéticas que dieron lugar a la formación de una cuenca estrecha y alargada donde se acumularon los depósitos cenozoicos. Longitudinalmente, la falla tiene una forma aproximada de "columpio", con un desplazamiento vertical nulo en sus extremos norte y sur; este va aumentando paulatinamente hacia el centro, donde se presenta su valor máximo, probablemente superior a los 1700 metros.

Sobre los planos de falla de los segmentos que constituyen a la Falla de Oaxaca, no se observaron estrias suficientes que permitieran establecer la dirección y el sentido del desplazamiento, solo se presenta una zona de brecha tectónica de aproximadamente 50 metros de espesor; no obstante lo anterior, se infiere por otras evidencias que el desplazamiento en sentido vertical es de gran magnitud; en los depósitos cenozoicos del bloque occidental existen evidencias de movimientos laterales, principalmente en el Sector Jayacatlán, como son planos de fallas con estrias diagonales, pliegues y fallas inversas.

En la cuenca o bloque hundido, la estratigrafía del Cenozoico está representada por una interstratificación de conglomerados, areniscas, depósitos lacustres, tobas y algunos derrames e intrusivos de composición riolítica, andesítica y basáltica; el gran espesor de dichos depósitos, así como la existencia de discordancias estructurales y erosionales entre las unidades litológicas diversas, sugieren que dicha falla actuó durante el Terciario como una falla de crecimiento con movimientos recurrentes; es decir, periodos activos y pasivos alternados.

Aparentemente la Falla de Oaxaca se originó por la reactivación del contacto entre los terrenos Juárez y Zapoteco durante el Terciario. Es probable que haya tenido movimientos de tipo transtensivo, o bien dos fases de deformación, una de desplazamiento lateral y otra de falla normal.

La escasez de fósiles o rocas con posibilidades de fechamiento radiométrico, impide conocer la edad precisa del fallamiento; se infiere que este se haya iniciado antes del Mioceno medio, porque sus movimientos se reflejan en rocas más antiguas que la Formación Suchilquitongo fechada paleontológicamente de dicha edad.

Los análisis morfotectónicos permiten inferir que durante el Cuaternario ocurrió el último movimiento importante en los sectores de Jayacatlan y Teotitlan.

Los sismos de foco profundo localizados en la región de la Falla de Oaxaca parecen estar relacionados con procesos ocurridos en la zona de Benioff. Es necesario estudiar la actividad sísmica somera (33 km) localizada al occidente de la falla y realizar análisis de microsismicidad con el fin de determinar si dicha falla es sísmicamente activa.

C O N T E N I D O

	P.
I. INTRODUCCION	
Definición.....	1
Localización.....	2
Estudios Previos.....	4
Objetivos.....	7
Material y Métodos.....	8
II. FISIOGRAFIA	
Regiones Fisiográficas.....	12
Clima.....	16
Vegetación.....	19
III. MARCO GEOLOGICO REGIONAL.....	22
IV. ESTRATIGRAFIA.....	29
Unidades Pre-cenozoicas	
Complejo Oaxaqueño.....	30
Complejo Juárez.....	32
Serie Yogana.....	33
Secuencia Marina Cretácica.....	34
Formación Chivillas.....	35
Unidades Cenozoicas	
Conglomerado A.....	36
Formación Tehuacán.....	39
Depósitos Lacustres A.....	41
Depósitos Lacustres B.....	43
Formación Suchilquitongo.....	44
Conglomerado Cuicatlán.....	46
Formación Cerro de la Mesa.....	49
Conglomerado Teotitlán.....	50
Conglomerado Pueblo Viejo.....	51
Derrames e Intrusivos Terciarios.....	52
Depósitos Cuaternarios.....	54
V. GEOLOGIA ESTRUCTURAL	
Estructuras Pre-Falla de Oaxaca.....	55
Sectores de la Falla de Oaxaca y	
Estructuras Asociadas.....	58
Sector Etlá.....	69
Sector Jayacatlán.....	74
Sector Dominguillo-Teotitlán.....	82
Sector Coxcatlán.....	88
Sector Tehuacán.....	91
VI. MORFOTECTONICA	
a) Hipsometría.....	94
b) Análisis de la disección.....	95
c) Análisis de las vertientes.....	100
d) Sinuosidad del frente montañoso.....	108
e) Morfología de los abanicos aluviales.....	116
VII. SISMOTECTONICA	
Inferencias sobre las características de la	
corteza en el área de la Falla de Oaxaca.....	119
Actividad sísmica regional.....	122

VIII. DISCUSION.....	136
IX. CONCLUSIONES.....	147
BIBLIOGRAFIA.....	150
ANEXO FOTOGRAFICO	

- Làmina I. MAPA TOPOGRAFICO
- Làmina II. MAPA HIPSOMETRICO
- Làmina III. MAPA GEOLOGICO (Parte 1, sur)
- Làmina IV. MAPA GEOLOGICO (Parte 2, norte)

I. INTRODUCCION

DEFINICION

Se denomina en este trabajo zona de Falla de Oaxaca al sistema de fallas localizadas en el frente montañoso occidental de las sierras Mazateca y de Juárez asociada al levantamiento de dichas sierras durante el Cenozoico. Dicha falla se desarrolló en la zona de contacto entre dos terrenos tectonoestratigráficos cuya acreción es de probable edad pre-cenozoica; estos terrenos presentan características geológicas y geofísicas contrastantes, lo cual probablemente explica la reactivación de dicho contacto durante el Cenozoico.

Tranversalmente en corte esta zona de falla parece estar compuesta por varios planos de falla paralelos, cuyas trazas se observan en diferentes niveles topográficos, estando los más viejos hacia la cima y los escarpes de falla más jóvenes en la base de las sierras.

En planta, el escarpe de falla más reciente está constituido por varios segmentos que presentan en general un arreglo en echelon derecho; estos segmentos de sur a norte son denominados en este trabajo como Sectores Etla, Jayacatlán, Dominguillo-Teotitlán, Coxcatlán y Tehuacán (Figura 1).

En conjunto y en corte longitudinal, todos los segmentos de la Falla de Oaxaca, forman una especie de falla de "columpio" con un

desplazamiento vertical aparentemente nulo en Oaxaca y Tehuacán, el cual va aumentando hacia el centro, donde alcanza su mayor magnitud.

Asociadas a este sistema, hay varias fallas de menor magnitud que delimitan el valle al occidente desde la Cañada Chica hasta el Valle de Tehuacán, estas son fallas antitéticas (Closs, 1955) del sistema principal de la Falla de Oaxaca (Figura 1).

Esta tesis presenta un análisis muy general de la evolución cenozoica de la Falla de Oaxaca e incluye la cartografía del escarpe más joven de dicha falla, una descripción breve de las unidades afectadas, el análisis de las estructuras asociadas a dicho sistema y el estudio cualitativo y cuantitativo de sus características geomorfológicas y geofísicas.

LOCALIZACION

La Falla de Oaxaca es una gran estructura geológica localizada a 200 km al sureste de la Ciudad de México, entre los 17° y 18° 30' de latitud norte y los 96° 30' y 97° 30' de longitud oeste; tiene una longitud aproximada de 130 km y una orientación general N-NW, extendiéndose desde la Ciudad de Tehuacán, Estado de Puebla hasta la Ciudad de Oaxaca, Estado de Oaxaca (Figura 1). Es accesible desde la Ciudad de México por la Autopista México-Puebla y la Carretera Puebla-Tehuacán; también mediante la Autopista México-Orizaba, desviándose en Esperanza para continuar por la Carretera Esperanza-Tehuacán; o bien por la vía México-Izúcar de

1. Sector Etna
- 2a y b. Sector Jayacatlán
3. Sector Dominguillo-Teotitlán
4. Sector Coxcatlán
5. Sector Tehuacán
6. Falla San Felipe
7. Falla Magdalena-Telixtlahuaca
9. Falla Nacaltepec
10. Falla Barranca Vigas
- 11 y 12. Fallas Antitéticas

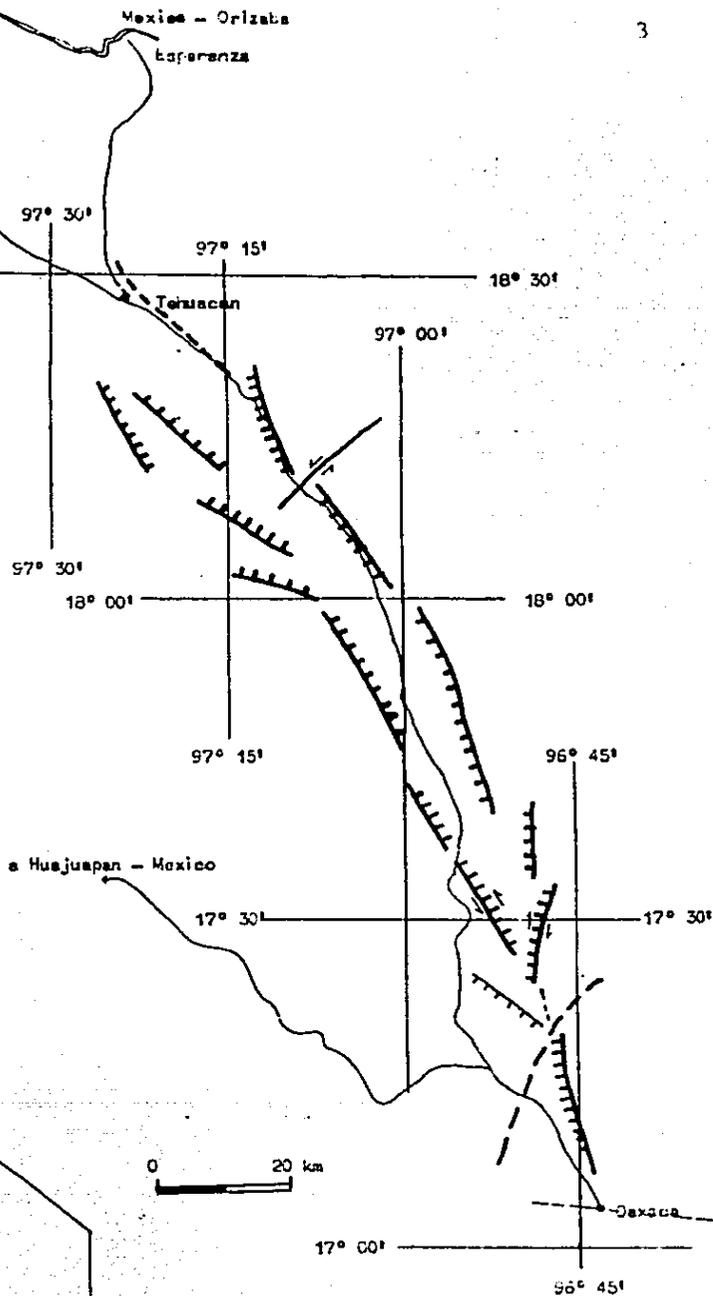
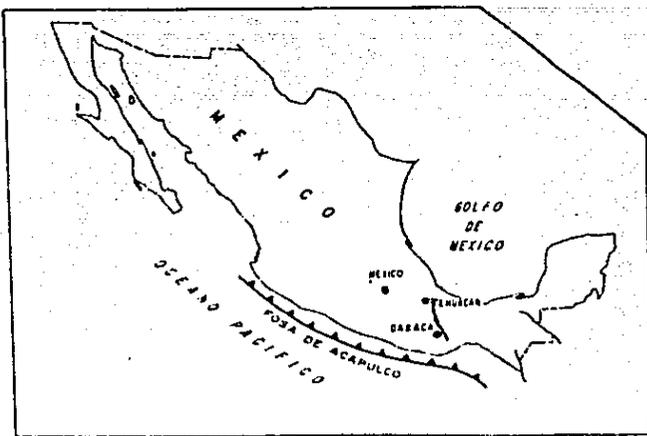


Figura 1. Mapa de localización y vías de comunicación de la Falla de Oaxaca.

Huamantla- Huamantla- Tehuacan- Tehuacan- Oaxaca. Por la Carretera Tehuacan- Teotitlán- Cuicatlán- Tehuacan- Oaxaca es posible apreciar a la Falla de Oaxaca en toda su espectacular magnitud, ya que la recorre longitudinalmente en su totalidad.

ESTUDIOS PREVIOS

Hay pocos estudios publicados en los cuales se mencione la historia cenozoica de la Falla de Oaxaca. El primer autor en la literatura geológica mexicana que reconoce dicha falla fue Tomas Barrera (1931) quien en la descripción que hace del temblor del 14 de enero de 1931 dice (p.8): "... el Valle de Oaxaca fue originado principalmente por grietas y movimientos del terreno, dirigidos sensiblemente de norte a sur...", además de esta descripción señala la traza aproximada de la falla en el plano número 1 de la misma publicación, considerándola como una de las "líneas tectónicas superpuestas" de la porción meridional de la República, y la divide en dos sectores, uno entre las poblaciones de Tehuacan y Cuicatlán y el otro entre las poblaciones de Etla y Ejutla.

El mismo autor en su Guía Geológica de Oaxaca (Barrera, 1946) presenta dos secciones esquemáticas transversales de la falla en la región de Tecomavaca; comenta que el conglomerado rojo (Serie Cuicatlán) termina bruscamente hacia el este, contra las rocas gnéisicas de la porción montañosa, lo cual caracteriza la presencia de una falla longitudinal importante, y menciona que esta estructura se prolonga hasta la región de Guotepes. Considera que

esta estructura, junto con otras fallas menores, son consecuencia de movimientos terrestres ocurridos durante el Terciario.

Viniegra (1965) hace una descripción estratigráfica general de las unidades cenozoicas que afloran en el Valle de Tehuacán y la Región de la Cañada; diferenciando tres horizontes principales, uno conglomerático ubicado en la base de la secuencia, otro lacustre en la parte intermedia y en la cima otro horizonte de conglomerados. A esta secuencia le asigna una edad Eoceno Temprano-Oligoceno. Comenta que dichas unidades están poco deformadas, formando amplios pliegues. No hace mención de la existencia de fallas.

Brunet (1967) hace una descripción de la geología del Valle de Tehuacán; en ella correlaciona a los depósitos conglomeráticos con los conglomerados de Guanajuato y les asigna una edad Eoceno-Oligoceno. Considera que después del depósito de los sedimentos lacustres y conglomeráticos, hubo un evento orogénico que ocasionó su deformación y aisló al valle del mar.

Debido a la gran destrucción que causó el terremoto del 28 de agosto de 1973, Vivo (1973) realizó un estudio sobre las cuencas del sureste, en los Estados de Puebla, Oaxaca y Veracruz. Considera como una de estas depresiones tectónicas importantes a la Depresión Tecamachalco- Tehuacán- Cañadas Oaxaqueñas- Valles de Oaxaca. En dicho trabajo hace un análisis de la distribución de las poblaciones afectadas y deduce que las áreas más destruidas están localizadas sobre fracturas o fallas asociadas a las depresiones tectónicas y propone como una de las zonas de riesgo sísmico a la región de Atlix-Ajalpan, al sur de Tehuacán.

Posteriormente Alvarez y Del Rio (1975) a partir del análisis de imágenes de satélite, identifican un lineamiento que corresponde en parte a la Falla de Oaxaca. Este lineamiento va desde el Golfo de México hasta la Costa del Pacífico (475 km) y es considerado como un fallamiento transcontinental importante, lo cual: a) se manifiesta en el mapa de anomalías de Bouguer como el límite entre un gradiente gravimétrico escarpado al este y un gradiente bajo al oeste que sugiere una correlación entre la falla y un contraste de densidades a profundidad, b) aproximadamente coincide con el límite oriental del Eje Volcánico Transmexicano, y c) este fallamiento transcontinental de modo general corresponde al límite entre dos sectores con magnitudes diferentes de desplazamiento entre las placas de Cocos y Americana.

Demant (1978) denomina esta gran estructura como Falla Pico de Orizaba-Tehuacán-Oaxaca, la prolonga en el norte hasta el volcán Cofre de Perote y considera que representa el límite oriental del Eje Neovolcánico Transmexicano.

Ortega (1981, 1982) describe la evolución precenozoica de la Falla de Oaxaca y menciona que la actual expresión topográfica de la falla se debe a un rejuvenecimiento, probablemente activo desde el Terciario, que corresponde a un desplazamiento oblicuo, con componente lateral y vertical de la misma magnitud relativa, sin indicar el sentido.

Posteriormente Alvarez y Del Rio (1975) a partir del análisis de imágenes de satélite, identifican un lineamiento que corresponde en parte a la Falla de Oaxaca. Este lineamiento va desde el Golfo de México hasta la Costa del Pacífico (475 km) y es considerado como un fallamiento transcontinental importante, lo cual: a) se manifiesta en el mapa de anomalías de Bouguer como el límite entre un gradiente gravimétrico escarpado al este y un gradiente bajo al oeste que sugiere una correlación entre la falla y un contraste de densidades a profundidad, b) aproximadamente coincide con el límite oriental del Eje Volcánico Transmexicano, y c) este fallamiento transcontinental de modo general corresponde al límite entre dos sectores con magnitudes diferentes de desplazamiento entre las placas de Cocos y Americana.

Demant (1978) denomina esta gran estructura como Falla Pico de Orizaba-Tehuacán-Oaxaca, la prolonga en el norte hasta el volcán Cofre de Perote y considera que representa el límite oriental del Eje Neovolcánico Transmexicano.

Ortega (1981, 1982) describe la evolución precenozoica de la Falla de Oaxaca y menciona que la actual expresión topográfica de la falla se debe a un rejuvenecimiento, probablemente activo desde el Terciario, que corresponde a un desplazamiento oblicuo, con componente lateral y vertical de la misma magnitud relativa, sin indicar el sentido.

OBJETIVOS

Posterior al sismo del 19 de septiembre de 1985 en el Instituto de Geología surgió la inquietud por estudiar aquellas fallas que pudieran representar un riesgo sísmico para la población del país. Se eligió a la Falla de Oaxaca como una de las primeras grandes estructuras a estudiar desde el punto de vista neotectónico por su espectacular expresión fisiográfica y por estar ubicada en una región de alta sismicidad; en 1986 el doctor Fernando Ortega Gutiérrez propuso llevar a cabo el proyecto titulado "Fallas Activas? del Sur de México: Fallas de Oaxaca y Chacalapa", bajo el auspicio del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, del cual se desprende el presente trabajo de tesis.

Las dimensiones de dicha estructura y la falta casi total de cartografía geológica en la región sugirieron plantear objetivos de reconocimiento para este trabajo, los cuales se enfocaron en la producción de una primera aproximación del origen y características de la falla. Los objetivos particulares que se persiguieron son:

1. Inferir por medio de fotografías aéreas, imágenes de satélite y mapas topográficos la traza principal de la falla.
2. Verificar en el campo la ubicación de dicha falla.
3. Determinar sus características estructurales en forma general, tales como: geometría, tipo de falla, magnitud de desplazamiento y comportamiento.
4. Inferir la edad relativa del último fallamiento.
5. Investigar la relación entre la sismicidad regional y la

Falla de Oaxaca.

MATERIAL Y METODOS

Para la elaboración del mapa fotogeológico se utilizaron fotografías aéreas a escala 1:50,000, proporcionadas por el Consejo de Recursos Minerales y fotografías aéreas de la zona sur y norte a escala 1:20,000 elaboradas por Aerofoto S.A.; se utilizaron mapas topográficos a escala 1:50,000 y 1:250,000 y mapas geológicos a escala 1:250,000, elaborados por el Instituto Nacional de Geografía e Informática.

En el campo, el trabajo consistió principalmente en realizar secciones transversales a la falla en zonas de fácil acceso y con buenos afloramientos, en especial en aquellos sitios donde se encontraban las unidades más jóvenes. A lo largo de dichas secciones se tomaron sistemáticamente datos estructurales y se elaboraron columnas estratigráficas generalizadas de las unidades cenozoicas. Con el objetivo de fechar las unidades se colectaron muestras de sedimentos finos para buscar polen y microfósiles que amablemente estudiaron Dr. Enrique Martínez y Dra. Ana Luisa Carreño. Los resultados no fueron satisfactorios.

Los datos estructurales fueron procesados utilizando el programa MICRONE1 y se encuentran representados en la falsilla de igual área de Schmidt en el hemisferio inferior.

Para el cálculo de la dirección de los esfuerzos locales se utilizó un método propuesto por Ragan (1980). Las direcciones

obtenidas son únicamente una aproximación, ya que este método surgió de experimentos de laboratorio del comportamiento de materiales homogéneos sometidos a compresión y no de observaciones de campo. Además este método considera que la dirección de los esfuerzos depende de la orientación de las fallas, cuando en la realidad estas últimas pueden ser independientes de la orientación del tensor de esfuerzos.

Con el fin de determinar la geometría y edad aproximada de la Falla de Oaxaca se realizaron análisis morfométricos utilizando técnicas como:

1. Análisis de la disección del relieve en plano vertical (Kostenko, 1975), la cual se basa en la hipótesis de que la disección del relieve es controlada por movimientos verticales de la corteza. Cuando hay subsidencia, hay poca disección o hay depósito y cuando hay levantamiento, el relieve se denuda originando pendientes fuertes y valles angostos.

El mapa de disección del relieve en plano vertical se elaboró a partir de los mapas topográficos escala 1:250,000.

2. Anderson (1977) estudió la geomorfología de la zona de falla Wasatch en Utah (provincia de Cuencas y Sierras de Estados Unidos). Dicho autor determinó las etapas de fallamiento, diferenciando en fotografías y mapas topográficos las facetas triangulares y relictos de antiguos pedimentos. Por la gran similitud entre dicha zona de falla y la Falla de Oaxaca se decidió aplicar dicho método; para esto se elaboraron perfiles topográficos transversales a la zona de falla y se ubicaron los relictos de pedimentos en los mapas

topográficos escala 1:50,000.

3. A partir del análisis de la sinuosidad del frente montañoso en fallas activas del occidente de Estados Unidos, Bull y Mc Faden (1977) proponen la siguiente fórmula empírica:

$$S_m = L_m / L_s \quad \text{donde:}$$

S_m = Sinuosidad del frente montañoso

L_m = Longitud del frente montañoso, a lo largo del escarpe que limita el pie de monte.

L_s = Longitud en línea recta del escarpe de falla.

Dicha fórmula se basa en la hipótesis de que conforme más antiguo es un plano de falla la erosión lo hace más sinuoso y solo cuando tiene desplazamientos recientes es una línea recta.

Para aplicar esta fórmula se llevaron a cabo de 10 a 15 mediciones con curvimetro en los escarpes de falla en la base de las sierras, tanto en las fotografías aéreas como en los mapas topográficos, calculando un valor promedio. La interpretación de los resultados obtenidos para la Falla de Oaxaca debe hacerse con cierto grado de incertidumbre, ya que las condiciones climáticas y litologías no son especificadas en el estudio de Bull y Mc Faden.

También se realizó el análisis fotogeológico de abanicos aluviales; por la erosión y la estrechez de la cuenca originada por la Falla de Oaxaca se desarrollaron dichos abanicos solo en la región de Coxcatlán. Se utilizó la hipótesis propuesta por Bull (1964), quien considera que en un frente montañoso que se está levantando, los abanicos aluviales se depositan uno sobre otro; en cambio si se mantiene estable, o si el levantamiento diferencial

con respecto al valle es mínimo, los abanicos más jóvenes se depositan adelante de los más viejos.

Para el análisis sismotectónico, el Dr. Reynaldo Mota P. facilitó los datos sísmicos de la región presentados en la tabla 1, así como los mecanismos focales de algunos de ellos. En este trabajo se intentó realizar una interpretación geológica de dichos datos.

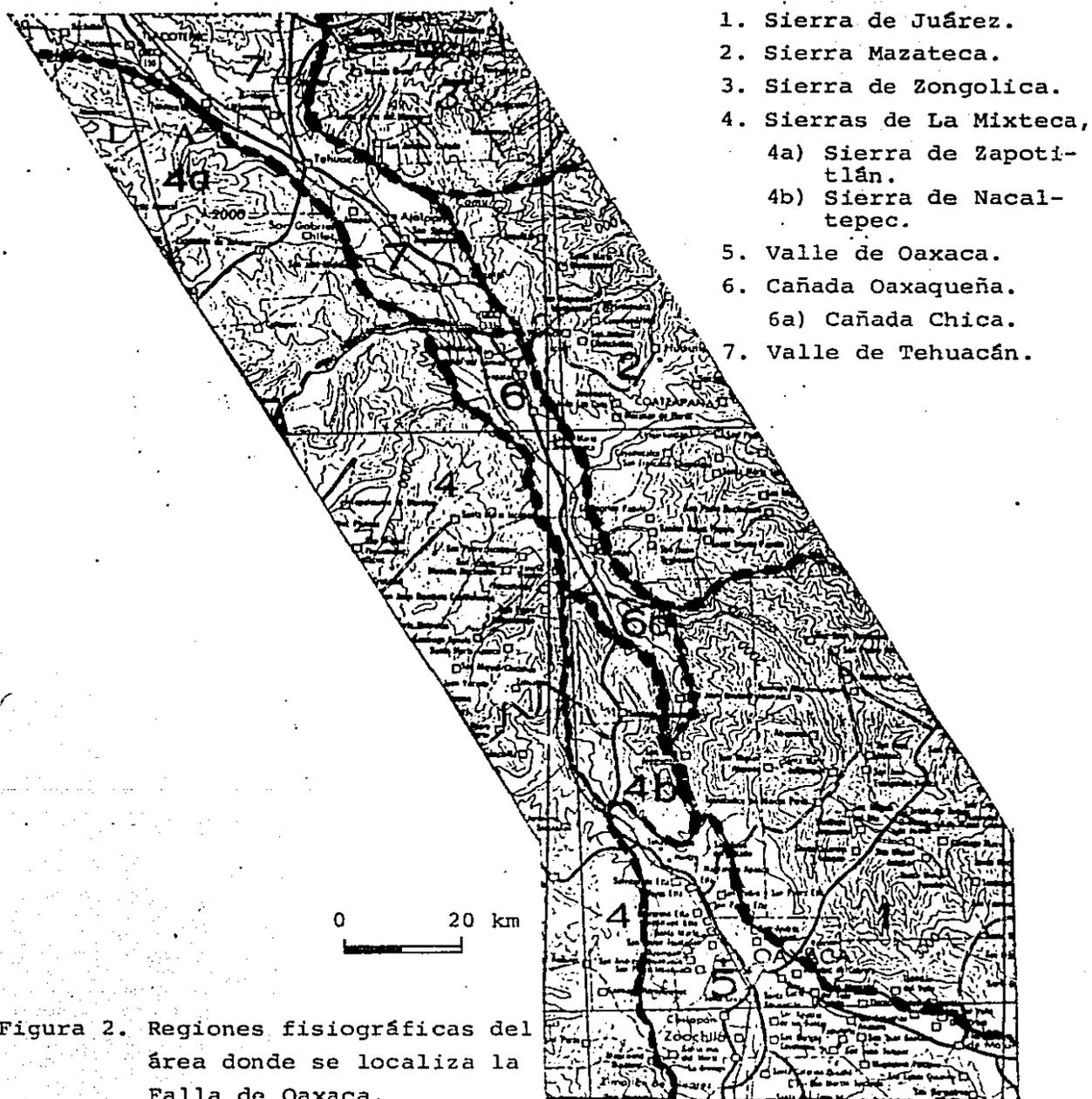
II. F I S I O G R A F I A

REGIONES FISIOGRAFICAS

Desde el punto de vista fisiográfico (Figura 2) el área de estudio está ubicada en el límite sur de la Provincia de la Sierra Madre Oriental, en el Altiplano de Oaxaca y parte de la Provincia de la Mixteca Alta (Raisz, 1964). A la Provincia de la Sierra Madre Oriental pertenecen las Sierras de Zongolica, Mazateca y de Juárez denominadas por Raisz (1964) como Sierra Madre de Oaxaca, mientras que el Valle de Oaxaca forma parte de la Provincia del Altiplano de Oaxaca. La Región de La Cañada Oaxaqueña es el límite entre la Mixteca Alta y la Sierra Madre de Oaxaca. Las Sierras que delimitan los valles al occidente forman parte de la Región de la Mixteca Alta (Figura 2)

Sierra de Zongolica: Al noreste del área de estudio se encuentra una pequeña parte del límite suroccidental de la Sierra de Zongolica (Figura 2); tiene una altitud máxima de 2600 m. Está constituida principalmente por rocas calcáreas, por lo cual en partes presenta morfología kárstica, principalmente en su frente montañoso oriental; esta limitada al oriente por la vertiente del Golfo de México y al poniente por el Valle de Tehuacán.

Sierras Mazateca y de Juárez: Están localizadas en la parte oriental del área, desde el poblado de Ajalpan hasta la Ciudad de Oaxaca (Figura 2); forman una cadena montañosa de gran altitud, pendientes fuertes y valles muy estrechos (Fotos 1, 2 y 3) que tienen una orientación general NW-SE y una altitud máxima de 3250



1. Sierra de Juárez.
2. Sierra Mazateca.
3. Sierra de Zongolica.
4. Sierras de La Mixteca,
 - 4a) Sierra de Zapotitlán.
 - 4b) Sierra de Nacaltepec.
5. Valle de Oaxaca.
6. Cañada Oaxaqueña.
 - 6a) Cañada Chica.
7. Valle de Tehuacán.

Figura 2. Regiones fisiográficas del área donde se localiza la Falla de Oaxaca.

Fuente: Mapa fisiográfico esc. 1:3,000,000 (Raisz, 1964) y Cartas Topográficas esc. 1:250,000 E146 y E149 (INEGI).

m, están formadas principalmente por rocas metamórficas (Unidad Milonítica Juárez) y una secuencia sedimentaria con metamorfismo de bajo grado; son limitadas al oriente por la vertiente del Golfo de México y al poniente por la Región de La Cañada y el Valle de Oaxaca.

Sierras de la Mixteca: Las sierras que delimitan al poniente al Valle de Tehuacán, Región de La Cañada y Valle de Oaxaca son consideradas como el límite oriental de la Región de la Mixteca (Figura 2, foto 4), presentan una orientación general NW-SE y se extienden desde Zapotitlán Salinas al poniente de Tehuacán (donde recibe el nombre de Sierra de Zapotitlán), hasta el oriente de la Ciudad de Oaxaca (al norte de esta, la sierra ubicada entre el Cañón de Tomellín y La Cañada Chica recibe el nombre de Sierra de Nacaltepec); forman una cadena montañosa de menor altitud que las Sierras Mazateca y de Juárez, con pendientes suaves y valles amplios en general, aunque hay algunos estrechos (por ejemplo el Cañón de Tomellín), la altitud máxima de estas sierras es de 2750 m y están constituidas por el Complejo Oaxaqueño y su cubierta sedimentaria.

Valle de Oaxaca: Se denomina con este nombre a la planicie originada por la actividad de la Falla de Oaxaca que se extiende desde el poblado de San Francisco Telihtlahuaca hasta la parte sur de la Ciudad de Oaxaca, tiene una orientación N-S y presenta algunas lomas de muy poca altitud y pendientes suaves. Su altitud promedio es de 1750 m (Figura 2, Foto 2). Está formado principalmente por el Complejo Oaxaqueño y la secuencia

sedimentaria cenozoica. Lo delimitan al oriente la Sierra de Juárez, al noroccidente la Sierra de Nacaltepec y al poniente parte de las sierras de la Mixteca.

Región de La Cañada Oaxaqueña: Es un valle estrecho y alargado con orientación NW-SE, originado por la actividad de la Falla de Oaxaca. Está localizado en la parte central del área de estudio, tiene una longitud de aproximadamente 90 km y su parte más ancha no sobrepasa los 20 km. Se extiende desde las inmediaciones de Teotitlán de Flores Magón hasta el poblado de San Juan Bautista Jayacatlán (Figura 2). Su altitud fluctúa entre los 1000 y 1500 m. El valle se acuña hacia el sur del poblado de Santiago Domingullo, donde recibe el nombre de Región de La Cañada Chica; en esta se encuentran las poblaciones de Zoquiapan Boca de los Ríos, Atatlauca y San Juan Bautista Jayacatlán (Foto 5).

La Región de La Cañada presenta lomeríos de poca altitud, la mayoría de estos son escarpados, con paredes casi verticales y están constituidos por depósitos cenozoicos, principalmente por conglomerados (Fotos 4 y 3). Esta limitada al oriente por la Sierra Mazateca y parte de la Sierra de Juárez, al occidente por las Sierras de la Mixteca, al norte por el Valle de Tehuacán y al sur en la región de Jayacatlán, por la Sierra de Nacaltepec.

Valle de Tehuacán: Está localizado en la parte norte de la región de estudio, es una planicie de aproximadamente 20 km de diámetro en cuya parte central se ubica la Ciudad de Tehuacán; tiene una altitud promedio de 1500 m, presenta escasos lomeríos de poca altitud y está constituido principalmente por depósitos

lacustres del cenozoico. Se encuentra limitado al oriente por la Sierra de Zongolica, al sur por la Región de La Cañada y al occidente por la Sierra de Zapotitlán (Figura 2).

CLIMA.

Los climas que se presentan en la región de estudio (Figura 3, elaborada con base en la Carta de Climas esc. 1:1,000,000 de INEGI; clasificación de Köppen modificada por E. García) pueden dividirse en forma general en tres grandes grupos: los climas cálidos y húmedos de la vertiente oriental de las Sierras de Zongolica, Mazateca y de Juárez y la Planicie del Golfo, los climas templados-fríos subhúmedos de las partes altas de las Sierras antes mencionadas y de las Sierras de la Mixteca y los climas secos y semiáridos del Valle de Tehuacán, Región de La Cañada y Valle de Oaxaca; esta distribución geográfica parece ser ocasionada por la gran altitud de las Sierras de Zongolica, Mazateca y de Juárez que constituyen una barrera orográfica, la cual detiene los vientos cálidos cargados de humedad provenientes del Golfo y da lugar a la presencia del mecanismo del foehn (Viers, 1975), esto es que los vientos que logran atravesar dicha barrera desciendan a los valles (V. de Tehuacán, La Cañada y V. de Oaxaca) mucho más secos y menos cálidos.

Los principales climas que comprende la región son:

Grupo de Climas Húmedos A

Subgrupo de Climas Cálidos:

a) Am (w) y Aw1(w) Climas cálidos húmedo y subhúmedo con

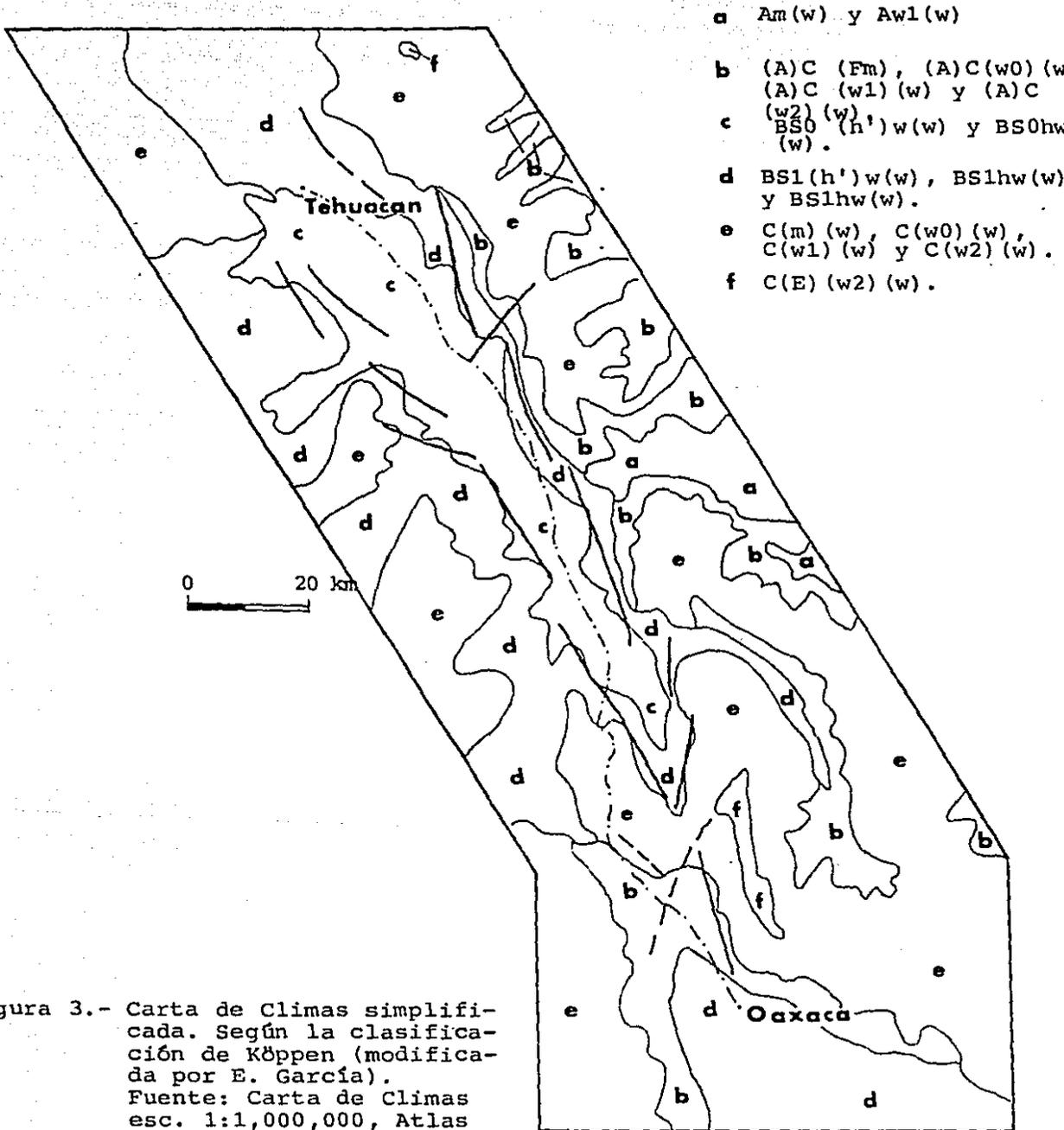


Figura 3.- Carta de Climas simplificada. Según la clasificación de Köppen (modificada por E. García).
Fuente: Carta de Climas esc. 1:1,000,000, Atlas del Medio Físico (INEGI).

lluvias en verano; temperatura media anual $> 22^{\circ}\text{C}$, temperatura media del mes más frío $> 18^{\circ}\text{C}$, precipitación del mes más seco < 60 mm, porcentaje de precipitación invernal (ppi) $< 5\%$.

Subgrupo de Climas Semicálidos:

b) (A)C (fm), (A)C (w0)(w), (A)C (w1)(w), (A)C (w2)(w)

Climas semicálidos húmedos a sub-húmedos con lluvias en verano; temperatura media anual entre 18° y 22°C , temperatura media del mes más frío entre 3° y 18°C , precipitación del mes más seco de > 40 mm a < 40 mm, ppi de $< 18\%$ a $< 5\%$.

Grupo de Climas Secos B

(en estos la evaporación sobrepasa a la precipitación)

Subgrupo de climas más secos (cociente P/T < 22.9):

c) BSO (h')w(w), BSO hw(w) Climas secos muy cálido-calido y semicálido con lluvias en verano; temperatura media anual $> 22^{\circ}\text{C}$ a entre 18° y 22°C , temperatura media del mes más frío $> 18^{\circ}\text{C}$ a $< 18^{\circ}\text{C}$, ppi $< 5\%$.

Subgrupo de climas semisecos (con lluvias en verano y escasa a lo largo del año, cociente P/T > 22.9):

d) BS1 (h')w(w), BS1 hw(w), BS1 kw(w) Climas semisecos, de muy cálido y calido a templado, con lluvias en verano; temperatura media anual de $> 22^{\circ}\text{C}$ a entre 12° y 18°C , temperatura media del mes más frío de $> 18^{\circ}\text{C}$ a entre -3° y 18°C , ppi $< 5\%$.

Grupo de Climas Templados Húmedos C

e) C(m) (w), C(w0) (w), C(w1) (w), C(w2) (w) Climas

templados, de húmedo a subhúmedo, con lluvias en verano; temperatura media del mes más caliente $> 10^{\circ}\text{C}$, temperatura media

del mes más frío entre -3°C y 18°C , precipitación del mes más seco < 40 mm, $\text{ppi} < 5\%$.

f) C(E) (w2)(w) Semifrio subhúmedo con lluvias en verano (más húmedo de los semifrios); temperatura media del mes más cálido $> 10^{\circ}\text{C}$, temperatura media del mes más frío $< -3^{\circ}\text{C}$, precipitación del mes más seco < 40 mm, $\text{ppi} < 5\%$.

VEGETACION.

En la figura 4 se presentan los principales tipos de vegetación actual (obtenida de la Carta de Uso del Suelo y Vegetación esc. 1:1,000,000 de INEGI) de la región donde se localiza la Falla de Oaxaca estos son:

1. Región de bosques: Bosque de Pino, Bosque Mesófilo de Montaña, Bosque de Pino-Encino y Bosque de Encino-Pino y Bosque de Encino, vegetación arborea constituida por varios géneros, principalmente Pinus y Quercus de amplia distribución en las cadenas montañosas del país, desde cerca de los 800 m.s.n.m. hasta el límite altitudinal de los bosques (4200 m.s.n.m.). En el área se encuentra ampliamente distribuidos en las elevaciones que delimitan a los valles, tanto en las laderas como en las partes altas de las Sierras de Zongolica, Mazateca y de Juárez, así como en la parte alta de las Sierras de la Mixteca y Nacaltepec.

2. Selva Baja Caducifolia: Selva que no puede alcanzar los 15 m o más de altura, se desarrolla en climas subhúmedos, semisecos o subsecos. Ocupa aproximadamente el 80% de la superficie de las regiones de La Cañada y La Cañada Chica y gran parte de las sierras

Simbología

1. Región de Bosques.
2. Selva Baja Caducifolia.
3. Matorral con Izotes.
4. Cardonal.
5. Agricultura de riego y temporal, pastizal inducido.

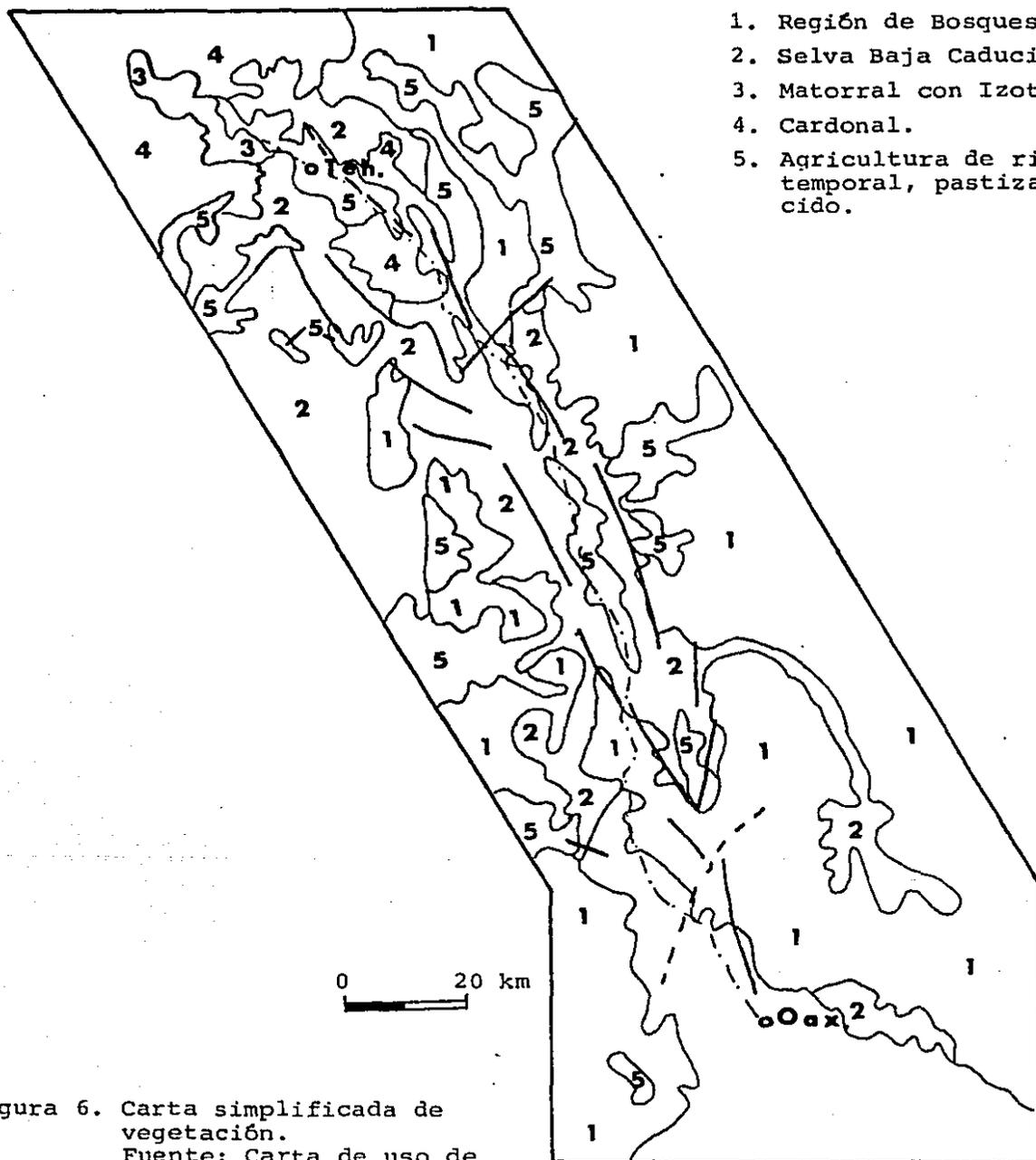


Figura 6. Carta simplificada de vegetación.

Fuente: Carta de uso de Suelo y Vegetación esc. 1:1,000,000 Atlas del Medio Físico (INEGI).

de la Mixteca.

3. Matorral con Izotes: Asociación formada por los llamados izotes en el Sur de México y Palmas del Norte; se encuentran en zonas áridas y semiáridas. Se desarrolla en una zona pequeña al occidente del Valle de Tehuacán.

4. Cardonal: Se desarrolla principalmente en las zonas áridas y semiáridas del país, incluye las comunidades conocidas como nopalera y cardonalera. Crece en gran parte del Valle de Tehuacán y en la Sierra de Zapotitlán.

El Valle de Tehuacán y La Cañada son considerados como el enclave de clima seco más alejado hacia el sur de México y también el más aislado; en el cual se ha detectado un alto grado de endemismo en su flora (Smith, 1965), esta presenta ciertas relaciones con la de la Provincia de la Depresión del Balsas (Miranda, 1948) lo cual hace probable el que esta región que hoy forma parte del sistema de drenaje del Papaloapan, en otras épocas fuera tributario del Balsas (Rzedowski, 1978).

5. Agricultura de Riego y Temporal y Pastizal Inducido: la primera se localiza en la Región de La Cañada y Valles de Oaxaca y Tehuacán, la segunda es el tipo de cultivo predominante en la región.

III. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

El sur de México está constituido por un conjunto de entidades tectonoestratigráficas (Campa y Coney, 1983; Coney 1985) cuyo basamento y cubierta sedimentaria hasta cierta época son diferentes para cada uno. Su origen es desconocido; por tal razón han sido denominados como terrenos sospechosos (Coney *et al.*, 1980). Hasta el momento se distinguen cinco terrenos, redefinidos por Ortega (en prensa) que son: Chatino, Mixteco, Zapoteco, Cuicateco y Maya (Figura 5).

Los contactos entre estos terrenos son discontinuidades, las cuales pueden sufrir reactivaciones posteriores a la acreción. Aparentemente tal es el caso de la zona de contacto entre los terrenos Zapoteco y Cuicateco, donde se desarrolló la Falla de Oaxaca durante el Cenozoico (Figura 5). A continuación se presenta un breve resumen de las características de estos dos terrenos.

Terreno Zapoteco

El basamento del Terreno Zapoteco (Figuras 5 y 6) está formado por el Complejo Oaxaqueño de edad precámbrica (Fries, *et al.*, 1962; Ortega, 1981). Sobre descansa en forma discordante un paquete paleozoico de rocas sedimentarias marinas que cubren los intervalos Cámbrico-Ordovícico y Misisípico-Permiano (Pantoja, 1970).

El primer depósito de edad mesozoica en este terreno es una secuencia de conglomerados continentales (Schlaepfer, 1970; Wilson y Clabaugh, 1970, Pantoja, 1970) y sedimentos marinos de edad

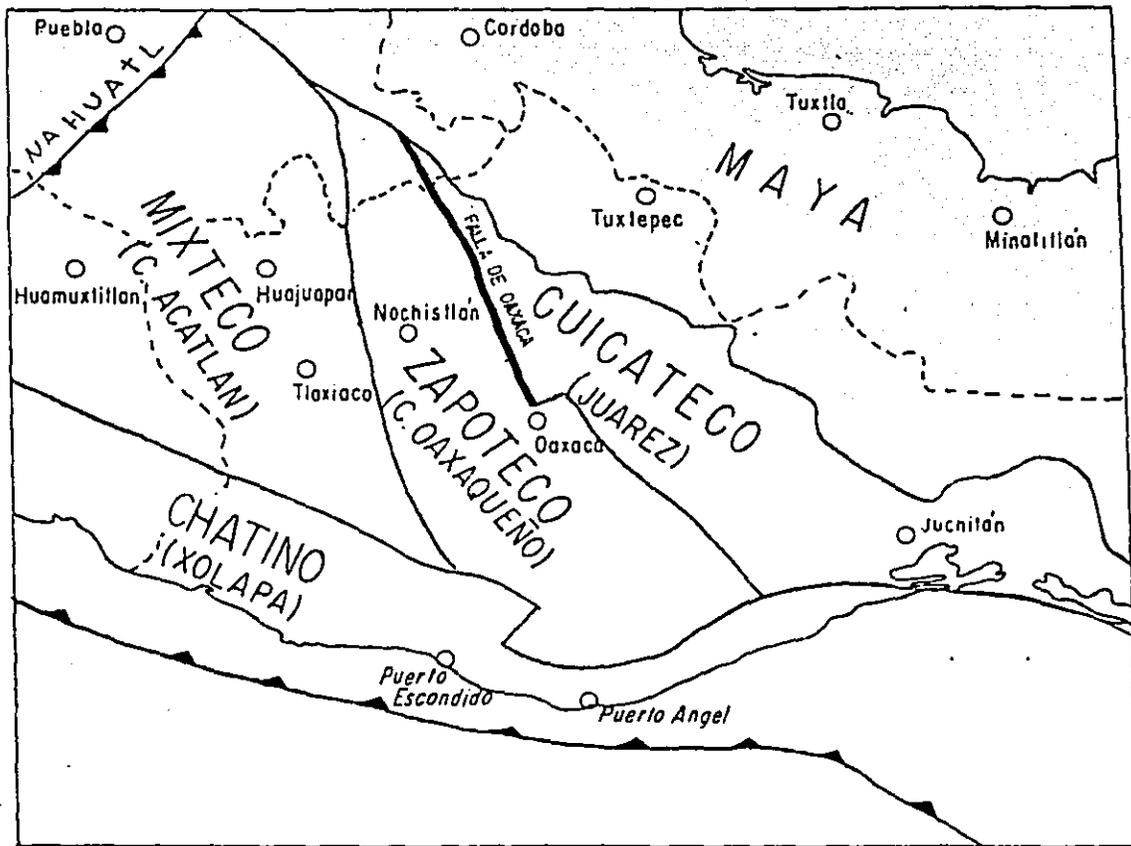


Figura 5. Distribución de los terrenos estratotectónicos del sur de México y ubicación de la Falla de Oaxaca (Ortega, en prensa).

jurásica tardía (Torres y Torre, 1983): los depósitos continentales han sido denominados como Formación Etjalongo en la región de Nochistlán (Schlaepfer, 1970) y como Formación Yogana en el Valle de Oaxaca (Wilson y Clabaugh, 1970). Sobreyaciendo a esta unidad hay un conjunto de unidades formadas por rocas marinas calcáreas y clásticas cuya edad va del Neocomiano al Cenomaniano (Salas, 1949; Erben, 1956; Calderón, 1956; Schlaepfer, 1970; Ferrusquia, 1970, 1976; Alencaster *et al.*, 1984; Morán, 1987, etc.) (Figura 6).

El estilo de la deformación que produjo la orogenia que afectó a la región durante el Cretácico tardío-Terciario temprano en la cobertura mesozoica del terreno Zapoteco es principalmente de pliegues de baja amplitud; estas estructuras tienen en general una orientación NW-SE (Calderón, 1956; Morán, 1987). Se desconoce cuáles son las estructuras provocadas por dicha orogenia en el basamento.

La secuencia cenozoica que cubre indistintamente al basamento precámbrico y a las unidades mesozoicas está constituida por depósitos continentales lacustres y conglomeráticos, y algunos derrames y diques de composición básica a intermedia (Salas, 1946; Ferrusquia, 1970, 1976; Schlaepfer, 1970 y Wilson y Clabaugh, 1970) (Figura 6). En estas rocas se presenta un fallamiento paralelo a la Falla de Oaxaca de orientación NW-SE en la región de Tamazulapan (Ferrusquia, 1970), Nochistlán (Schlaepfer, 1970) y en los valles de Sola de Vega y Ojo de Agua- Juchatengo.

El contacto entre los terrenos Zapoteco y Cuicareco es tectónico, aparentemente el primero cabalga sobre el segundo.

