



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Geología estructural de la Sierra El Gallo,  
al NE de Santo Domingo Tianguistengo,  
Oaxaca, Complejo Acatlán.**

**TESIS**

Que para obtener el título de

**Ingeniera Geóloga**

**P R E S E N T A**

Stefania Flores Pérez

**DIRECTOR DE TESIS**

Ing. José Luis Arcos Hernández



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019

## **Agradecimientos**

A mi familia, gracias Tania Sandra Pérez y Janio Flores por ser siempre el apoyo que necesito y por su comprensión en toda circunstancia, gracias a mi hermana Sarai Flores por acompañarme siempre y por su apoyo incondicional. A toda mi familia que siempre me ha alentado y apoyado.

Agradezco a mi director de tesis, Ing. José Luis Arcos Hernández por todas sus enseñanzas, su apoyo, su paciencia y el tiempo invertido para la realización de este proyecto.

A mis sinodales Ing. Alfredo Victoria Morales, M.C. Emiliano Campos, Ing. Javier Arellano Gil y a M.C. Noé Santillán Piña por su tiempo y apoyo.

A mis amigos, con especial agradecimiento a Yael Domínguez, Dyther Pérez y David Aguilar por su apoyo y tiempo para la elaboración y perfeccionamiento de este proyecto. A mis amigas incondicionales, Angélica Cruz y Silvia González por su apoyo y ayuda en todo momento, a Verónica Rodríguez, Hugo Sánchez, Erick Gutiérrez, Ulises Zeus, Marcos Bernabé, por escucharme y alentarme constantemente.

A Miguel I. Vera Ocampo por su especial apoyo durante mi proceso como estudiante.

A todas las personas que me han acompañado, me han apoyado y alentado a no rendirme, no solo en el proceso para elaborar este trabajo, si no, en cualquier momento, muchas gracias.

A la UNAM y a la Facultad de Ingeniería por la oportunidad de ser parte de la máxima casa de estudios.

*“La primera regla del éxito es una buena preparación.”*

- *George B. Shaw*

## Contenido

Resumen .....	1
Abstract .....	2
I. Introducción .....	3
1.1 Objetivo y justificación .....	3
1.2 Localización de la zona de estudio y vías de acceso .....	3
1.3 Método de trabajo .....	4
II. Geografía y geomorfología .....	5
2.1 Geografía .....	5
2.1.1 Demografía.....	5
2.1.2 Uso de suelo .....	6
2.1.3 Hidrología.....	6
2.1.4 Geohidrología.....	7
2.1.5 Clima y vegetación.....	7
2.2 Geomorfología.....	8
III. Estratigrafía .....	9
3.1 Subgrupo Petlalcingo.....	9
3.1.1 Formación Chazumba .....	9
3.1.2 Formación Cosoltepec.....	10
3.2 Subgrupo Acateco.....	11
3.2.1 Formación Tecomate.....	11
3.3 Características de las muestras tomadas en la zona.....	13
IV.-Geología estructural.....	16
4.1 Análisis descriptivo .....	17
4.2 Microestructuras en láminas delgadas .....	26
4.3 Análisis cinemático.....	29
4.4 Análisis dinámico .....	48

V.	Geología regional y tectónica.....	54
5.1	Geología regional .....	54
5.1.1	Mapa cartográfico obtenido .....	54
5.1.2	Plutón Totoltepec .....	56
5.1.3	Formación Otlaltepec .....	57
5.2	Tectónica .....	58
VI.	Discusión de resultados .....	60
	Conclusiones .....	67
	Recomendaciones.....	68
	Referencias consultadas .....	69
	Anexos.....	72
	Anexo 1. Petrografía.....	72
	Anexo 2. Datos de foliaciones tomadas en campo y su ubicación en el mapa.....	76
	Anexo 3. Ubicación de los Dominios estructurales en el mapa .....	79
	Anexo 4. Diagrama de concentración de polos y datos tomados para los análisis de pliegues ..	80
	Anexo 5. Datos para análisis cinemático de fallas. ....	84
	Anexo 6. Datos de fracturas utilizados en las rosetas.....	85
	Anexo 7. Mapa con lineaciones.....	90

## **Resumen**

Al NE de Oaxaca y al SE de Puebla, cerca de los poblados Santo Domingo Tianguistengo y Santo Tomás Otlaltepec, se localiza la Sierra El Gallo, la cual, se compone por los cerros El Gallo, Teponaxtli y Amarillo. Esta zona se encuentra ubicada en la región fisiográfica de la Sierra Madre del Sur, en la Mixteca Alta; pertenece a la región hidrológica Balsas y a la subcuenca G-Río Acatlán.

Las rocas que afloran forman parte del Complejo Acatlán, que se compone de rocas metamórficas con edad del Paleozoico, colindan con el Plutón Totoltepec al SW y con la Formación Otlaltepec al NE, la cual, se compone de rocas clásticas con edades del Jurásico Medio.

Se propone que las rocas encontradas formen parte de la Formación Cosoltepec o a la Formación Tecomate. Son rocas con metamorfismo de bajo grado y con mineralogía similar a estas formaciones; en las muestras obtenidas en los caminamientos, se encontró principalmente cuarzo y plagioclasas, mientras que en menores cantidades hay clorita, epidota, óxidos, micas y apatita. Estas muestras presentan texturas de metamorfismo dinámico, el cual, es más evidente al SW.

