

# FORMACIÓN DE CUENCAS CONTINENTALES EN EL SUR DE MÉXICO Y SU CRONOLOGÍA RESPECTO AL DESPLAZAMIENTO DEL BLOQUE DE CHORTIS.

Silva-Romo, Gilberto<sup>1</sup>, Martiny Barbara<sup>2</sup> y Mendoza-Rosales, Claudia<sup>1</sup>

silvarg@servidor.unam.mx, martiny@servidor.unam.mx, claus@servidor.unam.mx

<sup>1</sup>*División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Facultad de Ingeniería UNAM*

<sup>2</sup>*Instituto de Geología, UNAM*

Circuito Interior, Ciudad Universitaria, México D.F. 04350

## Resumen

En el sur de México se reconoce una migración espacio-temporal y evolución de la deformación, conforme a dos pulsos que migraron del poniente al oriente, relacionados con el proceso de transporte tectónico del Bloque de Chortis en un marco tectónico transtensivo. El primer pulso tectónico ocurrió entre el Eoceno tardío y el Oligoceno temprano, se caracteriza por una componente extensional en sentido nordeste, el cual es el responsable de la reactivación de fallas precenozoicas y la formación de las Cuencas tectónicas de Tehuiztingo-Tepexi, Huajuapán y Tehuacán-Etla mientras el Bloque de Chortis se desplazaba hacia el sudeste. El segundo pulso tectónico, que ocurrió entre el Oligoceno temprano y el Mioceno, fue provocado por el paso del punto triple trincheras-dorsal-trincheras, que acompañó a la migración de Chortis y se caracteriza por un campo extensional con orientación norte sur, que exhumó al Complejo Xolapa y reactivó discontinuidades precenozoicas de orientación norte-sur y este oeste con deslizamiento lateral y normal, lo cual provocó la reconfiguración de las cuencas continentales Eoceno-oligocenas del sur de México.

## Abstract

The west to east time-space migration of two deformational tectonic pulses has been recognized for southern Mexico. These pulses are related to the southeastward displacement of the Chortis Block during a transtensional tectonic regime. The first occurred during late Eocene-early Oligocene time and is characterized by an northeast-trending extensional component, which resulted in the reactivation of pre-Cenozoic faults and the formation of the Tehuiztingo-Tepexi, Huajuapán and Tehuacán-Etla tectonic basins. The second tectonic pulse took place during the early Oligocene and Miocene and was caused by the passing of the trench-rift-trench triple junction that accompanied the Chortis Block displacement. This was a north-south extensional event, which exhumed the Xolapa Complex and reactivated N-S and E-W trending pre-Cenozoic structures with lateral and normal movement and produced the reconfiguration of the Eocene-Oligocene continental basins of southern Mexico.

## Introducción

Al sur de la Faja Volcánica Transmexicana (FVT), se reconocen las cuencas tectónicas Eoceno-oligocénicas de Tehuiztingo-Tepexi; Huajuapán y Tehuacán-Etla formadas por la reactivación de la trama estructural precenozoica del sur de México.

El magmatismo del arco cenozoico en el sector Central y Sur de México es de carácter episódico y manifiesta una migración general espacio-temporal desde su emplazamiento en una franja amplia de 200 km con orientación general al noroeste durante el Eoceno-Oligoceno hasta la definición de la FVT de orientación general Este-Oeste, cuyo magmatismo es actualmente activo, y se reconoce desde el Mioceno (Ferrari et al., 1999).

La tendencia estructural del sur de México presenta una orientación general al N; tendencia que está truncada en el sector más austral por la presencia del Complejo Xolapa con una orientación sud-sudeste-nor-noroeste. La actividad tectónica y el magmatismo que han ocurrido en estas dos áreas se asocia al proceso de ruptura

continental que se tradujo en el desplazamiento del Bloque de Chortis y en la reconfiguración de la margen convergente del Sur de México (Herrman et al., 1994; Schaaf et al., 1995).

