

6



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

**ESTRATIGRAFIA Y GEOLOGIA DE LA CUENCA
CENOZOICA DE TEHUITZINGO, PUEBLA**

289213

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO GEOLOGO

PRESENTA

JOSE AURELIO ESPAÑA PINTO



MEXICO, D. F.

2001



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y ESTADÍSTICAS

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES Y ESTADÍSTICAS
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO

CENTRO DE INVESTIGACIONES Y ESTADÍSTICAS

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-I-1447

SR. JOSE AURELIO ESPAÑA PINTO
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M. C. Gilberto Silva Romo y que aprobó esta Dirección para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Geólogo:

**ESTRATIGRAFIA Y GEOLOGIA DE LA CUENCA CENOZOICA DE TEHUITZINGO,
PUEBLA**

RESUMEN

- I INTRODUCCION**
 - II GENERALIDADES**
 - III ESTRATIGRAFIA**
 - IV GEOLOGIA ESTRUCTURAL**
 - V GEOLOGIA HISTORICA**
 - VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**
- BIBLIOGRAFIA**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo, le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cd. Universitaria, D. F., a 23 de octubre de 2000

EL DIRECTOR


ING. GERARDO FERRANDO BRAVO

GFB*RLLR*gtg



Dedicatoria

A mis padres

Aurelio España Arellano y María Eugenia Pinto Flores
Que me han brindado su amor y apoyo incondicional a lo largo de toda
mi vida

Con plena correspondencia para ustedes

A mis hermanos

Eugenia, Felipe y Meche
Por esa sencilla razón, por ser hermanos

A mi esposa e hijos

Rosario, Edgar y Jazmín
Por prestarme su tiempo, para llevar a cabo este propósito

A todas aquellas personas que nunca han dejado de creer en mi

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al M. C. Gilberto Silva Romo la dirección de esta tesis, todo el apoyo recibido, el trabajo compartido y las enseñanzas en campo, pero sobre todo, su paciencia.

A los Ingenieros Jorge Nieto Obregón Emiliano Campos Madrigal, Claudia Mendoza Rosales y Ma. de la Paz Hernández Rivero, por la revisión de este escrito y por sus comentarios, muchas gracias.

Y un profundo agradecimiento a mis profesores, amigos y compañeros en la Facultad de Ingeniería UNAM, por ser parte y esencia de mi formación personal.



IMPRESOS MAYA
REP. DE BOLIVIA No.13 A y B
COL. CENTRO
TEL. 57-02-09-91

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTRATIGRAFÍA Y GEOLOGÍA DE LA CUENCA CENOZÓICA DE
TEHUITZINGO, PUEBLA**

JOSÉ AURELIO ESPAÑA PINTO

ÍNDICE

RESUMEN	1
CAPÍTULO I.- INTRODUCCIÓN	2
1.1 Antecedentes Generales	2
1.2 Planteamiento del problema	3
1.3 Objetivos y Metas	4
1.4 Método de trabajo	5
CAPÍTULO II.- GENERALIDADES	8
2.1 Localización	8
2.2 Vías de Acceso	8
2.3 Clima	10
2.4 Vegetación	10
2.5 Fisiografía	13
CAPÍTULO III.- ESTRATIGRAFÍA	17
3.1 Paleozoico	17
3.1.1 Complejo Acatlán	17
3.2 Cenozoico	19
3.2.1 Unidad Tamalayo	19
3.2.2 Unidad Boqueroncito	21
3.2.3 Formación Tehuiztingo	24
3.2.4 Unidad El Gato	29
3.3 Cuaternario	32
3.3.1 Depósitos aluviales	
CAPÍTULO IV.- GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	34
4.1 Descripción de estructuras y análisis	34
4.2 Tectónica regional	37
4.3 Análisis general	40

CAPÍTULO V.- GEOLOGÍA HISTÓRICA	44
CAPÍTULO VI.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	46
APÉNDICES	49
Medición de columnas	49
Datos estructurales	61
BIBLIOGRAFÍA	65
ANEXO	
Mapa Geológico Escala 1:50,000	

RESUMEN

En la región de Tehuitzingo, Puebla, ubicada en la porción centro meridional de México, entre los meridianos $98^{\circ} 26' - 98^{\circ} 09' W$ y los paralelos $18^{\circ} 32' 20'' - 18^{\circ} 05' 20'' N$; se reconocieron las rocas metamórficas del Complejo Acatlán, delimitando una cuenca estrecha de origen tectónico asociado a esfuerzos distensivos y compresivos, formada por un sistema de fallas laterales con desplazamientos izquierdos y basculamiento normal.

En la cuenca se depositaron secuencias cenozoicas volcanoclásticas, fluvio-lacustres y volcánicas, estas últimas relacionadas a los bordes de la cuenca que se constituyeron como planos de debilidad cortical, que permitieron el desarrollo de la actividad volcánica.

Se definieron tres unidades informales: La Unidad Tamalayo, constituida por conglomerados de líticos metamórficos, depositados en las márgenes más australes de la cuenca; La Unidad El Gato, compuesta por interestratificaciones de material volcanoclástico, producto de actividad volcánica explosiva y con un espesor medido de 749.0 m; y la Unidad Boqueroncito, formada por rocas volcánicas andesíticas y brechas volcánicas soldadas, desarrolladas a través de vulcanismo central y fisural. Así mismo se efectuaron mediciones de la secuencia de depósitos lacustres, epiclásticos y volcaniclásticos pertenecientes a la Formación Tehuitzingo, realizadas en distintos puntos de la cuenca y que representan distintas facies de la misma. El mayor espesor medido, fue de 109 m.

CAPÍTULO I.- INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES GENERALES

La región centro meridional de la República Mexicana ha sido objeto de múltiples estudios geológicos a lo largo del presente siglo y finales del siglo pasado; motivados en un primer momento por la presencia de carbón mineral en el sur del Estado de Puebla, noreste de Guerrero y noroeste de Oaxaca (Ochoterena, 1981); posteriormente por el desarrollo petrolero del país, paralelo al desarrollo de los estudios paleontológicos y finalmente motivados por las actividades docentes y el espíritu investigador y científico de muchos profesionistas de las ciencias de la tierra; entre muchos otros motivos que se pudieran omitir. Por lo que en la literatura especializada podemos encontrar múltiples trabajos, en los cuales se puede apreciar la evolución de los conceptos, teorías y técnicas aplicadas en la ciencia geológica.

Aunque los trabajos de investigación encontrados, de la región central sur de la República Mexicana, son relativamente abundantes, variados y con enfoques a temas diversos dentro del ámbito de la geología, la información geológica aún es insuficiente, permaneciendo áreas importantes sin exploración y sin investigaciones básicas, necesarias para desarrollar futuros trabajos especializados de investigación, interpretación o de aplicaciones prácticas. Como es el caso concreto de la región de Tehuiztzingo, donde son pocos los trabajos geológicos encontrados, dedicados al estudio de la misma. De los pocos que se pueden mencionar, está el trabajo geológico – estratigráfico realizado por Calderón en 1956, “Bosquejo Geológico de San Juan Raya”, en el que hace alusión a varias localidades del Estado de Puebla, incluida la de Tehuiztzingo, nombre que utiliza para la descripción de una formación; también está el trabajo realizado por Rodríguez-Torres en 1970, “Itinerario Geológico México - Oaxaca. Libro Guía de la Excursión México-Oaxaca de la Sociedad Geológica Mexicana”, en el cual hace algunas descripciones geológicas generales de la región de Tehuiztzingo; la compilación elaborada por Castro-Mora (1978), donde está incluida la “Monografía Geológica – Minera del Estado de Puebla” en la que se hace una descripción general de la zona mineralizada de Tehuiztzingo, tipo de yacimientos, sustancias y leyes, potencial y perspectivas; por último mencionamos el trabajo de Carballido-Sánchez y Delgado-Argote de 1989 “Petrología, características estructurales y emplazamiento de la secuencia máfica – ultramáfica de Tehuiztzingo Puebla”, el cual es un

estudio geoquímico de una secuencia máfico – ultramáfica orientada N – S de 7.5 Km de longitud, la cual es considerada como una de las seis localidades de rocas ultramáficas más grandes del sur de México.

El presente trabajo pretende ser una investigación básica descriptiva, que sea una pequeña contribución al intento de ampliar el conocimiento geológico de la República Mexicana, en forma general dedicado al estudio de la Región Mixteca, y en lo particular, con un enfoque en el estudio de la estratigrafía y geología estructural de la Cuenca de Tehuitzingo, Puebla, haciendo particular énfasis en las unidades del Cenozoico.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A través de años de investigación, múltiples autores de manera directa o indirecta, han remarcado la dificultad que existe para definir la historia geológica de la porción centro-meridional de México, dada la complejidad estructural, tectónica, geológica y estratigráfica de la misma; Cserna Zoltán (1970), Flores (1984), Morán-Zenteno (1984), Ortega-Gutiérrez (1998), entre otros.

Dentro de la literatura especializada, se pudo apreciar que existen interpretaciones estratigráficas, estructurales y tectónicas basadas principalmente en observaciones hechas sobre formaciones estratigráficas a las cuales se les han asignado edades anteriores al Cenozoico, ignorándose en la mayoría de los casos, los eventos tectónicos y estratigráficos que se han desarrollado en el Cenozoico y que estos mismos eventos a su vez también afectan a las formaciones Precenozoicas.

También se pudo apreciar en los trabajos consultados, que es muy común la carencia de mapas con base topográfica, cuando debería ser de trascendental importancia; el plasmar en los estudios geológicos, la topografía, ya que muchas ideas, deducciones e interpretaciones geológicas, pueden realizarse a partir de esta información, o de lo contrario pueden no apreciarse, ignorarse o hacerse erróneamente si se carece de ella.

Así mismo, se observó la existencia de discrepancias entre diversos autores, con respecto a la ubicación cronoestratigráfica de algunas de las formaciones de la región centro sur de México, lo cual dificulta la correlación estratigráfica con nuevas unidades.

Localmente, en el análisis de la bibliografía consultada se observó, que son pocos los estudios, que se han hecho en la región de Tehuitzingo, en comparación con otras regiones de la

porción centro-meridional de México, tales como Acatlán, San Juan Diquiyú, Huajuapán de León, Tepexi de Rodríguez, etc.

Se detectó en la literatura y mediante una visita previa del área de estudio, que existen unidades volcánicas que han sido descritas someramente y no están cartografiadas a detalle

Finalmente se contempló la carencia de cartografía geológica, secciones geológicas, medición y descripción de columnas estratigráficas; insumos necesarios entre otros, para realizar la interpretación histórica geológica del lugar, o en su defecto para estudios geológicos de mayor especialización, tales como; análisis estructural, evolución estructural, sedimentología, tectónica, vulcanismo, paleontología, etc.

1.3 OBJETIVOS Y METAS

El objetivo general del presente trabajo, es un intento de plasmar en un documento escrito, y a través del trabajo de investigación y trabajos de campo, el conocimiento y habilidades adquiridas en el ámbito de las ciencias de la tierra, por parte de un servidor, en el transcurso de la carrera profesional de Ingeniero Geólogo. Así como, el definir las características estratigráficas y estructurales de la Cuenca de Tehuizingo, Puebla y proponer un bosquejo de la evolución geológica de la misma.

Los objetivos particulares, planteados para esta investigación, son los siguientes:

- Realización del Mapa Geológico 1:50,000 del área de estudio, así como la elaboración de las secciones más representativas del lugar.
- Realización del Mapa Hipsométrico 1:50,000.
- Digitalización de curvas de nivel, para conformar la base topográfica 1:50,000.
- Medición de las secuencias geológicas del Cenozoico más representativas de la región.
- Descripción de las unidades geológicas del Cenozoico que afloran en la región y definir su relación con las formaciones ya descritas en la literatura.
- Ubicar las unidades geológicas cronoestratigráficamente, mediante la analogía con otras cuencas de depósito que observan una historia geológica evolutiva similar y que cuenten con registros geocronométricos; radiométricos, fósiles, icnitas, paleosuelos, etc. O en su defecto ver la posibilidad de realizar fechamientos radiométricos.

- Describir, delimitar y cartografiar los depósitos volcánicos existentes en la región, así como definir la ubicación de los centros de emisión.
- Proporcionar información geológica, estratigráfica y estructural, que en su momento pueda servir en futuros trabajos, como herramienta para el análisis y la interpretación de la historia geológica de la región.

1.4 MÉTODO DE TRABAJO

La metodología seguida en este trabajo se puede dividir en varias etapas, algunas de ellas relacionadas entre sí, efectuadas en forma paralela y retroalimentándose mutuamente. Las etapas de elaboración del presente documento fueron las siguientes:

a) Definición del área de interés

Se delimitó la zona de estudio, con la asesoría del M. en C. Gilberto Silva Romo, mediante la consulta de las cartas topográficas y geológicas Escala 1:250,000 Hoja E14-5, que publica el INEGI, buscando que la zona seleccionada no haya sido objeto de estudios similares y que presente aspectos geológicos interesantes, para que el trabajo que se realice aporte nuevos conocimientos y tenga una utilidad futura como medio de consulta para la elaboración de trabajos de investigación.

b) Exploración bibliográfica

Se procedió a iniciar la fase de recopilación bibliográfica, consultando libros, artículos y publicaciones que abordan temas afines relacionados con la zona de estudio. Esta actividad se continuó realizando, conforme se avanzaba en la investigación, cuando se presentaban algunas dudas o se trataba de profundizar en un tópico concreto.

c) Trabajo de campo

Se realizaron trabajos de campo en distintos periodos, durante los años de 1998, 1999 y 2000, alternados con el trabajo de gabinete.

En esta actividad de campo se realizó la ubicación y la descripción de las distintas unidades que afloran en la cuenca de Tehuitzingo; comprobación y corrección de la fotointerpretación; así como la medición de las unidades más representativas, mediante el uso del

báculo de Jacob modificado y la ubicación de los contactos geológicos entre las distintas unidades, lugares de medición y sitios de interés, mediante el uso del GPS Garmin 45XL. Al mismo tiempo se procedió a la recolección de muestras para la elaboración de estudios petrográficos y a la toma de datos estructurales.

e) Trabajo de laboratorio

Se participó con los M. en C. Gilberto Silva Romo y Barbara Martiny Kramer, en la preparación de tres muestras (dos concentrados de biotita y uno de feldespatos), dos de la región de Tehuiztingo y una de la región de Coatzingo, para su posterior fechamiento isotópico por el método de K – Ar.

El proceso de elaboración, consistió esencialmente en los siguientes pasos: descostramiento de la muestra, trituración en el molino de quijadas, molienda en el molino de disco, tamizado, lavado de la muestra; separación de minerales utilizando el separador magnético en distintas posiciones, la mesa vibratoria y/o mediante flotación por diferencia de densidades; finalmente limpieza y depuración de la muestra en forma manual mediante el microscopio binocular. Estas actividades fueron desarrolladas en el Instituto de Geología, UNAM, bajo la supervisión y asesoría de la M. en C. Barbara Martiny Kramer.

Mención aparte requiere el trabajo de elaboración de láminas delgadas para el análisis petrográfico, el cual fue hecho por personal del Laboratorio de Petrografía y Laminación de la Facultad de Ingeniería, UNAM.

d) Trabajo de gabinete

Se trabajó con las fotografías aéreas elaboradas por el INEGI, escala 1:75,000; vuelo noviembre 1995; líneas 172 y 173; fotos 216, 217, 218, 219, 252, 253 y 254. En las que se realizó la fotointerpretación inicial, mediante la utilización del estereoscopio de espejos y posteriormente mediante la utilización del sistema de información geográfica Autocad Map v.2.0. Al mismo tiempo se procedió a la digitalización de la base topográfica de la zona de estudio, mediante el uso del software Autocad v.14 y de las hojas topográficas escala 1: 50,000; E14B73 Tehuiztingo, E14B62 Izúcar de Matamoros, E14B63 Tehuixtla, E14B72 Chiautla, E14B82 Tulcingo y E14B83 Acatlán de Osorio que publica el INEGI. Dicha base topográfica fue insumo básico para la elaboración de los mapas hipsométrico, geológico y fisiográfico; también realizados con Autocad Map v. 2.0.

El texto fue capturado en el procesador de textos Word 97; a su vez, los datos estructurales fueron capturados en la hoja de cálculo Excell 97 y procesados en el software Stereo Net ver. 2.02; la transformación de coordenadas UTM a Geográficas y viceversa, fue hecha con el software TRANINV; y la presentación para la exposición, en Power Point 97.

CAPÍTULO II.- GENERALIDADES

2.1 LOCALIZACIÓN

El área de estudio se encuentra en la porción centro meridional de México, en el Municipio de Tehuiztzingo al sur del valle de Puebla, entre los meridianos 98° 26' – 98° 09' W y los paralelos 18° 32' 20'' - 18° 05' 20'' N (Fig. 1), comprendiendo una superficie de 1500 Km². Hacia el norte y noreste limita con los valles de Atlixco, de Izúcar de Matamoros y de Chiautla, hacia el sur y suroeste limita con la Sierra de Acatlán. Toda esta región dentro de la cuenca hidrográfica del Río Atoyac (Fuentes-Aguilar, 1972).

De acuerdo con la división de provincias geológicas de López Ramos (1979), el área de estudio se encuentra entre el Eje Neovolcánico Mexicano y la Sierra Madre del Sur.

