



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Análisis estructural de la deformación frágil del  
área Chazumba, Oax – El Plan San Miguel,  
Acatepec, Pue.**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERA GEÓLOGA**

PRESENTA

**NALLELY LÓPEZ GARCÍA**

DIRECTOR DE LA TESIS: DR. GILBERTO SILVA ROMO



MÉXICO D. F. 2015

## **Agradecimientos**

Quiero agradecer a la Facultad de Ingeniería y a los profesores que me compartieron su conocimiento, en especial al Dr. Gilberto Silva Romo, director de este trabajo, le agradezco infinitamente su apoyo, tiempo, paciencia y dedicación.

A mis padres, ejemplos de vida, porque todo su esfuerzo siempre ha valido la pena, por sus consejos, su amor incondicional, las ganas que me transmiten para salir adelante, estoy muy orgullosa de ustedes porque formaron grandes hijos, los amo.

A mis hermanos, porque ustedes me dieron la motivación y el ejemplo de terminar una carrera, por los buenos y malos momentos juntos, porque siempre seremos los mejores hermanos y siempre estaré muy orgullosa por tenerlos en esta gran familia.

A mis amigos de la universidad en especial a Adriana, Axél, Dianita, Carlos y Juan Manuel porque compartimos las mejores experiencias en clases y fuera de ellas, porque sé que puedo contar con ustedes y ustedes conmigo, los quiero mucho. A mis nuevos amigos Yoalli, Alam y Carlos por su apoyo en este ciclo y la amistad que me han brindado, los quiero.

A mis manas Yaz, Ruth y Bárbara, por los años llenos de grandes experiencias, porque cada una de ustedes llegó en el momento preciso a mi vida, por su apoyo y sus bellas compañías en todo este proceso, las amo con todo mi ser.

A Luis Abel, por las aventuras compartidas, felicidad y tristezas. Por tener los ánimos para salir en los peores momentos, aprendí muchísimas cosas de ti y siempre estaré agradecida por ello.

# Índice

<b>RESUMEN.....</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>2</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>Planteamiento del Problema .....</b>	<b>5</b>
<b>Objetivo.....</b>	<b>5</b>
<b>Metas.....</b>	<b>5</b>
<b>Antecedentes .....</b>	<b>7</b>
<b>Localización y vías de acceso.....</b>	<b>8</b>
<b>Metodología de trabajo .....</b>	<b>10</b>
Actividades de Gabinete.....	10
Actividades de Campo.....	10
<b>MARCO GEOLÓGICO REGIONAL.....</b>	<b>11</b>
<b>Terrenos estratotectónicos del Sur de México.....</b>	<b>11</b>
Terreno Chatino .....	11
Terreno Cuicateco.....	12
Terreno Mixteco .....	12
Terreno Náhuatl.....	12
Terreno Zapoteco.....	12
<b>Estructuras mayores .....</b>	<b>13</b>
Falla Caltepec .....	13
Falla Chacalapa .....	13
Falla Oaxaca.....	13
Falla Tamazulapan .....	14
<b>Estratigrafía.....</b>	<b>14</b>
Complejo Acatlán .....	14
Complejo Ayú .....	16
Formación Agua del Cordero .....	17
Formación San Juan Raya .....	17
Formación Santa Lucía.....	18
Caliza Cipiapa .....	18

<b>ESTRATIGRAFÍA DEL ÁREA.....</b>	<b>19</b>
Conglomerado Atzumba .....	19
Formación Acatepec .....	20
Andesita Cerro Prieto.....	21
Depósitos de Aluvión y Suelos .....	21
<b>GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....</b>	<b>22</b>
Falla Tianguistengo .....	25
Falla Pozo Hondo .....	25
Falla Acatepec .....	25
Falla Chazumba .....	25
Falla Frontera.....	26
Falla La Palma .....	26
Falla El Pirul .....	26
Falla Santiago .....	27
Falla La Campana .....	27
Falla Moctezuma.....	28
Falla Pajarito .....	28
Falla San Miguel.....	28
<b>Rotación relativa entre los Bloques: San Miguel y Santa Lucía.....</b>	<b>30</b>
<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>36</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>46</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>47</b>
<b>REFERENCIAS ELECTRÓNICAS .....</b>	<b>50</b>
<b>APÉNDICE DE TABLAS Y PETROGRAFÍA .....</b>	<b>51</b>

## Resumen

En este trabajo se presenta un análisis cinemático para explicar la disposición dispar de dos bloques que involucran al basamento en el suroeste de la Cuenca de Zapotitlán, en el sur de México en el Terreno Mixteco, en las cercanías de Chazumba, Oaxaca: mientras la cobertura del Bloque Santa Lucía tiene una inclinación hacia el noreste, en el Bloque San Miguel la cobertura presenta una inclinación hacia el sur. El análisis se realizó en la zona limítrofe entre los bloques, alrededor del Sistema de fallas Santiago-Acatepec de orientación general suroeste-noreste; sin embargo, se reconocieron los límites de los bloques en trabajos previos. Para el bloque Santa Lucía, al suroeste, la falla Tianguistengo; al noreste, la Falla Pozo Hondo y al noroeste queda delimitado por la Falla El Gavilán. Por su parte, el bloque San Miguel, está delimitado al sur, por la Falla La Campana, y al norte por la falla Acatepec; con base en la cartografía preexistente no fue posible reconocer el límite oriental del bloque. En la zona de acomodo entre los bloques, se reconocieron 11 fallas que involucran a la sucesión cenozoica que se preserva en la zona de contacto entre los bloques e inclusive al basamento. La sucesión cenozoica expuesta en el área incluye rocas clásticas, calcáreas lacustres y rocas volcánicas. La investigación incluyó la cartografía detallada del área de yuxtaposición de los bloques y el análisis de los pliegues menores que presenta la foliación en la Formación Tecomate, unidad del Complejo Acatlán expuesta como basamento en ambos bloques. Aunque no existe una correspondencia total entre los pliegues menores presentes en la foliación de la Formación Tecomate, se reconocieron cuatro familias de pliegues semejantes en ambos bloques. Con base en esas similitudes, se cuantificó una rotación relativa antihoraria de  $18.3^\circ$  del bloque San Miguel con respecto al bloque Santa Lucía, alrededor de un eje inclinado  $74.30^\circ$  hacia la dirección  $051.64^\circ$ . Dado que no se observa deslizamiento entre el basamento y la cobertura cretácica y sí una ligera discordancia entre la formación Santa Lucía y la Caliza Cipiapa, (unidades litoestratigráficas cretácicas que cubren al basamento) se realizó una corrección estructural doble de los bloques con base en la inclinación que presentan las formaciones en ambos bloques. De la disposición que adoptaron los pliegues menores de la foliación en la Formación Tecomate, en ambos bloques, después de las correcciones estructurales, se interpretan dos fases de deformación con rotación, primero una que involucró a ambos bloques, probablemente en el Paleoceno-Eoceno temprano y antes de su individualización conforme al sistema de fallas Santiago-Acatepec, y posteriormente ocurrió la rotación del Bloque San Miguel como respuesta a una fase de extensión en dirección norte-sur hacia el Oligoceno temprano cuando se acumuló la sucesión clástica expuesta en el área.

## Abstract

This paper presents a kinematic analysis to explain the uneven arrangement of two blocks that reach the basement of the Mixteco Terrane in the southwest of the Zapotitlán Basin, Oaxaca State. While the coverage of the Santa Lucia Block has an inclination towards the northeast, in the San Miguel block coverage the inclination towards to the south. The analysis was performed in the boundaries between both blocks around Santiago-Acatepec fault system with a general orientation southwest-northeast; however, the block boundaries are recognized in previous work. The faults that define the Santa Lucia block are the Tianguistengo fault, the Pozo Hondo fault and the Gavilán fault; to the southwest, northeast and northwest respectively. Meanwhile, the San Miguel Block is bounded to the south by La Campana Fault and to the north by the Acatepec Fault; based on the preexisting mapping it was not possible to recognize the eastern boundary of the block. In the arrangement zone between blocks 11 faults was recognized and involves the Cenozoic succession that are preserved in the contact zone between them, including the basement. The Cenozoic succession exposed in the area consists of clastic rocks, lacustrine limestones and volcanic rocks. The research includes a detailed cartography of the juxtaposition blocks area and the analysis of minor folds that exhibit foliation in the Tecomate Formation, a unit that belongs to the Acatlán Complex exposed as basement in both blocks. Although there is no correspondence between minor folds in the foliation of the Tecomate Formation, four families of such folds are recognized in both blocks. Based in these similarities, it was quantified a  $18.3^\circ$  counterclockwise relative rotation for the San Miguel block respect to the Santa Lucia block, around an axis inclined  $74.30^\circ$  with  $051.64^\circ$  direction. Since there is no slippage between the basement and the Cretaceous coverage, but yes a slight mismatch between Caliza Cipiapa and Santa Lucia Formation (Cretaceous lithostratigraphic units that cover the basement), it was performed a double structural correction by means of the inclination that have each formation on both blocks. From the disposition that adopt the minor folds of foliation in the Tecomate Formation, after structural corrections, are interpreted two phases of deformation with rotation; the first one involve both blocks, probably in early Paleocene-Eocene and before its individualization according to Santiago-Acatepec fault system, and subsequently with the rotation of San Miguel block in response to an expansion phase in north-south direction towards the early Oligocene, when the clastic sequence exposed in the area was accumulated.

## Introducción

El sur de México es una de las regiones del país que presenta la mayor complejidad geológica sin resolver. Para documentar su evolución se han reconocido sectores corticales con basamento singular, los cuales se observan separados por discontinuidades regionales, las cuales son consideradas como límites entre terrenos tectonoestratigráficos. En la Figura 1 se observa la distribución de los terrenos y la localización de las fallas mayores que las limitan de acuerdo a Sedlock *et al.* (1993). Para entender la evolución tectónica del sur de México, es evidente que hacen falta trabajos de detalle, pues su investigación nos permitirá conocer el comportamiento y la influencia en la configuración actual de la región. El estudio de los rasgos estructurales a distintas escalas, que se observan en los terrenos tectonoestratigráficos, contribuye a discernir la evolución geológica del sur de México, sobre todo cuando se trata de estructuras que involucran al basamento y la cobertura, como es el caso en las inmediaciones de Chazumba, Oaxaca; ahí el Terreno Mixteco presenta un conjunto de fallas que acomodaron la deformación rotacional entre dos bloques estructurales. En este trabajo abordó precisamente la caracterización de ese conjunto de fallas, su cronología y cinemática.

Esta tesis fue realizada dentro del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la UNAM en el proyecto IN114613 "*¿Las sucesiones cenozoicas del sur de Puebla y noroeste de Oaxaca registraron la evolución tectónica durante el truncamiento de la costa pacífica mexicana?*", cuyo responsable es el Dr. Gilberto Silva Romo. Agradezco a la DGAPA-UNAM la beca recibida.

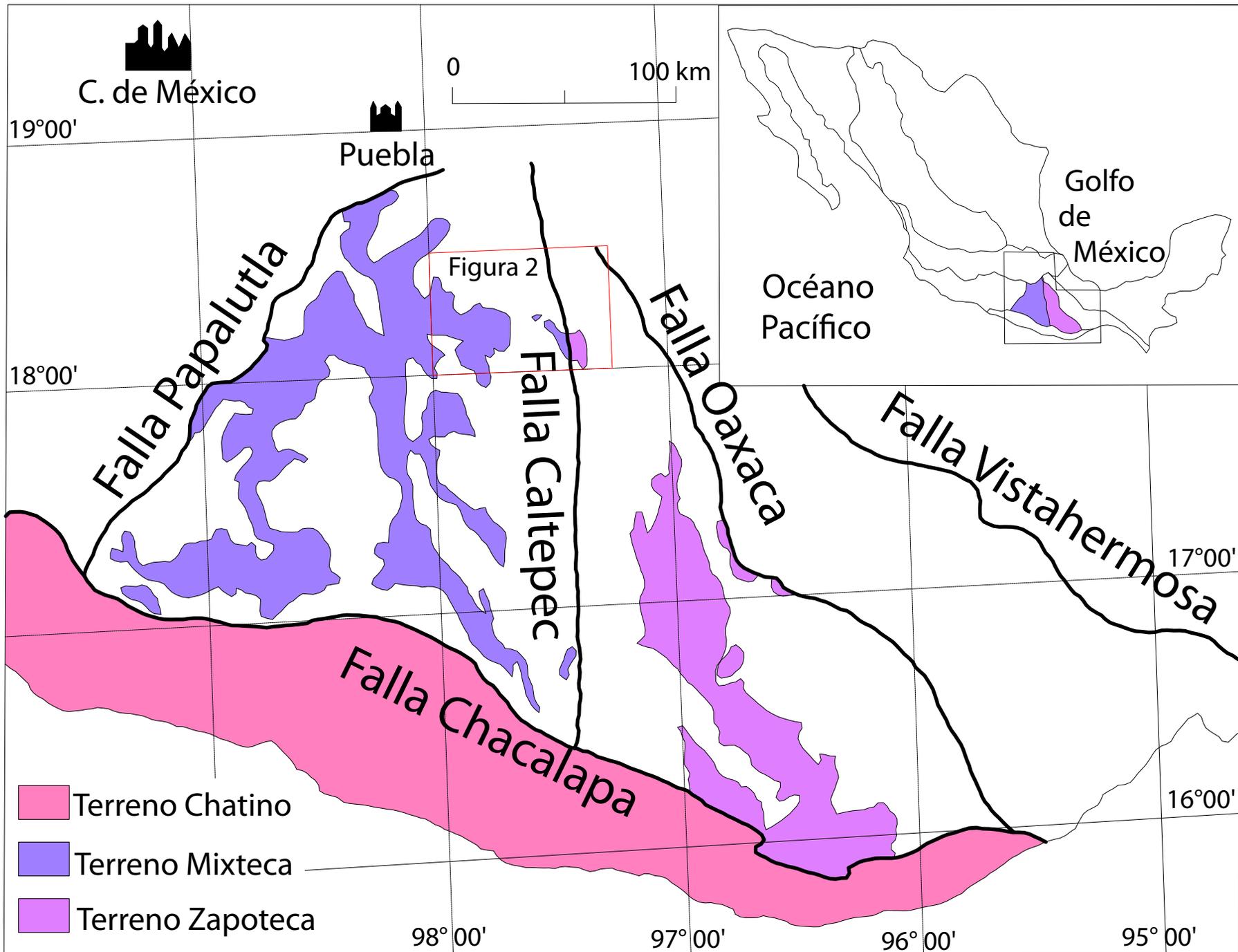


Figura 1. Localización general de la zona de estudio. La figura muestra la distribución de los terrenos tectonoestratigráficos de acuerdo a Sedlock et al. (1993), con las fallas regionales que los delimitan. Modificada de Ortega-Gutierrez (1999).

## Planteamiento del Problema

En las cercanías de Chazumba, Oax., se reconocen dos bloques inclinados, uno hacia al noreste y otro hacia el sur, en este trabajo serán llamados Bloque Santa Lucía y Bloque San Miguel respectivamente, yuxtapuestos por la Falla Santiago-Acatepec (Figura 2), el primero alargado en sentido general Este-Oeste y el segundo con una tendencia general al noroeste-sureste. El Bloque Santa Lucía está delimitado hacia el suroeste por la Falla Tianguistengo, al noreste por la Falla Pozo Hondo, en tanto que su límite noroeste es la Falla el Gavilán, la cual delimita la longitud del bloque. El Bloque San Miguel encuentra su límite sur en la Falla La Campana, hacia el suroeste con la Falla Santiago y al norte con la Falla Acatepec además de estar limitados por estas estructuras los bloques están yuxtapuestos por un conjunto de fallas tanto mesozoicas como cenozoicas. El estudio de las fallas y el reconocimiento de los otros rasgos estructurales involucrados, su cinemática y su cronología contribuirá a entender el peculiar arreglo que tienen los bloques Santa Lucía y San Miguel y con ello, la evolución geológica regional.

## Objetivo

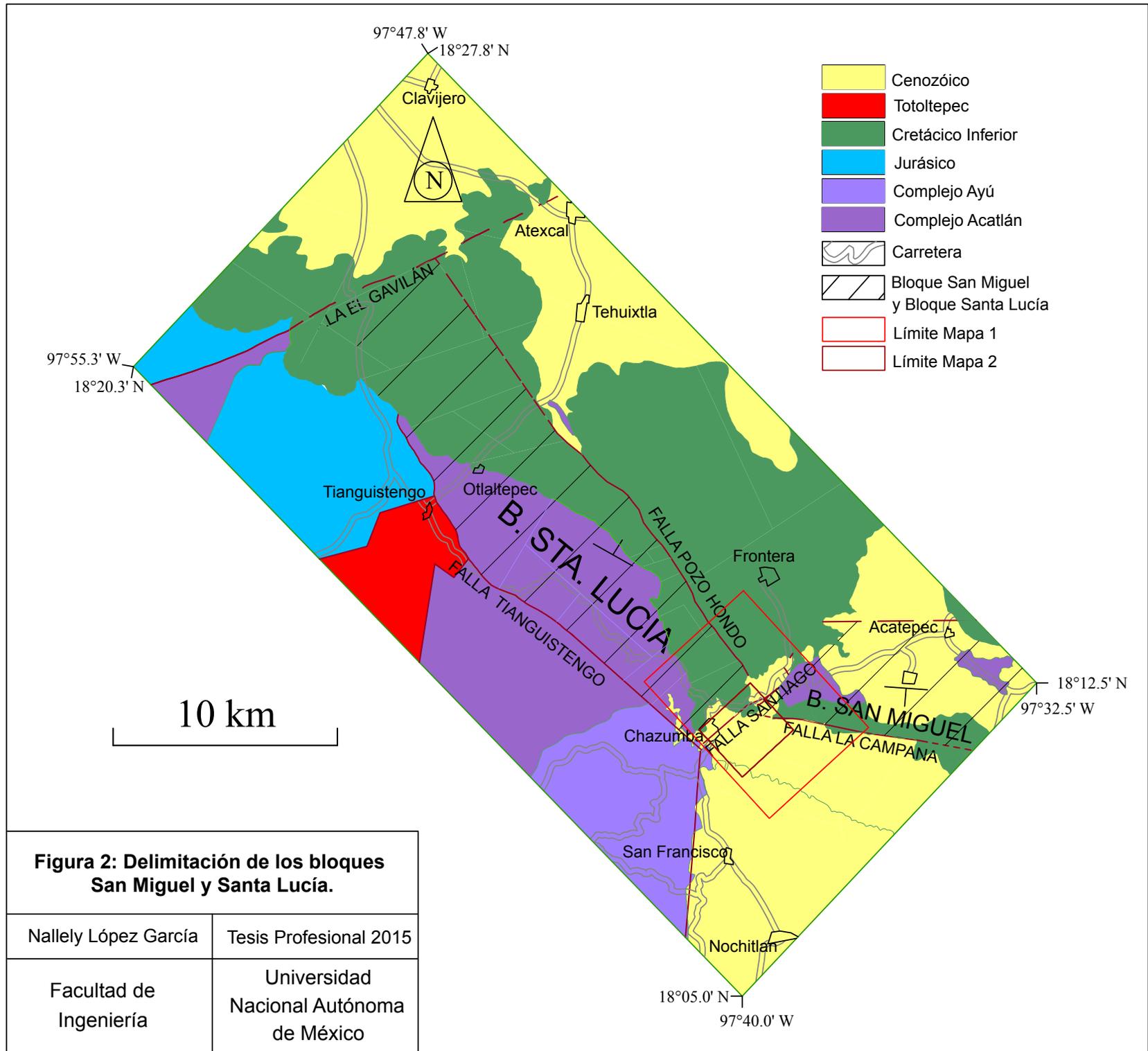
El objetivo de este trabajo es el estudio de los rasgos estructurales que yuxtaponen a los bloques Santa Lucía y San Miguel, estudiando sus características cinemáticas y su cronología para bosquejar la evolución de las estructuras que acomodaron la deformación en las cercanías de Chazumba.

Caracterizar cómo fue el movimiento de los bloques: San Miguel y Santa Lucía estudiando su estratigrafía, cinemática y cronología.

Definir el comportamiento de los bloques estudiados, establecer la cronología relativa de las estructuras que acomodaron la deformación rotacional.

## Metas

- Elaboración de dos mapas geológico-estructurales a escala 1:25,000 y 1:10,000 que muestren la distribución de las unidades geológicas involucradas, así como la ubicación, geometría de las fallas y su relación con los bloques estudiados.
- Elaboración de cuatro secciones geológicas representativas que ilustren las características de los bloques y las fallas comprendidas en el área.
- Cuantificación de la rotación relativa entre los bloques Santa Lucía y San Miguel.
- Bosquejar el comportamiento de las fallas involucradas en la rotación relativa entre los bloques.



**Figura 2: Delimitación de los bloques San Miguel y Santa Lucía.**

Nallely López García      Tesis Profesional 2015

Facultad de  
Ingeniería

Universidad  
Nacional Autónoma  
de México

## Antecedentes

Uno de los antecedentes primordiales para realizar este trabajo fue la tesis de Ferreira Hernández e Islas Blanco (2009) que analizaron la cinemática de la Falla Pozo Hondo, falla que delimita al Bloque Santa Lucía al noreste y que es uno de los rasgos mayores que afectan la zona del presente trabajo. También como antecedente principal está el trabajo de tesis de Mendoza-Rosales (2010), pues fue quien propuso a la Falla Acatepec y que es otra de las fallas analizadas en éste trabajo. Morán-Zenteno *et al.* (1993) estudiaron las unidades mesozoicas durante su análisis de la evolución paleogeográfica en el sector norte del Terreno Mixteco.

En cuanto a los antecedentes estratigráficos de la zona, consideré el propio de Mendoza-Rosales (2010) y el trabajo de tesis de Barceló-Duarte (1978), las observaciones obtenidas en campo contribuyeron a la caracterización de las unidades mesozoicas y cenozoicas expuestas. La carta geológico minera de Oaxaca escala 1:250,000 es un antecedente cartográfico que me sirvió principalmente para darme una idea de la distribución de las unidades y que también utilicé como complemento para la elaboración de figuras representativas de este trabajo.