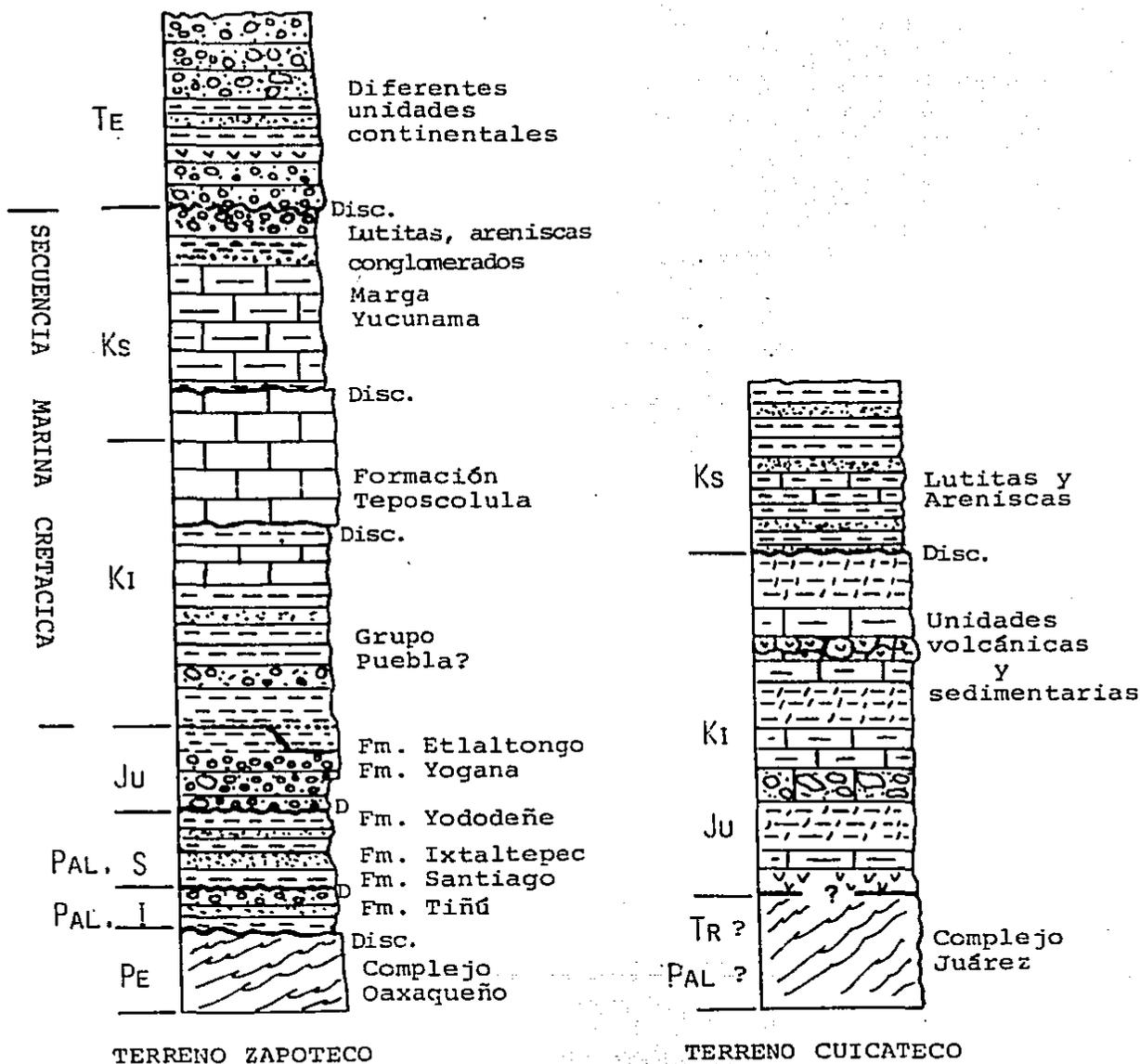


Figura 8 . Columnas estratigráficas esquemáticas compuestas de los terrenos Zapoteco y Cuicateco, en las regiones de la Mixteca Alta y sierras de Juárez y Mazateca respectivamente.

(Ortega, 1982). Su edad aún no ha sido determinada.

Terreno Cuicateco

El terreno Cuicateco está constituido por tres unidades principales: un complejo milonítico de composición esencialmente máfica pero con abundantes componentes félsicos, un complejo máfico-ultramáfico que aparentemente subyace tectónicamente al complejo milonítico y un cinturón de rocas sedimentarias formado por calizas y clásticos de probable edad jurásica-cretácica que aparentemente descansa sobre ambas unidades (Ortega, 1987) (Figura 5).

Delgado (en prensa) describe a la litoestratigrafía de la región central de la Sierra Mazateca como una secuencia volcanosedimentaria metamorfoseada en grado bajo, constituida por una asociación de lavas y tobas andesíticas con rocas sedimentarias que originalmente formaban un arco de islas con cuencas interiores.

A diferencia del terreno Zapoteco, en el terreno Cuicateco la deformación del Cretácico-Terciario produjo un fuerte acortamiento y sus unidades están intensamente deformadas, formando un cinturón de cabalgaduras imbricadas con orientación NW-SE, donde la secuencia sedimentaria en partes está metamorfoseada en bajo grado. La deformación es más intensa cerca al occidente, cerca del contacto con el terreno Zapoteco y disminuye considerablemente hacia el oriente (Campa y Coney, 1983; Delgado, en prensa).

En el terreno Cuicateco, la deformación del Neógeno está representada por algunas fallas normales y fallas laterales locales con orientación NW-SE. Aparentemente, a través de este

fracturamiento se emplazaron contemporánea o posteriormente algunos diques de basalto (Delgado, en prensa). En el terreno Maya (Figura 5) la deformación del Terciario Tardío también se manifiesta por gran cantidad de fallas normales (Lozano, 1955), las cuales son aproximadamente paralelas a la Falla de Oaxaca.

Evolución Tectónica

Debido a que el origen y la evolución tectónica de los terrenos Zapoteco y Juárez no es objetivo de este trabajo, solo se mencionan algunos de los modelos propuestos por varios autores para su evolución. Sin embargo, estos modelos carecen de evidencias, puesto que la geología de grandes porciones de estos dos terrenos ha sido estudiada solo a nivel de reconocimiento.

Ortega (1982) considera que la sutura entre estos dos fragmentos continentales fue originada por la subducción de una antigua placa o microplaca oceánica. Otra explicación alternativa formulada por el mismo autor es que la sutura fuera parte de un paleosistema de fallamiento transforme, de alguna manera relacionado con la megacizalla Mojave-Sonora propuesta por Silver y Anderson (1974).

Carfantán (1983) propone que el Terreno Cuicateco es el resultado de la apertura de una pequeña cuenca oceánica que fue parte de una junta triple y su posterior clausura. El fenómeno de colisión habría ocurrido al final del Turoniano entre lo que el autor denomina América Central (que incluye en su parte oriental al terreno Zapoteco) y Norteamérica (en la parte correspondiente al terreno Maya). Según el mismo autor esta sutura fue cubierta

posteriormente por depósitos del Campaniano-Maestrichtiano, que a finales del Cretácico son afectados por otro episodio de deformación compresiva (Fase Laramide).

Padilla (1986) sugiere que la sutura se debe a una falla transcurrente con desplazamiento dextral que actuó desde el Triásico hasta el Titoniano, permitiendo que la Península de Yucatán se desplazara hacia el sur, ocasionando con este movimiento la apertura del Golfo de México.

Delgado (en prensa) considera que el Terreno Cuicateco es un terreno "nativo", originado por una discontinuidad en la corteza provocada por un mecanismo de subducción o un proceso de oceanización y desarrollado en la margen oriental del terreno Mixteco (Zapoteco), donde evolucionó un arco magmático y una serie de cuencas durante el Jurásico-Cretácico, las cuales fueron intensamente deformado por la orogenia del Terciario temprano.

IV. E S T R A T I G R A F I A

El área de estudio presenta una secuencia de unidades litoestratigráficas cuyas edades varían del Precámbrico al Holoceno.

El objetivo de este trabajo es el estudio e interpretación de la evolución estructural cenozoica de la Falla de Oaxaca, razón por la cual solo se realiza un estudio estratigráfico de carácter general de la región.

Se utilizan los nombres que aparecen en la literatura geológica para aquellas unidades que han sido estudiadas anteriormente y nominaciones informales nuevas para aquellas nunca antes mencionadas en trabajos publicados o de difícil correlación.

En el caso de las unidades marinas cretácicas que constituyen la cobertura del Complejo Oaxaqueño, se decidió agruparlas y describirlas brevemente como una sola unidad debido a que no existe información publicada detallada que permitiese su diferenciación.

Las unidades que constituyen al Terreno Cuicateco tampoco han sido cartografiadas ni diferenciadas con detalle. La porción de este terreno que aflora en la región estudiada está constituida principalmente por rocas metamórficas (milonitas) y se denomina informalmente como Complejo Juárez.

Las unidades cenozoicas de la región son de origen continental y se caracterizan por rápidos cambios de facies lo que aunado a la

complejidad estructural y a la ausencia de fósiles no permitió establecer un control estratigráfico preciso. Ante esta situación se optó por agrupar los sedimentos cenozoicos con base en sus características litológicas, contemporaneidad aparente y posición estratigráfica relativa. En la región de estudio en general hay cuatro conjuntos litológicos distintivos que son de la base a la cima (Figura 9): lentes de conglomerados que constituyen la base de la secuencia cenozoica y que se agrupan con el nombre de conglomerado A, una serie de depósitos lacustres que cubren a la unidad anterior, un grupo de depósitos conglomeráticos de gran espesor que sobreyacen a los depósitos lacustres y por último, varios antiguos abanicos aluviales constituidos por conglomerados que sobreyacen indistintamente a los horizontes anteriores.

A continuación se describirán brevemente las unidades litoestratigráficas que afloran en la región.

UNIDADES PRE-CENOZICAS

COMPLEJO OAXAQUEÑO

Definición: El Complejo Oaxaqueño (Figura 6) fue reconocido desde finales del siglo pasado como una unidad precámbrica (Landa y Girault, 1892; Aguilera y Ordoñez, 1893), y denominado como tal informalmente por Fries y colaboradores (1962, 1966) y Rodríguez T. (1970); está constituido por rocas metamórficas y aflora en la parte central del Estado de Oaxaca. En trabajos más recientes ha sido considerado como el basamento del terreno

tectonoestratigráfico denominado como Terreno Oaxaca por Campa y Coney (1983), designado como Dominio Zapoteco por Carfantán (1983) y redefinido por Ortega (en prensa) como Terreno Zapoteco.

Litología y distribución: En el área de estudio esta formado por una secuencia de rocas ígneas y sedimentarias metamorfoseada en general en la facies granulita (Ortega, 1981). La base está constituida por meta-anortositas y ortogneises bandeados ricos en ilmenita y granate, resultado del metamorfismo de un cuerpo anortositico-gabroico. Sobreyaciendo a este cuerpo hay una secuencia de gneises cuarzo-feldespáticos con grafito, gneises calcisilícicos, gneises pelíticos, mármoles y anfibolitas, originada por el metamorfismo de rocas sedimentarias (lutitas, areniscas, dolomías, margas y evaporitas), volcánicas (basalto y riolita) e intrusiones de granitos (Ortega, 1984).

Esta unidad aflora en el Valle de Oaxaca (entre Telixtlahuaca y la Ciudad de Oaxaca) (Foto 2), en la Sierra de Nacaltepec, al sur de Santiago Dominguillo y al SW de Los Cues.

Al SW de Telixtlahuaca aflora un gran cuerpo intrusivo de composición granítica que afecta a dicho complejo y fue fechado por Ruiz (1979) como de edad Paleozoica (270+8 m.a.).

Relaciones estratigráficas y espesor: Subyace en forma discordante a la Serie Yogana (Barrera, 1946) al norte de Magdalena Etla, a la Secuencia Marina Cretácica en el Valle de Oaxaca y en algunos sitios en la Cañada; también subyace a los diferentes depósitos cenozoicos, principalmente en la parte sur y central de los valles. El contacto entre el Complejo Oaxaqueño y el Complejo Juárez es

tectónico y formado actualmente por la Falla de Oaxaca.

Edad y correlación: Las edades obtenidas para el Complejo Oaxaqueño por métodos radiométricos varían de 900 a 1100 millones de años (Fries, et. al., 1962; Anderson y Silver, 1971; Ortega, et. al., 1977). Por su afinidad litológica y cronológica ha sido correlacionado con la Provincia Grenville del oriente de Estados Unidos de Norteamérica y Canadá (Fries et. al., 1962).

COMPLEJO JUAREZ

Definición: En el presente estudio se denomina informalmente como Complejo Juárez (Figura 6) a la franja de rocas milonitizadas que forma parte de la secuencia del Terreno Cuicateco y que aflora en la vertiente occidental de las Sierras Mazateca y de Juárez.

Litología y distribución: El Complejo Juárez esta formado por un conjunto de rocas milonitizadas (Fotos 6 y 7) cuyo protolito probablemente estuvo constituido por intrusivos de composición gabroide-diorítica, unidades volcánico-sedimentarias y cantidades sustanciales de los gneises anortositicos del Complejo Oaxaqueño (Ortega, 1987; Delgado, en prensa). Esta unidad aflora en el bloque oriental de la falla, entre el poblado de Calipam y la Ciudad de Oaxaca.

Relaciones estratigráficas y espesor: El Complejo Juárez está en contacto por falla (Falla de Oaxaca) con el Complejo Oaxaqueño, la Secuencia Marina Cretácica, las formaciones Tehuacán y Suchilquitongo, los Depósitos Lacustres A y B y el Conglomerado Cuicatlán; en algunas partes subyace discordantemente a los

Conglomerados Teotitlán y Pueblo Viejo. Se desconoce su espesor.

Edad y Correlación: La edad del Complejo Juárez aún se desconoce.

SERIE YOGANA

Definición: Barrera (1946) denominó informalmente como Serie Yogana (Figura 6) a los depósitos conglomeráticos de origen continental que afloran al norte del Valle de Oaxaca.

Litología y distribución: Esta constituida por una alternancia de areniscas y conglomerados de color rojo. Las areniscas son principalmente arcosas, están formadas en un 60% por granos de feldespatos y en un 40% por clastos de cuarzo (Wilson y Clabaugh, 1970). Los conglomerados están compuestos por clastos del Complejo Oaxaqueño. Aflora al norte de Magdalena Etla y en la parte central de la Sierra de Nacaltepec.

Relaciones estratigráficas y espesor: Descansa discordantemente sobre el Complejo Oaxaqueño y subyace también en forma discordante a la Secuencia Marina Cretácica y a la Formación Suchilquitongo; al norte de Magdalena Etla está en contacto por falla con la Formación Suchilquitongo. Al este de Huitzo se observó un espesor máximo de 100 m.

Edad y Correlación: Aparentemente hay continuidad física entre esta unidad y la base de la unidad que aflora en el área de Santa María Tejotepec descrita por Torres y Torre (1987), dicha secuencia está constituida por conglomerados en la parte basal los cuales están en contacto transicional con depósitos clásticos marinos fechados paleontológicamente por dichos autores como del Jurásico Tardío. Se

requiere de más información para poder establecer su correlación.

SECUENCIA MARINA CRETACICA

Definición: Se denomina informalmente como Secuencia Marina Cretácica (Figura 6) a las unidades sedimentarias de origen marino que cubren al Complejo Oaxaqueño en la región estudiada, constituidas principalmente por calizas, limolitas calcáreas, areniscas y conglomerados.

Litología y distribución: Esta formada principalmente por calizas de color gris con estratificación delgada a media, en algunas zonas con nódulos y lentes de pedernal; en algunos sitios las calizas están intercaladas con paquetes de areniscas y lutitas calcáreas de color café. En la Sierra de Nacaltepec aflora una secuencia de lutitas y areniscas interestratificadas con gruesos horizontes de conglomerados constituidos principalmente por cantos de calizas y algunos clastos de gneises. Estas unidades afloran en sitios aislados del Valle de Oaxaca, en la Sierra de Nacaltepec y a lo largo de todo el bloque que delimita hacia el poniente al Valle de Tehuacán y la región de La Cañada (Sierras de la Mixteca, fotos 4 y 7).

Relaciones estratigráficas y espesor: En la región de estudio sobreyace en forma discordante al Complejo Oaxaqueño y a la Formación Yogana y subyace en forma discordante y/o en contacto por falla al Conglomerado A, a las unidades lacustres y al Conglomerado Cuicatlán. Subyace en forma discordante, por contacto erosional a el Conglomerado Pueblo Viejo. Está en contacto por falla con el

Complejo Juárez. Se desconoce el espesor de esta unidad.

Edad y Correlación: Según los estudios paleontológicos realizados en la región de Nochistlán y en las proximidades del Valle de Oaxaca, la secuencia marina aparentemente abarca del Cretácico Temprano (Alencaster, et. al., 1984) al Cretácico Tardío (Wilson y Clabaugh, 1970).

FORMACION CHIVILLAS

Definición: Carrasco (1978) describe a una secuencia marina que contiene derrames de composición básica-intermedia que aflora al oriente de la Ciudad de Tehuacán bajo el nombre de Formación Chivillas (se desconoce cual es el basamento de esta unidad, por lo cual no se incluye en la figura 6).

Litología y distribución: Está constituida por una secuencia de calizas, limolitas calcáreas, conglomerados (Foto 8) y derrames basáltico-andesíticos (lavas almohadilladas). En el camino a Corral Macho, al norte de Calipam, hay un intrusivo de composición intermedia-básica de grandes dimensiones que probablemente forma parte de la misma unidad. La Formación Chivillas aflora al este del Valle de Tehuacan, entre Calipam y Tehuacan, en el bloque oriental de la falla.

Relaciones estratigráficas y espesor: Se desconoce cual es su relación con la Secuencia Marina Mesozoica (aparentemente subyace a esta en forma discordante) y con el Complejo Juárez. Subyace en forma discordante o por falla a la Formación Tehuacán y al Conglomerado Cuicatlan y en discordancia erosional al Conglomerado

Teotitlán.

Edad y Correlación: Carrasco le asigna una edad del Cretácico Temprano con base en su contenido fósil.

UNIDADES CENOZICAS

CONGLOMERADO A

Definición: En este trabajo se denomina informalmente como Conglomerado A al conjunto de depósitos continentales conglomeráticos ubicados en la base de la columna estratigráfica cenozoica, los cuales forman un cinturón alargado que aflora exclusivamente en la parte occidental de la Cañada, donde están afectados por las fallas antitéticas asociadas a la Falla de Oaxaca y en el Valle de Oaxaca donde en partes constituye la base de la Formación Suchilquitongo.

Litología y distribución: Esta formado por una secuencia de conglomerados masivos o con estratificación burda, bien compactados, constituidos principalmente por cantos de calizas, de redondeados a subangulosos, mal clasificados, con matriz calcarea de color crema, en partes de color rojo (Figura 7). Aflora esporádicamente en la parte occidental del Valle de Tenuacán y de La Cañada (ver Secciones 6, 7 y 8 del mapa geológico parte 2, norte); así como al oeste de la Cañada Chica en Jayacatlán (Foto 7) y al norte y oriente de San Juan del Estado en el Valle de Oaxaca (ver Secciones 2 y 3 del mapa geológico parte 1, sur).

Relaciones estratigráficas y espesor: Esta unidad sobreyace

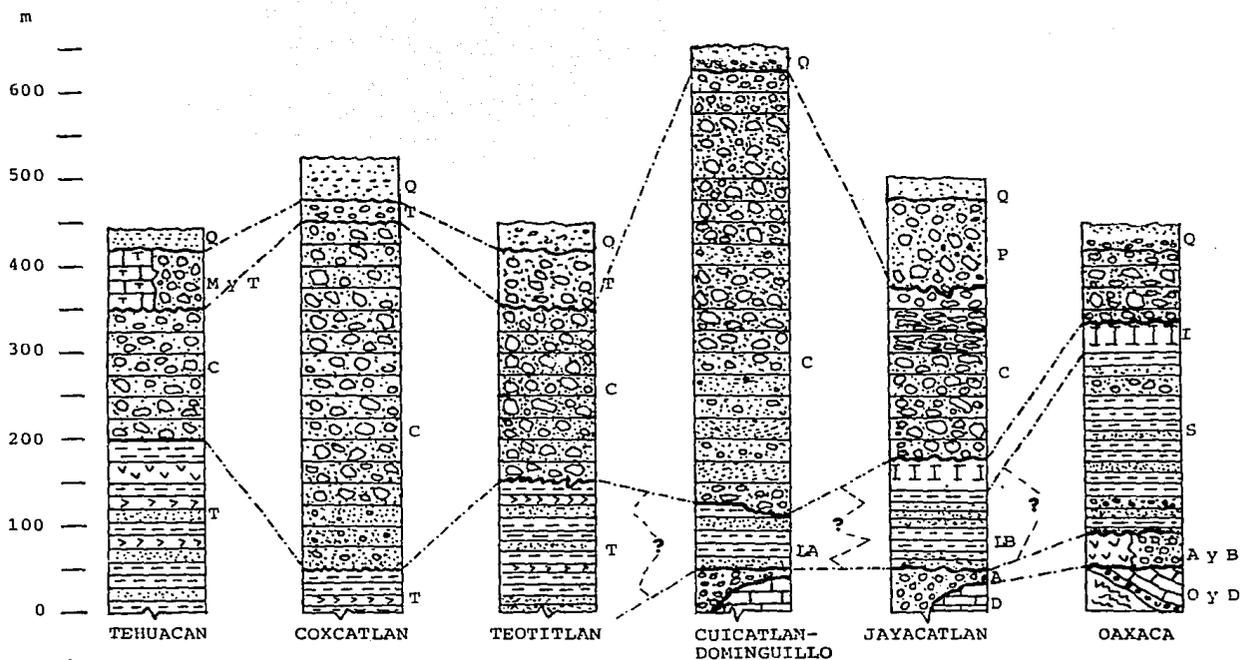


Figura 7. Columnas estratigráficas de las unidades cenozoicas que afloran por regiones, en el bloque hundido. O. Complejo Oaxaqueño, D. Formación Yoqana; S. Secuencia Marina Cretácica, A. Conglomerado A., B. Derrames Andesíticos y Basálticos, T. Formación Tehuacán, LA. Depósitos Lacustres A., LB. Depósitos Lacustres B., S. Formación Suchilquitongo, I. Miembro Etna, C. Conglomerado Cuicatlán, M. Formación Cerro de La Mesa, T. Conglomerado Teotitlán, P. Conglomerado Pueblo Viego, Q. Depósitos aluviales recientes.

discordantemente a la Secuencia Marina Cretácica y subyace en contacto erosional y/o por falla a los depósitos lacustres en la margen occidental de la parte central de La Cañada; al sur de Santiago Dominguillo, en el extremo norte de la Falla Nacaltepec subyace en contacto por falla y/o en discordancia erosional al Conglomerado Cuicatlan (Barrera, 1946) y en discordancia erosional al Conglomerado Zoquiapan. Por su origen aluvial presenta espesores muy variables, el máximo observado es de 50 m en la parte central de la Cañada (Figura 7).

Edad y correlación: Se desconoce la edad de esta secuencia, debido a que no contiene fósiles, por su posición estratigráfica se infiere que es de edad pre-Mioceno Medio y post-Cretácico Tardío, por lo cual no es posible establecer correlaciones.

UNIDADES LACUSTRES

Este conjunto litológico aflora a lo largo de la parte central de la cuenca, desde Tehuacán hasta Jayacatlán y en el Valle de Oaxaca.

En el límite occidental del Valle de Tehuacán fueron bautizados por Calderon (1956) como Formación Tehuacán, posteriormente Brunet (1967) extiende dicha unidad hasta la región de Teotitlán. En las inmediaciones de Los Cues esta unidad aparentemente ha sido erosionada y presenta algunas variaciones litológicas, por tal razón se prefirió denominarlos como Depósitos Lacustres A a partir de Los Cues.

Al sur de Santiago Dominguillo nuevamente desaparecen los

afloramientos de dicha unidad y vuelven a presentarse entre las poblaciones de Zoquiapan Boca de los Rios y Jayacatlán donde son coronados por un derrame de ignimbritas, en dicha región se denominan informalmente como Depósitos Lacustres B.

En el Valle de Oaxaca aflora también una secuencia lacustre coronada por un derrame de ignimbritas, esta unidad fue descrita por Wilson y Clabaugh (1970) como Formación Suchilquitongo.

Entre los Depósitos Lacustres B y la Formación Suchilquitongo se interpone un horst constituido por las unidades pre-cenozoicas que fue originado por la actividad de la Falla de Oaxaca. Se sospecha que antes del fallamiento había continuidad entre dichos depósitos, ya que ambos están coronados por un derrame de ignimbritas y presentan semejanzas litológicas; en cuanto a su contenido fósil, se han reportado vertebrados de edad Mioceno medio en la Formación Suchilquitongo (Wilson y Clabaugh, 1970) y se encontraron granos de polen en los Depósitos Lacustres B cuyos géneros son muy abundantes en el sur de México desde el Mioceno hasta la actualidad (Martínez, comunicación personal). Sin embargo se prefirió describirlas por separado.

Tomando en consideración la evolución tectónica regional y la edad de las cuencas terciarias vecinas en este trabajo se considera la posibilidad de que la edad de estos sedimentos fluctúe entre el Mioceno y el Pleistoceno.

FORMACION TEHUACAN

Definición: Aguilera (1906) denomina como Formación Tehuacán

(Figura 7) a la unidad de limolitas y areniscas que aflora en la región del mismo nombre y la consideró de edad cretácica. Calderón (1956) la describe como una secuencia de calizas, conglomerados, limolitas y capas de yeso y le asigna tentativamente una edad Eoceno-Oligoceno por su posición estratigráfica.

Litología y localización: Esta constituida por una alternancia de limolitas tobáceas con estratificación fina a laminar, calizas travertinosas y areniscas de grano fino en estratos delgados (5-15 cm), de color café claro, con algunos horizontes de poco espesor (5-10 cm) de yeso fibroso; dichos horizontes de yeso tienen mayor espesor en Calipam (hasta 50 cm). En la población de Atzingo, Puebla, hay un derrame de composición basáltica intercalado en la cima de la secuencia. Aflora principalmente al occidente y en la parte central del Valle de Tehuacán, hasta la población de Los Cues.

Relaciones estratigráficas y espesor: La base de esta unidad aflora en la carretera entre Tehuacán y Zapotitlán, donde descansa discordantemente sobre la Secuencia Marina Cretácica y en algunos sitios en la base de la sierra que limita el valle al occidente, donde descansa en discordancia erosional y/o por falla sobre la unidad Conglomerado A. Subyace en forma discordante a las calizas travertinosas de la Formación Cerro de la Mesa (Brunet, 1967) en la parte central del Valle de Tehuacán y al Conglomerado C y aparentemente en forma concordante al Conglomerado Cuicatlán en la parte noroccidental del mismo valle. Calderón (1956) reporta espesores de 225 m, pero cree que este espesor pueda ser mucho

mayor en otras localidades.

Edad y Correlación: Calderón (1956) le asigna una edad Eoceno-Oligoceno por su posición estratigráfica. Brunet (1967) la relaciona con los depósitos rojos de Guanajuato, atribuyéndoles una edad también Eoceno-Oligoceno. En este trabajo se sugiere la posibilidad de que la actividad tectónica que originó la depresión donde se depositaron los sedimentos de la Formación Suchilquitongo durante el Mioceno medio, haya sido aproximadamente contemporánea a la que ocasionó el depósito de la Formación Tehuacán y por lo tanto, puede considerarse Mioceno-Pleistoceno como rango probable de edad.

DEPOSITOS LACUSTRES A

Definición: En este trabajo se denominó informalmente como Depósitos Lacustres A a la unidad de origen continental constituida por limolitas, areniscas y lentes de conglomerado que afloran en la Región de La Cañada, desde Los Cues hasta Santiago Domonguillo.

Litología y localización: en esta unidad predominan los estratos de limolitas arenosas y areniscas de grano fino, que están intercalados con limolitas tobáceas y algunas vetillas de yeso en las inmediaciones de Quiotepec donde también presenta huellas de desecación. La estratificación es variable, de delgada (10 a 20 cm) en la parte inferior de la secuencia hasta paquetes de 1m de espesor o más en la parte superior. Presenta muchos cambios en el tamaño del grano, tanto lateral como verticalmente, hacia la cima aumenta el porcentaje de areniscas y presenta en algunas partes

estratificación cruzada además hay intercalación de lentes de conglomerados de clastos pequeños. El color es muy variable principalmente se presentan el amarillo, verde pistache, café claro, rojo o rojo violáceo. Entre Cuicatlán y Quiotepec hay en la parte superior de la secuencia un paquete de areniscas verdes aparentemente con alto contenido de selenita; Viniegra (1965) reporta bancos de 2 m de potencia, donde el mineral está completamente cristalizado que no se observaron en el trabajo de campo. Aflora exclusivamente en la Región de La Cañada, desde Santa María Tecomavaca hasta Santiago Dominguillo.

Relaciones estratigráficas y espesor: La base aflora únicamente en el límite occidental del valle, donde sobreyace en forma discordante y/o por falla al Conglomerado A. En Quiotepec subyace en forma concordante al Conglomerado Cuicatlán, en el contacto entre ambas unidades hay un horizonte de calizas travertinosas de poco espesor (1 m); en cambio al sur, cerca de Santiago Dominguillo dicho contacto parece ser discordante.

Aparentemente el espesor es variable, el máximo observado en la parte central de La Cañada es de aproximadamente 500 m.

Edad y Correlación: Se colectaron muestras de estos sedimentos para estudios palinológicos y resultaron negativas (E. Martínez, comunicación personal); presentan moldes de tallos y escasos icnofósiles indeterminables. Se desconoce la edad de esta unidad, por sus similitudes litológicas se considera como rango probable Mioceno-Pleistoceno.

DEPOSITOS LACUSTRES B.

Definición: Se denomina informalmente como Depósitos Lacustres B (Figura 7), a la unidad de origen continental lacustre que aflora en la Cañada Chica, formada por limolitas, areniscas, algunos lentes de conglomerados y un derrame de ignimbritas.

Litología y localización: Está constituida principalmente por limolitas y limolitas tobáceas con estratificación fina a laminar, intercaladas con estratos delgados a medios de areniscas líticas, presenta algunos lentes de gravas y conglomerados con cantos pequeños constituidos por clastos de calizas, rocas metamórficas y rocas volcánicas de composición basáltica y andesítica. En la parte sur es de color blanco, al norte toma una coloración amarillenta y en partes es roja. Al norte de Atatlauca aumenta el tamaño del grano y predominan las areniscas de estratificación media, intercaladas con horizontes delgados de lodolitas, el color de la unidad en esta región es de rojo claro a rojo violáceo. En las inmediaciones de Atatlauca está coronada por un derrame ignimbrítico de color verde pistache y composición similar a la ignimbrita del Miembro Etla (Wilson y Clabaugh, 1970) del Valle de Oaxaca. Aflora a lo largo de la Cañada Chica, entre San Juan Bautista Jayacatlán y Zoquiapan Boca de los Ríos.

Relaciones estratigráficas y espesor: Descansa discordantemente sobre la unidad de Conglomerados A al occidente del poblado de Jayacatlán. Subyace en forma discordante tanto al Conglomerado Cuicatlán y Conglomerado C, como a cuerpos conglomeráticos locales recientes de diferentes composiciones; está en contacto por falla

con el Complejo Juárez y la Secuencia Marina Cretácica, al sur de Jayacatlán esta en contacto por falla con un intrusivo afanítico de composición basáltica. Esta secuencia se encuentra intensamente deformada por lo cual no fue posible determinar su espesor real, el máximo apreciado es de 100 m.

Edad y Correlación: Se colectaron muestras de esta unidad para estudios palinológicos y resultaron positivas. Los géneros identificados por Dr. Enrique Martínez son: Pinus, Quercus, Lycopodium, Alnus, Heliocarpus y Compositae; estos géneros se encuentran ampliamente distribuidos en el sur de México desde el Mioceno hasta la actualidad (E. Martínez com. pers.).

Graham (1972) reporta la existencia de Lycopodium, Pinus, Alnus y Quercus del Mioceno en el Istmo de Tehuantepec.

Tomando en consideración la probabilidad de que el evento magmático que originó el derrame de ignimbrita del Miembro Etla halla sido contemporáneo al que originó el derrame de ignimbrita de Atlatlauca, puede sugerirse una edad probablemente miocénica para los Depósitos Lacustres B.

FORMACION SUCHILQUITONGO

Definición: Wilson y Clabaugh (1970) denominaron como Formación Suchilquitongo (Figura 7) a una secuencia de limolitas y areniscas tobáceas, conglomerados y un derrame de ignimbritas, que afloran en la parte norte del Valle de Oaxaca.

Litología y localización: Esta constituida principalmente por limolitas tobáceas de color blanco, de estratificación delgada, con

algunos lentes y horizontes de pedernal de color café, los cuales son más abundantes en la parte inferior de la secuencia. Las limolitas están interestratificadas con areniscas de grano fino a grueso, de color crema, en estratos que varían de 10 a 80 cm de espesor y en ocasiones presentan estratificación cruzada. En la parte superior de la secuencia, hay un derrame de ignimbrita de color verde pistache que forma mesas inclinadas denominado Miembro Etna de la Formación Suchilquitongo (Wilson y Clabaugh, 1970). Al poniente de Huitzo y norte de Magdalena Etna, encima del Miembro Etna hay algunos paquetes gruesos de conglomerados poligmiticos, mal clasificados, de matriz arenosa de color café claro o rojo claro. Al oriente de San Juan del Estado aumenta el espesor de este paquete de conglomerados hasta 20 m aproximadamente.

Esta formación aflora principalmente en la parte norte del Valle de Oaxaca, en la región comprendida entre las poblaciones de Telixtlahuaca, Suchilquitongo, Magdalena Etna y San Juan del Estado.

Relaciones estratigráficas y espesor: Descansa indistintamente y en forma discordante sobre conglomerados y derrames de composición andesítico-basáltica del Terciario temprano o gneises del Complejo Oaxaqueño y está en contacto por falla con la Formación Yogana y la unidad de milonitas del Complejo Juárez. Al norte y occidente de San Juan del Estado se observó un paquete de conglomerados constituido principalmente por cantos del Complejo Juárez que subyace discordantemente a dicha formación (Conglomerado A). La Formación Suchilquitongo subyace en forma discordante a cuerpos

locales de conglomerados y aluviones del Plio-Cuaternario. La sección tipo descrita por Wilson y Clabaugh tiene 275 m de espesor.

Edad y correlación: La edad de esta formación fue determinada con base en los restos de vertebrados fósiles que contiene, los cuales pertenecen al Mioceno medio (Wilson y Clabaugh, 1970).

CONGLOMERADO CUICATLAN

Definición: Barrera (1946) denomina informalmente como Conglomerado Cuicatlan a la secuencia de conglomerados y areniscas de color rojo que aflora al oriente de la población de Cuicatlan, Oaxaca (Figura 7).

En el presente estudio se decidió agrupar bajo este nombre a los diferentes cuerpos conglomeráticos, genéticamente relacionados entre sí, tal vez interdigitados, que sobreyacen a las unidades de depósitos lacustres y se distribuyen exclusivamente en la margen occidental del Valle de Tehuacan y la región de La Cañada, en la base del frente montañoso de las Sierras de Zongolica, Mazateca y de Juárez.

Litología y distribución: Presenta muchos cambios en la litología y en la granulometría tanto vertical como horizontalmente; a continuación se describen en forma general sus diferentes litologías y donde se localizan.

En el Valle de Tehuacan esta constituida por conglomerados de clastos angulosos a subredondeados, mal clasificados; formados principalmente por clastos de la Formación Chivillas y de la

Secuencia Marina Cretácica en la parte norte (Cerro Cuarteles; Foto 17) y por cantos de las rocas del Complejo Juárez a partir de el Cerro Cordon Tecachil (Foto 18) en Calipam hacia el sur. La estratificación es de media a gruesa, en ocasiones se presenta en paquetes de 2 metros de espesor, burdamente estratificados. La matriz es arenosa y de color rojo claro. Contiene algunos escasos estratos de arenisca (litarenita).

En la región de Cuicatlán dicha unidad está formada en la base principalmente por areniscas (litarenitas) de grano fino a grueso de cuarzo y líticos, con matriz pobre, de composición arcillosa y de color rojo; presenta una estratificación variable de 20 a 70 cm, en algunas partes hay estratificación cruzada. También contiene escasos lentes de conglomerados de clastos pequeños a medianos y algunos estratos delgados de limolitas de color rojo que contienen impresiones de restos vegetales (troncos y raíces). Conforme se asciende estratigráficamente aumentan los paquetes de conglomerados con estratificación gruesa (80 cm o más), mal clasificados, con clastos angulosos de tamaño variable entre 10 y 60 cm, formados exclusivamente por rocas metamórficas y cuarzo procedentes del Complejo Juárez; la matriz es arenosa, de color rojo. En la cima de la unidad aumenta el tamaño de los cantos, aunque son escasos los de gran tamaño, algunos llegan a medir más de 1 m de diámetro (Fotos 19 y 20). Al sur de Cuicatlan disminuye la cantidad de areniscas y se hace totalmente conglomerática entre Santiago Domingullo y Inquiapan Boca de los Rios, donde los cantos estan tambien compuestos principalmente por rocas del Complejo Juárez y

muy escasos cantos de la Secuencia Marina Cretacica y del Conglomerado A.

Junto al plano de falla al oriente de Zoquiapan se observó que cambia a una brecha con matriz muy escasa formada por clastos del Complejo Juárez y algunos de una arenisca de color violeta de origen indeterminado.

Al sur de la Cañada Chica, entre Atatlauca y San Juan Bautista Jayacatlán está constituido por conglomerados bien consolidados, de matriz arenosa y clastos mal clasificados, redondeados a subredondeados compuestos por gneises del Complejo Oaxaqueño, milonitas del Complejo Juárez, cantos de composición variable (calizas, areniscas, limolitas, pedernal, etc) de la Secuencia Marina Cretacica, toba andesítica de color violeta, basaltos y cuarzo. Burdamente estratificado, en capas de espesor variable de centímetros a metros, con algunos horizontes lenticulares de arenisca de grano grueso (Fotos 21, 22 y 23). En general es de color café claro, en partes presenta una coloración rojiza (Foto 14).

El Conglomerado Cuicatlan forma un cinturón angosto en la base de las Sierras de Zongolica, Mazateca y de Juárez, limitado exclusivamente al flanco oriental de La Cañada (ver de la Sección 5 a la 10), desde la población de Tehuacán hasta Santiago Domingullo. En la Cañada Chica se presenta en ambas márgenes del valle (ver Sección 4).

En este trabajo, por su gran espesor, el Conglomerado Cuicatlan se interpreta como depositos de abanicos aluviales contemporáneos a

la actividad de la Falla de Oaxaca.

Relaciones estratigráficas y espesor: Aparentemente sobreyace en forma discordante a la Formación Tehuacán y a una parte de los Depositos Lacustres A, en la región de Quirotepec dicho contacto parece ser concordante. En la región de la Cañada Chica sobreyace en discordancia angular o por contacto erosional a los Depositos Lacustres B y en algunos sitios aislados a la Secuencia Marina Cretácica. Al oriente está en contacto por falla con el Complejo Juárez y en la Cañada Chica está en contacto por falla también con la Secuencia Marina Cretácica.

En Teotitlán está cubierto discordantemente por contacto erosional por el Conglomerado Teotitlán y en la Cañada Chica por el Conglomerado Pueblo Viejo.

Se desconoce su espesor total ya que la cima está erosionada, el máximo observado es de 400 m al norte de Calipam (Foto 18), de aproximadamente 500 m en Cuicatlán (Fotos 19 y 20) y en la Cañada Chica es de 200 m (Fotos 14 y 23) (Figura 7).

Edad y correlación: Por sus características fue prácticamente imposible determinar la edad de esta unidad, por su posición estratigráfica es probable que sea de edad neogenica.

FORMACION CERRO DE LA MESA

Definición: Brunet (1967) nombró como Formación Cerro de la Mesa a una serie de terrazas de calizas lacustres que aflora en la margen occidental del Valle de Tehuacán (Figura 7).

Litología y distribución: Esta constituida por calizas

travertinosas porosas (incrustantes), de color crema, masiva o con una burda estratificación de más o menos 1m de espesor; en general presentan una estructura concentrica y contienen impresiones de tallos y restos vegetales indeterminables. Forma terrazas que afloran exclusivamente en el lado occidental del valle, desde San Gabriel Chilac hasta unos 3 km al NW de Tehuacán

Relaciones estratigráficas y espesor: Descansa discordantemente sobre los depositos lacustres de la Formación Tehuacán y subyace en forma concordante a depósitos recientes (suelo y aluviones) de poco espesor. El espesor es variable, el máximo observado en la Colonia El Riego al oriente de Tehuacán es de 50 m.

Edad y Correlación: No se encontraron fósiles con posibilidades de fechamiento, por su posición estratigráfica se infiere que es de edad Plio-Cuaternaria. No fue posible determinar con que unidades se correlaciona localmente, tal vez con parte del Conglomerado Teotitlán. Regionalmente es probable que se correlacione con la Formación Cuernavaca y la Formación Chilapa; también con algunas otras unidades de calizas travertinosas que afloran en la parte central del Estado de Puebla, a lo largo de la carretera Puebla-Tehuacán.

CONGLOMERADO TEOTITLÁN

Definición: Se denomina informalmente en este estudio como Conglomerado Teotitlán a la unidad de conglomerados poco compactados que afloran en la región del mismo nombre (Figura 7).

Litología y distribución: Está formada por una secuencia de

conglomerados poco compactados, masivos o con estratificación burda, con cantos poligenéticos y con matriz arenosa de color gris claro o rojo claro. Aparentemente son abanicos aluviales antiguos; aflora principalmente en la margen oriental del valle, entre Tehuacán y Teotitlán (Foto 24).

Relaciones estratigráficas y espesor: Cubre discordantemente y en contacto erosional a los Depósitos Lacustres, Conglomerado Cuicatlán, al Complejo Juárez y a la Formación Chivillas (ver Sección 8). Esta unidad, aunque presenta algunas pequeñas fallas de poco desplazamiento, cubre en algunas zonas al plano principal de la Falla de Oaxaca sin evidencias de movimiento. Se desconoce el espesor total de esta secuencia, el máximo observado en las inmediaciones de Teotitlán es de 10 m.

Edad y Correlación: Se desconoce la edad de esta secuencia, por su posición estratigráfica es probable que sea de edad plio-cuaternaria.

CONGLOMERADO PUEBLO VIEJO

Definición: En el presente trabajo se nombró informalmente como Conglomerado Pueblo Viejo a la unidad de conglomerados poco compactados que afloran en la Región de la Cañada Chica. (Figura 7).

Litología y distribución: Esta constituido por conglomerados poco compactados, de masivos a burdamente estratificados y con cantos poligenéticos (Foto 25), mal clasificados, de redondeados a subredondeados, con matriz arenosa y de color gris claro-crema. Presenta algunas pequeñas fallas de poco desplazamiento (Foto 25),

no esta en contacto con el plano de falla principal de Oaxaca, por lo que es indeterminable su relación con la actividad de dicha falla. Aflora en las inmediaciones de San Juan Bautista Jayacatlán y en una pequeña zona en el camino entre Jayacatlán y San Juan del Estado.

Relaciones estratigráficas y espesor: Sobreyace indistintamente, en forma discordante, a todas las unidades más antiguas que afloran en la zona subyace a las unidades de suelo que varían localmente. Tiene un espesor muy variable, el máximo observado es de aproximadamente 50 m (Figura 7).

Edad y correlación: Se desconoce la edad de esta unidad, por su posición estratigráfica se infiere que probablemente sea plio-cuaternaria. Localmente puede ser correlacionable con el Conglomerado Teotitlán y la Formación Cerro de la Mesa.

DERRAMES E INTRUSIVOS TERCIARIOS

Los cuerpos igneos terciarios más importantes son tanto de composición básica como intermedia y de textura afanítica. Forman lacolitos y diques que afectan a la Secuencia Marina Cretácica, al Complejo Oaxaqueño y según Delgado (1988) también al Complejo Juárez; también se encuentran algunos derrames de poca dimensión. La mayoría de estos cuerpos esta distribuida a lo largo de la traza principal de la Falla de Oaxaca o cerca de las fallas antitéticas (Figura 8) y estan afectados por dicho fallamiento (Foto 26).

Este magmatismo se encuentra ampliamente distribuido en todo el sur de México, por esto no es posible relacionarlo directamente a

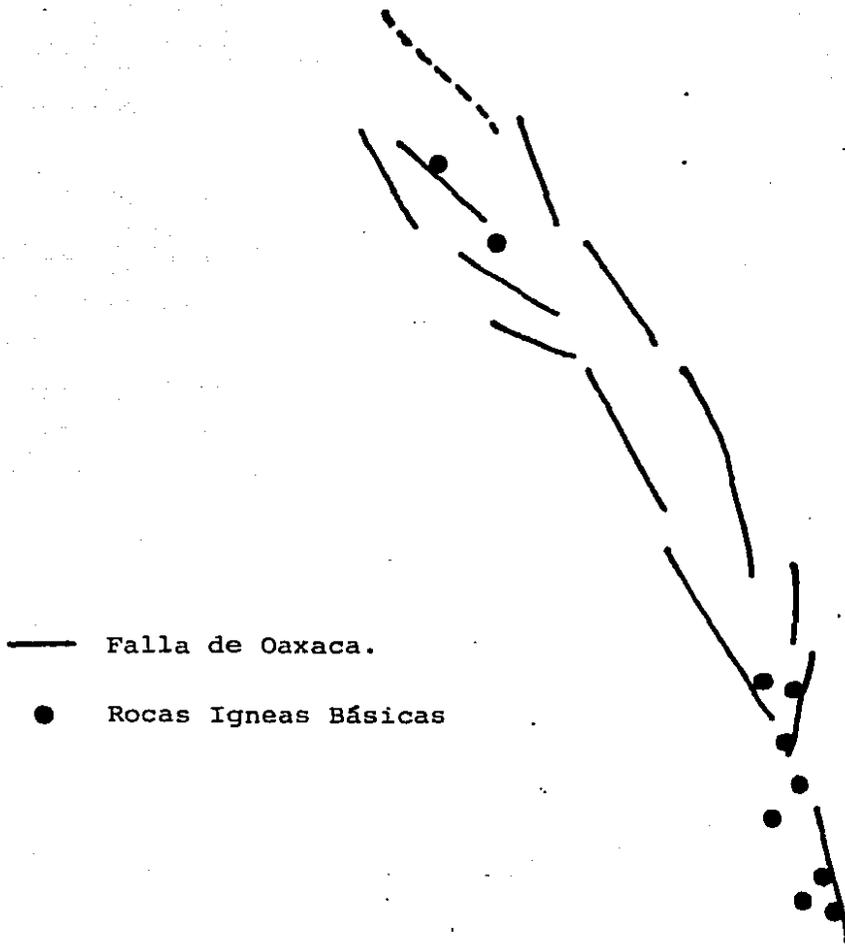


Figura 8. Distribución de los afloramientos de rocas ígneas de composición basáltica y andesítica a lo largo de la Falla de Oaxaca.

la actividad de la Falla de Oaxaca, aunque es probable que dichas intrusiones aprovecharan las debilidades corticales causadas por ella para ascender. El estudio petrográfico de una lámina delgada del cuerpo hipabisal basáltico que aflora al sur de San Juan Bautista Jayacatlán, indica que aparentemente es alcalino, ya que presenta augita y olivino y no hay hiperstena; sin embargo es recomendable realizar en el futuro, análisis químicos y petrográficos de dichos cuerpos con el fin de establecer su afinidad química.

Algunos de estos cuerpos se encuentran en la base de los depósitos lacustres y otros están intercalados con dicha secuencia. En la región de La Cañada Chica el Conglomerado Pueblo Viejo tiene abundantes cantos de roca ígnea básica, por lo cual se infiere que probablemente tengan una edad variable, desde premiocénica a miocénica.

El derrame ignimbrítico que aflora en el valle de Oaxaca se describió junto con la Formación Suchilquitongo.

DEPOSITOS CUATERNARIOS

En el Valle de Tehuacán hay una unidad de arcillas de color gris claro que contienen fósiles como Parelephas columbi Falconer y Parelephas columbi var. felicis Freudenberg de edad holocénica (Brunet, 1967).

Sobreyacen discordantemente a las unidades terciarias, están en posición horizontal y no fueron afectados por el fallamiento regional.

V. G E O L O G I A E S T R U C T U R A L

ESTRUCTURAS PRE-FALLA DE OAXACA.

La Falla de Oaxaca delimita dos regiones con características estructurales pre-actividad de la falla diferentes.

Al occidente de la falla (bloque hundido) el Complejo Oaxaqueño está afectado por pliegues con direcciones N32*W a N45*W y buzamientos moderados de 0* a 35* al noroeste (Kesler y Heath, 1970) según dichos autores estas estructuras fueron originadas antes de la deformación de principios del Cenozoico. En los sitios donde aflora el contacto de dicho complejo con la secuencia sedimentaria en la región estudiada no se observaron evidencias de desprendimiento de la cobertura.

Regionalmente la secuencia sedimentaria que cubre a dicho complejo está afectada por la deformación ocurrida a principios del Cenozoico, y forma en general pliegues abiertos con dirección de NW-SE a N-S (Calderón, 1956; Morán, 1987). Los horizontes de limolitas y areniscas presentan un plegamiento disarmonico formando pliegues tipo chevron con la misma vergencia y con ligero buzamiento al NW; se observaron algunos pliegues cerrados y escasas cabalgaduras de poco corrimiento y con el plano de falla inclinado hacia el occidente.

En la región estudiada se recopilaron algunos datos estructurales de las unidades pre-cenozoicas, la orientación de las capas es algo dispersa, aunque en el diagrama de frecuencia se observa algunas concentraciones de datos con orientación N10*W:

20*SW, N5*E; 60*NW y N25*E; 20SE (Figura 10).

Las rocas que afloran en el lado oriental de la Falla de Oaxaca (bloque levantado) están afectadas principalmente por una deformación dúctil de edad aún no determinada con precisión, para Delgado (en prensa) esta deformación fue originada por la fase de deformación del Cenozoico Temprano. Es fácil diferenciar las estructuras ocasionadas por dicha deformación (foliación, pliegues de flujo, pliegues ptigmáticos y pliegues de flujo poliarmonicos) de las estructuras producidas por deformación quebradiza (fallas laterales y normales), las cuales presentan cierto paralelismo, lo que hace probable que estén relacionadas con la actividad de la Falla de Oaxaca. Aunque no se realizó un análisis estructural detallado de las estructuras pre-cenozoicas del Complejo Juárez, puede decirse que las escasas orientaciones de la foliación recopiladas en la zona estudiada en general son dispersas; presenta una orientación ligeramente preferencial N-S; 20* W y N10*W; 15*NE (Figura 9) similar a la orientación de las estructuras del bloque occidental. Los micropliegues observados tienen una dirección NW-SE con vergencia al NE. En algunos sitios la foliación está relacionada con pliegues abiertos con plano axial vertical o poco inclinado con la misma dirección.

Regionalmente, el Terreno Cuicateco está constituido por un cinturón de cabalgaduras con una orientación N20*W y vergencia hacia el este (Delgado, en prensa), la edad mínima en el límite oriental de dicho cinturón es eocénica (Mossman y Viniegra, 1976), los mismos autores mencionan la existencia de pliegues en las

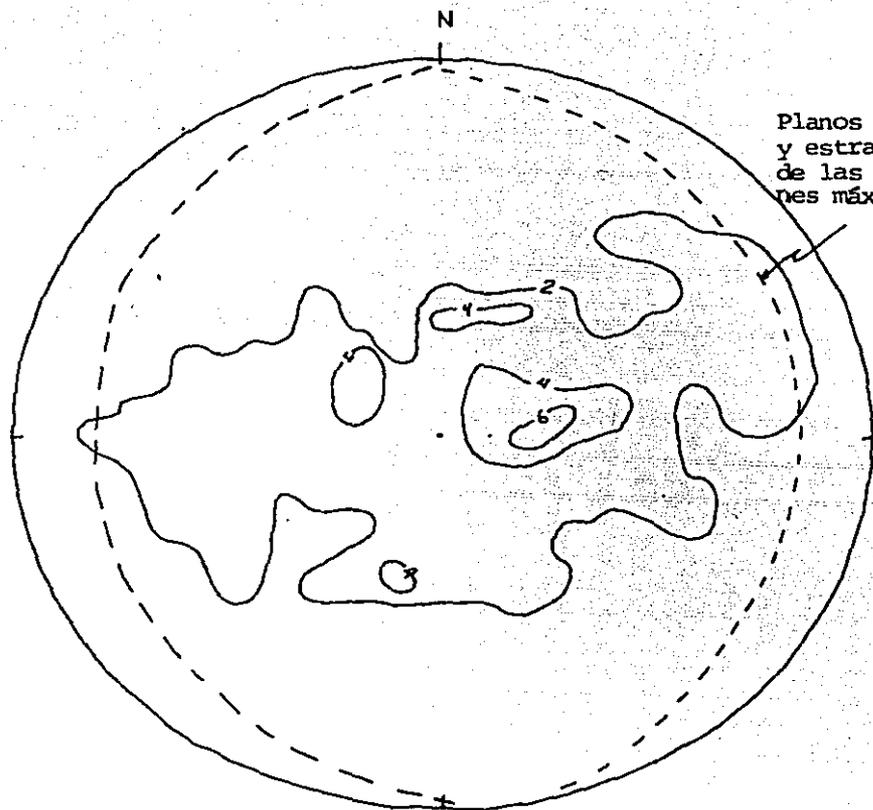


Figura 9. Diagrama de frecuencia de polos de los planos de foliación del Complejo Juárez en el bloque levantado (n=97).

Planos de foliación y estratificación de las concentraciones máximas.

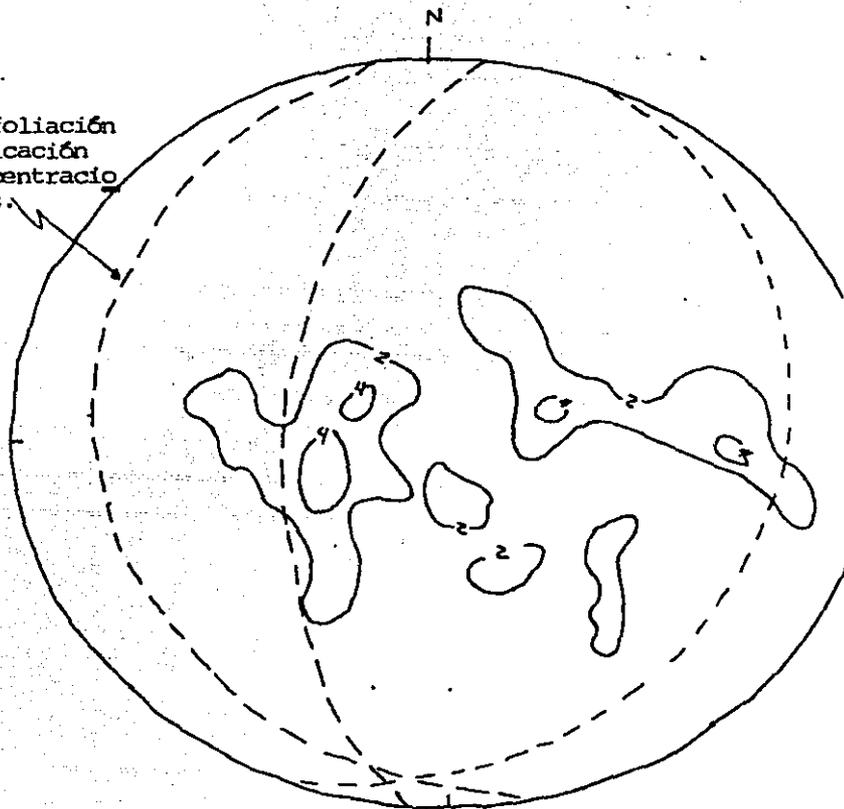


Figura 10. Diagrama de frecuencia de polos de los planos de estratificación de la secuencia mesozoica del bloque hundido (n=61).

unidades conglomeráticas de edad oligocénica.