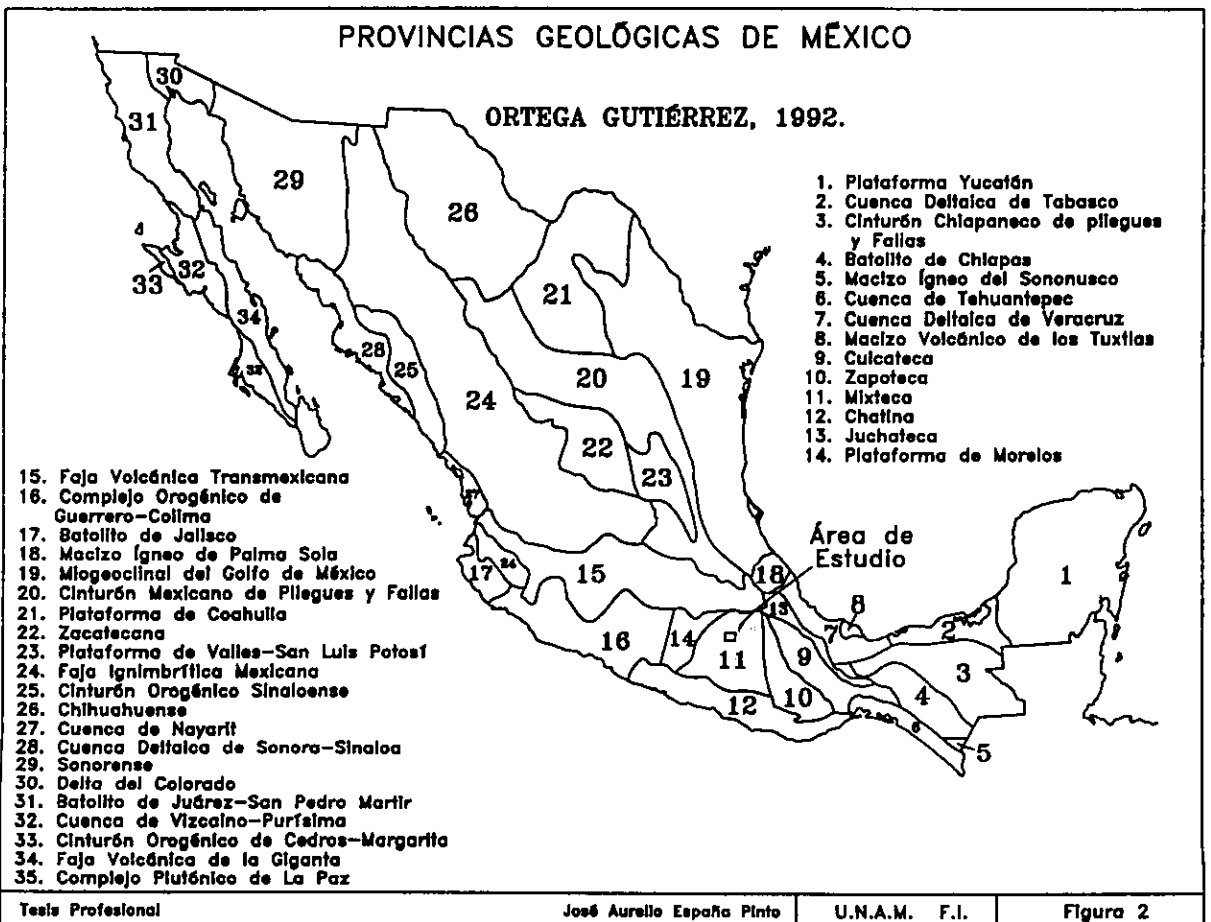
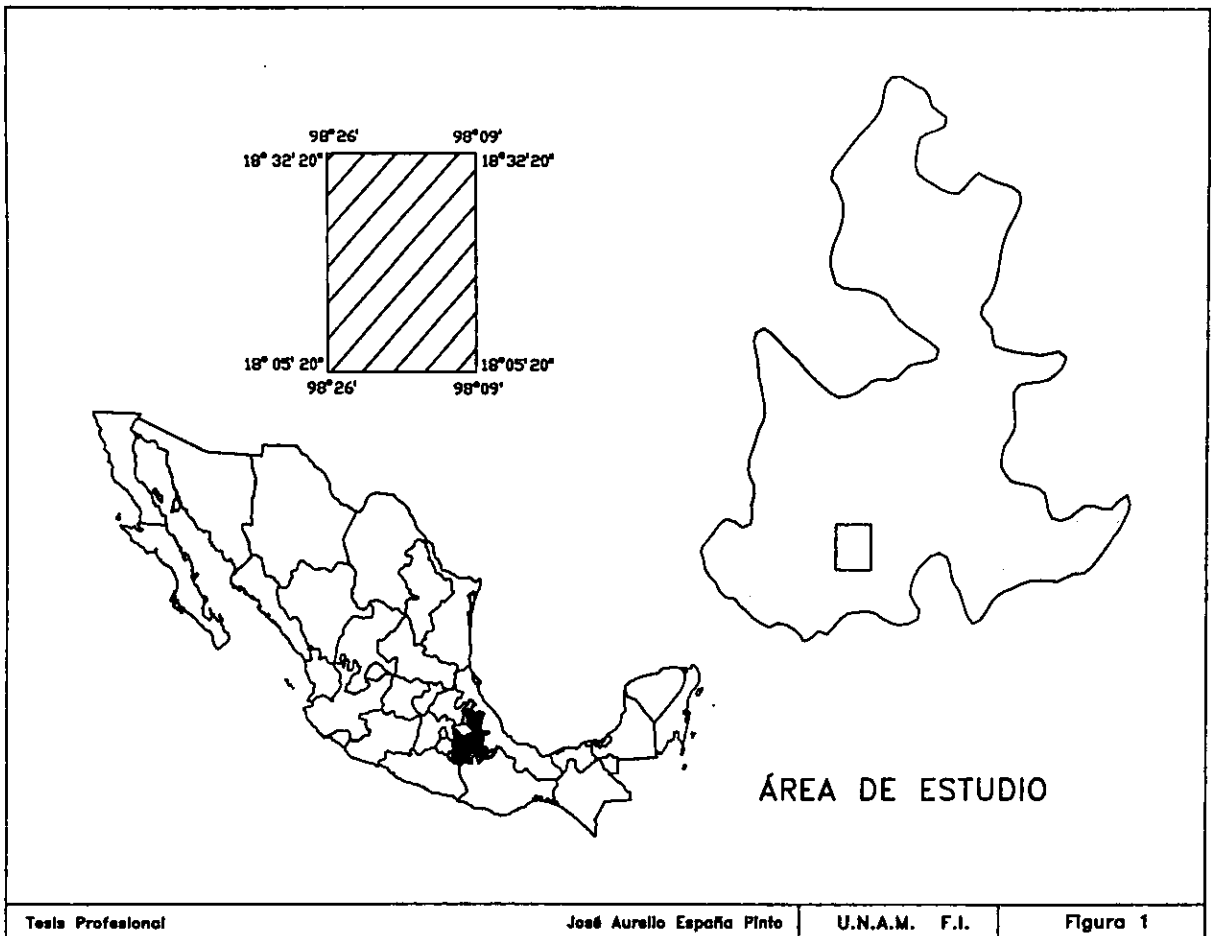
Siendo más precisos y conforme a la división de Provincias Geológicas de México (Ortega-Gutierrez, 1992), la zona de estudio se localiza, en la provincia geológica denominada Mixteca (Fig. 2).

Conforme a la interpretación estructural de la región, en términos de un mosaico de terrenos evolucionados en diferentes episodios tectónicos, (Campa y Coney, 1983; Coney, 1983; Campa, 1984), la zona de interés queda ubicada en el denominado Terreno Mixteco.

Cabe aclarar que la ubicación, del área de interés, dentro del terreno tectonoestratigráfico Mixteco, es para una utilidad, meramente de referenciación geográfica, ya que en sentido estricto, las formaciones y unidades cenozoicas, desarrolladas en la cuenca de Tehuiztzingo, Puebla; no pertenecen a dicho terreno. Situación que se explicará más adelante, en el capítulo IV de Geología Estructural, en el subcapítulo de Tectónica regional.

2.2 VÍAS DE ACCESO

El acceso a la zona de estudio se puede hacer partiendo de la Ciudad de México, a través de la Carretera Federal 95-D (México D.F. - Cuernavaca) hasta el entronque con la Carretera Federal 115-D (La Pera – Cuautla, Morelos). Tomando esta última hasta llegar a la localidad de Cuautla, Morelos. Posteriormente se utiliza la Carretera Federal 140 (Cuautla, Morelos – Izúcar



de Matamoros, Puebla). Para finalmente acceder a la zona de estudio por la Carretera Federal 190 (Izúcar de Matamoros – Tehuiztingo, Puebla).

Otra forma de acceder al lugar, es utilizando la Autopista 150 (México - Puebla), para en la ciudad de Puebla utilizar la Carretera Federal 190 que pasa por la localidad de Tehuiztingo, Puebla (Fig. 3).

2.3 CLIMA

Tomando los datos que proporciona la estación meteorológica más cercana, que es la de Piaxtla, Puebla (Fig. 4), localizada al sur del Municipio de Tehuiztingo, se establece que la temperatura media anual en el área de estudio, es alrededor de 24 °C, siendo enero el mes más frío, con 20.5 °C. El régimen de lluvias en la región es de verano, llegándose a tener en algunos años un poco más de 800 mm. En promedio, la lluvia es del orden de los 840 mm anuales. El mes más lluvioso es septiembre con 170 mm aproximadamente y febrero el mes más seco con 3.0 mm. El clima queda catalogado como cálido subhúmedo con lluvias en verano.

2.4 VEGETACIÓN

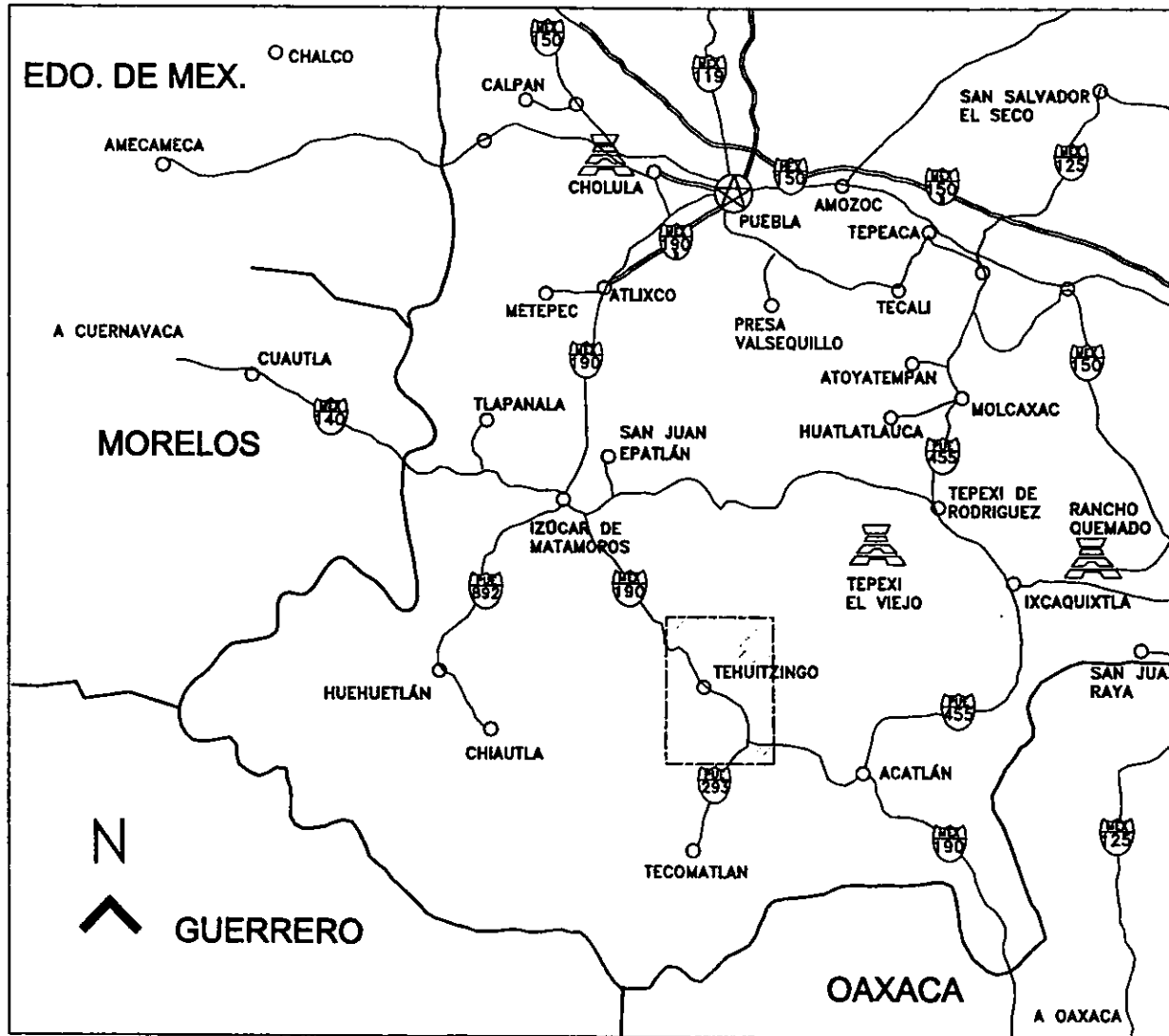
De acuerdo con las investigaciones de Villegas-Soto *et al.* (1977), la vegetación natural en el municipio de Tehuiztingo está representada por la selva baja caducifolia, mezclada principalmente con cactáceas del tipo candelabroforme.

Los árboles que forman la selva baja caducifolia se caracterizan por tener una altura que varía de los 8 a los 15 m, este tipo de vegetación se encuentra representado entre otros por:

<i>Bursera sp</i>	Cuajote
<i>Juliana adstringens</i>	Cuachalate
<i>Ipomoea sp</i>	Cazahuate
<i>Ceiba parvifolia</i>	Pochote

Dentro de las cactáceas que comúnmente se mezclan con dicha selva, se encuentran las siguientes:

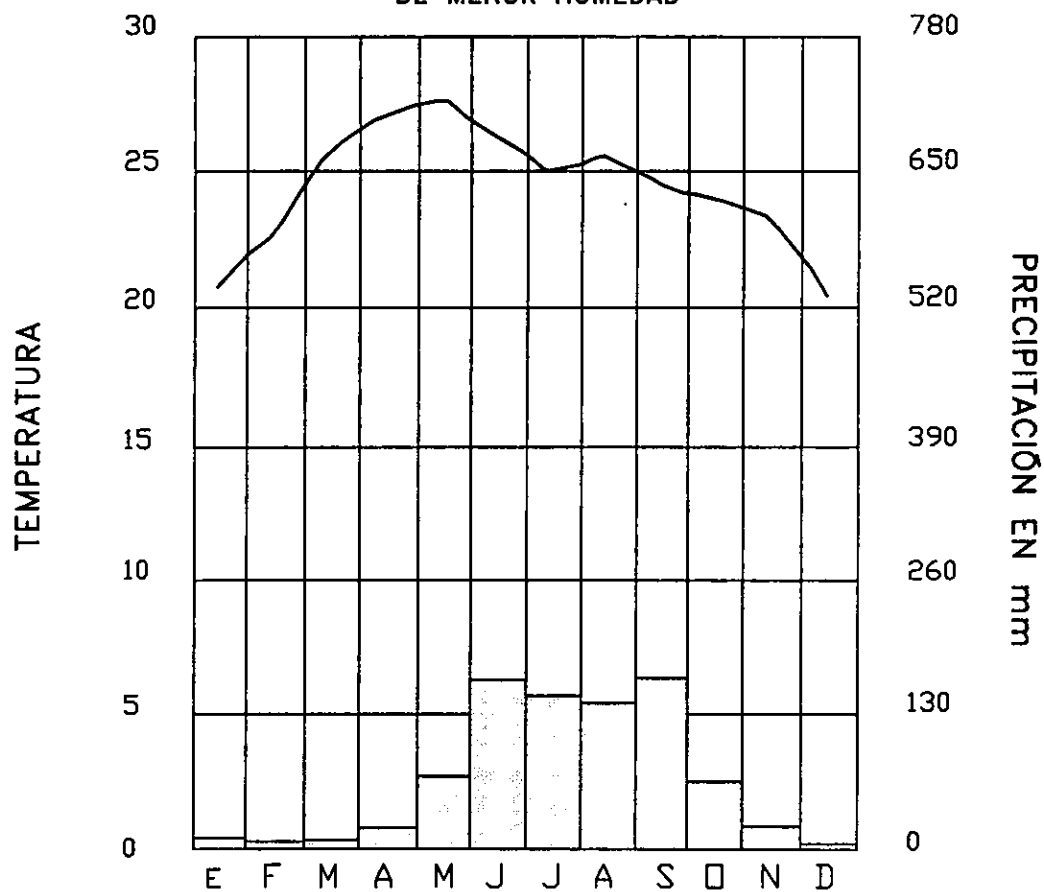
VÍAS DE ACCESO



-  Límite Estatal
-  Carretera Libre
-  Carretera Cuota
-  Número de Carretera
-  Número de Autopista
-  Capital de Estado
-  Cabecera Municipal
-  Zona Arqueológica
-  Área estudiada

CLIMOGRAMA

CÁLIDO SUBHÚMEDO CON LLUVIAS EN VERANO
DE MENOR HUMEDAD



ESTACIÓN PIAXTLA

Fuente: Síntesis Geográfica del Estado de Puebla, INEGI 2000.

<i>Lemaireocereus webery</i>	Cardones
<i>Lemaireocereus dumortieri</i>	Cardones
<i>Cephalocereus sp</i>	Viejitos
<i>Opuntia sp</i>	Nopales

2.5 FISIOGRAFÍA

El área de Tehuitzingo Puebla, está comprendida en la parte media más septentrional de la Provincia Fisiográfica Sierra Madre del Sur, muy cerca de la Provincia Fisiográfica del Eje Neovolcánico, esto de acuerdo al Marco Fisiográfico de la República Mexicana publicado por el INEGI (1991) (Fig. 5) y en forma más concreta, dentro de la Subprovincia, Cordillera Costera del Sur, esto conforme a la carta estatal de regionalización fisiográfica perteneciente al estado de Puebla, también publicada por el INEGI (2000).

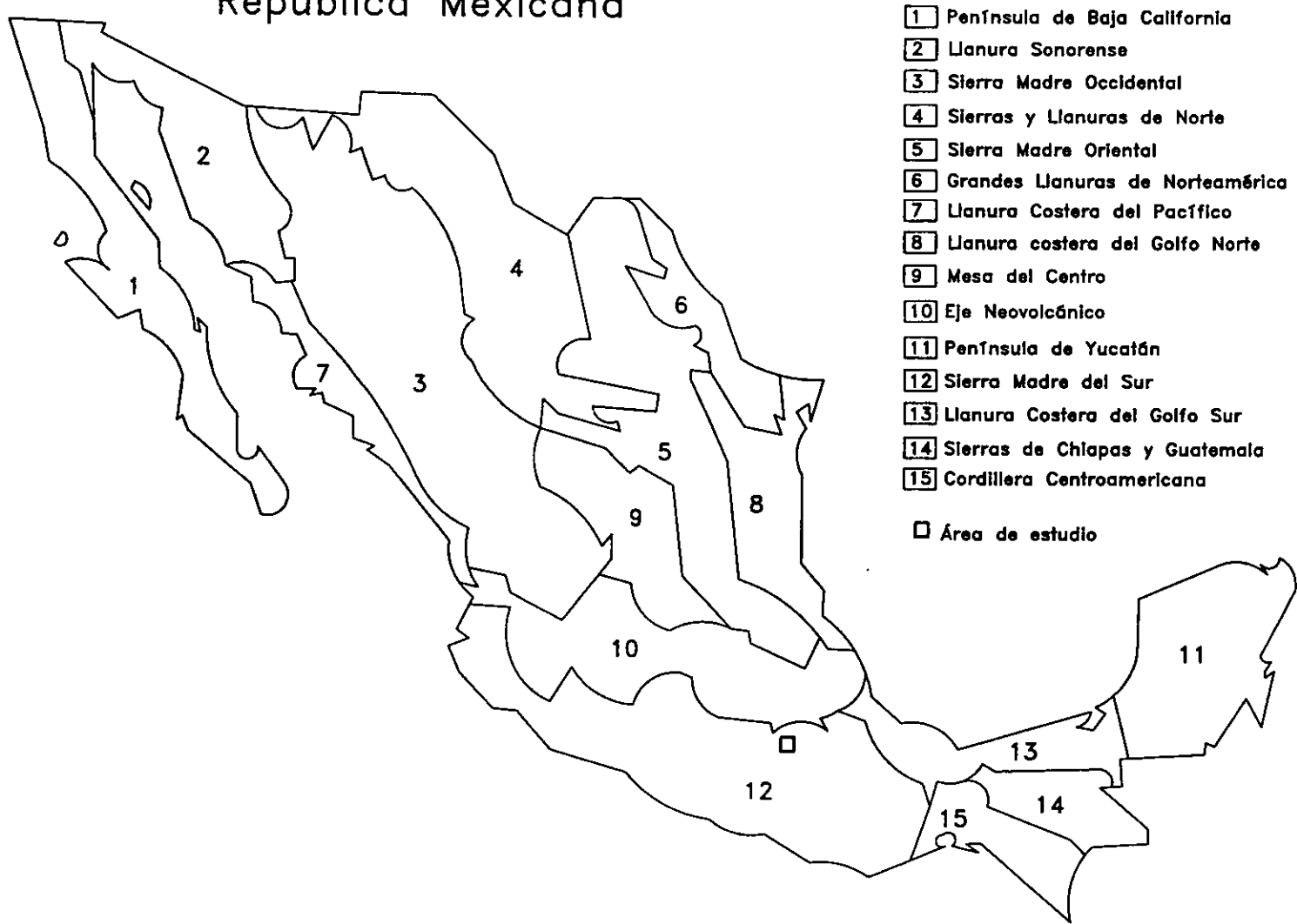
En el área estudiada, se delimitaron tres grandes unidades o zonas fisiográficas, diferenciadas por sus características de expresión morfológica y de relieve (Fig. 6):

- 1) Cuencas
- 2) Sierras Altas
- 3) Sierras Bajas

Zona de Cuencas.- Constituyen la unidad fisiográfica de mayor extensión, presentándose en el centro y surponiente del área estudiada, con rangos de altitud de los 800 a 1100 m. Delimitada por la zona de Sierras Bajas y manifestándose en dos valles; el de Tehuitzingo y el de Tecamatlán. Siendo más abierto y de mayor extensión el valle de Tehuitzingo, motivo de este estudio. La cuenca de Tehuitzingo presenta una clara forma alargada, cuyo eje mayor presenta una orientación aproximada N – S.