El estudio de la estructura regional y la cronología de la deformación en el sur de México se ha planteado en términos del reconocimiento de paleotensores, aplicando distintos métodos de inversión de estrías y su inserción en el esquema tectónico regional propuesto a partir de la definición de vectores de desplazamiento de la Placa de Cocos y sus antecesoras Guadalupe y Farallón (Ratschbacher et al., 1991; Meschede et al., 1997). Nuestra aproximación al estudio de la estructura regional se basa en el reconocimiento de los rasgos estructurales mayores que definieron cuencas tectónicas paleógenas y en el estudio de su evolución, con base en la influencia de los rasgos estructurales en la sedimentación continental.

### **Eventos tectónicos cenozoicos del sur de México**

En el sur de México se han reconocido ampliamente tres fenómenos regionales que ocurrieron durante el cenozoico: Migración del vulcanismo, desplazamiento del Bloque de Chortis y la exhumación del Complejo Xolapa. Nosotros valoramos la cronología relativa de estos fenómenos y la formación y evolución de las cuencas continentales cenozoicas del sur de México.

1. *Arco magmático Eoceno-Oligoceno con tendencia al NW.* El cenozoico continental en México está caracterizado por la migración del vulcanismo desde un arco magmático con orientación al noroeste, desarrollado entre el Oligoceno y el Mioceno en la Sierra Madre Occidental, hasta un arco volcánico con orientación general este-oeste, activo desde el Mioceno tardío hasta el presente Faja Volcánica Transmexicana. Esta migración del arco volcánico se asocia a la reorientación de las placas tectónicas, fenómeno que propició el desplazamiento del Bloque de Chortis.

2. *Desplazamiento del Bloque de Chortis.* La migración espacio-temporal del magmatismo en el Complejo Xolapa se ha interpretado como una evidencia del proceso de ruptura y desplazamiento del Bloque de Chortis desde una posición al sur de Zihuatanejo hasta su actual emplazamiento (Ver Tabla 1 y Figura 1). (Herrman et al., 1994; Schaaf et al., 1995). La migración de este bloque cortical ocurrió entre el Eoceno tardío y el Mioceno, en el marco de una reconfiguración de las placas tectónicas que se tradujo en la migración del lugar del magmatismo tanto hacia la actual Faja Volcánica Transmexicana como hacia el sudeste mexicano (Morán-Zenteno et al., 1999).

3. *Exhumación del Complejo Xolapa.* El carácter petrológico del Complejo Xolapa representa un nivel cortical medio, cuyo proceso de exhumación y cronología se asocian a la ruptura continental y desplazamiento del Bloque de Chortis durante el Eoceno-Mioceno. Este proceso de exhumación estuvo acompañado por erosión tectónica (Morán-Zenteno et al., 1996).

### **Deformación y formación de cuencas lacustres al sur de la Faja Volcánica Transmexicana**

En el sur de México se reconoce una trama estructural precenozoica caracterizada por la presencia de fallas con rumbos este-oeste, noroeste-sudeste, norte-sur y sudoeste-noreste, las cuales condicionaron la acumulación continental de las secuencias paleozoicas, jurásicas y cretácicas (Morán-Zenteno et al., 1993; Alaniz-Álvarez et al., 1996; Silva-Romo y Mendoza-Rosales, 2000). La reactivación con deslizamiento lateral de tales sistemas de discontinuidades durante el Eoceno-Oligoceno se tradujo en la formación de un mosaico de cuencas tectónicas al sur del sector oriental de la Faja Volcánica Transmexicana, como se observa en la Figura 1.

## **Cuenca de Tehuiztingo-Tepexi**

En la región sur de Puebla se reconocen dos áreas de afloramientos de secuencias lacustres influenciadas por vulcanismo, las cuales formaron parte de una misma cuenca tectónica, las cuales para fines descriptivos las denominamos Cuenca de Coatzingo-Tepexi y Cuenca de Tehuiztingo (Figura 2). La Cuenca de Coatzingo Tepexi se reconoce al Sur de la Sierra de Tenzo con un rumbo general al noreste con aproximadamente 40 kilómetros de largo por 30 km de ancho y se observa constreñida por fallas que presentan indicadores cinemáticos tanto de desplazamiento lateral, como normal; sin embargo, la extensión de afloramientos semejantes al norte de la Sierra de Tenzo, al sur de Valsequillo, permite suponer su extensión hacia el norte en una fase temprana de su evolución.