Además del presente trabajo, se encuentran en proceso dos trabajos de tesis con temática directamente asociada al proyecto PAPIIT; cuyos resultados parciales me permitieron complementar y rectificar los mapas geológicos que presento. El trabajo en desarrollo de Ceballos-Berzunza, denominado: *Sedimentología, deformación y cronología de la sucesión volcano-lacustre cenozoica en las cercanías de Chazumba, Oaxaca*; contribuyó con la información estratigráfica en cuanto a la caracterización de las unidades cenozoicas expuestas en el área. De la Rosa-Mora presenta un trabajo llamado: *Caracterización estratigráfica y estructural de la cubierta Cenozoica en Cosoltepec, Oaxaca; sur de México*. Este trabajo ofrece datos importantes de las unidades cenozoicas expuestas. Recientemente se concluyeron otras dos tesis colaterales al proyecto, las cuales contribuyen al entendimiento del marco geológico regional. Así, refiero como antecedentes contemporáneos: El trabajo de tesis de Morales-Yáñez (2014), *Estudio Paleambiental de la Formación Magdalena en Chazumba-Oaxaca* y la tesis de Morales-Tolentino (2014) *Geología de las unidades clásticas del área de Chazumba*, las cuales aportaron información estratigráfica, principalmente en la descripción de la sucesión clástica del Cretácico.

## Localización y vías de acceso.

El área de estudio tiene una forma rectangular, con una extensión de 50 km<sup>2</sup>; se encuentra en la zona limítrofe noroeste de Oaxaca y sur de Puebla, en la zona suroeste de la cuenca de Zapotitlán, entre las coordenadas 97°39'W 18°09'N, 97°42'W 18°13'N, 97°39'W 18°15'N, y 97°36'W, 18°11'N (Figura 3). El área está localizada muy cerca de Santiago Chazumba, poblado que pertenece a la jurisdicción del Distrito de Huajuapán de León del estado de Oaxaca aproximadamente a la mitad de la distancia entre Tehuacán, Pue., y Huajuapán de León, Oax., por la carretera federal 125. Dentro del área de estudio se encuentran los poblados oaxaqueños Santiago Chazumba, San Sebastián Frontera y Olleras de Bustamante y los poblados poblanos Atzumba y Sabino Farol.

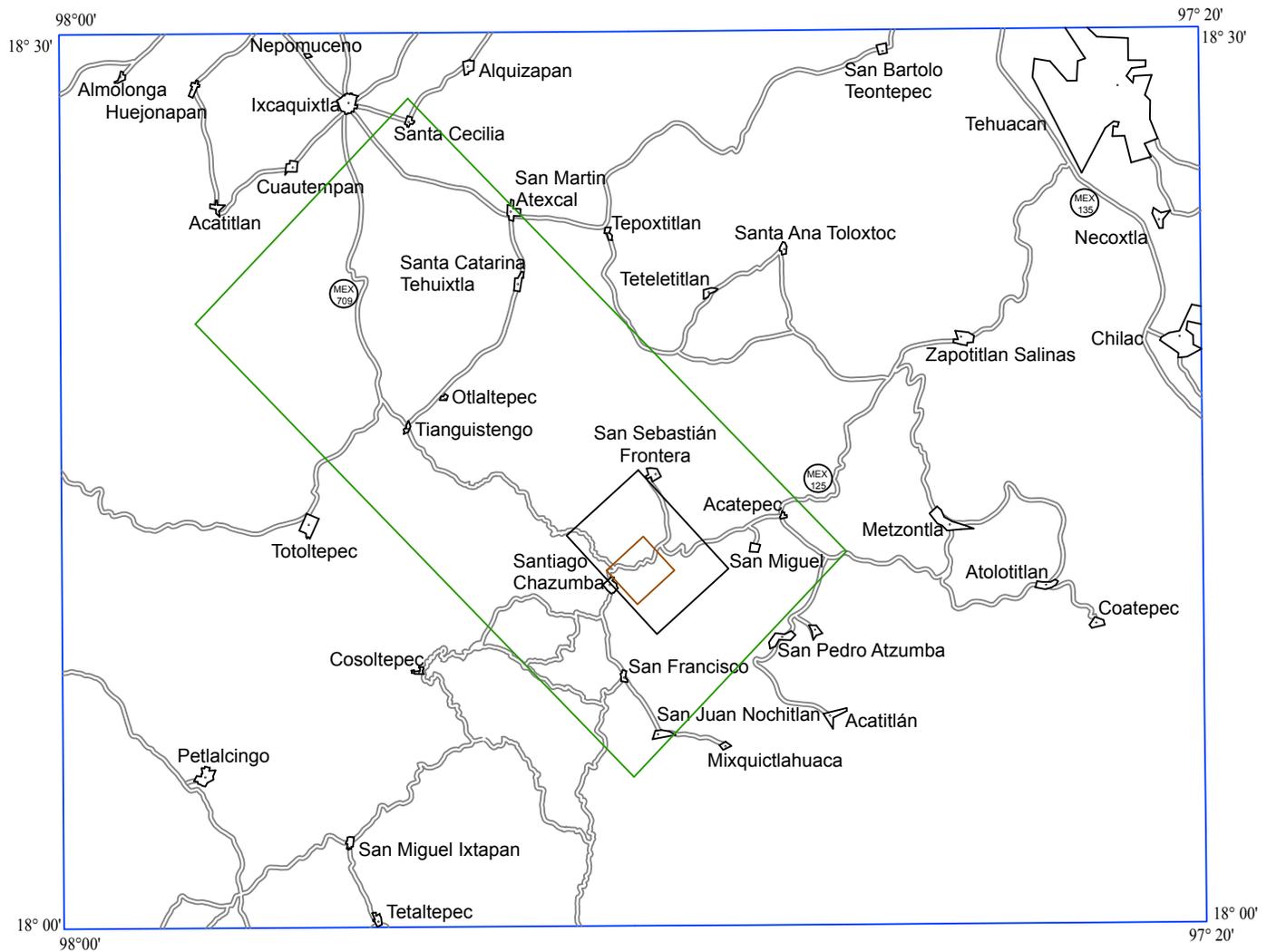
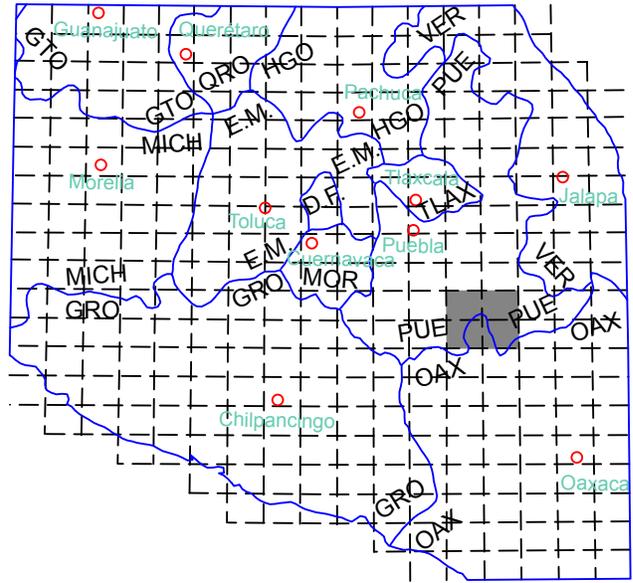


Figura 3: Localización y vías de comunicación

Nallely López García	Tesis profesional	2015
Facultad de Ingeniería	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO	

## Metodología de trabajo

Durante el desarrollo del trabajo presente llevé a cabo actividades de análisis y de síntesis en gabinete, y trabajo de campo con los equipos de rutina en forma intermitente, en seguida presento una relación de las principales actividades que realicé agrupadas de acuerdo a su naturaleza.

### Actividades de Gabinete

Consulta de las referencias bibliográficas de la región, se consultó la carta geológico-minera Orizaba E14-6 Esc. 1:250,000 del Servicio Geológico Mexicano (SGM) (Martínez-Amador *et al.*, 2001) y la Hoja Tehuacán (Silva-Romo *et al.*, en preparación) para la elaboración de esquemas que me permitan tener una idea de la orientación y características de los bloques a estudiar, además se llevó a cabo la fotointerpretación para tener un razonamiento y generar hipótesis acerca de la configuración estructural de la zona. Durante la etapa de fotointerpretación se marcaron los contactos entre las unidades de acuerdo a las características que presentan las fotos aéreas con lo cual se comenzó la construcción de un mapa preliminar.

Una vez que se llevaron a cabo los trabajos de campo los datos obtenidos fueron procesados y analizados, para hacer las correcciones pertinentes al mapa preliminar y obtener los mapas definitivos escala 1:25,000 y 1: 10,000. Una vez elaborados los mapas se eligieron los trazos de 4 secciones geológicas.

Con base en los recursos del software libre Stereo32 se procesaron los datos estructurales obtenidos en los pliegues menores que presenta la foliación en el basamento de los bloques Santa Lucía y San Miguel (plano axial, línea de charnela, y flancos) (Complejo Acatlán), las fracturas, estratificación y foliación de las diferentes estructuras en el mismo, agrupándolas de acuerdo a sus características y al bloque de procedencia. Con esta información se realizaron procesos, que describo más adelante, para encontrar esencialmente similitudes en las estructuras menores del basamento de ambos bloques.

### Actividades de Campo

Se realizaron dos campañas campo, los cuales tuvieron como objetivo principal adquirir datos estructurales de la zona de estudio y realizar un reconocimiento preliminar. La primera de cuatro días, se dedicó principalmente a identificar la proyección de la traza de la Falla Acatepec y de los indicadores cinemáticos que permitieran definir su cinemática.

Posteriormente, se llevó a cabo una segunda visita al área de estudio con una duración de dos semanas, durante la cual realicé caminamientos a lo largo de la Falla Acatepec, así como en áreas específicas para delimitar unidades estratigráficas, reafirmar y corregir dudas que surgieron en la etapa de fotointerpretación. También reconocí las fallas que

separan los bloques Santa Lucía y San Miguel obtuve los datos estructurales posibles, tanto geométricos como cinemáticos. También reconocí estructuras sedimentarias tales como los tipos de estratificación, laminación, orientación de los estratos y las relaciones de contacto entre las unidades que afloran. Para su análisis petrográfico (véase en Apéndice) obtuve 7 muestras de las rocas cuya naturaleza no era evidente en los afloramientos visitados. Estudié las muestras con un microscopio binocular y presento los resultados en el apéndice petrográfico de este trabajo.

Tomé datos estructurales de los pliegues menores que presenta la foliación del basamento metamórfico de Santa Lucía y San Miguel, esto con el fin de identificar y conciliar el movimiento de los bloques mencionados. Para la obtención de todos estos datos y la ubicación de las localidades de ocurrencia utilicé una brújula tipo Brunton y un receptor GPS. En general, para realizar las diligencias necesarias en campo y en gabinete conté con el siguiente equipo: Libreta de campo, lápices, borradores, navaja, GPS, lupa de 10x, Brújula tipo Brunton, faceta estructural, martillo, cincel, plumón para marcar rocas, cinta métrica, red estereográfica de Wulff, papel albanene, escalímetro, ácido clorhídrico diluido al 10%, Para las actividades de proceso de los datos estructurales en gabinete utilicé el software libre Stereo32.

## Marco Geológico Regional

En el sur de México se han reconocido cinco sectores corticales cuyo basamento presenta una conformación geológica singular y que están delimitados por discontinuidades mayores; sectores que se denominan terrenos tectonoestratigráficos. Para caracterizar el sur de México se tienen dos propuestas de terrenos tectonoestratigráficos: a) la propia de Campa y Coney, (1983) y b) la de Sedlock *et al.*, (1993). Para fines de encuadrar el área de estudio, que se encuentra en el Terreno Mixteco (Ver Figura 1), describo brevemente los basamentos de los terrenos de acuerdo a Sedlock *et al.*, (1993).

### Terrenos estratotectónicos del Sur de México

#### Terreno Chatino

El basamento del Terreno Chatino corresponde con el Complejo Xolapa, mismo que está constituido principalmente por ortogneis y rocas metasedimentarias derivadas de protolitos de edad indiferenciada, las cuales están repetidamente intrusiónadas y migmatizadas localmente durante el Mesozoico y Cenozoico. El Terreno Chatino está limitado al norte por los terrenos Mixteco y Zapoteco, en la margen oeste colinda con el terreno Náhuatl y hacia el sur está limitado con en el prisma de acreción edificado en el

Cenozoico Tardío sobre la Placa de Cocos que subduce bajo la corteza continental del sur de México (Sedlock *et al.*, 1993).

### **Terreno Cuicateco**

De acuerdo a Sedlock *et al.* (1993) el terreno Cuicateco es un prisma tectónico con buzamiento hacia el oeste, delimitado por la Falla Oaxaca que manifestó deformación intensa durante el Jurásico-Cretácico. Está compuesto por rocas oceánicas y de arco que estructuralmente sobreyacen el terreno Maya y subyacen al terreno Zapoteco. Sedlock *et al.* (1993) infieren que los protolitos volcánicos y sedimentarios del terreno Cuicateco fueron depositados en una cuenca con apertura hacia el sur, de edad Jurásica a Cretácico Temprano, estos fueron deformados y metamorfoseados a facies de esquistos verdes en un tiempo comprendido entre el Cretácico Tardío y el cierre del Paleógeno.

### **Terreno Mixteco**

El basamento del terreno Mixteco registra diversos eventos de deformación: a) Durante el Paleozoico Inferior un proceso de subducción y una obducción posterior. b) La colisión con la corteza continental del terreno Zapoteco con rocas oceánicas del Terreno Mixteco en el Paleozoico Medio y c) posteriormente entre el Paleozoico Medio y el Tardío ocurrió una acumulación sin y post-orogénica, en donde el Complejo Acatlán es la unidad más antigua (Sedlock *et al.*, 1993). El terreno Mixteco está limitado al norte por el Cinturón Volcánico Transmexicano, colinda al oeste con el terreno Náhuatl, al este con el terreno Zapoteco y finalmente al sur con el terreno Chatino.

### **Terreno Náhuatl**

El terreno Náhuatl se caracteriza por un conjunto de rocas metamórficas del Jurásico al Cretácico cuyos protolitos fueron rocas sedimentarias y magmáticas, el conjunto metamórfico exhibe deformación frágil y dúctil en la zona este del terreno (Sedlock *et al.*, 1993). El terreno Náhuatl corresponde a la zona sur del terreno Guerrero propuesto por Campa y Coney (1983), al norte colinda con el Cinturón Volcánico Transmexicano, al oeste y sur con el Océano Pacífico y al este con el terreno Mixteco y Chatino.

### **Terreno Zapoteco**

El basamento del terreno Zapoteco es un fragmento de la corteza continental proterozoica representada por el Complejo Oaxaqueño, el cual está conformado por meta-anortosita, ortogneis cuarzofeldespatita, paragneis, rocas sedimentarias calcosilicatadas y charnoquitas de edad greenviliense, sobreyacidas discordantemente por una sucesión sedimentaria del Paleozoico (Sedlock *et al.*, 1993). Este terreno corresponde con el Terreno Oaxaca propuesto por Campa-Uganda y Coney (1983) colinda al norte con el Cinturón

Volcanico Transmexicano, al este con el terreno Cuicateco, al oeste con el terreno Mixteco y al sur con el terreno Chatino.

## Estructuras mayores

El ensamble cortical de terrenos estratotectónicos bosquejado arriba, tiene como límites un conjunto de fallas mayores de larga vida que se reconocen a escala regional; conocidas como las fallas Caltepec, Chacalapa, Oaxaca y Tamazulapan (Figura 1).

### Falla Caltepec

La Falla Caltepec es una zona de cizalla longeva con una historia compleja de deformación dúctil y frágil que delimita los terrenos Mixteco y Zapoteco; representa el contacto tectónico entre los basamentos Acatlán del Paleozoico y Oaxaqueño del Mesoproterozoico (Elías-Herrera, *et al.*, 2005). Se trata de una estructura mesocortical mayor de tipo transpresional derecha con una dirección norte-sur., la cual evidencia una actividad tectonomagmática y metamórfica asociada a la yuxtaposición de los complejos Acatlán y Oaxaqueño durante la consolidación de Pangea (colisión de Laurentia y Gondwana). El evento de colisión ocasionó una deformación dúctil, el metamorfismo y magmatismo sintectónico que está expresado en el Granito Cozahuico. Elías-Herrera, *et al.* (2005) reconocen eventos múltiples de reactivación durante el Mesozoico, Cenozoico y probablemente el Reciente, dichos autores estiman la edad de la cizalla entre 270 y 275.6 Ma con base en fechamientos U-Pb en circones del Granito Cozahuico.

### Falla Chacalapa

La Falla Chacalapa tiene un rumbo general E-W y yuxtapone al terreno Chatino con los terrenos Mixteco y Zapoteco (Figura 1). De acuerdo a la distribución de los terrenos que separa, se estima que tiene una longitud de 160 km (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1994). En el sector occidental la traza de la falla está ocupada por un conjunto de intrusivos cenozoicos en tanto que en su sector este, se extiende 10 kilómetros hacia el poniente de San José Chacalapa donde se bifurca y posteriormente es truncada por un cuerpo intrusivo, en tanto que hacia el oriente se extiende 40 kilómetros hasta intersectar a la línea de costa del Océano Pacífico y manifiesta un carácter quebradizo (Tolson, 2005). La zona de falla Chacalapa registra actividad desde el Oligoceno hasta el presente (Tolson, 2005).

### Falla Oaxaca

La Falla Oaxaca corresponde con el límite tectónico entre los Terrenos Zapoteco y Cuicateco (Seldock *et al.*, 1993). Tiene una dirección noroeste-suroeste y una longitud de 380 km. Tuvo una actividad principalmente normal durante el Cenozoico coincidiendo su traza con el rasgo estructural formado por el complejo milonítico Sierra de Juárez (interpretado como la zona de yuxtaposición de los terrenos Zapoteco y Cuicateco. Se trata

de uno de los rasgos geomorfológicos más prominentes del sur de México. La Falla Oaxaca se extiende desde Tehuacán, Puebla, hasta Oaxaca, Oax., donde se interseca con la Falla Donají de dirección oeste-este (Nieto-Samaniego *et al.*, 1995).

### **Falla Tamazulapan**

La falla Tamazulapan es una estructura en contacto con las rocas del Cretácico y del Terciario, ubicada desde el sur del poblado de Tamazulapan, hasta Santa María Yolotepec, tiene una longitud de 100 km y un rumbo promedio norte-sur (Santamaría-Díaz *et al.*, 2008). López-Ticha (1985) considera que los complejos Acatlán y Oaxaqueño están yuxtapuestos por la Falla Tamazulapan, también se localiza en la región de Tlaxiaco y coincide con la prolongación meridional de la Falla Caltepec.

### **Estratigrafía**

El registro estratigráfico del área de estudio comprende 9 unidades estratigráficas, que representan un lapso comprendido entre el Paleozoico y el Reciente. En síntesis: La Formación Tecomate propia del Complejo Acatlán de edad Paleozoica; del Mesozoico se tienen la unidad litodémica (Complejo Ayú) y las unidades litoestratigráficas formación Santa Lucía, Caliza Cipiapa, Miembro Agua del Cordero; dentro del Cenozoico se tienen el conglomerado Atzumba, formación Acatepec, Andesita Cerro Prieto y los depósitos de aluvión. Para fines prácticos describiré el basamento y a las unidades posteriores de forma cronológica.

### **Complejo Acatlán**

Ortega-Gutiérrez (1978) propone formalmente el nombre Complejo Acatlán para las rocas expuestas en la Mixteca, en el sur de Puebla y noroeste de Oaxaca, a las cuales les asigna una edad Paleozoica. Las subdivide en dos grupos litoestratigráficos, Grupo Petlalcingo y Grupo Piaxtla, (Tabla 1). A partir de la obtención de edades, sobre todo con base en circones, se ha precisado la edad del Complejo Acatlán (Paleozoica), discusión que está fuera del alcance de este trabajo y que es tratado en diversas publicaciones (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1999; Talavera *et al.*, 2005; Helbig *et al.*, 2012, Kirsch *et al.*, 2012 y Kirsch *et al.*, 2014) En este apartado presento las características principales del basamento en el área de este proyecto, comento brevemente la propuesta del Complejo Ayú de Helbig *et al.* (2012) porque ese complejo metamórfico se encuentra expuesto en forma cercana al poniente del área.

<b>COMPLEJO ACATLÁN (Paleozoico)</b> (Ortega Gutiérrez, 1978)			
<b>Subgrupo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Litología</b>	
<b>Grupo Piactla</b>	<i>Formación Xayacatlan</i>	<i>Rocas verdes de grano fino, metagabros bandeados y milonitizados de hornblenda y augita, serpentinita, anfibolita, eclogitas y metasedimentos cuarcíticos y pelíticos, con afinidad ofiolítica</i>	
	<i>Formación Tecomate</i>	<i>Metagrauvaca, meta-arcosa y pelitas o semipelitas de débil a medianamente carbonosas con un miembro conglomerático compuesto por cantos deformados, principalmente graníticos y volcánicos. Metacaliza impura con invertebrados fósiles</i>	
<b>Grupo Petlalcingo</b>	<i>Formación Cosoltepec</i>	<i>Esquisto pelíticos de granate y micas localmente estauroлита, filitas cuarzosas, anfibolita, cuarcita roca verde, metapedernal, felsitas esquistos ultramáficos y esquisto calcáreo.</i>	<b>Complejo Ayú (Triásico-Jurásico)</b> (Helbig <i>et al.</i> , 2012)
	<i>Formación Chazumba</i>	<i>Esquisto de cuarzo de biotita con intervalos de cuarcita, esquistos de micas y granate con sillimanita, esquistos pelíticos y metagabro diferenciado.</i>	<i>Litodema Chazumba Migmatizada (Migmatita Magdalena) ~171Ma</i>
	<i>Migmatita Magdalena</i>	<i>Migmatita anatexítica de composición tonalítico diorítica.</i>	<i>Litodema Chazumba ~190-171 Ma. Pelitas micáceas, con intercalación de metapsamitas, metagrauvas y anfibolitas.</i>

Tabla 1. Unidades litoestratigráficas del Complejo Acatlán y Complejo Ayú: se presenta una comparación acerca de las edades de acuerdo a Ortega-Gutiérrez *et al.* (1999) (columna izquierda) y Helbig *et al.* (2012) (columna derecha).

La Unidad Amarillo se encuentra expuesta al este del Plutón Totoltepec, al norte del camino entre Santo Domingo Tianguistengo y Santiago Chazumba. Esta unidad fue previamente cartografiada como la Formación Cosoltepec (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1999), ahora es considerada como del Cámbrico-Ordovícico y Devónico-Carbonífero. La Unidad Amarillo cabalga a las rocas metasedimentarias de la Formación Tecomate (Kirsch *et al.*,

2012) y se yuxtapone tectónicamente con el Plutón Totoltepec a lo largo de una falla normal.

Kirsch *et al.*, (2014) describe a la Formación Tecomate como una unidad clásica medianamente metamorfoseada, pero intensamente deformada. Consiste en rocas sedimentarias con pequeñas bandas pelíticas y psamíticas, una pequeña cantidad de mármol, conglomerados y rocas volcánicas. Datos geocronológicos y geoquímicos, indican que la Formación Tecomate corresponde al Pensilvánico-Pérmico Medio (Kirsch *et al.*, 2012). Hacia el sur, se infiere que la Formación Tecomate está estructuralmente cubriendo a las rocas de la Formación Cosoltepec.