Zonas de Sierras Altas.- Se localizan al oriente, norte y centro de la zona, muestran una topografía más o menos abrupta y disposiciones de orientación N – S, NE – SW y NW – SE, en un rango de altitud de los 1300 a 1800 m, presentándose las elevaciones más altas en los cerros, Escalerilla, Remudadero y El Tabaco, ubicados en la porción media más oriental de la zona de estudio.

Marco Fisiográfico de la República Mexicana



FUENTE: I. N. E. G. I., Dirección General de Geografía
Cartas Fisiográficas escala 1:1,000,000, México.

La zona de Sierras altas en el área de estudio, conforma los bordes de dos cuencas abiertas, comunicadas entre sí.

Zona de Sierras Bajas.- Asociada la mayoría de las veces a la Zona de Sierras Altas, por lo que presentan una distribución similar en la zona de estudio, con rangos de altitud entre los 1100 a 1300 m. En general con pendientes más suaves. Como se puede observar en el mapa de unidades fisiográficas, en el extremo más nororiental, se constituye como una planicie de gran extensión con lomeríos suaves, que es una de sus características más generalizada.

El cambio de Zona de Sierras Bajas a Zona de Sierras altas, en la mayoría de los casos se da en forma transicional y de igual forma se muestra el cambio de la Zona de Sierras Bajas a la Zona de Valles, no siendo así en el flanco oriental de la cuenca, donde el cambio hacia la zona de valle, se presenta en forma abrupta y escarpada, con una clara orientación N – S.

HIDROLOGÍA

En lo concerniente al aspecto hidrológico, el área de Tehuitzingo, Puebla, esta comprendida dentro de la Subcuenca, Río Atoyac – Tehuitzingo, inmersa dentro de la Cuenca Río Atoyac, que a su vez, esta comprendida dentro de la Región Hidrológica (RH-18) Río Balsas.

El rasgo hidrográfico más sobresaliente de la zona de estudio, lo constituye el Río Atoyac, que es además la corriente más importante del estado; se forma a partir de la unión de los ríos San Martín o Frío, de Puebla y Zahuapan de Tlaxcala. A lo largo del Atoyac, recibe las aportaciones de las corrientes permanentes de los ríos Nexapa, Mixteco y Tlapaneco. Al ingresar al estado de Guerrero, cambia su nombre al de Río Mezcala y posteriormente al de Balsas. Otro de los rasgos hidrográficos importantes de la región, es la Presa Boqueroncito con una capacidad total de almacenamiento de 5.0 Mm³ y de uso agrícola (Síntesis Geográfica del Estado de Puebla, 2000).

CAPÍTULO III.- ESTRATIGRAFÍA

3.1 PALEOZOICO

3.1.1 Complejo Acatlán

DEFINICIÓN

Fue Ordóñez (1906) el primero en utilizar el nombre de Acatlán dentro de la literatura geológica; Salas (1949) utiliza el nombre de “Esquistos Acatlán” para referirse a todas las rocas metamórficas de la región suroccidental del estado de Puebla y occidental del estado de Oaxaca, posteriormente Fries y Rincón (1965), proponen utilizar el término de Formación Acatlán, haciendo la exclusión de las rocas gnéicas de Oaxaca y Guerrero. Finalmente es Ortega-Gutiérrez (1978) quien eleva esta unidad al rango de Complejo Acatlán, utilizando varios nombres propuestos por Rodríguez-Torres (1970b).

Ortega Gutiérrez (1978) divide al Complejo Acatlán en dos Subgrupos: Subgrupo Acateco y Subgrupo Petlancingo. En el primero distingue dos formaciones (Xayacatlán y Tecomate) y en el segundo tres (Cosoltepec, Chazumba y Magdalena). Además incluye dos unidades metagraníticas (Granitoides Esperanza y Tronco de Totoltepec) y una unidad granítica denominada Diques San Miguel.

Aunque el motivo de estudio del presente trabajo, no son las rocas metamórficas de la región, se consideró pertinente enunciar brevemente la descripción litológica hecha por Ortega-Gutiérrez, de las distintas formaciones y unidades que componen el Complejo Acatlán, ya que en su momento se hará referencia a alguna de las mismas.

“Descripción litológica, de la formación más joven a la formación más inferior estructuralmente:

Diques San Miguel.- Conjunto de intrusiones tabulares que incluyen tonalita de hiperstena, granito de muscovita y gránate, granito de biotita, pegmatita y aplita.

Tronco de Totoltepec.- Intrusión trondhjemítica, débilmente deformada y metamorfoseada.

Granitoides Esperanza.- Rocas graníticas aplíticas y pegmatíticas, con intercalaciones de bandas metasedimentarias y de rocas verdes; el conjunto forma un complejo cataclástico, de protomilonita-milonita-ultramilonita recristalizado.

Formación Tecomate.- Metagrauvaca, meta-arcosa y pelitas o semipelitas de débil a medianamente carbonosas, con un miembro conglomerático compuesto por cantos deformados, principalmente graníticos y volcánicos, otro miembro distintivo esta compuesto por metacaliza impura con fragmentos de invertebrados fósiles.

Formación Xayacatlán.- Rocas verdes de grano fino, metagrabos bandeados de hornblenda y augita milonitizados, serpentinita, anfibolita, eclogitas y metasedimentos cuarcíticos y pelíticos con afinidad ofiolítica.

Formación Cosoltepec.- En la base anfibolita, cuarcita y metapelita; en la parte media, metapelita, cuarcita y metapedernal, rocas verdes y esquisto calcáreo; en la parte superior, filita y cuarcita impura con escasas rocas verdes intercaladas.

Formación Chazumba.- Interestratos de esquistos pelíticos micáceos (principalmente de biotita) y cuarcitas o rocas silíceas (metagrauvacas), con un diquestrato de gabro diferenciado y esquisto feldespático *lit-par-lit* hacia las partes media e inferior respectivamente.

Migmatita Magdalena.- Migmatitas de composición tonalítica-diorítica, con abundante movilización neosomática en forma de diques y cuerpos irregulares, concordantes y discordantes composición granítica y pegmatítica. Remanentes (restitas) de anfibolita, piroxenita, calsilicatita y mármol y frecuentes intervalos de gneis granítico.”

DISTRIBUCIÓN

El Complejo Acatlán aflora al nororiente y al surponiente de la Cuenca de Tehutizingo, con una extensión en el área cartografiada de 311.0 Km² (ver mapa anexo), al formar parte de los bordes de la cuenca, constituyó una fuerte influencia en el aporte de material sedimentario a la misma.

En forma más concreta, se pudieron distinguir, (con las reservas del caso) basándose exclusivamente en las características observadas en campo, las formaciones Xayacatlán y Chazumba, la Migmatita Magdalena y el Granitoide Esperanza.

Formación Xayacatlán.- Se encuentra aflorando en la margen occidental de la cuenca, en los alrededores de los poblados de Tlachinola y Tecolutla, conformando el cuerpo ultramáfico estudiado por Carballido-Sánchez y Delgado-Argote en 1989. También se encontró un afloramiento de esta formación en las inmediaciones del poblado de Piaxtla.

Formación Chazumba.- Es la formación con mayor distribución en la zona, se le encuentra aflorando indistintamente en toda la región.

Migmatita Magdalena.- Se localizó un solo afloramiento de esta unidad en la zona de estudio, el cual se ubica en el poblado de Santa Cruz Organal, al extremo norte de la zona cartografiada.

Granitoides Esperanza.- Se observaron afloramientos con características de esta unidad; al norte, en el poblado de Mechapa, al oriente, en el pueblo de Los Hornos de Zaragoza y en el sur, en el camino entre Piaxtla y Santa María Tetla.

RELACIONES ESTRATIGRÁFICAS Y EDAD

En todos los casos de relación estratigráfica entre las distintas formaciones y unidades que afloran en la región, las rocas del Complejo Acatlán, se constituyen como el basamento de los depósitos volcánicos y sedimentarios del Cenozoico.

Yañez, *et al.*, en 1991, presentan resultados radiométricos de fechamientos isotópicos de Rb – Sr y Sm – Nd, para rocas del Complejo Acatlán con los siguientes resultados: para las formaciones Chazumba, Cosolotepec, Xayacatlán y el Granitoide Esperanza, se obtuvo una edad promedio de 380 m.a., lo que las sitúa en el periodo Devónico de la era Paleozoica; para el Tronco de Totoltepec 287 m.a., que corresponden al periodo Carbonífero también del Paleozoico; 200 m.a. para la Migmatita Magdalena y 170 m.a. para los intrusivos San Miguel, ambas edades correspondientes respectivamente al periodo Jurásico Temprano y Medio.

3.2 CENOZOICO

3.2.1 Unidad Tamalayo

DEFINICIÓN

Dentro de la literatura geológica, encontramos múltiples definiciones de formaciones correlacionables entre sí y con posición estratigráfica similar, aplicadas a depósitos de conglomerados, que afloran en la región centro meridional de México, tales como; el Conglomerado Tamazulapan (Ferrusquía-Villafranca, 1976); la Formación Cuicatlán (Barrera, 1946); el Conglomerado Basal de la Formación. Huajuapán (Salas, 1949); el Miembro Catarina del la Formación. Huajuapán (Erben, 1956); la Formación Amatitlán y los Conglomerados de la Formación. Tehuacán (Calderón, 1956); el conglomerado Tecomatlán (Shlaepfer, 1970) y la

Unidad Tepexi El Viejo propuesta por Silva-Romo *et al.* (1998). En Morelos y Guerrero los conglomerados del Grupo Balsas (Fries, 1960) y en la parte central de México, el Conglomerado Guanajuato y Conglomerado Rojo (Edwards, 1955 en Ferrusquía-Villafranca, 1970).

Sin embargo dadas las características particulares de cada uno de estos depósitos coonglomeráticos, he optado por la utilización de una unidad informal, con el nombre de Unidad Tamalayo. Hecho que no descarta la posibilidad de correlacionar dichos depósitos, con alguna Formación ya definida.

Denominada como Unidad Tamalayo, por presentarse los mejores afloramientos de esta unidad conglomerática, en el Cerro Tamalayo, al sur del área cartografiada, entre los poblados de Ahuehuetitla y Piaxtla.

DISTRIBUCIÓN

La Unidad Tamalayo, se encuentra aflorando en el bordo sur de la Cuenca de Tehuizingo, como ya se había mencionado con anterioridad; los afloramientos más significativos por su extensión se encuentran entre los poblados de Ahuehuetitla y Piaxtla. Pero también se le encuentra aflorando en el borde occidental de la cuenca, con mucha menor extensión, en forma de conos de deyección en los poblados de Tlachinola, Tecolutla y Atopolitlán. En conjunto presenta una extensión total en el área cartografiada de 18.7 Km².

LITOLOGÍA

Conglomerados metamórficos de colores pardo, rojo y gris metálico, con clastos de sílice blanca, clastos metamórficos de esquisto y serpentinita con un tamaño de 10 a 30 cm, subredondeados a subangulosos. Soportados generalmente por una matriz arenosa, con cierta pseudoestratificación y medianamente a bien consolidada. No se encontró un lugar adecuado para la medición del espesor de esta unidad.

RELACIÓN ESTRATIGRÁFICA

Aunque en el área de estudio no se pudo apreciar nítidamente el tipo de contacto entre la Unidad Tamalayo y las rocas metamórficas del Complejo Acatlán, es claro que los conglomerados se encuentran depositados sobre las rocas metamórficas en forma discordante.

Así mismo se encontraron afloramientos de la Unidad Tamalayo en clara interdigitación con capas de la Formación Tehuizingo, en posiciones verticales, posiblemente debidas a la depositación contemporánea a la generación de la cuenca.

También se observó a la Unidad Tamalayo cubierta por coladas, brechas volcánicas soldadas y material piroclástico de la Unidad Boqueroncito, en las cercanías del poblado de Ahuehuetitla.

EDAD Y CORRELACIÓN

Los conglomerados de color gris acero, asociados a los conos de deyección, se suponen de menor edad que los conglomerados de color pardo, dado su extensión, grado de consolidación y de alteración. Por lo que en determinado momento se podría hacer una diferenciación entre los dos tipos de conglomerados. Asignándole a los conglomerados de conos de deyección una edad similar a la de la Formación Tehuitzingo y a los conglomerados pardos, una edad anterior.

La Unidad Tamalayo es correlacionable con la Formación Amatitlán (Calderón, 1956), aunque difiere de la definición, al no presentar clastos de calizas del Mesozoico; también es correlacionable con algunas de las formaciones enunciadas en la definición, destacándose El Conglomerado Guanajuato y El Grupo Balsas por estar ubicados cronoestratigráficamente en forma más objetiva, el primero mediante fauna constituida por los roedores *Floresomys guanajuatoensis* y *Guanajuatomys hibardi* que lo ubican en el intervalo Eoceno Tardío – Oligoceno Temprano (Ferrusquía, 1976) y el segundo por fechamientos plomo-alfa realizados en zircones autógenos de troncos que lo intrusionan, que registraron edades de 30 y 39 m. a. fijando los límites superiores del Grupo Balsas como eocénicos–oligocénicos. (Cserna, *et al.*, 1974), lamentablemente estos dos conglomerados, presentan lejanía geográfica y diferencias litológicas considerables con respecto a la Unidad Tamalayo; por sus características particulares, se le encontró mayor similitud con la Unidad Tepexi El Viejo propuesta por Silva-Romo *et al.* (1998), en su estudio de la cuenca de Coatzingo – Tepexi.

Dadas las posibles correlaciones estratigráficas, y por su ubicación estratigráfica con relación a las demás unidades de la región, se le puede asignar a la Unidad Tamalayo una edad de principios del Oligoceno.

3.2.2 Unidad Boqueroncito

DEFINICIÓN

La única referencia a las rocas volcánicas y derrames lávicos que afloran en la Cuenca de Tehuitzingo, es hecha por Rodríguez-Torres (1970a), en su itinerario geológico de la Excursión

México – Oaxaca de 1970, en el que tan solo hace alusión a que en el Km 223.4 (dentro de la zona de estudio, entronque Las Palomas en la desviación a Chinantla y Piaxtla) de la Carretera 190, afloran las rocas volcánicas de la unidad informal Las Peñas; y en su mapa geológico, hecho para una zona contigua a la del presente estudio; hace la cartografía, sin hacer descripciones, de una Andesita Peña, la cual ubica en las cercanías del poblado de Tlaxcoapan y omite, el cartografiar las unidades volcánicas que afloran en la zona de traslape entre ambos estudios, en el pueblo de Ahuhuetitla y hacia el norte del mismo. Cabe aclarar que su estudio esta enfocado a las rocas metamórficas de la región.

De tal forma que, para no generar confusiones, se ha preferido utilizar en el presente trabajo, una unidad informal, a la cual se ha denominado Unidad Boqueroncito, por que es a partir de este pueblo, -de oeste a este-, donde comienzan a presentarse, los mejores y más extensos afloramientos de rocas volcánicas, incluso sobrepasando el área de estudio. Y por que se considera que uno de los principales centros de emisión de las rocas volcánicas de la Unidad Boqueroncito, se encuentra en las proximidades de este poblado.

DISTRIBUCIÓN

Como ya se había mencionado en la definición de la unidad, los principales afloramientos de la Unidad Boqueroncito, están localizados en las cercanías del pueblo con el mismo nombre, extendiéndose hacia el este, sobrepasando el área cartografiada y parcialmente a lo largo de la margen oriental de la Cuenca de Tehuitzingo, con una clara orientación N – S.

También, afloran rocas volcánicas, al sur de la Cuenca de Tehuitzingo en las proximidades de los poblados de Chinantla y Piaxtla y subyaciendo los asentamientos humanos del poblado de Ahuehuetitla; así como al norponiente de la zona cartografiada, al este de la localidad Puente Márquez, estas rocas volcánicas, aunque no presentan la misma diversidad litológica que la unidad tipo, si presentan muchas características similares a la misma, motivo por el cual también han sido incluidas dentro de la Unidad Boqueroncito.

Los centros de emisión que dieron origen a los disitintos depósitos volcánicos de la Unidad Boqueroncito, son de tipo central y fisural; tal aseveración se deriva, de las carcaterísticas de emplazamiento observadas en los distintos afloramientos y de la fotointerpretación.

El área total, en la zona cartografiada, de todas las rocas volcánicas de la Unidad Boqueroncito, es de 56.6 Km².

LITOLOGÍA

La Unidad Boqueroncito, está caracterizada principalmente por dos miembros; uno compuesto por extensos mantos de roca volcánica andesítica y otro miembro de brechas volcánicas soldadas, estas últimas con mayor extensión y presentes en todos los afloramientos de la Unidad Boqueroncito. Asociados en algunas ocasiones a un tercer miembro (principalmente donde se presumen cercanos los centros de emisión), de depósitos piroclásticos de caída libre, tales como, bloques, bombas y ceniza, que definen estructuras de conos cineríticos pseudoestratificados.

La roca andesítica, presenta generalmente un color rojo claro a rosáceo al intemperismo, pocas veces se le observa de color gris con tonalidades verdes, en espesores desde los 2 m hasta más de 30 m, presenta hacia las partes altas un aumento en la cantidad y tamaño de las vesículas. Petrográficamente, la roca presenta una textura microcristalina y traquítica, con gran abundancia de cristales de plagioclasa zonada (oligoclasa), ceniza volcánica y algunos cristales de piroxenos. Cubierta concordantemente e incluso por las observaciones hechas en campo, se podría decir que cambiando transicionalmente a la brecha volcánica soldada.

La brecha volcánica soldada, como ya se había escrito, es el miembro de la Unidad Boqueroncito, con mayor distribución en la zona de estudio, con una coloración similar al de la roca andesítica. Se presenta en tres aspectos característicos. Como brecha de grandes clastos de 1 x 2 m hasta clastos de 4 x 3 m, en una matriz de grano fino con abundancia de vidrio, clastos esenciales, cognados y muy pocos fragmentos no cognados de caliza. Otro de los aspectos de la brecha volcánica soldada, es el asociado como cubierta de la roca andesítica, donde se muestra con características homogéneas; mayor abundancia de clastos esenciales, angulosos, y en tamaños de 5 a 15 cm. El tercer aspecto observado en la brecha volcánica soldada, es heterogéneo, con clastos de 2 cm hasta 70 cm, de diversas coloraciones, esenciales, cognados y no cognados.

Por último, es importante señalar que asociados a los depósitos volcánicos de la unidad Boqueroncito se reporta la presencia de cuerpos ígneos hipabisales en forma de diques y troncos, que por su naturaleza local y la falta de tiempo, no fue posible cartografiar y estudiar.

RELACIÓN ESTRATIGRÁFICA

Conforme a sus características de emplazamiento, se asume que la Unidad Boqueroncito cubre concordantemente a los conglomerados rojos y pardos de la Unidad Tamalayo. Y que

ambas unidades son cubiertas, también concordantemente; por los sedimentos lacustres, epiclásticos y volcanoclásticos de la Formación Tehuitzingo.

EDAD Y CORRELACIÓN

La unidad Boqueroncito es correlacionable conforme a sus características litológicas y de posición estratigráfica con el Miembro de Rocas volcánicas intermedias básicas, descrito por Ruiz-Castellanos (1970) como rocas andesíticas o basálticas de color rojo a rosa fuerte, con la Andesita Yacudaac (Ferrusquía-Villafranca *et al.*, 1974) descrita petrográficamente como una traquiandesita o un basalto rico en plagioclasa microcristalina con textura traquítica, con la Andesita Peña (Rodríguez-Torres, 1970a) y con las Rocas Igneas descritas por Monroy y Sosa (1984).

La edad inferida para esta unidad, considerando como referencia el fechamiento realizado por Ferrusquía-Villafranca *et al.* (1974), a una muestra de la Andesita Yacudaac, que reportó una edad de $29.6 \pm .6$ m.a. y sobre todo los estudios más recientes de las rocas magmáticas del Terciario Medio, en la parte noroccidental del estado de Oaxaca, elaborados por Martiny *et al.* (1998), donde se realizaron fechamientos K – Ar en minerales de biotita y hornblenda, que reportan edades que varían entre 31.4 ± 8 a 34.8 ± 1.4 m.a. hacen que se considere para la Unidad Boqueroncito una edad de mediados del Oligoceno.