SECTORES DE LA FALLA DE OAXACA Y ESTRUCTURAS ASOCIADAS.

Como se menciona en la definición la Falla de Oaxaca es una estructura discontinua, constituida por varios segmentos. A continuación se describe la zona de falla localizada en la base de las Sierras y las estructuras observadas en los depósitos cenozoicos.

La orientación de la estratificación de los depósitos terciarios que rellenan el valle presenta en conjunto dos concentraciones con una dirección preferencial aproximadamente norte-sur e inclinación entre 15° y 20° al NE y la menor con rumbo N50°E e inclinación de 24° al NW, como puede observarse en el diagrama de densidad de polos (Figuras 11a y 11b).

Estos depósitos además están afectados por una gran cantidad de fallas pequeñas cuya orientación es muy variable (Figura 12, Fotos 27 y 28).

Se intentaron varias formas de selección y agrupación de los datos estructurales obtenidos en el campo tomando en consideración a) la edad relativa de las unidades afectadas, b) el sector al cual están asociadas y c) la dirección del desplazamiento. En total se midieron 211 planos de fallas, tanto en los bloques levantados como en los sedimentos que rellenan las cuencas.

Las fallas medidas en el Complejo Oaxaqueño y su cobertura tienen orientaciones muy dispersas (Figura 13), probablemente debido a la superposición de estructuras originadas por eventos más

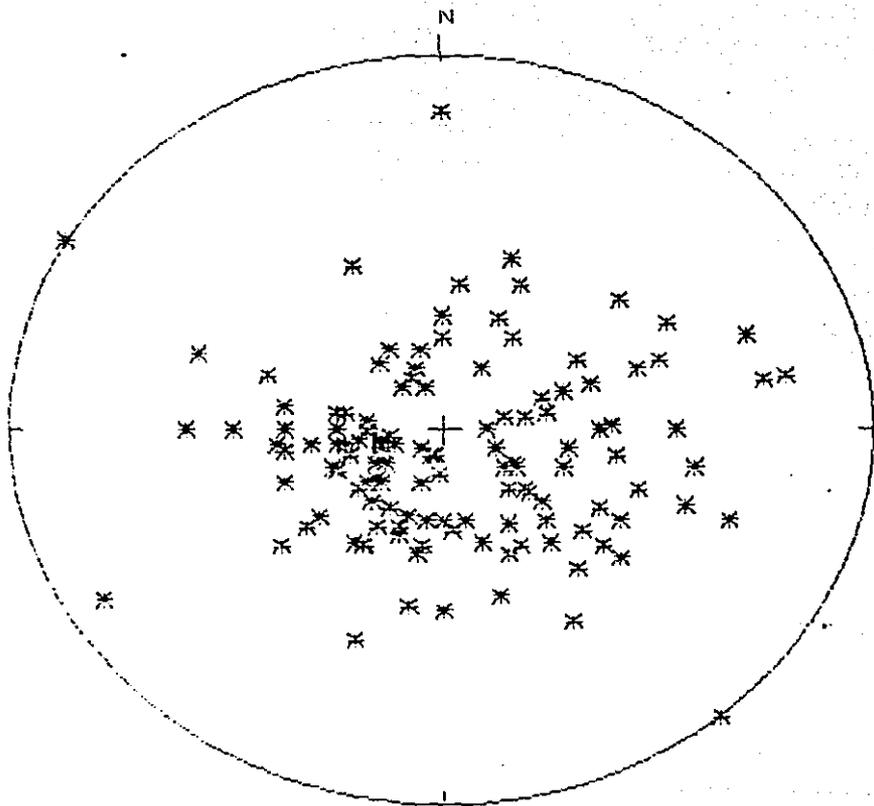


Figura 11a. Diagrama de polos de los planos de estratificación de la secuencia cenozoica del bloque hundido (n=137).

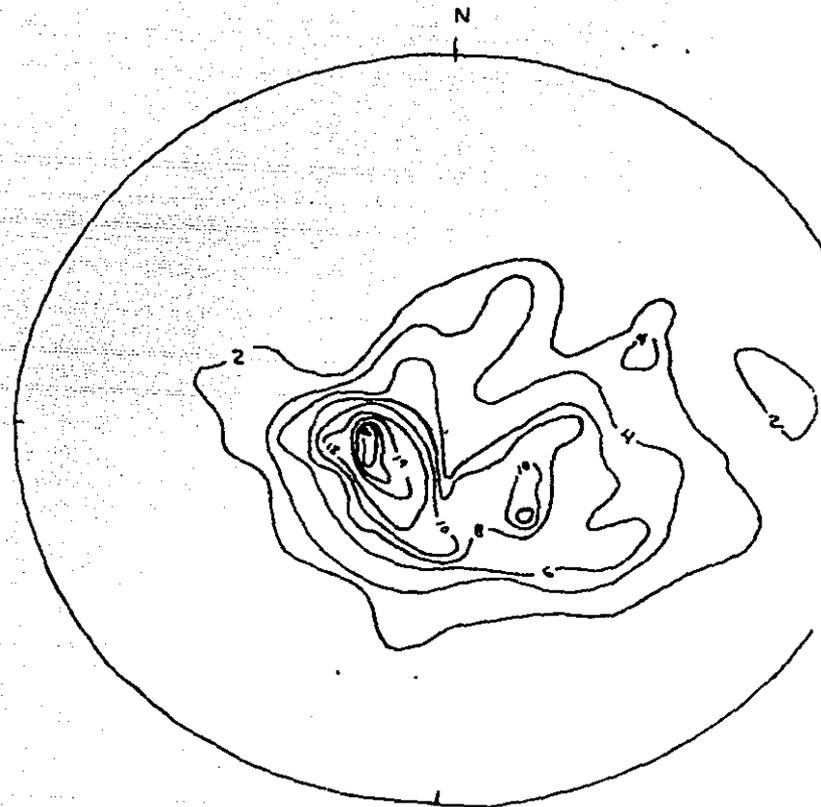


Figura 11b. Diagrama de frecuencia de la figura anterior.

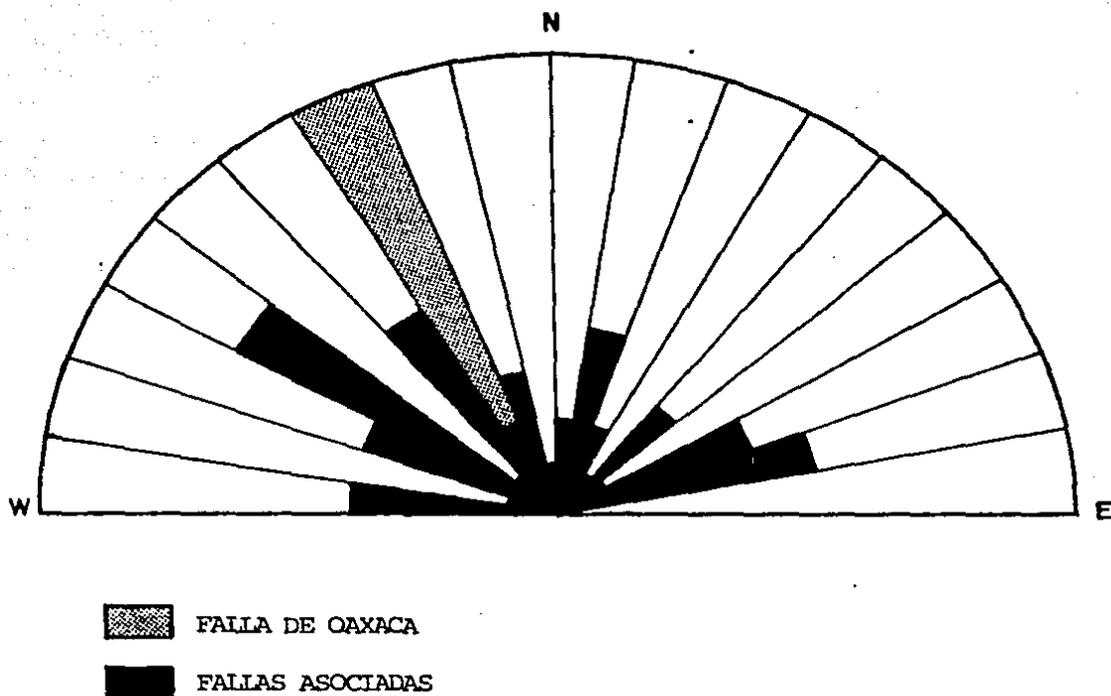


Figura 12. Diagrama de frecuencia de las fallas que afectan a las unidades terciarias, asociadas a la Falla de Oaxaca.

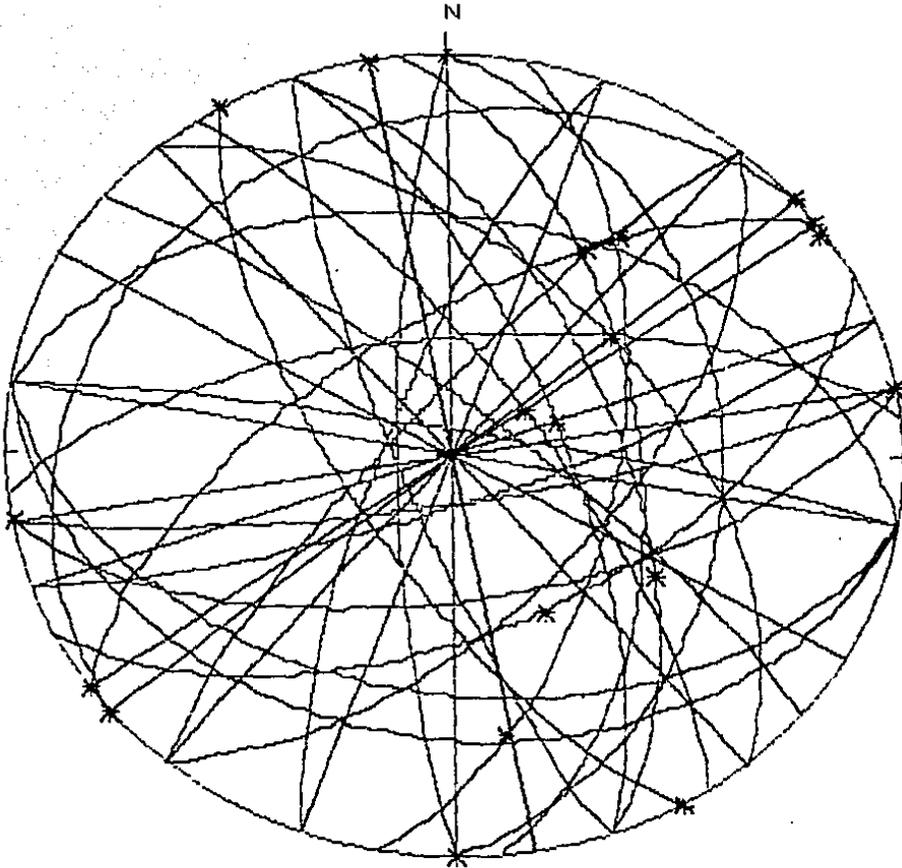


Figura 13. Círculos máximos de los planos de las fallas medidas que afectan a las unidades pre-cenozoicas del bloque hundido (n=65).

antiguos y la actividad de la Falla de Oaxaca, por lo cual no se estudiaron más en detalle.

Las fallas observadas en el Complejo Juárez presentan cierta relación con las fallas principales (Figura 14).

En los sedimentos cenozoicos hay evidencias claras de fallamiento en las unidades Conglomerado A, Depósitos Lacustres y Conglomerado Cuicatlán.

Los planos de fallas de desplazamiento lateral que deforman a dichas unidades presentan dos direcciones preferenciales, la más abundante con orientación de E-W a $N40^{\circ}W$ y la segunda con orientación casi N-S; hay una menor concentración con solo dos mediciones de dirección $N45^{\circ}E$ (Figura 15).

La figura 16 presenta el diagrama de frecuencia de las estrias (considerandolas como lineación) medidas en los planos de la totalidad de las fallas pre-cenozoicas y cenozoicas, donde se distinguen tres concentraciones representando a fallas con desplazamiento lateral con direcciones E-W, $N40^{\circ}W$ y N-S. La concentración máxima de fallas con desplazamiento diagonal, casi vertical se encuentra representada por el plano con orientación $N10^{\circ}W$; $66^{\circ}SW$, hay otra concentración pequeña de fallas con estrias diagonales en el plano promedio $N15^{\circ}E$; $40^{\circ}SW$.

Al separar los datos pre-cenozoicos (Figura 17) estos presentan una concentración máxima de fallas con desplazamiento lateral con dirección $N80^{\circ}E$ - $S80^{\circ}W$ y una concentración menor con dirección $N60^{\circ}E$ - $S60^{\circ}W$; también hay una concentración menos característica con dirección N-S; las fallas con estrias diagonales tienen

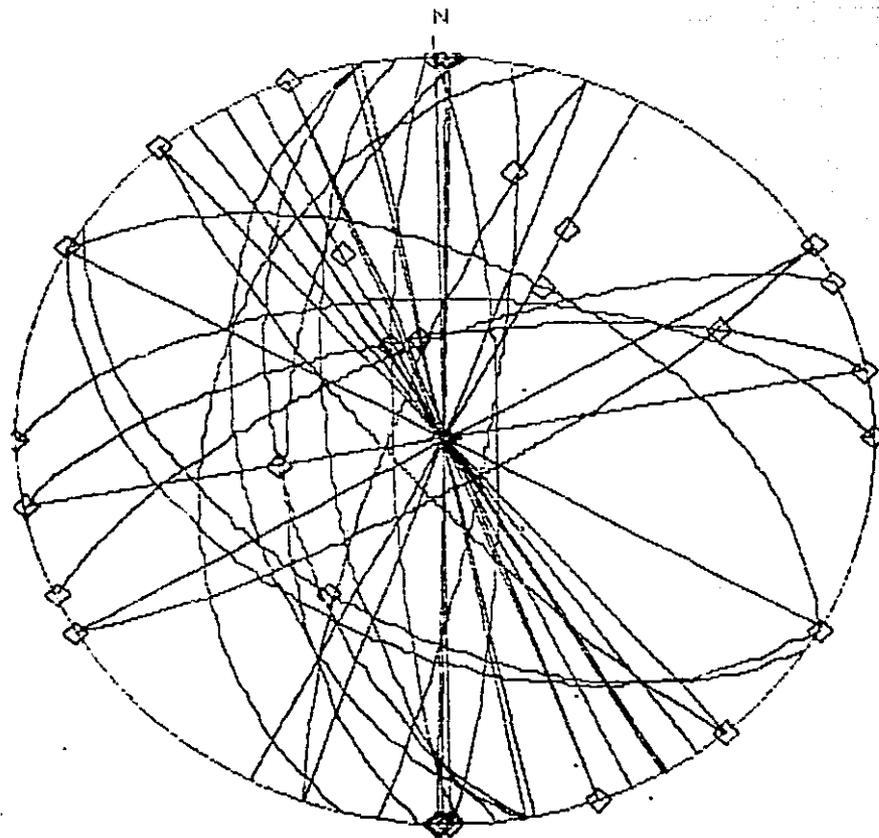


Figura 14. Círculos máximos de los planos de falla medidas al Complejo Juárez; los rombos indican la orientación de las estrías (n=44).

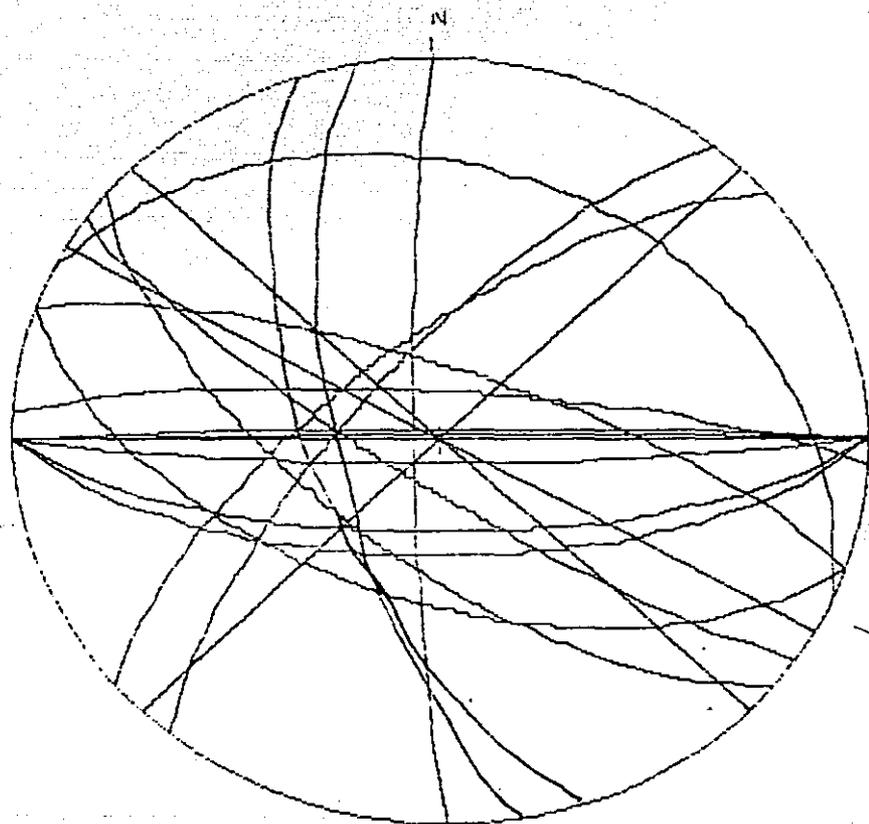


Figura 15. Círculos máximos de los planos de fallas laterales que afectan a las unidades cenozoicas del bloque hundido (n=20).

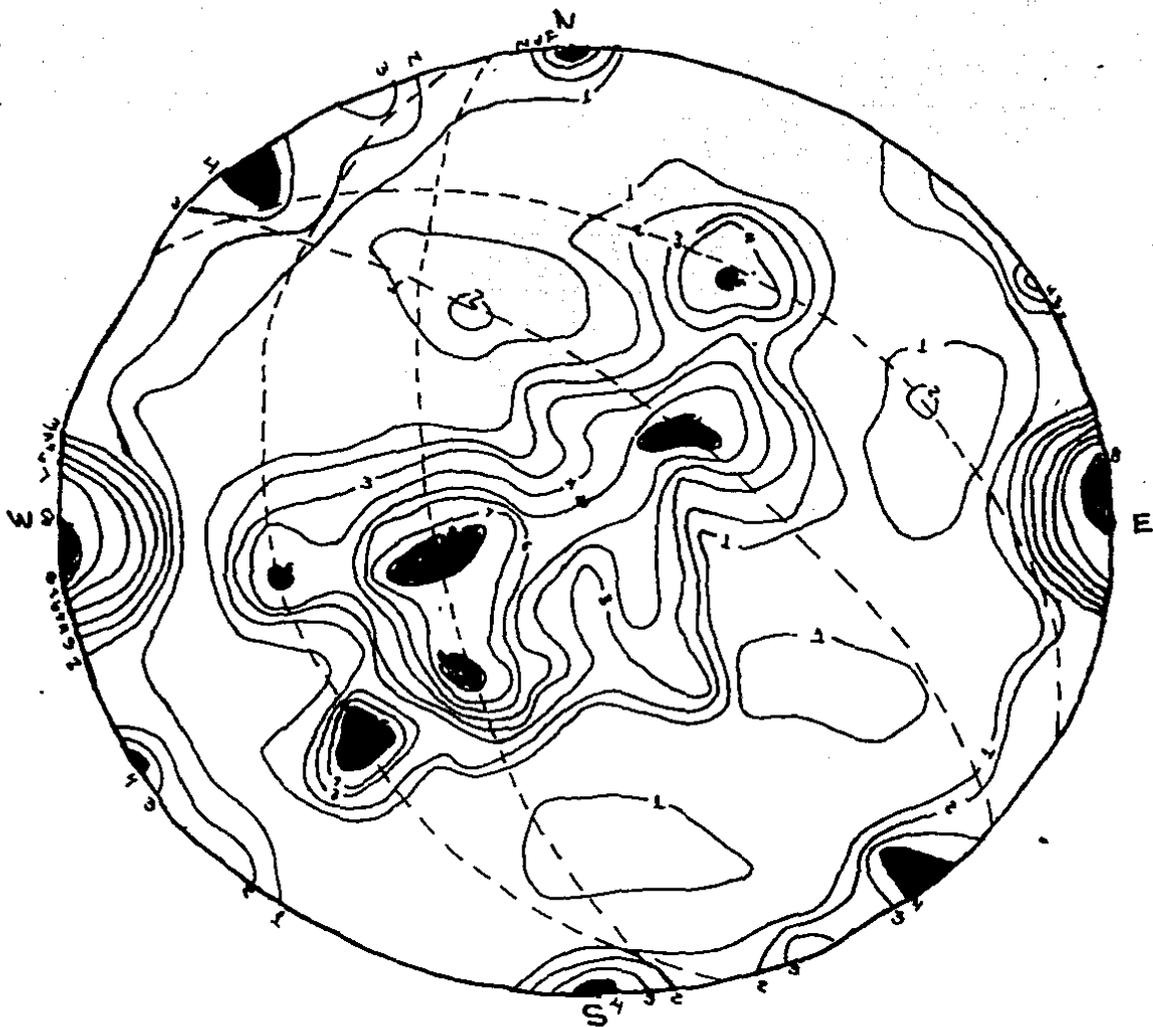


Figura 16. Diagrama de frecuencia de los vectores que representan las estrias medidas en la totalidad de los planos de fallas (unidades precenozoicas y cenozoicas (n=76). Los círculos máximos representan los planos promedio que contienen dichas estrias.

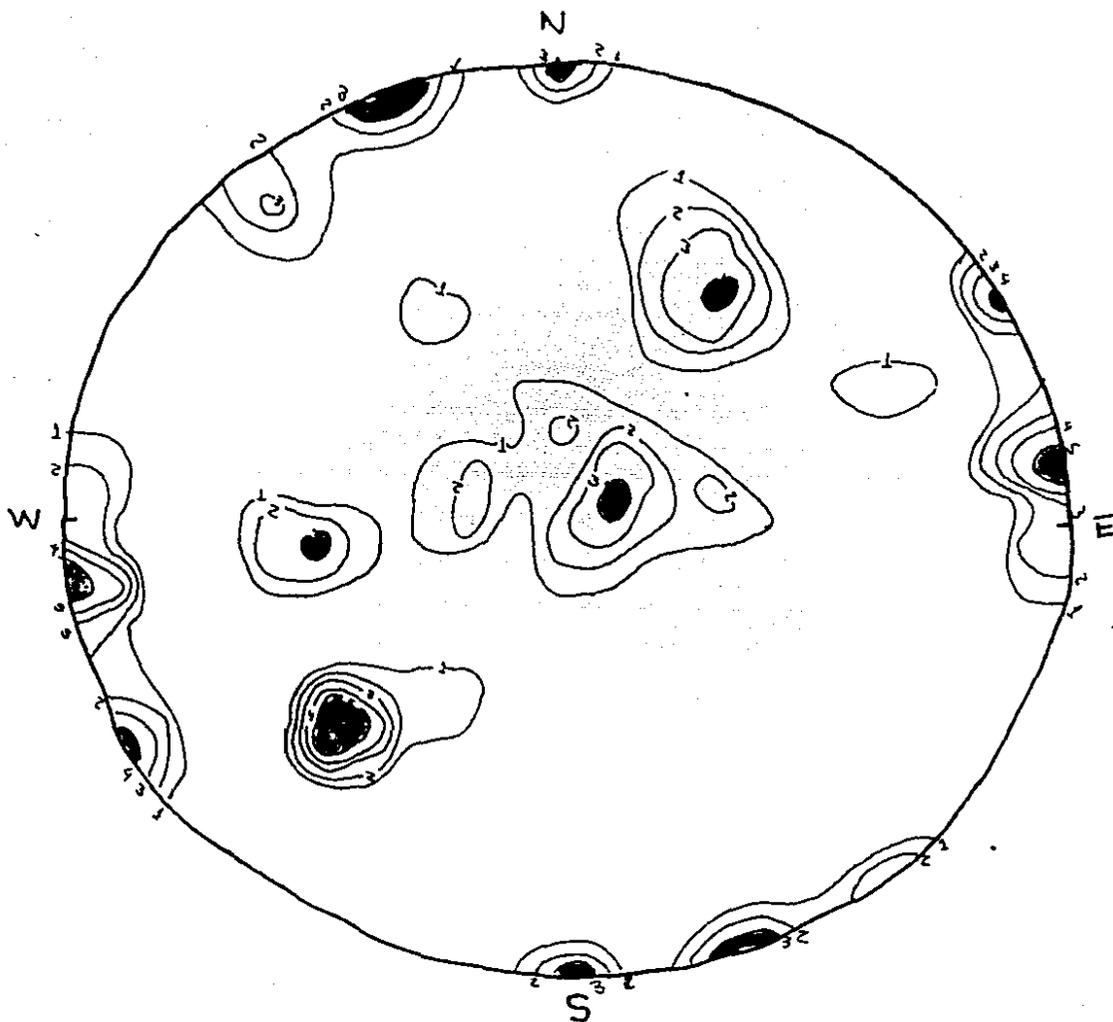


Figura 17. Diagrama de frecuencia de los vectores que representan las estrías en los planos de fallas que afectan a las unidades pre-cenozoicas de la región (n=20).

aproximadamente la misma distribución que en la figura anterior.

En las fallas que afectan a las unidades cenozoicas (Figura 18) también se observan dos concentraciones de estrias horizontales, una con dirección E-W y otra con dirección N65*W-S65*E; hay pocas fallas laterales con dirección N-S y N40*E-S40*W; en la figura están graficados los planos de dichas fallas. Las estrias de las fallas diagonales presentan inclinaciones (pitch) muy cerca de 90*.

De las figuras anteriores se deduce que en la región donde se localiza la Falla de Oaxaca aparentemente hay dos direcciones de fallamiento principales, una de desplazamiento diagonal, subvertical a lo largo de fallas con dirección NW-SE y otra con desplazamiento lateral con dirección NW-SE a E-W. Además hay una concentración menor de fallas con desplazamiento lateral en dirección N-S. Ambas direcciones de fallas afectan a toda la secuencia cenozoica hasta el Conglomerado Cuicatlan.

Debido a que las unidades litológicas que afloran a ambos lados de la falla son totalmente diferentes no fue posible determinar la magnitud de los desplazamientos.

En la imagen de satélite que cubre la parte central y sur de la región estudiada se identificaron varios lineamientos representados en la figura 19 que probablemente correspondan a fallas asociadas a la actividad de la Falla de Oaxaca; en dicha figura esta representada con línea gruesa la traza principal que fue observada en el campo; la mayoría de estos lineamientos son aproximadamente paralelos al sistema principal y es probable que representen los

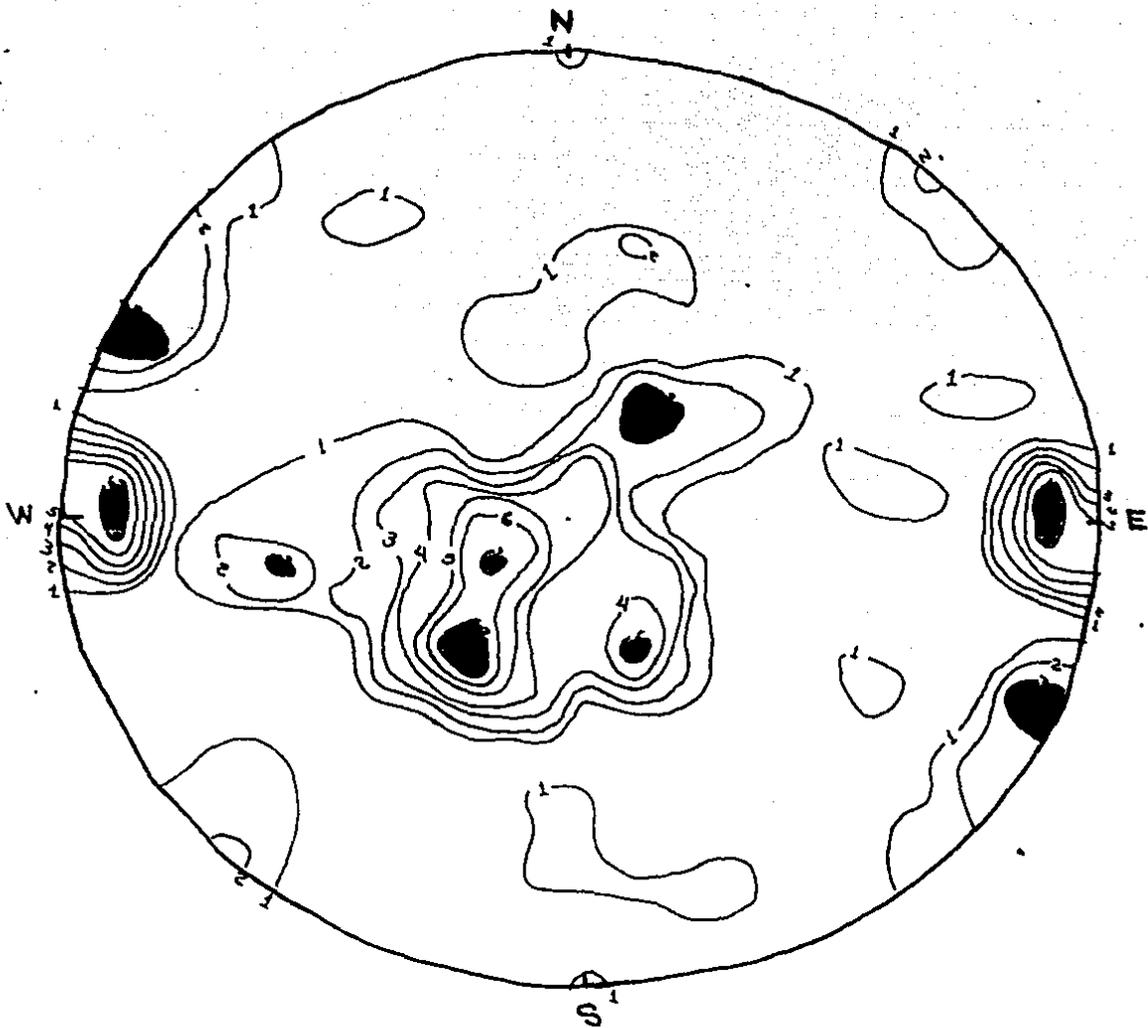


Figura 18. Diagrama de frecuencia de los vectores que representan las estrías observadas en los planos de falla de las unidades cenozoicas (n=56).

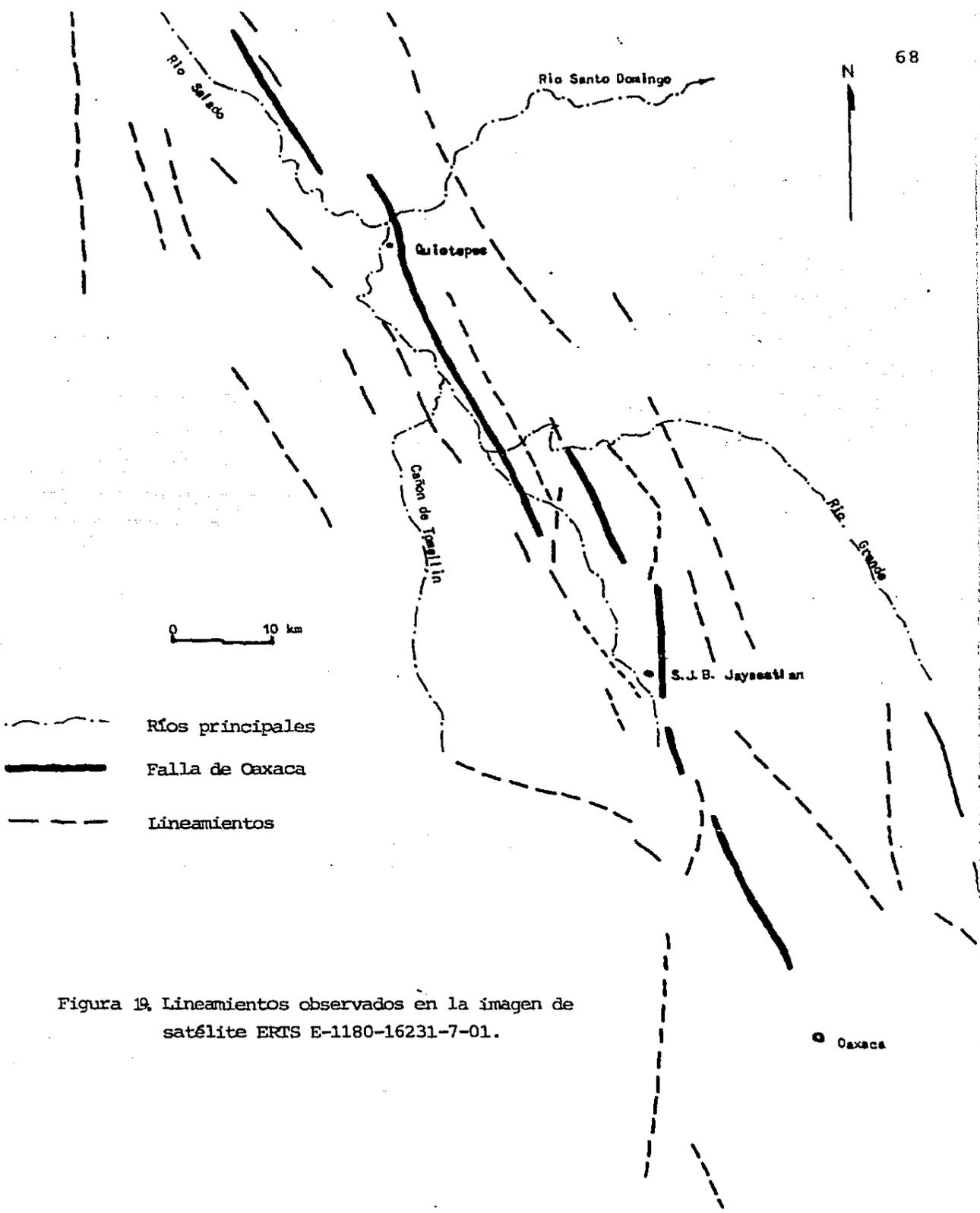


Figura 19. Lineamientos observados en la imagen de satélite ERTS E-1180-16231-7-01.

● Oaxaca

planos más antiguos del sistema de la Falla de Oaxaca.

Para su descripción la Falla de Oaxaca fué dividida en seis segmentos principales que son denominados como: Sectores Etlá, Jayacatlán, Dominguillo-Tecomavaca, Teotitlán, Coxcatlán y Tehuacán (Figura 1).

Sector Etlá

Dicho sector tiene una longitud de 27 km, con una orientación N20*W y se extiende desde la Ciudad de Oaxaca hasta la población de San Juan del Estado (Figura 1, no.1; lámina III). No se logró una observación directa del plano de falla. En este sector la falla pone en contacto al Complejo Juárez (que constituye al bloque levantado), con el Complejo Oaxaqueño, la Secuencia Marina Cretácica, un cuerpo ígneo terciario? de composición andesítica localizado al norte de la Ciudad de los Niños Pobres y a la Formación Suchilquitongo, en las inmediaciones de San Juan del Estado.

El buzamiento de las capas en el bloque deprimido es variable, hay una ligera concentración de la orientación N70*W; 15*NE (Figura 20).

Geométricamente puede considerarse a este sector como una falla normal, rotacional de bisagra (Ragan, 1980), en la cual la punta (tip), donde el desplazamiento es nulo, se encuentra al oriente de la Ciudad de Oaxaca y este va aumentando hacia el norte hasta alcanzar aparentemente su mayor magnitud en la zona de San Juan del Estado.

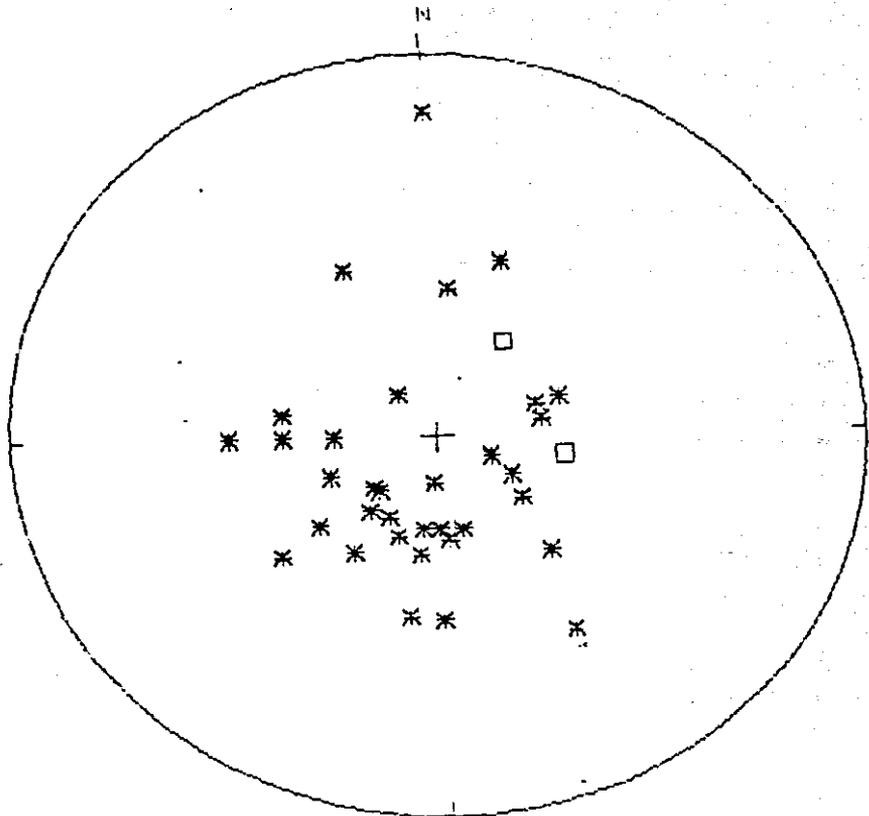


Figura 20. Polos de los planos de estratificación de la Formación Suchilquitongo en el Valle de Oaxaca (Falla Etna) (n=37).

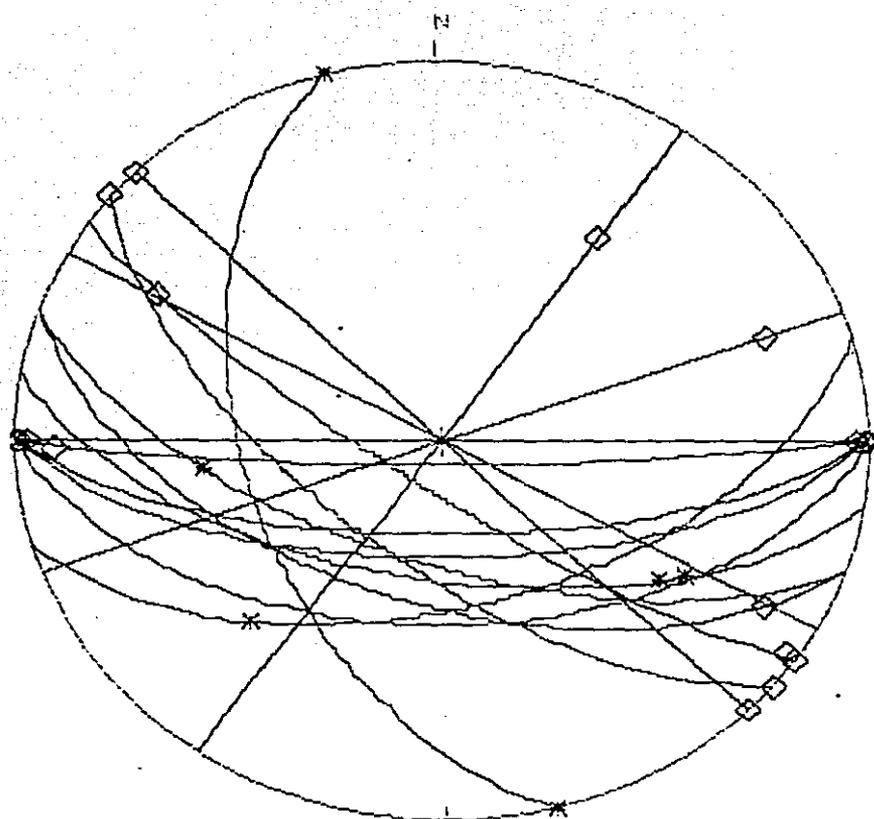


Figura 21. Círculos máximos de los planos de fallas que afectan en el sur de la ciudad de Oaxaca al Miembro Etna y al sureste, en San Felipe al Complejo Juárez (n=20).

Los rombos representan la dirección de las estrias en las fallas del Miembro Etna. Los asteriscos representan la dirección de las estrias en las fallas del Complejo Juárez.

Estructuras asociadas:

De la medición de los planos de falla que afectan a las ignimbritas del Miembro Etlá en el extremo sur de la Ciudad de Oaxaca y al Complejo Juárez al sureste de la ciudad, en la colonia San Felipe (Figura 21), se detectó una zona de falla de desplazamiento lateral con dirección media N80*W (Figura 1, no.6).

Entre San Francisco Teixtlahuaca y Magdalena Etlá, al norte del Valle de Oaxaca, hay una falla de aproximadamente 7 km de longitud y dirección N50*W (Falla Magdalena-felixtlahuaca, figura 1, no.7). Es una falla normal, aparentemente también rotacional, con la punta al norte; el bloque levantado está constituido por la Formación Yoganá y el bloque hundido por los depósitos lacustres de la Formación Suchilquitongo.

Se infiere que también existe una falla entre San Juan del Estado y Magdalena Etlá (Figura 1, no.8), probablemente de desplazamiento lateral izquierdo, con dirección aproximada N15*E, que ocasiona el desplazamiento de la traza principal de la Falla de Oaxaca. Wilson y Clabaugh (1970) prolongan esta estructura hasta Xochimilco (con una longitud total de 13 km) y también la consideran como una falla de desplazamiento lateral. En el campo no se observó su traza debido a que hay depósitos recientes que cubren la región. En la imagen de satélite (Figura 19) se manifiesta esta estructura como un lineamiento que se prolonga varios kilómetros hacia el suroeste.

Además de estas estructuras, hay un conjunto de fallas de desplazamiento lateral que son fácilmente identificadas en los

cuerpos ignimbríticos del valle de Etlá y de la carretera Oaxaca-Tlacolula, ya que presentan planos de falla pulidos con estrias horizontales bien marcadas (Foto 1) que tienen una dirección general de E-W a N50*W.

En las proximidades al plano de falla principal en el bloque levantado (Complejo Juárez) se observaron escasos planos de falla con orientación N10*E a N40*W, algunos presentan estrias horizontales y otros estrias verticales (Figura 22).

Wilson y Clabaugh (1970) reportan la existencia de un sinclinal con dirección noroeste, buzado hacia el norte, formado por la ignimbrita del Miembro Etlá y localizado al norte de Reyes Etlá. Al norte de Tlaltinango, las capas lacustres de la Formación Suchilquitongo forman otro sinclinal (Wilson y Clabaugh, 1970), probablemente asociado a la Falla Magdalena-Telixtlahuaca.

En el área, las unidades más jóvenes afectadas por la actividad de la falla son de edad miocénica y en algunas partes la traza principal de la falla está cubierta por depósitos conglomeráticos de edad plio-cuaternaria?, los cuales no están afectados por el fallamiento.

En la figura 23 están graficados los planos de fallas pequeñas que afectan a la Formación Suchilquitongo. Tienen una dirección muy variable de N20*W a E-W y el sentido del movimiento parece ser vertical a lo largo de estas fallas.

Tomando de esta población dos fallas representativas se calculó la dirección local de los esfuerzos principales por el método presentado por Ragan, los resultados se muestran en la

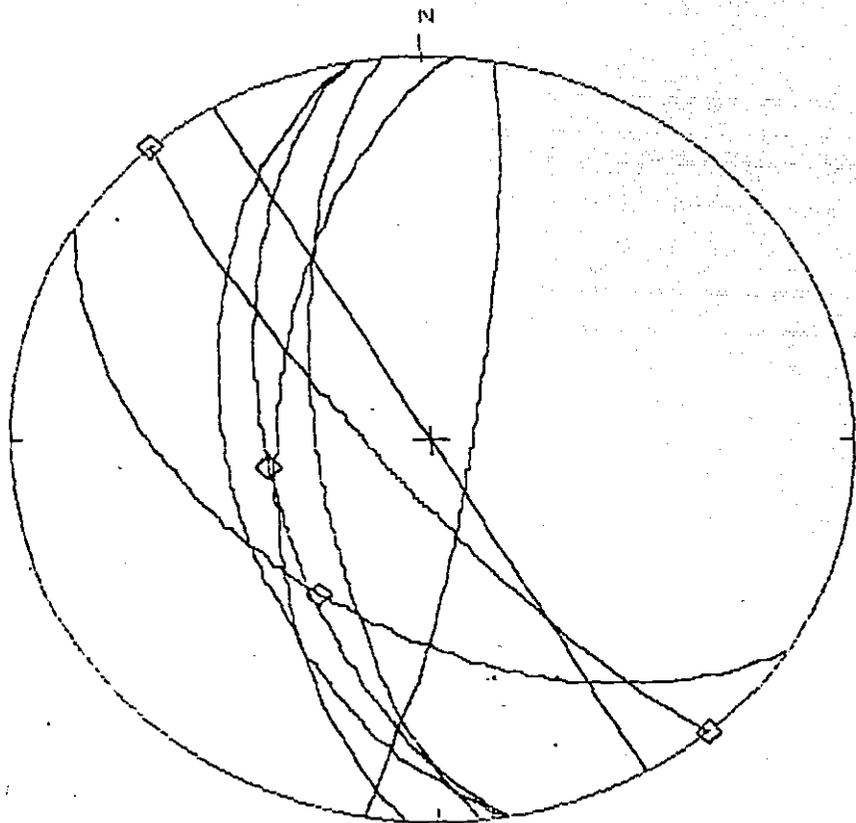


Figura 22. Círculos máximos de los planos de fallas medidas en el Complejo Juárez, próximos al plano de la Falla Etila ($n=9$). Los rombos representan la dirección de las estrías.

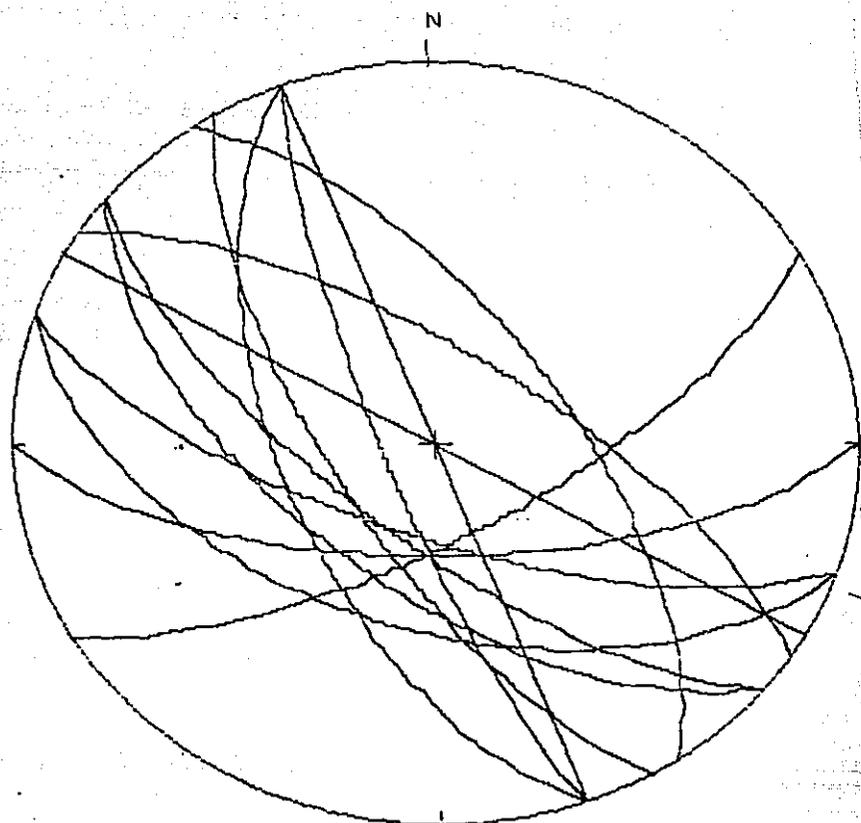


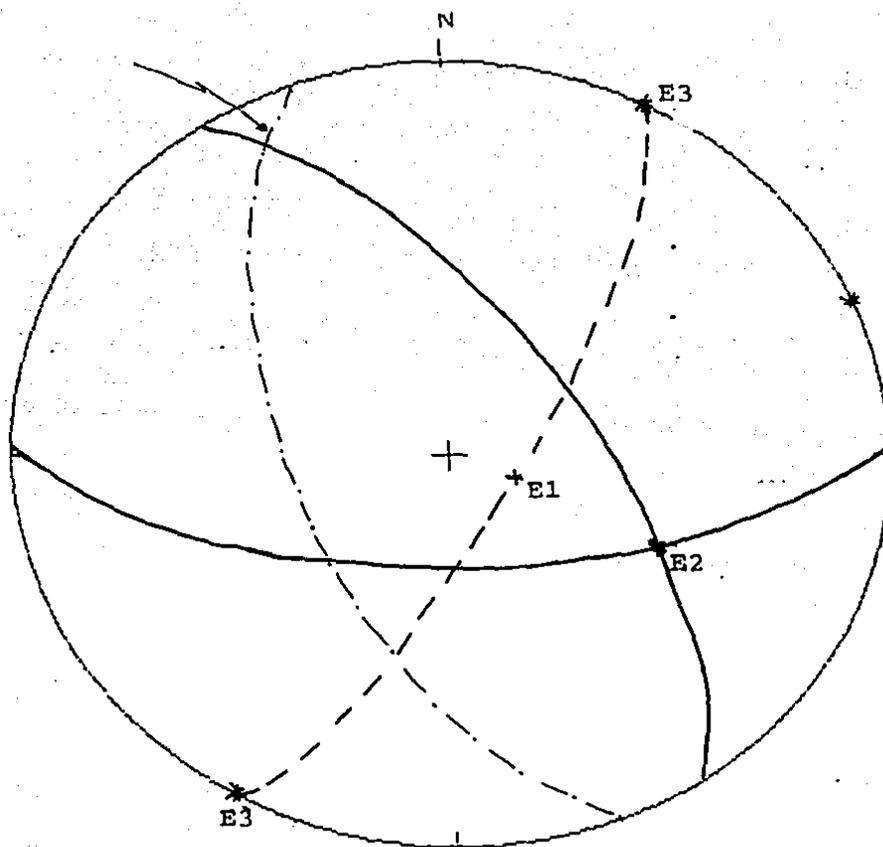
Figura 23. Círculos máximos de los planos de fallas normales que afectan a la Formación Suchilquitongo ($n=14$).

figura 24. Como puede observarse la dirección del vector de compresión mínima es próxima a los 90° . El eje de compresión mínima guarda una relación angular (Figura 24) con el eje de compresión mínima probable para el plano de falla del Sector Etlá considerando que dicho sector actuó como falla normal.

Sector Jayacatlán

Es el sector donde la Falla de Oaxaca se manifiesta en su forma más espectacular, ya que es posible observar en el campo una superficie escarpada, casi plana y continua de 21 km de longitud, relativamente menos afectada por la erosión que los otros sectores (Figura 48 y Fotos 30, 31 y 32). Este plano presenta un echado de 45° a 60° al NW y tiene un rumbo general de N5°E.

Entre San Juan del Estado y el arroyo Salinas (7 km al sur de Jayacatlán) se pierde la traza principal de la falla; al norte de dicho arroyo está constituida por dos segmentos aparentemente desplazados entre sí en sentido izquierdo y en relación al Sector Etlá. En estos dos segmentos el desplazamiento vertical es menor, originando un horst de aproximadamente 6 km de longitud formado por la Secuencia Marina Cretácica que separa al Valle de Oaxaca de la Cañada Chica (Figura 1, entre las fallas no. 7 y 9)). El desplazamiento vertical va aumentando hacia el norte (Foto 33), cerca del poblado de San Juan Bautista Jayacatlán, donde vuelve a manifestarse la falla para continuar como una línea casi recta hasta la población de Atatlauca, donde otra vez muestra una



E1 = S65°E; 78°

E2 = S65°E; 46°

E3 = N28°E; 0°

Figura 24. Dirección de los esfuerzos locales calculados a partir de la geometría del par de fallas conjugadas promedio que afectan a la Formación Suchilquitongo, asociadas al Sector Etlá; E1 es el vector de compresión máxima y E3 es el vector de la compresión mínima.

discontinuidad con sentido relativo izquierdo.

El bloque levantado en este sector está formado por la secuencia milonítica del Complejo Juárez. La falla afecta directamente al Complejo Oaxaqueño, a la Secuencia Marina Cretácica, a tres de los pequeños intrusivos terciarios?, a los Depósitos Lacustres B y al Conglomerado Cuicatlan.

Este sector de la falla es equivalente a una falla normal con rotación y presenta un desplazamiento vertical menor en el extremo sur que va aumentando hacia el norte (la magnitud relativa del desplazamiento vertical se calculó con base en la altitud de las unidades litológicas expuestas en el bloque levantado y los espesores relativos de las unidades terciarias). En el extremo norte, esta estructura es muy compleja, la inclinación del plano de falla disminuye bruscamente de 45° NW a 30° NW en Atatlauca y desaparece al norte de dicha población (Figura 1, 2a). Las hipótesis probables para explicar esta discontinuidad de la traza de la falla al norte de Atatlauca son: 1) que la falla sea desplazada por alguna falla a rumbo o de transferencia (Figura 2b) de dirección E-W o NW-SE, 2) que exista un puente (Figura 25) entre este segmento y el siguiente o 3) que el plano de falla se incline aún más, haciéndose imperceptible y aumentando nuevamente su inclinación al norte del Río Monteflor.