La geología estructural en esta parte del Complejo Acatlán es compleja al tratarse de rocas metamórficas, éstas cuentan con al menos cuatro eventos de deformación, los cuales son: la foliación, el plegamiento, el microplegamiento y la última está presente en las fallas y las fracturas. Para realizar los análisis estructurales correspondientes a la zona, se dividió la zona en cuatro dominios estructurales por ser un sistema estructural heterogéneo. En el mapa se observa fácilmente un sistema de fallas laterales y una falla inversa importante producto de una reactivación, en la que interactúan el Plutón Totoltepec y el Complejo Acatlán. Los pliegues encontrados presentan relación en sus esfuerzos,  $\sigma_1$  se encuentra principalmente al SW,  $\sigma_2$  se ubica en el NW, mientras que  $\sigma_3$  en el SE. Para los ejes de extensión y acortamiento en las fallas, también presentan direcciones principales; los ejes de extensión se ubican principalmente en el NE, mientras que los ejes de acortamiento se encuentran principalmente al SE. Por otro lado, es importante destacar que las fracturas presentan orientaciones similares a las de las fallas presentes.

## **Abstract**

To the NE of Oaxaca and the SE of Puebla, near the villages of Santo Domingo Tianguistengo and Santo Tomás Otlaltepec, the mountain range El Gallo is located, which is composed of El Gallo, Teponaxtli and Amarillo. This study area is located in the physiographic region of the Sierra Madre del Sur, in the Mixteca Alta; it belongs to the Balsas hydrological region and the G-Río Acatlán sub-basin.

The study area is part of the Acatlán Complex, which is composed of metamorphic rocks with Paleozoic age, which border on Totoltepec Pluton rock to the SW and the Otlaltepec Formation to the NE, which is composed of clastic rocks with Middle Jurassic ages.

It is proposed that the study area be located possibly rocks of Cosoltepec Formation or Tecomate Formation. It's proposed because these rocks have a low grade metamorphism and similar mineralogy; in the samples obtained during the field work, quartz and plagioclase were mainly found, while in smaller quantities there are chlorite, epidote and oxides. These samples have dynamic metamorphism textures, which is more evident to the SE.

The structural geology in this part of the Acatlán Complex is complex because it is metamorphic rocks, these have four deformation events at least, foliation, folding, micro folding and faults and fractures. To perform the corresponding analyzes, the area was divided into four structural domains because it is a heterogeneous structural system. On the map there are a system of lateral faults and an important inverse fault, in which the Totoltepec Pluton and the Acatlán Complex interact. The folds found related to their stresses,  $\sigma_1$  is mainly SW,  $\sigma_2$  is located in the NW, while  $\sigma_3$  in the SE. For the extension and shortening axes in the faults, they also have main directions; the extension axes are mainly located in the NE, while the shortening axes are mainly in the SE. On the other hand, it is important to note that the fractures have orientations similar to those of the present faults.

# I. Introducción

## 1.1 Objetivo y justificación

### Objetivo:

Desarrollar la cartografía a detalle de las estructuras que se encuentran presentes en las tectonitas de los cerros Gallo, Teponaxtli y Amarillo.

### Justificación:

A la fecha se han realizado diversos estudios regionales del Complejo Acatlán en cuanto a su estratigrafía y su tectónica, sin embargo no existe algún trabajo que defina la geología estructural a detalle de zonas específicas, ni la cartografía precisa de las unidades presentes.

## 1.2 Localización de la zona de estudio y vías de acceso

La zona de estudio se encuentra compuesta por la sierra El Gallo, abarcando los cerros El Gallo, El Teponaxtli y el Cerro Amarillo. Se encuentra entre las coordenadas  $18^{\circ}14'N$   $97^{\circ}43'O$ ,  $18^{\circ}14'N$   $97^{\circ}47'O$ ,  $18^{\circ}17'N$   $97^{\circ}43'O$  y  $18^{\circ}17'N$   $97^{\circ}47'O$ ; como se observa en la Ilustración I.1. Esta zona se ubica entre dos estados de la República Mexicana. Comprende del noroeste del estado de Oaxaca en el Municipio de Santiago Chazumba que se encuentra en la región Mixteca Oaxaqueña y al norte, abarca el estado de Puebla en el municipio de San Martín Atexcal en la región de Tehuacán.



Ilustración.I.1 Mapa obtenido de Google Earth en el que se resalta la zona de estudio.

Se puede acceder de tres modos, el primero es tomar la salida en “San Juan Ixcaquixtla - Pino Suárez” sobre la Carretera Federal 150 con dirección a Tehuacán, Puebla, hasta llegar a San Martín Atexcal, Puebla se puede tomar la Av. 16 de septiembre, se llegará al poblado de Santa Catarina Tehuixtla, después a Santo Tomás Otlaltepec y a la salida de esa población camino a Santo Domingo Tianguistengo se encuentran los primeros afloramientos del Complejo Acatlán. El segundo modo es tomar la vialidad San Juan Ixcaquixtla-Pino Suárez con dirección al Este, hasta el entronque con la carretera Cuapiaxtla – Acatlán de Osorio e ir hacia el Sur, después a la altura del poblado Santa Cruz Nuevo tomar la salida por Periferico Ixcaquixtla y seguir el camino de terracería hasta Santo Domingo Tianguistengo en el estado de Oaxaca. El tercer modo, es llegar desde Santiago Chazumba, tomando la carretera Tehuacan – Huajuapán y tomar la salida con dirección a Santo Domingo Tianguistengo.