3.2.3 Formación Tehuitzingo

DEFINICIÓN

Definida por Calderón (1956), la nombra Formación Tehuitzingo por aflorar en los alrededores del poblado de Tehuitzingo. La describe como “depósitos lacustres bien estratificados, formados por bancos de areniscas, en partes calcáreas, de espesor variable (20 cm a más de 2 m), arcillosas de grano grueso a medio; con cuarzo, feldespato y glauconita de color gris y gris verdoso, en parte conglomeráticas y en parte con estratificación cruzada. Presenta intercalaciones de caliza color crema y de arcillas y limos de color verde esmeralda y gris, siendo las primeras de aspecto travertinoso, estratificadas, en bancos de un promedio de 30 cm y con nódulos y capas lenticulares de calcedonia y de pedernal gris”. Le asigna una edad correspondiente al Pleistoceno.

DISTRIBUCIÓN

La Formación Tehuitzingo se encuentra aflorando en gran parte de la cuenca del mismo nombre, ocupando la parte central a todo lo largo de la zona cartografiada, con una extensión de 154.7 Km².

LITOLOGÍA Y ESPESOR

Se realizaron tres mediciones en distintas ubicaciones de la cuenca, de la secuencia estratigráfica de la Formación Tehuitzingo, elaborándose las correspondientes columnas estratigráficas (Figuras 7,8 y 9. y apéndice de medición de columnas), dichas columnas no son correlacionables entre sí; si no más bien representan facies distintas de la cuenca.

En forma resumida se puede describir a la Formación Tehuitzingo como una secuencia de depósitos lacustres, epiclásticos y volcanoclásticos de moderadamente a bien consolidados, consistente en: conglomerados de color verde con clastos volcánicos de alrededor de 20 cm, clastos de sílice lechosa y clastos de metamórficos (serpentinita) subredondeados a redondeados, en una matriz arenosa y con cementante de CaCO₃; areniscas conglomeráticas del mismo color y con clastos de igual litología y estratificación cruzada; lodolitas tobáceas y tobas; concreciones discoidales de material carbonatado; en algunos lugares de la cuenca se detectó presencia de yeso, en estratos y como relleno de fracturas; por último, en las partes altas de las secuencias estratigráficas se encontró presencia de roca caliza color crema claro, en estratos de 20 a 100 cm, en algunos casos, asociado a pedernal de color pardo oscuro o de color blanco (menos común) en forma de banda o de nódulos.

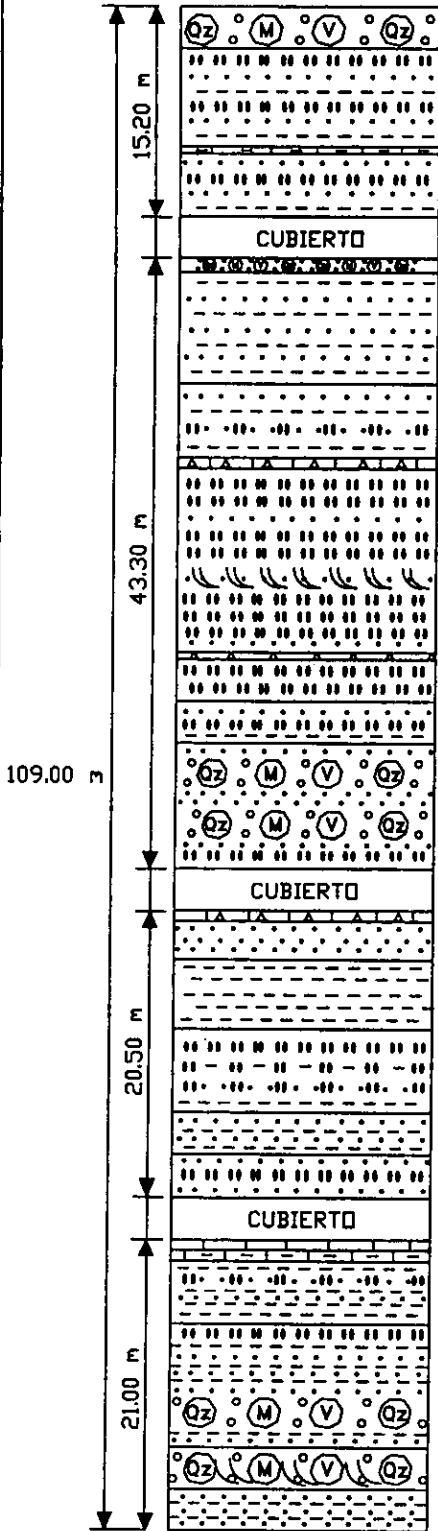
Aunque las condiciones ambientales de la cuenca, se considera fueron poco favorables para el desarrollo de flora y fauna, se reportan paleosuelos calichosos con abundancia de tallos fósiles, horizontes de algas en algunos estratos de caliza y lo que posiblemente sea la impresión de icnitas de un mamífero, sobre una arenisca tobácea, en las facies marginales de la Cuenca de Tehuitzingo.

El mayor espesor medido para esta Formación fue de 109 m, en la Cañada de Atopolitlán, cercana al poblado del mismo nombre.

RELACIÓN ESTRATIGRÁFICA

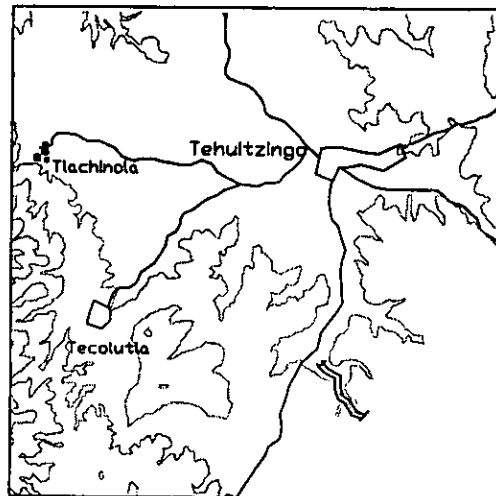
La Formación Tehuitzingo, como ya se había mencionado, se encuentra interdigitada con los conglomerados color gris de la Unidad Tamalayo y también cubriéndola concordantemente, la composición de algunos de sus estratos con marcada influencia volcánica, revelan una clara

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA FORMACIÓN TEHUITZINGO (CAÑADA ATOPOLTITLÁN)



- Lodolitas
- Areniscas
- Conglomerado
- Pedernal
- Caliza
- Caliza con pedernal
- Lodolita calcárea
- Tabas
- Toba soldada (Ignimbríta)
- Lodolitas tobáceas
- Areniscas tobáceas
- Estratificación cruzada

UBICACIÓN DE LA SECCIÓN



relación contemporánea con las facies más distales de la Unidad El Gato. Su relación con la Unidad Boqueroncitos es sobreyaciendola concordantemente. Aunque no se descarta una relación casi penecontemporánea.

EDAD Y CORRELACIÓN

Calderón, (1956) le asignó a esta formación una edad pleistocénica. Se puede correlacionar, dada la similitud de sus características, con el Miembro Lacustre descrito por Ruiz-Castellanos (1970); con la Formación Chilapa definida por Ferrusquía (1970); con la Formación Suchiquiltongo descrita por Wilson y Clabaugh (1970), en la cual se encontraron fragmentos de vertebrados equinos de *Merycodus*, *Merychippus sp* y de varias especies más, (esta formación, fue posteriormente fechada por Ferrusquía-Villafranca (1974 y 1989), obteniendo una edad de 17.4 m.a.); también se puede correlacionar con los sedimentos lacustres descritos por Monroy y Sosa (1984) en la región del Tentzo, Puebla y con la Formación Pie de Vaca (Pantoja-Alor *et al.*, 1989 y Silva-Romo *et al.*, 1998) de la región de Tepexi de Rodríguez, Puebla, famosa por la existencia de aproximadamente 200 huellas, pisadas de mamíferos (camélidos, cérvidos, felinos, etc.) serpientes y aves.

La correlación con algunas de las formaciones ya mencionadas líneas arriba, hacen considerar para la Formación Tehuitzingo una edad de finales del Oligoceno y principios del Mioceno.

Es muy importante recalcar que la ubicación cronoestratigráfica y las correlaciones hechas para las distintas unidades y para la Formación Tehuitzingo; en el presente trabajo, están condicionadas a la obtención de edades objetivas y precisas; y que, se está en espera de los resultados de fechamientos isotópicos K – Ar, de dos muestras de la Formación Tehuitzingo; una toba soldada recolectada en la cañada Atopolitlán y una toba de la localidad Puente Márquez, esta última con marcada influencia de material volcanoclástico de la Unidad El Gato.

3.2.4 Unidad El Gato

DEFINICIÓN

Aunque ya Rodríguez-Torres (1970a) había descrito los depósitos que afloran sobre la Carretera Izúcar de Matamoros – Tehuitzingo, en las cercanías del Puerto El Gato, como una secuencia de tobas riolíticas de grano fino colores rosado y verde, con interestratos de lodo,

horizontes aglomeráticos y tobáceos con estratificación delgada, considerándolos como pertenecientes a la Formación Amatitlán (Calderón, 1956); al revisar la descripción de esta última, se detecta fácilmente que no existe semejanza entre las características descritas para la Formación Amatitlán y los depósitos del Puerto El Gato, para evitar mayor confusión, se ha preferido utilizar una unidad informal denominada Unidad El Gato, para identificar a estos depósitos volcanoclásticos, que presentan sus mejores afloramientos en las inmediaciones del Puerto El Gato.

DISTRIBUCIÓN

Los depósitos volcanoclásticos de la Unidad El Gato, afloran al norponiente de la Cuenca de Tehuizingo, con una extensión de 30.6 Km². Es pertinente aclarar, que dichos depósitos rebasan el límite de la zona cartografiada, por lo que su extensión total es mayor.

LITOLOGÍA Y ESPESOR

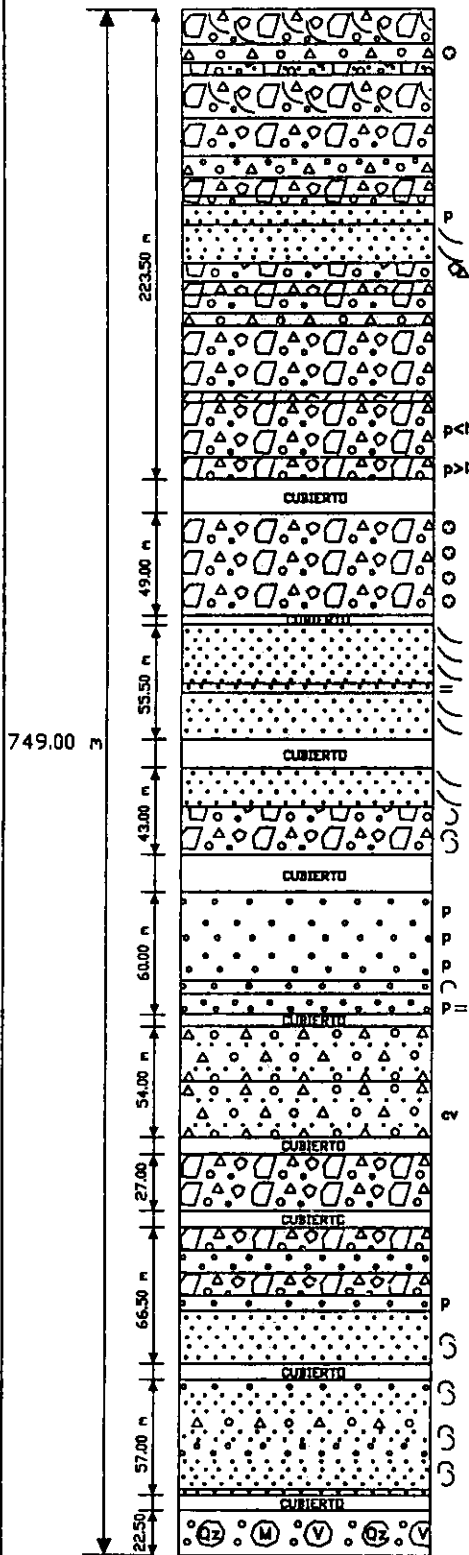
Se realizó la medición de los depósitos volcanoclásticos, generándose la correspondiente columna estratigráfica (Fig. 10). Los distintos depósitos encontrados se describen a detalle en el anexo de medición de columnas. En forma general podemos decir que la Unidad El Gato consiste en una secuencia de tobas finas, tobas burdas y brechas tobáceas con intemperismo esferoidal, intercaladas con material fino y grueso de ceniza volcánica, así como con brechas piroclásticas soldadas y depósitos de bloques y ceniza sin consolidar, con presencia de pómez en la mayor parte de la secuencia, misma que hacia su parte más alta, muestra la presencia de estratos, que dadas sus características litológicas y distribución de material, parecen ser depósitos de lahar.

El espesor medido para la Unidad El Gato fue de 749.0 m.

RELACIÓN ESTRATIGRÁFICA

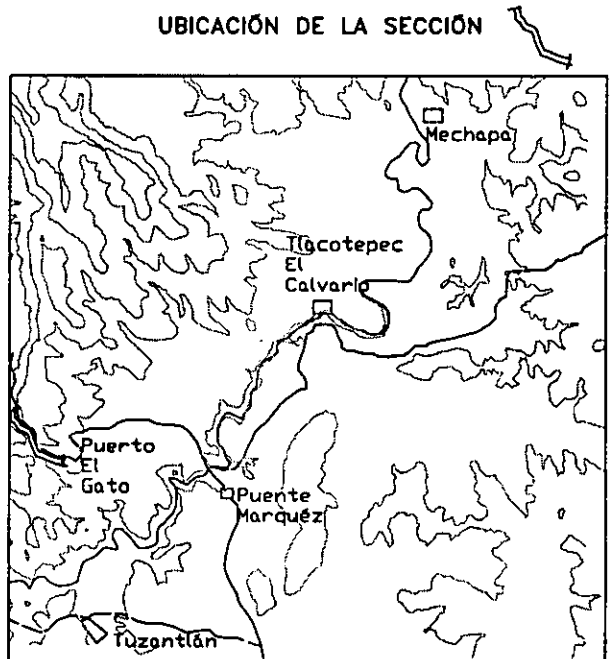
No se observó en campo una relación estratigráfica superior o inferior de esta unidad con las demás unidades, que afloran en el área, lo que sí se observó claramente -en su momento también precisado por Rodríguez-Torres (1970a)-, es una transición gradual lateral, entre la Unidad El Gato y la Formación Tehuizingo. Por lo que se considera para esta unidad, relaciones estratigráficas similares a las de la Formación Tehuizingo.

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA UNIDAD EL GATO (PUERTO EL GATO)



- Ceniza fina = Laminación fina
- Toba fina = Oquedades
- Ceniza burda = Pseudoestratificación
- Toba burda = Clastos soportados entre sí
- Lapilli = Intemperismo esferoidal
- Brecha tobácea = Pómez
- Bloques y ceniza = Clastos vesiculados
- Brecha piroclástica = Líticos
- Lahar
- Conglomerado

UBICACIÓN DE LA SECCIÓN



EDAD Y CORRELACIÓN

Revisando trabajos de investigación de otras áreas, se encontraron algunas descripciones de unidades, que por la similitud entre sus características litológicas y petrográficas se pueden correlacionar con la Unidad El Gato, quedando aún en duda su relación cronoestratigráfica. Tales unidades se enuncian a continuación: Toba Llano de Lobos, descrita por Ferrusquía-Villafranca (1970 y 1976), como tobas de Tipo "ash fall" y fechada por el método K/Ar, que registró datos de 26 y 25 m.a.; la Toba Cerro Verde descrita por el mismo autor; con el Miembro de Rocas Volcánicas Ácidas descrito por Ruiz-Castellanos, (1970); también se puede correlacionar la Unidad El Gato con las brechas y tobas volcánicas descritas por Fries (1960) dentro del Grupo Balsas.

La edad de la Unidad El Gato se puede considerar como de finales del Oligoceno Tardío.

3.3 CUATERNARIO

3.3.1 Depósitos aluviales

Los depósitos aluviales se han desarrollado en el norte y centro de la cuenca, como relleno en los cauces de los arroyos, y en el sur como relleno de una vasta planicie. En conjunto afloran con una extensión de 120.511 Km².

Su composición consiste de clastos re TRABAJADOS, de diversos tamaños y tipos de roca, arenas y limos; todos ellos sin consolidar. En espesores variables, de 1.0 m hasta los 8.0 m

Estos depósitos aluviales son producto de actividad fluvial, que ha presentado un cambio de régimen, ya que actualmente, dichos depósitos, se encuentran diseccionados y en proceso de erosión.

Por su posición estratigráfica y su naturaleza de emplazamiento y formación, se les ha asignado una edad correspondiente al Cuaternario.

CAPÍTULO IV.- GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

4.1 DESCRIPCIÓN DE ESTRUCTURAS Y ANÁLISIS

CUENCA DE TEHUITZINGO

La Cuenca de Tehuitzingo Puebla, representa en si una estructura geológica, por su clara connotación y origen tectónico, motivo por el cual, se consideró importante la realización del mapa hipsométrico o altimétrico. Ya que la información que proporciona la hipsometría es fundamental para el estudio de las morfoestructuras y la morfogénesis (Lugo-Hubp, 1988).

En el análisis del mapa hipsométrico (Fig. 11), se puede observar como; las serranías sobre las cuales se ha trazado en forma esquemática, con línea discontinua, tomando como referencia la cota 1300, definen la forma idealizada de la Cuenca de Tehuitzingo, que corresponde a una figura romboidal, alargada y asimétrica; con mucho mayor definición en su parte sur, este rombo se presenta con una orientación aproximada de N – S, tomando como referencia su eje más largo; este mismo eje mide 41.1 Km por 13.3 Km de su otro eje, lo cual representa una relación de 3.09 veces el ancho igual al largo, que se aproxima a la relación 3.2 que según Urrutia-Fucugauchi (1995) es una de las principales características de las cuencas *pull-apart basins*, que describe como cuencas tensionales formadas en sistemas de fallas de desplazamiento lateral, que muestran un patrón geométrico característico. Esto no implica que necesariamente la Cuenca de Tehuitzingo sea de este tipo, para hacer esta afirmación, habría que analizar más factores, con mayor detalle, lo cual escapa a los objetivos y alcances planteados para este trabajo; más, sin embargo, los estudios realizados por Silva-Romo *et al.* (1999), parecen indicar que si es una cuenca de ese tipo.

ANTICLINAL CERRO LARGO

Ubicado al noroeste de la Cuenca de Tehuitzingo, con longitud de 3.5 Km y un ancho promedio de 1 Km; presenta una orientación de su eje del N 25° E; de forma asimétrica con vergencia sinistral; con buzamiento hacia el sur; se muestra dislocado en su porción meridional, por una zona de cizalla lateral sinistral, que es una prolongación interna de la falla lateral El Gato, con un dislocamiento a rumbo de cizalla de 600 m. La manifestación de esta zona de cizalla

se debe a que el Anticlinal Cerro Largo esta formado por depósitos de la Formación Tehuitzingo, que muestran un comportamiento dúctil.

ANTICLINAL EL TABERNAL

Ubicado al centro, un poco cargado hacia el norte del área cartografiada, en la margen oriental de la cuenca de Tehuitzingo, con una longitud de 3.8 Km y un ancho máximo de aproximadamente 1.6 Km, el eje del anticlinal presenta una orientación de N 20° E; de forma asimétrica con vergencia dextral y con buzamiento hacia el sur. Los estratos que conforman al Anticlinal El Tabernal, pertenecen a la Formación Tehuitzingo.

FALLA LATERAL EL GATO

Ubicada al noroeste del área cartografiada, se observa tanto en la base topográfica como en las fotografías aéreas; como una alineación discontinua y escalonada; con una dirección preferencial de N 75° W; y una longitud aproximada de 3 Km Se tomó datos estructurales en distintos puntos de la falla y se pudo observar que el plano de falla se presenta con una inclinación promedio de 70° y que también muestra dos familias de estrías; un primer grupo de estrías que tiene un pitch promedio de 80°, que es indicativo de un fallamiento normal, conforme a la relación entre bloques; y el segundo grupo de estrías, con pitch promedio de 160°, producto del desplazamiento lateral entre bloques, el sentido de la falla fue determinado como sinestral y como se observó claramente que las estrías laterales cubrían a las estrías normales, indicando que el ultimo movimiento sobre el plano de falla fue lateral, se consideró esta condición para la asignación del nombre y clasificación de la falla.