De acuerdo a Ortega-Gutiérrez, (1978) la Formación Cosoltepec presenta en la parte basal rocas verdes y cuarcitas con intervalos pelíticos, en la parte media predominan los esquistos psamíticos y pelíticos que incluyen algunas capas de esquisto calcáreo, esquisto de talco, roca verde, metapedernal y rocas manganosíferas finamente laminadas. Finalmente en la parte superior consta solamente de rocas metapelíticas (filitas) y metapsamíticas (filitas cuarcosas y cuarcitas), con intervalos locales de roca verde y delgadas capas calcáreas. Talavera-Mendoza *et al.*, (2005) asigna una edad de depósito de la Formación Cosoltepec del Devónico, esta edad es considerablemente más joven que la edad Cámbrica-Ordovícica previamente asignada a esta formación. El contacto inferior del Complejo Acatlán no se conoce y sus relaciones con el Complejo Oaxaqueño son tectónicas, los fechamientos geocronológicos varían desde el Precámbrico Tardío hasta el Pérmico aunque la mayoría se agrupan en el intervalo Cámbrico-Devónico (Ortega Gutiérrez.,1978).

Ortega-Gutiérrez, (1978) describe a la Formación Chazumba constituida por esquistos pelíticos micáceos y cuarcitas o rocas silíceas); Helbig *et al.* (2012) proponen que la Formación Chazumba es parte del Complejo Ayú del Mesozoico que fue yuxtapuesto tectónicamente con el Complejo Acatlán del Paleozoico durante las etapas iniciales de la ruptura de Pangea. El Complejo Ayú representa una fase de metamorfismo que transformó una sucesión metasedimentaria y rocas ígneas durante el Triásico –Jurásico (Helbig et al., 2012).

### Complejo Ayú

Helbig *et al.* (2012) propone al Complejo Ayú con una edad del Triásico-Jurásico Temprano conformado por las unidades características (Tabla 2) que Ortega-Gutiérrez (1978) describió como Migmatitas Magdalena y Formación Chazumba; de acuerdo a Helbig et al. (2012), el Complejo Ayú está compuesto por dos unidades metamórficas: el

Litodema Chazumba, una voluminosa sucesión siliciclástica turbidítica poli-deformada y metamorfoseada consistente de pelitas micáceas, intercaladas con metapsamitas masivas, metagrauvacas y anfibolitas consideradas previamente como Formación Chazumba (Ortega-Gutiérrez, 1978; Keppie *et al.* 2006). Las rocas metasedimentarias se componen principalmente de granate- biotita (moscovita) esquistos y gneis.

<b>Complejo Ayú</b>	
<b>Unidades Características</b>	Lentes Tepejillo y Tultitlán
	Intrusivos San Miguel
	Litodema Chazumba Migmatizada
	Litodema Chazumba

Tabla 2. Unidades características del Complejo Ayú, (Helbig *et al.*, 2012)

Tanto Ortega Gutiérrez (1978) como Helbig *et al.* (2012) tienen coincidencias en las características litológicas de las unidades expuestas, las discrepancias radican en la edad que le asignan a ese conjunto, en este trabajo se separan en la cartografía geológica los dos complejos.

### **Formación Agua del Cordero**

Calderón (1956) propuso el nombre de Miembro Agua del Cordero, como parte de la Formación Zapotitlán, lo describe como una sucesión de conglomerados y areniscas, de edad Barremiano Temprano-Tardío. De acuerdo a Mendoza-Rosales (2010) la Formación consiste en una intercalación de conglomerados y areniscas, los estratos de arenisca son de grano medio color verde y guinda, tienen espesores que varían de 30 cm a 20 cm, el conglomerado esta soportado por matriz de arena media, los clastos están compuestos de cuarzo metamórfico, esquistos, caliza y arenisca. Los estratos de arenisca varían de 50 cm a 20 cm y los de conglomerado de 40 cm a 2 cm. Entre la fauna fósil sobresalen fragmentos de moluscos, gasterópodos, equinodermos, algas y foraminíferos.

Barceló (1978) le asigna al miembro un espesor de 1000 m. El contacto superior es transicional con la formación San Juan Raya del Aptiano.

### **Formación San Juan Raya**

Calderón (1956) denomina Formación San Juan Raya a la sucesión de lutitas y arenisca con una edad del Aptiano. Mendoza-Rosales (2010) describe a la formación como una alternancia de conglomerados, areniscas limolitas, lutitas y calizas boundstone, en estratos delgados a gruesos frecuentemente bioturbados. En la unidad son muy abundantes los gasterópodos, pelecípodos, corales y rudistas. La Formación San Juan Raya sobreyace concordantemente a la Formación Zapotitlán, al poniente de San Sebastián Frontera se

interdigita con la formación Agua del Cordero. A la Formación San Juan Raya se le ha asignado una edad correspondiente con el Aptiano inferior con base en su contenido faunístico, de acuerdo a su posición estratigráfica y cambios de facies su edad puede extenderse desde el Barremiano superior (Mendoza-Rosales, 2010).

### **Formación Santa Lucía**

Ortega-Guerrero (1989) propone informalmente como unidad Magdalena a la sucesión clástica en el Arroyo Magdalena, al sur de Ixcaquixtla, sin embargo, la denominación causa confusión ya que en las cercanías de Petlalcingo, el nombre se utiliza para denominar la formación metamórfica Migmatita Magdalena (Ortega-Gutiérrez, 1978; Helbig et al., 2012); de tal forma para superar el conflicto Mendoza-Rosales et al. (en preparación) proponen denominar la sucesión en cuestión como Formación Santa Lucía. De acuerdo a Ortega-Guerrero (1989), en el Arroyo Magdalena presenta las siguientes características: en la parte basal consta de cuerpos de conglomerado con matriz arcillosa intercalados con horizontes arenosos, los clastos van de subangulosos a redondeados, presentan clastos de cuarzo, silcreta, ígneos ya metamórficos, en menor proporción los metamórficos. Hacia la cima la unidad se vuelve arenosa con intercalaciones conglomeráticas arcillosas. Morales Yáñez (2014) en su trabajo de tesis describe al conglomerado como monomítico de gránulos de cuarzo con formas tabulares y discoidales, que van de subredondeados a subangulosos. Se encuentra soportado por clastos, moderadamente clasificado; presenta una fábrica anisotrópica con clastos tabulares orientados en forma paralela a la superficie de estratificación; la matriz es de arena media color al fresco naranja pálido (10YR 8/2) y de meteorización café rojizo oscuro (10R 3/4) con cuarzo y cementante de sílice. Presenta gradación granocreciente, en ocasiones tiene un arreglo simétrico, también se observa laminación paralela y estratificación cruzada en algunos horizontes clásticos.

La unidad comprende 200 m de conglomerado, arenisca, lutita y marga. Sobreyace en discordancia angular al Complejo Acatlán. La formación Santa Lucía está sobreyacida transicionalmente por la Caliza Cipiapa, no se encontraron fósiles pero la relación de contacto superior con rocas del Albiano -Cenomaniano sugiere edad Aptiano – Albiano.

### **Caliza Cipiapa**

Calderón-García (1956) Describe como Caliza Cipiapa a la sucesión calcárea expuesta en la región suroeste de Puebla; sucesión que Ortega-Guerrero (1989) nombra informalmente como Caliza Coyotepec. Se trata de una sucesión de calizas de color gris claro, con horizontes que meteorizan en gris amarillento. La Caliza Cipiapa cuenta con 400 metros de espesor, se trata de una caliza biomicrítica parcialmente dolomitizada con nódulos y lentes de pedernal negro cerca de la base y capas de lutita interestratificadas crecientes en

abundancia hacia la cima. En las calizas de la formación se encuentran rizaduras, marcas de ondas simétricas con grietas en las que los gasterópodos, pelecípodos, y restos de foraminíferos son abundantes. El contenido fósil sugiere una edad Albiano-Cenomaniano (Morán-Zenteno *et al*, 1993). La dolomitización y las rizaduras avalan la interpretación de un ambiente depositacional inter o supramarea. La Caliza Cipiapa descansa concordante y transicionalmente sobre la formación Santa Lucía del Cretácico Inferior, está en contacto por falla con la formación Agua del Cordero del Barremiano. Al noroeste del área se encuentra cortada por un cuerpo intrusivo cenozoico de composición andesítica. La Caliza Cipiapa está cubierta en discordancia por depósitos terciarios y cuaternarios.

## **Estratigrafía del área**

En este apartado me centraré en la descripción de las unidades cenozoicas ya que las unidades mesozoicas fueron descritas previamente. Describiré de manera general a las unidades que conforman el registro estratigráfico del área, en el trabajo de tesis de Ceballos-Berzunza (en preparación) se presentan en forma detallada las características de la sucesión cenozoica. De acuerdo al mapa geológico escala 1:25,000 (Mapa 1), las unidades mesozoicas (formación Agua del Cordero, Formación San Juan Raya, Formación Santa Lucía y Caliza Cipiapa) se encuentran distribuidas en el noroeste y sureste del área, en tanto que las unidades cenozoicas se presentan en los sectores central y sur.

### **Conglomerado Atzumba**

Silva-Romo *et al.* (2015) describe como Conglomerado Atzumba, una sucesión de 150 a 200 m de lodolita, limolita, arenisca y conglomerado, este último es de color rojo y se caracteriza por la presencia de clastos subredondeados de gneis, esquisto, anfibolita, en menor proporción arenisca, andesita, sílice y escasamente caliza. En el presente trabajo se reconoció a esta unidad como un conglomerado polimíctico, poco consolidado, conformado por clastos que van de subangulosos a subredondeados. Presenta clastos de cuarzo, andesita, calizas y esquistos, el tamaño de los clastos varían de 4 a 40 centímetros, tiene una matriz arcillosa, con contenido alto de hierro y una edad del Oligoceno temprano.

## Formación Acatepec

Barceló (1978) propone el nombre de Formación Acatepec a una sucesión de calizas y conglomerados de edad cenozoica que se encuentran en las cercanías de Acatepec, Pue., de donde toma su nombre. La formación y se observa sobreyacida por derrames andesíticos. La unidad consta de una intercalación de calizas, conglomerados y tobas. De acuerdo a lo observado en campo en el área de estudio y a la nomenclatura propuesta por Ceballos-Berzunza (en preparación), la Formación Acatepec tiene una edad del Oligoceno, está conformada por los siguientes cinco miembros:

### *Miembro Caliza Rancho Pajarito*

Calizas lacustres de color crema, en superficie meteorizada adopta color café blanquecino a pardo, son travertinosas con estratos definidos que van de 30 a 60 cm; presenta tallos permineralizados con carbonato y algunas impresiones de tallos, algunos horizontes presentan pisolitos y algunos lentes de pedernal. Su espesor total aproximado es de 50m. El miembro Rancho Pajarito presenta un conglomerado basal polimíctico de color pardo y con un espesor aproximado de 15 metros. Este conglomerado tiene clastos de caliza y de cuarzo, en tamaños menores a 5cm. Los clastos son subangulosos y presentan una matriz soportada con cementante calcáreo.

### *Miembro Conglomerado Frontera*

Se trata de un conglomerado polimíctico de color pardo con clastos subredondeados y subangulosos de calizas, cuarzo y algunos restos volcánicos tobáceos, los tamaños de los clastos varían entre 2.6 y 38 cm en una matriz arenosa pobremente consolidada, estimo un espesor máximo de 80 m. El conglomerado tiene una geometría lenticular y está expuesto en la terracería de acceso a San Sebastián Frontera.

### *Miembro Tobáceo Inferior*

Consiste en tobas líticas de color verdoso, puede estar muy consolidada o pobremente consolidada dependiendo de la zona de afloramiento, presenta intercalaciones de silcreta. Le sobreyace la caliza Moctezuma.

### *Miembro Caliza Moctezuma*

Presentan un color crema, con horizontes que meteorizan en color grisáceo a pardo, esta caliza presenta menos impresiones de plantas y tallos de color crema, el espesor de los estratos va de 40 a 60 centímetros y en total se considera un espesor de 60 m,

principalmente en el Cerro de la Campana. A diferencia de los propios del Miembro Caliza Rancho Pajarito, los restos vegetales del miembro están frecuentemente silicificados.

#### *Miembro Tobáceo Superior*

Depósito piroclástico laminado con estructuras de flama y cristales de micas. Presenta coloración ocre y negra, se observa laminación subparalela y lenticular; en la parte superior se observa laminación cruzada, menor contenido de micas y color gris-amarillento pálido. Este cuerpo presenta lentes de brecha y fracturas rellenas de caliche.

#### **Andesita Cerro Prieto**

Esta formación está constituida por andesitas y brechas volcánicas. Las andesitas son faneríticas de grano fino, con una textura traquítica, inequigranular, los fenocristales presentan oxidación y están rodeados por una matriz microcristalina de andesina. Las brechas piroclásticas se observan en escasos afloramientos, los clastos son angulosos de composición andesítica-traquítica. La Andesita Cerro Prieto cubre discordantemente a la Formación Acatepec.

#### **Depósitos de Aluvión y Suelos**

Esta unidad representa los materiales sueltos y caliche que se encuentran cubriendo a unidades mesozoicas y cenozoicas, principalmente en las zonas bajas con pendientes suaves, se trata de los productos de la erosión de las rocas preexistentes; así, están compuestas de cantos subredondeados a redondeados de calizas, areniscas, lutitas y ocasionalmente se observan clastos de andesitas. El espesor de los depósitos puede variar desde centímetros hasta 2 y 3 m sobre todo en los cauces fluviales.

## Geología Estructural

Las estructuras mayores del área de estudio consisten en dos bloques en los cuales están expuestos el basamento y su cubierta mesozoica y cenozoica. En términos generales, los bloques comparten el mismo registro estratigráfico: El basamento se encuentra cubierto por una sucesión del Cretácico temprano, primero por los clásticos de la formación Santa Lucía (Magdalena de Ortega-Guerrero, 1989; Morales-Yáñez, 2012) y ésta a su vez está cubierta concordantemente por la Caliza Cipiapa (Coyotepec de Ortega-Guerrero, 1989). Esas unidades estratigráficas se encuentran cubiertas discordantemente por la sucesión cenozoica compuesta por la Formación Acatepec, Andesita Cerro Prieto y los depósitos de aluvión. El arreglo estructural de la sucesión cretácica caracteriza a los bloques (Figura 2). El basamento y la cobertura del bloque Santa Lucía (bloque noroeste) tienen un rumbo general hacia el noroeste y se inclina hacia el noreste, mientras que para el bloque San Miguel presentan un rumbo general este-oeste y una inclinación hacia el sur. Los bloques están yuxtapuestos por la zona de falla Santiago-Acatepec. En el bloque Santa Lucía está la Falla Pozo Hondo, falla sinsedimentaria mesozoica de orientación general sureste-noroeste que yuxtapone a la Caliza Cipiapa con la Formación Agua del Cordero de la Formación Zapotitlán (Mendoza-Rosales, 2010). Dado que el análisis cinemático de las fallas que acomodaron la deformación cenozoica del área es uno de los objetivos principales del presente trabajo, fue necesario el reconocimiento de las múltiples fallas que dislocan la zona de estudio e involucran inclusive a la sucesión cenozoica, algunas de ellas son mesozoicas y experimentaron reactivación durante el Cenozoico, cada una posee diferentes características, tanto en la cinemática como en su edad. Reconocí 11 estructuras disyuntivas: Falla Acatepec, Falla Chazumba, Falla Frontera, Falla La Palma, Falla El Pirul, Falla Santiago, Falla La Campana, Falla Moctezuma, Falla Pajarito, Falla Pozo Hondo, Falla San Miguel. En la Tabla 3 se presentan las características geométricas y cronológicas de las fallas reconocidas en este trabajo. Es importante mencionar que algunas fallas presentes en la zona de estudio presentan un arreglo similar al propio de las fallas mayores del sur de México mostradas en la Figura 1.

**Características geométricas y cronológicas de las fallas reconocidas en este trabajo.**

Fallas con orientación al NE	Nombre	Rumbo	Longitud	Tipo de falla	Edad (basada en las relaciones de corte)	Salto
	<b>F. Acatepec</b>	N25°E	2170 m (1500 m inferido)	Normal, bloque caído hacia el norte.	Mesozoico, parcialmente sepultada, en el bloque levantado afloran las rocas del basamento (Complejo Acatlán)	---
	<b>F. Chazumba</b>	N40°E Flexiones S71°E, N32°E	870 m Flexiones 160m y 145m	Normal, bloque caído hacia el sureste.	Cenozoica, corta a las Andesitas Cerro Prieto	170m
	<b>F. Frontera</b>	N34°E	180 m	Normal, bloque caído hacia el sureste.	Cenozoica, corta a la Formación Agua del Cordero y condicionó la acumulación de los miembros Conglomerado Frontera y Caliza Rancho Pajarito de la Formación Acatepec.	---
	<b>F. La Palma</b>	N62°E	400m expuesta + 1300m inferida	Normal, bloque caído al sur-sureste	Cenozoica, corta a las unidades Caliza Cipiapa y la Formación Santa Lucía	300m
	<b>F. El Pirul</b>	N72°E	700m	Normal, bloque caído hacia el norte.	Su origen dependió de la falla Acatepec, su edad es Cenozoica, corta a las Andesitas Cerro Prieto	190m

	<b>F. Santiago</b>	N52°E	2000m (+ 400m inferido)	Lateral izquierda con reactivación Normal	Cenozoica, corta a las Andesitas Cerro Prieto, 400m Cubierto por caliche.	115m
<b>Fallas con orientación al SE</b>	<b>F. La Campana</b>	S63°E	1785 m (740 m inferido)	Normal, bloque caído hacia el sur-suroeste.	Cenozoica, corta a la Formación Santa Lucía y condicionó la acumulación del Conglomerado Atzumba, está cubierta por Pajarito y las unidades Cenozoicas.	565m
	<b>F. Moctezuma</b>	S74°E	200 m	Normal, bloque caído hacia el noreste.	Cenozoica, corta a las unidades de la Formación Acatepec.	---
	<b>F. Pajarito</b>	S36°E	370 m	Normal, bloque caído hacia el Noreste.	Cenozoica, condicionando la acumulación de la Formación Acatepec.	---
	<b>F. Pozo Hondo</b>	S35°E	2100 m	Lateral izquierda, con reactivación Normal.	Mesozoica, condicionó el depósito de la Formación Agua del Cordero.	450m
	<b>F. San Miguel</b>	S75°E	200 m	Normal, bloque caído hacia el sur.	Cenozoica, corta a las Andesitas Cerro Prieto	170m
<b>Orientación al NW</b>	<b>Falla Tianguistengo</b>	N30°W	16000 m	Falla Normal	Delimita al Plutón Totoltepec y a la Formación Tecomate del Complejo Acatlán.	---

Tabla 3. Características de las fallas reconocidas en la zona de deformación.

### Falla Tianguistengo

Ésta estructura se localiza al Suroeste de la zona de estudio, tiene un rumbo de N30°W y una longitud de 16 km aproximadamente con 5.5 km inferidos. Kirsch *et al.*, (2012) mencionan a la falla Tianguistengo como una falla normal que delimita al Plutón Totoltepec y a la Formación Tecomate del Complejo Acatlán.

### Falla Pozo Hondo

De acuerdo a Ferreira-Hernández e Islas-Blanco (2009), la Falla Pozo Hondo presenta un rumbo general de S35°E y yuxtapone a la Caliza Cipiapa (Albiano-Cenomaniano), con la Formación Agua del Cordero (Barremiano Temprano) y con una unidad pequeña del Complejo Acatlán, se extiende a rumbo por aproximadamente 21 km, su extremo sureste se ubica a 4.5 km al noreste de Chazumba, Oaxaca. La Falla Pozo Hondo es una falla mesozoica que divide al área en dos regiones, en la noreste está expuesto la Formación Agua del Cordero; mientras en la zona suroeste queda expuesto el basamento (Complejo Acatlán) y su cobertura las formaciones Santa Lucía y la Caliza Cipiapa. Ferreira-Hernández e Islas-Blanco (2009) caracterizan a la Falla Pozo Hondo con carácter normal durante el Cretácico, así, en el bloque hundido aflora la Formación Agua del Cordero y en el bloque levantado aflora la Caliza Cipiapa y el basamento.

### Falla Acatepec

La falla Acatepec fue propuesta por primera vez por Mendoza-Rosales (2010); quién la describe como una falla parcialmente sepultada, con una orientación NE-SW con un arreglo perpendicular a la falla Pozo Hondo y ortogonal a la Falla Caltepec. Es una falla normal parcialmente sepultada con rumbo N25°E. En el bloque hundido afloran las unidades mesozoicas (afectando a la Formación Agua del Cordero) y también se encuentran afectadas las unidades cenozoicas (Formación Acatepec y Andesita Cerro Prieto), lo cual indica que es una falla de edad mesozoica que tuvo una reactivación cenozoica. En el bloque de piso aflora el basamento (Complejo Acatlán), la estructura se extiende aproximadamente 900 m.

### Falla Chazumba

La Falla Chazumba tiene un rumbo general de N40°E disloca a la Formación Acatepec, se extiende 1220 m de los cuales 170 m son inferidos tiene un salto de 170 m. Esta estructura

se trata de una falla normal con bloque caído hacia el sur-sureste del Bloque San Miguel. De acuerdo a la edad que presentan las unidades afectadas se infiere que su edad es cenozoica, ya que yuxtapone a los miembros de la Formación Acatepec: Caliza Rancho Pajarito, Miembro Tobáceo Inferior, y a la Andesita Cerro Prieto. A lo largo de la falla presenta dos flexiones las cuales tienen las siguientes características:

Flexión 1: Falla Normal con orientación hacia el S71°E, y de longitud de 160 m.

Flexión 2: Falla Normal con orientación hacia el N32°E y de longitud de 145 m.

### **Falla Frontera**

La Falla Frontera presenta una orientación general de N34°E, tiene una extensión de 180 m y su salto es indiferenciado. El tipo de estructura se define como una falla normal con el bloque caído hacia el sureste, su edad inferida es cenozoica, corta a la Formación Agua del Cordero (Barremiano) y en consecuencia condicionó la acumulación de la Formación Acatepec.

### **Falla La Palma**

La Falla La Palma aflora al Noroeste de la Falla Santiago, tiene un rumbo general de N62°E yuxtapone a las siguientes unidades: formación Santa Lucía (Barremiano), Caliza Cipiapa (Albiano – Cenomaniano), tiene una longitud de 1700 m, de los cuales 400 m están expuestos y 1300 m son inferidos, se interpreta que se extiende hasta tener contacto con la Falla Pozo Hondo y se encuentra cubierta por las unidades de la Formación Acatepec y la Andesita Cerro Prieto. Es una falla de tipo normal con bloque caído hacia el sureste (Caliza Cipiapa), es de edad cenozoica, pues condicionó el depósito de la Formación Acatepec, el salto de la falla es alrededor de 300 m.