### ***1.3 Método de trabajo***

En primera instancia se realizó reconocimiento de la zona por medio de fotogeología, usando fotos aéreas a escala 1:75 000, con las cuales se trazaron los límites de litologías en la región en una carta a escala 1:20 000 con apoyo de la carta San Juan Ixcaquixtla obtenida de INEGI, con escala 1:50 000. Al tener esto, se realizó una salida a campo para reconocimiento de la zona, en la que se ubicaron áreas de interés para lograr el objetivo propuesto. Posteriormente se realizó consulta bibliográfica, acerca de los datos obtenidos al realizar el trabajo en campo, los cuales se exponen más adelante.

Después de contar con los lugares de interés, se realizaron diferentes salidas al área de estudio, cada una basándose en diferentes zonas de esta. Se realizaron caminamientos sobre estas áreas, obteniendo datos de foliaciones sistemáticamente a cada 100 m; además de datos acerca de los contactos entre las litologías presentes en el mapa, para delimitar las unidades litológicas y muestras representativas. En sitios más específicos se tomaron datos estructurales para elaborar las rosetas, los análisis de pliegues y la cartografía de fallas presentados más adelante.

Para el trabajo de gabinete, se inició, marcando los límites de las distintas litologías utilizando el software libre QGIS (versión 3.6.0) y con ayuda de un collage de 12 ortofotos con escala 1:10 000, misma escala en la que se encuentra el mapa final. Más adelante se realizó la interpretación de las estructuras presentes en la zona con la ayuda de los datos de foliación y análisis de

pliegues tomados en campo. Finalmente para las muestras tomadas en campo se hizo petrografía y se identificaron las microestructuras presentes.

## II. Geografía y geomorfología

### 2.1 Geografía

#### 2.1.1 Demografía

Puebla:

En el estado de Puebla, el poblado más cercano a la zona de estudio es Santo Tomás Otlaltepec en donde hay un total de 410 habitantes. Este poblado forma parte del municipio de San Martín Atexcal que tiene 332 [km<sup>2</sup>] de superficie (Ilustración II.1) y tiene una población de 3,734 habitantes (SEGOB, 2010).



*Ilustración.II.1 Del lado izquierdo se muestra remarcado en rojo el municipio de Atexcal el mapa de Puebla, mientras que la derecha se encuentra el escudo de dicho municipio.*

Oaxaca

Por otra parte, perteneciente al estado de Oaxaca, el poblado más cercano, es Santo Domingo Tianguistengo que cuenta con 346 habitantes que pertenece al municipio de Santiago Chazumba (Ilustración II.2), el cual tiene una superficie de 346.93[km<sup>2</sup>] y una población de 4,479 habitantes (SEGOB, 2010).



*Ilustración II.2 Mapa del estado de Oaxaca en el que se resalta en color rojo el municipio de Santiago Chazumba.*

### *2.1.2 Uso de suelo*

El suelo en esta zona es principalmente utilizado por la agricultura, en donde se cultiva maíz, frijol, calabaza, ajonjolí, cacahuate, trigo, café, caña de azúcar, plátano, naranja y mango. Otra parte de la superficie, es usada como zona urbana, mientras que, el área restante se encuentra ocupada por pastizales (INEGI, 2000).

### *2.1.3 Hidrología*

En México existen 37 regiones hidrológicas, las cuales representan los límites naturales entre las grandes cuencas de México, basándose en características morfológicas, orográficas e hidrológicas. La región a la que pertenece el área de estudio se trata de la Región Hidrológica Balsas que presenta una precipitación normal de 947 mm, un escurrimiento natural medio superficial total de 16,798 hm<sup>3</sup>/año y cuenta con un total de 15 cuencas (CONAGUA, 2016). El agua renovable per cápita en la Región Hidrológica Administrativa de Balsas es de 1, 836 m<sup>3</sup>/hab./año y la recarga media total de acuíferos 4, 873 hm<sup>3</sup>/año. Esta Región Hidrológica se encuentra limitada al este por las elevaciones que se encuentran en la cuenca de Oriental-Perote, al oeste por la cañada poblana-oaxaqueña, al norte por el parteaguas del Eje Neovolcánico Transversal y al sur por el parteaguas de la Sierra Madre del Sur (INEGI, 2000).

El río principal en esta zona es el río Balsas, presenta un escurrimiento natural medio superficial de 16, 279 hm<sup>3</sup>/año, tiene una longitud de 770 km, el orden máximo de ríos que tiene es de 7 y vierte hacia el océano Pacífico (CONAGUA, 2016).

La zona de estudio pertenece a la subcuenca G-Río Acatlán que a la vez pertenece a la cuenca hidrológica (18A) Río Atoyac. El tipo de drenaje es principalmente dendrítico (INEGI, 2001).