La traza de la falla vuelve a observarse claramente en el Río Monteflor, al noreste de la población de Zoquiapan Boca de los Ríos y continúa hacia el norte hasta el Río Grande (Figura 1, no. 2b); este segmento tiene una longitud de 7 km con dirección $N8^{\circ}$ W y pone

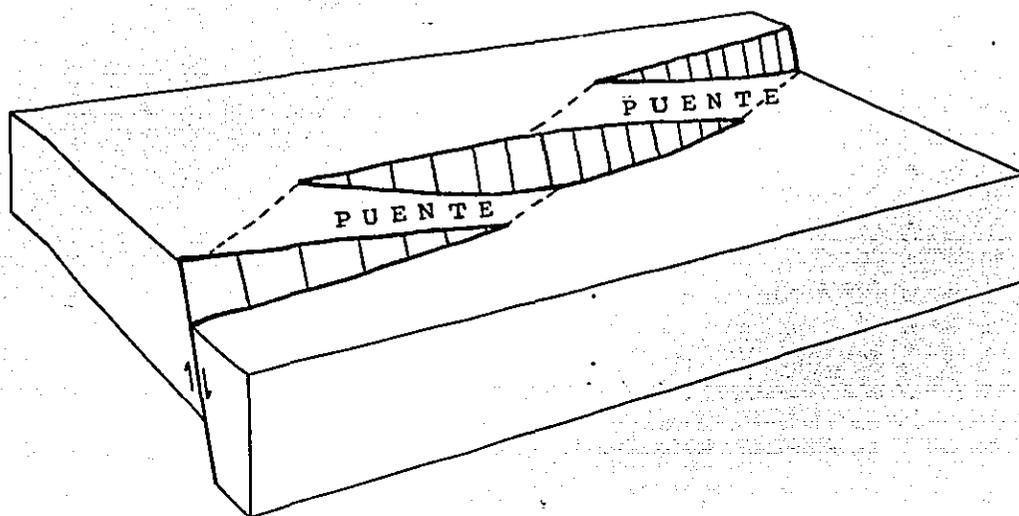


Figura 25. Bloque diagrama que muestra la geometría de fallas en escalón unidas por puentes (bridges) (Ramsay, 1987).

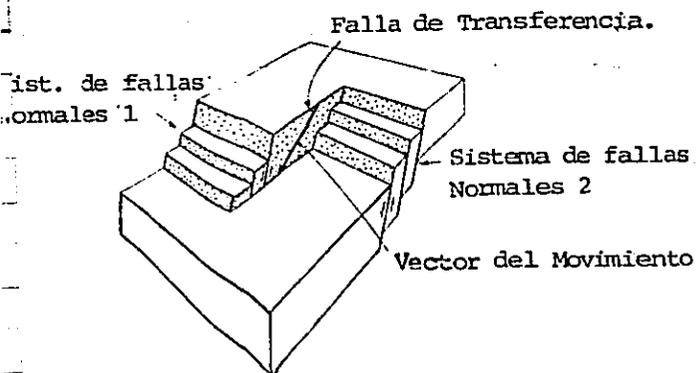


Figura 26. Falla de transferencia (Transfer faults) que unen a dos segmentos de una falla normal (Ramsay y Huber, 1987).

en contacto al Complejo Juárez con el Conglomerado Cuicatlán.

En el Rio Grande, la falla se pierde y aparece nuevamente a 5 km al poniente, al sur de Tutepetongo (Figura 1, no. 3a). No fue posible determinar en el campo a que se debe esta discontinuidad, puede ser ocasionada por una falla de desplazamiento lateral, o bien por un puente (Figura 25) entre los dos segmentos de la falla.

Sobre el plano de falla principal se presenta una zona de brecha tectónica de entre 10 y 50 m de espesor (Foto 34).

La orientación e inclinación de las capas terciarias es muy variable y no se aprecia una orientación preferencial (Figura 27).

Estructuras asociadas:

Una falla antitetica de este sistema, nace al sur de Jayacatlán y se prolonga hasta el suroeste de Santiago Dominguillo (Falla Nacaltepec, figura 1, no. 9, Foto 7), tiene una longitud aproximada de 18 km y una orientación N30*W poniendo en contacto a la Secuencia Marina Cretácica con el Conglomerado A, Depósitos Lacustres B y Conglomerado Cuicatlán. En la zona de falla, el Conglomerado Cuicatlán presenta gran cantidad de fracturas, algunas con estrias horizontales y otras con estrias verticales (Figura 28) que deben pertenecer a dos eventos de deformación diferentes.

Cerca del plano de falla, la Formación Suchilquitongo se encuentra intensamente deformada presentando echados de 60* o más. En los sitios donde los estratos están en contacto con la falla principal presentan una intensa cataclasis, la cual produjo fragmentos pequeños con superficies pulidas; también son abundantes los pliegues (Fotos 35 y 36), cuyos ejes tienen orientaciones entre

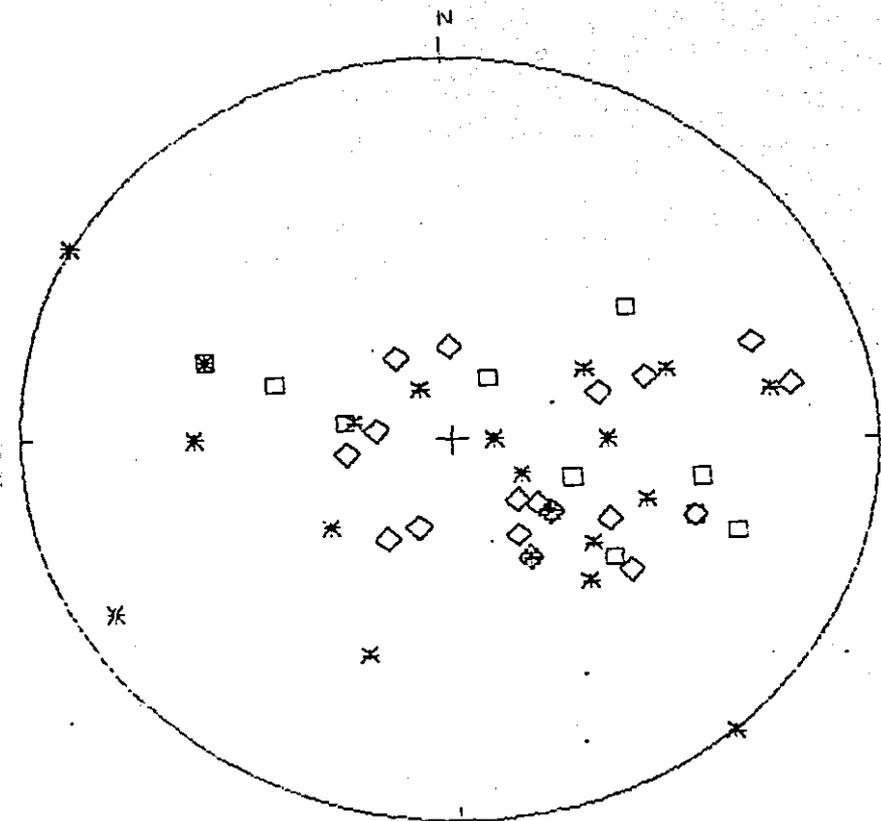


Figura 27. Diagrama de pulso de los planos de estratificación de los Depósitos Lacustres B y Conglomerado Cuicatlán en el área del Sector Jayacatlán (n=49).

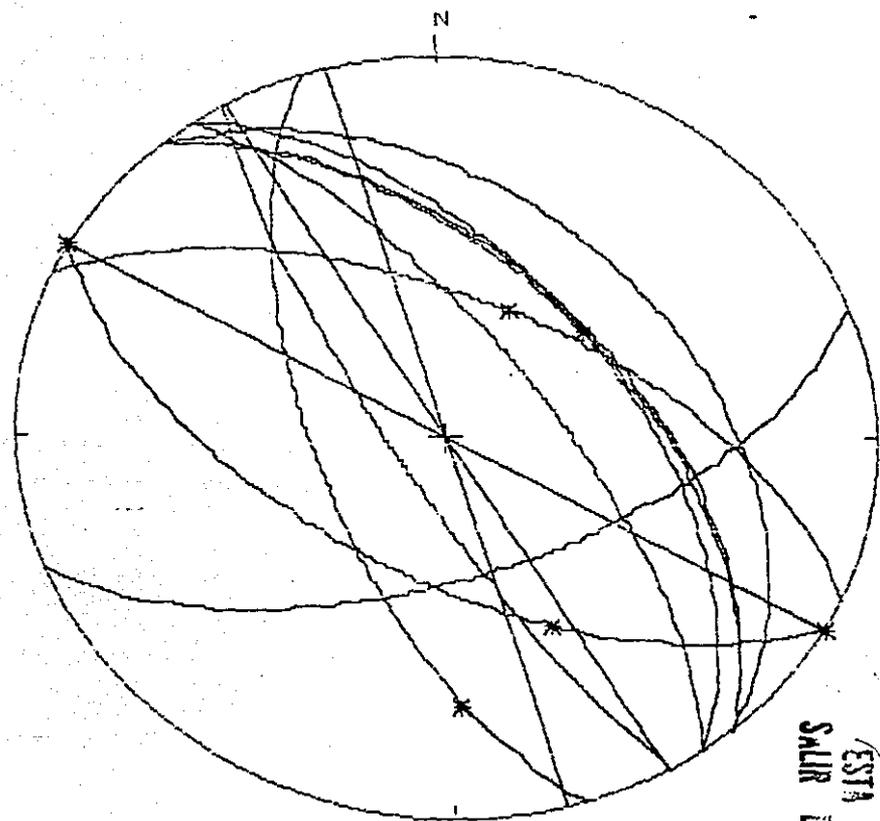


Figura 28. Círculos máximos de los planos de falla de la falla antitética Nacaltepec, asociada al Sector Jayacatlán; los asteriscos corresponden a la dirección de las estrías (n=13).

N-S y N60°E (Figura 31). Al norte de Jayacatlán hay una falla inversa de poca magnitud, en la cual las calizas cretácicas cabalgan sobre el Conglomerado Cuicatlán; el plano de dicha falla tiene una orientación N40°W; 60°SW.

Los depósitos terciarios del valle presentan varias fallas pequeñas con orientación y sentido del desplazamiento diferentes (Foto 27). Las fallas de desplazamiento lateral presentan tres concentraciones, una paralela a la Falla Jayacatlán (de N-S a N20°W) otra con orientación de E-W a N60°W que es la más abundante y otra menos frecuente de dirección N45°E (Figura 30).

Las fallas normales presentan una gran dispersión.

Casi todas las fallas que afectan al Complejo Juárez en la zona próxima al plano de falla principal son de desplazamiento lateral; estas tienen dos direcciones preferenciales: una casi paralela a la traza principal (de N20°E a N40°W) y otra con dirección de N60°E a E-W (Figura 29).

Las fallas laterales que guardan una relación angular con la traza principal y que se presentan tanto en los depósitos terciarios (de E-W a N60°W) como en el Complejo Juárez (de E-W a N60°E) pueden corresponder a fallas de Riedel (R2) (Ramsay y Huber) asociadas al evento de desplazamiento lateral a lo largo del Sector Jayacatlán.

La presencia de planos de fallas con estrias horizontales, la falla inversa, la dispersión de las orientaciones de las capas y las fallas normales (tal vez producida por rotación) y los pliegues terciarios cuyos ejes guardan una cierta relación angular con la

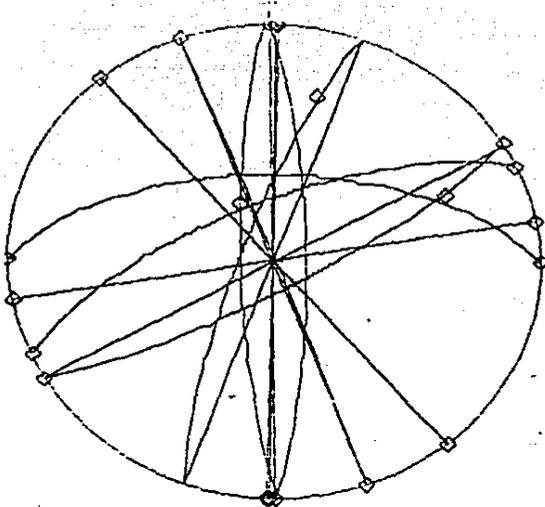


Figura 29. Círculos máximos de los planos de fallas que afectan al Complejo Juárez (bloque levantado) en la zona próxima al plano del Sector Jayacatlán ($n=20$).

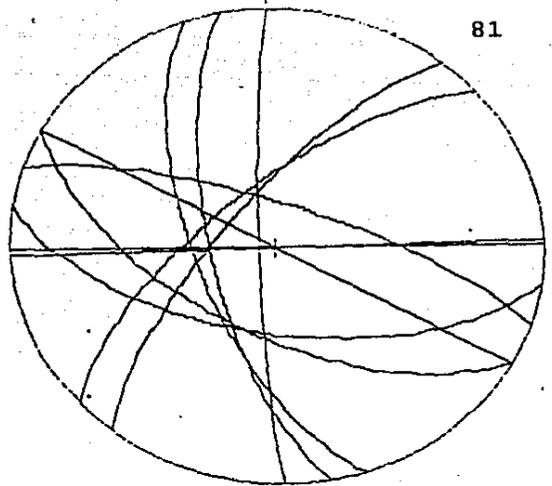


Figura 30. Círculos máximos de los planos de fallas laterales medidos en los Depósitos Lacustres B y Conglomerado Cuicatlán, asociadas al Sector Jayacatlán ($n=11$).

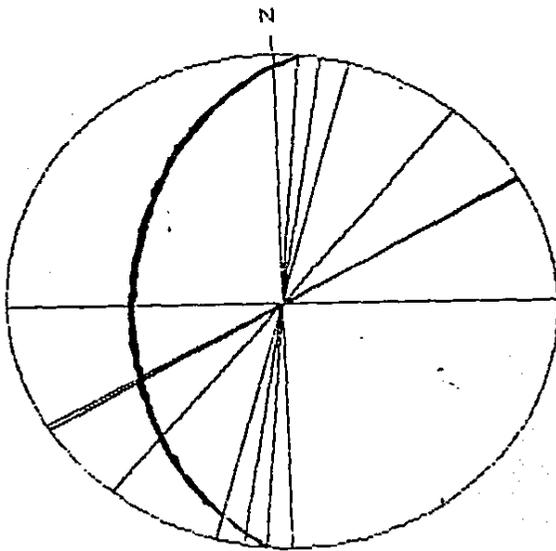


Figura 31. Dirección de los ejes de los pliegues próximos al plano de falla que presentan los Depósitos Lacustres B.

traza principal de la falla, son interpretados en este trabajo como evidencias de una fase de deformación de la Falla Jayacatlán con desplazamiento lateral aparentemente derecho cuya magnitud se desconoce.

Dichas estructuras afectan tanto a los Depósitos Lacustres B como al Conglomerado Cuicatlán.

En el camino de San Juan del Estado a Jayacatlán y al oriente de dicha población, el Conglomerado Pueblo Viejo presenta gran cantidad de clastos rotos y fragmentados, además están afectados por pequeñas fallas con orientación aproximada NW 40° (Foto 25). Como son escasos estos afloramientos, es difícil determinar si el fallamiento está relacionado con la actividad de la falla principal. Una explicación probable es que estén relacionadas con derrumbes ya que se encuentran en una zona con fuertes pendientes. En algunos puntos, la zona de falla está cubierta por depósitos recientes de muy poco espesor, los cuales no muestran evidencias de fallamiento.

Utilizando el método propuesto por Ragan (1980) se calculó la dirección de los esfuerzos considerando como fallas conjugadas a la Falla Jayacatlán y la Falla Nacaltepec, según este cálculo el Sector Jayacatlán es una falla diagonal derecha (Figura 32).

Sector Dominguillo-Teotitlán

Esta formado por dos segmentos; el primero tiene una longitud de 40 km aproximadamente y una orientación general N20°W, se extiende desde Santiago Dominguillo hasta Tecomavaca (Figura 1,

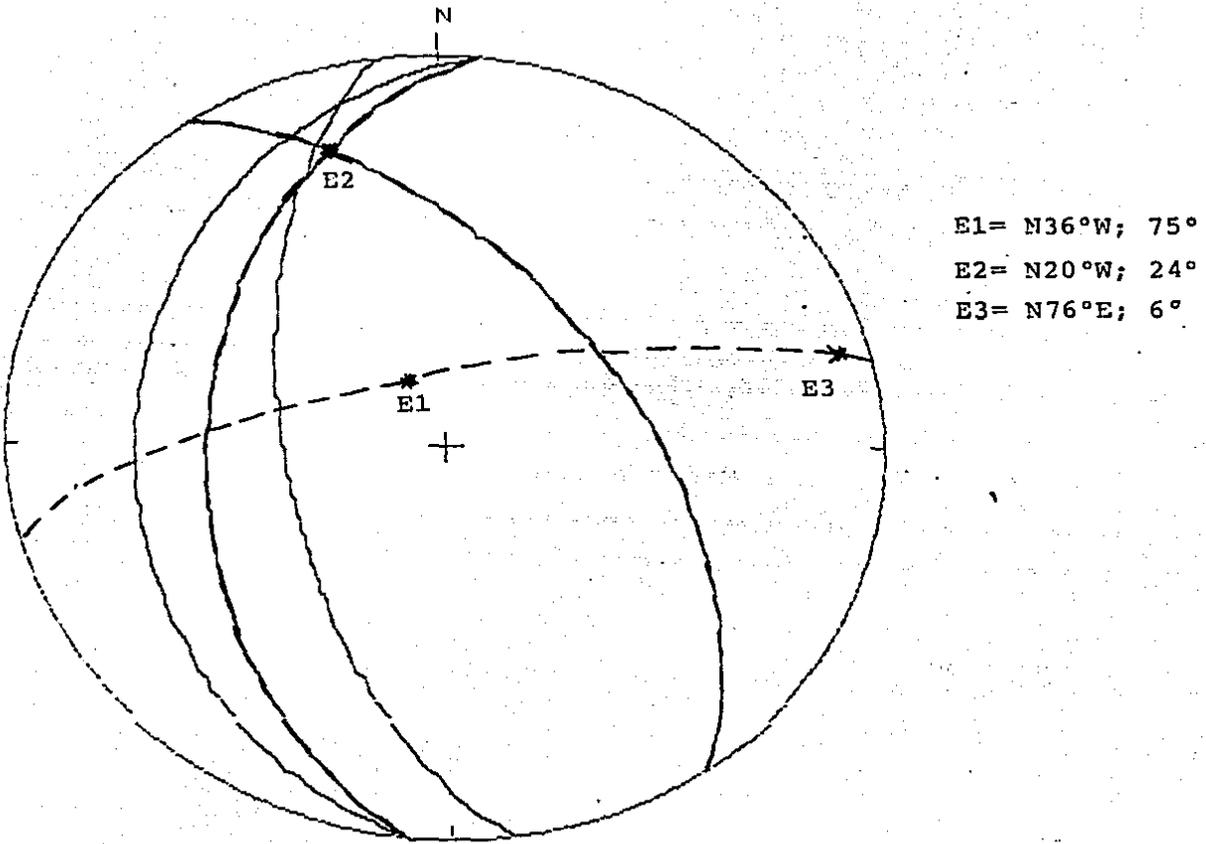


Figura 32. Dirección de los esfuerzos locales calculados a partir de la geometría del par de fallas conjugadas, constituido por plano principal del Sector Jayacatlán y la falla antitética a ésta (Falla Nacaltepec). E1 representa la dirección del vector de compresión máxima, E3 es el vector de tensión compresión mínima.

no.3a); al norte de dicha población se pierde la traza de la falla y vuelve a aparecer a 3 km al occidente para continuar hasta la Barranca Vigas, este segundo segmento de la Falla Dominguillo-Teotitlán tiene una longitud de 22 km y una orientación N12*W (Figura 1, no. 3b). En la Barranca Vigas, la traza principal es desplazada por una falla lateral izquierda con orientación N45*E (Figura 1, no.10). Se desconoce la inclinación del plano de falla porque ha sido muy afectado por la erosión. En esta región, el bloque levantado está constituido por el Complejo Juárez, que está en contacto por la falla con la Formación Tehuacán, los Depósitos Lacustres A y el Conglomerado Cuicatlán (bloque hundido).

En la zona de falla, en el bloque levantado, son muy escasos los planos de falla con estrias, se presentan tanto fallas laterales como fallas normales con orientación NW-SE (Figura 33); se observó al igual que en los otros sectores, un intenso fracturamiento y zonas de brecha tectónica. En el bloque hundido, los depósitos conglomeráticos (Conglomerado Cuicatlán) están fuertemente fracturados. En la zona de falla, la mayoría de sus clastos están rotos o deformados; hay sitios donde la deformación es tan intensa que se encuentran totalmente aplastados y alargados en dirección casi vertical.

En este sector, una gran parte de los sedimentos terciarios depositados en el valle están basculados hacia el oriente, formando un solo bloque con rumbo promedio N40*W y echado de 20*NE (Figura 34, Fotos 3 y 12).

No hay unidades de referencia que permitan calcular la magnitud

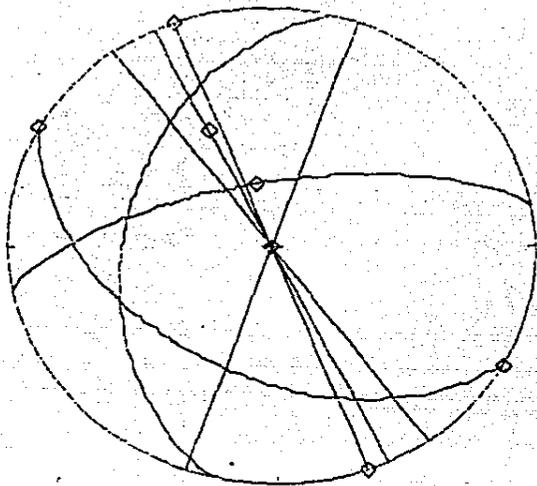


Figura 33. Círculos máximos de los planos de fallas asociadas al Sector Domingullo-Teotitlán, que afectan al Complejo Juárez en las proximidades al plano de falla (n=10). Los rombos representan la dirección de las estrias.

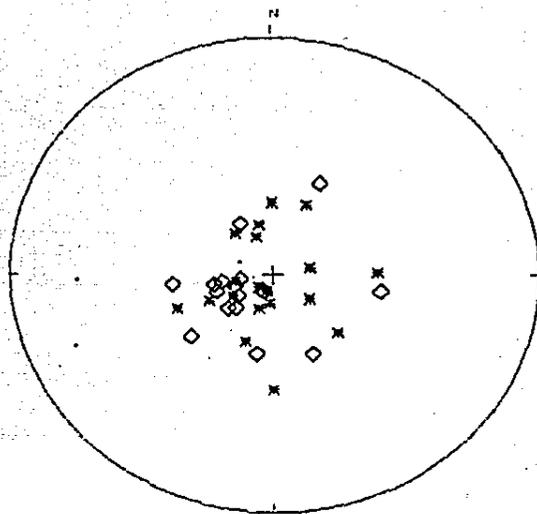


Figura 34. Diagrama de polos de los planos de estratificación de los Depósitos Lacustres A (rombos) y el Conglomerado Cuicatlán (asteriscos), en el Sector Domingullo-Teotitlán (n=35).

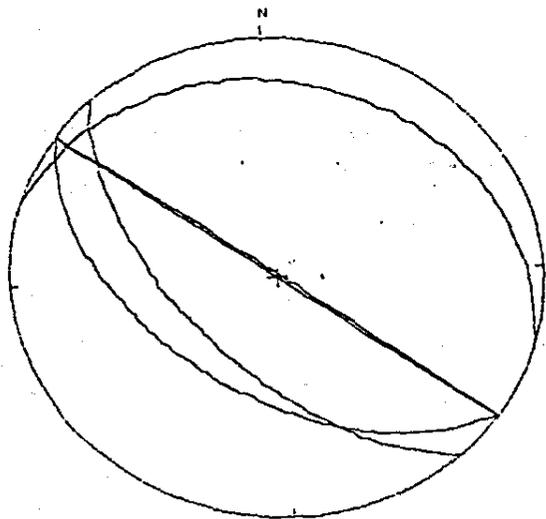


Figura 35. Planos de fallas normales que afectan a los Depósitos Lacustres A, asociadas al Sector Domingullo-Teotitlán (n=5).

total del desplazamiento; por la morfología y el espesor de los sedimentos terciarios es posible que sobrepase los 1700 metros.

Estructuras asociadas

Entre Santiago Dominguillo y Tecomavaca las fallas antitéticas son aproximadamente paralelas a la Falla de Oaxaca (Figura 1, no.11). Entre Tecomavaca y Teotitlán estas cambian de orientación a N60*W (Figura 1, no.12) provocando que el valle sea más ancho. Algunas fallas presentan una orientación N12*W. Por su morfología, estas estructuras parecen ser fallas normales; ponen en contacto a la Secuencia Marina Cretácica (bloque levantado) con el Conglomerado A, la Formación Tehuacán, los Depósitos Lacustres B, el Conglomerado Cuicatlán y una unidad conglomerática indiferenciada.

Además de estas estructuras hay gran cantidad de fallas pequeñas con poco desplazamiento que afectan a los depósitos terciarios (Foto 10); en la Formación Tehuacán estas son normales, con orientación N25*W (Figura 35). Las fallas que afectan al Conglomerado Cuicatlán son algo dispersas; hay un ligero predominio en dirección casi N-S (Figura 36); solo se observaron dos fallas laterales casi paralelas a la falla principal.

Al norte de Tilapa hay algunas fallas inversas y de desplazamiento lateral pequeñas, probablemente relacionadas con la falla de desplazamiento lateral de la Barranca Vigas.

En la parte sur de este sector, hay pocos depósitos recientes los cuales están concentrados en la parte central del valle a lo largo del río y no presentan evidencias de fallamiento. En la

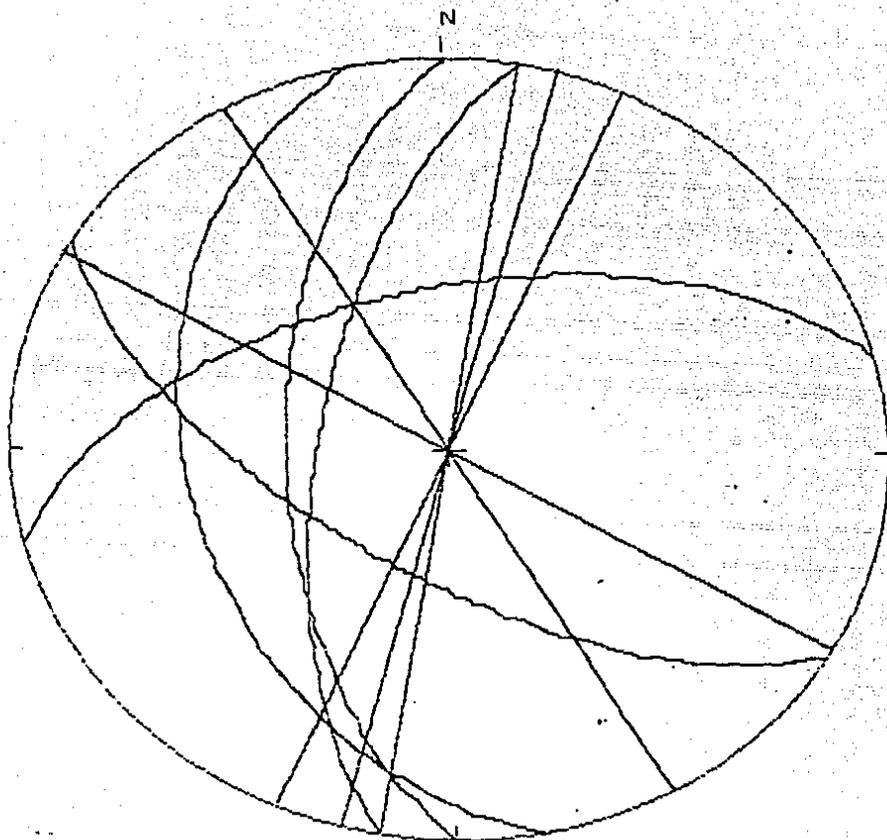


Figura 36. Planos de fallas normales que afectan al Conglomerado Cuicatlán, asociadas al Sector Dominguillo-Teotitlán (n=10).

región de Teotitlán el Conglomerado Teotitlán cubre en forma discordante al plano de falla sin evidencias de movimiento.

La unidad más joven afectada por la falla es el Conglomerado Cuicatlán.

Como la orientación de las fallas antitéticas es muy variable no fue posible calcular la dirección aproximada de los esfuerzos locales.

Sector Coxcatlán

Este sector tiene una orientación casi N-S y una longitud de 20 km (Figura 1, no.4). No se observa claramente la traza porque esta cubierta en varias partes por el Conglomerado Teotitlán y aluviones recientes (Figura 51), pero su existencia se infiere por la inclinación que presentan la Formación Tehuacán y el Conglomerado Cuicatlán; la falla pone en contacto a dichas unidades con el Complejo Juárez.

Es difícil proponer un modelo geométrico para este sector debido a la escasez de datos estructurales por falta de afloramientos; la morfología indica que el desplazamiento vertical es de gran magnitud.

Estructuras asociadas

Las fallas antitéticas en este sector tienen una orientación de N60*W, que por su expresión topográfica aparentemente son normales (Figura 1, no.12).

Las fracturas que se presentan en los sedimentos cenozoicos tienen una orientación dispersa.

En el bloque levantado se observaron muy pocas fallas con

orientación de N30°E a N60°W tanto laterales como normales (Figura 37).

Los sedimentos de la Formación Tehuacán con mayor cantidad de yeso se encuentran fuertemente microplegados en las proximidades a fallas pequeñas que se presentan en el valle (Foto 9).

Al norte de Calipam, en el cerro denominado Cordon Tecachil, la unidad de Conglomerados Cuicatlan está plegada; forma un anticlinal con eje N20°E buzante al NE, del cual solo es posible ver el flanco occidental que tiene una inclinación de 30°NW aproximadamente (foto 37); el otro flanco está cubierto por vegetación que impidió determinar si es un anticlinal derecho o un monoclinal. En este trabajo se considera que tal vez pudo ser originado por movimientos laterales de la Falla Coxcatlan, o quizás por combamiento debido a la acción de un intrusivo hipabisal; sin embargo se recomienda hacer un estudio más detallado de esta estructura con el fin de determinar con precisión cual es su origen.

En Coxcatlan, a 800 m aproximadamente al occidente de la traza principal de la falla, hay un afloramiento del Conglomerado Teotitlan que presenta una inclinación de 30° hacia el NE; estos subyacen en discordancia angular a otro cuerpo de conglomerados más jóvenes que están en posición horizontal (Foto 24). El mismo conglomerado presenta dos fallas con orientaciones N60°E/76°SE y N12°E/86°NE (Foto 38 y 39); desafortunadamente son escasos los afloramientos de esta unidad cuya mayoría tiene muy poco espesor y por esto fue imposible determinar si hay más estructuras como estas y si son causadas por la actividad de la falla, o se deben al

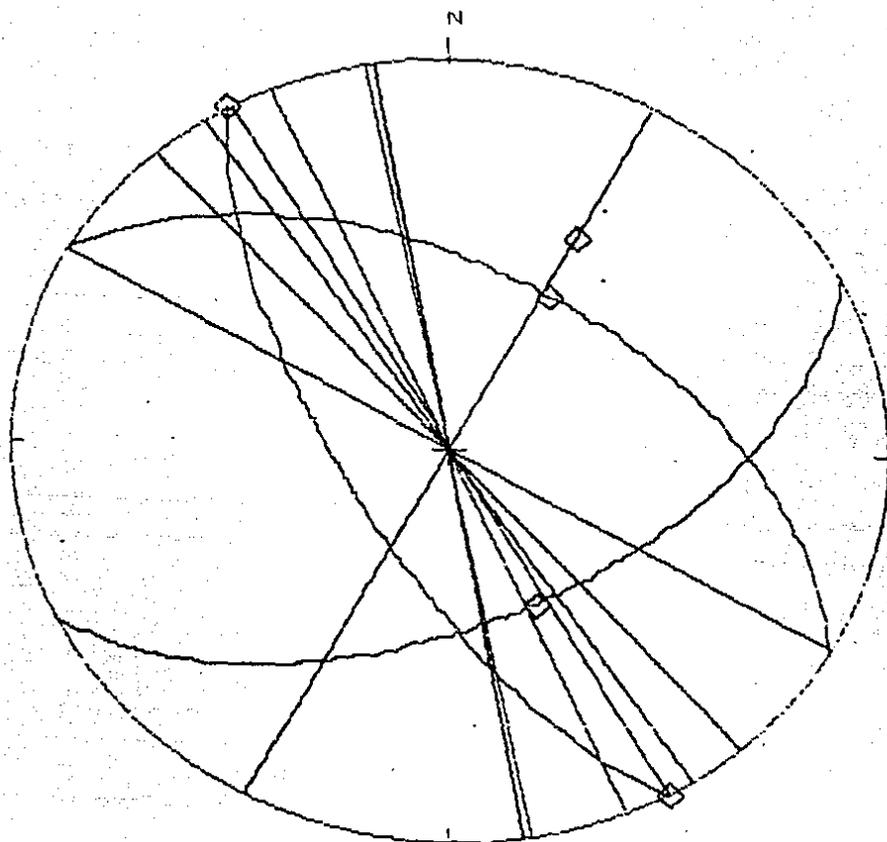


Figura 37. Fallas que afectan al Complejo Juárez en la zona próxima al plano de falla del Sector Coxcatlán, los rombos indican la dirección de las estrias (n=19).

deslizamiento de los depósitos por su proximidad al frente montañoso con pendientes fuertes.

Aparentemente la unidad más joven claramente afectada por el fallamiento es el Conglomerado Cuicatlan de edad Mioceno superior-Elioceno?

Al igual que en las otras fallas, se calculó la dirección aproximada de los esfuerzos que originaron el Sector Coxcatlan y las fallas antitéticas, como hay un cambio en la dirección de dichas fallas, se realizó el cálculo utilizando las fallas de la parte norte (E) y las de la parte sur (E') (Figura 37a), en general los resultados indican que el vector de compresión mínima es vertical a diagonal; en el último de los casos este sector sería una falla diagonal derecha.

Sector Tehuacan

A partir del área de Calipam la traza principal de la Falla de Oaxaca está cubierta por depósitos aluviales recientes. Al oriente de la Ciudad de Tehuacán aparentemente ya no hay fallamiento, pues los sedimentos lacustres de la Formación Tehuacán y el Conglomerado Cuicatlan que afloran al oriente de dicha ciudad están en posición horizontal. Al suroeste, en el camino a Zapotitlan Salinas, los depósitos lacustres presentan algunos sinclinales con flancos de pendiente suave, que pueden ser sinsedimentarios y no causados por la actividad de la falla.

Vivó (1973) opina que la Falla de Oaxaca se bifurca y se manifiesta topográficamente como los valles de Tecamachalco,

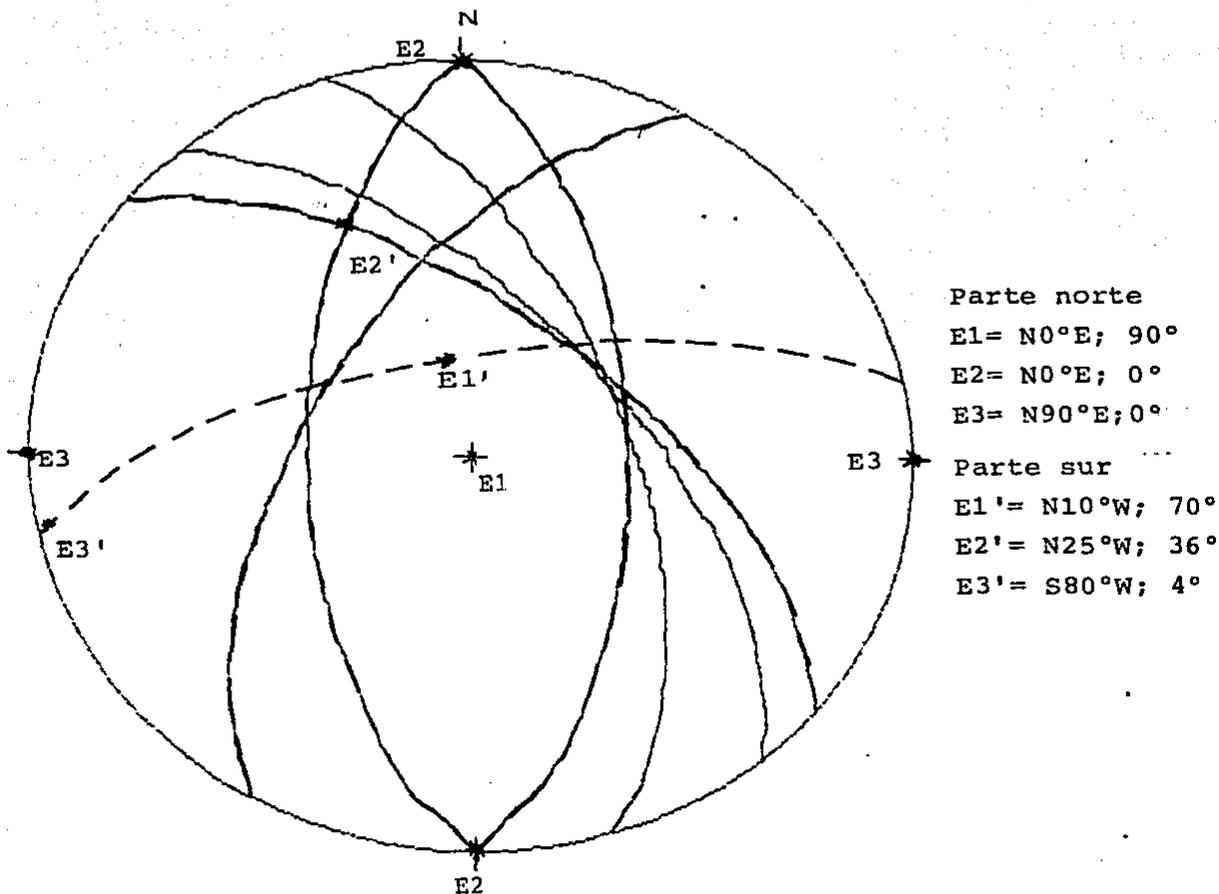


Figura 37a. Dirección de los esfuerzos locales calculados a partir de la geometría de los planos principales del Sector Coxcatlán y dos de las fallas antitéticas asociadas a ésta; $E1$ es el vector de máxima compresión y $E3$ es el vector de tensión compresión mínima.

Esperanza, Rio Blanco y Quecholac. El mismo autor considera que la actividad volcanica de la Sierra de Citlaltepetl y regiones circundantes esta asociada a dicho fallamiento.

Debido a la complejidad que presenta la Falla de Oaxaca en esta region, es conveniente que sea objeto de un estudio mas detallado; sin embargo la falta de una expresion lineal sugiere que no existe actividad tectonica reciente.

VI. MORFOTECTONICA

El estudio del relieve superficial provee de información importante acerca de los procesos dinámicos y permite un balance aproximado de la relación existente entre el régimen tectónico y el régimen de depósito-erosión de una región.

La utilización del análisis de las formas del terreno como herramienta en la interpretación de la evolución tectónica reciente de las regiones continentales, es una técnica que actualmente está en experimentación y que evoluciona rápidamente, la cual permite apreciar o calcular, con alguna aproximación, la edad y magnitud relativas de los últimos desplazamientos de grandes fallas (Mayer, 1986).

Para el análisis morfológico de la Falla de Oaxaca se utilizaron algunas técnicas aplicadas en la Provincia de Sierras y Cuencas (Anderson, 1977) y en la Falla de San Andrés en Estados Unidos (Bull y Mc Fadden, 1977; Bull, 1964) y en Rusia (Kostenko, 1975) como son: a) hipsometría, b) análisis de la disección, c) análisis de las vertientes, d) sinuosidad del frente montañoso y d) morfología de los abanicos aluviales. Este análisis tiene como objetivo el determinar de manera general la geometría, edad y sentido relativos de la Falla de Oaxaca.

a) Hipsometría

En el mapa hipsométrico (Lamina II) resalta claramente el brusco

contraste altimétrico entre los valles y las Sierras de Juárez y Mazateca, de lo cual se infiere que en la Falla de Oaxaca el desplazamiento en sentido vertical ha sido muy alto. Hay una diferencia altimétrica menor entre los valles y las sierras que los delimita al poniente (Sierras de la Mixteca), aparentemente esto se debe a que las fallas que contribuyeron a su formación tuvieron desplazamientos de menor magnitud y/o de mayor edad.

d) Análisis de la disección

El clima determina el tipo genético de los procesos exógenos, pero no la intensidad de los mismos. Consecuentemente, la velocidad de los procesos exógenos (en ciertas condiciones) es proporcional a la velocidad de los movimientos de la corteza terrestre.

Los periodos de incremento de la velocidad de levantamiento en una región dada corresponden a un aumento en las pendientes de los ríos y de las vertientes; en cambio, los periodos de disminución de las velocidades de levantamiento provocan el fenómeno contrario (Kostenko, 1975, p. 45).

Para el análisis de la disección de la región afectada por la Falla de Oaxaca, se elaboró la carta de disección del relieve en plano vertical (Figuras 38).

En esta carta puede observarse que los valores más altos de disección se presentan en el bloque oriental de la falla, donde llegan a 2000 m de profundidad.

Longitudinalmente se presentan diferencias en el grado de disección de las Sierras de Zongolica, Mazateca y de Juárez. Existe

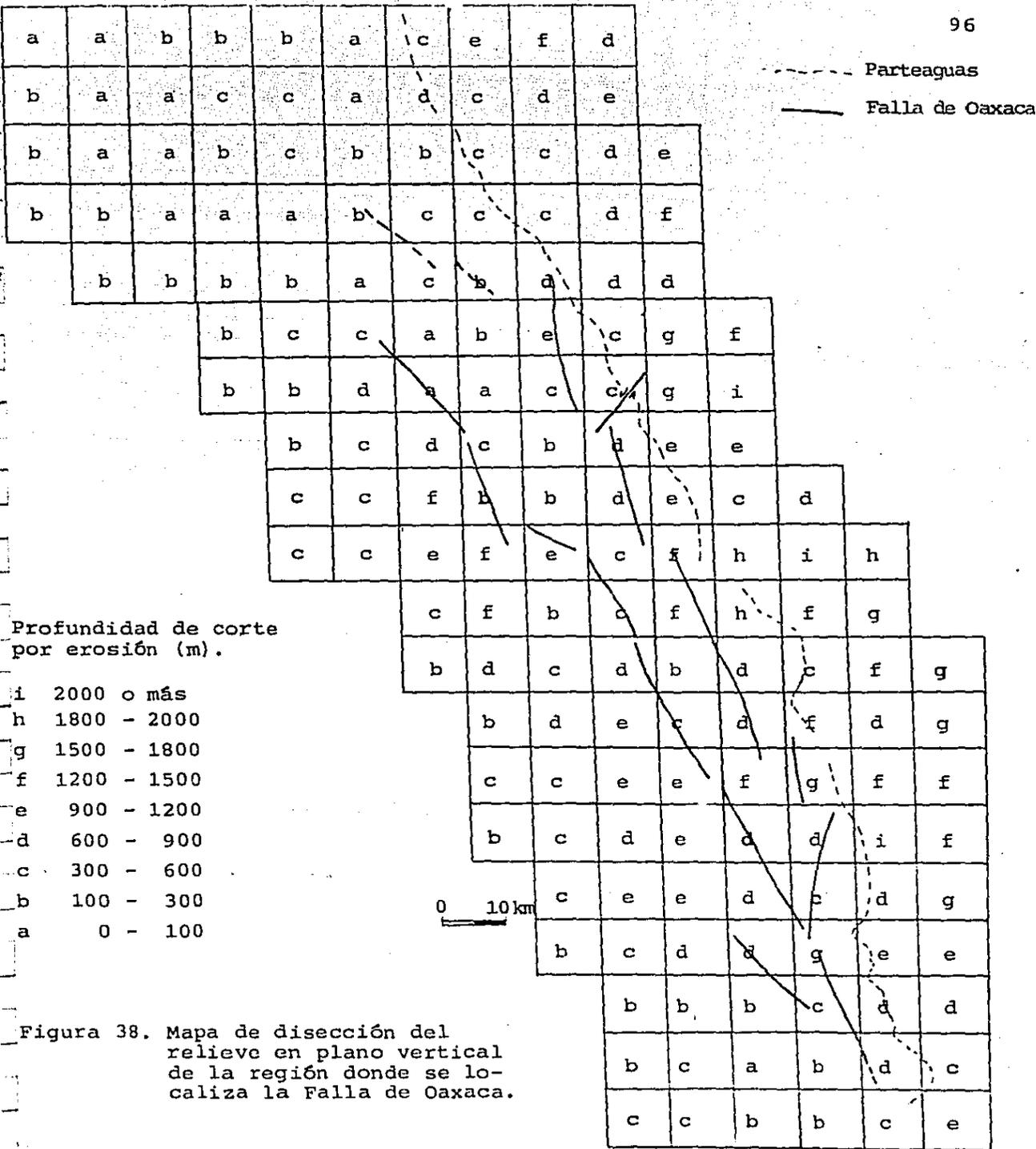


Figura 38. Mapa de disección del relieve en plano vertical de la región donde se localiza la Falla de Oaxaca.

la posibilidad de que esta diferencia en el nivel de erosión refleje una tasa de levantamiento diferente para cada sector de la falla. Los bloques con mayor profundidad de la disección se encuentran en la parte central, asociados con los sectores Dominguillo-Teotitlán y Jayacatlán.

Las sierras del lado occidental de los valles también tienen una disección alta, pero no rebasa los 1400 m, lo cual puede indicar que fue originada por velocidades altas de levantamiento, pero a su vez, menores que las velocidades de las Sierras de Juárez y Mazateca. En las partes altas de las sierras del occidente el grado de disección es menor que en las laderas próximas a los valles. Es probable que esta disección represente al drenaje antiguo heredado.

Las diferencias en el grado de disección pueden observarse también en las secciones transversales a los causes principales de la región (Figura 39). Dichas secciones están ubicadas a 1.5 km corriente arriba, a partir de la base de las sierras. En las sierras de Zongolica, Mazateca y de Juárez (Figura 39, columna a) se presentan perfiles en forma de V y con menor amplitud que los perfiles de las Sierras de la Mixteca (Figura 39, columna b). Como puede observarse en ambas columnas, la disección es mayor en la parte central que en los extremos norte y sur.

En los valles se encuentran los valores más bajos de disección, esto puede interpretarse como: a) que el drenaje de los valles es más joven y que actualmente toda la región está sometida a un régimen de levantamiento general y de igual magnitud o, b) que

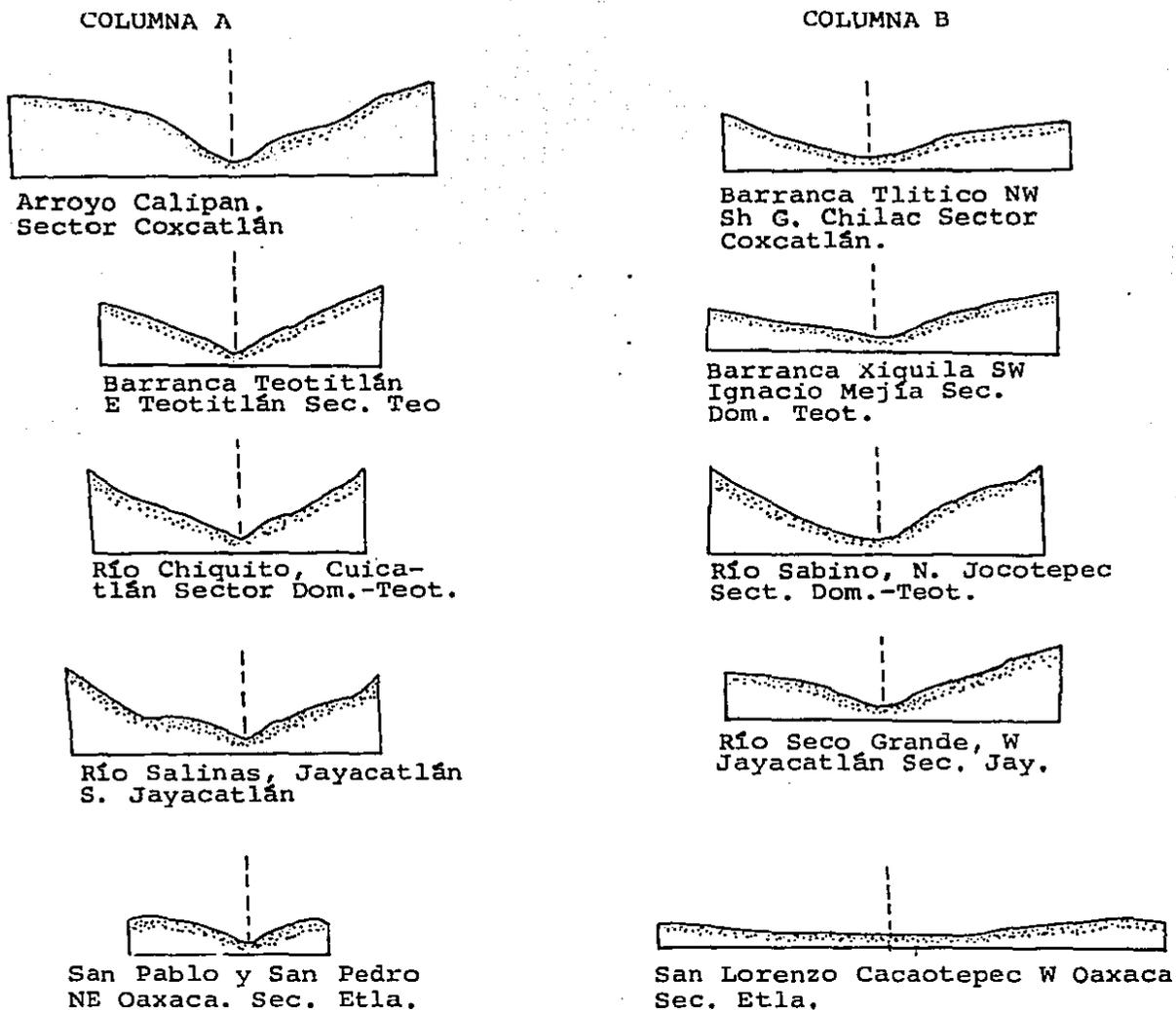


Figura 39. Secciones transversales a los arroyos (en las sierras Mazateca y de Juárez (Columna A) y en las sierras de la Mixteca (Columna b). La escala vertical y horizontal es 1:50,000, las secciones están orientadas aproximadamente N-S.

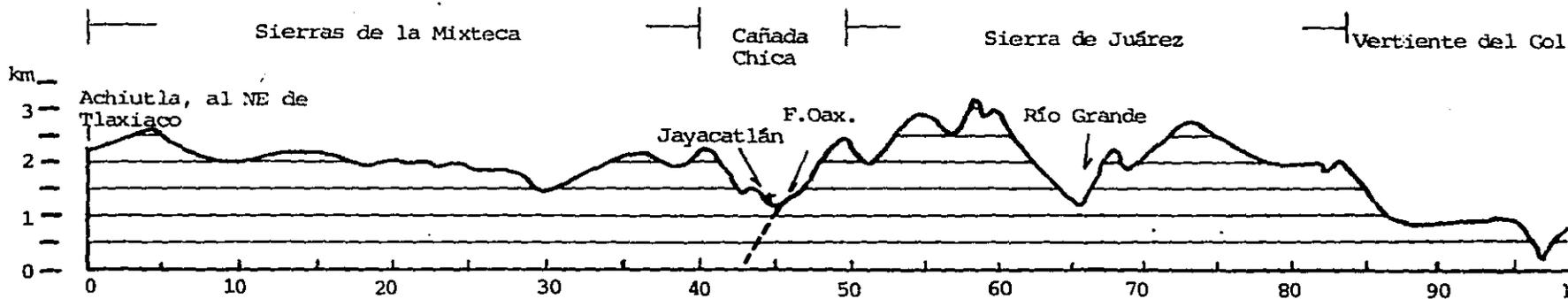
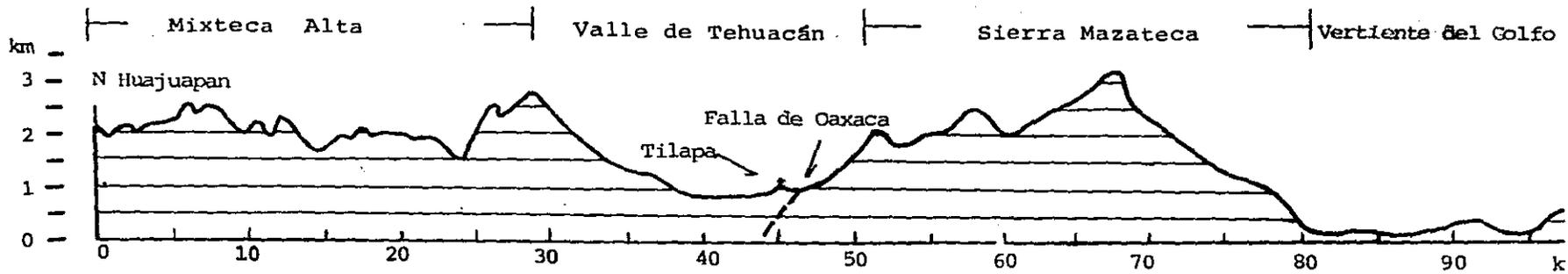


Figura 40. Secciones topográficas regionales con escala vertical exagerada y orientación SW-NE, transversales a la dirección de la Falla de Oaxaca.

la disección es menos profunda porque los valles presentan una velocidad menor de levantamiento que las sierras circundantes.

En los perfiles topográficos regionales de la figura 40 es posible apreciar el contraste entre el relieve relativamente poco disectado y de menor altitud de la Mixteca y la mayor altitud y disección de las sierras de Juárez y Mazateca; una probable explicación a esta diferencia es que la tasa de levantamiento de las Sierras de Juárez y Mazateca fue mayor que en las Sierras de la Mixteca. La depresión de la parte central corresponde a la Cañada y el Valle de Tehuacán, originados por la actividad de la Falla de Oaxaca.

c) Análisis de las vertientes.