### **Falla El Pirul**

La Falla El Pirul aflora al Sureste de la falla Santiago presenta un rumbo general de N72°E, yuxtapone a la Formación Acatepec (particularmente a los miembros: Conglomerado Frontera, Caliza Pajarito, Miembro Tobáceo Inferior) con la Andesita Cerro Prieto.

Su origen provino de la reactivación de la Falla Santiago en el Cenozoico, pues se pueden identificar a las unidades de ese tiempo. Es una falla normal con bloque caído hacia el noroeste en donde se pueden observar a la Andesita Cerro Prieto y como bloque de techo

nuevamente al Miembro Tobáceo Inferior de la Formación Acatepec. Esta falla se extiende 700 m y tiene un salto aproximado de 190 m.

### **Falla Santiago**

En el presente trabajo describo a la Falla Santiago como parcialmente sepultada y con un rumbo general de N52°E. La estructura se extiende a rumbo alrededor de 2400 m en donde 2000 m están expuestos y 400 m son inferidos abajo de los depósitos aluviales) y tiene un salto de 300 m aproximadamente. La Falla Santiago yuxtapone a la Caliza Cipiapa (Albiano - Cenomaniano), a la formación Santa Lucía (Barremiano-Aptiano) y al conglomerado Atzumba. Hacia el noreste de la falla, se observan también las unidades cenozoicas que están siendo afectadas incluyendo hasta las Andesitas Cerro Prieto (Cenozoico).

Se trata de una falla lateral izquierda con una reactivación normal al noreste de la discontinuidad, se observan las separaciones en donde comienzan los afloramientos de las Andesitas Cerro Prieto y el Miembro Tobáceo Inferior (Mapa 1); yuxtapone a la Andesita Cerro Prieto (bloque de piso) y la Miembro Tobáceo Inferior de la formación Acatepec (bloque de techo). Debido a que la estructura condicionó el depósito de la Formación Acatepec, infero una edad cenozoica, con una reactivación normal concluyendo su movimiento para dar paso al depósito de aluvión.

### **Falla La Campana**

La Falla La Campana tiene un rumbo general S63°E, yuxtapone a las siguientes unidades: formación Santa Lucía (Barremiano-Aptiano), Conglomerado Atzumba (Cenozoico) y está cubierta por la Formación Acatepec (Cenozoico).

Es una falla normal con bloque caído hacia el suroeste, donde aflora el Conglomerado Atzumba. Considero que el origen de la estructura es el mismo de la Falla Santiago (cenozoica), solo que a diferencia de ella, la Falla La Campana no tuvo alguna reactivación posterior, se observa cubierta por los miembros: Conglomerado Frontera, Caliza Rancho Pajarito y Caliza Moctezuma, todos de la Formación Acatepec, por lo tanto, se infiere que su edad es cenozoica. Tiene una extensión de 2525 m de las cuales 740 m son inferidos y un salto de 570 m.

### Falla Moctezuma

La Falla Moctezuma aflora al Noroeste de la Falla Acatepec, tiene una orientación de  $S74^{\circ}E$ , es de tipo normal con el bloque caído hacia el noreste, tiene una longitud de 200 m y su salto es indiferenciado. La falla corta a los miembros de la Formación Acatepec (Miembro Rancho Pajarito, Miembro Conglomerado Frontera, Miembro Tobáceo Inferior) con lo cual se infiere que su edad es cenozoica.

### Falla Pajarito

La Falla Pajarito aflora, al igual que la Falla Moctezuma, al Noroeste de la Falla Acatepec; es una falla normal con bloque caído hacia el noreste, presenta un rumbo general de  $S36^{\circ}E$  tiene una longitud de 370 m y su salto es desconocido. Está en contacto de manera ortogonal con la Falla Acatepec. Considero que la edad de la estructura es cenozoica, pues corta al Miembro Agua del Cordero (Barremiano) y al igual que la Falla Frontera, condicionó la acumulación de los miembros que constituyen a la Formación Acatepec.

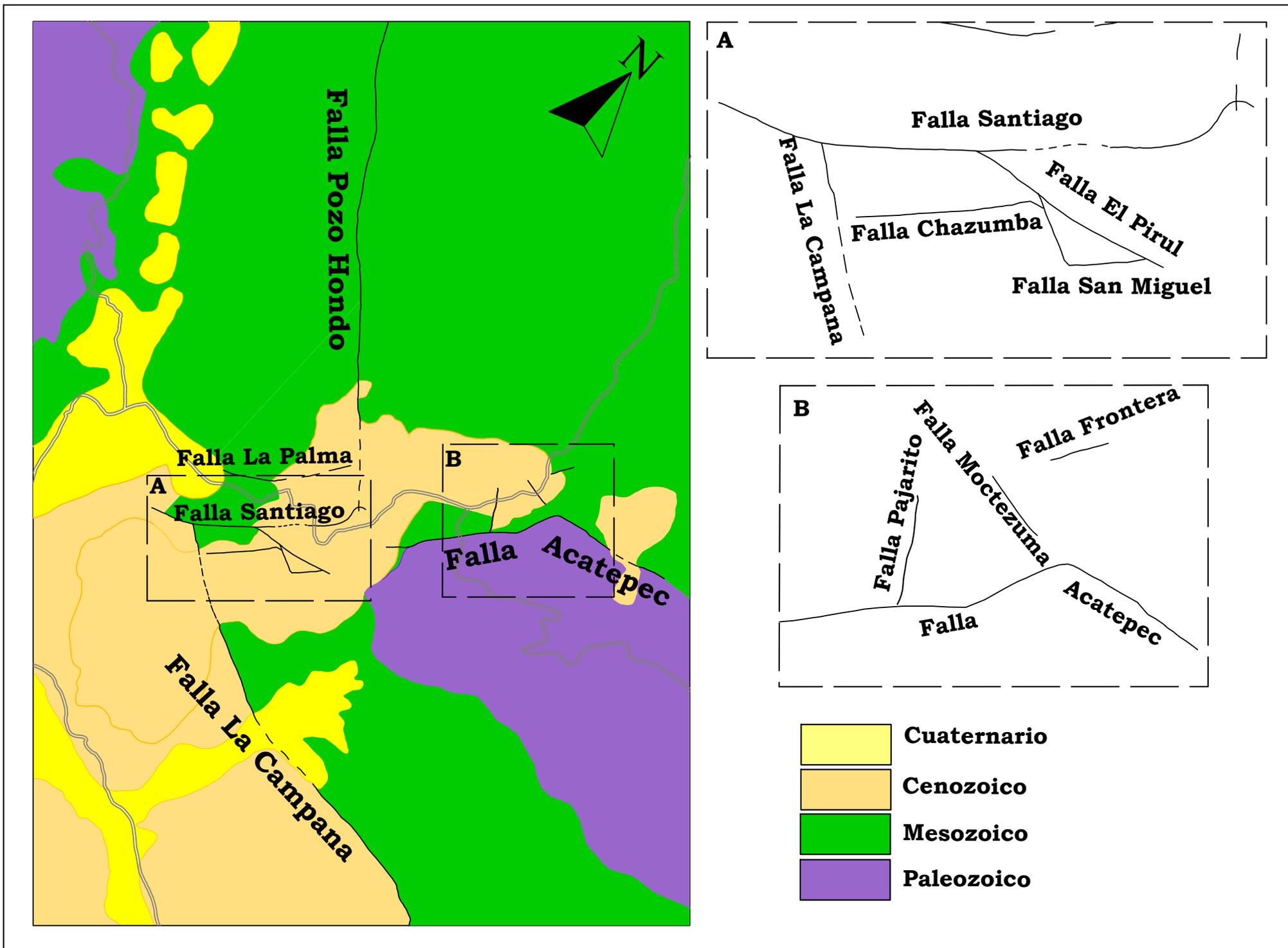
### Falla San Miguel

La falla San Miguel es una falla normal con orientación hacia el  $S75^{\circ}E$ , está en contacto con la Falla El Pirul y la Falla Chazumba. El bloque caído va hacia el sur (Andesita Cerro Prieto). Tiene una longitud de 200 m y un salto de 170 m. La estructura está en contacto ortogonal con la Falla Chazumba, la cuales ponen en contacto por falla al Miembro Tobáceo Inferior y a la Andesita Cerro Prieto, por lo que se estima que la edad de la falla es cenozoica.

A diferencia de las fallas en la zona de acomodo entre los bloques, las fallas Pozo Hondo y La Campana presentan orientaciones diferentes a las orientaciones de las fallas restantes. La falla Pozo Hondo presenta una orientación similar, paralela a la Falla Oaxaca. En la Figura 4 se muestra con más claridad la distribución de las fallas en la zona de acomodo.

La Falla La Campana es una falla cenozoica, se encuentra en el Bloque San Miguel, ésta falla tiene una orientación similar paralela a la Falla Chacalapa.

Las fallas La Palma, Chazumba, El Pirul, Santiago y Acatepec son ortogonales a la Falla Caltepec y Oaxaca se trata de las estructuras que se acomodan a la deformación rotacional entre los bloques.



**Figura 4: Ubicación de las fallas locales en el área de estudio**

## Rotación relativa entre los Bloques: San Miguel y Santa Lucía.

Como ya se expresó, el basamento de los Bloques Santa Lucía y San Miguel corresponde a la Formación Tecomate del Complejo Acatlán, la cual presenta múltiples fases de deformación que se manifiestan en los pliegues de la foliación. Con el fin de documentar la correspondencia entre los bloques y cuantificar en su caso la rotación relativa entre ellos, procedí a caracterizar los pliegues menores que presenta la foliación en dos localidades clave para la obtención de datos en la Formación Tecomate del Complejo Acatlán.

La recolección de datos en el Bloque Santa Lucía se realizó en las inmediaciones del punto de coordenadas  $18^{\circ} 13'N$ ,  $97^{\circ} 41'W$  (véase en Mapa 1), en esta localidad, a lo largo del cauce de un arroyo, se encuentra expuesta la Formación Tecomate, en la cual presenta diversas familias de pliegues. Cerca del lugar se observa el contacto discordante entre las formaciones Tecomate y Santa Lucía. La localidad en el Bloque San Miguel se localiza también en el lecho de un arroyo, corresponde con el entorno del punto de coordenadas geográficas  $18^{\circ}12'N$ ,  $97^{\circ}37'W$  (Mapa 1).

En ambos bloques se reconocieron diferentes familias de pliegues que son de escala métrica a centimétrica. Estos pliegues son la evidencia de los diferentes eventos de deformación que han afectado al basamento. Se reconocieron pliegues angulares (tipo chevrón y tipo kink) y cilíndricos. De acuerdo a Fleuty (1964) con base en el ángulo interflancos, los pliegues se pueden clasificar en isoclinales, apretados, cerrados, abiertos y suaves. En el área de estudio se obtuvieron datos de flancos, planos axiales y charnelas, con ayuda de una faceta estructural y una brújula tipo Brunton. Los pliegues caracterizados abarcan desde apretados a suaves. Caractericé 107 pliegues menores, 60 en el Bloque San Miguel y 47 en el Bloque Santa Lucía.

Posteriormente procesé los datos planares y lineales colectados en el software Stereo 32 en el hemisferio inferior de la Red de Schmidt, esto con el fin de ver cada uno de ellos graficados y descartar los datos que no fueron obtenidos correctamente en campo. En este proceso se descartaron 13 pliegues del Bloque San Miguel y 11 del Bloque Santa Lucía, lo que redujo la cantidad a 47 y 36 datos respectivamente. Después de haber procesado los datos obtenidos en campo con ayuda del software conseguí los datos teóricos correspondientes al plano axial y la línea de charnela para cada uno de los pliegues, asumiendo que se tratara de pliegues simétricos.

Los pliegues de cada bloque fueron agrupados en familias, tomando en cuenta principalmente el rumbo y echado de los planos axiales y la orientación de las líneas de charnelas, tanto los tomados en campo como los teóricos. Teniendo lista esta agrupación, se consideró para cada una de las familias el rango de amplitud del ángulo inter-flancos,

pues con este parámetro se compararon los pliegues de cada bloque con los propios del otro bloque, para encontrar alguna similitud entre ellos. Los rangos de amplitud fueron clasificados y nombrados de acuerdo a su ángulo entre los flancos (Fleuty, 1964), así resultaron a 9 familias en el Bloque San Miguel y 8 familias en el Bloque Santa Lucía, fue necesario imprimir cada una para compararlas visualmente tomando en cuenta las orientaciones predominantes y después el rango de amplitud que poseen. Después con la opción de diagramas de densidades del software, calculé las orientaciones y charnelas preferenciales de ambos grupos de familias, obtuve dos datos para el plano axial y para la línea de charnela en cada familia, uno tomado en campo y otro “teórico” que obtuve con el software, con esta prueba reconocí que los datos tomados en campo son consistentes, así los teóricos me sirvieron para corroborar que mi proceso en campo fue el correcto. En este último procedimiento se descartaron 2 familias de San Miguel y 1 de Santa Lucía, ya que los datos arrojados por el software salían muy dispersos comparados con los datos obtenidos en campo, con lo cual quedaron 7 familias en ambos bloques. Posteriormente las gráficas obtenidas siguieron nuevamente el proceso de impresión y comparación entre una zona y otra, tal como en los diagramas anteriores.

Para comprobar la congruencia de los pliegues menores en cuanto a los resultados arrojados por el software y verificar la similitud entre las familias conciliadas, elegí los flancos preferenciales, esto con el fin de hacer una comparación con los planos axiales calculados con el programa.

Para determinar cuál de los ángulos que forman los flancos preferenciales (agudo-obtuso) es el que necesito me basé en los valores de los ángulos que presenta cada familia y así fui descartando uno para cada familia, igualmente me basé también en la orientación de los planos axiales y charnelas que tenía con anterioridad. De esta manera conseguí nuevas gráficas, cada una con sus flancos, planos axiales y charnelas preferenciales.

En la Figura 5A y 5B se muestran dos diagramas sintéticos con las orientaciones preferenciales de los planos axiales y sus charnelas correspondientes a los pliegues menores que presenta la foliación en el basamento de los bloques, en los cuales se identificaron 7 familias con las características que se presentan en la Tabla 4:

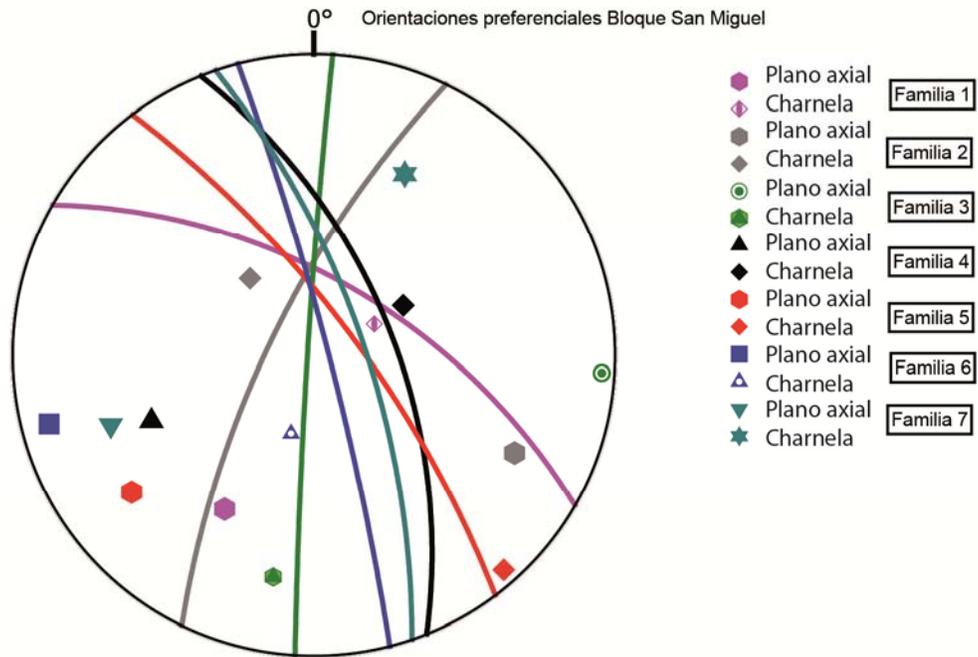


Figura 5A. Diagrama estereográfico que ilustra las orientaciones preferenciales de superficies axiales y charnelas de las familias identificadas en el basamento (Formación Tecomate) del Bloque San Miguel.

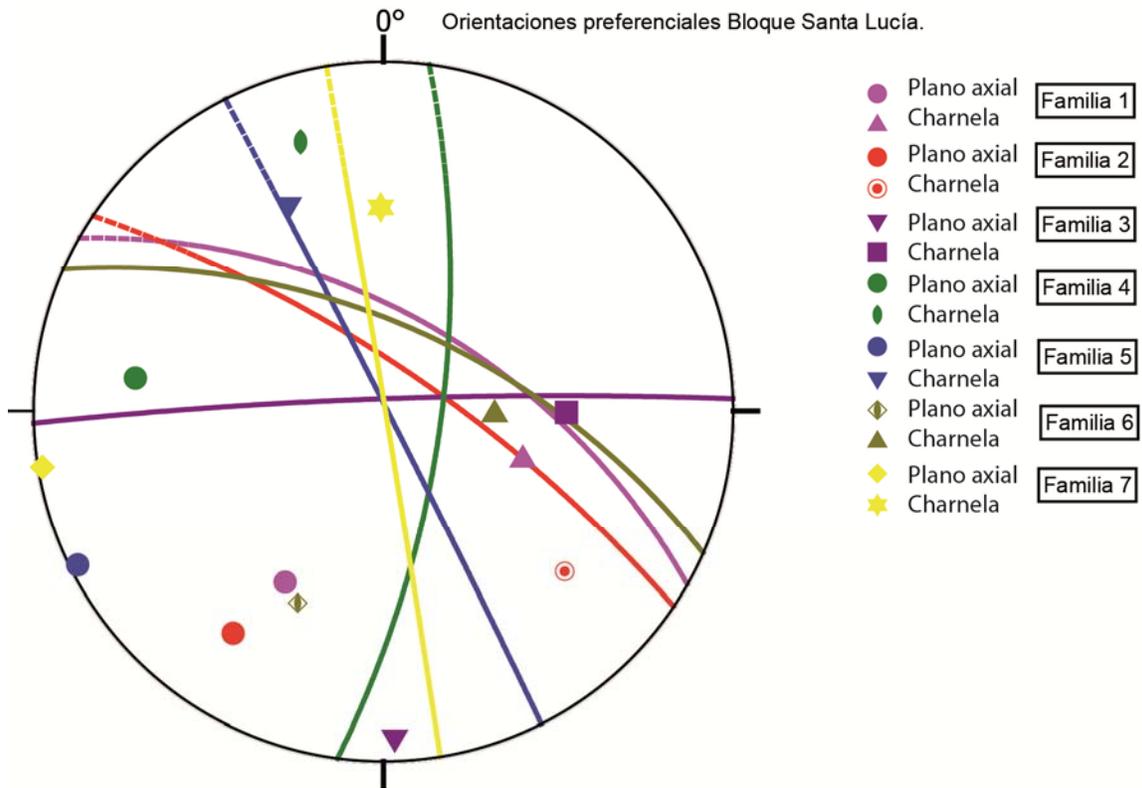


Figura 5B. Diagrama estereográfico que ilustra las orientaciones preferenciales de superficies axiales y charnelas de las familias identificadas en el basamento (Formación Tecomate) del Bloque Santa Lucía.

Tabla 4) Familias de pliegues menores en la foliación del Complejo Acatlán en los bloques San Miguel y Santa Lucía.

Bloque San Miguel				Bloque Santa Lucía			
Familia y Numero de pliegues	Orientación general de la superficie axial	Clasificación del Pliegue (Fleuty,1964)	Rangos de amplitud entre flancos.	Familia y Numero de pliegues	Orientación general de la superficie axial	Clasificación del Pliegue (Fleuty,1964)	Rangos de amplitud entre flancos
Familia SM-1 n=3	NE	Abierto	80.9-109.6	Familia SL-1 n=8	NE-SW	Abierto	80.1-109.6
Familia SM-2 n=10	NW	Suave	127.4-164.1	Familia SL-2 n=2	NE	Suave	125.4-143
Familia SM-3 n=8	NE-SW	Abierto	77-117.5	Familia SL-3 n=3	SE	Abierto	109.3-119
Familia SM-4 n=9	NE-SW	Cerrado	38.1-68.1	Familia SL-4 n=4	NE	Abierto	87.5-119.7
Familia SM-5 n=4	NE	Suave	125.3-149.2	Familia SL-5 n=3	SW	Cerrado	36.5-60.7
Familia SM-6 n=3	NE	Cerrado	38.1-68	Familia SL-6 n=3	NE	Cerrado	32.9-54.9
Familia SM-7 n=3	NE	Apretado	6.8-28.7	Familia SL-7 n=13	NE-SW	Suave	120.4-149.8

En este procedimiento se identificaron a las familias que tienen una contraparte similar en el bloque opuesto. Las familias están marcadas en color rojo y se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5) Familias de pliegues menores de cada bloque cuyos parámetros presentan similitudes entre los bloques, para fines prácticos se cambiaron los nombres a familias "A, B, C y D" en ambos bloques, resaltando las familias equivalentes.

Bloque San Miguel			Bloque Santa Lucía		
Familia SM	Orientación general de la superficie axial	Clasificación del Pliegue (Fleuty,1964)	Familia SI	Orientación general de la superficie axial	Clasificación del Pliegue (Fleuty,1964)
Familia A (Familia SM-5)	NE	Suave	Familia A (Familia SL-2)	NE	Suave
Familia B (Familia SM-3)	NE-SW	Abierto	Familia B (Familia SL-4)	NE	Abierto
Familia C (Familia SM-1)	NE	Abierto	Familia C (Familia SL-1)	NE-SW	Abierto
Familia D (Familia SM-6)	NE	Cerrado	Familia D (Familia SL-5)	SW	Cerrado
Familia SM-2	NW	Suave	Sin correspondencia		
Familia SM-4	NE-SW	Cerrado	Sin correspondencia		
Familia SM-7	NE	Apretado	Sin correspondencia		
Sin correspondencia			Familia SL-7	NE-SW	Suave
Sin correspondencia			Familia SL-3	SE	Abierto
Sin correspondencia			Familia SL-6	NE	Cerrado

## Discusión

Una vez que reconocí la correspondencia entre las cuatro familias de pliegues menores en la foliación de la Formación Tecomate, validé la asignación con una prueba estructural. Del análisis de los valores de amplitud y la orientación relativa entre las familias, elegí a las familias "A" de ambos bloques (Figura 6) comprobando la correspondencia del conjunto de pliegues en cada bloque, mediante una rotación relativa, para lo cual hice una primera rotación de uno de los datos obtenidos con respecto al otro y encontrar el giro necesario para que una de las trazas ciclográficas y la charnela elegida adopten la posición de la familia contraria.