La falla lateral El Gato afecta indistintamente a los depósitos volcanoclásticos de la Unidad El Gato y a los depósitos volcánicos de la Unidad Boqueroncito, que presentan un comportamiento frágil.

FALLA LATERAL BOQUERONCITO – TEHUIXTLA

Importante alineación continua, fácilmente apreciable, tanto en fotografías aéreas como en mapa topográfico, ubicada al oriente de la cuenca, con una longitud aproximada de 7 Km y dos orientaciones preferenciales; N 12° W y N – S. En el análisis de los datos estructurales obtenidos, se observa que se presentan características similares a las observadas en la Falla Lateral El Gato, que determinan, que sobre el plano de falla primero actuó un movimiento de tipo normal y posteriormente un movimiento de tipo lateral izquierdo, por lo que se siguió el mismo criterio

para la clasificación de esta falla. Los detalles particulares de rumbos e inclinaciones de planos de falla, así como las magnitudes del cabeceo, pueden ser consultados en el apéndice de datos estructurales.

La falla lateral Boqueroncito – Tehuixtla se encuentra afectando a los depósitos volcánicos de la Unidad Boqueroncito.

ANÁLISIS GENERAL DE ESTRUCTURAS

Las direcciones preferenciales de las estructuras de falla, la relación angular entre las mismas, su naturaleza normal y luego lateral, la orientación de los ejes de las estructuras plicativas, el emplazamiento de las unidades y la forma misma de la Cuenca de Tehuiztingo, permiten suponer un patrón de esfuerzos en el cual el esfuerzo intermedio σ_2 es vertical, el esfuerzo compresivo σ_1 tiene dirección NW – SE y el esfuerzo de tensión σ_3 perpendicular al de compresión, tiene dirección NE – SW. Donde el plano formado por σ_1 y σ_3 , es coplanar con el de la superficie terrestre (Fig. 12).

La variación en la orientación esperada (NE – SW), dadas las características tectónicas regionales y la orientación determinada (NW – SE), según la disposición de las estructuras locales; para los esfuerzos de compresión; se explica por la misma tendencia rotacional izquierda que imprimen los distintos esfuerzos y a las condiciones particulares del basamento.

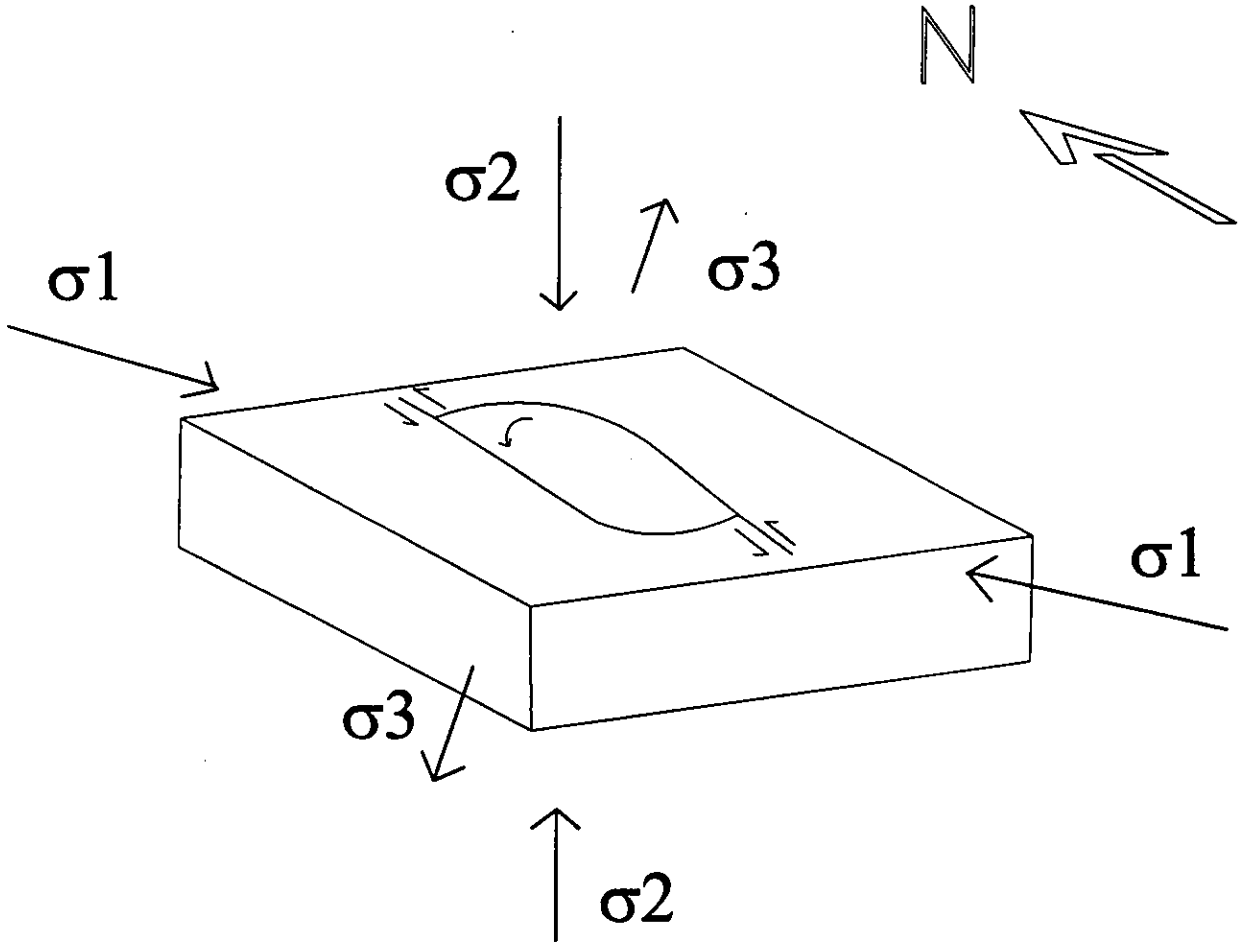
4.2 TECTÓNICA REGIONAL

La división en diferentes terrenos de la porción sur de México, ha representado una alternativa metodológica de análisis para comprender mejor su significado geológico (Morán-Zenteno, 1987 en González-Torres, 1989).

La concepción de Terreno Tectonoestratigráfico de Campa y Coney (1983), es la de un terreno que presenta como características; el estar constituido por bloques de basamentos de diferente naturaleza, tanto por su petrología como por su edad; el presentar límites tectónicos con los terrenos circunvecinos y mostrar diversidad estratigráfica, litológica y estructural, tal que su historia geológica de alguna forma se diferencia de los terrenos adyacentes.

Los Terrenos Tectonoestratigráficos presentan conflictos con respecto a la definición de sus límites estratigráficos, origen y tiempo de acreción (Ortega-Gutierrez, 1998), tal afirmación

ESQUEMA DE ESFUERZOS



es también aplicable al Terreno Mixteco, en donde se han realizado distintos estudios encaminados a determinar sus orígenes, límites y tiempo de acreción.

Así tenemos por ejemplo, los estudios que intentan precisar el tiempo de acreción en que el Terreno Mixteco comienza a compartir su historia con otros terrenos; como los trabajos paleomagnéticos realizados por Cabral-Cano *et al.* en 1986, en donde ya se hace referencia a que los datos paleomagnéticos de la porción sur de México (Mesozoico y Cenozoico) difieren de los de Estados Unidos y Canadá; los de Ortega-Guerrero y Urrutia-Fucugauchi (1993), donde las evidencias de sus estudios, constriñen o limitan los desplazamientos latitudinales mayores del Terreno Mixteco con respecto a América del Norte e indican que se llevaron a cabo antes de la parte final del Cretácico Temprano; Y otros como el de Ratschbacher *et al.* (1991), en el que determinan que el Terreno Guerrero, Mixteco y Xolapa, tiene paleolatitudes similares para el Cretácico Medio al Holoceno

Las aportaciones estratigráficas también son numerosas; Pacheco y Ortiz (1984), plantean que los Terrenos Mixteco, Zapoteco y Maya se acrecionan y forman un basamento complejo, sobre el que se da la sedimentación paleozoica, por su parte, Ramírez (1984) escribe, que los datos estratigráficos de los Terrenos Maya, Juárez, Mixteco y Oaxaca muestran que poseen una historia evolutiva independiente, por lo menos hasta el Jurásico Superior – Cretácico Inferior y afirma que es el nivel Cretácico Inferior el que se encuentra indistintamente en todos los terrenos ya acrecionados. De igual forma González, *et al.* , (1984) comentan que conglomerados de posible edad cretácica y la Formación Zapotitlán, se encuentran encima de los complejos Acatlán y Oaxaqueño. Reinhard *et al.* , en 1987 definen a la Formación Matzitzi, ubicada a 25 Km al sur de Tehuacán, Puebla como una unidad clave para definir la acreción del Terreno Mixteco y Zapoteco, por ser la primer unidad de traslape. Y sitúa dicha acreción entre el Carbonífero y el Permico, por medio del fósil *Glossopteris*.

En lo que refiere a sus límites, también son varios los autores que han escrito al respecto; pero es González-Torres (1989), quien presenta una visión global y resumida, de dichos límites. Este mismo autor en forma concluyente, determina que el Terreno Mixteco esta constituido por un basamento con alcance estratigráfico que va del Cámbrico al Devónico, y que le sobreyace una cubierta sedimentaria y volcánica que va del Pensilvánico al Reciente.

Un concepto asociado al de terreno tectonoestratigráfico, poco conocido y utilizado, es el concepto de terreno de traslape, superpuesto o suprayacente; fue introducido al mismo tiempo que el de terreno tectonoestratigráfico (Campa y Coney, 1983; Coney, 1983 y Campa 1984).

Coney (1983) menciona que México esta cubierto por terrenos de traslape o sea suprayacentes y da como ejemplos a la Cuenca mesozoica del Golfo de México, al Eje Neovolcánico y a la Sierra Madre Occidental. Mientras que Campa (1984), habla de depósitos volcánicos cenozoicos continentales, que cubren una gran parte de nuestro territorio y los denomina como terrenos tectonoestratigráficos superpuestos jóvenes; propone dos interpretaciones para los mismos; su continuación directa en el subsuelo o su carácter desagregado en bloques aislados.

Independientemente del momento preciso en que el Terreno Mixteco comienza a compartir su historia evolutiva con algún otro terreno, ese momento se presento mucho antes del Cenozoico, por lo que cualquier depósito de esta edad, conforme a la definición de Terreno Tectonoestratigráfico, no pertenecería al Terreno Mixteco, como es el caso de los depósitos cenozoicos de la Cuenca de Tehuizingo.

4.3 ANÁLISIS GENERAL

Ferrusquía-Villafranca en 1996 habla de rasgos unificadores y a la vez distintivos para el Cenozoico del sudeste mexicano, dentro de los rasgos unificadores, considera la deposición de las unidades miocénicas sedimentarias y unidades volcánicas, ambas aparentemente relacionadas al desarrollo de cuencas a lo largo de una dirección estructural NW – SE; y los rasgos distintivos, que el considera son las diferencias en las tasas de sedimentación / hundimiento, la naturaleza de la actividad magmática, así como la magnitud y tiempo de fallamiento.

Y efectivamente, las interpretaciones estructurales y descripciones estratigráficas hechas para el Cenozoico de la Región Mixteca, presentan tantas diferencias como localidades que se hallan estudiado en esa región. Más sin embargo en algunos trabajos también se ha podido observar algunas coincidencias estructurales y estratigráficas, que pueden ser motivo de estudio y análisis posteriores.

Estas coincidencias convergen en al menos uno de los cuatro conceptos siguientes:

- 1) Formación de cuencas de origen tectónico, asociadas a desplazamientos laterales.
- 2) Deposición de sedimentos conglomeráticos continentales, contemporánea a la formación de la cuenca.
- 3) Deposición de sedimentos fluvio-lacustres, con influencia de volcanismo explosivo.
- 4) Actividad Volcánica asociada a los bordes de la cuenca.

Como por ejemplo, los trabajos realizados por Ruiz-Castellanos en 1970 en las localidades de Mariscala y Amatitlán, donde describe tres miembros de la Formación Huajuapán consistentes en: a) Depósitos lacustres continentales, b) Rocas volcánicas intermedias y básicas y c) Conglomerados clásticos continentales y volcánicos. Comenta que la deposición de estos tres miembros estuvo limitada a una cuenca estrecha y larga que atraviesa el área de estudio en dirección NNE – SSW.

Ese mismo año Schlaepfer (1970), menciona que Guzmán (1950) en los límites de Oaxaca y Guerrero, Calderón (1956) en el sur de Puebla y Cárdenas (1966) en la mixteca baja, describen secuencias terciarias continentales, litológica y estratigráficamente análogas a la suya, ubicada en el área de Yanhuitlán y Nochixtlán, Oaxaca y conformada por el Conglomerado Tecomatlán, limolitas de la Formación Yanhuitlán y la Formación Sosola compuesta por gravas y arenas en las márgenes de la cuenca; lodos, limos y arcillas con horizontes tobáceos debido al vulcanismo de tipo explosivo contemporáneo; así como rocas volcánicas adscritas al terciario superior. En 1974 Schlaepfer concluye que la formación de cuencas terciarias, obedeció a tectónica diferencial y no fue simultánea en toda la región y que el relleno se inició en distintas partes a partir del Eoceno Medio.

Monroy y Sosa (1984) en la Sierra del Tentzo, Puebla, reportan un sistema de fallas a rumbo con orientaciones NW – SE, N – S y NE – SW; las dos primeras orientaciones corresponden a fallas sinestrales y la última a una falla dextral; distingue dos fases de deformación para el Terciario; una fase compresiva en el Paleoceno y una fase en el Mioceno de desarrollo de fallas normales, asociadas con la extrusión de rocas volcánicas; su columna estratigráfica para el Terciario, incluye conglomerados del Grupo Balsas, rocas ígneas adscritas al Mioceno y sedimentos lacustres constituidos por material calichoso y tobáceo, yeso, horizontes calcáreos y arcillosos con nódulos de pedernal.

Ferrusquía-Villafranca (1976), también reporta para la región de Tamazulapan – Tepescolula – Yanhuitlán, Oaxaca; en el Terciario, al Conglomerado Tamazulapan, a la Formación Yanhuitlán, a las Tobas Llano de Lobos y Cerro Verde, a las andesitas Yacudaac y San Marcos y a la Formación Chilapa de carácter lacustre; los espesores considerables, de esta última los asocia a hundimiento simultáneo a la deposición, y el vulcanismo andesítico, lo considera penecontemporáneo, asociado con el desarrollo del lago y emplazado en forma de derrames al borde del mismo.

Por su parte Centeno *et al.* (1987), en su trabajo de descripción de las características neotectónicas de la falla de Tehuacán - Oaxaca, la asocian con fallas antitéticas, que dan lugar a

la formación de una cuenca estrecha y alargada donde se acumularon los depósitos cenozoicos. Dicha falla esta constituida por cuatro segmentos ligeramente desplazados entre sí por fallas laterales izquierdas de orientación NE; en la cuenca, la estratigrafía del Cenozoico, esta representada por interestratificación de conglomerado, arenisca, depósitos lacustres, tobas y algunos derrames de composición andesítica y basáltica, el gran espesor de dichos depósitos y la existencia de discordancias estructurales, sugieren que dicha falla actuó durante el Terciario como una falla de crecimiento, con movimientos recurrentes, es decir, períodos activos y pasivos alternados.

González-Torres (1989) en su trabajo del área de Tezoatlán Oaxaca, argumenta que en etapas posteriores al Eoceno, esa región estuvo sometida a esfuerzos distensivos, que desarrollan un conjunto de pilares y fosas tectónicas, cuyos límites probablemente constituyen planos de debilidad cortical, a través de los cuales se desarrolló la actividad volcánica de tipo fisural, del Oligoceno al Reciente; al igual que Ferrusquía (1976), dice que el patrón estructural de la Región Mixteca, es un patrón tectónico de bloques (tectónica vertical) complicado por desplazamientos regionales y culmina enunciando que un rasgo característico de la tectónica pos-eocénica, es el aparente desarrollo de fallas de desplazamiento lateral, evidenciado por presencia de fracturas extensionales.

Este último rasgo es también reportado por Campa (1984), quien afirma que la Región Mixteca esta activa, rompiéndose mediante fallas laterales activas dirección N – S y NW – SE, y da como ejemplo a la falla de Tehuacán; por Torres *et al.* (1984), quienes consideran al límite tectónico entre el terreno mixteco y el terreno oaxaqueño como un accidente lateral que “rejuega” en el pos – Mioceno, produciendo fallamiento intenso lateral e inverso en rocas volcánicas del Mioceno. Y por Zoltán de Cserna *et al.* (1987), que en forma de resumen, explican como en los 70's, se infirió un modelo de zonas de fallas de orientación WNW – ESE y de desplazamiento lateral izquierdo, formadas a partir del Mesozoico a través de México y que el mérito de este modelo es el reconocimiento de la imposibilidad mecánica del movimiento de la parte mexicana de la placa norteamericana, hacia el poniente, con una ligera rotación en el sentido de las manecillas del reloj, contra una zona de subducción con orientación general N – S, sin que esta parte de la placa se rompiera en segmentos; de tal manera que los ubicados más hacia el sur, quedarán progresivamente más atrás, quedando implícito el desarrollo obligado de fallas de desplazamiento lateral en las placas continentales adyacentes a una zona de subducción oblicua; y como desde los 60's se reconoce un par de fuerzas orientadas NE – SW, reconocido como el proceso geodinámico fundamental para el sur de México desde finales del Mioceno.

Finalmente Morán-Zenteno en 1998 habla de secuencias andesíticas del Oligoceno Medio, ubicadas al NW de Oaxaca, con bajos grados de contaminación atribuidos a componentes extensionales y relación directa con el manto; emplazadas en zonas de deformación caracterizadas por sistemas de fallas laterales con orientaciones al N y N - NW. Mientras que al SE de Oaxaca se observan rocas volcánicas andesíticas de la misma edad, que se emplazaron en cuencas de tensión de orientación E - W.

CAPITULO V.- GEOLOGÍA HISTÓRICA

En la literatura geológica como ya se había escrito con anterioridad, existen pocos trabajos enfocados al Terciario en la Región Mixteca; por lo que no hay una descripción detallada del conjunto de condiciones que prevalecieron en dicho periodo para el sur de México.

Un primer esbozo de plasmar la evolución geológica en el Cenozoico, de la región de Tehuiztingo, Puebla y sus alrededores; siempre con la certeza de que pudiese cambiar alguna consideración respecto al tiempo en que se presentaron los distintos eventos geológicos, dependiendo de los resultados que arrojen los fechamientos isotópicos; sería el descrito a continuación.

La culminación de la transgresión marina del Mesozoico debida a un periodo de levantamiento ubicado en el intervalo Santoniano – Eoceno y denominado Orogenia Hidalguense por De Cserna (1970), también reconocido por Morán-Zenteno *et al.* (1993) como un levantamiento general posterior al Turoniano, asociado a plegamiento que afectó la porción norte del Terreno Mixteco; marca el inicio de la historia evolutiva continental, de la cuenca de Tehuiztingo. Este periodo de levantamiento provocó una acentuación de la topografía, en sierras y valles pronunciados (Schlaepfer, 1970) de origen netamente tectónico (bloques y fosas tectónicas); uno de esos valles comienza a conformarse como la protocuenca de Tehuiztingo, de tipo exorreico y con desagüe hacia la vertiente del Golfo de México; asociado al periodo de levantamiento se presenta un intenso periodo de erosión (Pantoja-Alor, 1970), que da como resultado la deposición -en forma de abanicos al frente de las sierras y en las márgenes más australes de la protocuenca- de los conglomerados de líticos metamórficos de la Unidad Tamalayo, esta deposición se presenta a principios del Oligoceno.