Para inferir en forma aproximada la evolución del plano principal de la Falla de Oaxaca se elaboraron varios perfiles topográficos transversales a la falla (Figura 41), además se analizó la configuración de las curvas de nivel en las cartas topográficas y complementando con algunas observaciones de campo se encontraron las siguientes características:

Aunque el bloque montañoso ha sido intensamente atacado por la erosión, es posible distinguir en la mayoría de los perfiles topográficos, que está constituido por una serie de escalones; en general se pueden diferenciar de 2 a 3 de estos. En la mayor parte de los casos, la pendiente del escalón más elevado es menor que la pendiente del escalón próximo al valle (Figura 41).

En las cartas topográficas es posible distinguir en las zonas

SW

NE

10

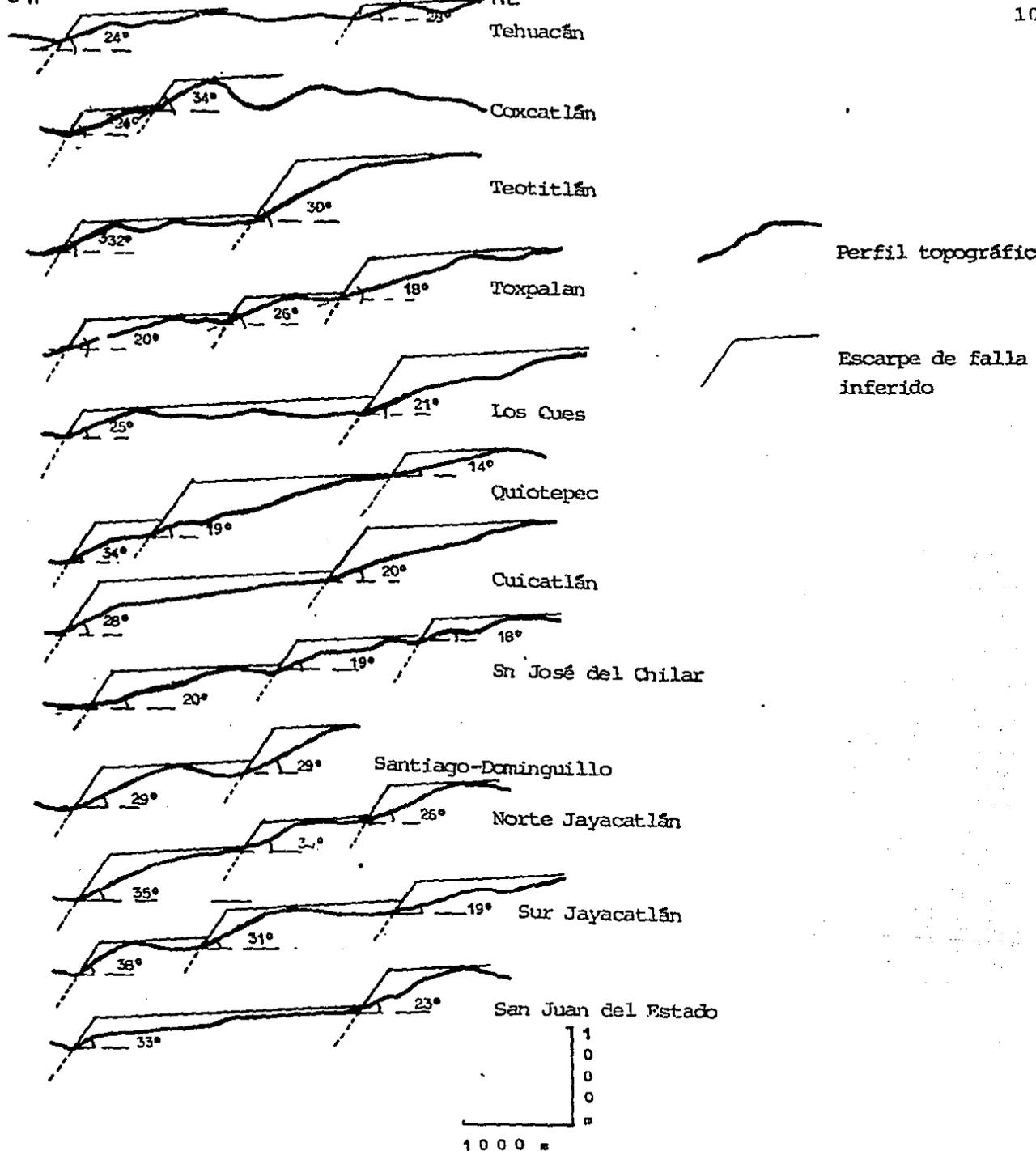


Figura 41. Perfiles topográficos del frente montañoso occidental de las Sierras de Juárez y Mazateca, escala 1:50,000.

menos erosionadas, sectores de poca pendiente que probablemente son remanentes de pedimentos antiguos (ver ejemplo en Figura 44); estos sectores se presentan a diferentes altitudes y coinciden con los escalones observados en los perfiles topográficos.

En el campo se observaron en algunos casos facetas triangulares entre uno y otro nivel de pedimentos, originadas tal vez por antiguos planos de falla actualmente erosionados. Por la densidad de la vegetación fue imposible comprobar si estos cambios de pendiente se asocian a zonas de falla; solo en el camino de Teotitlán a Huautla fue posible reconocer una zona de falla que coincide con uno de estos escalones.

Al norte de San Juan del Estado, en la cima del escarpe de la Falla Etlá, en el primer pedimento ilustrado en la figura 41, se encontraron cantos subangulosos aparentemente de la Formación Yoganá y de la Secuencia Marina Cretácica, dichas unidades actualmente están en las partes más bajas del valle; es probable que dichos cantos sean los últimos testigos de la existencia de alguna de las unidades conglomeráticas en dicho nivel, no se pudo definir si pertenecen al Conglomerado A o al conglomerado que sobreyace a la Formación Suchilquitongo; sin embargo, dichos cantos son evidencia de movimiento vertical en la falla, ya que las unidades antes mencionadas se encuentran 120 m abajo del pedimento.

Algunos de estos escalones corresponden con los lineamientos observados en imágenes de satélite (Figura 19).

Como complemento de este análisis se elaboraron perfiles a lo largo de ríos transversales a la falla (Figuras 42 y 43). En el

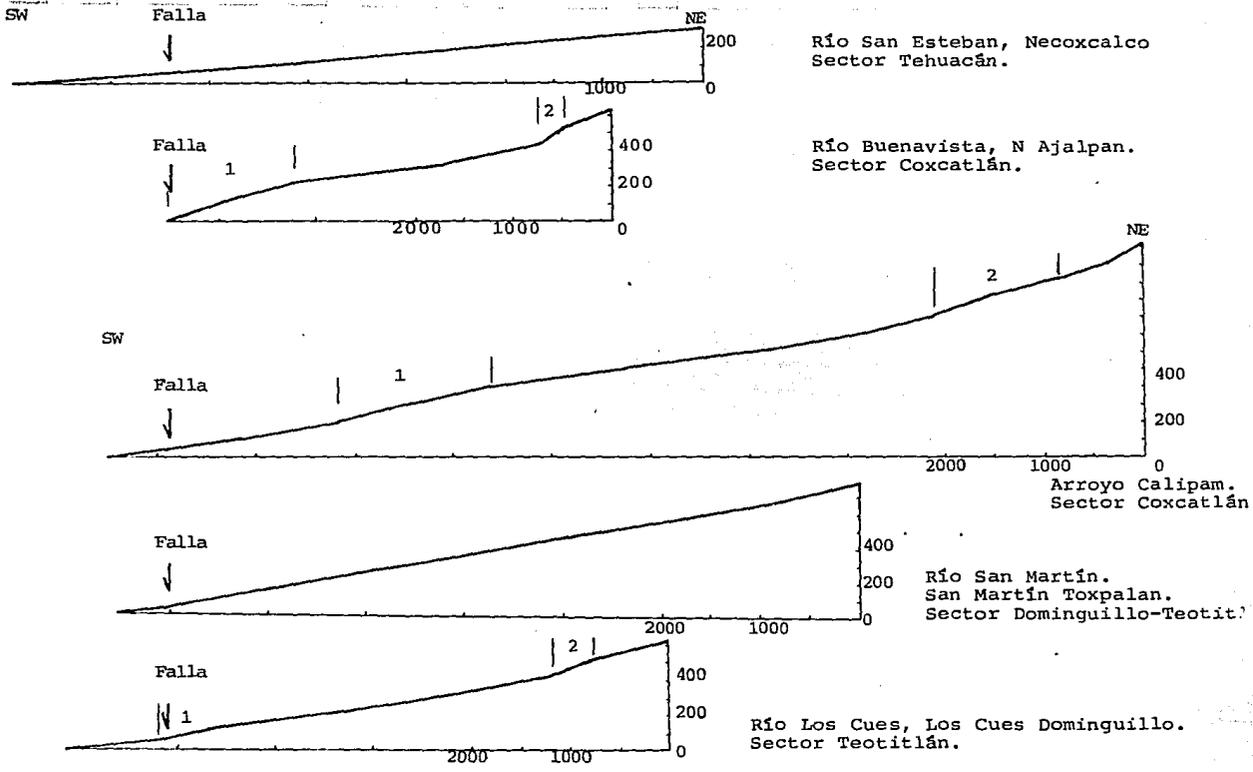


Figura 42. Perfiles de los cauces transversales a la Falla de Oaxaca en sus diferentes sectores (escala en metros). Los números indican las zonas de cambio de pendiente.

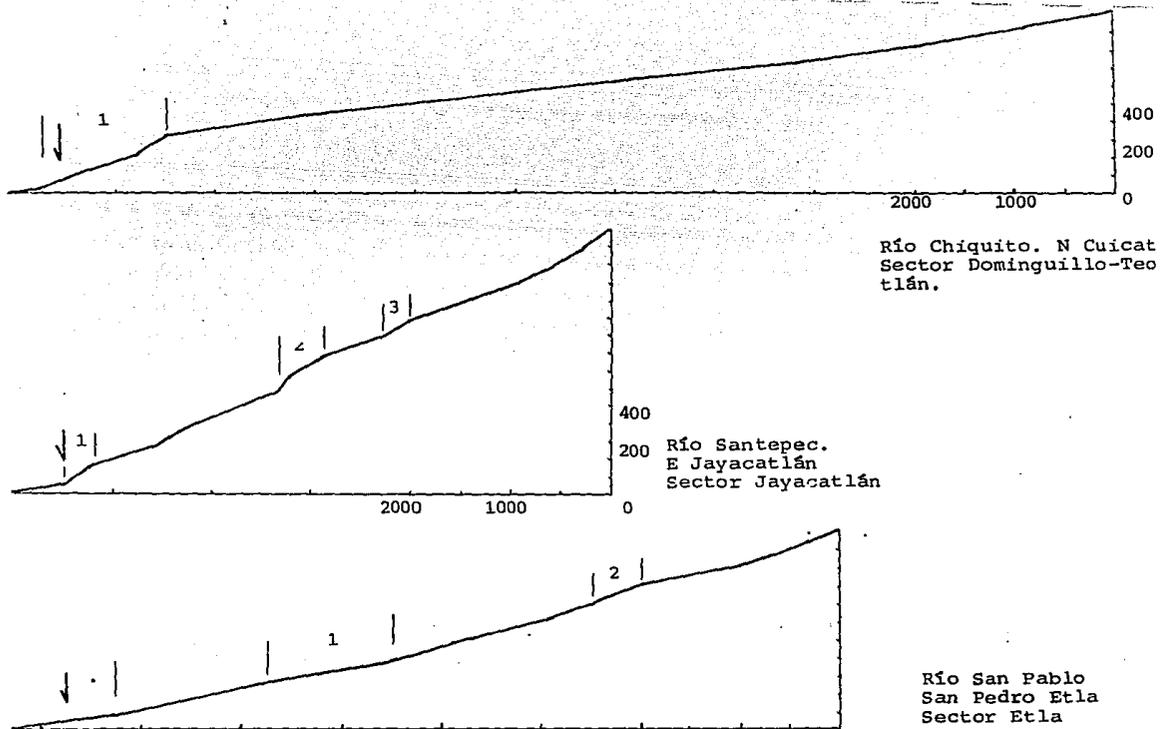


Figura 43. Perfiles de los cauces transversales a la Falla de Oaxaca en sus diferentes sectores (escala en metros) los números indican las zonas de cambio de pendiente.

Sector Etlá hay dos ligeros cambios en la pendiente; en el Sector Jayacatlán se distinguen entre dos y tres cambios fuertes de pendiente; en el Sector Dominguillo-Tecomavaca es claro el cambio de pendiente asociado al escarpe de falla localizado en la base de la sierra, hay también otro ligero cambio en la parte media. Para el Sector Coxcatlán se observan dos cambios y en el Sector Tehuacán no hay cambio en la pendiente.

En los perfiles topográficos transversales a los dos ríos más caudalosos de la región (Río Santo Domingo y Río Grande), se presentan también de dos a tres escalones y superficies de nivelación amplias (Figura 44).

A partir de estas características puede inferirse que tal vez el levantamiento de la cadena montañosa se llevó a cabo por movimientos intermitentes (de dos a tres periodos de estabilidad alternados con periodos de tasas elevadas de levantamiento); Este levantamiento pudo haberse desarrollado con todo el desplazamiento concentrado en un plano de falla, o bien con un avance del plano de falla principal hacia el valle en cada periodo de actividad.

Hay una gran probabilidad de que los escalones observados en los perfiles topográficos sean remanentes de zonas de falla; en la figura 41 esta representada con línea fina la probable distribución de estos planos de falla antes de ser afectados por la erosión. Es difícil determinar si estos planos de falla actuaron a la vez o son de diferentes edades. Por la diferencia de pendiente que presentan y el fuerte cambio de pendiente en los cauces de los ríos en la base de las sierras (en particular en los sectores centrales de la

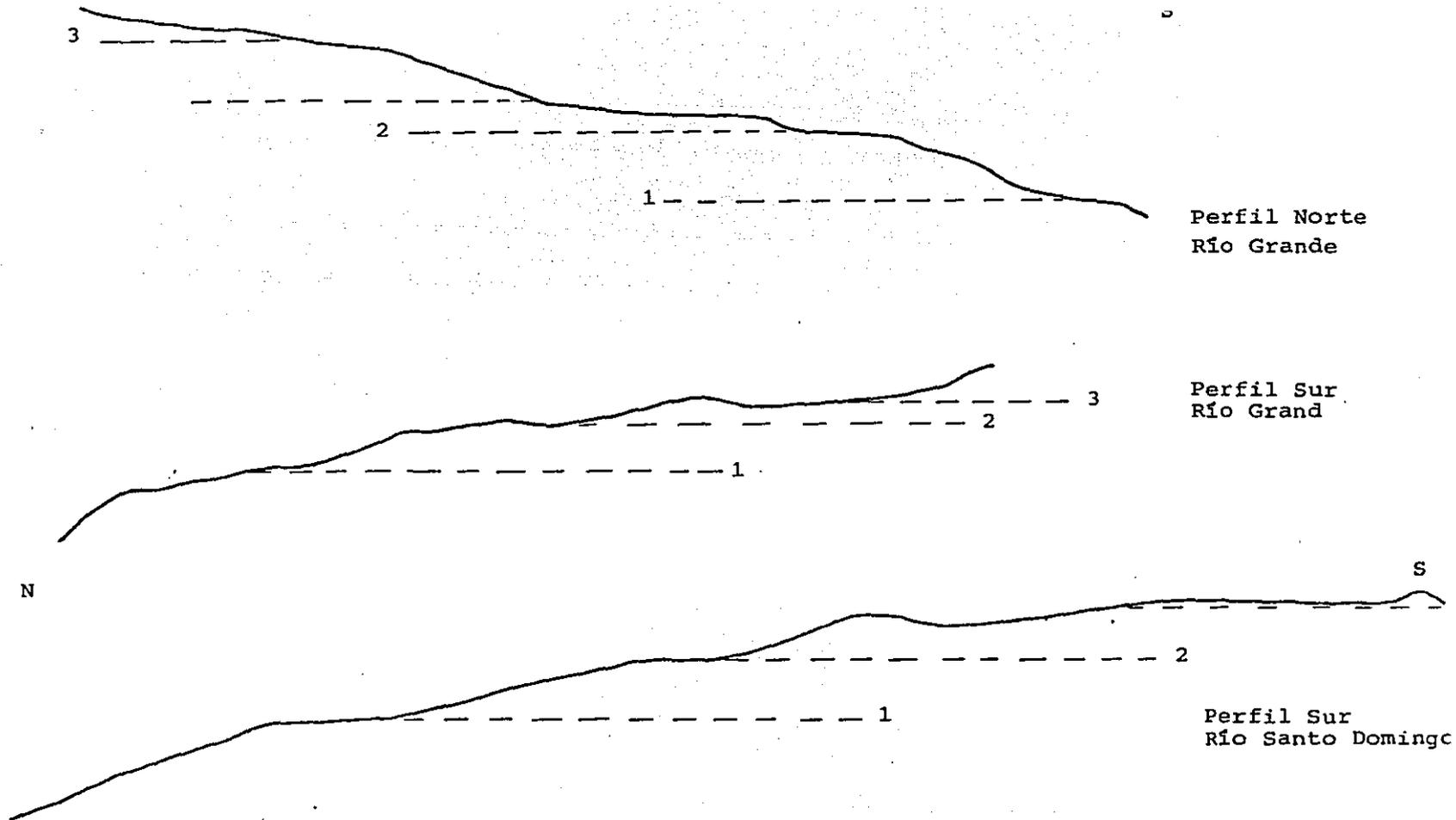


Figura 44. Perfiles topográficos transversales a los cauces principales de los Ríos Grande y Santo Domingo, en las Sierras de Juárez y Mazateca. Los perfiles son aproximadamente paralelos a la Falla de Oaxaca. Los números indican las superficies de nivelación (esc. V. y H. 1:50,000).

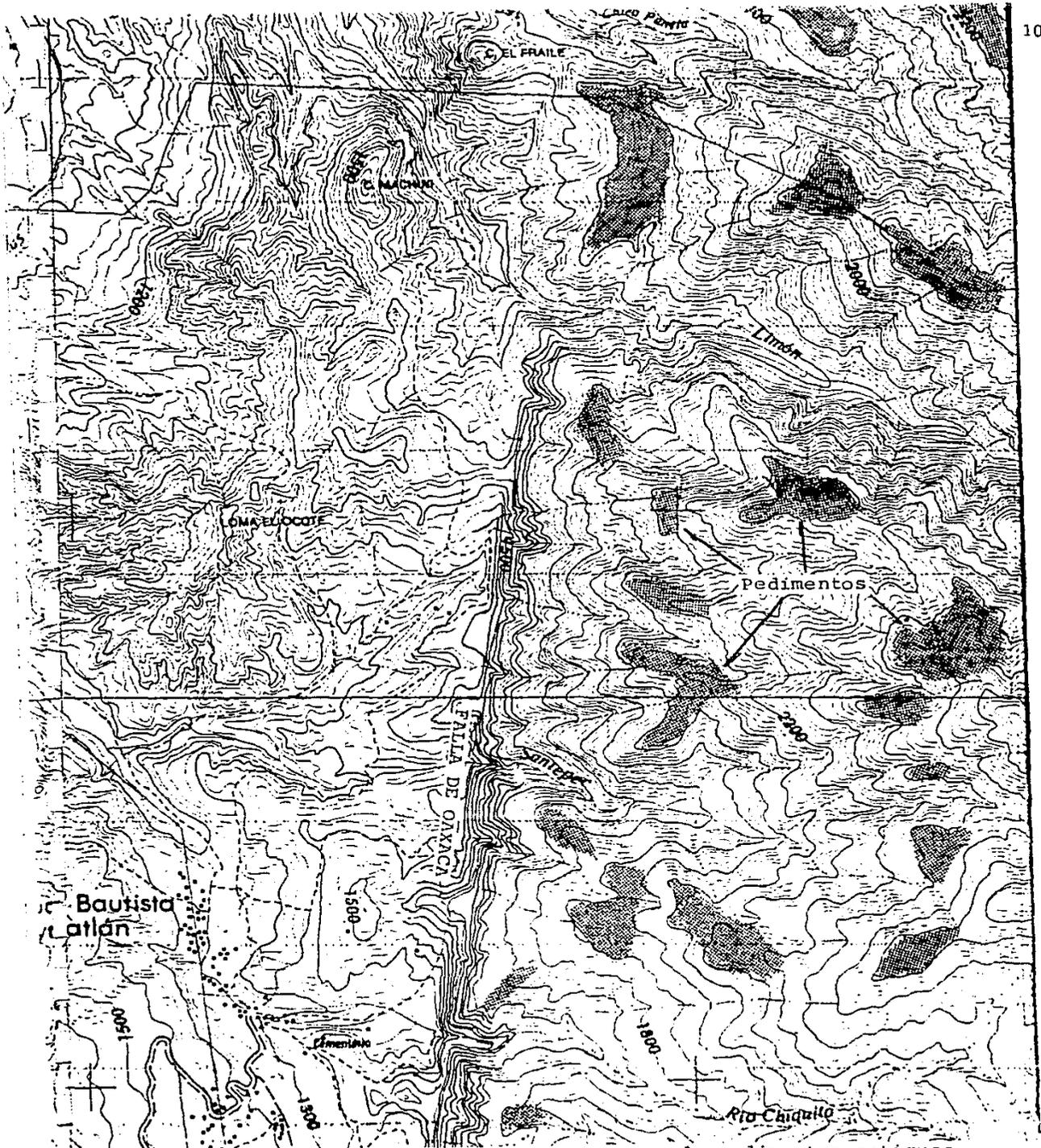


Figura 45. Distribución de los remanentes de pedimentos antiguos en la Faja Jayacatlán.

folla), es mas probable que las fallas que se encuentran a mayor altitud sean mas antiguas que las que se encuentran a la altura del valle.

Por las similitudes geomorfológicas entre la Falla Wasatch en Utha (Anderson, 1977), Estados Unidos y la Falla de Oaxaca, quizás pueda considerarse como hipótesis a comprobar en futuros trabajos de campo, el modelo de evolución de dicha falla en la Falla de Oaxaca.

En la Falla Wasatch el levantamiento de la sierra ocurre como en la secuencia mostrada en la figura 46. En A y B esta representada la primera fase de fallamiento, a la vez, la erosión empieza a destruir el plano de falla; en C y D el plano A se inactiva y se inicia un nuevo fallamiento adelante del antiguo plano produciendo un nuevo escalón, el plano de la primera falla ha sido erosionado, originando facetas triangulares; en E y F se repite el proceso de A y B; en G se inicia un tercer fallamiento, formando un nuevo escalon. El modelo geomorfológico de H es parecido a la morfología actual del frente montañoso de las sierras de Juárez y Mazateca (de la figura 47 a la 51).

d) Sinuosidad del frente montañoso.

Bull y Mc Fadden (1977) dedujeron a partir de los rasgos morfológicos de cadenas montañosas con altas tasas de levantamiento actualmente, el índice de sinuosidad del frente montañoso, el cual representa la relación existente entre la erosión y la edad del último movimiento. Los autores suponen que cuando ocurre un

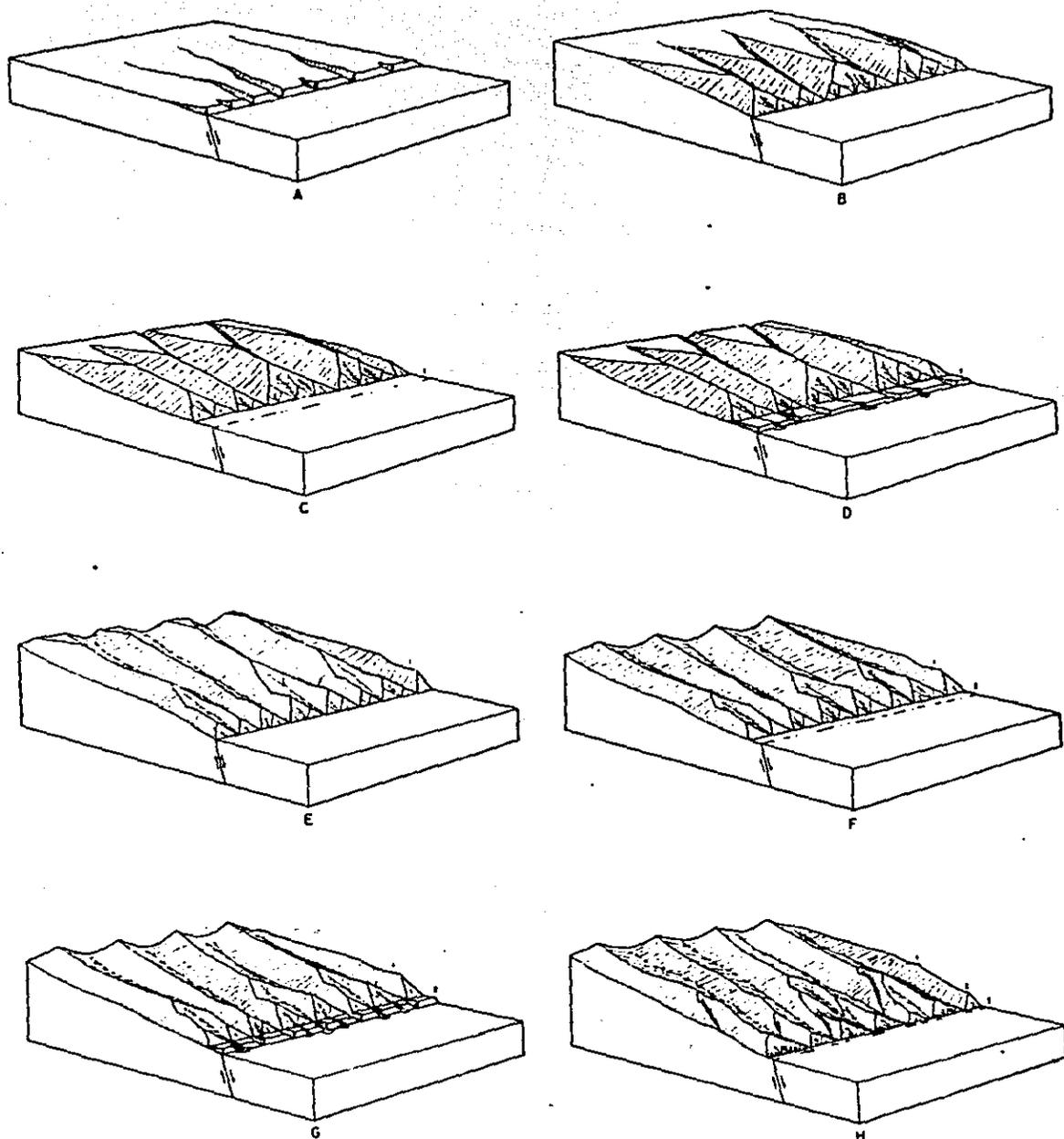


Figura 46. Modelo conceptual del desarrollo de pedimentos y evolución de la geomorfología de la Falla Wasatch, Utha, la actividad de dicha falla es en forma intermitente (Anderson, 1977).

desplazamiento, la base del plano de falla es una línea recta y que conforme pasa el tiempo, la erosión actúa y va haciendo al plano de falla cada vez más sinuoso.

Según sus observaciones, los valores entre 1.01 y 1.14 son característicos de frentes montañosos tectónicamente activos en la Falla de San Andrés.

Este método se aplicó en la base de los escarpes de falla que constituyen al sistema de la Falla de Oaxaca, los valores obtenidos son:

Falla	base
Etla.....	1.36
Jayacatlán.....	1.13
Dominguillo-Teotitlán	
región central.....	1.34
Dominguillo-Teotitlán	
región de Teotitlán.....	1.20
Coxcatlán.....	1.51
Tehuacán.....	no se distingue el plano de falla.

Como puede observarse únicamente los valores obtenidos en el sector de Jayacatlán se encuentra próximos a los valores de zonas activas, ya que su expresión es casi lineal (Figura 48). En cambio en los otros sectores, la traza de la falla es menos clara (Figuras 47, 49, 50 y 51).

Tomando en consideración que la litología que constituye al plano de falla es más o menos uniforme en todos los sectores (milonitas del Complejo Juárez) y que las condiciones climáticas en



Figure 47. Expresión topográfica de la Falla FÉla.



Figura 48. Expresión topográfica de la Falla Jayacatlán.

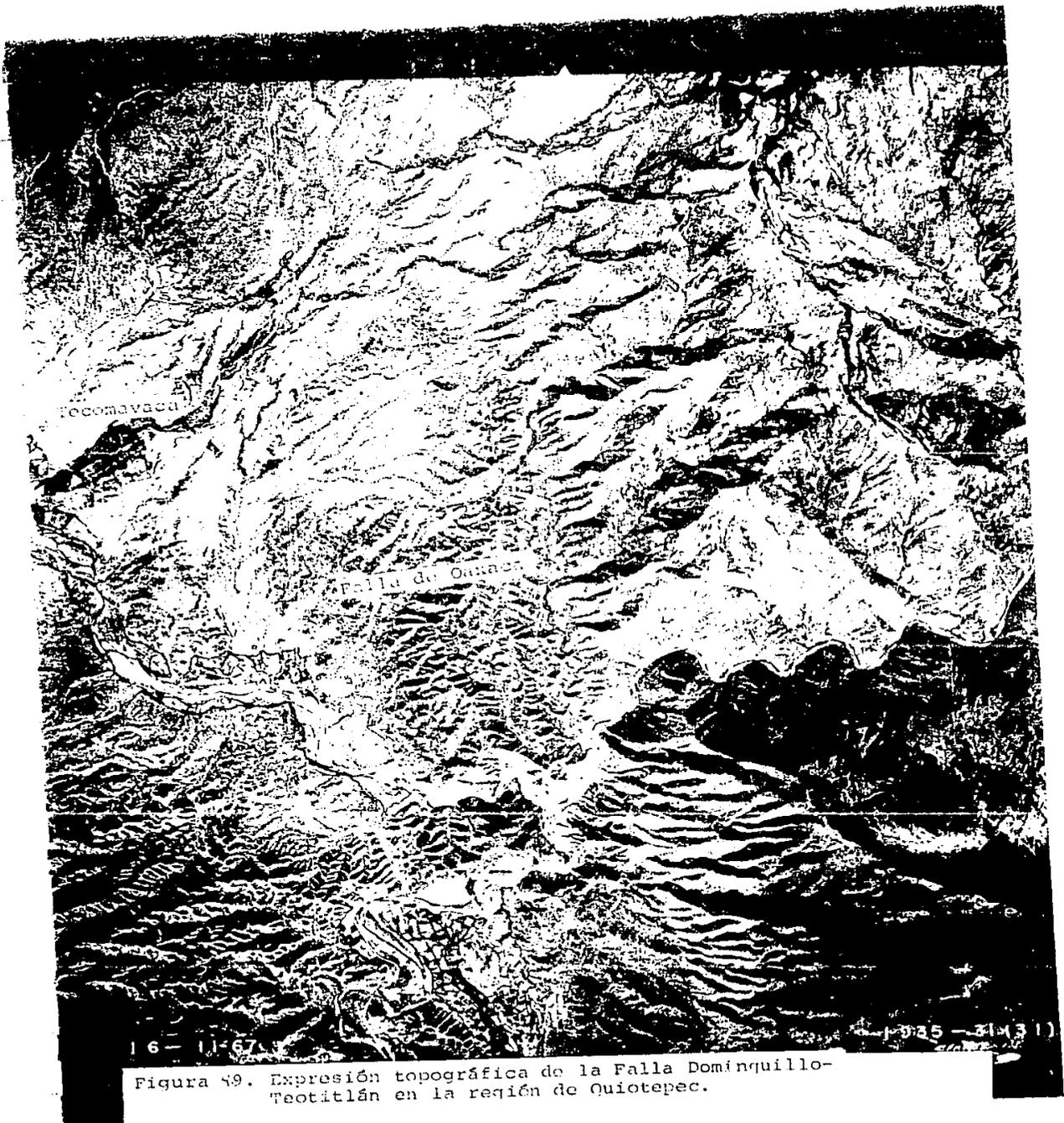


Figura 49. Expresión topográfica de la Falla Dominiquillo-Teotitlán en la región de Quiotepec.

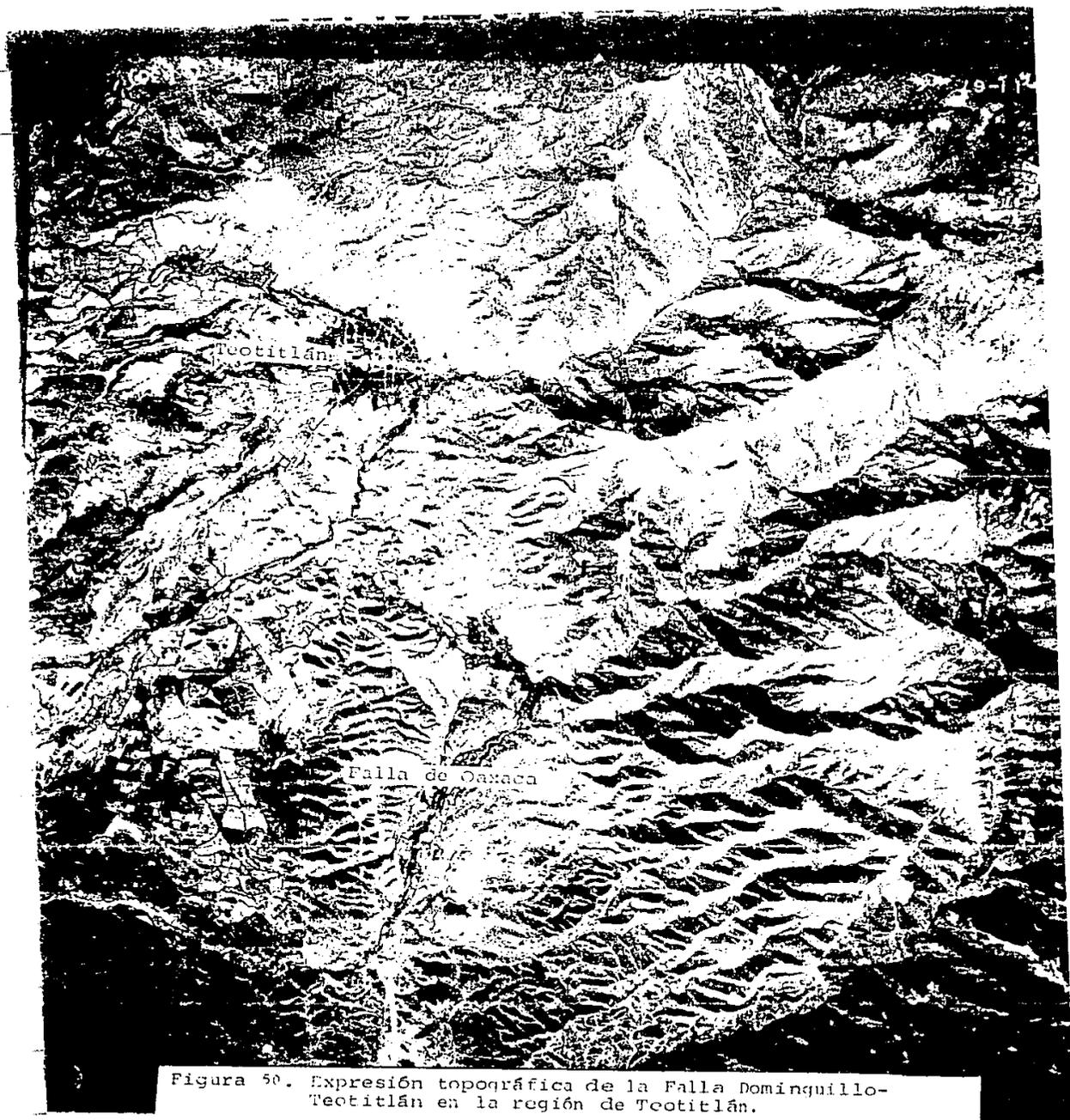
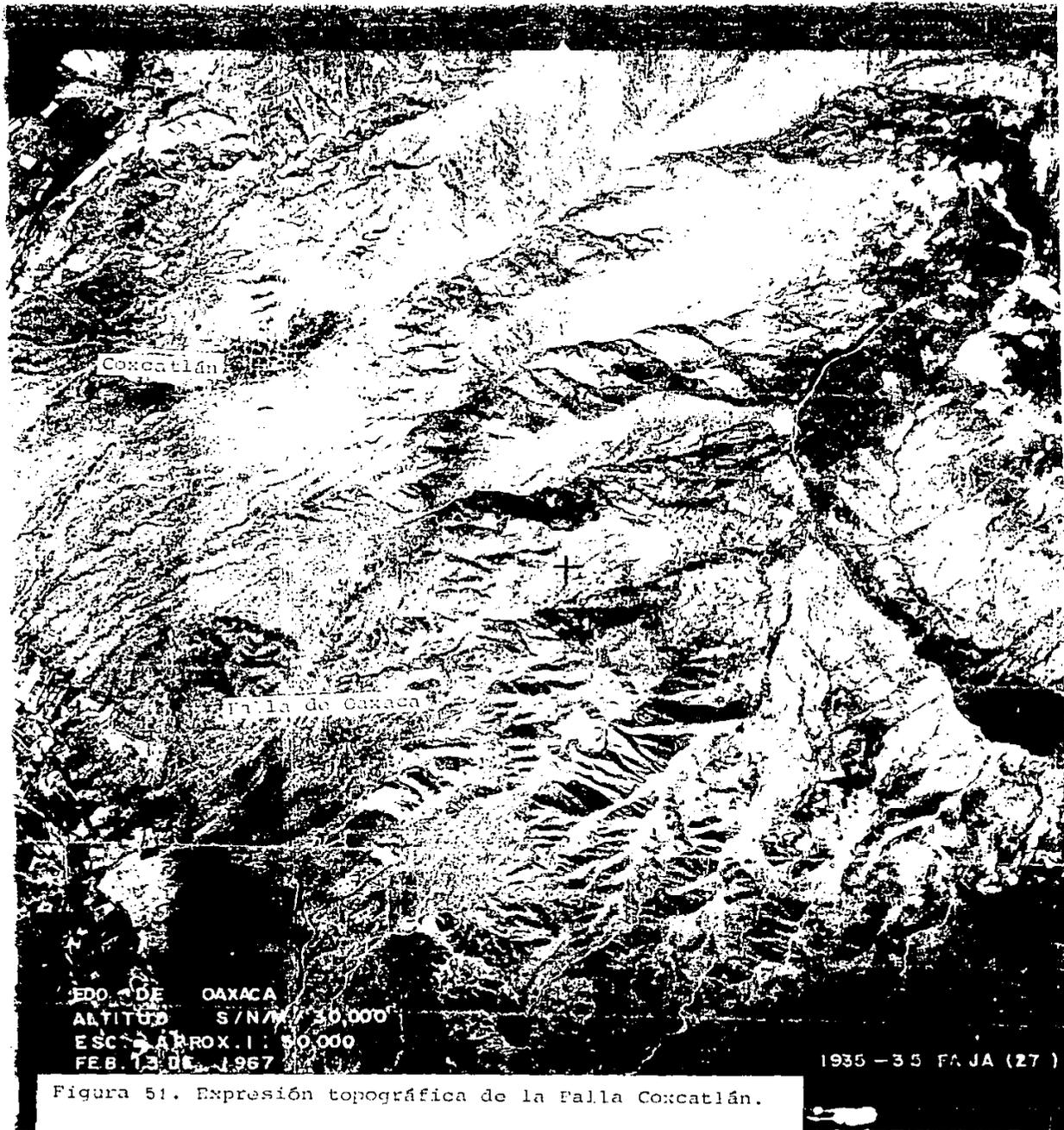


Figura 50. Expresión topográfica de la Falla Dominguillo-Tootitlán en la región de Tootitlán.



cada uno de estos son aproximadamente las mismas (el sector con mayor humedad es el Jayacatlán), puede sugerirse que las diferencias en la morfología de los escarpes se deban tal vez a diferencias en la edad del último periodo de desplazamiento de cada falla. De ser así, se puede proponer el siguiente orden cronológico de la actividad de dichas fallas:

Falla Jayacatlán (más joven)

Dominguillo-Teotitlán, región de Teotitlán

Dominguillo-Teotitlán, región de Quiotepec

Falla Etla

Falla Coxcatlán (más vieja)

Al aplicar esta fórmula a fallas localizadas en otros sitios fuera de la zona para la cual fueron calculadas por Bull y Mc Fadden, los valores obtenidos presentan un grado de confiabilidad muy bajo debido a que la resistencia de la roca a la erosión y las condiciones climatológicas son diferentes para cada lugar.

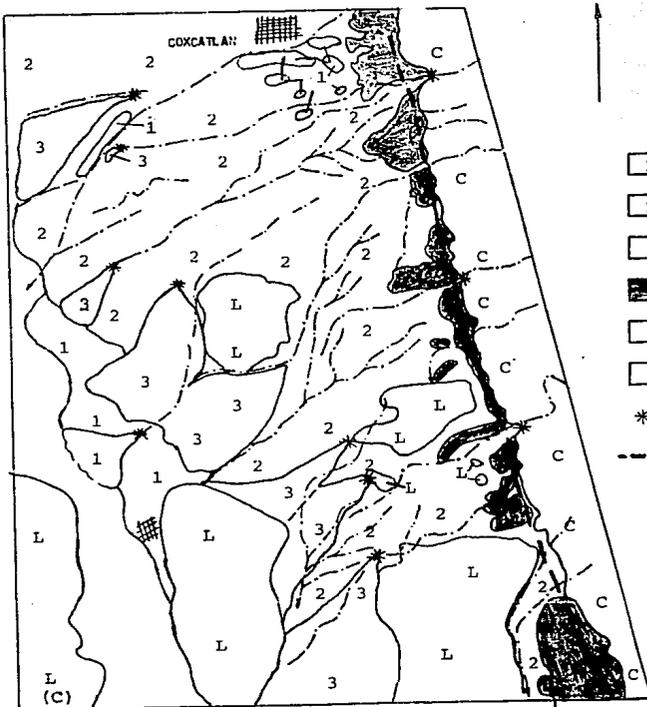
Otro hecho que corrobora el orden cronológico es el que en la Falla Jayacatlán sea la única donde todavía se forman cascadas altas en el plano de falla (Fotos 41 y 42); en cambio en las otras fallas los escasos saltos de agua que se presentan son de poca magnitud y han retrocedido del plano de falla por erosión. En las figuras 42 y 43 puede observarse esta diferencia morfológica.

e) Morfología de los abanicos aluviales

La morfología de los abanicos aluviales es un indicador más de la actividad tectónica, principalmente cuando un frente montañoso

actúa como una falla normal; cuando la tasa de levantamiento del frente montañoso es relativamente mayor que el grado de disección, se forman abanicos aluviales cuya cabeza se encuentra al pie del frente montañoso, en este caso los abanicos más jóvenes se depositarán encima de los más viejos (Figura 52, a). Si la tasa de levantamiento es menor que el grado de disección o no hay levantamiento de la zona montañoso, la cabeza del abanico va retrocediendo y se introduce en el frente montañoso, en este caso los abanicos más jóvenes se depositarán adelante de los más viejos (Figura 52, b) (Bull, 1964).

Coxcatlán es el único sector de la Falla de Oaxaca donde se presentan abanicos aluviales bien desarrollados. En la zona afloran algunos cuerpos aislados de la Formación Tehuacán y los Conglomerados Cicatlán y Teotitlán, los cuales están cubiertos por tres generaciones de abanicos aluviales de diferente edad: de los más antiguos solo se conservan algunos remanentes cerca de la población de Coxcatlán; estos fueron erosionados y cubiertos por el segundo grupo de abanicos. La cabeza de los abanicos de este segundo grupo se encuentra ligeramente atrás del plano de falla (Figura 52, c). Los abanicos más jóvenes empiezan a desarrollarse adelante de los más antiguos y su distribución es similar a la observada en la figura 52, b; esto puede interpretarse como, a) que en esta región la zona montañoso no se ha levantado en los últimos miles de años y que por lo tanto la Falla de Oaxaca se ha mantenido inactiva en este periodo, o bien b) que si hay actividad, pero esta es menor que el grado de disección.



Esc. 1:50,000

- 3 Abanico 3 (+reciente)
- 2 Abanico 2
- 1 Abanico 1 (+antiguo)
- Cg. Teotitlán
- L Fm. Tehuacán
- C Complejo Juárez
- * Cabeza del Abanico
- Falla de Oaxaca

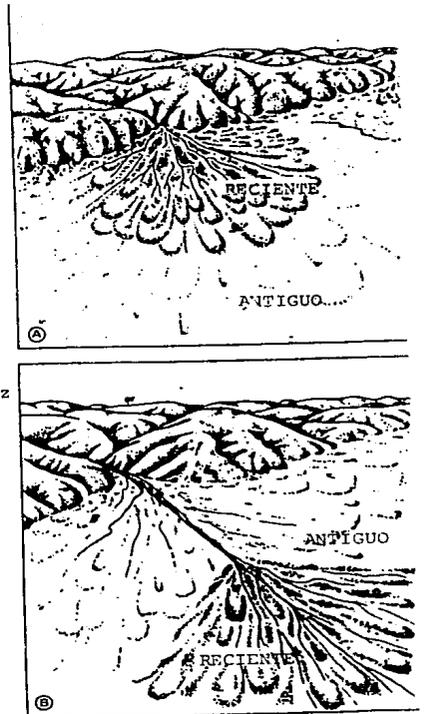


Figura 52. a) morfología de los abanicos aluviales en zonas con actividad tectónica; b) morfología de los abanicos aluviales en zonas inactivas; c) distribución de los abanicos aluviales en la región de Coxcatlán.

VII. SISMOTECTONICA

INFERENCIAS SOBRE LAS CARACTERISTICAS DE LA CORTEZA EN EL AREA DE LA FALLA DE OAXACA.

Utilizando la Carta Gravimétrica de Oaxaca (Mena, 1987), donde se ubico la Falla de Oaxaca (Figura 53), se construyeron a partir de las curvas de las anomalias de Bouguer configuradas en dicho mapa tres secciones transversales a la falla (Figura 54).

En los tres perfiles (Figura 54) se manifiesta a la altura de la Falla de Oaxaca un bajo gravimétrico; también hay un claro contraste entre los valores gravimétricos a ambos lados de la falla, en el lado occidental que corresponde al terreno Zapoteco los valores presentan una pendiente relativamente suave. En cambio, en el lado oriental de la falla que pertenece al terreno Cuicateco hay un cambio brusco a pendientes muy fuertes. Este comportamiento de los datos gravimétricos puede indicar que existe un fuerte contraste en la composición y espesor de la corteza entre cada terreno.

Con el fin de determinar la estructura de la corteza en el sur de Mexico, el Instituto de Geofísica (UNAM), realizó dos secciones sísmicas de refracción; la primera es aproximadamente perpendicular a la costa (sección A-A', figuras 55 y 61), desde Pinotepa Nacional, Oaxaca hasta el lago de Alchichica, al poniente de Ciudad Serdán, Puebla, cuya interpretación fue elaborada por Valdes y colaboradores (en prensa). La segunda sección tiene un rumbo casi

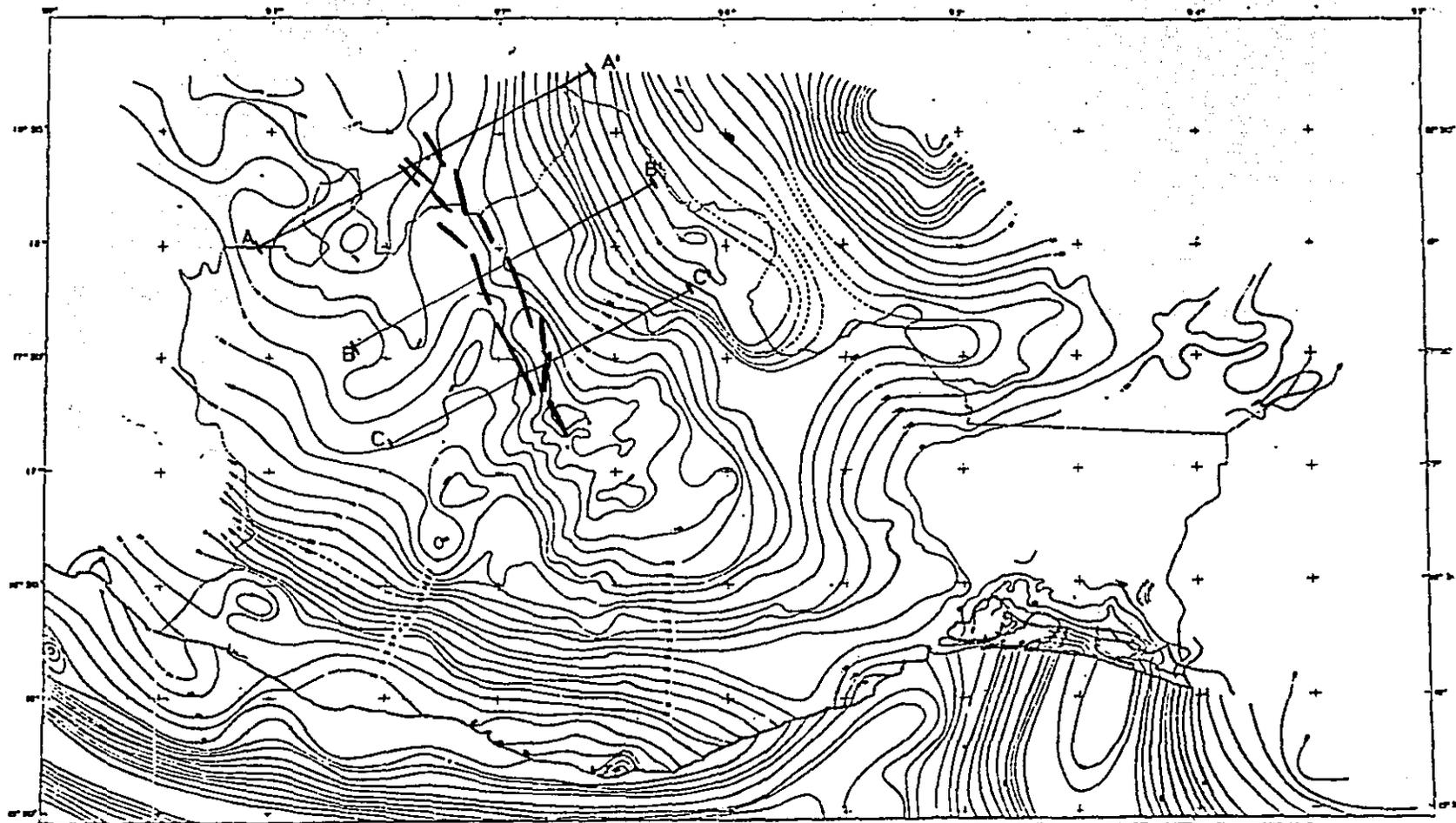


Figura 53.- Carta Gravimétrica del Estado de Oaxaca y localización de la Falla de Oaxaca (Mena, 1987).

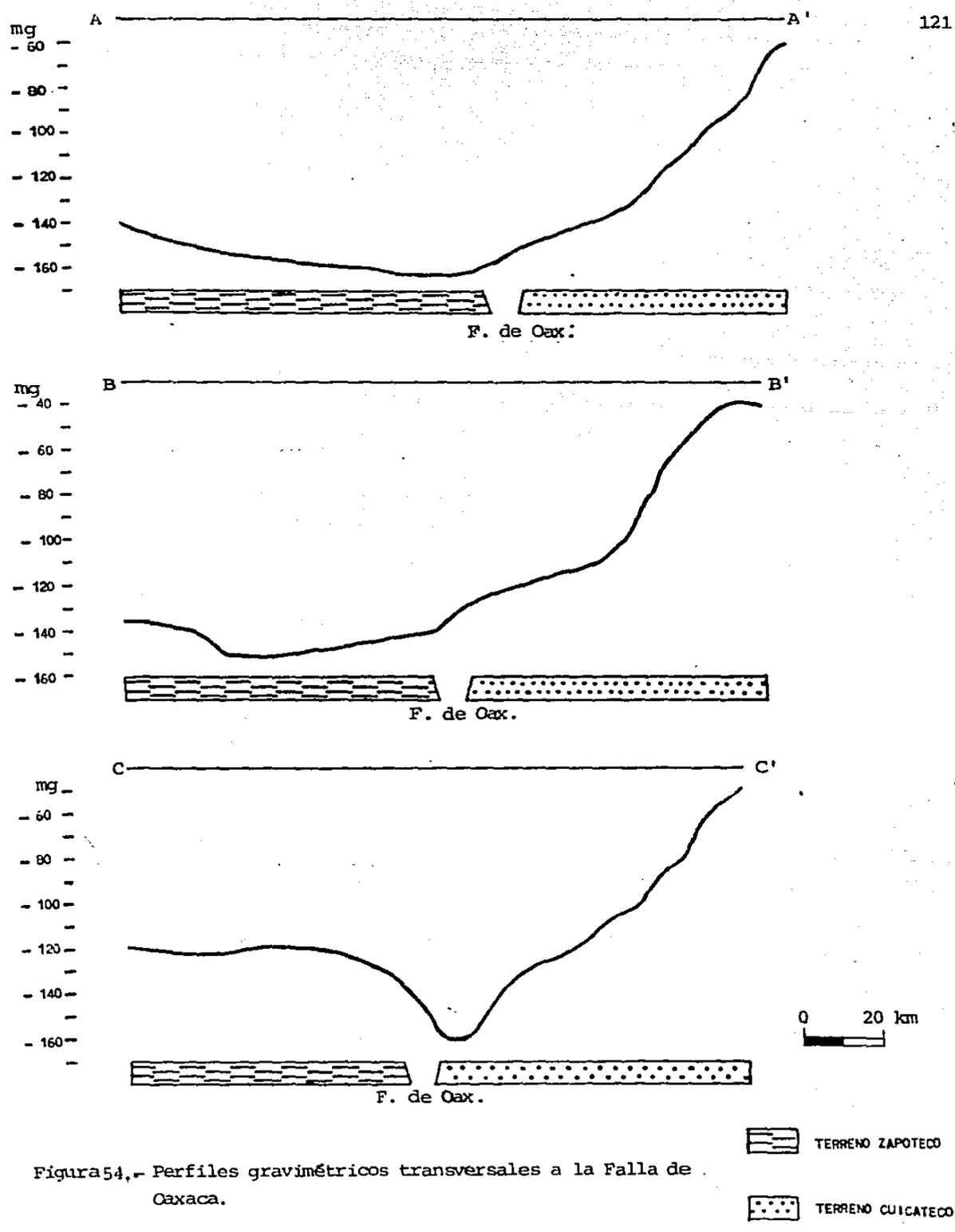


Figura 54.- Perfiles gravimétricos transversales a la Falla de Oaxaca.

norte-sur y corre desde Puerto Angel hasta Teotitlan, Oaxaca (sección B-B', figuras 55 y 61), a través del Valle de Oaxaca y la Cañada, las interpretaciones de dicha sección fueron realizadas por Nuñez-Cornú (1988).