La familia A de San Miguel es la que adoptará la posición de la familia A de Santa Lucía obteniendo así un primer acercamiento a la rotación:

- Angulo de rotación agudo:  $18.3^\circ$
- Angulo de rotación obtuso:  $161.7^\circ$
- Eje:  $51.64^\circ, 74.30^\circ$

En este primer caso la familia A de San Miguel rotará  $18.3^\circ$  en sentido anti-horario con respecto a la familia A de Santa Lucía (ver Figura 7) alrededor de un eje inclinado  $74.30^\circ$  hacia una dirección  $051.64^\circ$ .

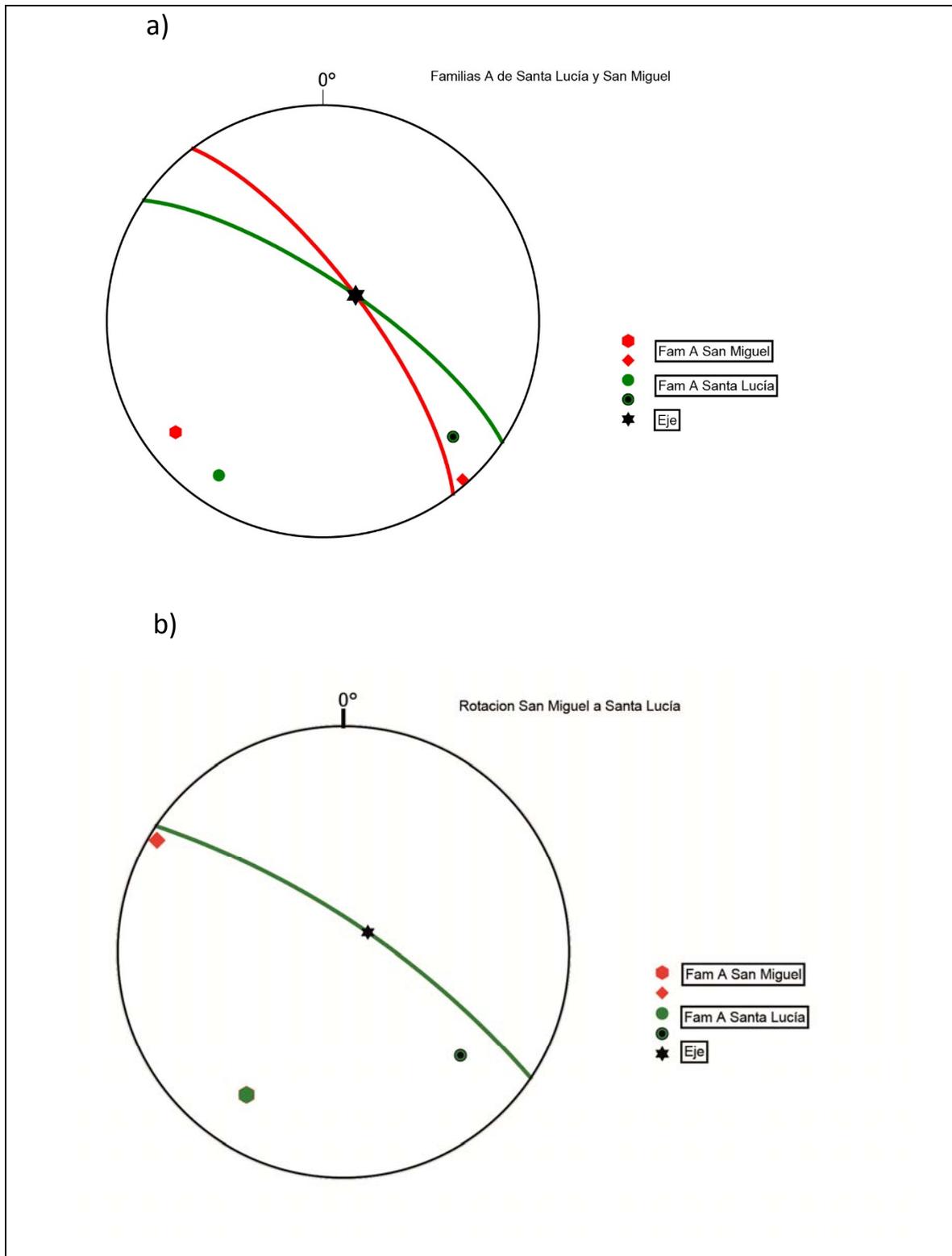


Figura 6. Diagramas de rotación de las Familias "A" de San Miguel y Santa Lucía. En la figura a) se observan las dos familias en su posición original. En la figura b) se observa que la Familia A de San Miguel (Familia SM-A) rotó con respecto a la posición de la Familia A de Santa Lucía (Familia SL-A). Diagramas en Proyección de área equivalente en el hemisferio inferior.

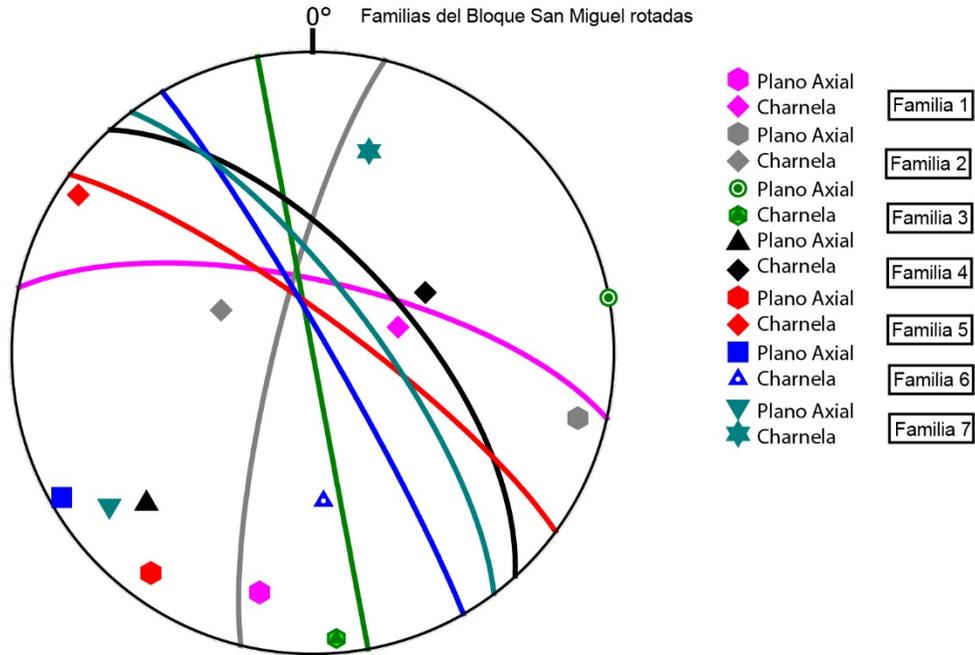


Figura 7. Diagrama rotado  $18.3^\circ$ , con un eje inclinado de eje inclinado  $74.30$  hacia una dirección  $051.64^\circ$ , de familias de San Miguel, con respecto a la Familia "SL-A"

Con el fin de visualizar la posible correspondencia entre las familias de pliegues reconocidas en los dos bloques, se desplegaron en un mismo diagrama, las cuatro familias semejantes de cada grupo, después de cambiar el color de las familias de cada bloque las familias del Bloque Santa Lucía se presenta en color azul en la Figura 8 y las del Bloque San Miguel en color rojo) Para poder visualizar una comparación de ambas zonas los dos grupos fueron empalmados en un mismo archivo, para tener una mejor lectura y distinción del grupo en el diagrama cambié el color para ambas zonas.

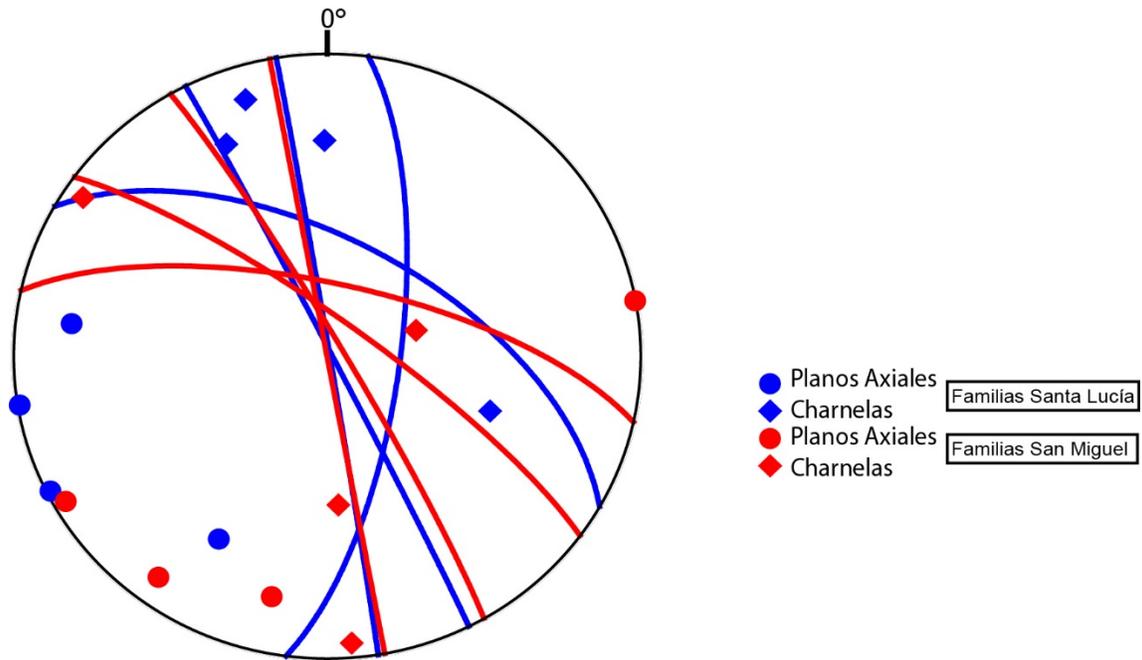


Figura 8. Diagrama de las 4 familias con su correspondencia en el bloque opuesto.

De acuerdo a la Figura 7 anterior el diagrama indica que las cuatro familias tomadas del Bloque San Miguel (líneas rojas) al ser rotadas y comparadas con la posición de las familias de Santa Lucía (líneas azules) tienden a ser equivalentes.

Para establecer una condición original de los bloques, se tomaron en cuenta la disposición estructural que presenta la cobertura cretácica, en la cual no se observa deslizamiento con respecto al basamento (Formación Tecamate) y si una ligera discordancia entre la formación Santa Lucía y Caliza Cipiapa. Se realizó una corrección estructural doble con base en la inclinación que presentan ambas formaciones. En la Figura 9 se observa la posición actual los pliegues menores en ambos bloques. Los valores de la estratificación de las unidades clásticas son:

Para el Bloque San Miguel:

- ( $S_0$ ) formación Santa Lucía:  $S84^\circ E, 21^\circ$  y ( $S_0$ ) Caliza Cipiapa:  $N84^\circ E, 23^\circ$ .

Para el Bloque Santa Lucía:

- ( $S_0$ ) formación Santa Lucía:  $N40^\circ W, 32^\circ$  y ( $S_0$ ) Caliza Cipiapa:  $N42^\circ W, 15^\circ$ .

Familias de pliegues menores en los Bloques San Miguel y Santa Lucía

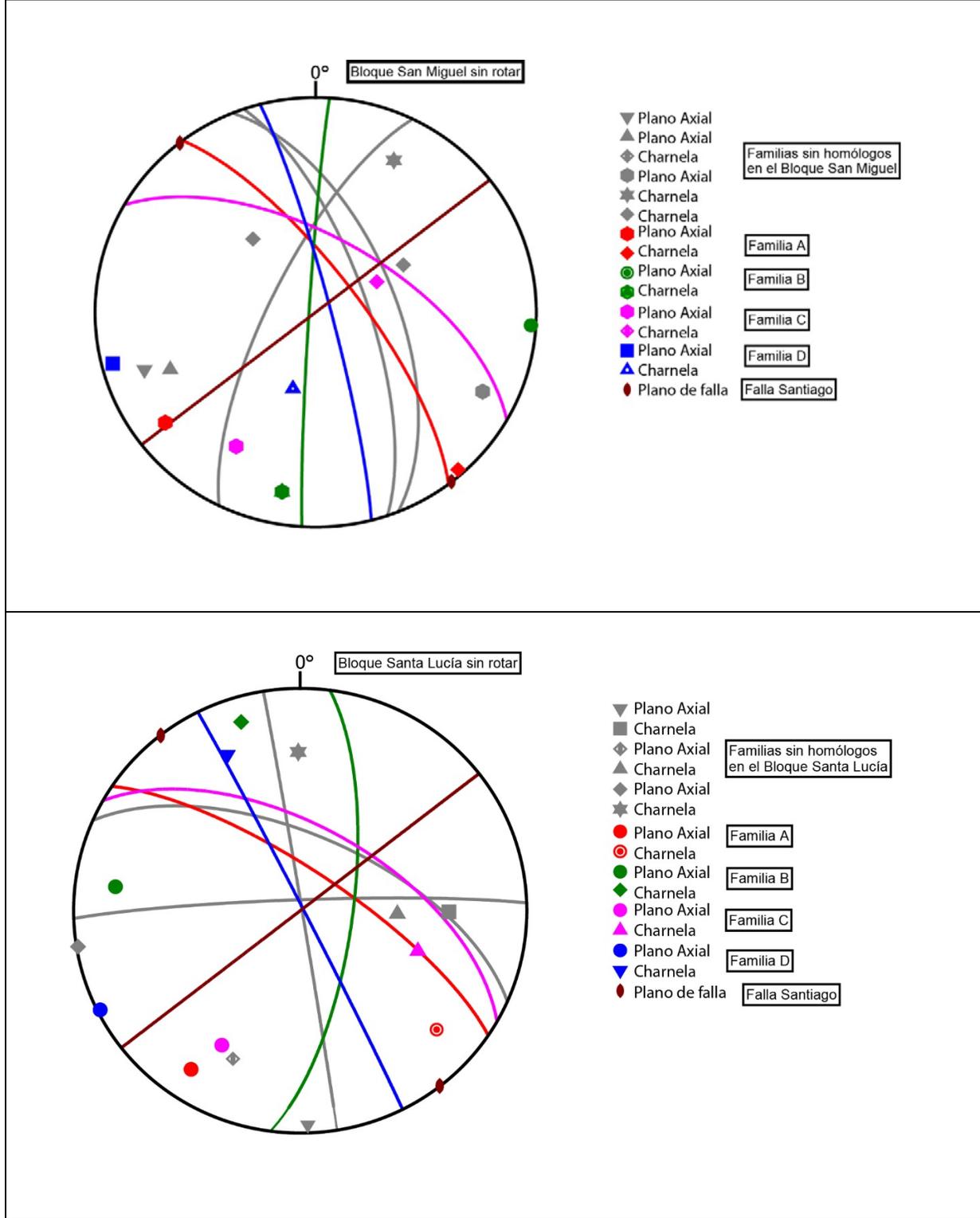


Figura 9: Diagramas de la posición actual de las familias de pliegues menores en el Bloque San Miguel y Santa Lucía

Con estos datos se realizaron 2 rotaciones, en las cuales las familias del basamento giraron con respecto a la posición que presenta la estratificación ( $S_0$ ) de ambas; en donde  $S_0$  es llevado a su posición horizontal y presenta la reorientación de las familias de pliegues.

En el Bloque San Miguel se ejecutó primeramente con el valor  $S_0$  de la Caliza Cipiapa, el giro en sentido anti-horario de  $23^\circ$ , con un eje horizontal en dirección al NE  $84^\circ$ , posteriormente a ese diagrama obtenido se le realizó una segunda rotación con base en la estratificación de la formación Santa Lucía, por lo que se ejecutó un giro en sentido horario de  $05^\circ$ , con un eje horizontal con dirección al NE  $24^\circ$ .

Para el Bloque Santa Lucía, el valor  $S_0$  de la formación Santa Lucía es  $S38^\circ E$ ,  $17^\circ$  y para la Caliza Cipiapa registró un valor de  $N42^\circ W$ ,  $15^\circ$ . Seguí el mismo procedimiento realizado para el Bloque San Miguel, consiguiendo el primer giro en sentido anti-horario de  $15^\circ$ , con un eje horizontal en dirección al NW  $42^\circ$ , posteriormente realicé el segundo giro en sentido horario de  $17^\circ$ , con un eje horizontal con dirección al SE  $38^\circ$ .

En la Figura 10 se ilustran los procesos realizados para la rotación de ambos bloques. De acuerdo a esta, en el renglón "a" se observan a ambos grupos de pliegues y las estratificaciones de la formación Santa Lucía y Caliza Cipiapa en sus posiciones actuales.

En el renglón "b" se observan el giro correspondiente con las estratificaciones de la Caliza Cipiapa, quedado estas en posición horizontal. En el diagrama del Bloque San Miguel se observa a las familias de pliegues tener una dirección noroeste-sureste pero con una inclinación casi vertical, mientras que en el Bloque Santa Lucía las familias comparten las direcciones similares al Bloque San Miguel, pero con el giro se comportan de manera distinta, ya que tienden a inclinarse hacia el noreste.

En el renglón "c", después del segundo giro, se observan a la formación Santa Lucía, estar en su posición horizontal, la inclinación de las familias del Bloque San Miguel siguen siendo verticales. Para el bloque Santa Lucía, las familias tienden a inclinarse hacia el noreste.

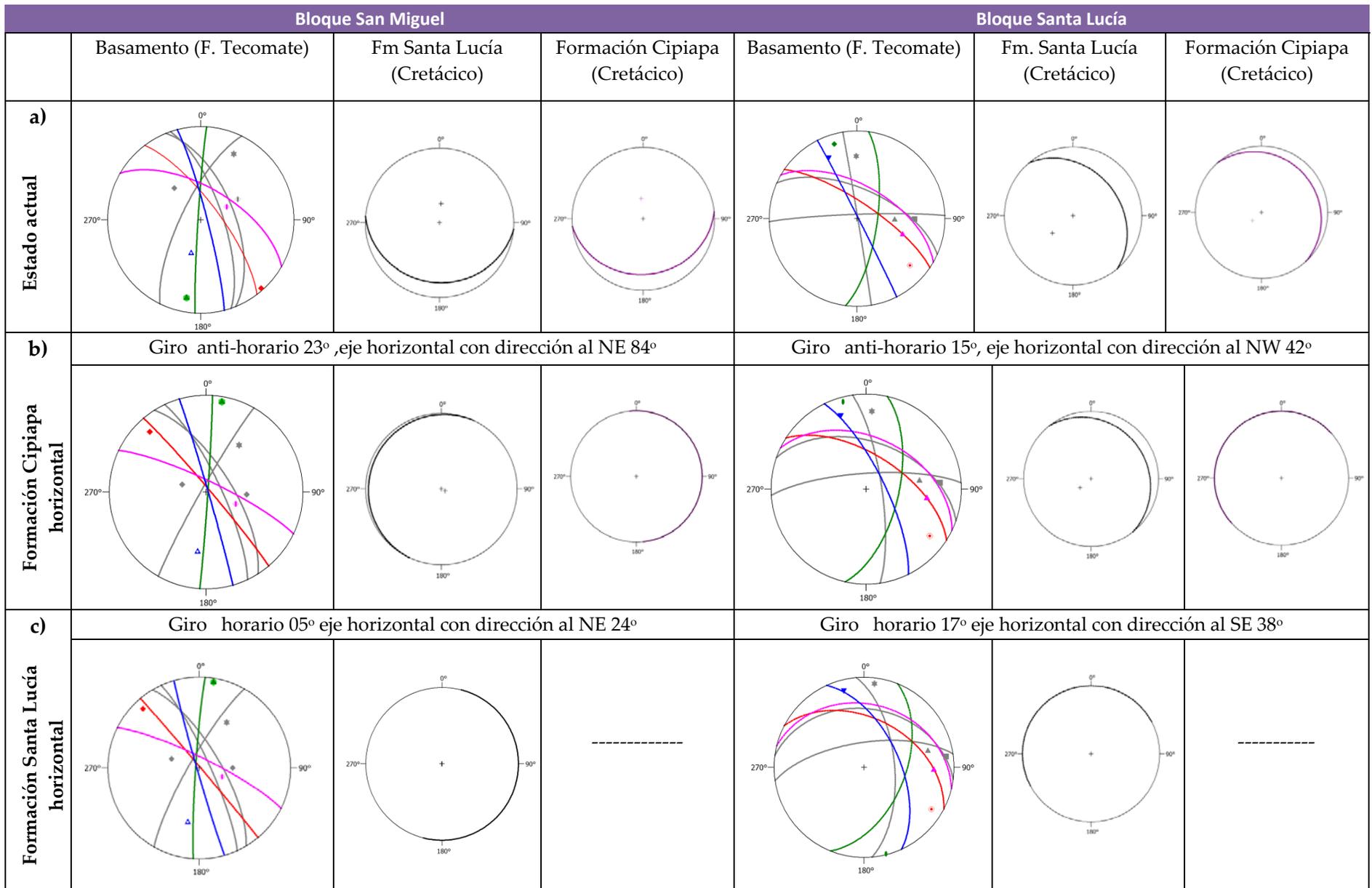


Figura 10. Cronología de la rotación de en ambos bloques: a) Posiciones en el estado actual, b) Posiciones en el primer giro de acuerdo al S0 de la Formación Cipiapa, c) Posiciones en el segundo giro de acuerdo al S0 de la Formación Santa Lucía.

Como se observa en la Figura 10 conforme se van realizando las rotaciones para ambos bloques, las familias de pliegues menores del bloque San Miguel van tomando una posición más vertical, siendo desigual a la posición que guardan las familias del Bloque Santa Lucía. Para determinar si sucedió algún movimiento posterior a los dos giros obtenidos en cada bloque y también que estos giros adicionales hayan determinado la posición actual del Bloque San Miguel, se ejecutaron los giros realizados para el Bloque Santa Lucía.