La cuenca tiene una secuencia estratigráfica de más de 400 metros y de carácter fluvial en la base consistente en fanglomerados y conglomerados. La cima de la secuencia tiene carácter lacustre caracterizada por la presencia de calizas someras con pedernal en las cuales están impresas icnitas de vertebrados. La secuencia lacustre manifiesta influencia volcánica hacia la cima en donde presenta horizontes tobáceos intercalados con limolitas portadoras de flora fósil (Magallón-Puebla y Cevallos-Ferríz, 1994).

En la cuenca se reconoce una paulatina restricción del embalse lacustre, debida a la dislocación posterior al Oligoceno temprano, manifestada en discordancias en la secuencia sedimentaria y a la acumulación de fanglomerados sobre las unidades lacustres en el sector noroeste (Silva-Romo et al., 1998).

La Cuenca de Tehuiztingo de rumbo general norte-sur, de 25 km de largo por 10 de ancho, presenta un relleno con un espesor de más de 1100 m, que consiste en secuencias conglomeráticas continentales, rocas volcanoclásticas, lacustres de carácter evaporítico y calcáreo con influencia volcánica. La primera unidad volcánica acumulado en el surco lacustre tiene una edad eocénica de  $36.1 \pm 1.4$  Ma., obtenida a partir de una toba en la base de la Formación Tehuiztingo de carácter lacustre. Hacia la cima esta formación presenta una intercalación ignimbrítica en cuya base se obtuvo una edad K-Ar de  $29.9 \pm 0.8$  Ma. La secuencia expuesta en el sector norte de la Cuenca de Tehuiztingo es muy semejante a la propia del sector poniente de la Cuenca de Coatzingo-Tepexi.

## **Cuenca de Huajuapán**

En la región noroccidental del Estado de Oaxaca, se acumularon secuencias volcánicas en cuencas tectónicas de orientación general NNW-SSE principalmente durante el Oligoceno. El espesor total estimado es de 1500 a 2000 m (Ferrusquía-Villafranca, 1976). Las secuencias están constituidas principalmente por lavas de andesita basáltica y andesita que cubren depósitos piroclásticos y epiclásticos silíceos que, en algunas localidades, incluyen intercalaciones de depósitos lacustres. La edad de la actividad volcánica en esta área ha sido documentada por fechamientos K-Ar y varía de 34.8 a 29 Ma (Martiny et al., 2000; Galina-Hidalgo, 1996; Ferrusquía-Villafranca y McDowell, 1991; Tabla 1).

Un sistema de fallas de orientación N30W-S30E corresponde a los contactos geológicos entre las unidades del Paleozoico, Mesozoico y Cenozoico; en algunos casos, son estructuras antiguas con un componente normal que fueron reactivadas durante el Cretácico Tardío y Paleogeno, y permitió el emplazamiento de rocas intrusivas hipabisales. Las rocas volcánicas terciarias están cortadas por dos sistemas de fallas principales (N-S y E-W) con indicadores cinemáticos de movimiento lateral izquierdo; estos dos sistemas no son compatibles lo que sugiere que no son contemporáneos (Martiny et al., 2000b).

## **Cuenca Tehuacán-Etla**

En la región de Tehuacán en el sector medio de la Falla de Oaxaca, se reconoce un surco sedimentario correlativo al de Tehuiztzingo-Tepexi (incluye estratos calcáreos con icnitas semejantes a las propias del área de Tepexi). La secuencia en la cuenca consiste en una unidad fluvial basal de brecha calcárea, una unidad lacustre conformada por rocas calcáreas y evaporitas intercaladas con rocas clásticas y una unidad cimera conglomerática con líticos de rocas metamórficas y volcánicas (Viniestra, 1965, Brunet, 1967) la cual expresa la colmatación y/o destrucción de la cuenca. Esta cuenca se formó como un medio graben asociado a la reactivación de la Falla Oaxaca en el Eoceno-Oligoceno. La progresión en la reactivación de la Falla Oaxaca provocó que el surco sedimentario de Tehuacán migrara hacia el sudeste, con la cual se instauró la sedimentación lacustre en el sector de Etla; en donde se acumuló una secuencia lacustre que antecede a la actividad volcánica de carácter ignimbrítica del Mioceno, unidad portadora de mastofauna bastorviana (Ferrusquía-Villafranca, 197

Otras cuencas semejantes de origen tectónico cuyas características sugieren también una edad Eoceno-Oligocena, son las Cuencas de Mariscal y de San Jorge Nuchita, ambas delimitadas por fallas NW, N-S y NE, con hombros en las rocas del basamento o de la secuencia mesozoica. En el relleno de estas cuencas se reconocen secuencias conglomeráticas, evaporíticas y volcánicas.