#### *2.1.4 Geohidrología*

En cuanto a aguas subterráneas, la zona de estudio forma parte del acuífero de Huajuapán de León. Este acuífero se localiza al NW del estado de Oaxaca y abarca una superficie de 2,686 km<sup>2</sup>. Se encuentra limitado al norte por el acuífero de Ixcaquixtla y el de Valle de Tehuacán, al sur con el acuífero Juxtlahuaca, al este con Tamazulapán y Cuicatlán, mientras que, al oeste con el acuífero Mariscala (CONAGUA, 2014).

El acuífero de Huajuapán de León se encuentra dividido en dos porciones, la superior y la inferior. La porción superior se encuentra en sedimentos fluviales de distintas granulometrías; mientras que, la porción inferior se encuentra entre la secuencia de rocas calcáreas de las formaciones, Mapache, Sabinal, Teposcolula, San Isidro y Coyotepec, las cuales presentan una porosidad secundaria (fracturamiento). El límite del acuífero en cuanto a profundidad es limitado por estas mismas formaciones con rocas calcáreas que funcionan como roca sello al dejar de presentar fracturamiento (CONAGUA, 2014).

#### *2.1.5 Clima y vegetación*

El rango de temperatura en esta zona es de 16 a 24 °C, el rango de precipitación va de los 600 a los 1000 mm y el clima es predominantemente semicálido subhúmedo con lluvias en verano que se presentan mayormente en el mes de junio, sin embargo, también se presentan en menor proporción los climas semiseco semicálido, cálido subhúmedo con lluvias en verano y templado subhúmedo con lluvias en verano (INEGI, 2000).

En la zona pueden encontrarse una gran variedad de árboles (Pino, Oyamel, Madroño, Moral, Encino, Aile y Zacatón) en zonas de bosque de coníferas, principalmente en la Mixteca Alta.

Por otra parte también pueden encontrarse otros biomas como la Selva Media Caducifolia en donde se encuentra vegetación como Amate, Tezcalama, Higo, Lovapinol, Guanacastle,

Tepalcahuite, Guaje, Bellota, etc. En la Sabana puede encontrarse Pasto Rabo de Zorra, Pasto Grama, Zacate Amargo, Zacatón, Guaje, Acacia, Palma, Palmón, Guanacastle, Ceiba y Totopostle, entre otras especies vegetales en otras biomas existentes en el área (INEGI, 2000)

## ***2.2 Geomorfología***

La zona de estudio forma parte de la subprovincia La Mixteca Alta, la cual pertenece a la provincia fisiográfica de la Sierra Madre del Sur (SMS), sin embargo, es importante señalar que se encuentra en el límite entre la SMS y la Faja Volcánica Transmexicana (FVT) (Lugo y Córdova, 1991).

La SMS está compuesta por diferentes dominios tectónicos que se agregaron a lo largo del tiempo. Tiene una altitud de 2,000 msnm, alcanzando alturas máximas de 2,600 a 3,200 m. Se trata de un sistema montañoso muy complejo compuesto por depresiones litoestructurales intermontanos (Lugo, 1990). El relieve predominante es endógeno plutónico de laderas de montaña bloque altas y lomeríos altos, de rocas graníticas cretácicas asociadas con endógeno volcánico de laderas de montaña bloque altas de ignimbritas del Oligoceno-Mioceno (López, 2010; Lugo y Córdova, 1991) La morfología de la SMS se compone por costas encarpadas, terrazas de abrasión, superficies de nivel escalonadas, valles fluviales y karst, entre otras estructuras (Lugo, 1990). El relieve en el SMS se encuentra condicionado por la tectónica, la litología, la estructura geológica y las condiciones climáticas (Lugo, 1990).

El límite entre la FVT y el ENT está caracterizado por una serie de elevaciones de calizas pertenecientes al Cretácico y valles intermontados que se encuentran cubiertos por materiales del FVT, es común el desarrollo kárstico.

Según Vaca (2018) la fisiografía del lugar, siendo lo más específicos a la zona estudiada para este trabajo, está compuesta por premontañas ( $1701 < H \leq 2000$  m), bloques escalonados y basculados al SW en una estructura monoclinal respecto al horst de la sierra Zapotitlán. Estas estructuras se encuentran erosionadas y cortadas por barrancos muy profundos. Los patrones de corrientes suelen ser dendríticos y estos se encuentran influenciados por las estructuras geológicas en la zona.

### **III. Estratigrafía**

La zona de estudio pertenece al complejo Acatlán, por lo que se describirán las unidades estratigráficas encontradas en las cercanías del área de estudio, desde la más antigua hasta la más joven (Ortega-Gutiérrez, 1978). También se anexarán los resultados obtenidos de las muestras tomadas en campo para proponer la formación a la que pertenecen.

#### **Complejo Acatlán**

Se trata de la unidad litoestratigráfica compuesta por las rocas metamórficas con aspecto típicamente foliado, las cuales, son datadas con edades del Paleozoico (Ortega-Gutiérrez et al. 2018). Esta unidad contiene gran cantidad de información, abarcando importantes sucesos en la historia geológica, además ser muy controversial por su compleja constitución.

Fue definida primero por Aguilera (1896) y Ordóñez (1906), posteriormente fue nombrada Formación Acatlán por Fries y Ricón-Orta (1965), mientras que Ortega-Gutiérrez (1978) lo nombra Complejo.