En la sección Pinotepa Nacional - Lago de Alchichica (sección A-A', figura 55) el ángulo de subducción de la Placa de Cocos es de 10° y el espesor máximo de la corteza continental es de 45 ± 4 km (Valdes et al., en prensa).

En la sección Puerto Angel - Teotitlan (sección B-B', figura 55) el ángulo de subducción de la Placa de Cocos es de 18° y el espesor de la corteza continental es de aproximadamente 30 km (Nuñez-Cornú, 1988).

Como puede observarse, a los 170 km de la costa en la sección B-B' que recorre longitudinalmente la zona de la Falla de Oaxaca, la corteza aparentemente es 15 km más delgada que en la sección Pinotepa Nacional - Lago de Alchichica. Es recomendable en el futuro realizar una sección de sísmica de refracción transversal a la Falla de Oaxaca, con el objetivo de determinar si este aparente adelgazamiento de la corteza es real, o los datos obtenidos han sido alterados por la deformación a lo largo de la zona de falla; además de determinar la geometría de la falla a profundidad.

ACTIVIDAD SISMICA REGIONAL

El estado de Oaxaca está catalogado como una de las regiones con mayor sísmicidad en el país (Figura 56), lo cual ha motivado que muchos investigadores hayan fijado su atención en ella.

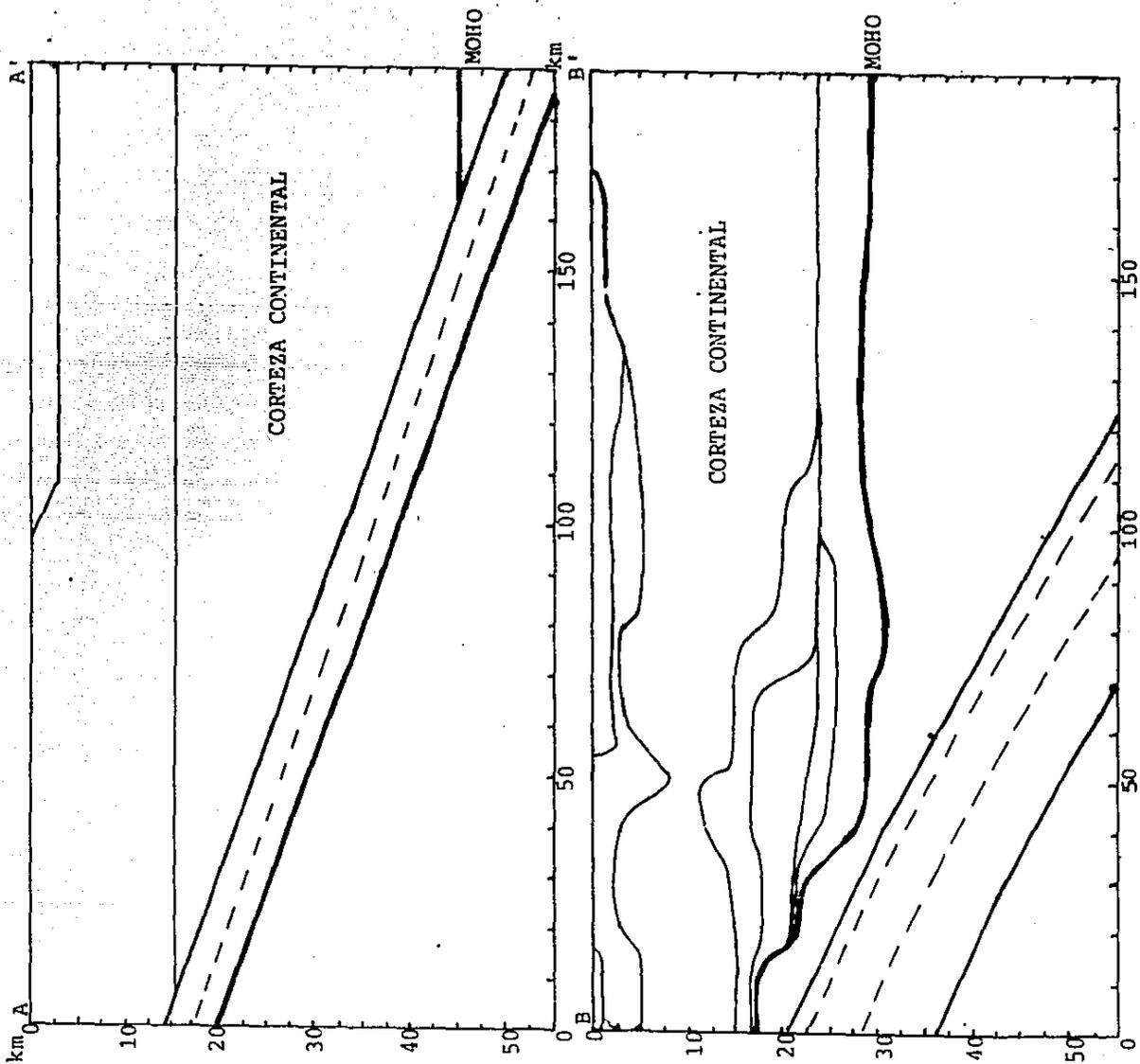


Figura 55. Características de la zona de subducción y espesores de la corteza continental propuestos por: A) Valdes y colaboradores (en prensa) y B) Nuñez-Cornú (1989) la localización de las secciones está en la figura 63.

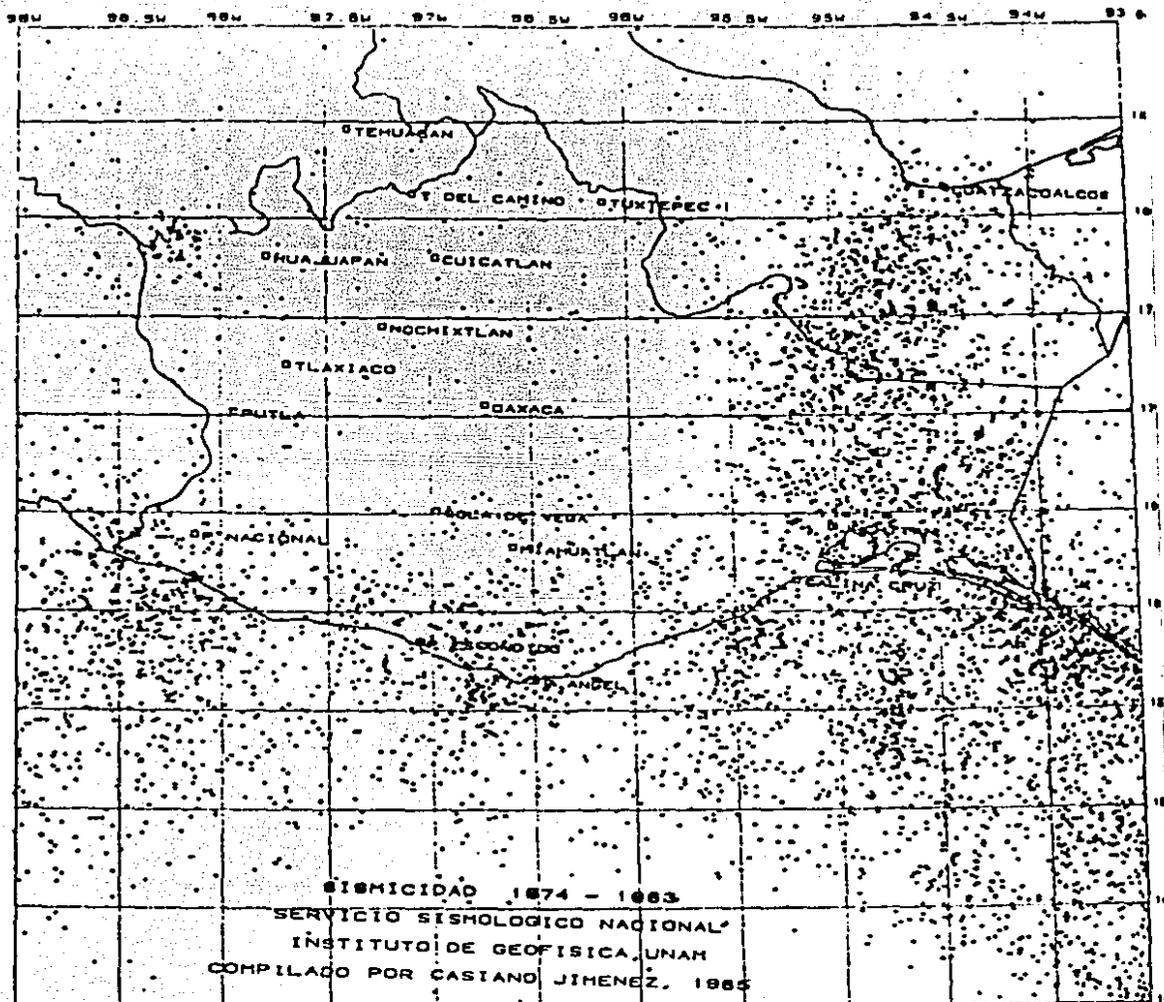


Figura 56. Mapa de sismicidad del Estado de Oaxaca, con magnitud mayor que 3.8 (Nuñez-Cornú, 1988).

Según la zonificación propuesta por Nuñez-Cornú y Ponce (1987, 1988) (Figura 57), la Falla de Oaxaca se localiza en las zonas Mixe y Norte y Cañada; donde los temblores con magnitud > 7.0 , presentan un mecanismo focal de falla normal.

La zona Mixe es afectada por eventos de profundidad intermedia ($60 < H < 120$ km) y tiempos de recurrencia de 80 ± 16 años. La zona Norte y Cañada presenta eventos de profundidad intermedia ($65 < H < 115$ km) (Nuñez-Cornú 1988; Nuñez-Cornú y Ponce, 1988).

En la zona Valle (Figura 57), al sur de la Ciudad de Oaxaca, hay actividad sísmica somera con mecanismos de falla normal ($25 < H < 50$) (Nuñez-Cornú y Ponce, 1988). Se desconoce si la Falla de Oaxaca se prolonga hacia el sur y si dicha sismicidad está relacionada con ella.

En la tabla 1 y figuras 58 y 60 se presentan los datos sísmicos de la región donde se localiza la Falla de Oaxaca de 1980 a 1987, incluyendo sismos menores de 7 (compilación de R. Mota, comunicación personal). Como puede observarse hay una concentración de sismos mayor en el bloque occidental de la Falla de Oaxaca que en el bloque oriental; aparentemente la falla representa el límite entre dos regiones con comportamientos sísmicos diferentes.

A 20 km al oeste de la Falla de Oaxaca se presenta una concentración de sismos someros (± 33 km) aproximadamente paralela a la falla (Figuras 58 y 60). Es necesario realizar un estudio más detallado de estos sismos para determinar con precisión su localización y mecanismo focal, con el fin de conocer si son producidos por la actividad de la falla a profundidad, o bien se

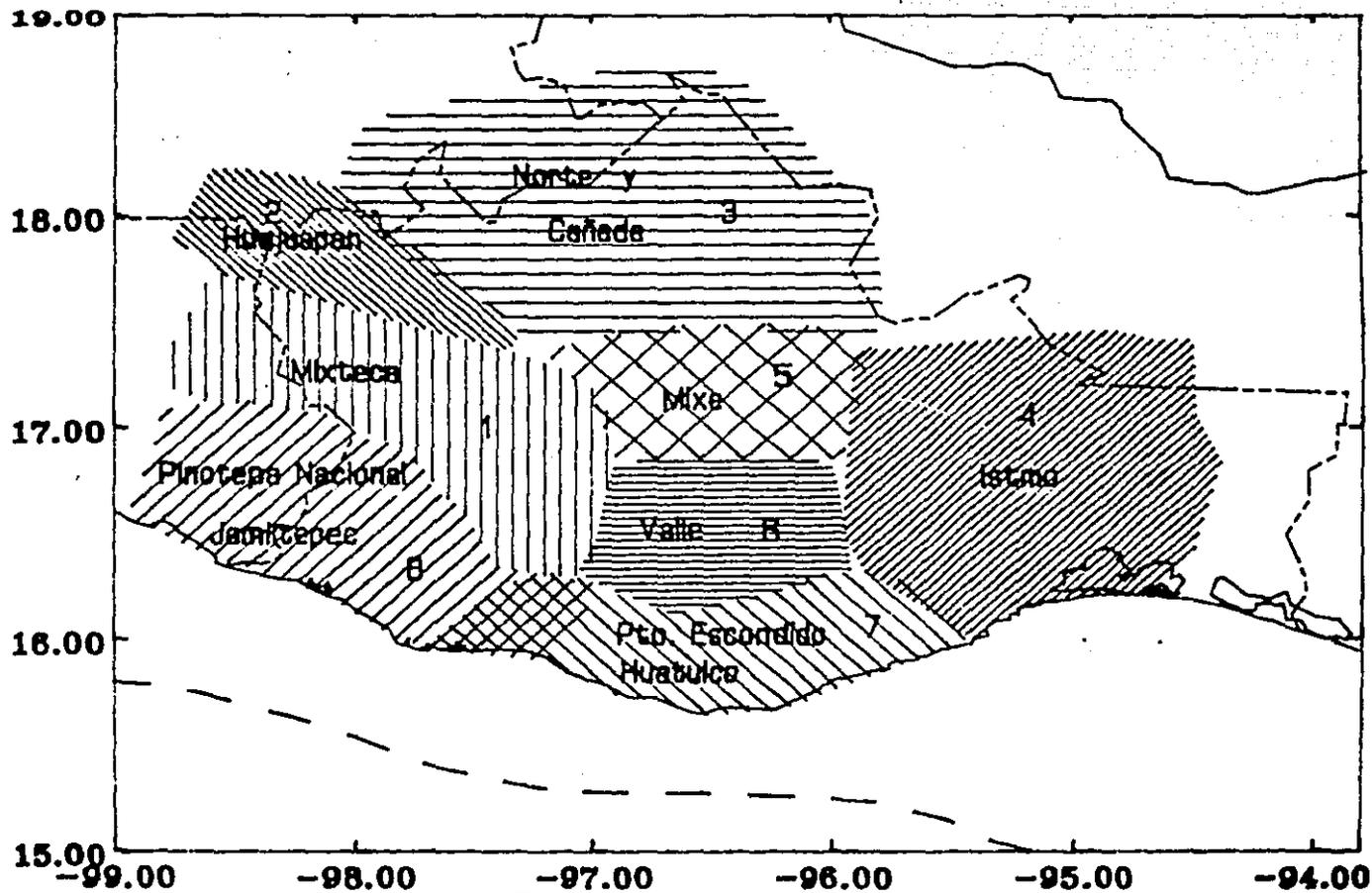


Figura 57. Regiones sísmicas o sismogénicas del Estado de Oaxaca, propuestas por Nuñez-Cornú y Ponce (1987).

Tabla 1

EVENTOS LOCALIZADOS ENTRE LOS 17.0° - 18.5° N y 96.5 - 98.0° W
DEL 010180 al 301087 inclusive.

(recopilación R. Mota, com. pers.)

Fecha	Hora	Lat.	Long.	Prof.	M.
800325	2009587	17.65	97.34	90	
800329	0821312	17.36	97.07	97	
800531	1008046	18.00	97.80	33	
800606	1505260	17.19	96.86	33	4.2
800809	1728310	17.98	97.34	33	
801001	0340440	17.21	97.31	33	
801024	2112165	17.93	97.92	50	
801221	1433570	17.56	97.78	33	
810521	0422033	17.24	96.38	45	4.2
810704	0530501	17.56	96.82	85	4.7
810719	0051174	17.70	96.95	33	5.0
810906	0118345	17.59	96.68	33	
811101	0917501	17.87	97.72	33	
811114	2250130	17.78	97.50	33	
820328	0446298	17.01	96.72	71	
821203	1344135	17.97	97.29	33	
830219	0846186	17.46	96.49	5	
830228	0353357	17.82	97.72	24	
830322	2237378	17.12	97.49	33	
830505	0420546	17.51	97.68	70	
830803	0627073	17.82	97.22	33	
831019	1733395	18.01	97.38	80	
831024	1922401	18.07	96.52	33	
840415	1318198	17.87	97.46	60	
840418	1814509	17.69	97.96	33	3.0
840525	2049120	18.64	97.04	33	
840528	0848508	17.21	96.72	33	
840609	0602310	18.10	96.58	33	
840614	0415345	17.57	98.10	5	
840725	1803260	17.90	97.29	33	
840729	0011121	17.99	97.40	41	
840802	2252153	18.18	96.50	58	
840813	0523549	17.36	97.10	33	
841013	0233593	17.38	96.37	11	
850319	1652211	17.54	97.03	70	
850524	0925306	17.92	98.03	9	
850616	1211057	17.83	97.26	75	
850704	0851344	17.38	97.07	70	
850901	0530414	17.50	96.98	83	
850915	0757538	17.75	97.28	56	5.5
851023	0105580	17.94	97.81	8	
851207	2352217	18.04	97.92	16	
860110	0118396	17.95	96.79	68	
860116	2117375	17.56	97.44	69	
860211	1630352	17.56	96.47	60	
860418	2126333	18.04	97.92	33	

Fecha	Hora	Lat.	Long.	Prof.	M.
860709	2219515	17.13	97.93	54	4.4 (CGS)
860916	0430505	17.64	97.70	33	
861126	1107295	17.35	97.44	33	
870122	0539055	17.69	97.44	45	
870426	1718109	17.196	96.53	45	
870525	2143283	18.04	96.64	80	
870627	0510415	17.86	97.01	90	
870627	1438280	17.70	97.25	33	
870704	1154081	18.83	97.37	20	
870715	0716132	17.39	97.26	68	5.7 6.0
870721	1520286	17.61	97.24	70	
870803	1107079	18.08	96.63	70	
870811	1110499	16.58	98.07	16	
870816	0554073	17.69	97.60	33	
870927	1643254	17.84	97.25	33	

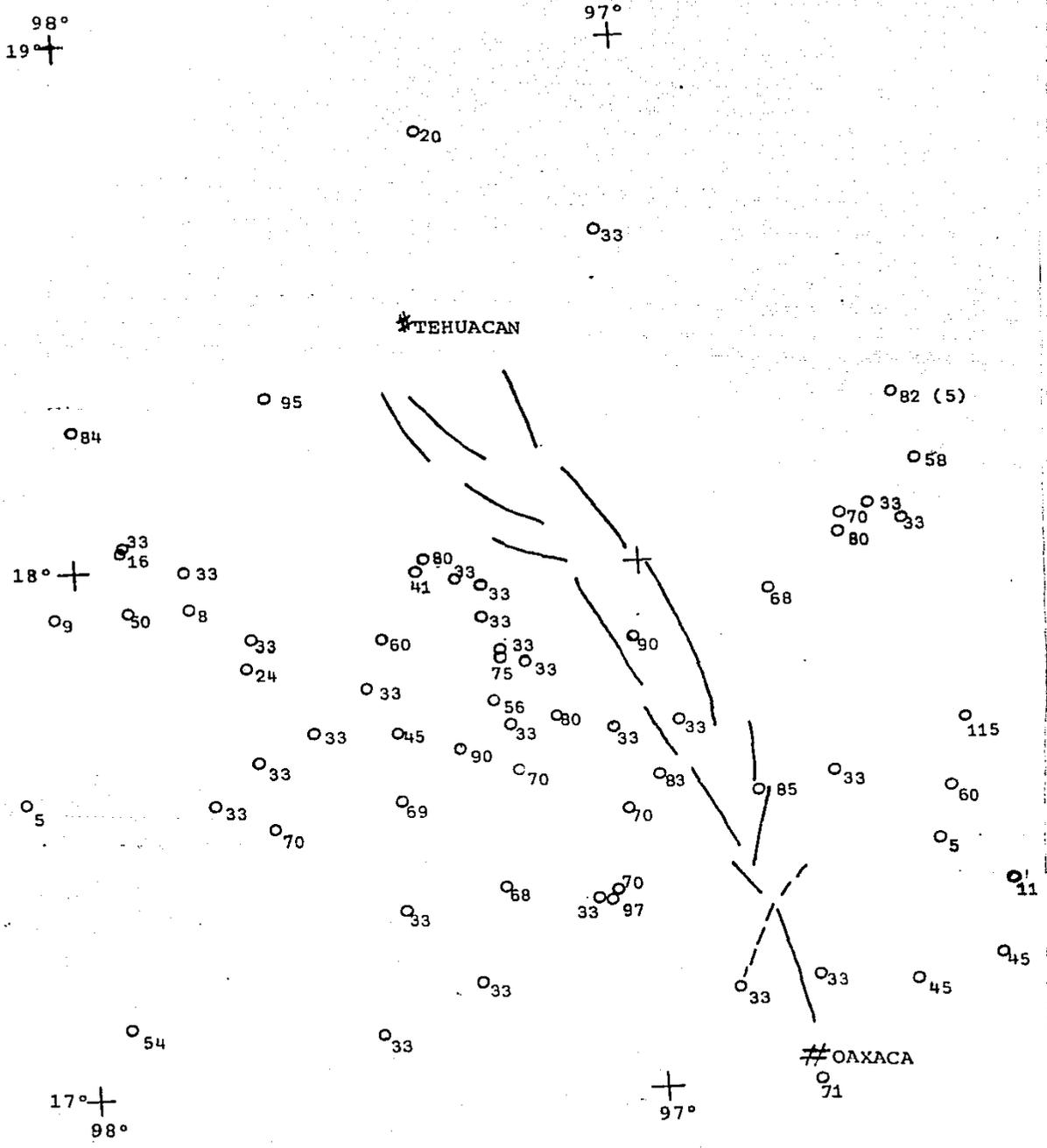


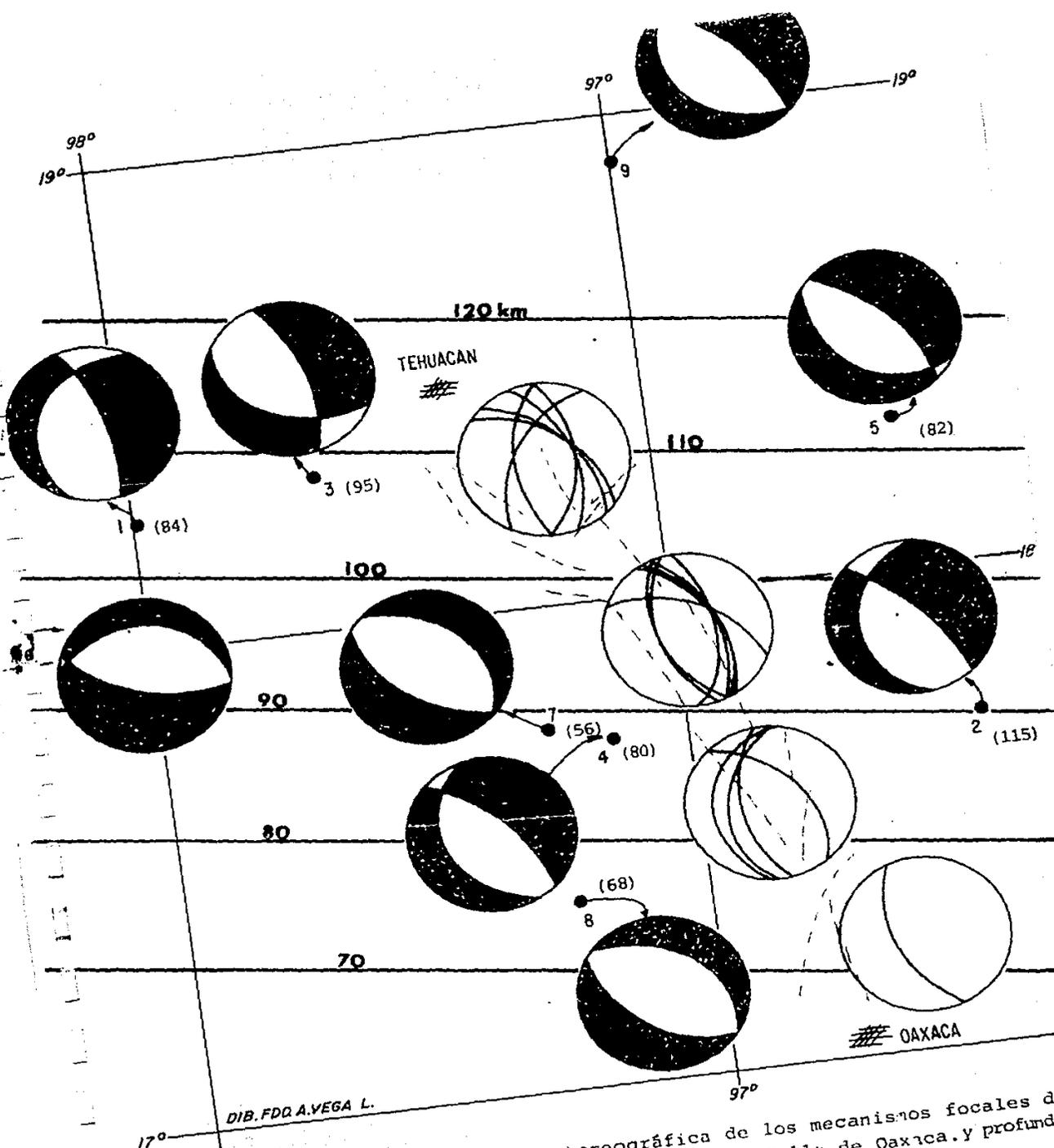
Figura 58. Localización y profundidad de foco de los sismos de la tabla 1.

deben a otro proceso tectónico regional. El análisis de microsismicidad en la zona de falla también pudiera ser una herramienta importante para determinar si la Falla de Oaxaca es sísmicamente activa.

En la figura 59 están representados en forma estereográfica los mecanismos focales (círculos negros) calculados por varios autores (tabla 2) (recopilados por R. Mota, comunicación personal) y las fallas principales y antitéticas que constituyen al sistema de la Falla de Oaxaca; las líneas paralelas indican la orientación y profundidad aproximadas del plano de Benioff según los datos obtenidos por Nuñez-Cornú (1988). En la figura 60 están representados en corte transversal a la Falla de Oaxaca, los sismos de las figuras 58 y 59.

Como puede observarse todos los sismos son de falla normal y existe un cierto paralelismo y similitud geométrica entre estos y la Falla de Oaxaca; sin embargo su profundidad parece indicar que están asociados a procesos ocurridos en la zona de Benioff (Figuras 59 y 60), con excepción del sismo número 7 que aparentemente se origina en el manto.

En el presente trabajo no fue posible determinar si hay una relación entre la Falla de Oaxaca y la zona de subducción del Pacífico. Es evidente que el grupo de focos sísmicos alojados en la margen continental del Pacífico (Figura 61), con mecanismos de falla inversa y con rumbos de falla sensiblemente paralelos a la trinchera manifiestan los movimientos del plano de subducción (Nuñez-Cornú, 1988). Los mecanismos localizados alrededor de la



DIB. FDD. A. VEGA L.

Figura 59. Representación estereográfica de los mecanismos focales de principales sismos cercanos a la Falla de Oaxaca, y profundidad probable de la zona de Benioff.

Tabla 2.

Relación de eventos con mecanismo focal, zona falla de Oaxaca.
(El número corresponde al indicado en la figura).

	Fecha	H	Lat.	Lon.	h	Az	Dip	Slip	Tipo
1.	100228	043837.5	18.26N	97.99W	84	343	70	-117	Normal
2.	170428	032527.5	17.69	96.44	115	317	70	-109	"
3.	111045	165302.2	18.32	97.65	95	343	65	-61	"
4.	240559	191742.5	17.72	97.15	80	315	61	-102	"
5.	280873	095040.3	18.30	96.53	82	317	65	-90	"
6.	241080	145333.7	18.03	98.27	65	101 272	63 26	-94 -82	"
7.	150985	075753.8	17.75	97.28	56	320 137	39 51	-88 -92	"
8.	150787	071613.2	17.39	97.26	68	305 125	54 36	-90 -90	"

(recopilación de R. Mota)

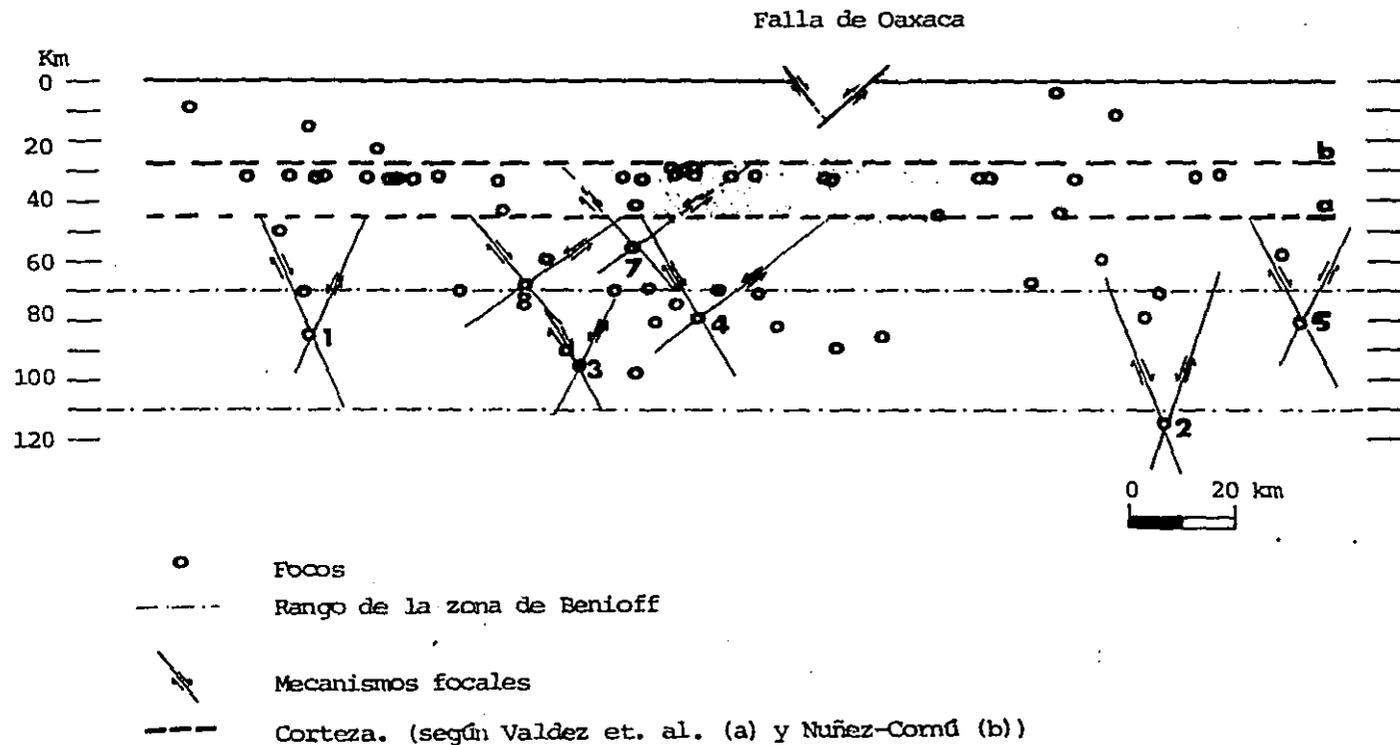


Figura 60. Profundidad de los Focos sísmicos en sección transversal a la Falla de Oaxaca.

Falla de Oaxaca, guardan una clara relación angular con los mecanismos de la margen del Pacífico (Figura 61). Este límite convergente tiene un comportamiento complejo y presenta rasgos asociados atípicos, tales como la ausencia de volcanismo paralelo a la trinchera; sin embargo existe la posibilidad de que dichos sismos estén relacionados a un régimen tensional, originado por el proceso de asimilación de la placa descendente en el manto; este tipo de sismos han sido documentados en la zona de profundidad intermedia ($70 < H < 300$) (Cox, 1986; Grange, *et al.*, 1984).

Aparentemente la orientación y forma de la Falla de Oaxaca están controladas por un rasgo pre-cenozoico, por lo cual es probable que la relación angular que guarda esta con la zona de subducción no sea un buen elemento para cualquier tipo de interpretación.

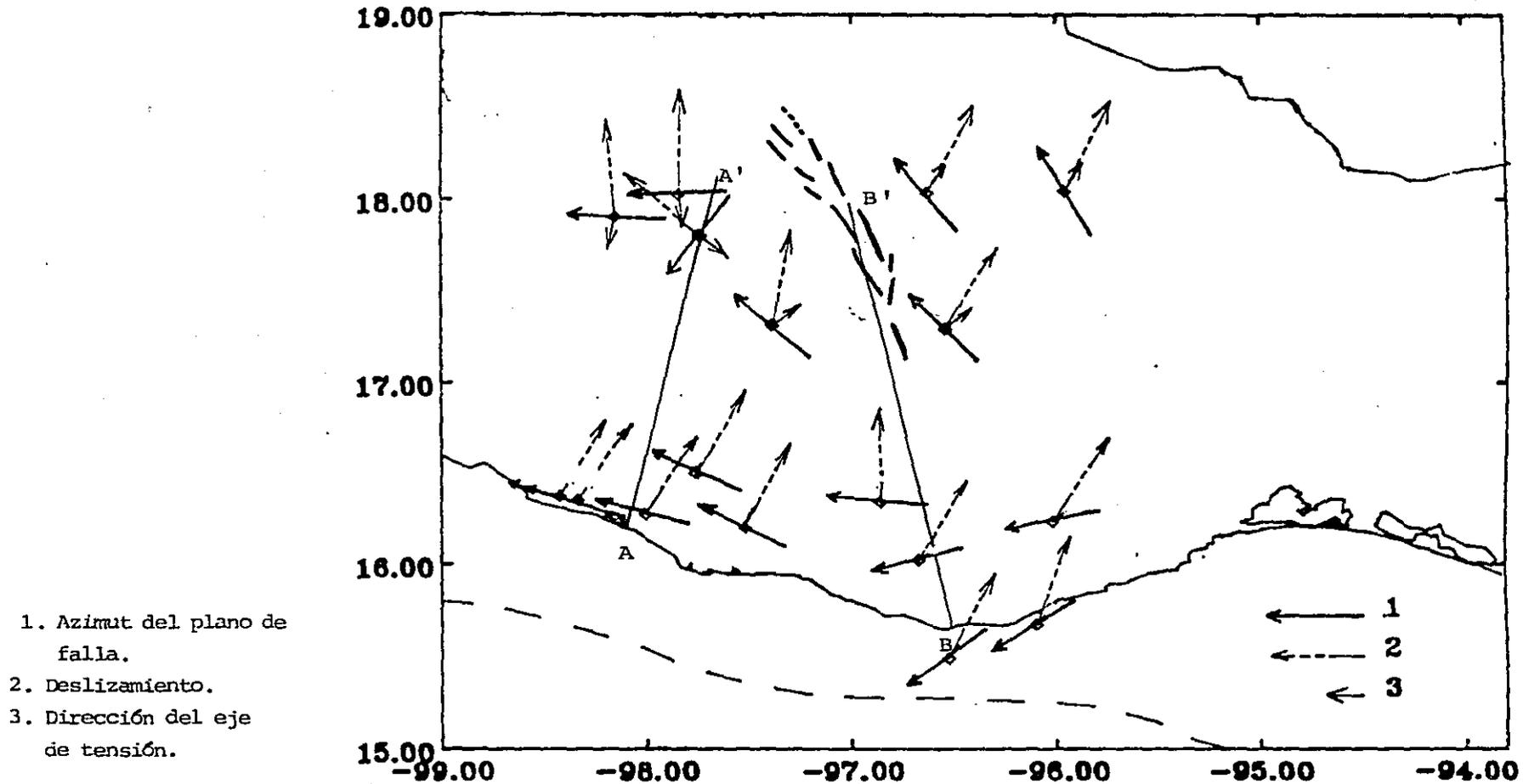


Figura 61. Mapa de mecanismos focales de los principales sismos del Estado de Oaxaca y ubicación de la Falla de Oaxaca (Nuñez-Cornú, 1988).

VIII. D I S C U S I O N

Como la Falla de Daxaca se desarrollo en la zona de contacto entre dos entidades tectónicas con unidades estratigráficas distintas es difícil conocer la dirección y magnitud real del desplazamiento.

La componente en sentido vertical es de gran magnitud. Esto se infirió a partir de las características geomorfológicas y de la comparación de las altitudes que presenta actualmente el contacto entre las unidades sedimentarias y el basamento metamórfico; aparentemente esto es válido para la región sur de la falla donde se ha encontrado que las rocas sedimentarias sobreyacen tanto al Complejo Daxaqueño como al Complejo Juárez. En cambio en la región central y norte no es posible considerar a esta relación como patron de comparación, pues en algunas zonas el Complejo Juárez cabalga sobre las rocas sedimentarias ocultando sus relaciones originales. En la región central se considero como desplazamiento vertical: mínimo al espesor de la secuencia terciaria, que es de 700 m, mas la diferencia de altitud entre el valle y la altura media o envolvente topográfica de las cimas de las Sierras de Juárez y Mazateca que es de 1000 m; esto da un total de 1700 m. Hacia el norte el desplazamiento vertical va disminuyendo hasta hacerse nulo al norte de Tehuacán.

A partir de las características antes mencionadas se infiere que longitudinalmente y en conjunto, todos los segmentos de la

Falla de Oaxaca, forman una especie de falla de "columpio" (Figura 62), con un desplazamiento vertical aparentemente nulo en Oaxaca y Tehuacán, el cual va aumentando hacia el centro, alcanzando su mayor magnitud en la región de Cuicatlán.

Aparentemente los Valles de Oaxaca y Tehuacán y la región de la Cañada constituyen un semi graben, delimitado en su flanco oriental por la Falla de Oaxaca. Esto se deduce de: a) la diferencia de altitud y grado de disección entre las Sierras de Juárez y las Sierras de la Mixteca; b) el espesor de las unidades cenozoicas es mayor en el lado oriental de los valles y c) en el bloque oriental afloran rocas del basamento (Complejo Juárez), en cambio, en las sierras del lado occidental del valle aflora la secuencia sedimentaria mesozoica.

El arreglo en echelon de las fallas principales, la relación angular entre los planos de las fallas principales y el rumbo y echado de las unidades cenozoicas (rotación aparente) (Figura 11 y Tabla 3) y la presencia de fallas laterales y pliegues en los sectores Jayacatlán y Coxcatlán (Tabla 3), son evidencias de la existencia de desplazamientos laterales a lo largo de la Falla de Oaxaca. En este trabajo no fue posible determinar su magnitud.

Según las direcciones de los vectores locales de esfuerzos obtenidas por el método de Ragan (1980), la Falla de Oaxaca actúa como una falla diagonal, cuya componente de mayor magnitud es próxima a la vertical (entre 90° y 70° de inclinación).

La presencia de superficies de nivelación a diferentes altitudes y la existencia de discordancias entre las unidades

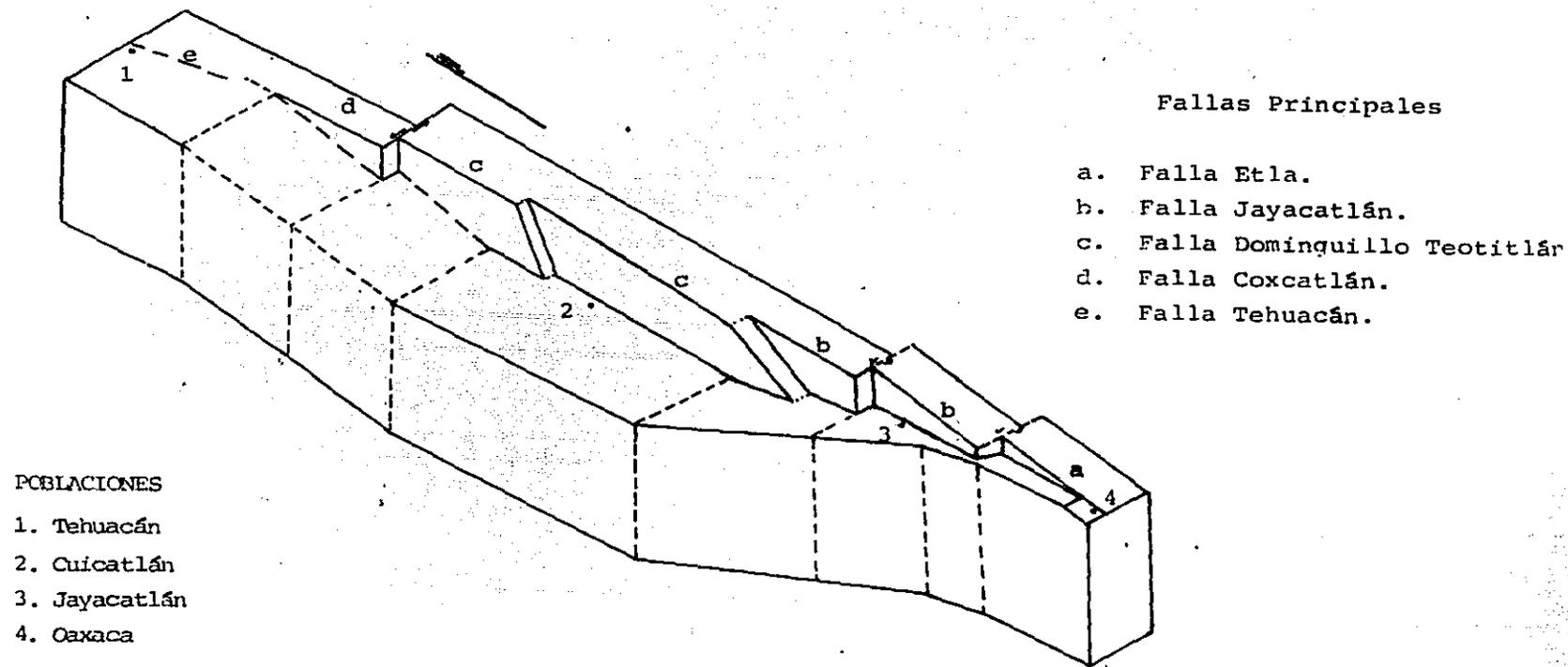


Figura 62'. Modelo geométrico esquemático de las fallas principales más recientes de la Falla de Oaxaca. (La posición vertical del plano de falla es únicamente para dar mayor claridad a la Figura; en la realidad este está inclinado hacia el valle unos 60-45°).

Tabla 3. Resumen de los datos estructurales obtenidos.

SECTOR	ORIENTACION
SECTOR ETLA	
Falla Principal	N20*W
Promedio Echados (Te)	N70*W/15*NE
Promedio Fallas laterales (Te)	N78*W
Pliegues	NW-SE
Promedio Fallas Normales (Te)	N65*W
SECTOR JAYACATLAN	
Falla Principal	N5*E y N8*W
Fallas Antitéticas	N30*W
Promedio Echados	-----
Promedio Fallas laterales (Te)	(+)N75*W, (-)N10*W
Promedio Fallas laterales (CJ)	(+)N10*W, (-)N80*E
Promedio Pliegues	N30*E
Fallas Inversas (1)	N40*W
Promedio Fallas Normales	-----
SECTOR DOMINGUILLO-TEOTITLAN	
Falla Principal	N20*W y N12*W
Fallas Antitéticas	N60*W y N12*W
Promedio Echados	N40*W/20*NE
Promedio Fallas Laterales	-----
Pliegues	-----
Promedio Fallas Normales	N25*W
SECTOR COXCATLAN	
Falla Principal	N-S
Fallas Antitéticas	N60*W
Promedio Echados	-----
Fallas laterales	-----
Pliegue (Tecáchil)	N20*E
Fallas Normales	-----
(Te)	Depositos terciarios
(CJ)	Complejo Juarez
----	Datos insuficientes

cenozoicas, parecen indicar que la Falla de Oaxaca ha tenido movimientos intermitentes, esto es periodos activos y pasivos alternados.

Uno de los puntos más difíciles de aclarar es la edad de la última reactivación de la Falla de Oaxaca ya que, si existieron evidencias estratigráficas y estructurales de movimientos recientes, estas probablemente desaparecieron por la erosión tan intensa que actualmente está atacando a la región. En cuanto a las evidencias geomorfológicas como la traza tan clara y rectilínea de la falla en algunos sectores así como el cambio de pendiente en los cauces (Figuras 42 y 43), se piensa que el escarpe más joven se localiza en la base de las sierras, y que si este fuera muy antiguo ya hubiera desaparecido por el régimen de erosión actual; por tal razón se infiere que los datos morfométricos obtenidos son relativamente confiables y que probablemente por lo menos la Falla Jayacatlán si ha tenido actividad durante el Cuaternario y tal vez en el Holoceno.

De las observaciones de campo, la información publicada y la historia geológica de regiones circundantes puede deducirse que la Falla de Oaxaca inicio su desarrollo antes del Mioceno medio, quizás durante el Oligoceno tardío - Mioceno temprano?. Probablemente la unidad de Conglomerados A fue la primera cuyo depósito estuvo asociado a la actividad de la falla, la cual continuo después y afecto a dicha unidad (Figura 63,a).

Durante el Mioceno medio, en el actual Valle de Oaxaca, el fallamiento ocasiono la formación de una cuenca aparentemente

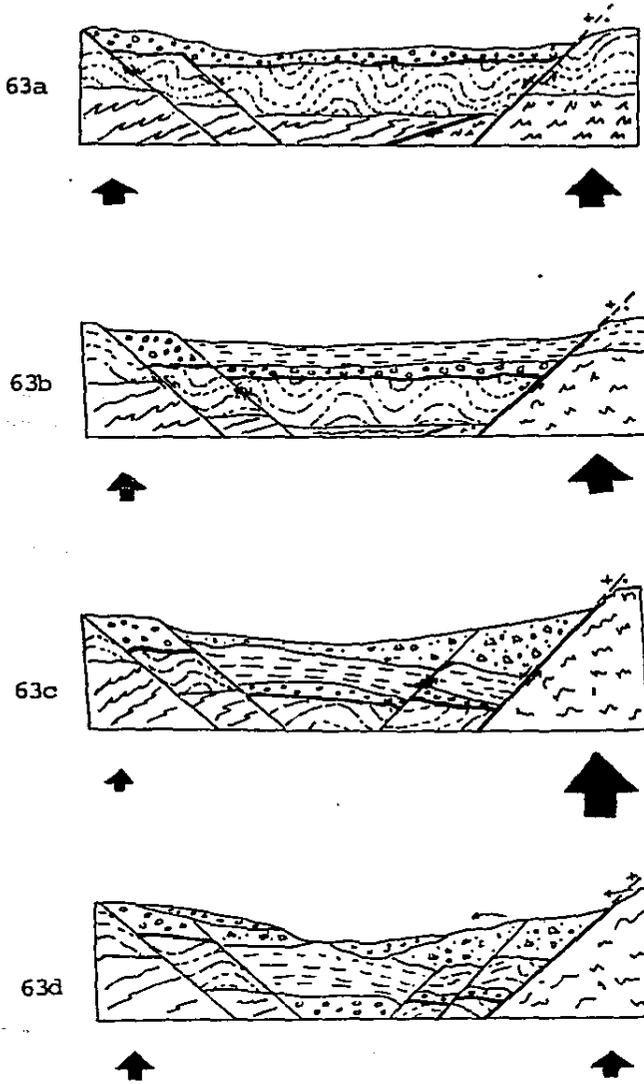


Figura 63. Modelo idealizado de la evolución geológica de la parte central de la Falla de Oaxaca durante el Cenozoico.

endorrreica, que dio lugar al desarrollo de grandes lagos en los cuales se depositaron los sedimentos lacustres de la Formacion Suchilquitongo. Tal vez simultaneamente, ocurrio algo similar en el Valle de Tehuacan y la Cañada (Formacion Tehuacan y Depositos Lacustres A y B) (Figura 63,b).

En los Depositos Lacustres B, la presencia de Heliocarpus, cuyos representantes actuales crecen asociados al bosque tropical perenifolio el cual se desarrolla en zonas con temperaturas anuales de 20* a 26* C y precipitacion anual de 1500 a 3000 mm, en altitudes entre los 0 y 1000 msnm aunque en algunas partes asciende hasta 1500 msnm (Rzedowski, 1978), parece indicar cambios en el clima y/o elevacion de la region.

En el lapso de deposito de los sedimentos lacustres, hubo dos manifestaciones magmaticas en la region; una de composicion acida (Ignimbrita Etlá) que cubrio totalmente al Valle de Oaxaca y parte de la Cañada Chica, y la otra de composicion basica-intermedia en la parte occidental del Valle de Tehuacan.

Posterior al deposito de los sedimentos lacustres parece haber ocurrido un periodo de inactividad o de actividad minima que expuso los depositos lacustres a la erosion.

El gran espesor del Conglomerado Cuicatlan asi como sus características sedimentologicas, probablemente estan relacionados con un aumento en el grado de actividad del sistema de la Falla de Oaxaca durante su deposito. Aparentemente actuó como una falla de crecimiento en este intervalo de tiempo que parece haber sido el más activo de todos (Figura 63,c). En el Sector Etlá no hay

depositos de esta naturaleza, esto puede deberse a que estos se erosionaron, a que su actividad fue menor o cesó antes que en las otras fallas.

Tal vez a finales del Plioceno y principios del Cuaternario fue disminuyendo la actividad de la falla en sus sectores septentrionales, permitiendo que la cabecera del ahora Rio Santo Domingo fuera retrocediendo hasta capturar el drenaje de la cuenca; aparentemente a partir de esa epoca la region ha sufrido un levantamiento uniforme que originó la erosión intensa que prevalece hasta nuestros dias. Durante este lapso de tiempo se depositaron los Conglomerados Teotitlán y Pueblo Viejo.

En este trabajo no se determinó cual es la relación entre la actividad magmática local y la evolución de la Falla de Oaxaca, se considera que es necesario realizar un estudio geoquímico y petrográfico de dichos cuerpos para determinar con precisión su afinidad.

La geometría que presenta la Falla de Oaxaca (en forma de columpio y el arreglo en echelon de sus segmentos) es muy parecida a la de algunos rifts del sistema Africano como el de Kenia (Park, 1980) o Malawi (Ebinger y col., 1987) (Figura 64); sin embargo difiere en otros aspectos, como es el hecho de que la Falla de Oaxaca sea aproximadamente paralela a las estructuras precenozoicas y que se desarrolló en la zona de contacto entre dos terrenos estratotectónicos.

La Falla de Oaxaca presenta también muchas similitudes geomorfológicas y estructurales con los graben que constituyen la

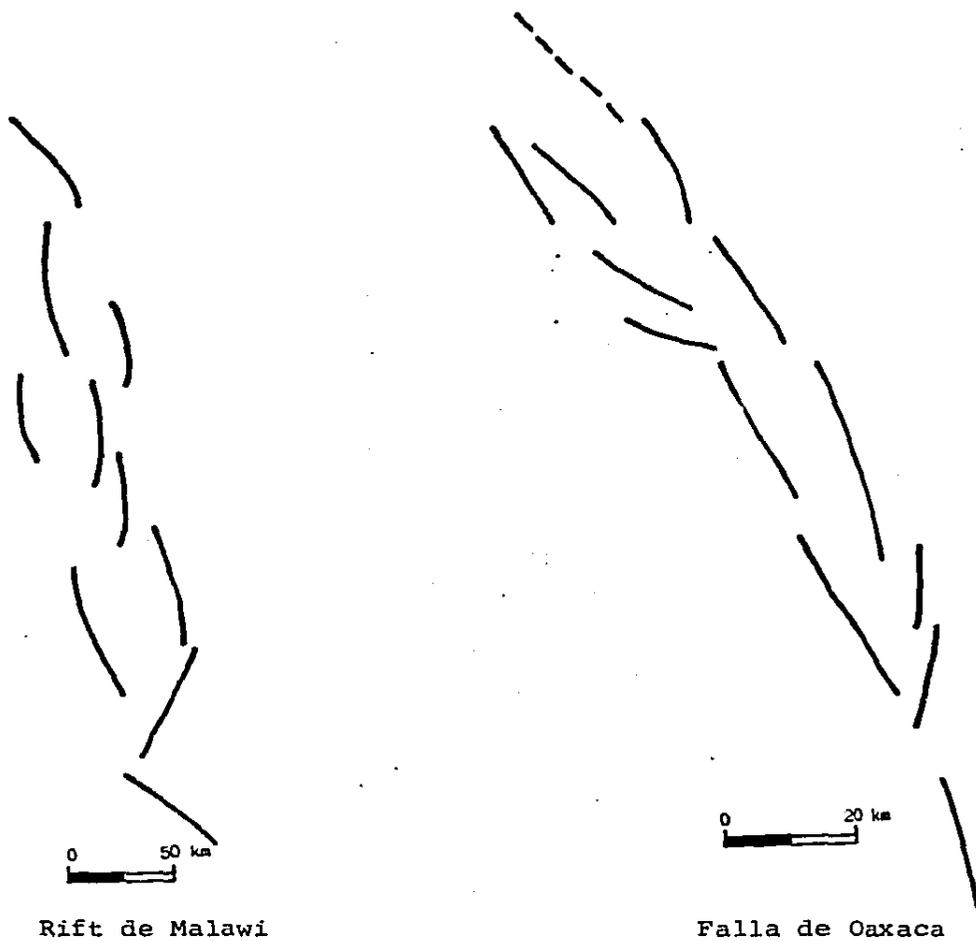


Figura 64. Geometría de las fallas normales del Rift Malawi (NE de Africa) y de la Falla de Oaxaca (México).

provincia de Cuencas y Sierras de la región occidental de Estados Unidos. Sin embargo difiere de estas estructuras en cuanto a su localización y origen, ya que son más o menos paralelas a la zona de subducción del Pacífico y se desarrollaron en la región posterior al arco magmático (Davis, 1980); aparentemente la provincia de Cuencas y Sierras se originó como una respuesta de la corteza continental a la disminución de la velocidad de subducción en el Pacífico (Lipman, 1980); Burke (1980) denomina a este tipo de rifts como Rifts de Límites Convergentes. En el caso de la Falla de Oaxaca no fue posible determinar cuál es su relación con la zona de subducción, además no hay evidencias de la existencia de un arco magmático adelante de la falla.