## **Discusión y conclusiones**

De acuerdo a las edades isotópicas de las rocas volcánicas acumuladas en las cuencas al sur del sector oriental de la Faja Volcánica Transmexicana, se reconoce una progradación espacio-temporal en su formación desde el oeste en Taxco donde la formación de la primera cuenca ocurrió en el Eoceno; la deformación migró hacia el oriente con lo cual se generaron las cuencas de Tepexi-Tehuiztzingo y Huajuapán y finalmente produjo la deformación reactivando la Falla Oaxaca para formar la Cuenca de Tehuacán y su posterior derivación al sector de Etla en el Mioceno. Otra área en donde ocurrió deformación y actividad magmática fue la franja que posteriormente derivaría en el Complejo Xolapa, lugar en donde la deformación operó con mayor intensidad, conforme a una cizalla cortical.

El tiempo del paso de Chortis y la edad de las cuencas. Si se acepta que la migración espacio-temporal del magmatismo en el Complejo Xolapa es un fenómeno asociado al desplazamiento del Bloque de Chortis, de acuerdo a las edades U-Pb en zircones reportadas por Herrmann et al., (1994) y considerando la edad más antigua reportada en este trabajo para la Cuenca de Tehuiztzingo-Tepexi, se puede establecer una cronología entre la formación de las cuencas continentales del sur de México y los fenómenos concatenados: Migración del Bloque de Chortis y exhumación del Complejo Xolapa. Primero se formaron las cuencas conforme a una deformación con extensión hacia el noreste la cual se manifestó en la formación de cuencas como la de Tehuiztzingo-Tepexi y posteriormente ocurrió el desplazamiento del Bloque de Chortis. La exhumación progresiva del Complejo Xolapa conforme migraba el punto triple trincheras-dorsal-trincheras (Tolson, 1998) indujo hacia el interior una extensión norte sur, que se manifiesta en desplazamientos laterales con componente normal según las discontinuidades norte-sur, entre las cuales destaca la falla Boqueroncito que disloca el original embalse lacustre entre Tepexi y Tehuiztzingo en sus actuales dos áreas de afloramiento.