La continuidad en los esfuerzos durante el Oligoceno Medio provocan que el fallamiento termine de conformar una cuenca endorreica que sigue desarrollándose y creciendo a través de fallamiento lateral extensional. Paralelamente a este evento, parcialmente alrededor de la cuenca, se presenta un intenso periodo de actividad volcánica a través de las zonas de mayor debilidad cortical estrechamente relacionadas al fallamiento. La actividad volcánica esta asociada con el emplazamiento de diques, es de tipo fisural y central; y da origen a los depósitos volcánicos de la Unidad Boqueroncito. Las rocas volcánicas andesíticas de esta última unidad, son parte de una franja interna, pseudoparalela a la margen continental, que diversos autores (Morán-Zenteno *et*

al. 1998 y 1999, Alba *et al.* 1998 y Martiny *et al.* 2000) han estudiado, descrito y asociado a magmatismo de arco Terciario de la Sierra Madre del Sur, originado en un tiempo significativo de cambios en la interacción de placas tectónicas, como resultado de la formación de la Placa del Caribe y el desplazamiento hacia el sur del Bloque de Chortis a lo largo de la margen continental del sudoeste de México.

Para finales del Oligoceno, la cuenca es de características fluvio-lacustres, con influencia periódica epiclástica en sus márgenes e influencia volcániclaística en toda su extensión; presenta condiciones de aguas someras en sus facies marginales, que permiten un limitado desarrollo de flora y fauna; así mismo también presenta un elevado nivel de saturación que origina la deposición de rocas evaporíticas de la Formación Tehuitzingo. El aporte de material volcániclaístico es originado por actividad volcánica ubicada al noroeste de la cuenca, con características estratovolcánicas y de tipo explosivo, que contribuye a la formación de la Unidad El Gato y con gran parte del material sedimentario de la Formación Tehuitzingo. Esta actividad volcánica explosiva influye en el encubrimiento parcial al noroeste de la cuenca, de las características tectónicas de la misma.

A principios del Mioceno, después de un breve periodo de relativa calma, se vuelven a manifestar los esfuerzos predominantes de la región, provocando el plegamiento y cizallamiento de los estratos de la Formación Tehuitzingo, así como el fallamiento del resto de las unidades ya depositadas; bajo el mismo marco de esfuerzos se presenta la reactivación del fallamiento extensional con esfuerzos distensivos, provocando un ligero alargamiento y ensanchamiento de la cuenca; como la sedimentación es continua, al presentarse este evento, se propicia la generación de estructuras de fallas de crecimiento.

La historia de la Cuenca de Tehuitzingo del Mioceno Medio al Plioceno, es un tanto incierta, ya que no se presenta registro estratigráfico para estas épocas, se presupone un largo período de calma que precede a los grandes cambios que ocasiona el volcanismo cuaternario de la Faja Volcánica Transmexicana; tales cambios que se presentaron más allá de los límites de la cuenca, provocan modificaciones en el régimen de sedimentación, desarrollándose procesos erosivos y de deposición de suelos, lodos, arenas y gravas que conforman los distintos depósitos aluviales, desarrollados en el norte y centro de la cuenca como relleno en los cauces de los arroyos y en el sur como relleno de una vasta planicie.

CAPITULO VI.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES ESTRATIGRÁFICAS

Es muy común hacer en las conclusiones de un trabajo, un recuento arreglado de objetivos y metas satisfechas, porque se tiene el paradigma generalizado de que cualquier objetivo planteado al inicio de un trabajo debe de ser cumplido a la conclusión del mismo. Tratando de romper este esquema, en este apartado solo se hará una recapitulación de los principales resultados obtenidos, se hablará en forma explícita del cumplimiento o no de los objetivos originalmente planteados y se indicarán posibles líneas de extensión para este trabajo.

Las unidades y formaciones descritas en el área de estudio abarcan un intervalo de tiempo del Devónico al Jurásico medio (las que conciernen al basamento) y de finales del Eoceno a principios del Mioceno. Con dos lapsos importantes sin registro estratigráfico, comprendidos entre el Período Cretácico y el Paleoceno y entre el Mioceno Medio y el Pleistoceno. Con depósitos aluviales del Reciente.

Se realizó la cartografía escala 1:50,000; de las distintas unidades y formaciones geológicas correspondientes al Cenozoico, que afloran en la región. Plasmando también en la cartografía al Complejo Acatlán, sin hacer diferenciación entre las distintas formaciones y miembros que lo componen.

Se describió la unidad El Gato y se abundó sobre la descripción de la Formación Tehuitzingo, realizándose la medición de 109 m de secuencia estratigráfica correspondiente a la Formación Tehuitzingo y 749 m de secuencia estratigráfica correspondiente a la Unidad El Gato; ambas secuencias muy probablemente de fines del Oligoceno. De igual forma se realizó la descripción de la Unidad Boqueroncito del Oligoceno Medio, de la cual no se logró precisar con exactitud la ubicación de sus principales centros de emisión que se determinaron de tipo central y fisural.

Quedó pendiente el detallar y medir una secuencia de la Unidad Tamalayo, que presenta buenos afloramientos en la localidad del mismo nombre. Así mismo se resalta que los depósitos volcánicos de la zona de estudio, representan interesantes expectativas para la realización de estudios especializados de vulcanología.

Queda por resolverse la ubicación cronoestratigráfica en forma objetiva y precisa, de las distintas unidades cenozoicas que afloran en la cuenca de Tehuiztingo, mediante los resultados que arrojen los fechamientos isotópicos K/Ar. Mismos que no se pudieron presentar en este trabajo por razones de tiempo.

CONCLUSIONES TECTÓNICAS

Se interpretó la cuenca de Tehuiztingo, como una estructura de origen tectónico, formada por un sistema de fallas, con desplazamientos laterales izquierdos y basculamientos normales. Dicho sistema presentó periodos alternados de reposo y reactivamiento, que pueden ser ubicados mediante el registro estratigráfico de la cuenca.

Se reconocieron dos tipos de comportamiento mecánico al esfuerzo, en las distintas unidades y formaciones geológicas; que se manifestaron en fracturamiento y fallamiento en las unidades de comportamiento frágil, Unidad El Gato y Unidad Boqueroncito y en plegamiento con cizallamiento en los estratos de comportamiento dúctil de la Formación Tehuiztingo.

Por la disposición espacial de las estructuras se interpretó que el esfuerzo compresivo predominante de la región tenía una orientación preferencial NNW –SSE, el esfuerzo intermedio fue vertical y que el esfuerzo de tensión presentó una orientación preferencial WSW- ENE, esta combinación de esfuerzos es la que provoca la distensión y apertura a lo ancho de la cuenca.

La evolución geológica en el Cenozoico para la región de Tehuiztingo, consiste principalmente en: la formación de una cuenca de origen tectónico, asociada a desplazamientos laterales; deposición de sedimentos conglomeráticos continentales, contemporánea a la formación de la cuenca; deposición de sedimentos fluvio-lacustres, con influencia de volcanismo explosivo y actividad volcánica asociada a los bordes de la cuenca. Estas características evolutivas podrían ser utilizadas como patrón para otras regiones del centro sur de México.

CONCLUSIONES GENERALES

Planteo la necesidad de delimitar definir y caracterizar una provincia o faja Cenozoica, que aunque depositada en forma discontinua y local e influenciada por las características propias del terreno tectonoestratigráfico subyacente, que se manifiestan en variaciones estratigráficas y tectónicas; si representa una afinidad evolutiva común para la Mixteca en el Cenozoico.

También se propone el retomar como una estrategia de análisis y comprensión de la evolución geológica de la región centro meridional de México; la caracterización, delimitación y definición explícita de provincias o fajas. Tal y como ya lo hacen Schaaf *et al.* , (1995) quienes

presentan en forma esquematizada las rocas volcánicas y plutónicas del Terciario en la porción centro meridional de México; Silva-Romo *et al.* (1996), quienes enuncian la existencia de una Provincia Volcánica Terciaria de Oaxaca que presenta similitudes con la Provincia del Eje Neovolcánico y Morán-Zenteno *et al.* (1999), que definen y delimitan una Faja Plutónica Costera (CPB, siglas en inglés) de batolitos y stocks de composición félsica y burdamente paralelos a la margen costera y mencionan la presencia de una franja interna, seudoparalela a la margen continental, asociadas a magmatismo de arco Terciario de la Sierra Madre Sur.

En la actualidad, existen diversos campos de aplicación, como la geotecnia, la hidráulica, el manejo de residuos sólidos y sustancias peligrosas, el desarrollo sustentable, etc. que necesitan en forma indispensable y como base, un adecuado conocimiento de las características geológicas, morfológicas y estructurales de las áreas de su desarrollo. Dentro del mismo campo de estudio de la geología, existen áreas de especialización, en las cuales también es indispensable el conocimiento general de la geología en las zonas de su interés. Por eso resalto la importancia de fomentar los estudios de las unidades geológicas del Cenozoico, como una herramienta para reinterpretar e interpretar la compleja historia geológica a través del análisis retrospectivo que permita diferenciar los distintos eventos, sin omitir ninguno, “El pasado se estudia partiendo del presente” y su importancia como una herramienta de actualidad que permita y facilite el desarrollo sustentable de las actividades humanas relacionadas con la corteza terrestre.

DESCRIPCIÓN DE COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS

Columna estratigráfica

Localidad: Cañada Atopolitlán

Fm. Tehuitzingo

<u>Paquete</u>	<u>Descripción</u>	<u>Espesor en m.</u>
1	Arenisca de color verde, intercalada con lodolitas de colores pardo claro, con espesores de 20 y 50 cm respectivamente.	3
2	Conglomerado, con estratificación cruzada y clastos de colores rojos y verdes, de origen volcánico y metamórfico con dimensiones de 10 a 15 cm. Matriz arenosa.	3
3	Depósito de areniscas con abundancia de lodos, la arenisca esta muy compactada y presenta una coloración verdosa, con espesores de 70 cm. Sobreyaciendo a las areniscas, se observa un conglomerado color verde, con clastos de origen volcánico y metamórfico de tamaños menores a los 4 cm. Sobreyacen al conglomerado intercalaciones de horizontes de areniscas y lodolitas, con espesores de 5 a 12 cm; la arenisca presenta horizontes de material piroclástico. Hacia la cima se aprecia un estrato de 45 cm de espesor, de material tobáceo, color rosa.	9
4	2 m de lodolitas, de color pardo claro, con intemperismo esferoidal y horizontes piroclásticos con pómez. Cubiertas por arenisca tobácea, intercalada con lodolita calcárea que a su vez esta cubierta por un paleosuelo calichoso, pseudoestratificado de un metro de espesor y 30 cm de caliza color crema claro.	6
	CUBIERTO	3
5	Arenisca tobácea de color verde de grano medio a fino, con horizontes de pómez.	3
6	Sucesión de capas de lodolitas y areniscas con espesores de 5 a 17 cm. Algunos horizontes de lodolitas se caracterizan por presencia de material carbonatado y otros por contener laminas de material arcilloso color rosa.	3

7	Secuencia de tobas y areniscas color verde, con algunas intercalaciones de lodolita.	6
8	Lodolitas de colores grises y cremas, con influencia de material volcánico y afectadas por intemperismo esferoidal.	5
9	Arenisca de color verde, con estratificación normal. Cubierta por un horizonte de 30 cm de caliza color crema con presencia de pedernal en forma de nódulos de color pardo oscuro.	3.5
	CUBIERTO	3
10	Toba de color gris - pardo, con presencia de material epiclástico. sobreyacida por una secuencia interestratificada de conglomerados y areniscas color verde, con espesores entre los 40 y 70 cm.	9
11	Lodolita con material calcáreo y tobáceo, cubierta por un toba de color verde, de grano medio, con gran abundancia de micas de biotita. (Se recolectan muestras de esta toba, para su fechamiento isotópico).	3
12	Toba soldada color verde claro, con estructuras fluidales, cubierta por un horizonte de pedernal de color pardo oscuro.	3.5
13	Interestratificaciones de tobas color verde de grano grueso a medio, con líticos de pómez y presencia de rizolitos; con horizontes de areniscas tobáceas, algunos de ellos presentando estratificación cruzada. Hacia la cima se observa otro horizonte de caliza con pedernal con espesores de 45 a 80 cm.	13
14	Interestratificaciones de lodolitas friables con areniscas tobáceas, algunos horizontes presentan intemperismo esferoidal.	4.8
15	Intercalaciones de lodolitas y areniscas de colores pardo y verde respectivamente, en estratos de espesores variables entre los 20 y 80 cm. Las areniscas presentan algo de material volcaniclástico.	9
16	Horizonte de conglomerado, clastos subredondeados a redondeados, con tamaño de guijas y gujarros, de origen volcánico y metamórfico.	1
	CUBIERTO	3

17	Intercalaciones de estratos de lodolitas, areniscas y tobas híbridas; las areniscas muestran presencia de rizolitas. Hacia la cima de este paquete se observa un horizonte de material calcáreo, color blanco, con aspecto "aborregado" y gran abundancia de tallos fósiles.	5
18	Interestratificaciones de tobas, areniscas y lodolitas; las tobas presentan coloración verde, laminación fina y moderada compactación; las lodolitas se muestran con color pardo y presencia de líticos de pómez. En el paquete se observa un horizonte con concreciones discoidales de material carbonatado.	7.2
19	Estrato de conglomerado, con clastos de material volcánico y metamórfico en una matriz arenosa, fuertemente compactados; los clastos son de tamaños variables, entre 4 y 8 cm.	3
	Espesor total	109

Columna estratigráfica
Localidad: Cerro Largo
Formación Tehuiztingo

<u>Paquete</u>	<u>Descripción</u>	<u>Espesor en m.</u>
1	Interestratificaciones de lodolitas color pardo claro, grano grueso a medio. Con estratos arenisca, de espesores aproximados a los 40 cm.	7
2	Estrato de lodolita color pardo claro, a su interior presenta capas bien conformadas, de espesores entre los 12 a 20 cm.	2
3	Conglomerado con tintes verdosos, clastos volcánicos y metamórficos. Presenta la particularidad de tener estratificación cruzada, en una clara interdigitación entre el conglomerado y cuñas de arenisca.	3
	CUBIERTO	5
4	Lodolitas color pardo, con presencia de líticos de pómez. El depósito muestra intemperismo esferoidal.	3
5	Arenisca tobácea de color verde y con grano fino; fuertemente compactada.	0.5
6	Lodolita color gris, bien compactada y con algunos clastos volcánicos dispersos.	1
7	Conglomerado con tintes verdosos, clastos volcánicos y metamórficos. Y con estratificación cruzada.	2
	CUBIERTO	1.5
8	Lodolitas color pardo grisáceo, de grano fino a medio, moderadamente compactadas.	1.5
9	Arenisca de color verde grano medio a fino; muy deleznable.	2
	CUBIERTO	1.5

10	Interstratificaciones de lodolitas tobáceas de distintos espesores y colores; rosa, pardo, blanco y gris. Los espesores son en promedio de 10 cm, algunas capas se muestran friables y otras presentan intemperismo esferoidal. También se observaron algunos horizontes de 1 cm, de líticos de pómez.	3
11	Conglomerado de color verde, con clastos volcánicos y metamórficos, redondeados a subredondeados, de un tamaño promedio de 20 cm. Aunque hacia su parte alta se observa una disminución en el tamaño de los clastos.	3
12	Afloramiento de roca caliza muy recristalizada. Con bandas y nódulos de pedernal color gris claro.	2
	Espesor Total	38

Nota: Esta secuencia estratigráfica es de mayor espesor, pero hacia su base, las condiciones de los afloramientos, no permitían su adecuada medición. Es importante señalar que en esta localidad, también se observó abundancia de yesos, que no fue posible ubicar en la columna estratigráfica.

Columna estratigráfica
Localidad: Cerro El Tabernal
Formación Tehuitzingo

<u>Paquete</u>	<u>Descripción</u>	<u>Espesor en m.</u>
1	Interestratificaciones de lodolitas, areniscas, lodolitas tobáceas y areniscas tobáceas, con espesores de 30 a 100 cm y colores diversos; verde, crema, blanco y pardo. Con distintos grados de compactación. Algunos horizontes se muestran sumamente fisiles y deleznales, característica más generalizada en las limolitas; otros horizontes se muestran más compactos y consolidados, característica que se observa, en las areniscas. La influencia volcánica, es constante en todo el paquete. También se observo en algunos estratos fracturas rellenas de carbonato.	34
	CUBIERTO	5
2	Potente conglomerado de color verde con gran variedad de clastos, volcánicos y metamórficos, colores rojos a verdes, redondeados a subredondeados, de un tamaño promedio de 20 cm. Matriz arenosa, aunque en algunas partes se observa al conglomerado, cementado por material rosáceo; aperlado de textura muy fina.	30
3	Subiendo estratigráficamente, se puede observar como el conglomerado del punto anterior, comienza gradualmente a presentar una marcada disminución en el tamaño de sus clastos; que se mantienen de la misma composición y coloración, hasta constituirse en un depósito de arenisca conglomerática.	15
4	Secuencia de lodolitas, en estratos de 10 a 20 cm, con colores; pardo y blanco. Con distintivas láminas de arcilla, color rojo.	3
5	Arenisca conglomerática, con idénticas condiciones a las descritas en los paquetes anteriores, en lo que respecta a la coloración y composición de los clastos. Sólo que este depósito, presenta clastos más finos, menores a los 3 cm.	7
6	Lodolitas de colores gris y pardo claro, en estratos de 10 a 20 cm. Hacia la cima, las lodolitas comienzan a intercalarse, con horizontes de arenisca conglomerática.	3

CUBIERTO

5

- 7 Afloramiento donde se puede observar hacia la base, como la arenisca conglomerática -que fue más o menos similar en toda la secuencia-, pasa transicionalmente a convertirse en un depósito de areniscas carbonatadas, que a su vez está cubierto concordantemente, por un estrato de calizas lacustres de color blanco y crema, parcialmente reemplazadas por sílice pardo y masivo.