Algunos autores (Burke, 1980; Mitchell y Reading, 1984; Sales, 1983) consideran que cierto tipo de rifts están relacionados directamente con la evolución tectónica de la región pre-rift y presentan cierto paralelismo con los cinturones orogénicos. Aparentemente las características de la Falla de Oaxaca se amoldan a este tipo de estructuras. Por lo cual es probable que dicha falla se originara por una reactivación del contacto entre los terrenos Zapoteco y Juárez durante el Terciario.

En cuanto a la probable existencia de desplazamiento lateral en la Falla de Oaxaca, se ha observado que por ejemplo, el Graben del Rin se reactivó a partir del Plioceno medio, con un cambio en el sentido del desplazamiento de tensional a lateral izquierdo (Illies y Greiner, 1978; Park, 1988). Tal vez la Falla de Oaxaca tuvo un comportamiento comparable.

En el caso del Rift del Mar Muerto es un claro ejemplo de un régimen transtensional (combinación de desplazamiento lateral y extensión); en estos regimenes se forman cuencas típicamente lacustres y bordeadas por abanicos aluviales (Freund y et al, 1968; Park, 1988). Un régimen de este tipo podría explicar también las características estratigráficas y estructurales de la Falla de Oaxaca.

Se desconoce cual fue el evento tectónico real que ocasionó el desarrollo de la Falla de Oaxaca; una interpretación a este tipo de estructuras en la región cordillerana de Estados Unidos es que son el resultado del colapso del aloctono en grandes cabalgaduras (Sales, 1983); hasta la fecha no se conoce con precisión los mecanismos que originan este tipo de estructuras.

Es difícil determinar la geometría de la Falla de Oaxaca en el subsuelo con las estructuras cartografiadas en la superficie, para esto es recomendable hacer secciones sísmicas y gravimétricas transversales a la falla.

Aunque es interesante resaltar el paralelismo de los planos de falla (calculados a partir de los mecanismos focales) de los sismos de la región y la traza general de la Falla de Oaxaca (Figura 58) no fue posible determinar cual es su relación. En otras zonas de fallas intracontinentales (sur del Tibet, Chen y Molnar 1983; este de Africa, Shudofsky, 1985) se han reportado sismos de foco profundo, localizados en la parte superior del manto y cerca de la corteza continental cuya interpretación aún no es clara.

1A. CONCLUSIONES

- La Falla de Oaxaca está asociada con el levantamiento de las sierras de Juárez y Mazateca.
- Se desarrolló en una zona de debilidad cortical localizada entre dos bloques litosféricos con composición y espesor diferentes, que controlaron la geometría y localización de la falla.
- Probablemente los principales factores que influyeron en el desarrollo de la Falla de Oaxaca sean la evolución paleotectónica de la región y el contraste en la composición y espesor de la corteza entre el bloque oriental y el occidental. Aparentemente se origino por la reactivación del contacto entre los terrenos Juárez y Zapoteco durante el Terciario (pre-Mioceno medio-Holoceno?).
- Transversalmente parece estar constituida por varios planos de falla (2 a 3), encontrándose el más joven en la base del frente montañoso.
- No es una estructura continua, está formada por varios segmentos que presentan un arreglo general en echelon derecho.
- Hay un conjunto de fallas antitéticas que dieron lugar a la formación del valle.
- Longitudinalmente presenta la forma de un "columpio" con el desplazamiento de mayor magnitud en la parte central; este es nulo en las ciudades de Oaxaca y Tehuacán.
- La componente de desplazamiento en sentido vertical es de gran

magnitud, se infiere que tiene un valor mínimo de 1700 m en la parte central de la falla.

- Aparetamente en la región hay tres direcciones diferentes de deformación de edad cenozoica; una de desplazamiento lateral y rumbo casi este-oeste; una de falla normal con rumbo NW-SE, y una de desplazamiento lateral y orientación NW-SE, de la cual se encontraron evidencias claras en el Sector Jayacatlán. Es probable que estas fueran originadas por una deformación transtensiva; sin embargo, existe también la posibilidad de que correspondan a dos fases de deformación, una de distensión y posteriormente una de desplazamiento lateral derecho.

- Aparetamente actuó como una falla de crecimiento durante el depósito del Conglomerado Cuicatlán.

- Las discordancias entre las unidades terciarias y la presencia de facetas triangulares a distintos niveles en la zona de falla probablemente indiquen movimientos recurrentes, esto es periodos activos y pasivos alternados. Por las evidencias geomorfológicas se infiere que hubo un mínimo de 2 a 3 periodos de inactividad.

- La carencia de fosiles o unidades con posibilidades de fechamiento radiométrico impidió determinar las edades absolutas de las unidades Cenozoicas y por ello la edad precisa de los distintos periodos de actividad de la falla.

- Las evidencias estratigráficas- estructurales indican que la edad máxima del último fallamiento es post-Mioceno medio.

- Con base en los analisis morfotectónicos se infiere que la Falla de Oaxaca tuvo actividad plio-cuaternaria; en la Falla

Jayacatlán se encuentran las edades más jóvenes de desplazamiento (Holoceno?).

- En este trabajo no fue posible determinar si la sismicidad somera (33 km), localizada al occidente de la falla podría estar relacionada con dicha estructura; es necesario llevar a cabo estudios de microsismicidad en el área.

- La Falla de Davaca puede considerarse como una falla activa desde el punto de vista geológico, que inició su actividad probablemente desde el Oligoceno Tardío-Mioceno Temprano y continuó hasta el Cuaternario; aparentemente en la actualidad está en una etapa de inactividad. Se desconoce cual es su relación con la subducción del Pacífico.

B I B L I O G R A F I A

- Aguilera, J. G., 1906, Excursión de Tehuacán a Zapotitlán y San Juan Raya: Cong. Geol. Int. Xème Sess, guide des excursions, n. VII, 27 p.
- Aguilera, J. G., y Ordoñez, E., 1893, Datos para la Geología de México: Imprenta y Fotocografía del Cosmos, Tacubaya, Mex. D. F., 87 p.
- Alencaster, G., González, A. J., y Rangel, R. S., 1984, Bioestratigrafía y Paleoecología de Coixtlahuaca-Tomellin, Oaxaca: III Congr. Lat. de Pal., Mem., p. 315-340.
- Alvarez, R., y Del Rio, L., 1975, Transcontinental faulting: evidence for superimposed subduction in Mexico?: EOS, v. 56, n. 12, abstr., p. 1066.
- Anderson, T. C., 1977, Compound faceted spurs and recurrent movement in the Wasatch Fault zone, north central Utah: Brigham Young Univ. Geol. Stud., n. 24, p. 83-101.
- Anderson, T. H., y Silver, L. T., 1971, Age of granulite metamorphism during the Oaxacan Orogeny, México: Geol. Soc. of Am., Abstr. with Progr., v. 3, p. 492.
- Barrera, T., 1931, El temblor del 14 de enero de 1931: Univ. Nal. Aut. de Mex., Inst. de Geol., Memorias, 40 p.
- Barrera, T., 1946, Guía Geológica de Oaxaca: Univ. Nal. Aut. de Mex., Inst. de Geol., 101 p.
- Brunet, J., 1967, Geologic studies: en Byers, D. (ed.), 1967, The prehistory of the Tehuacan Valley, volume one, Environment and subsistence, Univ. of Texas Press, Cap. 5, p. 66-90.
- Bull, W. B., 1964, Geomorphology of segmented alluvial fans in western Fresno County, California: U. S. Geol. Surv., Prof. Paper 352-E, p. 89-129.
- Bull, W. B., y Mc Fadden, L. D., 1977, Tectonic geomorphology north and south of the Garlock Fault, California: en Doehring, D. D. (ed.), Geomorphology in Arid Regions: Annual Binghamton Conference, State Univ. of New York at Binghamton, p. 115-136.
- Burke, K., 1980, Intracontinental Rifts and Aulacogens: en Burchfiel, B. C., Oliver, J. E., y Silver, L. T. (panel co-chairmen), Continental Tectonics, Studies in Geophysics, National Academy of Sciences Press, p. 42-49.

- Cabrera, C. E., Sousa, S. M., Tellez, V. O., y López, O. A., 1982, Imágenes de la Flora Quintanarroense: Centro de Investigaciones de Quintana Roo, Inst. de Biología UNAM, 224 p.
- Calderón, A., 1956, Bosquejo geológico de la región de San Juan Raya, Puebla: XX Cong. Geol. Int., Libro Guía de la excursión A-11, p. 9-33.
- Campa, M. F., y Coney, P. J., 1983, Tectonostratigraphic terranes and mineral resource distributions in Mexico: Can. J. Earth Sci., n. 20, p. 1040-1051.
- Carfantán, J. C., 1983, Les ensembles géologiques du Mexique Meridional. Evolution géodynamique durante le Mésozoïque et le Cénozoïque: Geofísica Internacional, v. 22, n. 1, p. 39-56.
- Carfantán, J. C., 1981 (1984), Evolución estructural del sureste de México: Paleogeografía e historia tectónica de las zonas internas mesozoicas: Univ. Nal. Aut. de Mex., Inst. de Geol., Revista, v. 5, p. 207-216.
- Carrasco, B., 1978, Estratigrafía de unas lavas almohadilladas y rocas sedimentarias del Cretácico Inferior en Tehuacán Pue.: Inst. Mex. Petr., Revista, v. X, n. 3, p. 78-82.
- Chen, W. P., y Molnar, P., 1983, Focal depths and fault plane solutions of earthquakes under the Tibetan plateau: in Jackson, J. A., 1987, Active normal faulting and crustal extension, Continental Extensional Tectonics, Geol. Soc. Spec. Pub., n. 28, p. 3-17.
- Choukroune, P., Gapais, D., y Merle, O., 1987: Shear criteria and structural symmetry: Jour. Struc. Geol., v. 9, n. 5-6, p. 525-530.
- Cross, E., 1955, Experimental analysis of fracture patterns: Geol. Soc. Am. Bull., v. 66, p. 241-256.
- Coney, P. J., 1983, Un modelo tectónico de México y sus relaciones con América del Norte, América del Sur y el Caribe: Rev. Inst. Mex. del Petr., v. 15, n. 1, p. 6-15.
- Cox, A., 1986, Plate Tectonics, How it works, Blackwell Scientific Publications, Inc., 392 p.
- Davis, G. A., 1980, Problems of Intraplate Extensional Tectonics, Western United States: en Burchfiel, B. C., Oliver, J. E., y Silver, L. T. (panel co-chairmen), Continental Tectonics. Studies in Geophysics, National Academy of Sciences Press, p. 84-95.

- Delgado, A. L., 1988, Regional implications of the Jurassic-Cretaceous volcanosedimentary Cuicateco terrane, Oaxaca, México: *Rev. Lit.*, en prensa.
- Demant, A., 1978, Características del Eje Neovolcánico Transmexicano y sus problemas de interpretación: *Univ. Nal. Aut. de Mex., Inst. de Geol., Revista*, v. 2, n. 2, p. 172-187.
- Ebinger, C. J., Rosendahl, B.R., y Reynolds, D. J., 1987, Tectonic model of the Malawi Rift, Africa: *Tectonophysics*, v. 141, n. 1-3, p. 215-235.
- Erben, H. K., 1956, El Jurásico Medio y el Calloviano de México: *20 Congr. Geol. Internat., México*, 139 p.
- Ferrusquia, V. I., 1970, Geología del área Tamazulapan-Teposcolula-Yanhuitlán, Mixteca Alta, estado de Oaxaca: *Soc. Geol. Mex., Libro Guía de la excursión México-Oaxaca*, p. 97-119.
- Ferrusquia, V. I., 1976, Estudios geológico-paleontológico en la Región Mixteca, pt 1: Geología del área Tamazulapan-Teposcolula-Yanhuitlán, Mixteca Alta, Estado de Oaxaca, México: *Inst. de Geol., UNAM, Bol.*, n. 97, 160 p.
- Freund, R., Zak, I., y Garfunkel, Z., 1968, Age and rate of the sinistral movement along the Dead Sea rift: *Nature*, n. 220, p. 253-255.
- Fries, C. Jr., Schmitter, E., Damon, F. E., y Livingston, D. E., 1962, Rocas precámbricas de edad grenviliense, de la parte central de Oaxaca en el sur de México: *Univ. Nal. Aut. de Mex., Inst. de Geol., Bol.*, n. 3, parte 3, p. 45-53.
- Graham, A., 1972, Some aspects of Tertiary vegetational history about the Caribbean Basin: *Soc. Bot. Mex., Mem. Symp. I Congr. Lat. Bot.*, p. 97-117.
- Graham, A., 1976, Studies in Neotropical Paleobotany. II. The Miocene communities of Veracruz, Mexico: *Missouri Botanical Garden, Annals*, v. 63, n. 4, p. 787-842.
- Grange, F., Hatzfeld, D., Cunningham, P., Molnar, P., Roecker, S., Suárez, G., Rodríguez, A., y Ocola, L., 1984, Tectonic implications of the Microearthquake Seismicity and Fault Plane Solutions in Southern Peru: *Jour. Geoph. Res.*, v. 89, p. 6139-6152.
- Illies, J. H., y Greiner, G., 1978, Rhinegraben and the Alpine system: *Geol. Soc. Am., Bull.*, n. 89, p. 770-782.

- Kessler, S. E., y Hearsh, S. A., 1970, Structural trends in southernmost North American Precambrian, Oaxaca, Mexico: Geol. Soc. Amer. Bull., n. 81, p. 2471-2476.
- Kostenko, P. N., 1975, Geomorfología Estructural: Univ. Nal. Aut. de Mex., Inst. de Geogr., 113 p.
- Landa, E. G. de, y Girault, E., 1892, Informe sobre la zona minera de San Miguel Peras, ubicada en el estado de Oaxaca: Bol. Agric. Min. e Ind., p. 255-288.
- Langenheim, J., Hackner B. L., y Bartlett, A., 1967, Mangrove pollen at the depositional site of Oligo-Miocene amber from Chiapas, Mexico: Bot. Leaflet. Harv. Univ., n. 21, p. 289-324.
- Lipman, P. W., 1980, Cenozoic Volcanism in the Western United States: Implications for Continental Tectonics: en Burchfiel, B. C., Oliver, J. E., y Silver, L. T. (panel co-chairmen), Continental Tectonics, Studies in Geophysics, National Academy of Sciences Press, p. 161-174.
- López, R. E., 1983, Geología de México: Ed. Escolar, Tomo III.
- Mayer, L., 1986, Tectonic Geomorphology of Escarpments and Mountain Fronts: en Wallace, R. E. (panel chairman), Active Tectonics, Studies in Geophysics, National Academic Press, p. 125-135.
- Mena, M., 1987, Gravimetric Map of Oaxaca, Mexico: Geofísica Internacional (en prensa).
- Mitchell, A. H. G., y Reading, H. G., 1986, Sedimentation and Tectonics: en Reading, H. G. (ed), Sedimentary Environments and Facies, Blackwell Sci. Publ., Chapter 14, p. 471-519.
- Morán, D.J. Z., 1987, Paleogeografía y Paleomagnetismo pre-cenozoicos del Terreno Mixteco: Fac. de Ciencias, UNAM, Tesis de Maestría, 177 p.
- Mossman, R. W., Viniegra, F., 1976, Complex fault structures in Veracruz Province of Mexico: Am. As. of Petr. Geol., Bull., v. 60, n. 3, p. 379-388.
- Nuñez-Cornú, F. J., 1988, Oaxaca: análisis de la estructura y la sismicidad: Univ. Nal. Aut. de Mex., Inst. de Geof., Comunicaciones Técnicas, Serie Investigación, n. 4, 179 p.
- Nuñez-Cornú, F., y Ponce, L., 1987, Zonas Sísmicas de Oaxaca: Geofísica Internacional (en prensa).
- Nuñez-Cornú y Ponce, L., 1988, Zonas Sísmicas de Oaxaca: Reunión

Anual, Un. Geof. Mex., Resúmenes, p. 122.

-- Ortega, G. F., 1981, Metamorphic belts of southern Mexico and their tectonic significance: *Geofísica Internacional*, v. 20, n. 3, p. 177-202.

-- Ortega, G. F., 1982, La Falla de Oaxaca, una discontinuidad tectónica fundamental del sur de México: *Unión Geofísica Mexicana*, Reunión Anual 1982, Resúmenes, p. A1.

-- Ortega, G. F., 1984, Evidence of Precambrian evaporites in the Oaxaca granulite Complex of southern Mexico: *Precambrian Research*, v. 23, p. 377-393.

-- Ortega, G. F., 1987, North American Ocean-Continent Transects: Corridor H-3 from the Acapulco Trench to the Gulf of Mexico across Southern Mexico: en Speed, R. C. (ed.), *North America Ocean-Continent transect program*, Geol. Soc. Am., Decade of North America Geology S. P.

-- Ortega, G. F., Anderson, T. H., y Silver, L. T., 1977, Lithologies and geochronology of the Precambrian Craton of Southern Mexico: *Geol. Soc. of Am.*, Abstr. with Progr., v. 9, p. 1121-1122.

-- Ortega, G. F., y González, A. C., (en prensa), Una edad cretácica de las rocas sedimentarias deformadas de la Sierra de Juárez, Oaxaca: *Univ. Nal. Auton. de Méx., Inst. de Geol., Revista*.

-- Padilla, S. R., 1986, Post-Paleozoic tectonics of northeast Mexico and its role on the evolution of the Gulf of Mexico: *Geofísica Internacional*, v. 25, n. 1, p. 57-206.

-- Pantoja, A. J., 1970, Rocas sedimentarias paleozoicas de la región centro-septentrional de Oaxaca: *Soc. Geol. Mex., Libro Guía de la excursión México-Oaxaca*, p. 67-84.

-- Park, R. G., 1988. *Geological Structures and Moving Plates: Blackie ed.*, 337 p.

-- Pérez, J. M., Hokuto, A., y Czerna, Z. de, 1965, Reconocimiento geológico del área de Petlalcingo-Santa Cruz, Municipio de Acatlan, estado de Puebla: *Inst. Geol. UNAM, Pal. Mex.*, n. 21, parte 1, 22 p.

-- Ragan, D. N., 1980, *Geología Estructural: Omega ed.*, 207 p.

-- Raisz, E., 1964. *Landforms of Mexico: Cambridge*, map scale approx. 1:3 000 000.

-- Ramsay, J. G., y Huber, M. I., 1987. *The techniques of Modern Structural Geology. Volume 2: Folds and Fractures: Academic Press.*

700 p.

- Rodríguez, T., 1970, Geología metamórfica del área de Acatlán, estado de Puebla: Soc. Geol. Mex., Libro Guía de la excursión México-Oaxaca, p. 51-54
- Ruiz, C. M., 1979, Rubidium-Strontium geochronology of the Oaxaca and Acatlán metamorphic areas of southern Mexico: Univ. Texas, Dallas Ph. D. Thesis, p. (unpublished).
- Rzedowski, J., 1978, Vegetación de México: Limusa ed., 432 p.
- Salas, G. F., 1949, Bosquejo geológico de la Cuenca Sedimentaria de Oaxaca: Asoc. Mex. de Geol. Petr., Bol., v. 1, n. 2, p. 79-156.
- Sales, J. K., 1983, Collapse of Rocky Mountain Basement Uplifts: en Rocky Moun. Ass. of Geol (Ed.). Rocky Mountain Foreland Basins and Uplifts, p. 79-99.
- Schlaepfer, E. C., 1970, Geología terciaria del área de Yanhuatlán-Nochistlán, Oax.: Soc. Geol. Mex., Libro Guía de la excursión México-Oaxaca, p.
- Shudofsky, G. N., 1985, Source mechanisms and focal depths of east African earthquakes using Raleigh wave inversion and body wave modeling: in Jackson, J. A., 1987, Active normal faulting and crustal extension, Continental Extensional Tectonics, Geol Soc. Spec. Pub., n. 28, p. 3-17.
- Silver, L. T., y Anderson, T. H., 1974, Possible left-lateral early to middle Mesozoic disruption of the south western North America craton margin: Geol. Soc. of Am., Abs. with Prog., v. 6, p. 955.
- Torres, E. S., y Torre, A. M., 1988, Estudio Geológico del área de Santa María Tejotepec; Estado de Oaxaca: Univ. Nal. Aut. de Mex., Fac. de Ing., Tesis Profesional.
- Valdes, C., Mooney, W., Singh, S., Meyer, R., Lomnitz, C., Luetgert, J., Hellsley, C., y Lewis, B., Crustal Structure of Oaxaca, México from Seismic Refraction Measurements: en prensa.
- Viniegra, F., 1965, Geología del Macizo de Teziutlán y la cuenca cenozoica de Veracruz: As. Mex. de Geol. Petr., Bol., v. XVII, n. 7-12, 101 p.
- Vivo, J. A., 1973, Las Depresiones del Sureste de Puebla, de Oaxaca y de Veracruz: 1) Su relación con el terremoto del 28 de agosto de 1973: Univ. Nal. Aut. de Mex., Inst. de Geogr., Anuario 1973, p. 11-35.

-- Wilson, J. A., y Clabaugh, S. E., 1970, A new Miocene formation and a description of volcanic rocks, northern valley of Oaxaca: Soc. Geol. Mex., Libro Guia de la excursión México-Oaxaca, p. 120-128.

A N E X O F O T O G R A F I C O

Foto 1. Vista oriental de la parte más alta de la Sierra Mazateca, camino Teotitlán-Huautla.

Foto 2. Valle de Oaxaca, en primer plano el Complejo Oaxaqueño; al fondo la Sierra de Juárez, vista al sureste desde la carretera Telixtlahuaca-Huajuapán.

Foto 3. Límite sur del Valle de Tehuacán, vista al noreste desde la carretera Teotitlán-Tehuacán. En segundo plano la Formación Tehuacán inclinada hacia el oriente (1), en tercer plano el frente montañoso de la Sierra Mazateca (2).

Foto 4. En primer plano lomeríos constituidos por la Fm. Tehuacán, son parte de la región de La Cañada; al fondo las Sierras de la Mixteca, constituidas por la Secuencia Marina Cretácica y una de las fallas antitéticas (1). Vista al suroeste desde el camino Cuicatlán-Teotitlán.

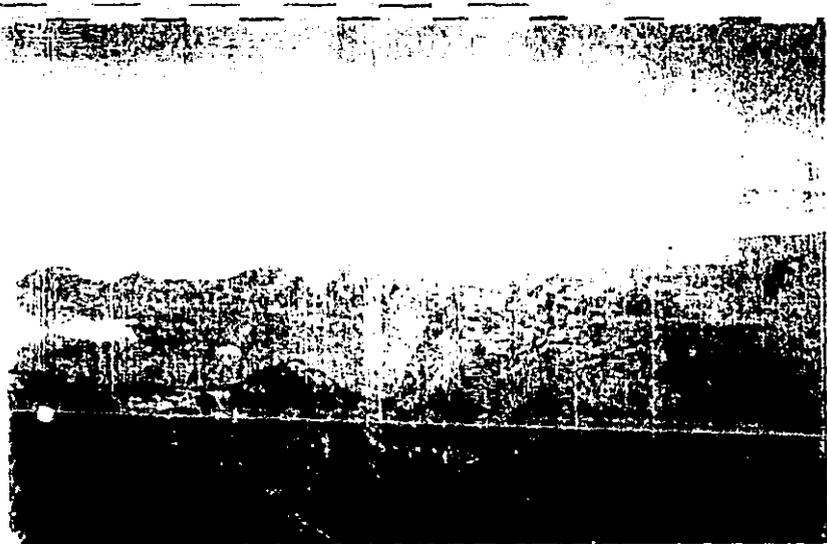


Foto 1

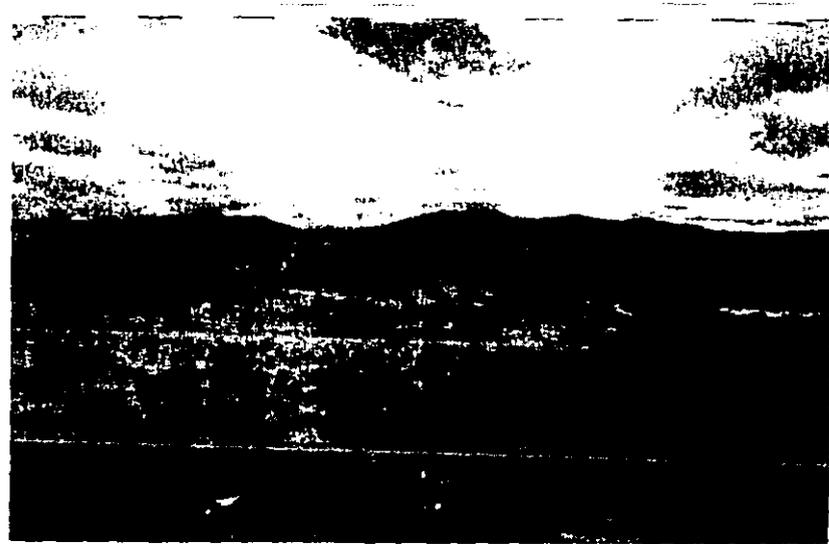


Foto 2

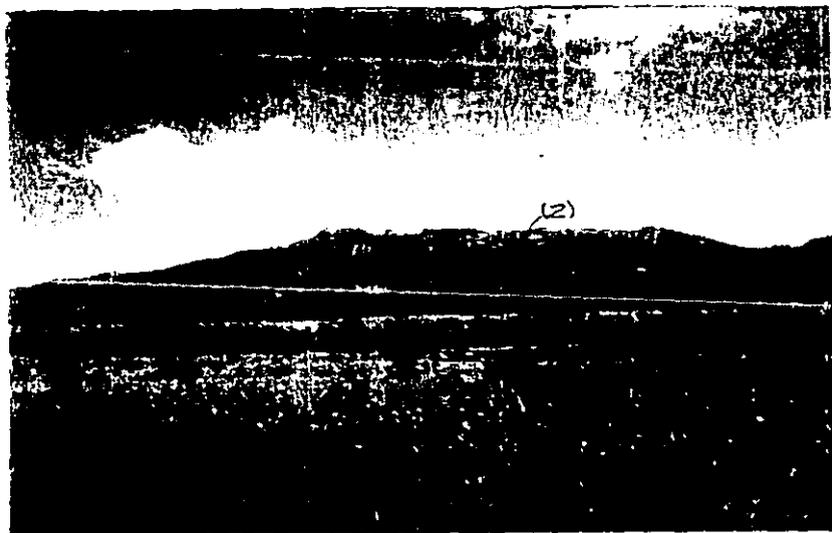


Foto 3



Foto 4

Foto 5. Región de la Cañada Chica, vista al noreste desde el camino Huitzo-Jayacatlán. Al fondo el plano principal de la Falla Jayacatlán, en primer plano la secuencia continental cenozoica.

Foto 6. Acercamiento de las milonitas del Complejo Juárez. Foto tomada en el arroyo La Ermita, al sur de San Juan Bautista Jayacatlán.

Foto 7. Sierra de Nacaltepec, constituida por la Secuencia Marina Cretácica, vista al noroeste desde la población de San Juan Bautista Jayacatlán. En primer plano la secuencia cenozoica, en segundo plano la falla antitética Nacaltepec (1).

Foto 8. Lente de Conglomerados de la Formación Chivillas. Foto tomada en el camino Tehuacán-San José Cañadas, al oriente de dicha ciudad.



Foto 5

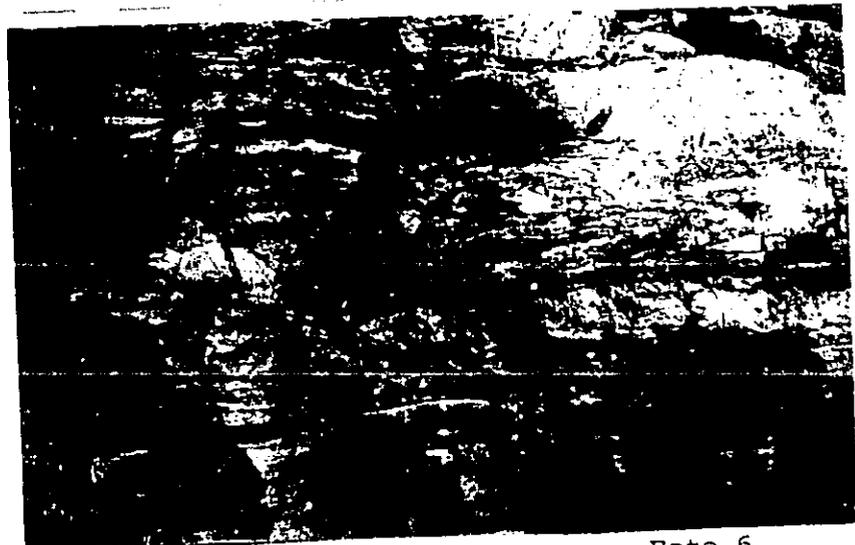


Foto 6



Foto 7



Foto 8

Foto 9. Acercamiento de la Formación Tehuacán, presenta pliegues pequeños asociados a una zona de falla. Vista noroccidental, carretera Teotitlán-Tehuacán.

Foto 10. Depósitos lacustres de la Formación Tehuacán, al fondo las Sierras de la Mixteca. Vista al noroeste desde la población de Quiotepec, región de La Cañada.

Foto 11. En primer plano la Formación Tehuacán (1), en segundo plano el Conglomerado Cuicatlán (2) y el poblado de Quiotepec (3); en tercer plano el frente montañoso de la Sierra Mazateca. Vista al noreste desde el camino a Quiotepec.

Foto 12. Contacto transicional entre la Formación Tehuacán en la base (1) y el Conglomerado Cuicatlán (2), basculados hacia el oriente; afloramiento al este del poblado de Quiotepec.

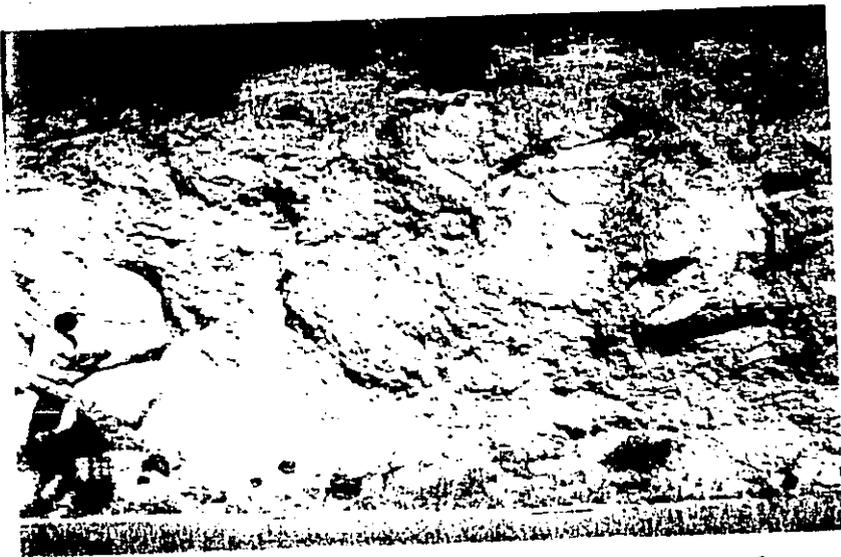


Foto 9



Foto 10

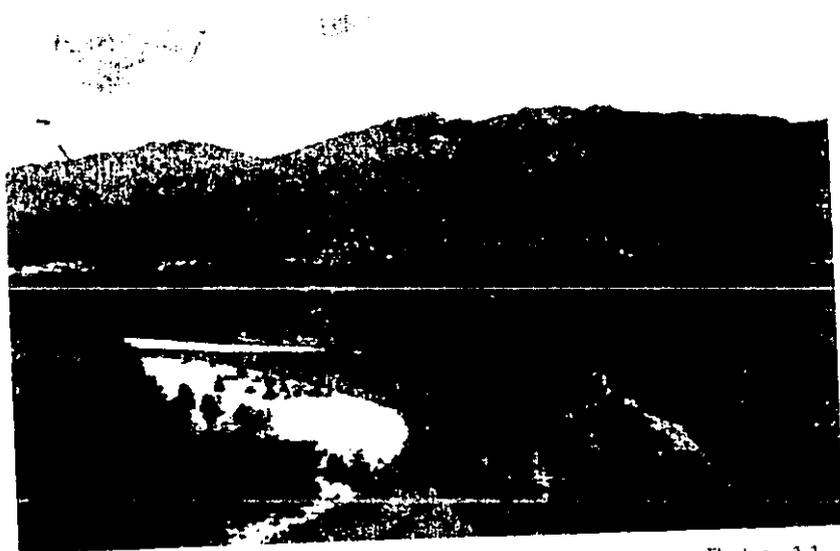


Foto 11



Foto 12

Foto 13. Afloramiento de la Formación Suchilquitongo al sur de la población de Jayacatlán en la Cañada Chica. Vista al occidente.

Foto 14. Ignimbrita del Miembro Etlá (1), encima descansa en forma discordante el Conglomerado Cuicatlán (2). Región de la Cañada Chica, camino San José Aragón-Atatlauca, vista al oriente.

Foto 15. Acercamiento de las areniscas finas, gravas y limolitas de la Formación Suchilquitongo afectada por pequeñas fallas normales. afloramiento localizado al sur de Jayacatlán en el camino Jayacatlán-San Juan del Estado.

Foto 16. Acercamiento de las limolitas y areniscas de la Formación Suchilquitongo, con fuerte inclinación debida a la actividad de la Falla de Oaxaca. Vista al sur desde el camino maderero Jayacatlán-La Tembladera.



Foto 13



Foto 14



Foto 15

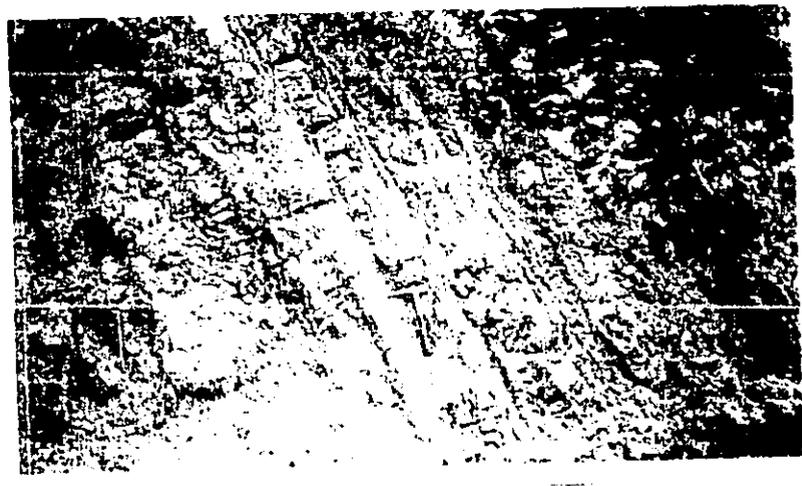


Foto 16

Foto 17. Cerro Cuarteles constituido por el Conglomerado Cuicatlan en posicion horizontal. Oriente del Valle de Tehuacan.

Foto 18. Cerro Cordon Tecachil formado por el Conglomerado Cuicatlan inclinado hacia el oriente (vista lateral del anticlinal); foto hacia el sur desde el camino a Corral de Piedra.

Foto 19. Acercamiento del Conglomerado Cuicatlan al occidente de Tecomavaca, en la parte central de la region de la Cañada.

Foto 20. Afloramiento del Conglomerado Cuicatlan en el poblado del mismo nombre. Vista al este.

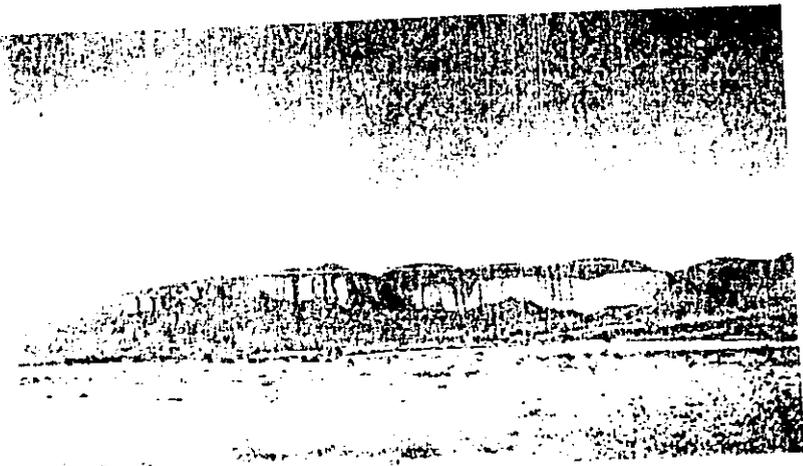


Foto 17



Foto 18



Foto 19

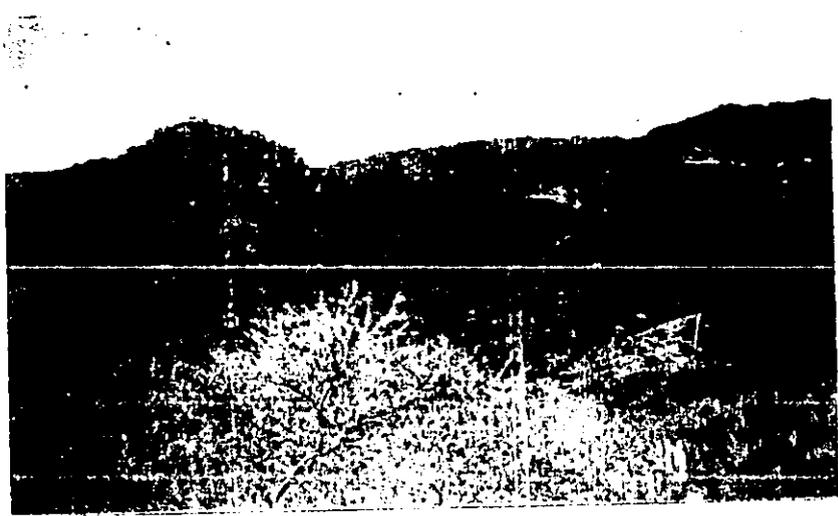


Foto 20

Foto 21. Afloramiento del Conglomerado Cuicatlán, inclinado hacia el oriente, en el Cerro El Ocote, al norte de Jayacatlán.

Foto 22. Acercamiento del afloramiento de la foto 21.

Foto 23. Vista al norte de la cima del Cerro El Ocote, constituido por el Conglomerado Cuicatlán y afectado por fallas asociadas a la Falla Jayacatlán. Región de la Cañada Chica, al norte de Jayacatlán.

Foto 24. Afloramiento del Conglomerado Teotitlán inclinado hacia el oriente, encima depósitos aluviales discordantes. Vista al sur en el camino Coxcatlán-Pala en el Valle de Tehuacan.



Foto 21



Foto 22



Foto 23



Foto 24

Foto 25. Acercamiento del Conglomerado Pueblo Viejo afectado por una falla pequeña. Vista al sur, camino maderero Jayacatlán-La Tembladera.

Foto 26. Estrias marcadas en un plano de falla que afecta al intrusivo hipabisal (cerro El Temascalito) que aflora al sur de Jayacatlán.

Foto 27. Falla normal asociada a la Falla Jayacatlán afectando al Conglomerado Cuicatlan. Vista al noroeste desde el camino Jayacatlán-San José Aragón.



Foto 25



Foto 27

Foto 28. Falla normal que pone en contacto al Conglomerado Cuicatlan (izquierda) y a la Formacion Tehuacan. Carretera Dominguillo-Teotitlan.

Foto 29. Planos de falla con estrias horizontales en el afloramiento de la ignimbrita del Miembro Etlá y que forman parte de la zona de falla San Felipe-Cd. de Oaxaca. Vista al noreste, en las afueras de la Ciudad de Oaxaca.

Foto 30. Vista frontal del plano de falla de la Falla Jayacatlan. En la parte inferior, la secuencia cenozoica.

Foto 31. Vista transversal al plano de falla de la Falla Jayacatlan; en el lado derecho el Complejo Juárez (1); en el lado izquierdo la Formacion Suchilquitongo (2) y el Conglomerado Cuicatlan (Cerro El Ocote. 3). Fotografia tomada hacia el norte desde el camino maderero Jayacatlan-La Tembladera.



Foto 28



Foto 29



Foto 30



Foto 31

Foto 32. Vista frontal del plano de falla de la Falla Jayacatlan, la mancha blanca es un escurrimiento de agua. Foto tomada hacia el este, desde el mismo punto que la foto 31.

Foto 33. Vista transversal (al sur) del plano de la Falla Jayacatlán, a la izquierda el Complejo Juárez; a la derecha 1) la Fm. Suchilquitongo (afloramiento de la foto 13), 2) Conglomerado Pueblo Viejo, 3) Secuencia Marina Cretácica. Observese la disminución de la magnitud relativa del desplazamiento vertical hacia el sur. Foto tomada en el mismo punto que la foto 31 viendo hacia el sur.

Foto 34. Acercamiento de la brecha tectónica localizada en la zona de falla de la Falla Jayacatlan, originada por la actividad de esta. Complejo Juárez, bloque oriental. Foto tomada en uno de los arroyos que cortan el plano de falla.

Foto 35. Depósitos lacustres de la Formación Suchilquitongo formando un pliegue de arrastre en las proximidades al plano de la Falla Jayacatlan. Vista al sur, foto tomada en el punto marcado con el número 2 en la foto 31.



Foto 32

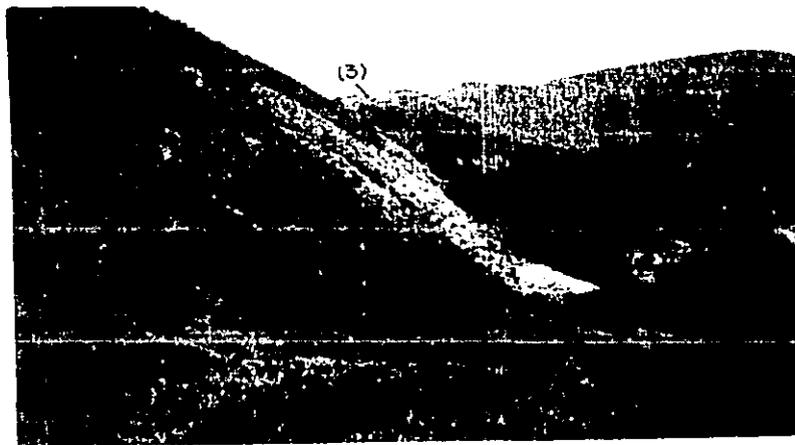


Foto 33

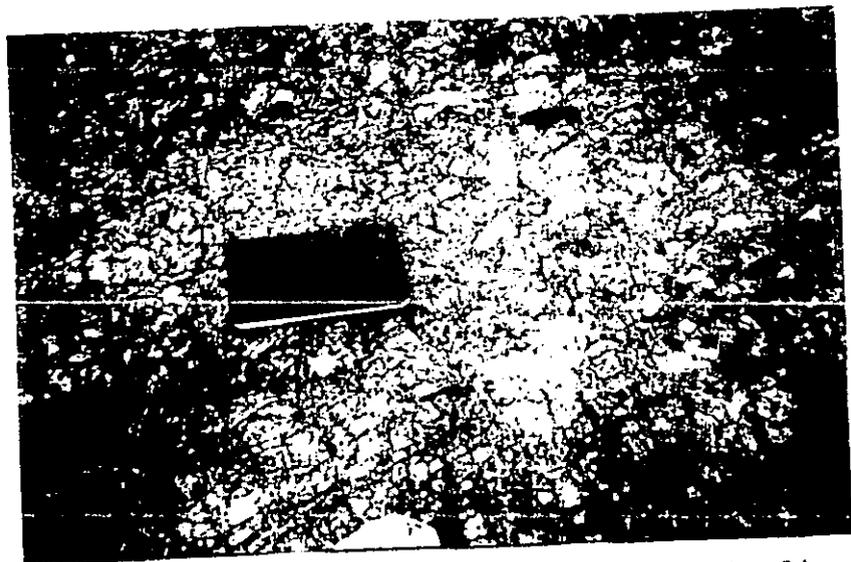


Foto 34



Foto 35

Foto 36. Otro pliegue de arrastre asociado a la actividad de la Falla Jayacatlán, afectando a la Fm. Suchilquitongo, cerca del plano de falla.

Foto 37. Vista frontal (hacia el oriente) del anticlinal del Cordon Tecáchil, al norte de Coxcatlán, esta costituido por el Conglomerado Cuicatlán y aparentemente está asociado con la actividad de la Falla Coxcatlán.

Foto 38. Falla afectando al Conglomerado Teotitlán en el mismo afloramiento de la foto 24.

Foto 39. Acercamiento de la falla de la foto anterior.

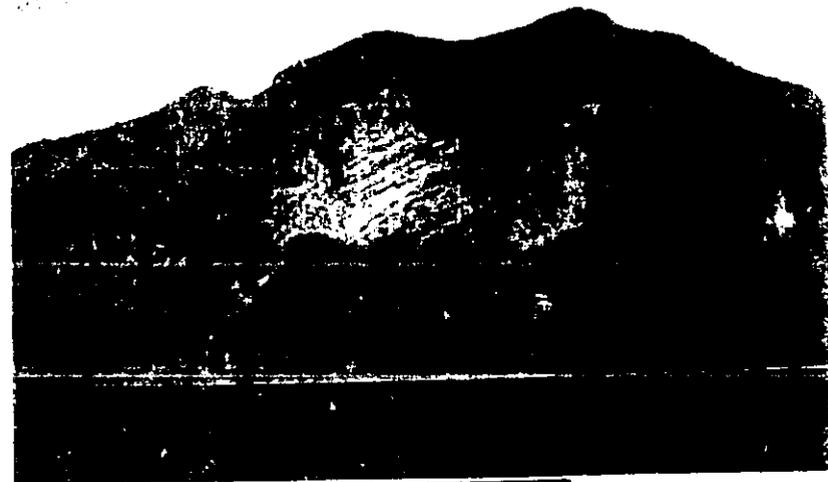


Foto 36

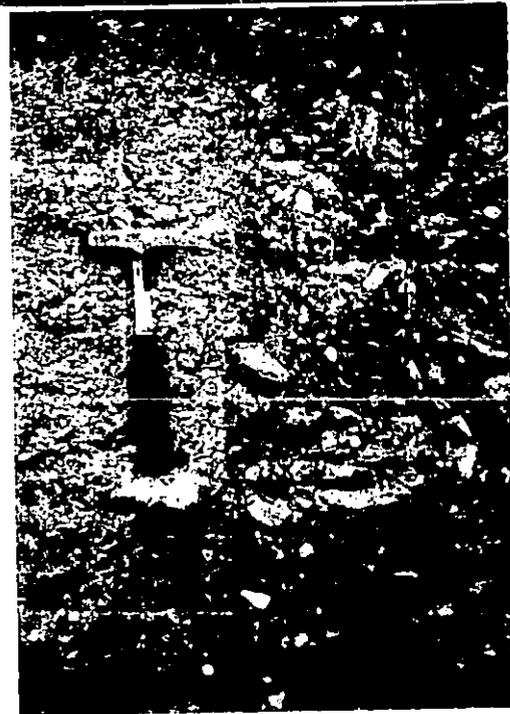


Foto 37

Foto 38

Foto 39

Foto 40. Vista de la Sierra mazateca desde el camino Teotitlán-Huautla; observese la disección tan profunda que presenta.

Foto 41. Caída de agua formada en el plano de la Falla Jayacatlán, al sur de dicha población.

Foto 42. Caída de agua en el plano de falla de la Falla Jayacatlán, al norte de dicha población.