Esta unidad se subdivide en dos subgrupos, el subgrupo Petlalcingo y el subgrupo Acateco, sin embargo, también lo componen dos unidades metagraníticas y una de composición granítica.

El Complejo Acatlán se compone por dos zonas, una de metamorfismo de alta presión y otra de baja, por lo que en este capítulo solo se describirán las formaciones que pertenecen a la zona de baja presión, que son, de igual manera cercanas al área de interés según el mapa de Ortega-Gutiérrez (1978).

#### ***3.1 Subgrupo Petlalcingo***

Llamada así por el poblado de Petlalcingo. El origen de las rocas encontradas en los afloramientos de este subgrupo es metasedimentario, el nombre de las tres formaciones que pertenecen a este subgrupo, son las formaciones Cosoltepec, Chazumba y la Migmatita Magdalena; sin embargo, se describirán solo las formaciones Cosoltepec y Chazumba por sus cercanía a la zona de estudio.

##### ***3.1.1 Formación Chazumba***

Esta Formación se extiende desde Magdalena y hasta Chazumba. Tiene un contacto inferior gradual con la Migmatita Magdalena. En la parte superior tiene contacto paralelo con la

Formación Cosoltepec. Los Diques San Miguel, se encuentran intrusionando a la Formación Chazumba.

La litología de esta formación se compone principalmente por una secuencia de metapelitas y metapsamitas; sin embargo Ortega (1978) define la litología de esta formación como esquistos lit-par-lit en la parte basal que consisten en bandas de esquisto feldespático de biotita como melanosoma, mientras que fungiendo como leucosoma hay capas de composición félsica delgadas compuestas por cuarzo, plagioclasa sódica, microclina y escasa biotita. Por otra parte, el esquisto de biotita es el más característico de la Formación Chazumba, este se encuentra acompañado por intervalos de cuarcita y algunos intervalos pelíticos; estas presentan color gris y bandeamiento, en microscopio presentan una textura de granoblástica a lepidoblástica compuestas por cuarzo ( $\leq 40\%$ ), plagioclasa (0-20%) y biotita (10-20%) con minerales accesorios como muscovita y granate principalmente, mientras que se encuentran opacos, zircón y turmalina en menor cantidad. En el caso de las cuarcitas, estas se componen por cuarzo con textura poligonal con impurezas de muscovita, biotita y granate. Dentro de la litología de la Formación Chazumba se presenta un metagabro diferenciado que aflora en San Miguel con estructura irregular y masiva de 1 km<sup>2</sup> de afloramiento, este cuerpo presenta megacrístales (10-20 cm) de dravita; la mineralogía consiste principalmente de tremolita, antofilita, clinocloro y flogopita. También cuenta con esquistos micáceos (metapelitas) que se presentan a distintos niveles estructurales en la formación y se componen principalmente por muscovita, biotita, granate y cuarzo, con estauroлита o sillimanita ocasionalmente.

### *3.1.2 Formación Cosoltepec*

El centro de los afloramientos de esta formación, se encuentra en el poblado de Cosoltepec, la cual, tiene un espesor máximo de 3,500 m.

Tiene contacto en su base con la Formación Chazumba es estructuralmente concordante y lo definen rocas verdes, anfíbolitas y cuarcitas muy deformadas. Con unidades de la formación Tecomate tiene un contacto superior que es estructuralmente paralelo y puede presentarse de manera gradual o brusca. Algunos diques, pertenecientes a los Diques San Miguel intrusionan la parte inferior de la formación Cosoltepec. Ortega (1978) divide en tres partes la litología de esta formación, como se presenta a continuación:

Su parte *inferior*, se compone de rocas verdes que se presentan en capas de hasta 15 m de espesor con color que varía de color negro a verde, de textura fina a gruesa y con estructura esquistosa o finamente bandeada con plegamiento intenso tipo Chevron; los minerales que se encuentran principalmente en esta roca son plagioclasa, hornblenda y epidota, como accesorios calcita, muscovita y biotita. Esta parte basal también se encuentran cuarcitas que forman estratos con espesor de hasta 20 m que se componen por cuarzo e impurezas de muscovita, biotita y granate.

La parte *media*, predominan esquistos psamíticos y pelíticos (micáceos y granatíferos con estauroлита en algunas partes) con algunas capas de esquisto calcáreo, esquisto de talco, roca verde, metapedernal y rocas manganésíferas que se encuentran finamente foliadas.

La parte *superior*, se compone por rocas metapelíticas (filitas), metapsamitas (filitas cuarzosas y cuarcitas), con algunas partes de roca verde y capas calcáreas delgadas.

Ortega-Gutierrez (1993) propone que la formación Cosoltepec es resultado de un depósito cerca o en el borde de un océano paleozoico relacionado a un margen continental del Proterozoico y que los cuerpos de roca calcáreas podrían provenir de un protolito de calizas arcillosas o limolitas calcáreas, por otro lado, Ramírez-Espinoza (2001) propone que el depósito se dio en un ambiente de talud continental de margen pasivo.

### ***3.2 Subgrupo Acateco***

Las unidades litológicas que componen este grupo, son rocas metasedimentarias y metavolcánicas que se encuentran interestratificadas. Se trata de la parte superior del Complejo Acatlán que se compone por la Formación Xayacatlán y la Formación Tecomate.