En la Figura 11 se observan la posición final de ambos bloques, en donde el estado de las familias del Bloque San Miguel tiende a inclinarse hacia el noreste, posición semejante a las que guardan familias del Bloque Santa Lucía, con estos diagramas se puede determinar que hubo 2 etapas de rotación: en el primer evento, ambos bloques experimentaron una rotación común y posteriormente el Bloque San Miguel tuvo una rotación independiente a Santa Lucía, por lo que los movimientos quedaron reconocidos de la siguiente manera:

El primer movimiento registrado fue para ambos bloques, con los siguientes resultados, el primer giro en sentido anti-horario de  $15^\circ$ , en un eje horizontal con dirección al NW  $42^\circ$ , el segundo giro en sentido horario de  $17^\circ$ , con un eje horizontal en dirección al SE  $38^\circ$ .

Diagrama final de Bloque Santa Lucía

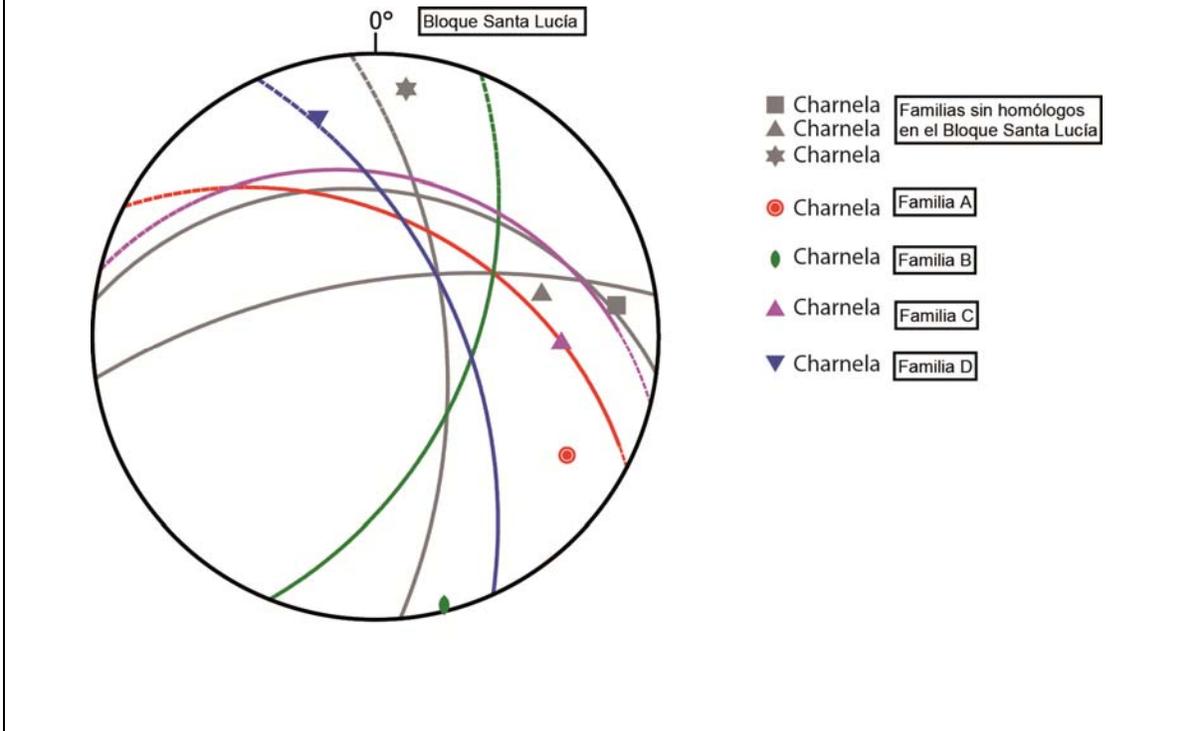


Diagrama final del Bloque San Miguel, con respecto a los giros del Bloque Santa Lucía, giro en sentido anti-horario de 15°, con un eje horizontal con dirección al NW 42° y posteriormente el giro en sentido horario de 17°, con un eje horizontal con dirección al SE 38°.

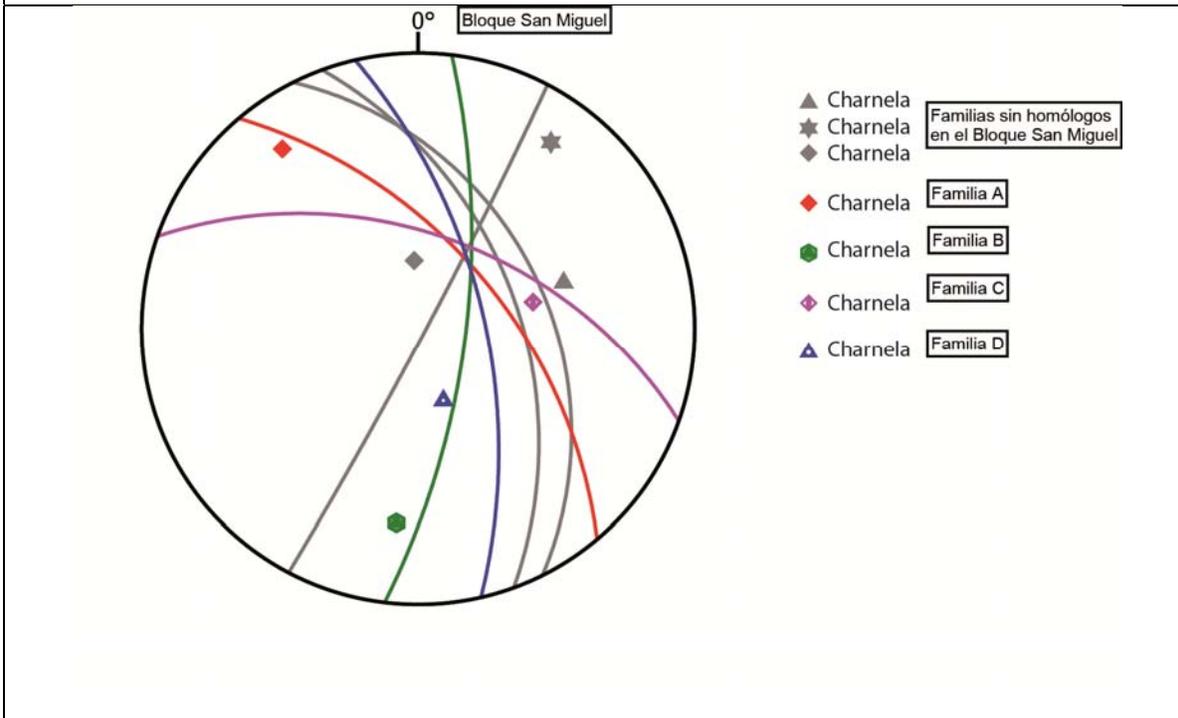


Figura 11. Diagramas de posiciones finales del Bloque San Miguel y Bloque Santa Lucía.

Como resultado de este proceso se determinaron 2 fases de deformación: en el primer evento se involucraron ambos bloques los cuales fueron condicionados por el movimiento establecido por los giros obtenidos en el Bloque Santa Lucía, el movimiento sucedió probablemente en el Paleoceno-Eoceno temprano y antes de su individualización conforme al sistema de fallas Santiago-Acatepec. Posteriormente ocurrió la rotación del Bloque San Miguel como respuesta a una fase de extensión en dirección norte-sur hacia el Oligoceno temprano cuando se acumuló la sucesión clástica expuesta en el área.

Como ya se ha comentado, en el área se han identificado y clasificado diversas discontinuidades, las cuales repercutieron en el acomodo de las unidades presentes en el área, ya sea que conforme iba sucediendo cada evento se provocó el reacomodo de las unidades ya depositadas en ese tiempo, o en su defecto, las fallas condicionaron la acumulación de las unidades de acuerdo a su movimiento.

La Falla La Palma es una falla cenozoica que corta desde el basamento hasta la formación Santa Lucía (Aptiano-Albiano) y la Caliza Cipiapa (Albiano-Cenomaniano), la falla está cubierta por las unidades de la Formación Acatepec y las Andesitas Prieto

La Falla La Campana es también una falla cenozoica que corta desde el basamento hasta la formación Santa Lucía. Ésta falla condicionó la acumulación del Conglomerado Atzumba de edad cenozoica y se encuentra cubierta por la Formación Acatepec.

La falla Santiago es una falla lateral izquierda con reactivación normal, tiene una edad mesozoica, corta desde el basamento, la formación Santa Lucía, tuvo una reactivación normal, se vieron afectadas las unidades cenozoicas la Formación Acatepec y las Andesitas Cerro Prieto, en algunas zonas la estructura está cubierta por caliche.

Las Fallas Pajarito y Frontera, son estructuras de edades cenozoicas, considero que son derivadas del primero movimiento de la Falla Santiago, cortan a la Formación Agua del Cordero y además condicionaron el depósito de las unidades de la Formación Acatepec.

Las fallas El Pirul y Chazumba son estructuras de edad cenozoica, resultaron de la reactivación normal de la Falla Santiago, a profundidad la falla El Pirul se extiende hasta estar en contacto con Santiago, mientras que la Falla Chazumba se extiende hasta estar en contacto con la Falla La Campana. Ambas fallas cortan a las unidades de la Formación Acatepec y la Andesita Cerro Prieto.

## Conclusiones

En el área de estudio se encuentra el límite entre dos bloques de basamento yuxtapuestos por el sistema de Fallas Santiago-Acatepec: El Bloque Santa Lucía y el Bloque San Miguel.

El Bloque Santa Lucía tiene su rumbo general sureste-noroeste y está limitado al noreste por la Falla Pozo Hondo, al suroeste por la Falla Tianguistengo, al noroeste está delimitado por la Falla El Gavilán.

El Bloque San Miguel tiene un rumbo general Oeste-Este, está comprendido entre las estructuras: al norte por la Falla Acatepec, al sur por la Falla La Campana, al oeste por la Falla Santiago-Acatepec.

El basamento de los bloques corresponde a la Formación Tecomate perteneciente al Complejo Acatlán.

En los bloques se reconoce una sucesión cretácica común formada por la Formación Santa Lucía y la Caliza Cipiapa.

En el área de yuxtaposición entre los bloques, se reconoce una sucesión cenozoica conformada por la Formación Acatepec y la Andesita Cerro Prieto.

Con base en la disposición de la cobertura cretácica, los bloques presentan una inclinación contrastada, el Bloque Santa Lucía se inclina hacia el noreste y el Bloque San Miguel hacia el sur.

En el basamento de los bloques se reconocieron cuatro familias de pliegues menores en la foliación de la Formación Tecomate, cuyo arreglo espacial se concilia con una rotación de  $18.3^\circ$  alrededor de eje inclinado  $74.30^\circ$  en una dirección NE  $51.64^\circ$ .

Se determinaron 2 fases de deformación: en la primer fase el movimiento presenta una edad Paleoceno-Eoceno temprano antes de su individualización conforme al sistema de fallas Santiago-Acatepec, que conforman la segunda fase; en la cual ocurrió la rotación del Bloque San Miguel hacia el Oligoceno temprano.

## Bibliografía

Barceló-Duarte, J., 1978. Estratigrafía y petrografía de San Juan Raya. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. Tesis de Licenciatura, p. 143.

Calderón-García, A., 1956. Bosquejo geológico de la región de San Juan Raya. XX Congreso Geológico Internacional. Excursión A-11.

Campa-Uranga, M.F.; Coney, P. J., 1983. Tectono-stratigraphic terranes and mineral resource distribution in Mexico. *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 20, no. 6, p. 1040-1051.

Ceballos-Berzunza, N.I., 2015. Sedimentología, deformación y cronología de la sucesión volcano-lacustre cenozoica en las cercanías de Chazumba, Oaxaca. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. Tesis de Licenciatura, en proceso.

De la Rosa-Mora, O. A., 2015. Caracterización estratigráfica y estructural de la cubierta Cenozoica en Cosoltepec, Oaxaca; sur de México. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. Tesis de Licenciatura, en proceso.

Elías-Herrera, M., Ortega-Gutiérrez, F., Sánchez- Zavala, J.L., Macías-Romo, C., Ortega-Rivera, A., Irondo, A., 2005. La Falla Caltepec: Raíces expuestas de una frontera tectónica de larga vida entre dos terrenos continentales del sur de México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. Volumen Conmemorativo del Centenario, Grandes Fronteras Tectónicas de México, t. LVII, no. 1, p. 83-109.

Ferreira-Hernández, N.H., Islas-Blanco, M., 2009. Análisis Cinemático de la Falla Pozo Hondo en la Región Mixteca, estados de Oaxaca y Puebla. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. Tesis de Licenciatura, p.65.

Fleuty, M.J. 1964. The description of folds . *Proc. Geol. Assoc. London*, 75: 461-492.

Helbig, M., Keppie, J.D., Brendan-Murphy, J., Solari-L.A., 2012. Exotic rifted passive margin of a back-arc basin off western Pangea: geochemical evidence from the Early Mesozoic Ayú Complex, southern México. *International Geology Review*, v. 22, no. 3, p. 910-927.

Keppie, J.D., Nance, R.D., Fernández-Suárez, J., Storey, C.D., Jeffries, T.E., Murphy, J.B., 2006. Detrital Zircon Data from the Eastern Mixteca Terrane, Southern Mexico: Evidence for an Ordovician–Mississippian Continental Rise and a Permo-Triassic Clastic Wedge Adjacent to Oaxaquia: *International Geology Review*, v. 48, p. 97–111.

Kirsch, M., Helbig, M., Keppie, J.D., Brendan-Murphy, J., Lee, J.B.M., Solari-L.A., 2014. A late Triassic tectonothermal event in the eastern Acatlán Complex, southern Mexico, synchronous with a magmatic arc hiatus: The result of flat-slab seduction? *Lithosphere*. The Geological Society of America, v.6, no.2, p. 63-79.

Kirsch, M., Keppie, J.D., Brendan-Murphy, J., Solari-L.A., 2012. Permian-Carboniferous arc magmatism and basin evolution along the western margin of Pangea: Geochemical and geochronological evidence from the eastern Acatlán Complex, southern Mexico. *Geological Society of America Bulletin*, v.124, no. 9/10, p. 1607-1628.

López-Ticha, D., 1985. Revisión de la estratigrafía y potencial petrolero de la cuenca de Tlaxiaco. *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, v.37, p. 49-92.

Martínez-Amador, H., Zarate-Barrada, R., Loaeza-García, J.P., Saenz-Pita, R., Cardozo-Vásquez, E.A., 2001. Carta Geológico-Minera Orizaba E14-6 Veracruz, Puebla y Oaxaca. Servicio Geológico Mexicano.

Mendoza-Rosales, C.C., 2010. Estratigrafía y facies de las cuencas Cretácicas del sur de Puebla y su significado tectónico. Universidad Nacional Autónoma de México, Posgrado en Ciencias de la tierra, Tesis Doctoral, 190 p.

Morales-Tolentino, A. K., 2014. Geología de las unidades clásticas del área de Chazumba, Oaxaca. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. Tesis de Licenciatura, p.86.

Morales-Yáñez, A., 2014. Estudio Paleoambiental de la Formación Magdalena, en Chazumba. Oax. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. Tesis de Licenciatura, p.45.

Morán-Zenteno, D.J., Caballero Miranda, C.I., Silva Romo, G., Ortega Guerrero, B., González Torres, E., 1993. Jurassic-Cretaceous paleogeographic evolution of the northern Mixteca terrane, southern Mexico. *Geofísica Internacional*, v.32, no, 3. p. 453-573.

Nieto-Samaniego, A.F., Alaniz-Álvarez., S.A., Ortega-Gutiérrez, F., 1995. Estructura interna de la Falla Oaxaca (México) e influencia de las anisotropías litológicas durante su actividad Cenozoica. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 2, no. 1, p.1-8.

Ortega-Guerrero, B., 1989, Paleomagnetismo y geología de las unidades clásticas Mesozoicas del área Totoltepec-Ixcaquixtla, Estados de Puebla y Oaxaca. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. Tesis de Maestría. Inédita.

Ortega-Gutiérrez, F., 1978, Estratigrafía del Complejo Acatlán en la Mixteca Baja, estados de Puebla y Oaxaca. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología. Revista v. 2, no. 2, p. 112-131.

Ortega-Gutiérrez, F., Sedlock, R. L., Speed, R. C., 1994, Phanerozoic tectonic evolution of Mexico, en Speed, R. C. (ed.), Phanerozoic evolution of North American continent-ocean transition: Boulder, Colorado, Geological Society of America, DNAG Continent-Ocean Transect Volume, p. 265-306.

Ortega-Gutiérrez, F., Elias-Herrera, M., Reyes-Salas, M., Macias-Romo, C., and Lo'pez, R., 1999, Late Ordovician–Early Silurian continental collision orogeny in southern Mexico and its bearing on Gondwana-Laurentia connections: *Geology*, v. 27, p. 719–722.

Santa María-Díaz, A., Alaniz-Álvarez, S. A., Nieto-Samaniego, A. F., 2008, Deformaciones cenozoicas en la cobertura cenozoica de la falla de Caltepec en la región de Tamazulapam, sur de México: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 25, no.3, p. 494-516.

Sedlock, R. L., Ortega-Gutiérrez, F., Speed, R.C., 1993. Tectonostratigraphic terranes and tectonic evolution of México: Boulder Colorado, Geological Society of America Special Paper, p.278.

Silva-Romo, G., Mendoza-Rosales, C.C., Centeno-García, E., Campos-Madriral, E., (2015) Hoja Tehuacán 14Q-c (10) Serie 1: 100,000 CARTA GEOLÓGICA DE MÉXICO; y Texto explicativo GEOLOGÍA DE LA HOJA TEHUACÁN, ESTADOS DE PUEBLA Y OAXACA (edición preliminar inédita).

Silva-Romo, G., Mendoza-Rosales, C. C. Morales-Barrera, W. V., 2015. Geología del Estado de Puebla. In: Carlos Castañeda Ocampo Coordinador. “El registro Paleobiológico del Estado de Puebla. Una visión al pasado de Puebla”, en edición en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

Talavera–Mendoza, O., Ruiz, J., Gehrels, G.E., Meza–Figueroa, D.M., Vega–Granillo, R. Campa–Uranga, R.M.F., 2005, U–Pb geochronology of the Acatlán Complex and implications for the Paleozoic paleogeography and tectonic evolution of southern Mexico: *Earth and Planetary Science Letters*, v.235, p.682–699

Tolson, G., 2005. La Falla Chacalapa en el sur de Oaxaca. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, Volumen Conmemorativo del Centenario, Grandes Fronteras Tectónicas de México, T. LVII, no. 1, p. 111-122.

## Referencias electrónicas

Klaus, R., Trepmann, C., A., 2003-2010, Stereo32 (program), Version: 1.0.2, Ruhr-Universität Bochum, Institut für Geologie & Geophysik, 44780 Bochum Germany

## Apéndice de tablas y Petrografía

Pliegues menores del Bloque San Miguel						
Familia 1						
Nombre	Angulo entre flancos	Tipo de pliegue	Plano axial tomado en campo	Charnela tomada en campo	Plano axial calculado	Charnela calculada
S_MI0214	81.3	Abierto	127, 65 NE	060, 64 NE	079.13, 50.04	045.73, 44.89
S_MI0215	90.7	Abierto	169, 58 NE	033, 35 NE	090.61, 32.62	076.94, 31.88
S_MI0241	80.9	Abierto	132, 58 NE	024, 66 NE	021.19, 53.52	006.99, 52.67
S_MI0250	101	Abierto	140, 72 NE	148, 56 NW	055.21, 42.57	022.05, 37.56
S_MI0254	105.9	Abierto	128, 30 NE	080, 25 NE	078.08, 25.78	091.53, 25.16
S_MI0256	96.2	Abierto	110, 57 NE	050, 25 NE	016.76, 82.69	084.98, 70.93
S_MI0266	109.4	Abierto	152, 33 NE	077, 41 NE	134, 25.77	077.36, 14.59
S_MI0267	94.5	Abierto	167, 28 NE	094, 39 SE	082.23, 16.91	087.81, 16.84
S_MI0268	81.6	Abierto	142, 46 NE	109, 32 SE	058.83, 26.26	085.73, 23.75
S_MI0270	109.6	Abierto	157, 50 NE	066, 65 NE	078.12, 81.83	151.1, 63.87
Familia 2						
Nombre	Angulo entre flancos	Tipo de pliegue	Plano axial tomado en campo	Charnela tomada en campo	Plano axial calculado	Charnela calculada
S_MI02A17	144.4	Suave	030, 69 NW	033, 15 NE	292.6, 76.32	021.24, 5.73
S_MI0233	143.5	Suave	041, 65 NW	024, 26 NE	292.4, 88.55	021.90, 20.24
S_MI0234	144.4	Suave	021, 76 NW	020, 22 NE	287.80, 86.48	016.60, 18.35
S_MI0235	139.5	Suave	024, 71 NW	018, 21 NE	292.70, 85.49	021.33, 17.16
S_MI0237	164.1	Suave	030, 85 SE	052, 29 NE	283, 74.52	007.77, 18.22
S_MI0239	127.4	Suave	031, 79 SE	037, 5 SW	132.2, 84.87	042.84, 6.29
S_MI0243	154.8	Suave	054, 67 NW	046, 44 NE	308.4, 62.95	016, 36.74
S_MI0244	139.4	Suave	016, 31 NW	020, 53 NE	304.6, 52.57	021.45, 16.51
S_MI0260	151.1	Suave	021, 64 SE	012, 39 NE	98.80, 79.75	014.77, 29.90
S_MI0261	136.7	Suave	020, 58 SE	012, 39 NE	120, 55.23	047.96, 23.89
Familia 3						
Nombre	Angulo entre flancos	Tipo de pliegue	Plano axial tomado en campo	Charnela tomada en campo	Plano axial calculado	Charnela calculada
S_MI02A14	79.8	Abierto	158.00, 84 SW	161.00 SE, 46	058.15, 67.29	142.50, 13.14
S_MI02A15	77	Abierto	156, 69 SW	169 SE, 19	232.70, 28.51	321.8, 0.49
S_MI0209	111.4	Abierto	141, 57 SW	147, 48 SE	066.62, 76.90	149.4, 28.51
S_MI0222	108.9	Abierto	156, 42 NE	158, 20 SE	048.49, 71.79	136.80, 5.19
S_MI0224	112.6	Abierto	150, 69 NE	145, 21SE	062.66, 73.75	149.60, 10.44
S_MI0227	78.6	Abierto	165, 53 NE	135, 27 SE	246.1, 50.80	333, 3.76
S_MI0230	78.5	Abierto	139, 81 NE	140, 49 NW	224.3, 83	310.4, 28.94
S_MI0245	117.5	Abierto	022, 52 NW	020, 28 NE	303.90, 60.49	021.31, 20.99
Familia 4						
Nombre	Angulo entre flancos	Tipo de pliegue	Plano axial tomado en campo	Charnela tomada en campo	Plano axial calculado	Charnela calculada
S_MI02A16	60.1	Cerrado	154, 60 NE	154.00, 12 SE	069.93, 62.34	155.30, 8.74
S_MI02S13	47.6	Cerrado	156, 64 SW	136, 51 NW	260.90, 69.89	306, 62.57
S_MI0218	43	Cerrado	157, 80 SW	157, 47 NW	059.37, 63.12	340.7, 21.24
S_MI0221	55.6	Cerrado	137, 53 NE	129, 56 SE	041.48, 38.85	106.4, 18.83
S_MI0226	38.1	Cerrado	140, 60 NE	106, 57 SE	048.75, 26.22	052.85, 26.16
S_MI0229	49	Cerrado	119, 62 NE	123, 8 NW	036.81, 55.55	115.9, 15.38
S_MI0232	68.1	Cerrado	146, 90 NE	143, 11NW	243.10, 75.33	154.5, 5.20
S_MI0248	51.4	Cerrado	154, 64 NE	011, 26 NE	059.12, 54.91	357.4, 34
S_MI0279	68	Cerrado	120, 48 NE	038, 52 NE	024.43, 35.43	046.51, 33.40