5

Espesor Total 107

Columna estratigráfica
Localidad: Puerto El Gato
Unidad El Gato

<u>Paquete</u>	<u>Descripción</u>	<u>Espesor en m.</u>
1	Conglomerado de color verde, con clastos de 2 a 5 cm, subangulosos a subredondeados; el conglomerado presenta pseudoestratificación cruzada; fracturas rellenas de CaCO ₃ .	22.5
	CUBIERTO	7.5
2	Toba color gris verdoso, grano fino, con fuerte fracturamiento y presencia de oquedades rellenas de mineral de zeolita.	3
3	Toba de color gris verdoso, con intemperismo esferoidal, tamaño de grano variable, por lo que se presenta como toba fina o toba burda e incluso, en algunos horizontes se observan clastos de mayor tamaño -3 a 5 cm.- que rompen la homogeneidad de la secuencia y la hacen constituirse en una brecha tobácea. Interestratificados en la toba, se presentan horizontes de ceniza volcánica, grano fino, deleznable y sin compactación.	54
	CUBIERTO	8
4	Toba de grano fino, color gris, con algunos horizontes con intemperismo esferoidal; hacia la cima presenta estratos más friables y un estrato de 80 cm de material deleznable de ceniza.	25.5
5	Ceniza burda, homogénea, masiva, sin estratificación, con fragmentos de pómez - algunos alterados - y algunos clásticos volcánicos cognados.	7.5
6	Brecha piroclástica, fuertemente soldada, con clastos de pómez de hasta 1.5 cm y horizontes de líticos volcánicos de tamaño variable; 5 a 10 cm.	10.5
7	Ceniza burda, muy deleznable, con aspecto masivo, sin estratificación.	12

8	Brecha piroclástica, fuertemente soldada, con pseudoestratificación y algunos horizontes con aspecto de flujo, los clastos volcánicos son angulosos y llegan a medir de 3 a 20 cm.	11
	CUBIERTO	8.5
9	Material heterogéneo, sin estratificación, con desorden en su clasificación granulométrica; grandes clastos volcánicos de varios tamaños 45 x 30 cm, 30 x 30cm, angulosos a subredondeados, flotando en ceniza volcánica. El depósito es considerado un flujo de bloques y ceniza.	27
	CUBIERTO	8
10	Depósito volcanoclástico de material de lapilli, con clastos volcánicos, muy angulosos y vesiculados de color rojo sin consolidar; intercalados con horizontes de ceniza fina de la misma coloración.	27
11	Intercalaciones de horizontes de brechas tobáceas con tobas de grano fino. Las brechas presentan clastos volcánicos subredondeados de diversos colores; rojos, verdes y grises; soportados en una matriz de ceniza bien consolidada. Los clastos retrabajados son de origen no cognado, que se considerarán como epiclásticos.	27
	CUBIERTO	6
12	Toba burda, con fragmentos de pómez, con bandas de 5 cm de toba muy fina, laminada, color pardo oscuro -chocolate-. Esta toba fina también se observo inmersa dentro de la toba burda, en forma de estructuras de carga. Hacia la cima se vuelve a presentar la toba burda con un característico color verde claro.	16.5
13	Potentes afloramientos de toba burda, con abundancia de líticos de pómez, aspecto nodular y friable.	43.5
	CUBIERTO	18
14	Brecha piroclástica con bloques de 10 x 15 cm en promedio, que se confunden en la matriz por tener coloración similar y flotan irregularmente en ella. Presencia característica de intemperismo esferoidal.	24

15	Toba de grano fino, color verde grisáceo, muy erosionada e intensamente fracturada en pequeñas lascas cubico-rectangulares; con ligera pseudoestratificación y bandeamiento. También presenta algunos horizontes con tonalidades blancas, por la presencia de CaCO ₃ secundario.	19
	CUBIERTO	14
16	Nuevamente se observa la toba de grano fino de color verde grisáceo, descrita en el último paquete.	22.5
17	Estrato de toba fina, fuertemente consolidada, con presencia de los característicos horizontes de material fino color chocolate.	4.5
18	Nuevamente se observa la toba de grano fino de color verde grisáceo, descrita en los paquetes 15 y 16.	28.5
	CUBIERTO	4.5
19	Potente depósito de brecha piroclástica, que tiene la particularidad de observarse con oquedades, dado que cuenta con una matriz con presencia de CaCO ₃ , que se disuelve y provoca que se suelten los clastos, dejando huecos muy distintivos. Los clastos volcánicos, son angulosos, de diversos tamaños menores a los 10 cm. Hacia la cima de este depósito en los últimos dos metros, se aprecia la disminución del tamaño de los clastos y la desaparición de las oquedades.	49
20	CUBIERTO	16.5
21	Depósito volcanoclástico de bloques y ceniza, de color rosa, estratificación apenas visible, líticos de pómez y volcánicos, siendo más abundantes, los de pómez. Tamaño de los líticos de 10 x 5 cm aproximadamente.	10.5
22	Depósito volcanoclástico de bloques y ceniza, con características similares a las del paquete anterior, sólo que en este, se observa mayor abundancia de líticos con respecto a la cantidad de pómez.	27

- 23 Brecha piroclástica de color verde, con clastos volcánicos, angulosos, de 15 x 20 cm en promedio y soportados por una matriz compactada. Un rasgo distintivo de este depósito es la presencia de algunos clastos no cognados de origen metamórfico. 3
- 24 Depósito de bloques y ceniza de color rosa claro con tonalidades verdosas, el material que lo compone se disgrega con facilidad. Los clastos volcánicos llegan a ser hasta de 100 x 50cm. 34
- 25 Brecha tobácea, fuertemente compactada, con clastos angulosos menores a los 5 cm. 6
- 26 Depósito de bloques y ceniza, sumamente afallado, con la característica de que sus clastos están soportados entre si; el tamaño de los clastos es de 4 a 12 cm; la matriz es poco cohesiva y de color blanco. Aproximadamente a la mitad de espesor de este depósito, se observa un estrato de brecha piroclástica de color verde, con líticos de 15 cm en promedio. Con alta cohesión en el material que la compone. 21
- 27 Toba de color verde con tintes rojos, con pseudoestratificación; algunos estratos intercalados presentan aspecto friable. Al igual que en el paquete anterior, este depósito está atravesado por una falla, que tiene 1m de brecha de falla. 21
- 28 Toba burda, de color rosáceo, con líticos de pómez, que le dan tintes blancos. Medianamente compactada. 10.5
- 29 Brecha piroclástica de color pardo con tintes verdes, clastos subredondeados, en una matriz fuertemente compactada y cohesiva. Muestra también planos de fallas. 3
- 30 Depósito de bloques y ceniza, con color predominantemente verde y líticos de 4.5 a 12 cm, en una matriz poco cohesiva no muy abundante. 10.5
- 31 Depósito volcanoclástico de lapilli, con color blanco, matriz abundante de ceniza volcánica, poco consolidada; los líticos volcánicos son de color rojo menores a los 4 cm. También se observa líticos de pómez, que son los que le dan la tonalidad blanca al afloramiento. 10.5
- 32 Depósito de bloques y ceniza, masivo, con clastos de 20 x 20 cm y hasta de 100 x 90 cm, en una matriz deleznable. 18.5

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

33	Depósito de lahar, de aspecto masivo y desordenado, de color rojo, con bloques angulosos y subangulosos, en tamaños variables entre los 20 y los 150 cm; con pseudoestratos sin continuidad lateral y sin orientación definida. Así mismo, en los pseudoestratos se observan horizontes de laminación fina.	21
34	Brecha piroclástica, de color amarillo verdoso, con clastos de 20 x 20 cm y hasta de 100 x 100 cm. Intercalada con estratos de toba burda de 40 a 50 cm de espesor, con color verdoso y alteraciones de óxidos y carbonatos. En la brecha y la toba se puede apreciar erosión diferencial.	6
35	Depósito de brecha tobácea de color blanco, con líticos entre los 3 y 4 cm. Se observan en la brecha, pequeños huecos, que le dan al afloramiento un aspecto "aborregado". Hacia la cima, comienza a observarse un aumento en el tamaño y cantidad de clastos, en un cambio transicional al depósito de lahar.	9
36	Depósito de lahar, de aspecto masivo y desordenado, de color verdoso, con bloques angulosos, en tamaños variables entre los 50 y los 70 cm; con pseudoestratos sin continuidad lateral y sin orientación definida. También presenta, en los pseudoestratos, horizontes de capas de material fino.	12
	Espesor total	749

DATOS ESTRUCTURALES

SITIO	COORD. GEOG.		COORD. U.T..M.		RUMBO	ECHADO	PITCH	LITOLOGIA	OBSERVACIONES
	LAT.	LONG.	X	Y	AZIMUTAL				
HUI-2	18° 23' 34"	98° 50' 00"	570400	2033650	90	20		Ignimbrita	s0
HUI-2	18° 23' 34"	98° 50' 00"	570400	2033650	60	43	161	Ignimbrita	s1
HUI-9	18° 18' 22"	98° 13' 52"	581230	2024114	310	47		Caliza con pedernal	s0
HUI-10	18° 14' 59"	98° 12' 53"	582995	2018000	29	72	102	Basalto andesítico	s1
HUI-10	18° 14' 59"	98° 12' 53"	582995	2018000	26	76	120	Basalto andesítico	s1
HUI-10	18° 14' 59"	98° 12' 53"	582995	2018000	36	45	104	Basalto andesítico	s1
HUI-10	18° 14' 59"	98° 12' 53"	582995	2018000	6	76	121	Basalto andesítico	s1
HUI-10	18° 14' 59"	98° 12' 53"	582995	2018000	6	76	17	Basalto andesítico	s1
HUI-14	18° 14' 31"	98° 12' 53"	583020	2017010	315	34	30	Andesita	s1
HUI-14	18° 14' 31"	98° 12' 53"	583020	2017010	308	35	140	Andesita	s1
HUI-14	18° 14' 31"	98° 12' 53"	583020	2017010	120	88	22	Andesita	s1
HUI-14	18° 14' 31"	98° 12' 53"	583020	2017010	118	85	142	Andesita	s1
HUI-14	18° 14' 31"	98° 12' 53"	583020	2017010	30	61	134	Andesita	s1
HUI-14	18° 14' 31"	98° 12' 53"	583020	2017010	295	46	154	Andesita	s1, Estrías mas recientes
HUI-14	18° 14' 31"	98° 12' 53"	583020	2017010	295	46	56	Andesita	s1, Estrías más antiguas
HUI-14	18° 14' 31"	98° 12' 53"	583020	2017010	289	79	41	Andesita	s1
HUI-14	18° 14' 31"	98° 12' 53"	583020	2017010	261	34	144	Andesita	s1
HUI-14	18° 14' 31"	98° 12' 53"	583020	2017010	326	74	117	Andesita	s1
HUI-17	18° 18' 02"	98° 13' 15"	582325	2023500	350	85	112	Brecha volcánica soldada	s1
HUI-17	18° 18' 02"	98° 13' 15"	582325	2023500	342	46	117	Brecha volcánica soldada	s1
HUI-17	18° 18' 02"	98° 13' 15"	582325	2023500	150	88	165	Brecha volcánica soldada	s1, desplazamiento izquierdo
HUI-17	18° 18' 02"	98° 13' 15"	582325	2023500	156	88	149	Brecha volcánica soldada	s1
HUI-17	18° 18' 02"	98° 13' 15"	582325	2023500	353	84	15	Brecha volcánica soldada	s1, desplazamiento izquierdo
HUI-17	18° 18' 02"	98° 13' 15"	582325	2023500	345	89	175	Andesita	s1, desplazamiento izquierdo
HUI-17	18° 18' 02"	98° 13' 15"	582325	2023500	335	74	128	Andesita	s1, desplazamiento izquierdo
HUI-17	18° 18' 02"	98° 13' 15"	582325	2023500	355	68	20	Andesita	s1, desplazamiento izquierdo
HUI-17	18° 18' 02"	98° 13' 15"	582325	2023500	96	82	167	Andesita	s1
HUI-17	18° 18' 02"	98° 13' 15"	582325	2023500	176	90	146	Andesita	s1
HUI-41	18° 12' 56"	98° 15' 17"	578775	2014090	315	80	71	Dique	s1
HUI-42	18° 13' 54"	98° 15' 47"	577910	2015855	35	89	60	Intrusivo - hipabisal	s1, laterales sobre normales
HUI-45	18° 20' 20"	98° 16' 09"	577215	2027720	161	3		Limolita	s0
HUI-47	18° 21' 37"	98° 16' 10"	577180	2030090	3	8		Limolita	s0
HUI-47	18° 21' 37"	98° 16' 10"	577180	2030090	40	4		Arenisca	s0
HUI-49	18° 21' 37"	98° 15' 59"	577495	2030085	33	8		Arenisca tobácea	s0

DATOS ESTRUCTURALES

SITIO	COORD. GEOG.		COORD. U.T.M.		RUMBO AZIMUTAL	ECHADO	PITCH	LITOLOGIA	OBSERVACIONES
	LAT.	LONG.	X	Y					
HUI-50	18° 21' 31"	98° 15' 52"	577710	2029900	14	10		Arenisca	s0
HUI-51	18° 20' 56"	98° 14' 54"	579405	2028830	168	42		Lodolita	s0
HUI-51	18° 20' 56"	98° 14' 54"	579405	2028830	118	34		Arenisca	s0
HUI-51	18° 20' 56"	98° 14' 54"	579405	2028830	149	40		Arenisca	s0
HUI-51	18° 20' 56"	98° 14' 54"	579405	2028830	143	90	120	Arenisca	s1
HUI-52	18° 21' 07"	98° 14' 46"	579624	2029183	226	21		Conglomerado	s0
HUI-52	18° 21' 07"	98° 14' 46"	579624	2029183	221	23		Conglomerado	s0
HUI-53	18° 17' 46"	98° 16' 37"	576417	2023000	94	7		Arenisca	s0
H-59	18° 17' 24"	98° 16' 26"	576718	2022424	114	16		Caliza con pedernal	s0
H-59	18° 17' 24"	98° 16' 26"	576718	2022424	124	18		Arenisca	s0
H-60	18° 17' 27"	98° 16' 24"	576785	2022253	120	15		Toba	s0
H-63	18° 17' 27"	98° 16' 24"	576785	2022253	133	10		Conglomerado	s0
H-64	18° 17' 03"	98° 16' 06"	577329	2021675	40	63	0	Arenisca tobácea	s1
H-64	18° 17' 03"	98° 16' 06"	577329	2021675	145	78	8	Arenisca tobácea	s1
H-70	18° 16' 56"	98° 17' 05"	575581	2021466	95	26		Caliza con pedernal	s0
H-73	18° 17' 48"	98° 12' 56"	582890	2023071	398	90	161	Andesita	s1, Movimiento izquierdo
H-73	18° 17' 48"	98° 12' 56"	582890	2023071	0	85	160	Andesita	s1, Movimiento izquierdo
H-73	18° 17' 48"	98° 12' 56"	582890	2023071	117	76	18	Andesita	s1
H-73	18° 17' 48"	98° 12' 56"	582890	2023071	117	76	172	Andesita	s1
H-74	18° 18' 00"	98° 12' 42"	583303	2023442	287	77	160	Andesita	s1
H-74	18° 18' 00"	98° 12' 42"	583303	2023442	330	70	8	Andesita	s1, Movimiento izquierdo
H-74	18° 18' 00"	98° 12' 42"	583303	2023442	338	82	0	Andesita	s1, Estrias con longitud de 3m.
H-74	18° 18' 00"	98° 12' 42"	583303	2023442	332	67	2	Andesita	s1, Estrias con longitud de 3m.
H-74	18° 18' 00"	98° 12' 42"	583303	2023442	345	68	0	Andesita	s1, Estrias con longitud de 3m.
H-74	18° 18' 00"	98° 12' 42"	583303	2023442	245	79	39	Andesita	s1
H-74	18° 18' 00"	98° 12' 42"	583303	2023442	337	75	178	Andesita	s1
H-74	18° 18' 00"	98° 12' 42"	583303	2023442	145	80	157	Andesita	s1
H-74	18° 18' 00"	98° 12' 42"	583303	2023442	354	52	0	Andesita	s1
H-74	18° 18' 00"	98° 12' 42"	583303	2023442	355	58	19	Andesita	s1
H-74	18° 18' 00"	98° 12' 42"	583303	2023442	327	72	10	Andesita	s1
H-76	18° 17' 53"	98° 12' 15"	584087	2023224	340	63	10	Brecha volcánica soldada	s1
H-79	18° 18' 29"	98° 11' 33"	585322	2024357	24	59	155	Arenisca tobácea	s1
H-82	18° 20' 15"	98° 13' 22"	582109	2027592	165	90	0	Brecha volcánica soldada	s1
H-82	18° 20' 15"	98° 13' 22"	582109	2027592	345	85	0	Brecha volcánica soldada	s1

DATOS ESTRUCTURALES

SITIO	COORD. GEOG.		COORD. U.T..M.		RUMBO	ECHADO	PITCH	LITOLOGIA	OBSERVACIONES
	LAT.	LONG.	X	Y	AZIMUTAL				
H-84	18° 23' 25"	98° 17' 48"	574290	2033396	124	80	21	Arenisca	s1
H-86	18° 23' 20"	98° 17' 42"	574444	2033245	290	64	24	Lodolita	s1
H-86	18° 23' 20"	98° 17' 42"	574444	2033245	290	64	34	Lodolita	s1
H-86	18° 23' 20"	98° 17' 42"	574444	2033245	70	8		Lodolita	s0
H-87	18° 15' 47"	98° 12' 58"	582838	2019357	158	47	120	Brecha volcánica soldada	s1
H-87	18° 15' 47"	98° 12' 58"	582838	2019357	170	45	120	Brecha volcánica soldada	s1
H-87	18° 15' 47"	98° 12' 58"	582838	2019357	319	90	35	Brecha volcánica soldada	s1
H-87	18° 15' 47"	98° 12' 58"	582838	2019357	178	39	90	Brecha volcánica soldada	s1
H-87	18° 15' 47"	98° 12' 58"	582838	2019357	140	87	170	Brecha volcánica soldada	s1
H-87	18° 15' 47"	98° 12' 58"	582838	2019357	282	64	32	Brecha volcánica soldada	s1, Movimiento izquierdo
H-87	18° 15' 47"	98° 12' 58"	582838	2019357	328	80	172	Brecha volcánica soldada	s1, Movimiento izquierdo
H-87	18° 15' 47"	98° 12' 58"	582838	2019357	357	82	155	Brecha volcánica soldada	s1, Movimiento izquierdo
H-89	18° 16' 15"	98° 12' 41"	583351	2020263	270	63	0	Brecha volcánica soldada	s1
H-90	18° 16' 28"	98° 12' 59"	582809	2020619	137	86	0	Brecha volcánica soldada	s1
H-90	18° 16' 28"	98° 12' 59"	582809	2020619	137	86	15	Brecha volcánica soldada	s1
H-91	18° 16' 44"	98° 13' 04"	582668	2021100	290	50	22	Andesita	s1
H-91	18° 16' 44"	98° 13' 04"	582668	2021100	127	90	17	Andesita	s1
H-91	18° 16' 44"	98° 13' 04"	582668	2021100	168	33		Arenisca	s0
H-92	18° 24' 25"	98° 20' 16"	569921	2035219	136	18		Conglomerado	s0
H-92	18° 24' 25"	98° 20' 16"	569921	2035219	280	39	65	Conglomerado	s1
H-93	18° 24' 25"	98° 20' 16"	569921	2035219	140	82	45	Toba	s1
H-93	18° 24' 25"	98° 20' 16"	569921	2035219	312	75	127	Toba	s1
H-94	18° 24' 25"	98° 20' 16"	569921	2035219	118	35		Toba	s0
H-95	18° 24' 25"	98° 20' 16"	569921	2035219	334	75	42	Flujo de piroclastos	s1, Estrías más antiguas
H-95	18° 24' 25"	98° 20' 16"	569921	2035219	334	75	0	Flujo de piroclastos	s1, Estrías más recientes
H-95	18° 24' 25"	98° 20' 16"	569921	2035219	330	86	3	Flujo de piroclastos	s1, Movimiento izquierdo
H-96	18° 24' 25"	98° 20' 16"	569921	2035219	100	29		Toba	s0
H-97	18° 24' 25"	98° 20' 16"	569921	2035219	280	75	162	Toba	s1
H-97	18° 24' 25"	98° 20' 16"	569921	2035219	295	72	157	Brecha volcánica	s1, Estrías más recientes
H-97	18° 24' 25"	98° 20' 16"	569921	2035219	295	72	97	Brecha volcánica	s1, Estrías más antiguas
H-97	18° 24' 25"	98° 20' 16"	569921	2035219	296	67	82	Brecha volcánica	s1, Estrías más antiguas
H-97	18° 24' 25"	98° 20' 16"	569921	2035219	296	67	160	Brecha volcánica	s1, Estrías más recientes
H-97	18° 24' 25"	98° 20' 16"	569921	2035219	296	67	74	Brecha volcánica	s1, Estrías más antiguas
H-97	18° 24' 25"	98° 20' 16"	569921	2035219	296	67	140	Brecha volcánica	s1, Estrías más recientes

DATOS ESTRUCTURALES

SITIO	COORD. GEOG.		COORD. U.T..M.		RUMBO	ECHADO	PITCH	LITOLOGIA	OBSERVACIONES
	LAT.	LONG.	X	Y	AZIMUTAL				
H-97	18° 24' 25"	98° 20' 16"	569921	2035219	296	67	65	Brecha volcánica	s1, Estrías más antiguas
H-105	18° 23' 12"	98° 18' 39"	572789	2033012	273	90	115	Brecha volcánica soldada	s1
H-108	18° 18' 21"	98° 19' 05"	572060	2024040	167	88	0	Toba	s1
H-108	18° 18' 21"	98° 19' 05"	572060	2024040	4	75	168	Toba	s1
H-109	18° 18' 04"	98° 11' 38"	585177	2023585	156	22		Piroclastos	s0
H-109	18° 18' 04"	98° 11' 38"	585177	2023585	150	25		Piroclastos	s0
H-110	18° 18' 04"	98° 11' 37"	585220	2023581	172	26		Brecha volcánica	s0
H-111	18° 18' 04"	98° 11' 37"	585220	2023581	357	65	172	Basalto de epidota	s1, Movimiento derecho
H-112	18° 19' 50"	98° 19' 47"	570806	2026782	55	76		Conglomerado	s0
H-112	18° 19' 50"	98° 19' 47"	570806	2026782	41	88		Conglomerado	s0
H-112	18° 19' 50"	98° 19' 47"	570806	2026782	41	80		Conglomerado	s0
H-113	18° 19' 52"	98° 19' 44"	570908	2026843	32	63		Caliza con algas	s0
H-113	18° 19' 52"	98° 19' 44"	570908	2026843	30	60		Caliza con algas	s0
H-113	18° 19' 52"	98° 19' 44"	570908	2026843	25	59		Caliza con algas	s0
H-115	18° 18' 47"	98° 18' 28"	573125	2024855	78	24		Arenisca	s0
H-121	18° 12' 01"	98° 14' 18"	580537	2012398	50	85		Piroclastos	s0