## Bibliografía

- Alaniz-Álvarez, S. A., van der Heyden, P., Nieto-Samaniego, A. F., y Ortega-Gutiérrez, F., 1996, Radiometric and kinematic evidence for Middle Jurassic strike-slip faulting in southern Mexico related to the opening of the Gulf of Mexico: *Geology*, v. 24, 443-446.
- Brunet, J. 1967. *Geologic Studies*. In Byers, D. ed. *The prehistory of the Tehuacan Valley. Environment and Subsistence*. Robert S. Peabody Foundation. Phillips Academy, Andover. University of Texas Press, Austin & London.
- Ferrari, L., López-Martínez, M. Aguirre-Díaz G., y Carrasco-Núñez G. 1999. Space-time patterns of Cenozoic arc volcanism in central Mexico: From the Sierra Madre Occidental to the Mexican Volcanic Belt. *Geology*, v. 27, p 303-306.
- Ferrusquía, I., 1976. Estudios geológicos-paleontológicos en la Región Mixteca, Parte 1: Geología del área Tamazulapan-Teposcolula-Yanhuitlan, Mixteca Alta, estado de Oaxaca, México. *Boletín del Instituto de Geología, UNAM*, n 97, 160 p.
- Ferrusquía-Villafranca, I., 1987., Una sinopsis sobre los mamíferos miocénicos de Oaxaca y su significación geológico-paleontológica. *Revista Sociedad Mexicana de Paleontología*. v. 1, p. 113-149.
- Ferrusquía-Villafranca, I., y McDowell, F. W., 1991, The Cenozoic sequence of selected areas in southeastern Mexico; its bearing in understand regional basin development there. *Convención sobre la evolución geológica de México y Primer Congreso Mexicano de Mineralogía*. Pachuca, Hidalgo, México. *Memoria*, p. 45-50.
- Galina-Hidalgo, S. M., 1996, *Geocronología y paleomagnetismo de rocas intrusivas y volcánicas del área de Huajuapán de León, Oaxaca*. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, México, México, 101 pp.
- Herrmann, U. R., Nelson, B. K., y Ratschbacher, L., 1994, The origin of a terrane: U/Pb zircon geochronology and tectonic evolution of the Xolapa complex (southern Mexico) *Tectonics*, v. 13, p. 455-474.
- Magallón-Puebla, S., y Cevallos-Ferriz, S. R. S., 1994a, Fossil legume fruits from Tertiary strata of Puebla, Mexico. *Canadian Journal of Botany*, v. 72, p. 1027-103 S.
- Martiny, B., Martínez-Serrano, R. G., Morán-Zenteno, D. J., Macías-Romo, C., y Ayuso, R. A., 2000a, Stratigraphy, geochemistry and tectonic significance of the Oligocene magmatic rocks of western Oaxaca, southern Mexico: *Tectonophysics*, v. 318, p. 71-98.
- Martiny, B., Silva-Romo, G., y Morán-Zenteno, D. J., 2000b, Estructuras oligocénicas del área de Huajuapán de León, Oaxaca: *Geos*, v. 20, Resúmenes y Programa, Segunda Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra Reunión, Puerto Vallarta, p. 327.
- Meschede, M., Frisch, W., Herrmann, U., R., Ratschbacher, L., 1997. Stress transmission across an active plate boundary: an example from southern Mexico. *Tectonophysics*, v. 266, p 81-100.
- Morán-Zenteno, D. J., Caballero-Miranda, C. I., Silva-Romo, G., Ortega-Guerrero, B., y González-Torres, E., 1993, Jurassic-Cretaceous paleogeographic evolution of the northern Mixteca terrane, southern Mexico: *Geofísica Internacional*: v. 32, p. 453-473.
- Morán-Zenteno, D. J., Corona-Chávez, P., y Tolson, G., 1996, Uplift and subduction erosion in southwestern Mexico since the Oligocene: pluton geobarometry constraints. *Earth and Planetary Science Letters*: v. 141, p. 51-65.
- Morán-Zenteno, D.J., Alba-Aldave, L.A. Martínez-Serrano, R. G., Reyes-Salas, M.A., Corona-Esquível, R. Y Ángeles-García, S. 1998. Stratigraphy geochemistry and tectonic significance of the Tertiary volcanic sequences of Taxco-Quetzalapa region, southern México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 15 p. 167-180.
- Morán-Zenteno, D. J., Tolson, G., Martínez-Serrano, R. G., Martiny, B., Schaaf, P., Silva-Romo, G., Macías-Romo, C., Alba-Aldave, L., Hernández-Bernal, M. S., y Solís-Pichardo, G. N., 1999, Tertiary arc-magmatism of the Sierra Madre del Sur, Mexico, and its transition to the volcanic activity of the Trans-Mexican Volcanic Belt: *Journal of South American Earth Sciences*, v. 12, p. 513-535.
- Ratschbacher, L., Riller, U., Meschede, M., Herrmann, U., y Frisch, W., 1991, Second look at suspect terranes in southern Mexico: *Geology*, v. 19, p. 1233-1236.
- Silva-Romo G., Mendoza-Rosales, C., y Nieto-Obregón, J., 1998, Integración fluvial por la decapitación de una cuenca lacustre: Centro-oriente de México. *Actas X Congreso Latinoamericano de Geología y VI Congreso Nacional de Geología Económica*, v. 1, p. 325.
- Silva-Romo G., Mendoza-Rosales, C.C y Carreón-Méndez, M. A. 1999. Mapa de la región septentrional del Terreno Mixteco. Con énfasis en registro cenozoico. *GEOS Boletín de la Unión Geofísica Mexicana*, v. 19 p 223.