#### ***3.2.1 Formación Tecomate***

La Formación Tecomate, fue nombrada por Rodríguez Torres (1970), mismo que le asignó una edad paleozoica tardía. La unidad aflora en el norte en Acatlán y hasta la ranchería de El Tecomate al sur. Se encuentra bastante deformada por lo que no se le dio una medida de espesor exacta, sin embargo se le estima un espesor estructural de 3,000 m. Tiene contacto con la Formación Xayacatlán (sobre ella en contacto paralelo), con la que existe interestratificación, lo cual impide ser cartografiadas por separado en esa zona; con la Formación Cosoltepec (Sobre ella) y con los Granitoides Esperanza de manera ambigua (Ortega 1978).

La litología es compuesta por metacalizas, metaconglomerados, psamitas, semipelitas (estas dos últimas, bandeadas) y en menor cantidad filitas carbonosas y cloríticas. Existe un horizonte índice de gran importancia de metacalizas; que consiste en un cuerpo tabular de color gris azulado con espesor de 1 a 10 m con boudins de material silíceo; y se encuentra acompañado por una interestratificación de metacaliza delgada (laminada), pizarras y fillitas. En un estudio en lámina delgada de la caliza permitió, además de definir su contenido de calcita, cuarzo, feldespato y mica; contiene microfósiles que fueron estudiados por Ruiz-Castellanos en 1970 quien comprobó la edad fanerozoica de la Formación Tecomate; más adelante, los microfósiles fueron identificados por el Dr. F. Bonet y finalmente, estudios hechos en la Universidad en Liverpool lograron datar la formación con edad premisisípica y postcambrica (Ortega 1978).

Por otro lado, los metaconglomerados asociados con areniscas conglomeráticas tienen espesores de hasta 100 m. La litología de sus clastos cambia con respecto a la zona en la que aflora, en la mayoría son de rocas graníticas, sin embargo, también hay de rocas volcánicas félsicas con intraclastos de calizas y pizarra. En otro lugar más puntual se encontraron cantos de granito félsico (Ortega 1978).

Las psamitas feldespáticas se clasifican como meta-arcosas y meta-grauvacas. Las semipelitas se encuentran finamente estratificadas que alternan con arenisca calcárea y pizarra. Cabe destacar que todos los componentes tienen deformación cataclástica intensa (Ortega 1978).

Debido a las litologías que presenta, se concluyó que pertenece a un ambiente marino de depósito somero. Se proponen distintas fuentes para las rocas clásticas, una volcánica y granítica (de edad precámbrica o paleozoica temprana) y otra de un complejo metamórfico de alta temperatura muy parecida a la del complejo Oaxaqueño, esta fue definida por que en las láminas delgadas se encontraron zirrones redondeados de color rosa pálido, feldespatos peritéticos y escasos cristales detríticos de granate, sillimanita, biotita y corindón. Por otra parte, debido a los cantos encontrados de granito gnéisico se sugiere que el Complejo Oaxaqueño haya sido una fuente también (Ortega 1978).

### ***3.3 Características de las muestras tomadas en la zona***

Debido a las características descritas en los siguientes párrafos de este capítulo acerca de los afloramientos, las muestras obtenidas y el metamorfismo de bajo grado que presentan, se propone que podrían ser parte de la Formación Cosoltepec o Tecomate descritas anteriormente.

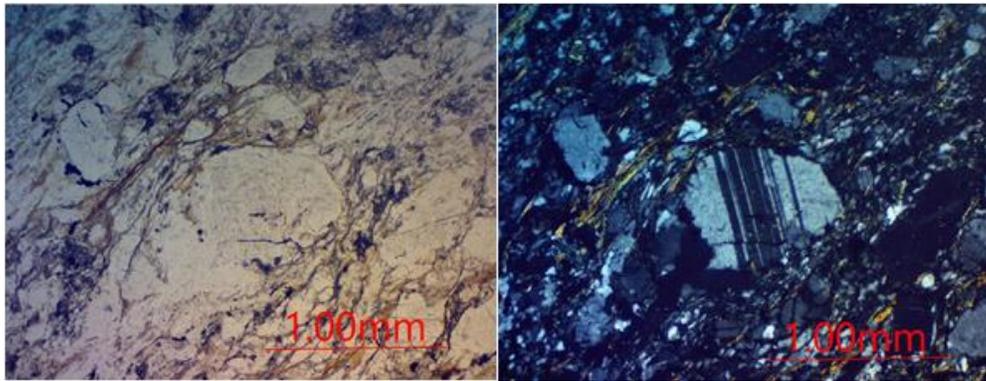
El metamorfismo de bajo grado es evidente por la textura foliada en muestra de mano y cataclástica en lámina delgada, por otra parte, los minerales encontrados como la albita, la clorita y la epidota indican facies de esquistos verdes.

Se tomaron 4 muestras en la zona de estudio, M1 en la barranca La Iguana en los límites entre el cerro Teponaxtli y Cerro Amarillo, cercana a esta ubicación pero a 500 metros al SW se recolectó la muestra M2; sobre la misma barranca La Iguana al SW, en la zona de contacto entre el Complejo Acatlán y el Plutón Otlaltepec se tomó F1, mientras que M3, fue tomada en las afueras de Santo Tomás Otlaltepec (ubicaciones marcadas en el mapa anexo).