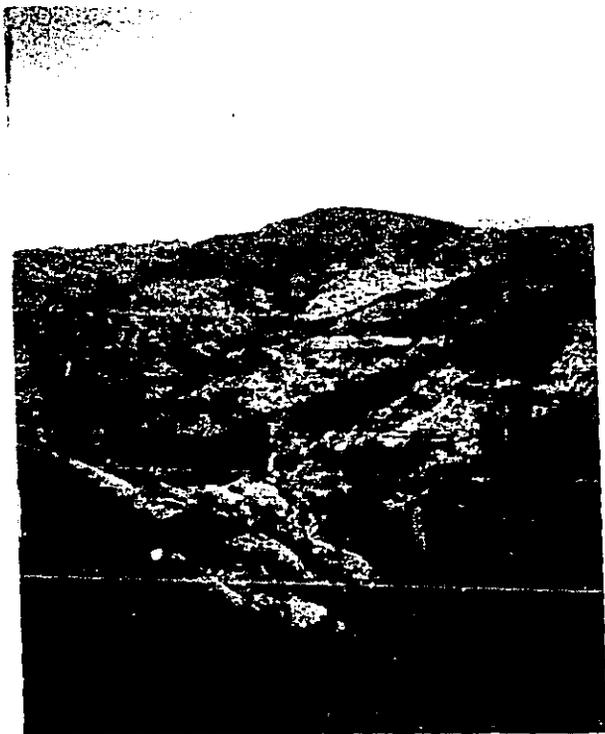


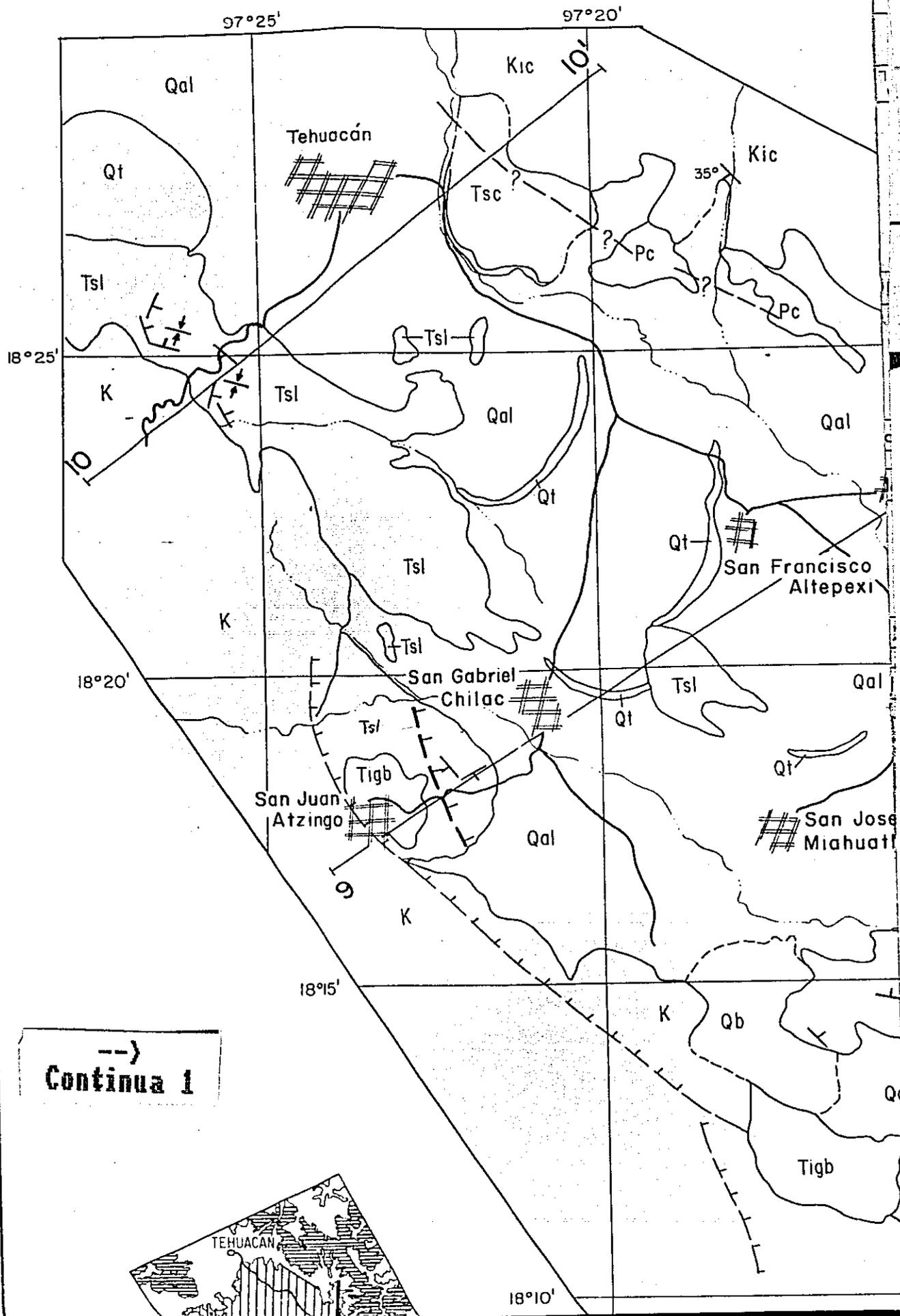
Foto 40



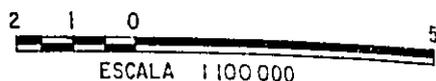
Foto 41



Foto 42

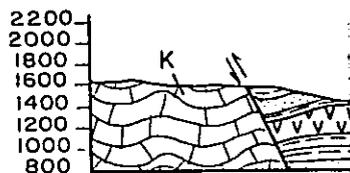


MAPA

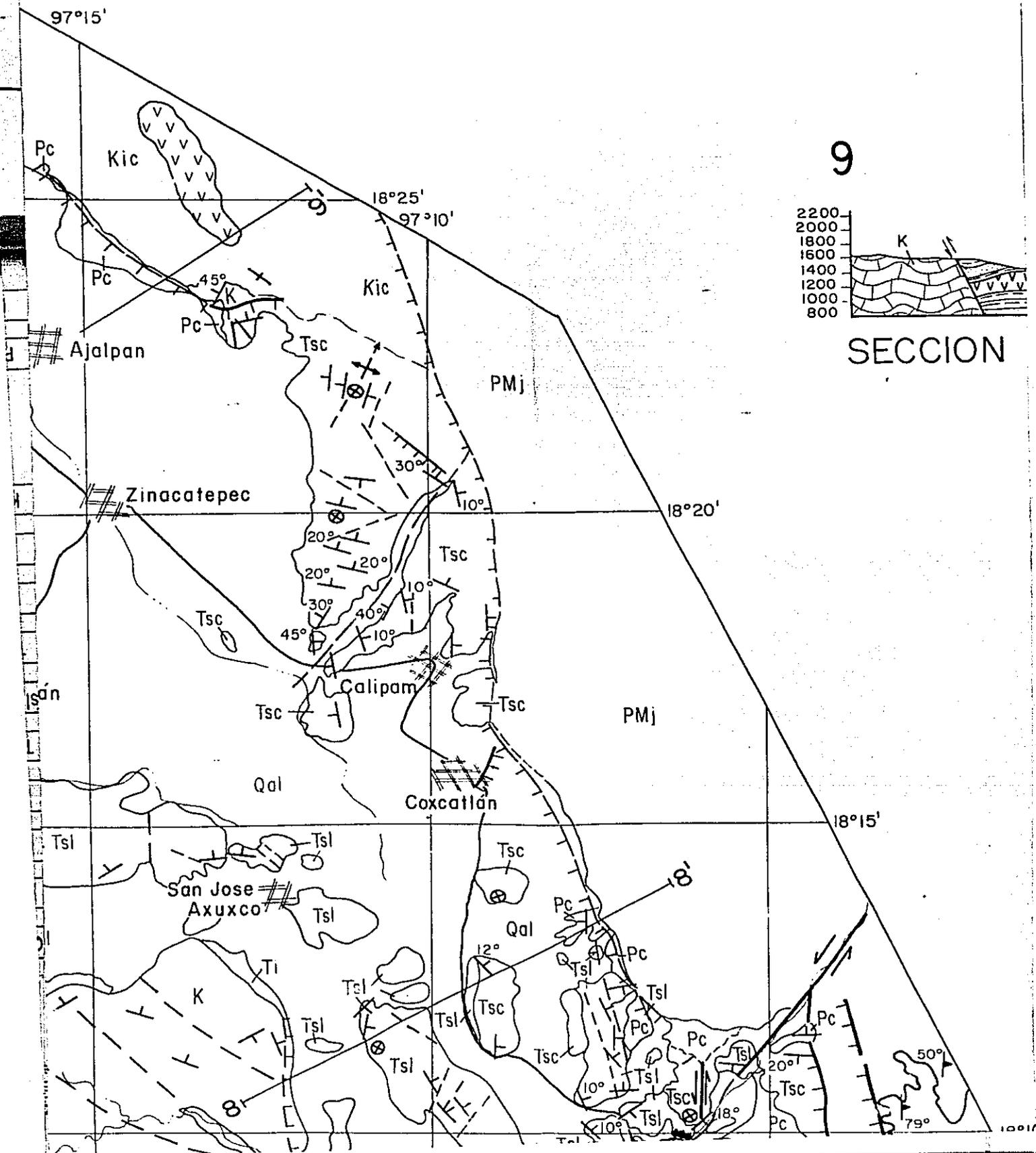


Continua 2

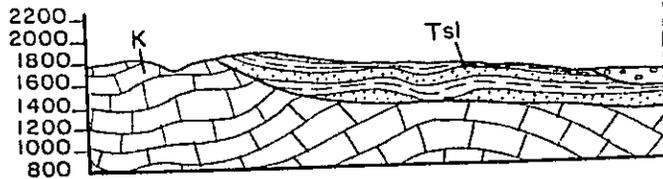
9



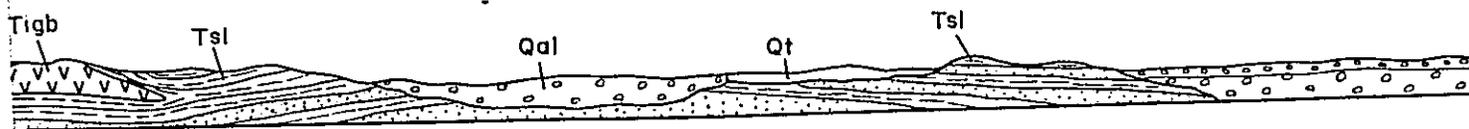
SECCION



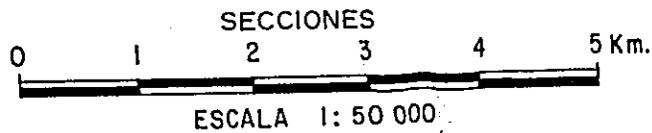
10



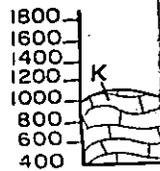
SECCION TEHUACAN



AJALPAN

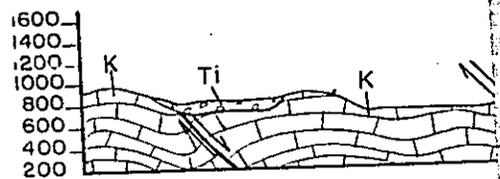


8



SEC

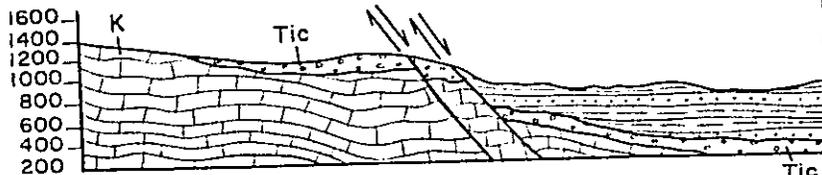
7



SECCION TOXF

-->
Continua 3

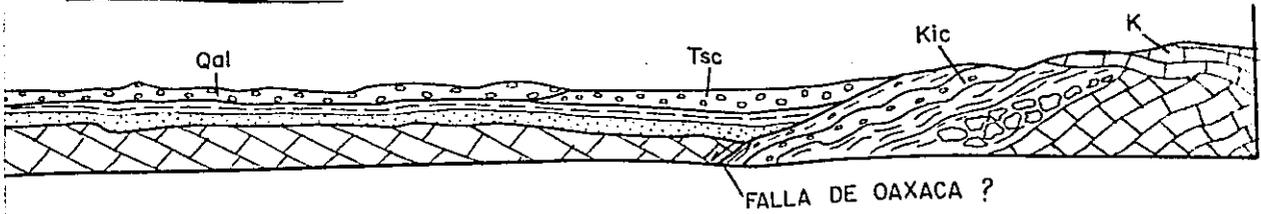
6



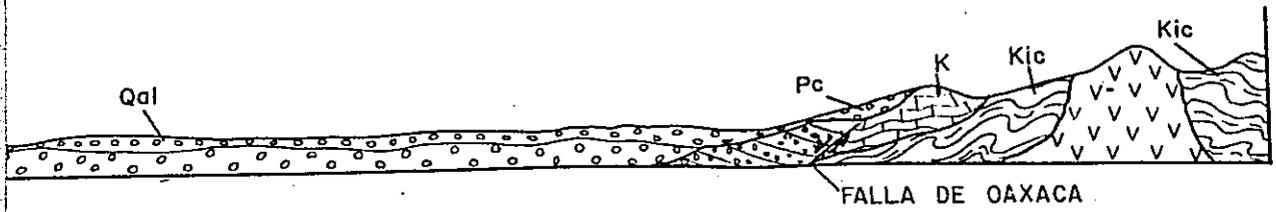
Tic

Continúa A

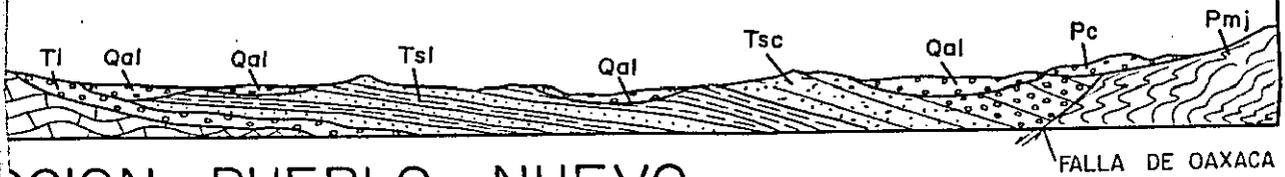
10'



9'

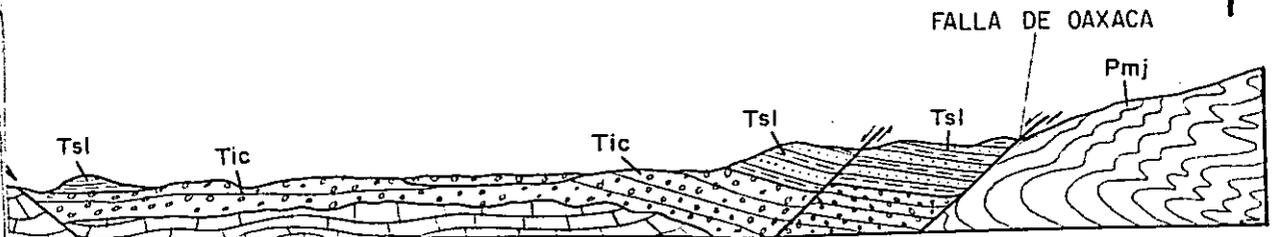


8'



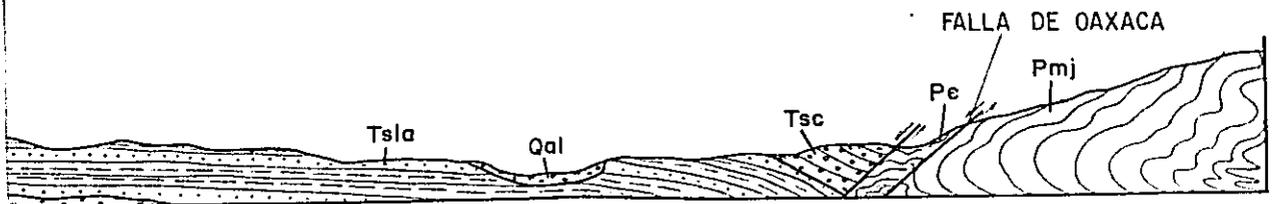
ACION PUEBLO NUEVO

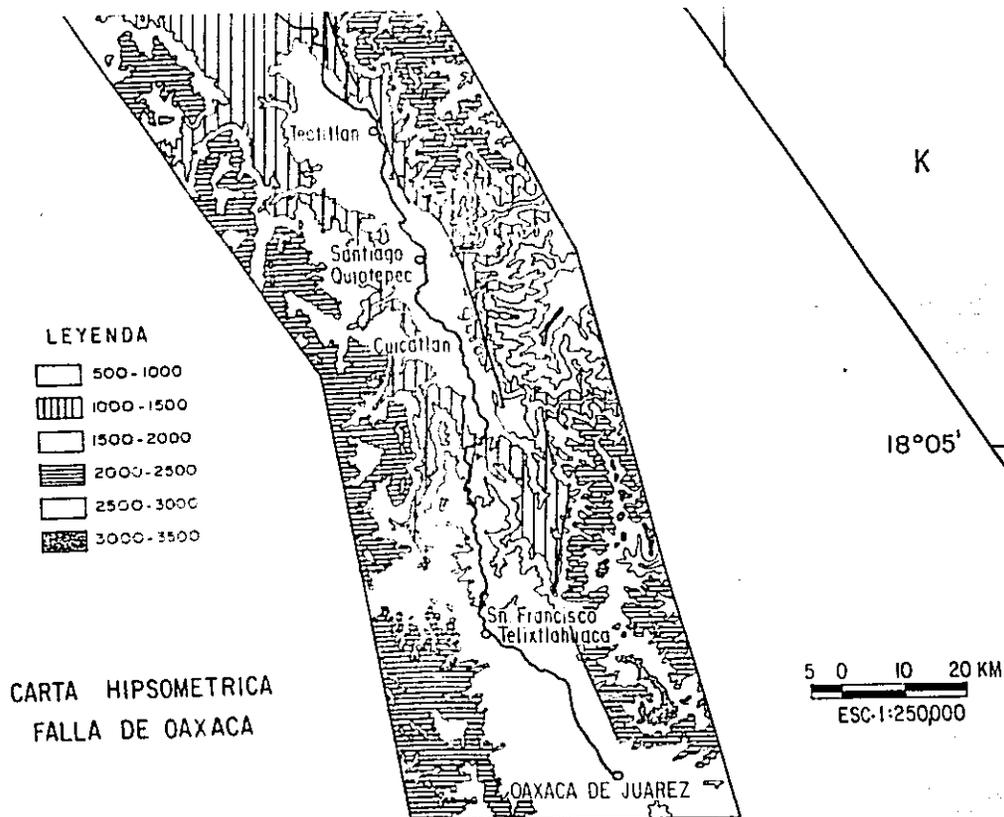
7'



PALAN

6'

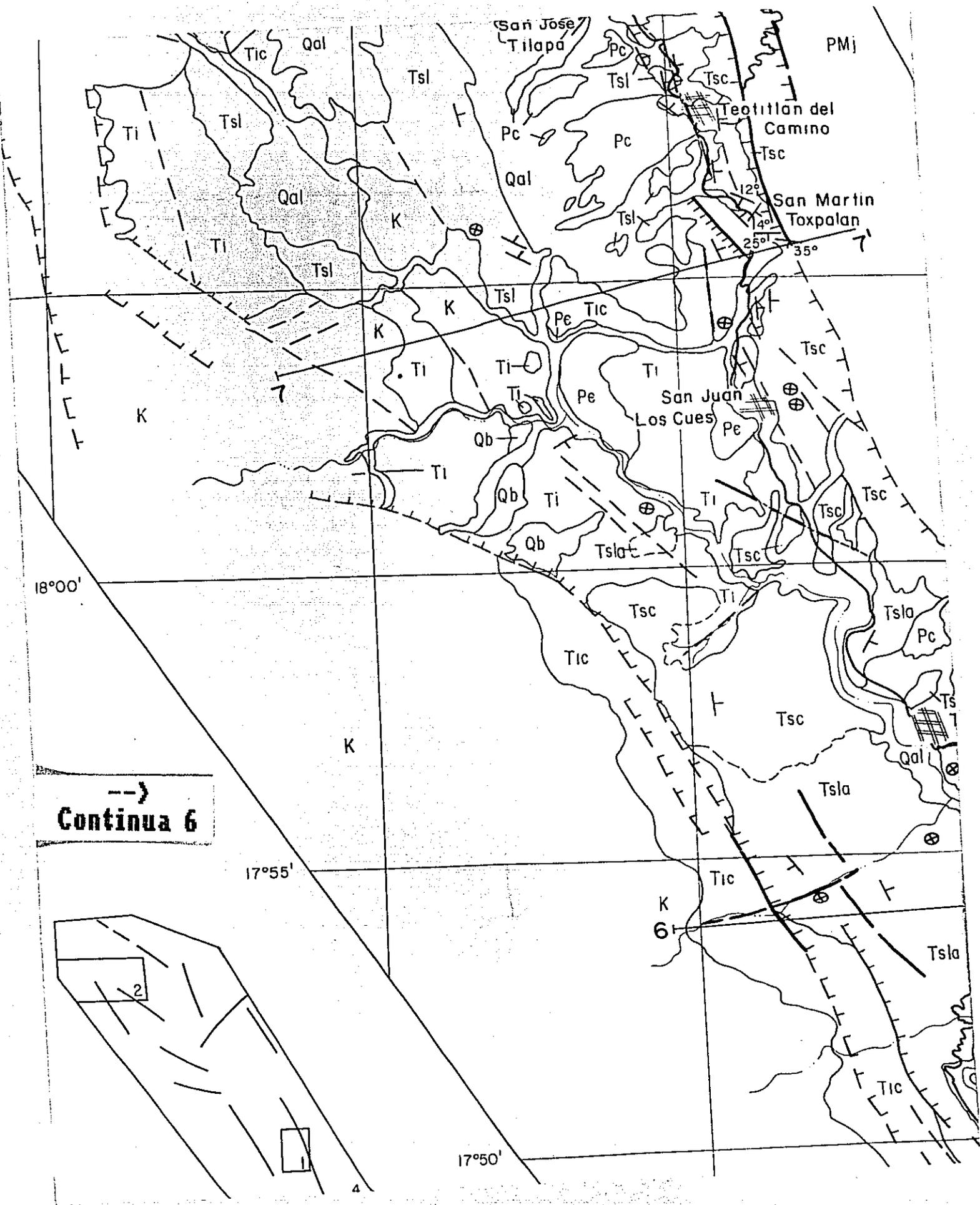




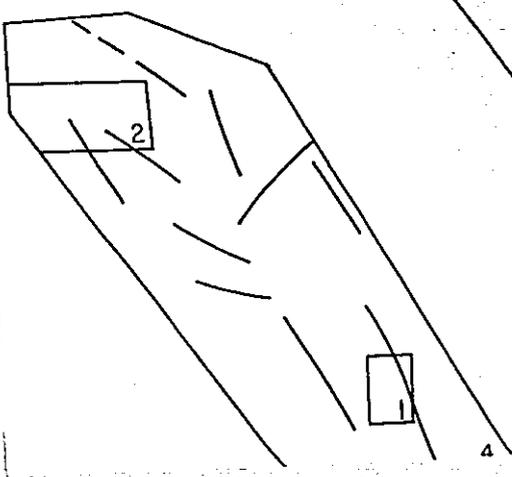
-->
Continua 5

FUENTES DE INFORMACION UTILIZADAS

- EL PRESENTE MAPA GEOLOGICO FUE ELABORADO POR: ING. ELENA CENTENO GARCIA, BAJO LA ASESORIA DEL DR. FERNANDO ORTEGA GUTIERREZ Y LA COLABORACION DEL M. EN C. RODOLFO CORONA E., A PARTIR DE RECONOCIMIENTO GEOLOGICO EN EL CAMPO Y ANALISIS FOTOLOGICO DE FOTOGRAFIAS AEREAS ESCALA 1:50,000; UTILIZANDO COMO MAPAS BASE LAS CARTAS TOPOGRAFICAS ESCALA 1:50,000 DE INEGI
- LOCALMENTE SE UTILIZO INFORMACION PUBLICADA POR.
- 1.-BARRERA, T, 1946, GUIA GEOLOGICA DE OAXACA. UNAM, INSTITUTO DE GEOLOGIA 101 Pg.
 - 2.-CALDERON, G. A., 1956, BOSQUEJO GEOLOGICO DE LA REGION DE SAN JUAN RAYA, PUEBLA: EN CONGRESO GEOLOGICO INTERNACIONAL, EXCURSION A-II, Pg. 27.
 - 3.-WILSON, J. A., Y CLABAUGH, S. E., 1970, A NEW MIOCENE FORMATION

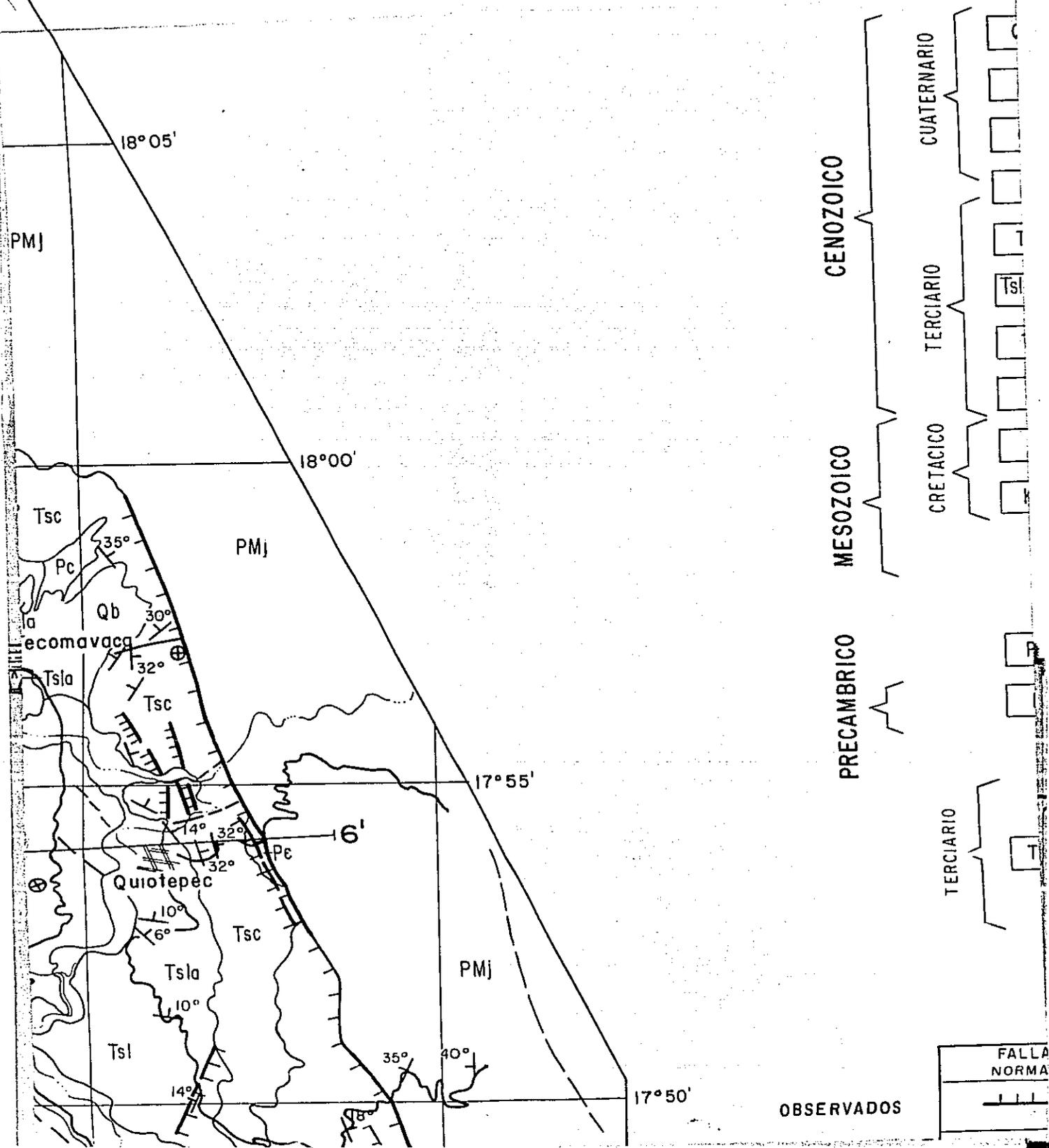


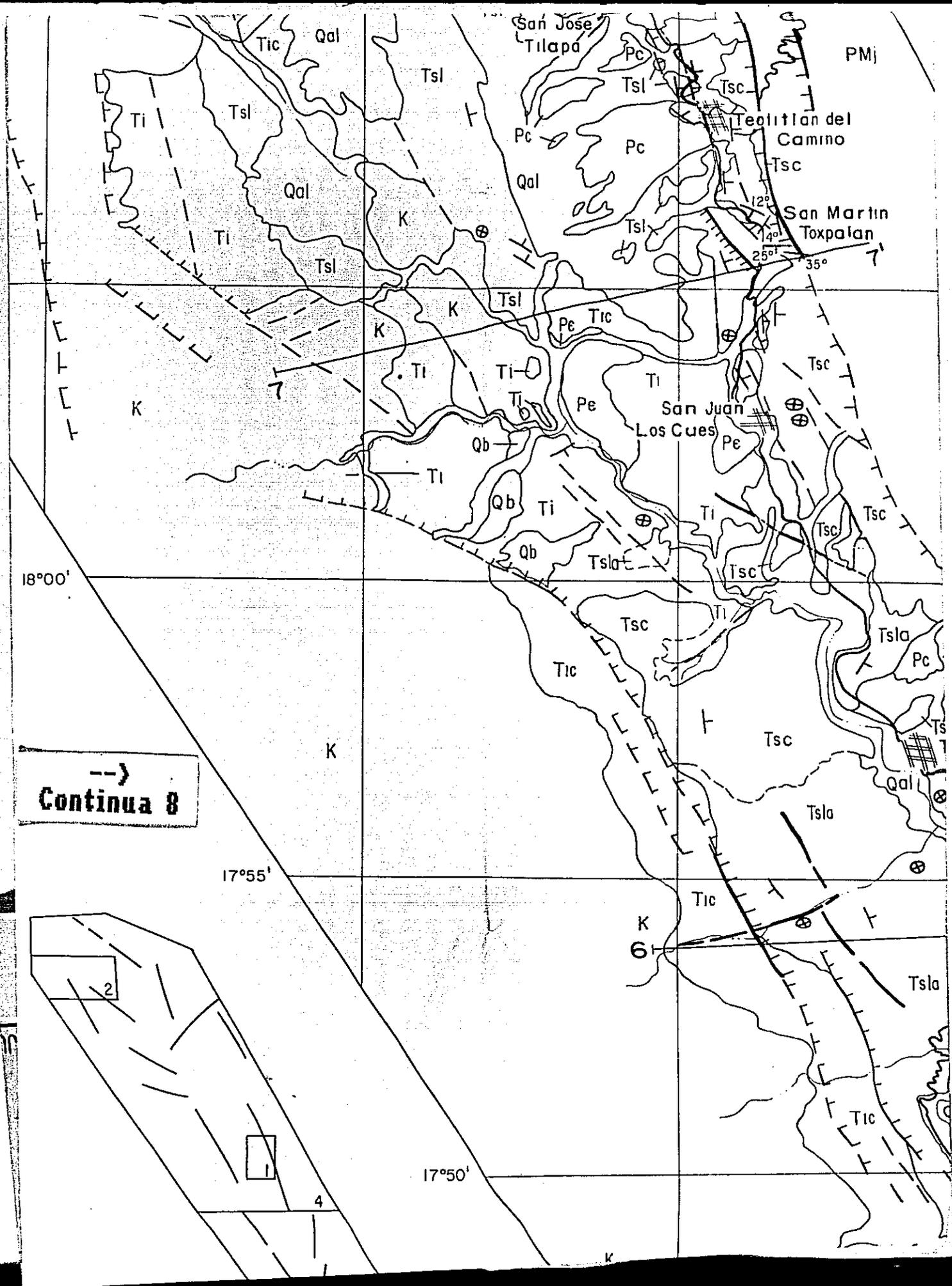
-->
Continua 6



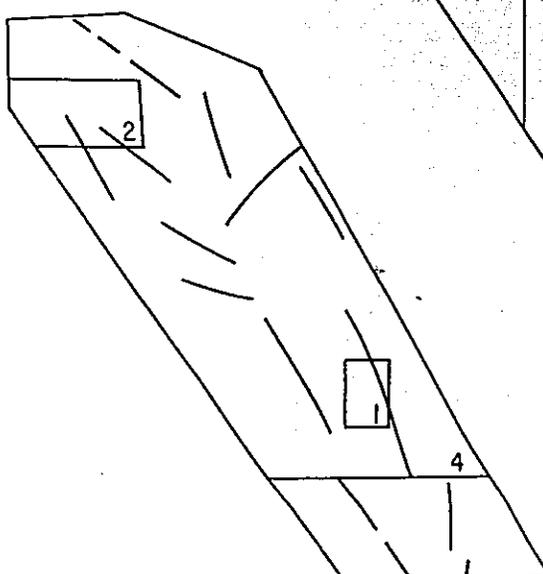
SECCION QUIOTEPEC

→
Continua 7





-->
Continua 8



LEYENDA

ROCAS SEDIMENTARIAS

- Qd Aluvión
- Qb Abanicos Aluviales
- Qt Formación Cerro de la Mesa
- Pc Conglomerado Teotitlán
- Psc Conglomerado Cuicatlán
- Tsla Formación Tehuacán (Tsl) Depósitos Lacustres A (Tsla)
- Tic Conglomerado A
- Ti Conglomerado Indiferenciado
- K Secuencia Marina Cretácica
- Tic Formación Chivillas

ROCAS METAMORFICAS

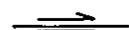
- Mj Complejo Juárez (Paleozoico ? - Mesozoico Temprano)
- Pe Complejo Oaxaqueño

ROCAS IGNEAS

- Igb Derrames e Intrusivos Basálticos - Andesíticos

-->
Continua 8

SIMBOLOS GEOLOGICOS

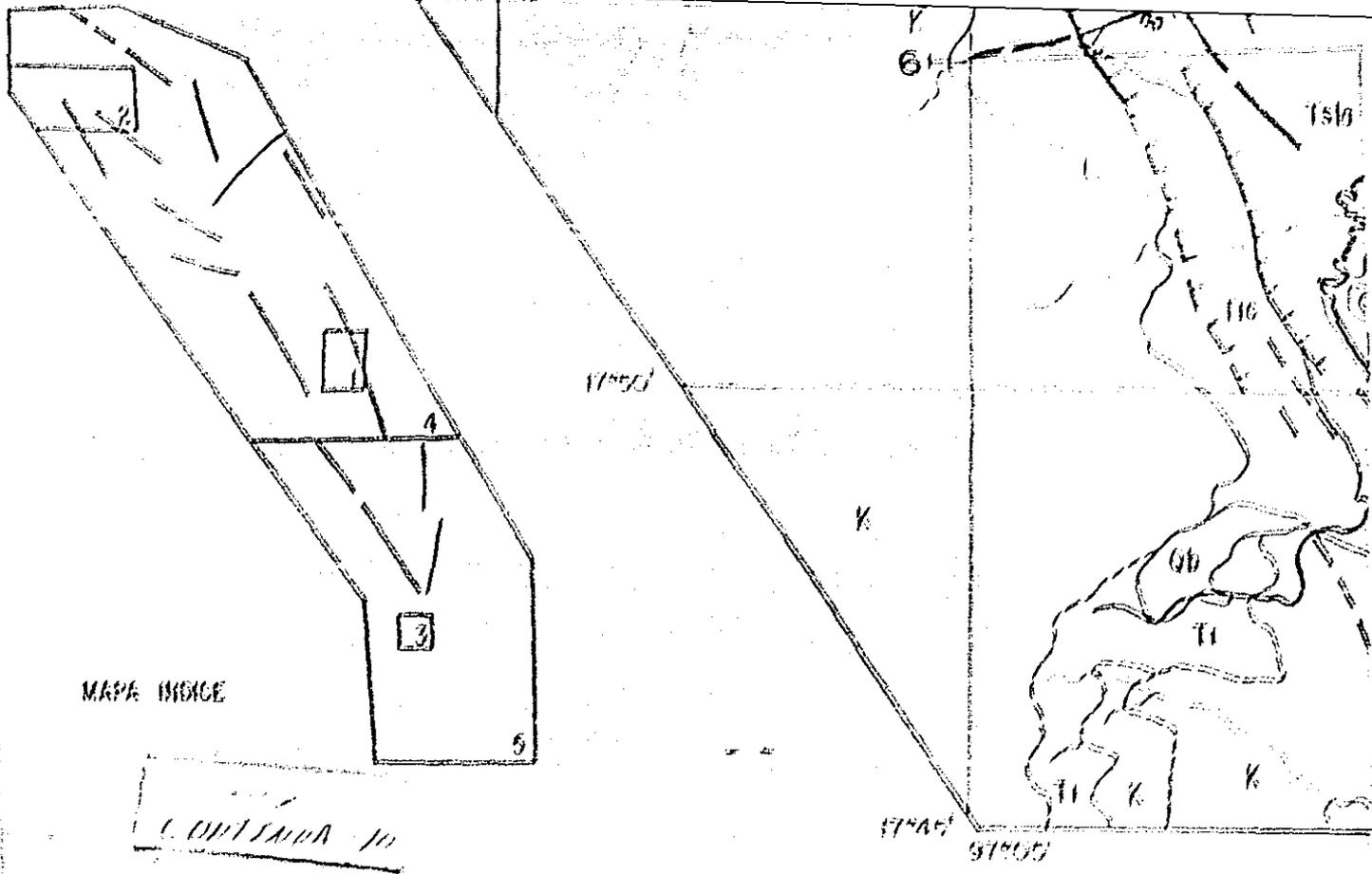
L	FALLA INVERSA	FALLA LATERAL	LINEAMIENTO	SINCLINAL	ANTICLINAL
					
					

LOCALMENTE SE UTILIZO INFORMACION PUBLICADA POR.

- 1.-BARRERA, T, 1946, GUIA GEOLOGICA DE OAXACA. UNAM, INSTITUTO DE GEOLOGIA 101 Pg
- 2.-CALDERON, G. A., 1956, BOSQUEJO GEOLOGICO DE LA REGION DE SAN JUAN RAYA, PUEBLA: EN CONGRESO GEOLOGICO INTERNACIONAL, EXCURSION A-II, Pg 27.
- 3.-WILSON, J.A., Y CLABAUGH, S.E, 1970, A NEW MIOCENE FORMATION AND A DESCRIPTION OF VOLCANIC ROCKS, NORTHERN VALLEY OF OAXACA STATE OF OAXACA: SOCIEDAD GEOLOGICA MEXICANA, -LIBRO GUIA DE LA EXCURSION MEXICO-OAXACA, Pg. 120-128.
- 4.-INEGI, CARTA GEOLOGICA DE ORIZABA, E 14-6, ESCALA 1:250 000.
- 5.-INEGI, CARTA GEOLOGICA DE OAXACA, E 14-9, ESCALA 1:250 000.

→
CONTINUA 9

INSTITUTO DE GEOLOGIA, U.N.A.M.



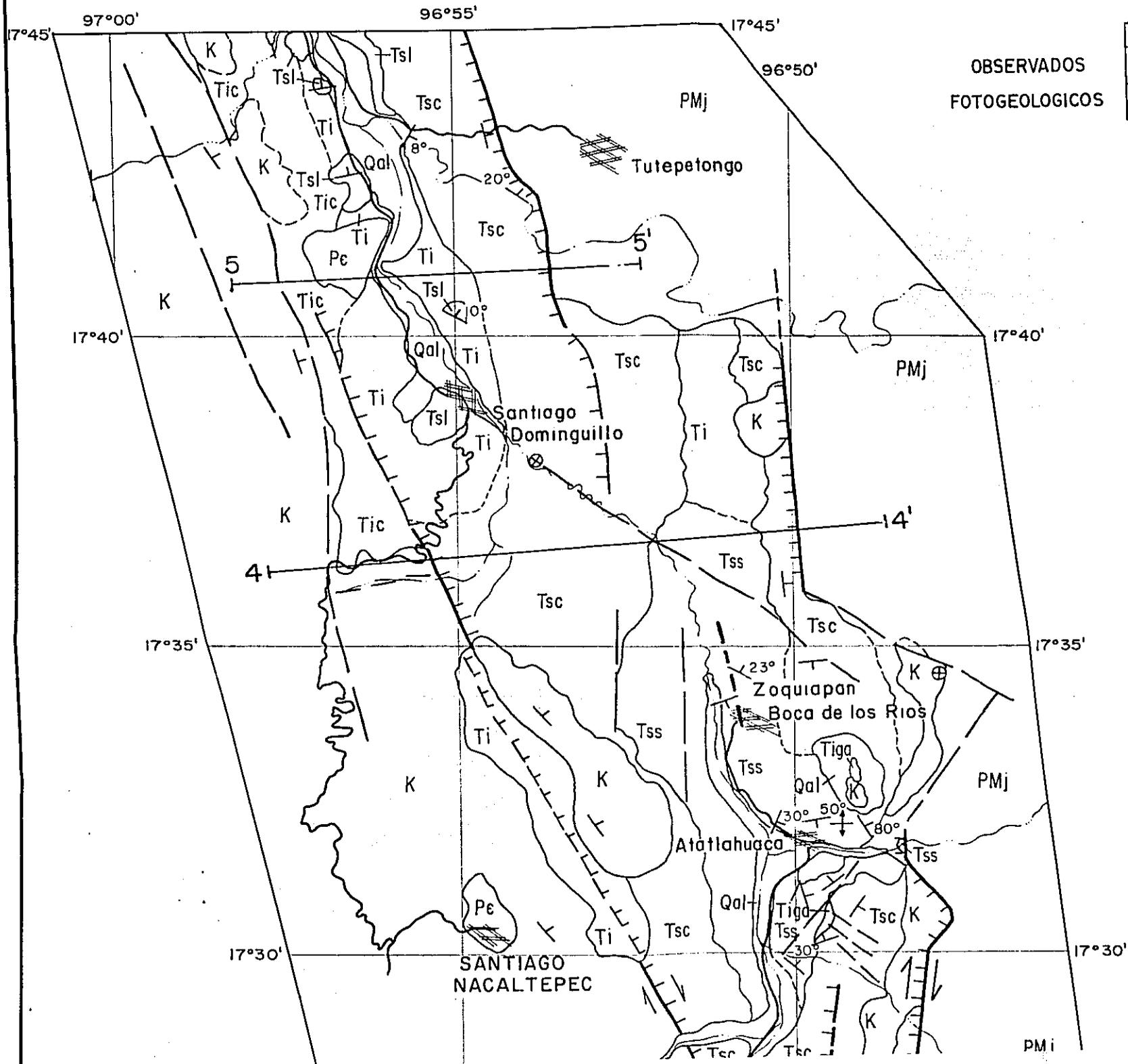
MAPA GEOLOGICO DE LA FALLA D

SIMBOLOS GEOLOGICOS

	FALLA INVERSA	FALLA LATERAL	LINEAMIENTO	SINCLINAL	ANTICLINAL
L					

RUMBOS Y ECHADOS

	HORIZONTAL	FOLIACION	ESTRATOS
OBSERVADOS	⊕		
FOTOGEOLOGICOS	⊕		

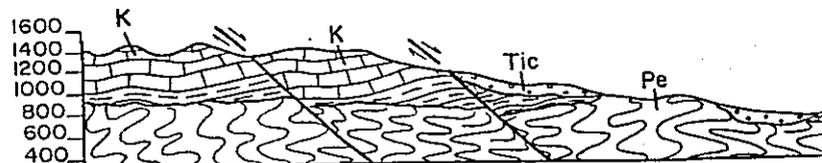


RUMBOS Y ECHADOS

HORIZONTAL	FOLIACION	ESTRATOS
⊕	▲ 15°	┘ 15°
⊕	▲	┘

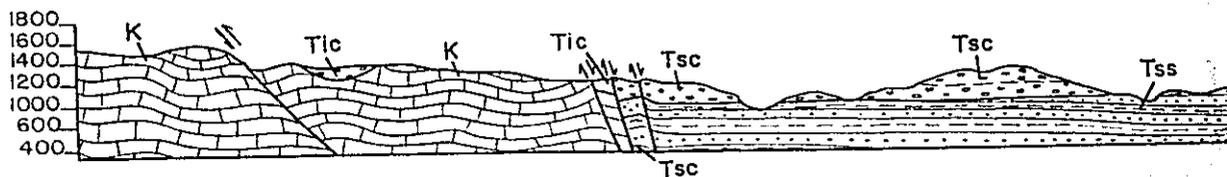
OBSERVADOS
TOGEOLOGICOS

5



SECCION SANTIAGO DOM

4

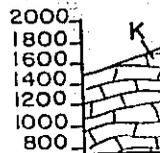


SECCION ZOQUIAPAN

17°40'

17°35'

3



SECCI

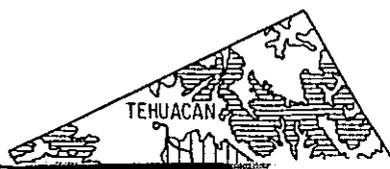
SECCIONES



ESCALA 1: 50 000

17°30'

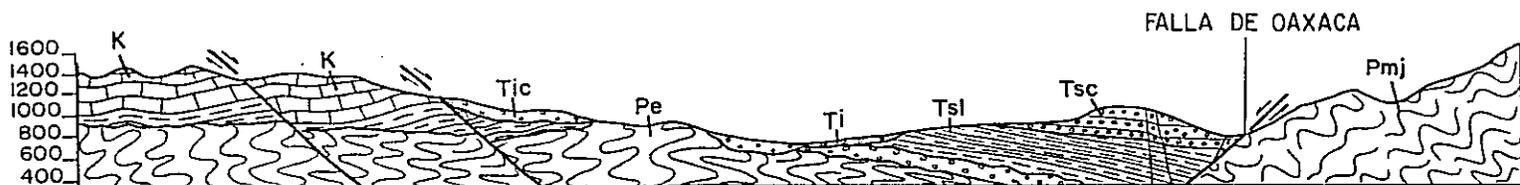
2



PMj

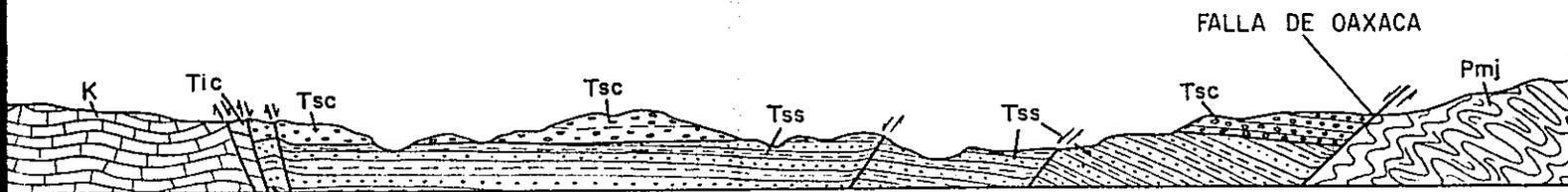
5

5'



SECCION SANTIAGO DOMINGUILLO

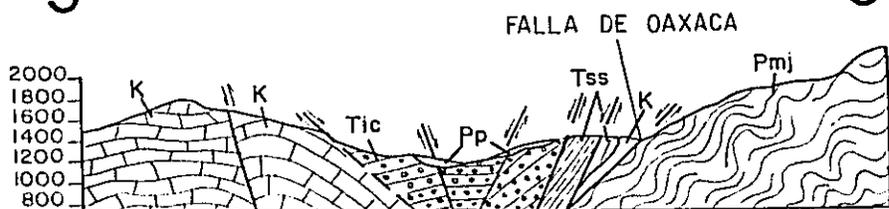
4'



ZOQUIAPAN

3

3'



SECCION JAYACATLAN

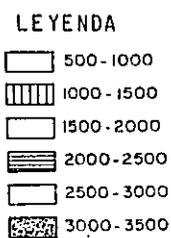
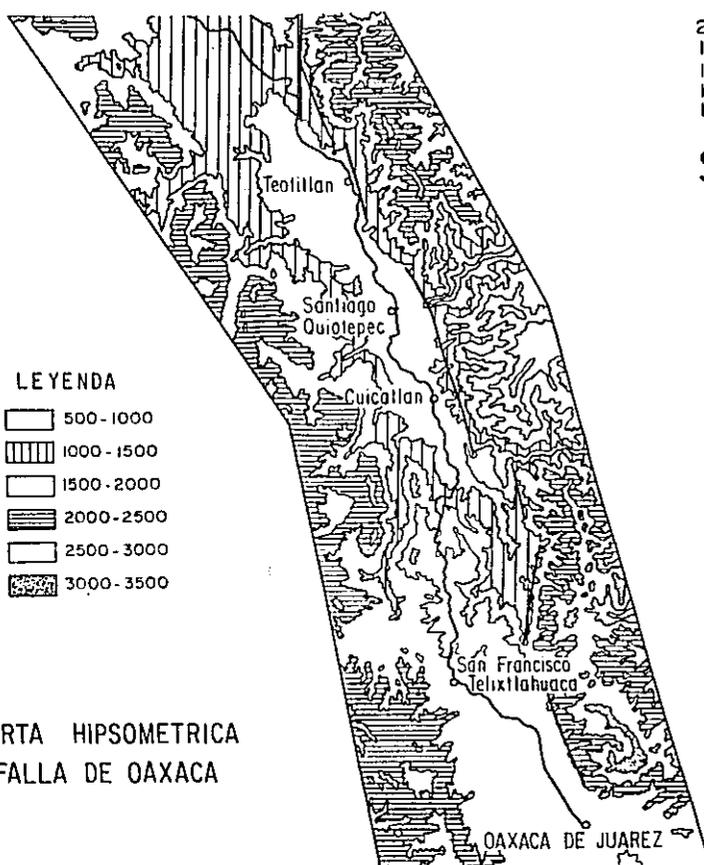
4 5 Km.

000

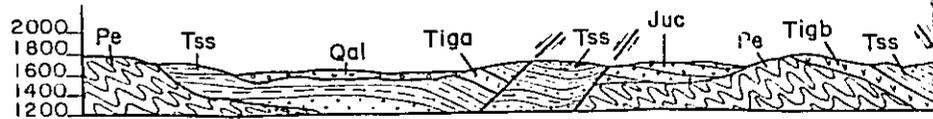
2

2'

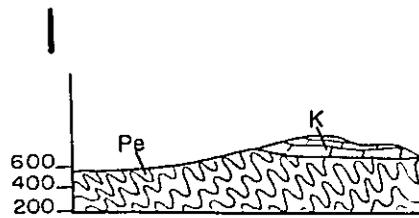
FALLA DE OAXACA



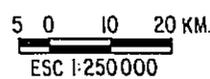
CARTA HIPSOMETRICA
FALLA DE OAXACA



SECCION SAN JUAN DEL EST

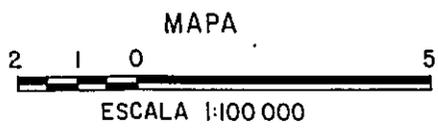


SECCION OA



PMj

17°15'



PMj

17°10'

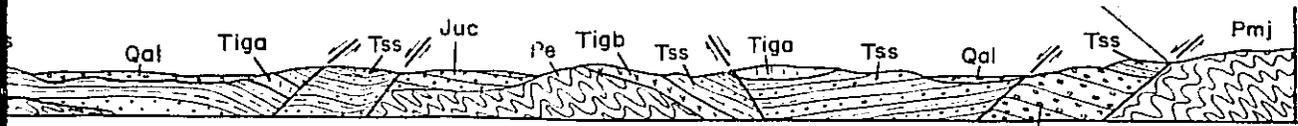
→
Continua 5

LEYE

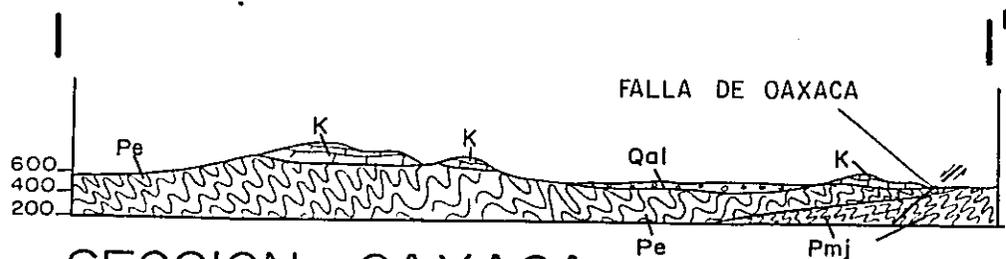
ROCAS SEDIMENTARIAS

CENOZOICO	CUATERNARIO	Qal	Aluvi3n	
		Qb	Abanicos Aluviales	
		Qt	Formaci3n Cerro de la Mesa	
	TERCIARIO	Pp	Conglomerado Pueblo Viejo	
		Tsc	Conglomerado Cuicatlan	
		Tsl y Tss	Dep3sitos Lacustres B y Formaci3n	
		Tic	Conglomerado A	
	MESOZOICO	JURASICO CRETACICO	Ti	Conglomerado Indiferenciado
			K	Secuencia Marina Cret3cica
			Juc	Formaci3n Yogana

ROCAS METAMORFICAS



N SAN JUAN DEL ESTADO



SECCION OAXACA

20 KM.

LEYENDA

ROCAS SEDIMENTARIAS

- Qal Aluvión
- Qb Abanicos Aluviales
- Qt Formación Cerro de la Mesa
- Pp Conglomerado Pueblo Viejo
- Tsc Conglomerado Cuicatlán
- Tsl y Tss Depósitos Lacustres B y Formación Suchilquitongo (Tss)
- Tic Conglomerado A
- Ti Conglomerado Indiferenciado
- K Secuencia Marina Cretácica

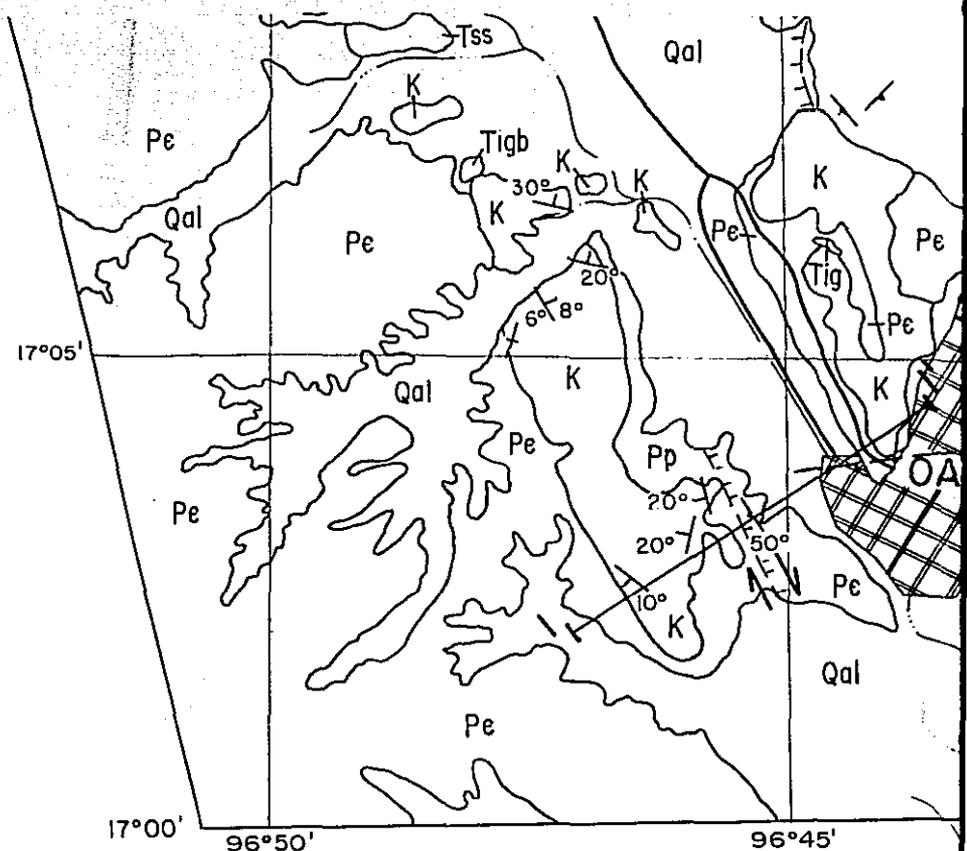
- Juc Formación Yogana

ROCAS METAMORFICAS

-->
Continua 6

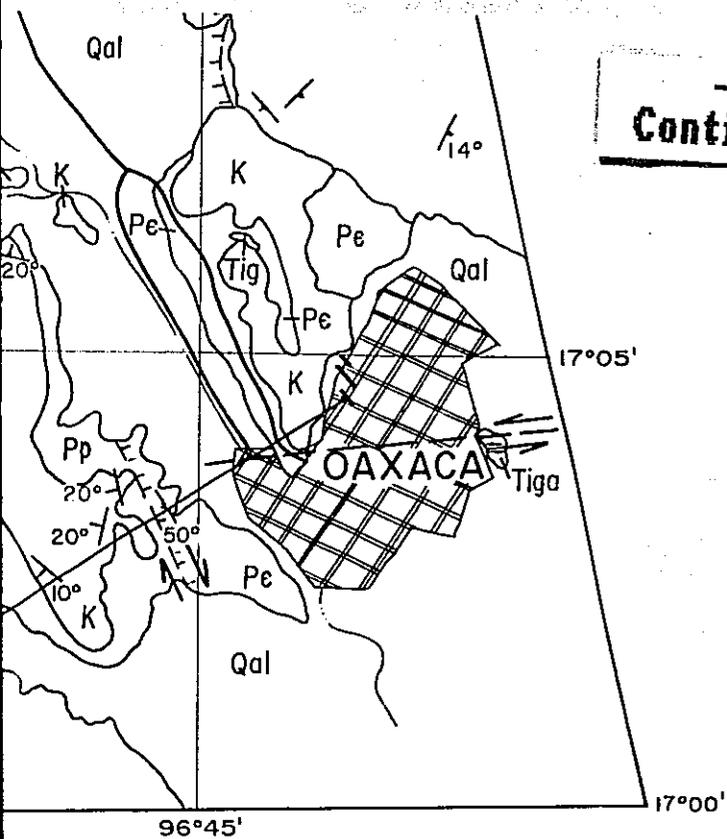
CON LA COLABORACION DEL M. EN C. RODOLFO C. E., A PARTIR DE RECONOCIMIENTO GEOLOGICO EN EL CAMPO Y ANALISIS FOTOGEOLOGICO DE FOTOGRAFIAS AEREAS ESCALA 1:50 000; UTILIZANDO COMO MAPAS BASE LAS CARTAS TOPOGRAFICAS ESCALA 1:50 000, DE INEGI. LOCALMENTE SE UTILIZO INFORMACION PUBLICADA POR:

- 1.-BARRERA, T., 1946, GUIA GEOLOGICA DE OAXACA: UNAM, INSTITUTO DE GEOLOGIA., 101 p.
- 2.-CALDERON, G. A., 1956, BOSQUEJO GEOLOGICO DE LA REGION DE SAN JUAN RAYA, PUE.: EN CONGRESO GEOLOGICO INTERNACIONAL, EXCURSION A-11, Pg. 27.
- 3.-WILSON, J. A., Y CLABAUGH, S. E., 1970, A NEW MIOCENE FORMATION AND A DESCRIPTION OF VOLCANIC ROCKS, NORTHERN VALLEY OF OAXACA STATE OF OAXACA: SOC. GEOL. MEX., LIBRO GUIA DE LA EXCURSION MEXICO-OAXACA, Pg. 120-128.
- 4.-INEGI, CARTA GEOLOGICA DE ORIZABA, E 14-6, ESC. 1:250 000.
- 5.-INEGI, CARTA GEOLOGICA DE OAXACA, E 14-9, ESC. 1:250 000.



-->
Continua 7

MAPA GEOLOGICO DE LA R



-->
Continua 8

PRECAMBRICO

PMj Complejo Juarez (Paleozoico)

Pe Complejo Oaxaqueño

ROCAS IGNEAS

- TERCIARIO
- Tiga Ignimbritas (Miembro Etla)
 - Tigb Derrames e Intrusivos Basálticos
 - Tig Intrusivos Graníticos
 - Pzi Intrusivo Permico (272 ± 8 Ma)

SIMBOLO

OBSERVADOS

INFERIDOS O DE FOTOGEOLOGIA

CUBIERTOS

FALLA NORMAL	FALLA INVERSA	FALLA LATERAL

JUNIO 1988

9

CO DE LA FALLA DE OAXACA (PARTE I, SUR)

PRECAMBRICO



PMj Complejo Juarez (Paleozoico? - Mesozoico Temprano)

Pe Complejo Oaxaqueño

ROCAS IGNEAS

TERCIARIO

Tiga Ignimbritas (Miembro Etla de la Formación Suchilquitongo)

Tigb Derrames e Intrusivos Basálticos y Andesíticos

Tig Intrusivos Graníticos

Pzi Intrusivo Permico (272 ± 8 Ma)

SIMBOLOS GEOLOGICOS

	FALLA NORMAL	FALLA INVERSA	FALLA LATERAL	LINEAMIENTO	SINCLINAL	ANTICLINAL
RVADOS						
RIDOS O DE GEOLOGIA						
ERTOS						

JUNIO 1988

Dib. Fdo. A.Vega L. y Gustavo Vega L.

9

(PARTE I, SUR)