Silva-Romo G. y Mendoza-Rosales, C.C. ,2000. La Unidad Piedra Hueca secuencia clástica paleozoica (Sur de Puebla). GEOS Boletín de la Unión Geofísica Mexicana, v. 20, Resúmenes y Programa, Segunda Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra Reunión, Puerto Vallarta, p. 325.

Viniegra, F., 1965. Geología del Macizo de Teziutlán y de la Cuenca Cenozoica de Veracruz. Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, v. 17, p 101-163.

Edades radiométricas cenozoicas del Sur de México									
Localidad	Coordenadas		Formación o Estructura	Roca	Muestra	Material	Método	Edad Ma	Referencia
	Long W	Lat N							
Cruz Grande				Granodiorita	Mu-11	Zircón	U-Pb	<b>32±0.8</b>	a
N. Pinotepa Nal	98° 03' 21"	16° 40' 53"		Granodiorita	Mu-20	Zircón	U-Pb	<b>30±0.2</b>	a
E. Pinotepa Nal	97° 45' 07"	16° 09' 48"		Tonalita	Mx-12	Zircón	U-Pb	<b>28±0.4</b>	a
NE. Pochutla	96° 38' 07"	15° 51' 00"		Granodiorita	Mu-9	Zircón	U-Pb	<b>27±0.3</b>	a
Huatulco				Granito	ML-52	Zircón	U-Pb	<b>29±0.2</b>	a
Taxco				Ignimbrita		Roca total	K-Ar	<b>38.2±0.0</b>	b
Taxco				Riolita		Plag	K-Ar	<b>31.6±0.0</b>	b
Puente Márquez	98° 18' 20"	18° 22' 17"	F. Puerto El Gato	Toba	Iz-16	Plag	K-Ar	<b>36.1±1.4</b>	Este trabajo
A.	98° 15' 19"	18° 17' 37"	F. Tehuiztzingo	Toba	Tehu-65	Biotita	K-Ar	<b>29.9±0.8</b>	Este trabajo
Huajuapam	97° 47' 16"	17° 49' 43"	Tronco andesítico	Hipabisal	CON-8A	Hornb	K-Ar	<b>33.6±1.4</b>	c
N. Tlaxiaco	97° 36' 45"	17° 21' 37"		Toba silícica	CON-101	Biotita	K-Ar	<b>32.9±0.9</b>	c
E Tamazulapan	97° 25'	17° 42.8'	Andesita Yucudaac	Andesita	FV69-182	Roca total	K-Ar	<b>28.9±0.6</b>	d
Suchilquitonto	96° 48' 44"	17° 13' 52"	Suchilquitongo	Toba		?	K-Ar	<b>20.6 - 19.3±0.3</b>	e
Tlacolula y Mitla	96° 24'	16° 55'	Toba Mitla	Toba		?	K-Ar	<b>16.0 - 15.3±0.8</b>	e
	96° 06'	16° 30'	Toba Yautepec	Toba		?	K-Ar	<b>17.4 - 15.0±0.8</b>	

Tabla 1. Edades radiométricas del Sur de México consideradas en este trabajo. Fuentes: a) Herrmann et al., 1994; b) Morán-Zenteno et al., 1998; c) Martiny et al., 2000<sup>a</sup>; d) Ferrusquía-Villafranca y McDowell, 1991.