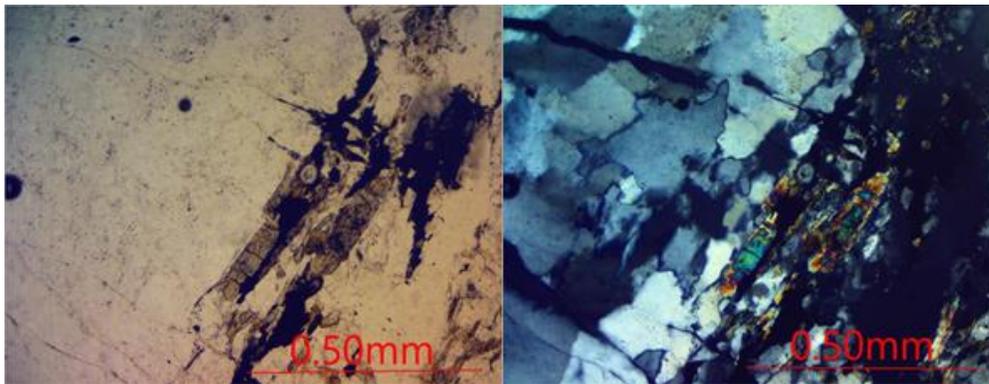
Los afloramientos encontrados en la zona se componen por rocas foliadas de grano fino a medio, color gris que varía de claro a oscuro, las cuales se encuentran muy plegadas y contienen segregaciones de cuarzo lechoso; la competencia de las roca varía; por ejemplo, en los afloramientos encontrados sobre el camino que va de Santo Domingo Tianguistengo con dirección a Santo Tomás Otlaltepec tienden a romperse fácilmente, mientras que los afloramientos que se encuentran en la barranca La Iguana son más competentes, probablemente debido a la variación en el contenido de cuarzo.

Las muestras tomadas en la zona de estudio se clasificaron como cataclasitas y milonitas, dada las texturas cataclástica, tomando en cuenta la cantidad de matriz en las rocas y su foliación. Los minerales que componen a estas rocas son cuarzo y plagioclasas principalmente (de 70% hasta 85%), clorita (de 3% hasta 20%), epidota (de 5% a 7%) y óxidos, micas, apatita y clinozoisita en menores cantidades (Ilustraciones III.1, III.2 y III.3).

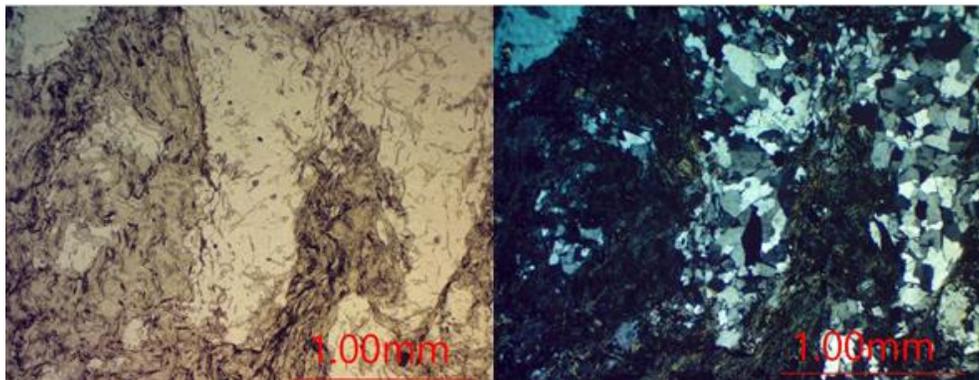
Por otra parte, se realizaron análisis de fluorescencia de rayos x para la determinación cuantitativa de los elementos mayores en las muestras M1, M3 y F1, en las cuales se obtuvieron los resultados encontrados en la Tabla III.1.



*Ilustración III.1 Fotos (a la izquierda lp y a la derecha nx) tomadas con el objetivo de 4x de la muestra M3 tomada en las afueras de Santo Tomás Otlaltepec, en la que se observa deformación y fracturas en un fenoclasto de plagioclasa maclada, evidenciando el dinamometamorfismo.*



*Ilustración III.2 Fotos (a la izquierda lp y a la derecha nx) tomada con el objetivo de 10x de la muestra F1 (tomada en la barranca La Iguana, en la zona de contacto entre el Complejo Acatlán y el Plutón Totoltepec), en la que se muestra un cristal de epidota y en el que se nota la deformación en fenoclastos de cuarzo a la izquierda.*



*Ilustración III.3 Fotos (a la izquierda lp y a la derecha nx) tomadas con el objetivo de 4x de la muestra M1 (tomada en la barranca La Iguana, en los límites entre el cerro Teponaxtli y cerro Amarillo), en la que se observa la presencia de clorita que es muy abundante en esta muestra.*

Tabla III.1 Resultados obtenidos al realizar el análisis de elementos mayores por medio de fluorescencia de rayos x. (Método de preparación: Fusión con 50%  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ -50%  $\text{LiBO}_2$ ).