BIBLIOGRAFÍA

- ALBA ALDAVE, L., HERNÁNDEZ BERNAL, S., MORÁN-ZENTENO, D. y ANGELES GARCIA, S., 1998. *Edades Rb/Sr de rocas plutónicas del Estado de Guerrero, México*. Primera Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra, Libro de Resúmenes, p. 144.
- BARRERA, T., 1946. *Guía Geológica de Oaxaca*. UNAM, Instituto de Geología, 101 p.
- CABRAL-CANO, E., MORÁN-ZENTENO, D. J. y URRUTIA-FUCUGAUCHI, J., 1986. *Paleomagnetismo y Terrenos Tectonoestratigráficos de México*. Boletín Sociedad Geológica Mexicana, Tomo XLVII, v. 2, p. 89 – 102.
- CALDERÓN, G. A., 1956. *Bosquejo Geológico de la región de San Juan Raya, Puebla*. XX Cong. Geol. Internacional, México. Libro Guía de la Excursión A-11, p. 9 - 33.
- CAMPA URANGA, M. F., and CONEY, P. J., 1983. *Tectono-stratigraphic terranes and mineral resource distributions in Mexico*. Can. J. Earth Sci. 20. p. 1040 - 1051.
- CAMPA URANGA, M. F., 1984. *Interpretación tectónica continental de la Región Mixteca*. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Tomo XLV, No. 1 – 2, p. 1 – 6.
- CARBALLIDO-SÁNCHEZ, E. A. y DELGADO-ARGOTE, L. A., 1989. *Petrología, características estructurales y emplazamiento de la secuencia máfico-ultramáfica de Tehuizingo, Puebla*. Instituto de Geología, Memorias del Tercer Simposio sobre Geología Regional de México, p. 81 – 82.
- CARDENAS, V., 1966. *Contribución al conocimiento geológico de la Mixteca Oaxaqueña*. Minería y Metalurgia, México, No. 38, p. 15 – 107.
- CASTRO-MORA, J., 1978. *Monografía Geológico – Minera del Estado de Puebla*. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial y Consejo de Recursos Minerales, p. 102 - 104.
- CENTENO-GARCIA, E., CORONA-ESQUIVEL, R., ORTEGA-GUITIÉRREZ, F., MOTA-PALOMINO, R. FOURNIER, G., 1987. *Características neotectónicas de la Falla de Oaxaca*. Instituto de Geología, UNAM. Segundo Simposium Geología Regional de México, Programas y Resúmenes, p. 59 – 61.
- CONEY, P., 1983. *Un modelo tectónico de México y sus relaciones con América del Norte, América del Sur y el Caribe*. Revista del Instituto Mexicano del Petróleo. v. 15 No. 1, p. 6 - 15.
- CSERNA, Z. De, 1970. *Reflexiones sobre algunos problemas de la geología de la parte centro-meridional de México*. Sociedad Geológica Mexicana, Libro Guía de la Excursión México - Oaxaca, p. 37-50.
- CSERNA, Z. De, FRIES, C. Jr., RINCÓN-ORTA, C., SILVER, L. T., WESTLEY, H., SOLORIO-MUNGUÍA, J. y SCHMITTER-VILLADA, E., 1974. *Datos Geocronométricos Terciarios de los Estados de México, Morelos y Guerrero*. Bol. Asoc. Mex. Geol. Petrol. , Vol. XXVI, Nos. 4 – 6, p. 263 – 273.
- CSERNA, Z. De, FUENTE-DUTCHI, M. y MOTA-PALOMINO, R., 1987. *Zonas de cizallamiento neogénicas en el sur de México*. Instituto de Geología, UNAM. Segundo Simposium Geología Regional de México, Programas y Resúmenes, p. 61 – 63.
- ERBEN, H. K., 1956. *El Jurásico Inferior de México y sus Amonitas*. XX Congreso Geológico Internacional, México, 393 p.
- EDWARDS, J. D., 1955. *Studies of some Early Tertiary red conglomerates of central Mexico*. U. S. Geol. Surv. Prof. Paper 264H.

FERRUSQUÍA-VILAFRANCA, I. , 1970. *Geología del área de Tamazulapan – Teposcolula – Yanhuatlán, Mixteca Alta, Estado de Oaxaca*. Sociedad Geológica Mexicana, Libro Guía de la Excursión México - Oaxaca, p. 97 – 119.

FERRUSQUÍA-VILAFRANCA, I. , 1976. *Estudios Geológicos – Paleontológicos en la Región Mixteca, Parte I. Geología del área de Tamazulapan – Teposcolula – Yanhuatlán, Mixteca Alta, Estado de Oaxaca*. UNAM, Boletín del Instituto de Geología, No. 97 160 p.

FERRUSQUÍA-VILAFRANCA, I. , 1989. *La coordinación paleontológico–radiométrica aplicada al Terciario continental de México*. Instituto de Geología, Memorias del Tercer Simposio sobre Geología Regional de México, p. 43 – 47.

FERRUSQUÍA-VILAFRANCA, I., 1996. *El Cenozoico del sureste mexicano: su significación en el entendimiento de la evolución tectónica regional*. Universidad Autónoma de Baja California Sur, XII Convención Geológica Nacional, Libro de Resúmenes, p. 30.

FERRUSQUÍA-VILAFRANCA, I. , WILSON, J.A., DENISON, R. E., McDOWWELL, F. W. y SOLORIO-MUNGUÍA, J., 1974. *Tres edades radiométricas oligocénicas y miocénicas de rocas volcánicas de las regiones Mixteca Alta y Valle de Oaxaca*. Bol. Asoc. Mex. Geol. Petrol., vol. XXVI Nos. 4 – 6, p. 249 – 262.

FLORES, L. R., 1984. *Síntesis de trabajos reunidos*. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Tomo XLV, No. 1 – 2, p. 101 – 103.

FRIES, C. JR. , 1960. *Geología del estado de Morelos y de las partes adyacentes de México y Guerrero, región central meridional de México*. Bol. del Instituto de Geología, UNAM, No. 60, 236 p.

FRIES, C. JR. y RINCÓN, O. C., 1965. *Nuevas aportaciones geocronológicas y técnicas empleadas en el laboratorio de Geocronometría*. Bol. del Instituto de Geología, UNAM, No. 73, p. 88 – 92.

FUENTES-AGUILAR, LUIS, 1972. *Regiones Naturales del Estado de Puebla*, Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía, p. 143.

GONZALEZ HERVERT, M. G., ROSANO GONZÁLEZ, M. P., GARZA, M. J. A., ROJAS ROSAS, R., MIRANDA PERALTA, L. R., y ARREDONDO DELGADILLO, M., 1984. *Características estratigráficas y estructurales del límite de los Terrenos Mixteco y Oaxaca, en la región de los Reyes Metzontla, Pue.* Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Tomo XLV, No. 1 – 2, p. 21 – 34.

GONZÁLEZ-TORRES, A. E., 1989. *Geología y Paleomagnetismo del Área de Tezoatlán, Oaxaca*. Tesis de Ingeniero Geólogo, Facultad de Ingeniería, UNAM, p. 188 (inéedita).

GUZMÁN, E. J., 1950. *Geología del noreste de Guerrero*. Bol. Asoc. Mex. Geol. Petrol. , v. 2, No. 2, p. 95 – 156.

INEGI, *Carta Topográfica 1: 250,000. Hoja E 14 – 5 Cuernavaca*. Primera Edición 1980.

INEGI, *Carta Geológica 1: 250,000. Hoja E 14 – 5 Cuernavaca*. Primera Edición 1980.

INEGI, *Carta Topográfica 1: 50,000, Hoja E14B63 Tehuixtla, Puebla*. Segunda Edición 1987

INEGI, *Carta Topográfica 1: 50,000, Hoja E14B82 Tulcingo, Puebla*. Segunda Edición 1987.

INEGI, *Carta Topográfica 1: 50,000, Hoja E14B83 Acatlán de Osorio, Puebla*. Segunda Edición 1987.

INEGI, *Carta Topográfica 1: 50,000, Hoja E14B62 Izúcar de Matamoros, Puebla*. Segunda Edición 1999.

INEGI, *Carta Topográfica 1: 50,000, Hoja E14B73 Tehuiztlingo, Puebla*. Segunda Edición 1990.

INEGI, *Carta Topográfica 1: 50,000, Hoja E14B72 Chiautla, Puebla*. Segunda Edición 1990.

- INEGI Dirección General de Geografía, *Carta Fisiográfica de la República Mexicana, Escala 1: 1000,000. Datos básicos de la Geografía de México*. Hoja México, Segunda edición noviembre de 1991
- INEGI, *Carta Estatal de Regionalización Fisiográfica. Escala 1: 500,000. Estado de Puebla*. Edición 1999.
- INEGI, *Carta Estatal Geológica. Escala 1: 500,000. Estado de Puebla*. Edición 1999.
- INEGI. *Síntesis Geográfica del Estado de Puebla*. Ags. Aguascalientes, 2000.
- LÓPEZ RAMOS, E., *Geología de México*. Edición escolar, volúmenes. I, II, y III. 2a. edición. México D. F. 1988.
- LUGO-HUBP, J. I. , *Elementos de Geomorfología Aplicada (Métodos Cartográficos)*. UNAM Instituto de Geografía. México, 1988.
- MARTINY, B. M., MARTÍNEZ-SERRANO, R. G., MORÁN-ZENTENO, D. J., MACÍAS-ROMO, C. y AYUSO, R. A., 1998. *Geoquímica y petrogénesis de rocas magmáticas del Terciario Medio en la parte occidental del Estado de Oaxaca*. Primera Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra, Libro de Resúmenes, p. 140.
- MARTINY, B. M., MARTÍNEZ-SERRANO, R. G., MORÁN-ZENTENO, D. J., MACÍAS-ROMO, C. y AYUSO, R. A., 2000. *Stratigraphy, geochemistry and tectonic significance of the Oligocene magmatic rocks of western Oaxaca, southern Mexico*. Tectonophysics, 318, p. 71 – 98.
- MONROY, F. M., y SOSA, P. A., 1984. *Geología de la Sierra del Tentzo, Puebla, Borde Norte del Terreno Mixteco*. Boletín Sociedad Geológica Mexicana, Tomo XLV, No. 1 – 2, p. 43 – 71.
- MORÁN ZENTENO, D. J., 1984. *Geología de la República Mexicana*. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática – Facultad de Ingeniería, UNAM.
- MORÁN ZENTENO, D. J., 1987. *Paleogeografía y Paleomagnetismo Precenozoicos del Terreno Mixteco*. Tesis de Maestro en Ciencias (Geología). Facultad de Ciencias UNAM, 177 p. (inédita).
- MORÁN ZENTENO, D. J., 1998. *Geocronología y geoquímica del magmatismo Terciario de la Sierra Madre del Sur y sus relaciones con la evolución tectónica del sur de México*. Primera Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra, Libro de Resúmenes, p. 136.
- MORÁN ZENTENO, D. J., CABALLERO-MIRANDA, C. I., SILVA-ROMO, G., ORTEGA-GUERRERO, B. and GONZÁLEZ-TORRES, E., 1993. *Jurassic – Cretaceous paleogeographic evolution of the northern Mixteca terrane, southern Mexico*. Geofísica Internacional, v. 32, No. 3, p. 453 – 473.
- MORÁN ZENTENO, D. J., TOLSÓN, 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.
- OCHOTORENA, F. H., 1981. *Evolución de las Unidades Morfoestructurales de la Región de Diquiyú, Oaxaca*. Boletín del Instituto de Geografía, No. 10 p. 285-317.
- ORDOÑEZ EZEQUIEL, 1906. *Las rocas arcaicas de México*. Mem. Soc. Cient. Antonio Alzate, v. 2, p. 315 – 331.
- ORTEGA-GUERRERO, B. and URRUTIA-FUCUGAUCHI, J., 1993. *Jurassic paleomagnetic results constraining southerly motions of the Mixteca terrane, southern Mexico*. Geofísica Internacional, v. 32, No. 3, p. 475 – 485.
- ORTEGA-GUTIÉRREZ, F., 1978. *Estratigrafía del Complejo Acatlán en la Mixteca Baja, estados de Puebla y Oaxaca*. Revista del Instituto de Geología, UNAM, v. 2, No. 2, p. 112-131.

ORTEGA-GUITÉRREZ, F., 1992. *Texto explicativo de la quinta edición de la Carta Geológica de la República Mexicana*, escala 1: 2,000,000. UNAM, Instituto de Geología, Secretaría de Energía de Minas e Industria Paraestatal y Consejo de Recursos Minerales.

ORTEGA-GUITÉRREZ, F., 1998. *Terrenology and tectonostratigraphic terranes in México 15 years after*. Primera Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra, Libro de Resúmenes, p. 6.

PACHECO, G. C. y ORTIZ, U. A., 1984. *Tectónica acrecionaria de una porción del sur de México*. Sociedad Geológica Mexicana, Resúmenes de la VII Convención Geológica Nal. , p. 5.

PANTOJA-ALOR, J., 1970. *Rocas sedimentarias paleozoicas de la Región Centro-Septentrional de Oaxaca*. Sociedad Geológica Mexicana, Libro Guía de la Excursión México - Oaxaca, p. 67 - 84.

PANTOJA-ALOR, J., MALPICA-CRUZ, V. y GALGUERA, G. A., 1989. *Geología de los alrededores de la cantera de Tlayua, Tepexi de Rodríguez, Puebla*. Instituto de Geología, Memorias del Tercer Simposio sobre Geología Regional de México, p. 61 - 69.

RAMÍREZ, E. J., 1984. *La acreción de los terrenos Mixteco y Oaxaca durante el Cretácico Inferior, Sierra Madre del Sur*. Bol. De la Soc. Geol. Mex. , No. 1, p. 7-19.

RATSCHBACHER LOTHAR, RIILER ULRICH, MESCHEDÉ MARTÍN, HERRMAN UWE, y FRISCH WOLFGANG, 1991. *Second look at suspect terranes in southern Mexico*. *Geology*, p. 1233 - 1236.

REINHARD WEBER, CENTENO-GARCÍA, E. y MAGALLÓN-PUEBLA, S., 1987. *La Formación Matzitzi (Estado de Puebla) tiene edad Permocarbonífera*. Instituto de Geología, UNAM. Segundo Simposium Geología Regional de México, Programas y Resúmenes, p. 57 - 59.

RODRÍGUEZ-TORRES, R., 1970a. *Itinerario geológico México - Oaxaca*. Sociedad Geológica Mexicana, Libro Guía de la Excursión México - Oaxaca, p. 4 - 32.

RODRÍGUEZ-TORRES, R., 1970b. *Geología metamórfica del área de Acatlán, estado de Puebla*. Sociedad Geológica Mexicana, Libro Guía de la Excursión México - Oaxaca, p. 51-66.

RUIZ-CASTELLANOS, M., 1970. *Reconocimiento geológico del área de Mariscala - Amatlán, Estado de Oaxaca*. Sociedad Geológica Mexicana, Libro Guía de la Excursión México - Oaxaca, p. 55 - 66.

SALAS, G. P., 1949. *Bosquejo geológico de la cuenca sedimentaria de Oaxaca*. Bol. Asoc. Mex. Geólogos Petroleros, v. 1, p. 79-156.

SCHAF, P., MORÁN-ZENTENO, D. J., HERNÁNDEZ-BERNAL, M. S., SOLÍS-PICHARDO, G., TOLSÓN, G. and KÖLER, H., 1995. *Paleogene continental margin truncation in southwestern Mexico: Geochronical evidence*. *Tectonics*, vol., 14, No. 5, p. 1339 - 1350.

SCHLAEPFER, C. J., 1970. *Geología Terciaria del área de Yanhuatlán - Nochistlán, Estado de Oaxaca*. Sociedad Geológica Mexicana, Libro Guía de la Excursión México - Oaxaca, p. 85 - 96.

SCHLAEPFER, C. J., RINCÓN-ORTA, C., SILVER, L. T., SOLORIO-MUNGUÍA, J., y SCHMITTER-VILLADA, E., 1974. *Una edad radiométrica del Eoceno Medio en sedimentos continentales de La Mixteca Alta de Oaxaca*. Boletín Asociación Mexicana de Geólogos petroleros, Vol. XXVI, Nos. 4 - 6, p. 237 -248.

SILVA-ROMO, G., MENDOZA-ROSALES, C. y NIETO-OBREGÓN, J., 1998. *Estratigrafía e interpretación paleoambiental de la secuencia cenozoica de Tepexi de Rodríguez, Pue*. Primera Reunión Nacional de Ciencias de la Tierra, Libro de Resúmenes, p. 147.

SILVA-ROMO, G., MARTINY, B., MENDOZA-ROSALES, C., MACÍAS-ROMO, C., MORÁN-ZENTENO, D. y MARTÍNEZ, R., 1996. *Volcanismo monogenético oligocénico en el Terreno Mixteco*. Universidad Autónoma de Baja California Sur, XII Convención Geológica Nacional, p. 62.

SILVA-ROMO, G., MENDOZA-ROSALES, C. y CARREÓN MÉNDEZ, M. A., 1999. *Mapa de la región septentrional del Terreno Mixteco, con énfasis en el registro cenozoico*. Unión Geofísica Mexicana A. C., GEOS Boletín Informativo, Reunión Anual 1999 Puerto Vallarta, Jal. México, Resúmenes y Programas, v. 19, No. 4, p. 223.

TORRES, T.G., ORTEGA GONZÁLEZ, J.V., GUTIÉRREZ GALICIA, L. y GARDUÑO MONROY, V. H., 1984. *Estudio Microestructural del Límite oriental del Terreno Mixteca entre Huajuapán de León y Teposcolula, Oaxaca*. Bol. Soc. Geol. Mexicana, Tomo XLV, Nos. 1 - 2, p. 39 - 41.

URRUTIA-FUCUGAUCHI, J., 1995. *Origin and Evolution of Pull-Apart Basins by Block Rotation*. Instituto de Geofísica, Revista Geofísica No. 42, p. 119 - 132.

URRUTIA, J. y MORÁN, D. J., 1984. *Resultados preliminares paleomagnéticos para el sur de México y sus implicaciones tectónicas*. Resúmenes de la VII Convención Geológica Nal., Soc. Geol. Mex., p. 5.

VILLEGAS-SOTO, M., TRUJILLO, T. R. y GÓMEZ-TAGLE-ROJAS, A., 1977. *Los suelos de la región de Tehuizingo, Estado de Puebla*. UNAM, Revista del Instituto de Geología, v. 1 No. 2, p. 195 - 203.


WILSON, J. and CLABAUGH, S., 1970. *A new Miocene formation and a description of volcanic rocks, northern valley of Oaxaca*. Sociedad Geológica Mexicana, Libro Guía de la Excursión México - Oaxaca, p. 120 - 128.

YAÑEZ, P., RUIZ, J., PATCHETT, J. P., ORTEGA-GUTIÉRREZ, F. and GEHRELS, G. E., 1991. *Isotopic studies of the Acatlan complex, southern Mexico: Implications for Paleozoic North American tectonics*. Geological Society of America Bulletin, v 103, p. 817 - 828.




MAPA GEOLÓGICO


LEYENDA


- 

FM. TEHUITZINGO





ALUVIÓN



UNIDAD EL GATO
- 












UNIDAD BOQUERONCITO



UNIDAD TAMALAYO
- 

COMLEJO ACATLÁN

SIMBOLOGÍA

- | | | | |
|--------------------------------------|---|------------------------|---|
| ESTEREOGRAMA DE FALLAS |  | CARRETERA |  |
| ANTICLINAL |  | TERRACERIAS |  |
| CONTACTO |  | RIOS Y CUERPOS DE AGUA |  |
| FALLA LATERAL |  | POBLADOS |  |
| FALLA, ANGULO DE INCLINACIÓN Y PITCH |  | CURVAS DE NIVEL |  |
| RUMBO Y ECHADO |  | | |

ESCALA