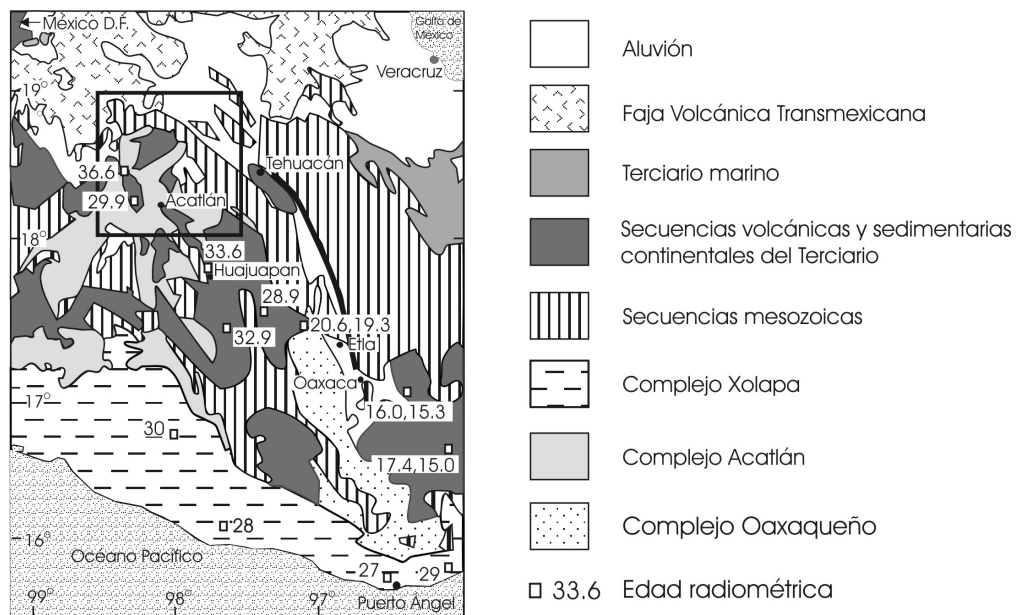


Figura 1. Mapa geológico esquemático de la región de estudio en el sur de México, con las edades reportadas en este trabajo y en trabajos publicados por otros autores. La línea gruesa de orientación nor-noroeste-sud-sudeste corresponde a la traza de la Falla de Oaxaca. El cuadro negro indica el área representada en la Figura 2.



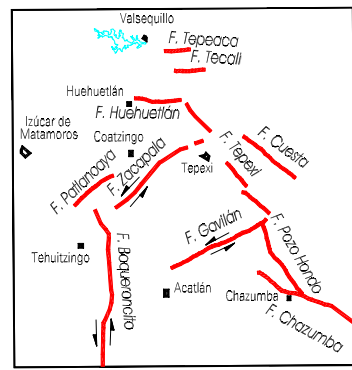
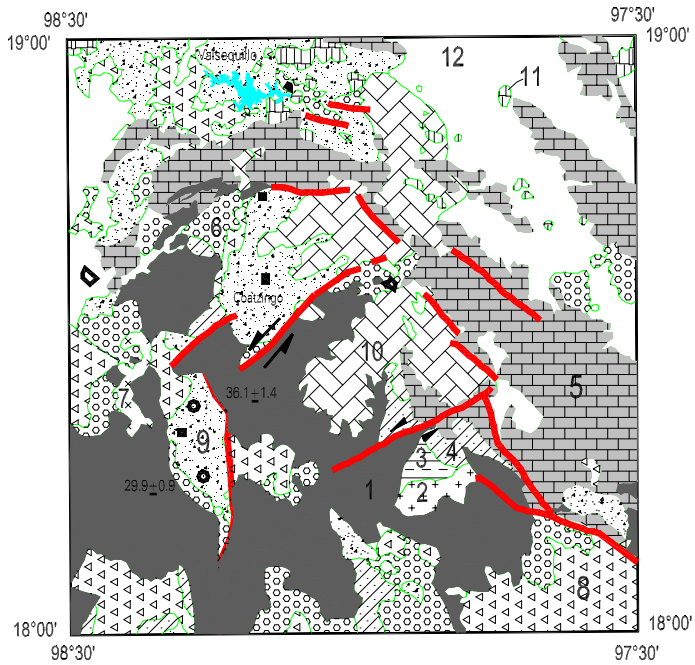


Figura 2. Mapa geológico de la región de Tepexi-Tehuiztzingo. Símbolos: 1. Basamento del Paleozoico inferior (Complejo Acatlán) 2. Tronco de Totoltepec (Intrusivo paleozoico). 3. Rocas clásticas continentales del Paleozoico Superior. 4. Rocas clásticas continentales del Jurásico. 5. Rocas marinas del Cretácico. 6. Conglomerados continentales del Eoceno. 7. Intrusivos del Eoceno? 8. Rocas volcánicas andesíticas y basálticas del Oligoceno. 9. Secuencia lacustre con influencia volcánica del Eoceno-Oligoceno. 10. Calizas lacustres del Neógeno. 11. Rocas basálticas del Plio-cuaternario. 12. Cuaternario. Los círculos muestran la localización de las rocas fechadas que se reportan en este trabajo.