Familia 5						
Nombre	Angulo entre flancos	Tipo de pliegue	Plano axial tomado en campo	Charnela tomada en campo	Plano axial calculado	Charnela calculada
S_MI0228	126.7	Suave	144, 82 NE	136, 4 NW	052.72, 64.79	140.9, 3.76
S_MI0238	149.2	Suave	164, 58 NE	166, 3 SE	244.1, 55.96	329.6, 6.62
S_MI0259	125.3	Suave	154, 67 NE	059, 64 NE	079.42, 47.06	046.72, 42.12
S_MI0276	132.6	Suave	128, 89 SW	113, 4 SE	041.30, 88.95	131.20, 8.19
Familia 6						
Nombre	Angulo entre flancos	Tipo de pliegue	Plano axial tomado en campo	Charnela tomada en campo	Plano axial calculado	Charnela calculada
S_MI0221	55.6	Cerrado	137, 53 NE	129, 56 SE	041.48, 38.85	106.4, 18.83
S_MI0226	38.1	Cerrado	140, 60 NE	106, 57 SE	048.75, 26.22	052.85, 26.16
S_MI0279	68	Cerrado	120, 48 NE	038, 52 NE	024.43, 35.43	046.51, 33.40
Familia 7						
Nombre	Angulo entre flancos	Tipo de pliegue	Plano axial tomado en campo	Charnela tomada en campo	Plano axial calculado	Charnela calculada
S_MI0208	6.8	Apretado	146, 65 NE	082, 48 NE	070.05, 54.93	042.03, 51.51
S_MI0211	28.7	Apretado	132, 12NE	151, 73NW	041.15, 51.77	009.42, 47.19
S_MI0213	19.9	Apretado	163, 73 NE	142, 69 SE	067.90, 42.76	103.20, 37.06

<b>Pliegues menores del Bloque Santa Lucía</b>						
Familia 1						
Nombre	Angulo entre flancos	Tipo de pliegue	Plano axial tomado en campo	Charnela tomada en campo	Plano axial calculado	Charnela calculada
S_MI02A2	109.6	Abierto	115, 81 SW	112.40, 54 SE	198.30, 82.72	122.4, 62.31
S_MI02A6	85.3	Abierto	136, 62 NE	121, 31 SE	030.48, 77.69	117.90, 11.54
S_MI02A11	98.2	Abierto	128, 77 NE	130, 55 SE	234, 80.78	151.1, 37.19
S_MI02A12	95.2	Abierto	147, 69 SW	158, 54 SE	229.70, 89.44	140, 28.39
S_MI02S10	101.3	Abierto	136, 69 SW	130, 61 SE	226.60, 87.66	138, 30.05
S_MI02S12	95.2	Abierto	147, 69 SW	158 54 SE	229.70, 89.44	140, 28.39
S_MI0206	80.1	Abierto	140, 65 NE	104, 50 SE	200.60, 85.98	114.20, 41.97
S_MI0207	84.8	Abierto	120, 71 NE	121, 57 SE	200.20, 89.42	110.60, 39.21
Familia 2						
Nombre	Angulo entre flancos	Tipo de pliegue	Plano axial tomado en campo	Charnela tomada en campo	Plano axial calculado	Charnela calculada
S_MI02S2	143	Suave	127, 79 NE	131, 21 SE	222.70, 83.85	133.10, 4.11
S_MI02S5	125.4	Suave	148, 64 NE	145, 42 SE	049.15, 67.75	128.20, 24.87
Familia3						
Nombre	Angulo entre flancos	Tipo de pliegue	Plano axial tomado en campo	Charnela tomada en campo	Plano axial calculado	Charnela calculada
S_MI02A5	119	Abierto	086, 57 NW	086, 31 NE	358.9, 80.59	084.36, 25.46
S_MI02S4	109.9	Abierto	103, 72 NE	110, 55 SE	353.30, 88.61	081.99, 42.64
S_MI0203	109.3	Abierto	080, 54 SE	114, 45 SE	190, 67.19	107.70, 17.80
Familia 4						
Nombre	Angulo entre flancos	Tipo de pliegue	Plano axial tomado en campo	Charnela tomada en campo	Plano axial calculado	Charnela calculada
S_MI02A1	102.9	Abierto	140, 74 NE	138, 36 NW	239.60, 70.09	326, 7.85
S_MI01A17	116.6	Abierto	177, 81 NE	014, 34 NE	095.46, 65.23	028.22, 39.98
S_MI01S8	119.7	Abierto	014, 84 SE	003, 19 NE	105.90, 89.12	017.28, 57.71
S_MI01S10	87.5	Abierto	160, 81 NE	163, 19 NW	070.38, 80.46	341.30, 5.47
Familia 5						
Nombre	Angulo entre flancos	Tipo de pliegue	Plano axial tomado en campo	Charnela tomada en campo	Plano axial calculado	Charnela calculada
S_MI01S7	36.5	Cerrado	162, 52 NE	144, 14 NW	026.19, 18	308.40, 3.95
S_MI01S11	60.7	Cerrado	151, 73 SW	155, 31 NW	240.30, 33.81	279.50, 27.44
S_MI01S16	36.7	Cerrado	157, 80 SW	145, 80 NW	071.14, 73.65	054.56, 72.98
Familia 6						
Nombre	Angulo entre flancos	Tipo de pliegue	Plano axial tomado en campo	Charnela tomada en campo	Plano axial calculado	Charnela calculada
S_MI02A4	54.9	Cerrado	098, 76 NE	111, 64 SE	014.97, 71.46	053.84, 66.69
S_MI02A8	32.9	Cerrado	118, 64 NE	118 21 SE	018.44, 75.83	100, 30.16
S_MI02S7	49.9	Cerrado	112, 59 NE	076, 51 NE	029.42, 73.99	100, 49.21
Familia 7						
Nombre	Angulo entre flancos	Tipo de pliegue	Plano axial tomado en campo	Charnela tomada en campo	Plano axial calculado	Charnela calculada
S_MI02A7	140.3	Suave	166, 62 SW	156, 41 NW	257.6, 76.16	339.20, 30.80
S_MI01A2	142.5	Suave	010, 61 NW	010, 74 NE	266.8, 68.7	331.6, 47.51
S_MI01A4	127.6	Suave	171, 75 SW	175, 36 NW	087.63, 89.21	358.2, 37.36
S_MI01A5	120.4	Suave	153,61 NE	159, 19NW	247,90	337, 19.30
S_MI01A6	128.9	Suave	162, 60 NE	001, 35 NE	258, 85.25	344.60,35.54
S_MI01A7	140.4	Suave	170, 78 SW	170, 34 NW	265, 85.10	352, 36.90
S_MI01A13	130.1	Suave	164, 74 NE	003, 24 NE	275.60, 68.13	349.90, 33.96
S_MI01S4	134.1	Suave	166, 78 SW	145, 34 NW	247.4, 69.77	323, 33.96
S_MI01S5	131	Suave	166, 52 NE	172, 29 NW	094.71, 82.23	009.57, 31.86
S_MI01S6	140.9	Suave	169, 82 NE	170, 38 NW	279.50, 78.22	359.50, 39.82
S_MI01S9	149.8	Suave	041, 85 SE	034, 54 NE	304, 75.11	013.13, 53.50
S_MI01S14	147.3	Suave	010, 82 SE	167, 63 NW	107, 84.80	022.08, 44.27
S_MI01S15	122.6	Suave	005, 68 NW	167, 21 NW	075.82, 84.98	349.2, 33.90



*Universidad Nacional Autónoma de México*



*Facultad de Ingeniería*

*Estudio Petrográfico*

*Fecha: 15 Enero 2014*

*Colector: Nallely López García*

*Datos de campo*

*Coordenadas: 14Q 0642 044 LN, 2 013036 LE*

*Muestra: M-01*

*Descripción Macroscópica*

*Color: rojizo, con tonos amarillos.*

*Minerales observables: Cristales de anfíboles oxidados de tamaños  $\leq 1$  mm*

*Textura Traquítica*



*Descripción Microscópica*

*TEXTURA.*

*1 Cristalinidad Holocristalina*

*2 Granularidad Afanítica con matriz microcristalina, con tamaños  $\leq 0.7$ mm*

*3 Fabrica Inequigranular*



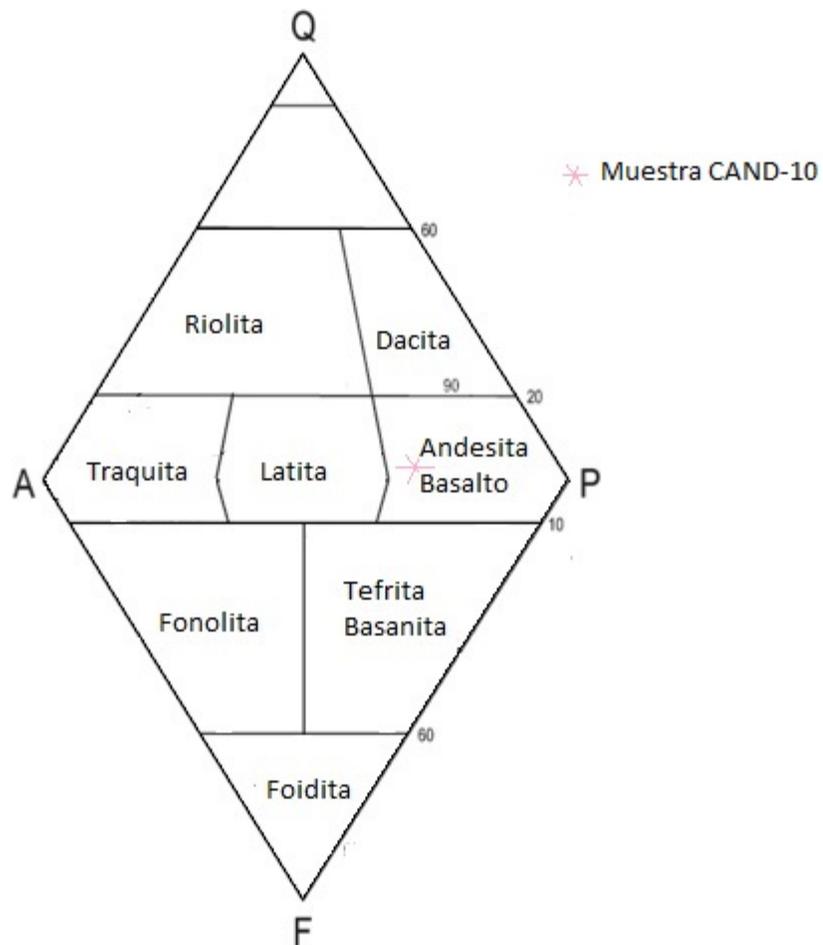
## Mineralogía

Minerales Esenciales	%	Minerales Accesorios	%	Minerales secundarios	%
Anfiboles	20%			Calcita	10%
Matriz de plagioclasa (andesina)	70%				

**Observaciones.** La roca presenta mayor cantidad de fenocristales alterados (oxidación) con fracturas rellenas de CaCO<sub>3</sub>, tiene una matriz microcristalina aproximadamente del 50%.

**Origen de la roca:** Volcánica

**Clasificación de la roca:** Andesita



Doble triángulo QAPF de rocas volcánicas.



*Universidad Nacional Autónoma de México*



*Facultad de Ingeniería*

*Estudio Petrográfico*

*Fecha: 14 Enero 2014*

*Colector: Nallely López García*

*Datos de campo*

*Coordenadas: 14Q 0642132 LN, 2 012895 LE*

*Muestra: M-02*

*Descripción Microscópica*

*Descripción Macroscópica*

**TEXTURA.**

*Color: Verde olivo con tonalidades blancas y transparentes*

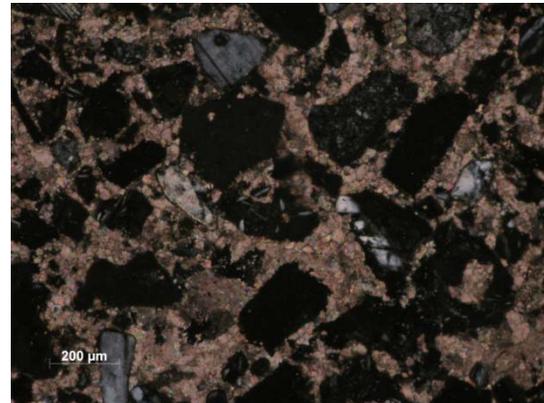
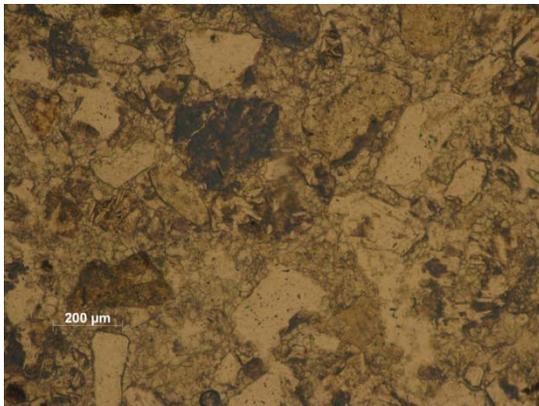
**1.- Granularidad** Afanítica con matriz microcristalina.

**Minerales observables:**

**2.- Fabrica** Inequigranular

Fragmentos de roca, fragmentos de cuarzo, vidrio y plagioclasas (tipo andesina)

*Textura* Traquítica



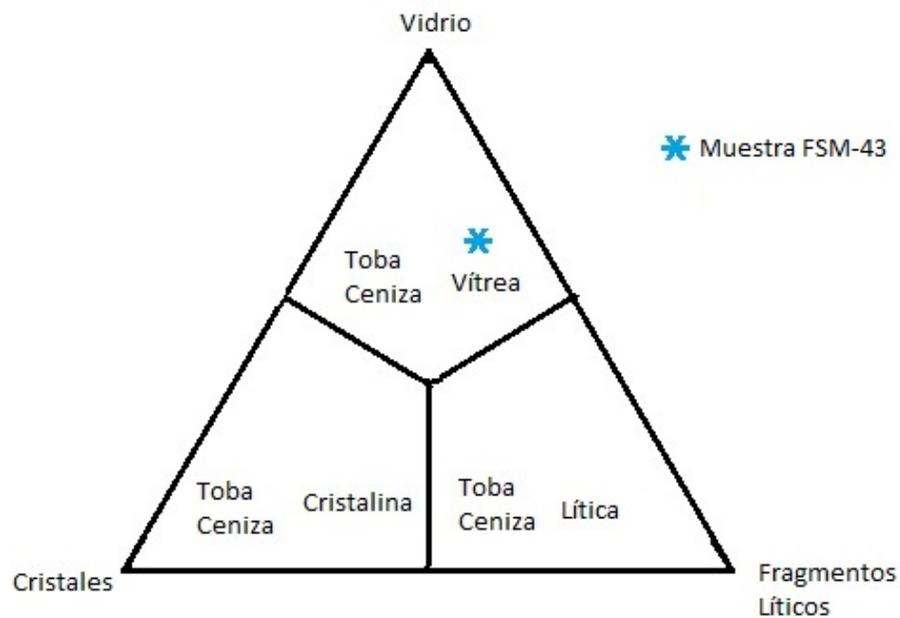
## Mineralogía

Minerales Esenciales	%	Accesorios	%	Minerales secundarios	%
Vidrio	60%			Cuarzo	5%
Fragmentos de roca	30%				
Plagioclasas	5%				

**Observaciones.** La roca está principalmente constituida por vidrio con un 60% la matriz es microcristalina, difícil distinguir con métodos ópticos y fracturas rellenas de carbonato de calcio

**Origen de la roca:** piroclástica

**Clasificación de la roca:** Toba vítrea



Clasificación de tobas y cenizas



*Universidad Nacional Autónoma de México*



*Facultad de Ingeniería*

*Estudio Petrográfico*

*Fecha: 14 Enero 2014*

*Colector: Nallely López García*

*Datos de campo*

*Coordenadas: 14Q 0641 765 LN, 2 012861 LE*

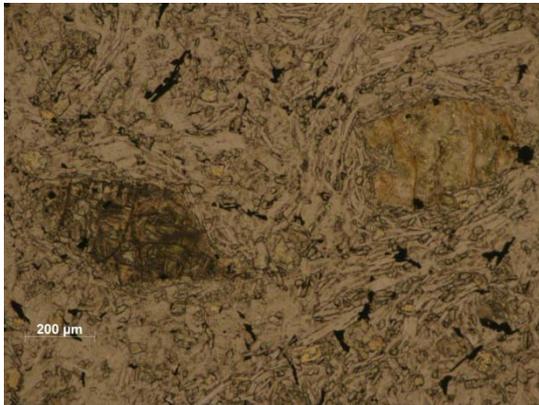
*Muestra: M-03*

*Descripción Macroscópica*

*Minerales observables:* Anfíboles  
diseminados alterados (oxidación)

*Color:* Pardo- rojizo tonalidades naranjas

*Textura* Inequigranular



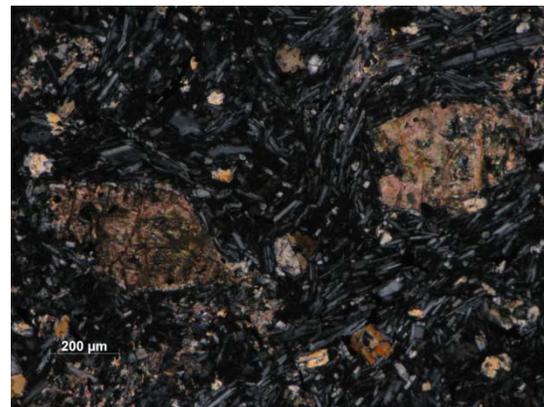
*Descripción Microscópica*

*TEXTURA.*

*1 Cristalinidad* Holocristalino

*2 Granularidad:* Matriz microcristalina,  
traquitica, tamaños  $\leq$  a 0.2 mm

*3 Fabrica* Inequigranular



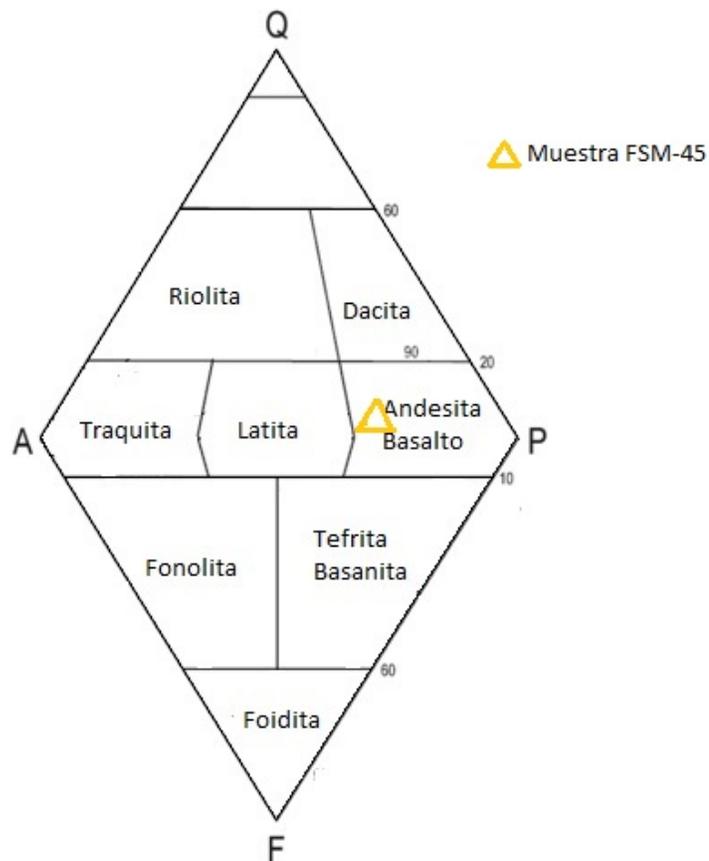
## Mineralogía

Minerales Esenciales	%	Minerales Accesorios	%	Minerales secundarios	%
Anfíboles	30%			Calcita	5%
Matriz de plagioclasa (andesina)	65%				

**Observaciones.** La lamina presenta una textura traquítica, fenocristales de anfíboles rodeados por una matriz microcristalina, fracturas rellenas de CaCO<sub>3</sub>, la matriz tiene un porcentaje de 65% aproximadamente.

**Origen de la roca:** Volcanica

**Clasificación de la roca:** Andesita



Doble triángulo QAPF de las rocas volcánicas.



*Universidad Nacional Autónoma de México*



*Facultad de Ingeniería*

*Estudio Petrográfico*

*Fecha: 15 Enero 2014*

*Colector: Nallely López García*

*Datos de campo*

*Coordenadas: 14Q 0641999 LN, 2 012420 LE*

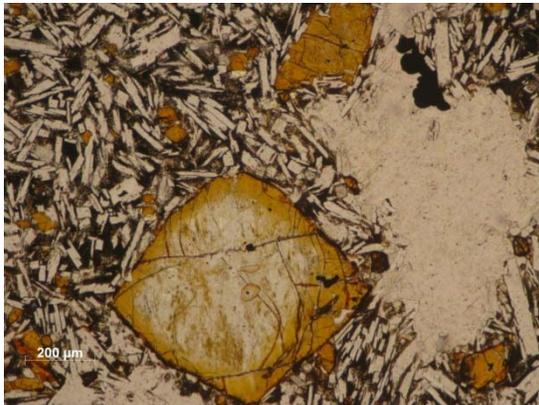
*Muestra: M-04*

*Descripción Macroscópica*

*Color: Verdoso*

*Minerales observables: Anfíboles  
diseminados y oxidados,*

*Textura: Traquítica*



*Descripción Microscópica*

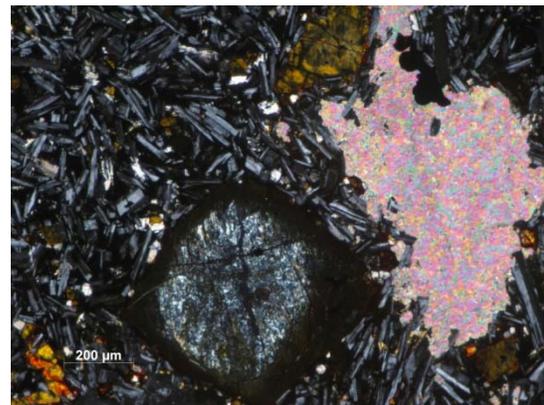
*TEXTURA.*

*1 Cristalinidad Holocristalina,  
xenomorfos*

*2 Granularidad Afanítica, matriz  
microcristalina.*

*Tamaños de 0.2 mm o menos.*

*3 Fabrica Inequigranular*



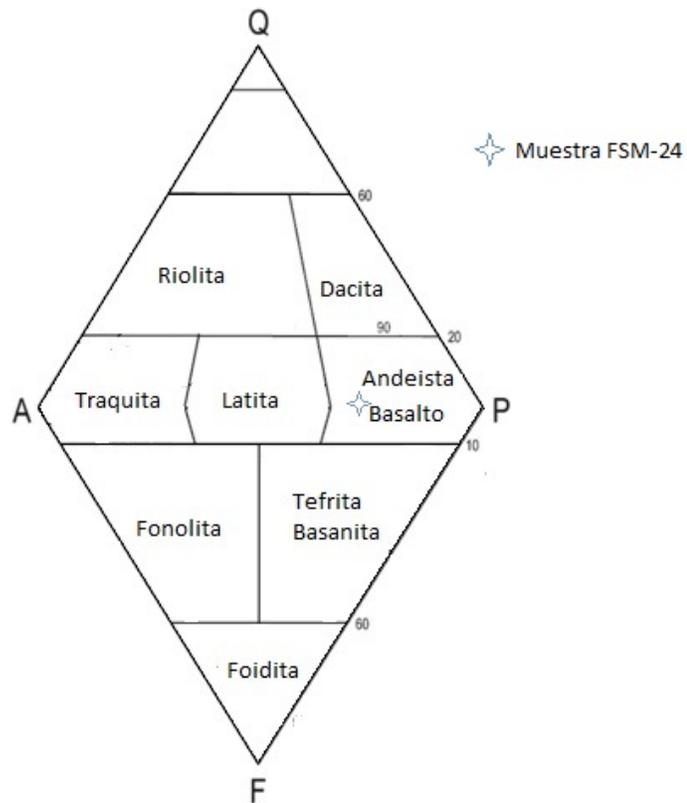
## Mineralogía

Minerales Esenciales %	Minerales Accesorios %	Minerales secundarios %
Anfíboles $\leq 0.6$ mm 25%		Relleno de fracturas de calcita 5%
Matriz de plagioclasas 70%		

**Observaciones:** matriz con textura traquítica, fracturas rellenas de  $\text{CaCO}_3$ , la mayor cantidad de fenocristales presentan alteración (oxidación), rodeados por una matriz microcristalina de plagioclasas (Andesina) con un 55% aproximadamente.

**Origen de la roca:** Volcánica

**Clasificación de la roca:** Andesita



Doble triángulo QAPF de las rocas volcánicas



**Universidad Nacional Autónoma de México**  
**Facultad de Ingeniería**



**Estudio Petrográfico**

**Fecha:** 16 Enero 2014

**Colector:** Nallely López García

**Datos de campo**

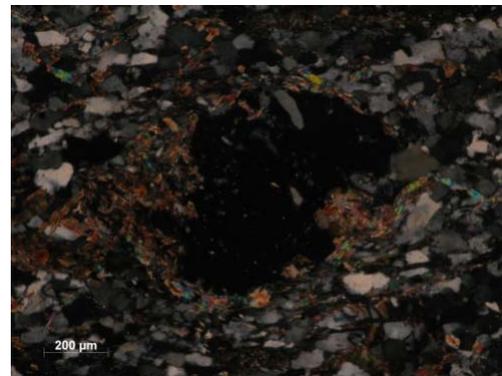
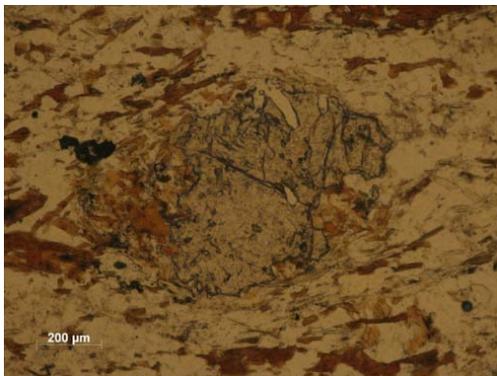
**Coordenadas:** 14Q644663LN, 2014277 LE

**Muestra:** M-05

**Descripción Macroscópica**

**Color:** pardo oscuro- verdoso

**Descripción Microscópica**



**TEXTURA.**

**1 Tamaño de grano:** Mediano-Fino.

**2 Clasificación:** inequigranular, foliada.

**3 Redondeamiento:** Anguloso, baja esfericidad.

**4 Porosidad:** por fractura, cavidades sin rellenar.

**Observaciones:** Roca metamórfica de bajo a medio grado de metamorfismo. Tiene un brillo nacarado, os minerales observables son el cuarzo, biotita, granate y minerales opacos.

**Origen de la roca:** Se forman por corrientes débiles o de intensidad cambiante.

**Clasificación de la roca:** Esquisto con granate.



*Universidad Nacional Autónoma de México*  
*Facultad de Ingeniería*



*Estudio Petrográfico*

*Fecha: 13 Enero 2014*

*Colector: Nallely López García*

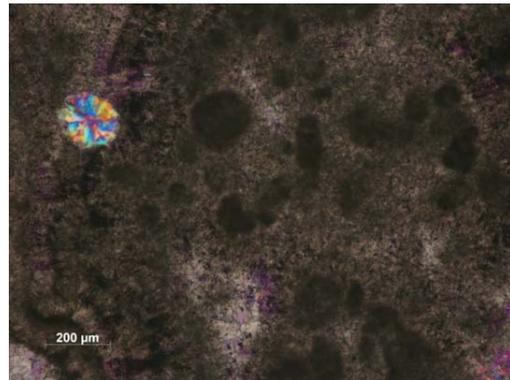
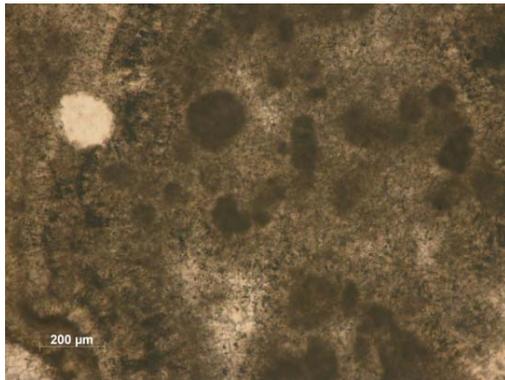
*Datos de campo*

*Coordenadas: 14Q 0642706 LN, 2 012983 LE*

*Muestra: M-06*

*Descripción Macroscópica Color: Amarillo-crema al fresco, gris claro a la intemperie*

*Descripción Microscópica*



**TEXTURA.**

**1 Cementante:** esparita

**2 Redondeamiento:** Anguloso, baja esfericidad

**3 Tipos de contactos:** Longitudinal, contacto saturado.

**4 Porosidad:** Intercristalina, cavernas

**Observaciones:** Caliza grano-soportada, compuesta por ooides y cemento de calcita esparítica (Folk, 1962). Los poros están rellenos de aragonito, producto de la filtración de agua marina percolada, aparecen también pisolitos y fragmentos de conchas. Los cristales presentan una orientación formada de una intercalación de bandas de cristales muy pequeños y grandes

**Origen de la roca:** Se forman por corrientes débiles oscilantes.

**Clasificación de la roca:** Bioesparita (Folk, 1962).



*Universidad Nacional Autónoma de México*



*Facultad de Ingeniería*

*Estudio Petrográfico*

*Fecha: 16 Enero 2014*

*Colector: Nallely López García*

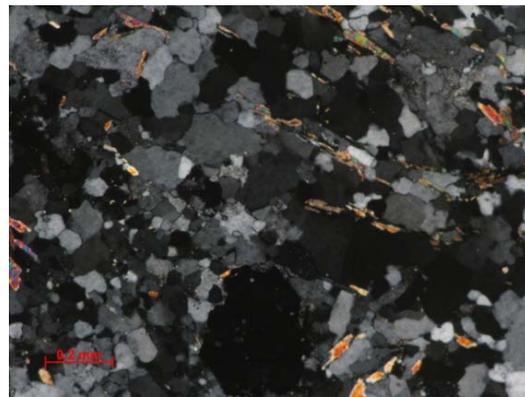
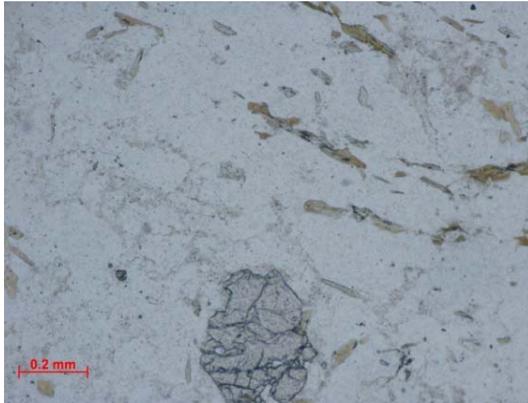
*Datos de campo*

*Coordenadas: 14Q 0637092 LN, 2 014928 LE*

*Muestra: M-07*

*Descripción Macroscópica* *Color: pardo oscuro- verdoso*

*Descripción Microscópica*



**TEXTURA.**

**1 Tamaño de grano:** Mediano-Fino.

**2 Clasificación:** inequigranular, foliada.

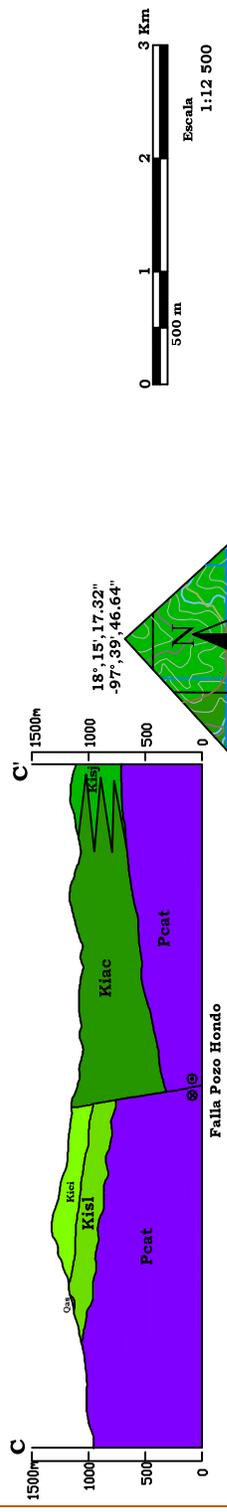
**3 Redondeamiento:** Anguloso, baja esfericidad.

**4 Porosidad:** por fractura, cavidades sin rellenar.

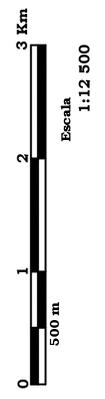
**Observaciones:** Roca metamórfica de bajo a medio grado de metamorfismo. Tiene un brillo nacarado, os minerales observables son el cuarzo, biotita, granate y minerales opacos.

**Origen de la roca:** a cambios de presión y temperatura

**Clasificación de la roca:** Esquisto con granate.



18° 13' 6.51" N  
-97° 42' 18.26" W



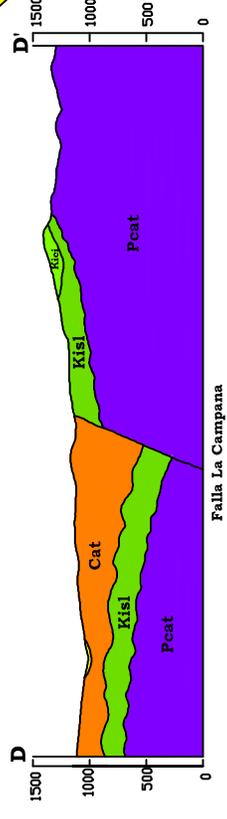
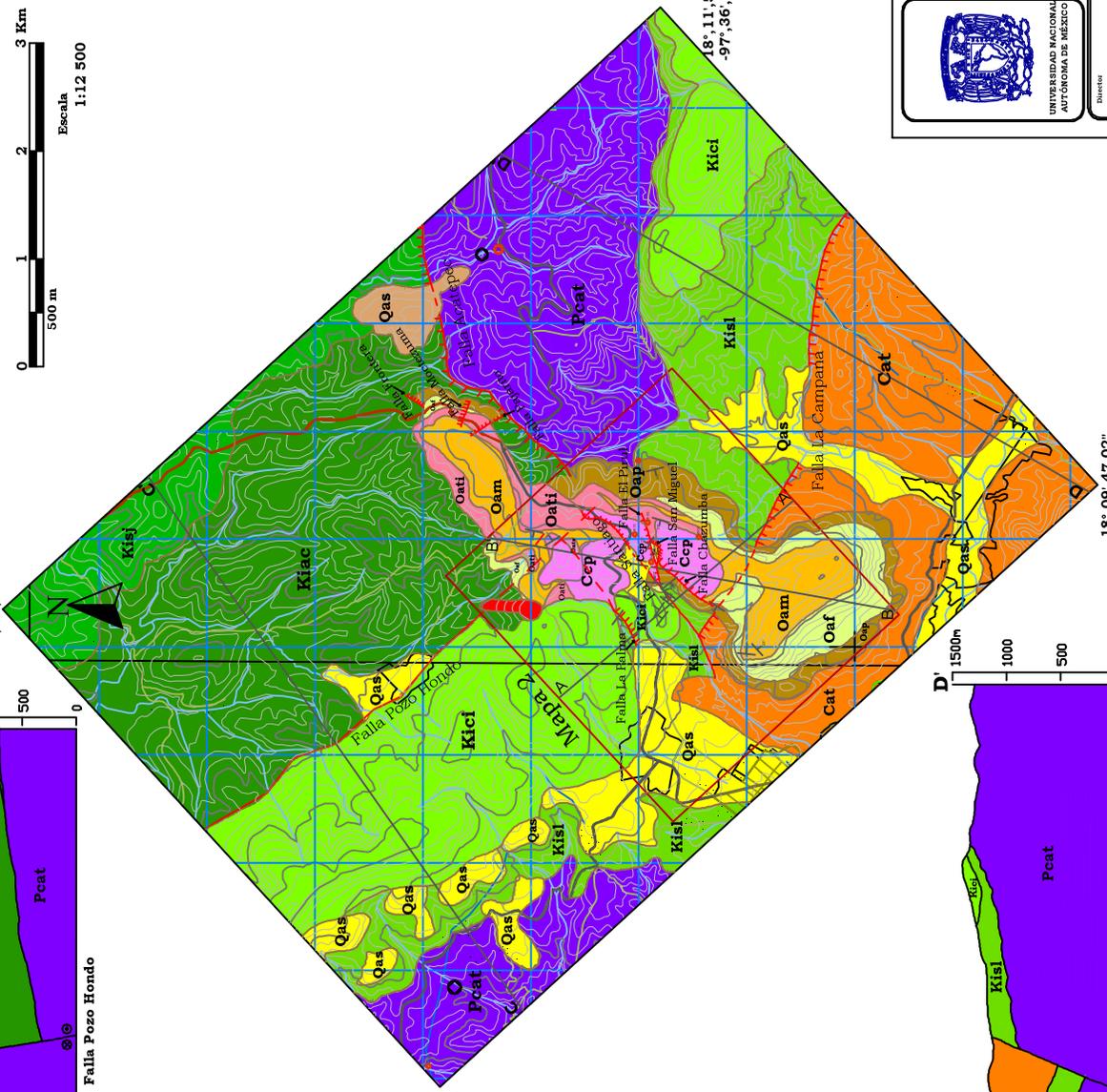
### Leyenda

- Depósitos de aluvión y suelo**
- Qas
  - Cep
  - Oats
  - Oam
  - Oati
  - Oaf
  - Oap
- Formación Acatepec**
- Cac
- Formación Santa Lucía**
- Kiac
  - Kisi
  - Kicat
- Formación Agua del Cordero (Kiac)**
- Peat
- Formación Tecamate**
- Cat
- Formación San Juan Raya (Kisi)**
- Kici
- Formación Agua del Cordero (Kiac)**
- Kisil
- Formación Tecamate**
- Pcat

Rumbo y echado medido



Elipsoides GRS80  
 Proyección Universal Transversa de Mercator  
 Cuadrícula UTM a cada 1000 m  
 Datum Horizontal ITRF92  
 Referencia de cotas Nivel medio del mar  
 Información Geológica Cartografiada por Nallely López García.



UNAM

PROYECTO TESIS PROFESIONAL

TÍTULO: Mayo 2015

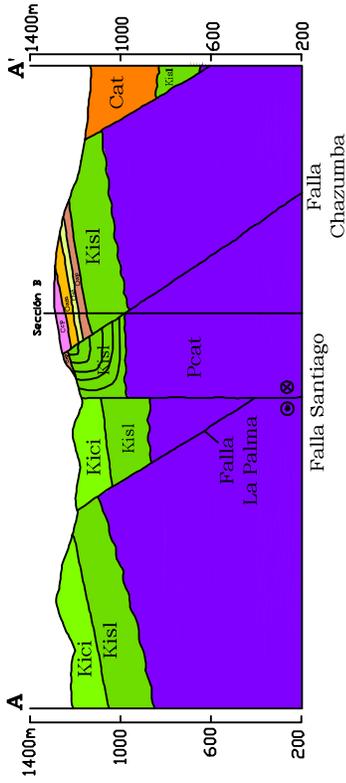
**MAPA GEOLÓGICO 1**

FACULTAD DE INGENIERÍA

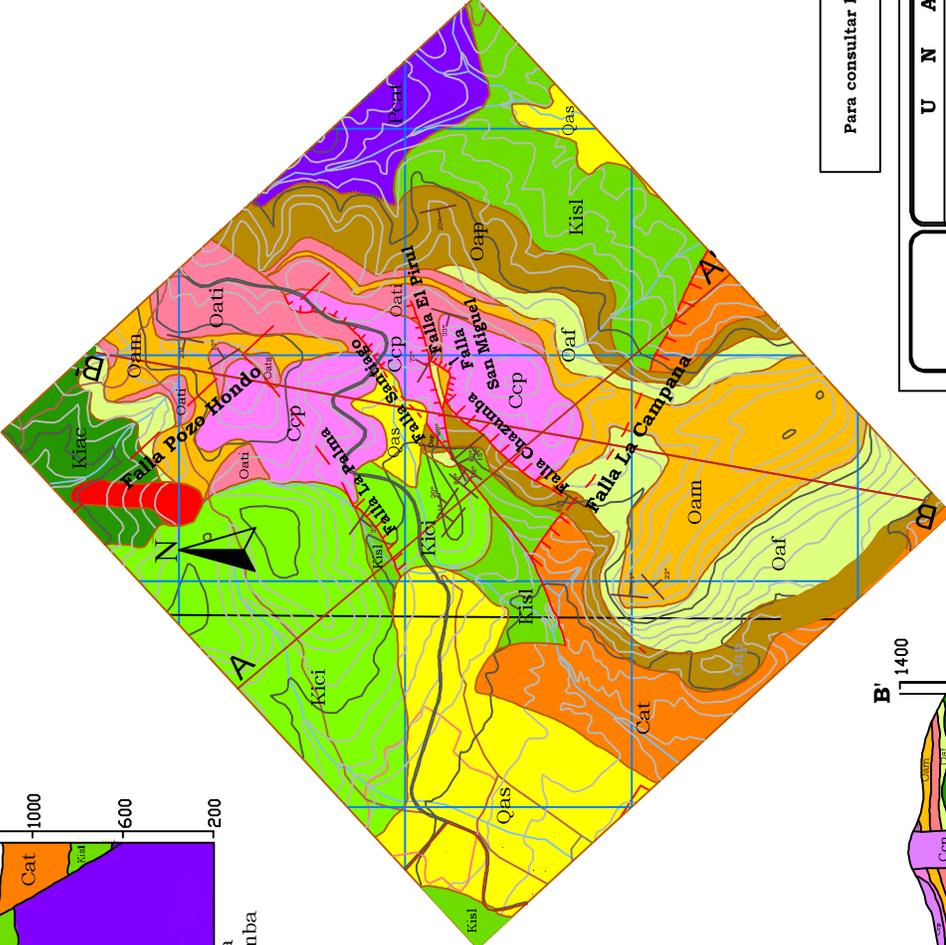
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Dr. Gilberto Silva Romo

Nallely López García

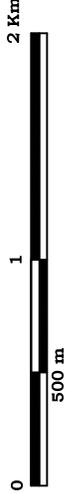


18° 13' 3.60" -97° 39' 37.12"

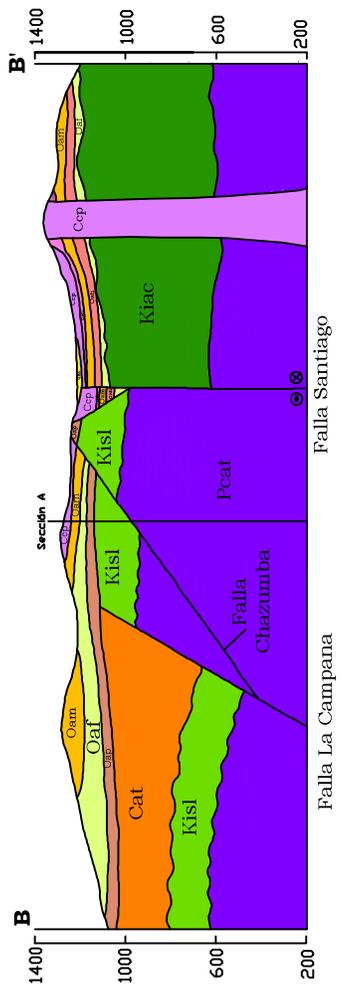


18° 11' 55.65" -97° 40' 55.25" Kisl

18° 11' 55" -97° 38' 32.13"



Escala  
1: 10 000



18° 10' 47.19" -97° 39' 50.41"

Para consultar leyenda véase Mapa Geológico 1

	<b>U N A M</b> TESIS PROFESIONAL Mayo 2015	
	<b>MAPA GEOLÓGICO 2</b>	
Director <b>Dr. Gilberto Silva Romo</b>	Tesisista <b>Nallely López García</b>	Edición TALLER DE CARTOGRAFÍA