No. De muestra	1	2	3
Identificación	F1	M1	M3
%			
$\text{SiO}_2$	84.502	56.227	70.313
$\text{TiO}_2$	0.512	1.08	0.558
$\text{Al}_2\text{O}_3$	4.563	14.038	13.083
$\text{Fe}_2\text{O}_3\text{t}$	2.432	13.653	4.671
$\text{MnO}$	0.113	0.196	0.082
$\text{MgO}$	1.516	6.723	2.035
$\text{CaO}$	1.381	1.256	2.772
$\text{Na}_2\text{O}$	1.643	1.187	3.942
$\text{K}_2\text{O}$	0.209	0.735	0.687
$\text{P}_2\text{O}_5$	0.058	0.119	0.086
P x C *	2.85	4.58	1.76
Suma	99.779	99.794	99.989

\*PxC (Pérdida por calcinación a  $950^\circ\text{C}$ )

Dichos resultados se graficaron en el diagrama ACF (Ilustración III.4), en el cual se ubican principalmente dentro del área de las areniscas feldespáticas (grauvacas), tales resultados indican que los protolitos de las rocas que afloran en esta zona tratan de rocas sedimentarias clásticas.

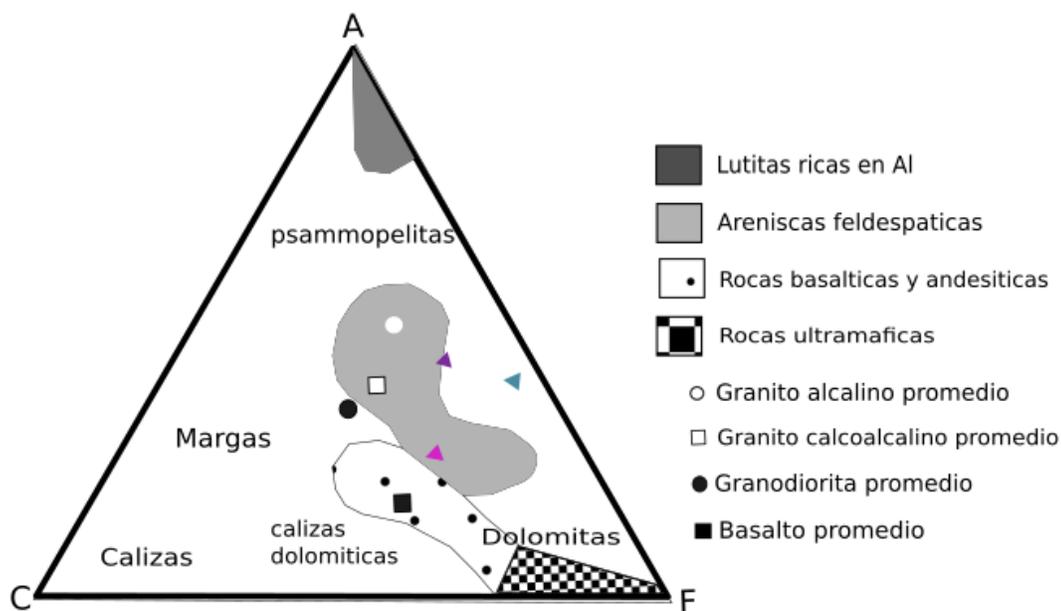


Ilustración III.4 Diagrama ACF (Winkler 1979) en el que se grafican las muestras M1 (color azul), M3 (color morado) y M3 (color rosa).

## IV.-Geología estructural

Para lograr un buen análisis de geología estructural es necesario considerar la descripción de las diferentes unidades de roca en cuestión, para llegar a una interpretación genética certera de este mismo; por lo cual es necesario revisar el capítulo anterior acerca de la estratigrafía en la zona.

Existen factores que influyen para el análisis estructural, además del tipo de roca inicial y proceso de deformación, los cuales son:

- 1.- El orden estructural interno y las propiedades físicas relacionadas con la roca inicial.
- 2.- Fuerzas externas y tracciones superficiales presentes durante la deformación.
- 3.- Tensiones internas ocasionadas por la reacción a las fuerzas externas.
- 4.- Desplazamientos, deformaciones, rotaciones.
- 5.- El orden estructural interno y las propiedades físicas obtenidas en el cuerpo de roca, después de la deformación.

Estos factores deben de estudiarse de manera separada para lo cual el estudio se divide en tres análisis distintos, Geométrico o **descriptivo, cinemático y dinámico** (Turner & Weiss, 1963); los cuales se definen a continuación:

*Análisis descriptivo.* Contiene las medidas directas, las observaciones de la geometría del cuerpo a estudiar y de las propiedades físicas del cuerpo deformado.

*Análisis cinemático.* Para este análisis, se hace uso de los datos utilizados en la descripción, para reconstruir los movimientos ocurridos para que el cuerpo llegara a la deformación actual.

*Análisis dinámico.* Se trata de reconstruir los esfuerzos encontrados dentro de la roca, las fuerzas externas y las tracciones superficiales; se puede asegurar que el análisis es confiable si los límites del cuerpo de roca están bien definidos, además de que su estructura interna sea diferente en los cuerpos adyacentes.

Habiendo definido lo anterior, cabe mencionar que al obtener los datos, estos se muestran en general de una manera muy heterogénea, por lo cual, se optó por dividir los datos en cuatro dominios conformados cada uno por características estructurales similares.

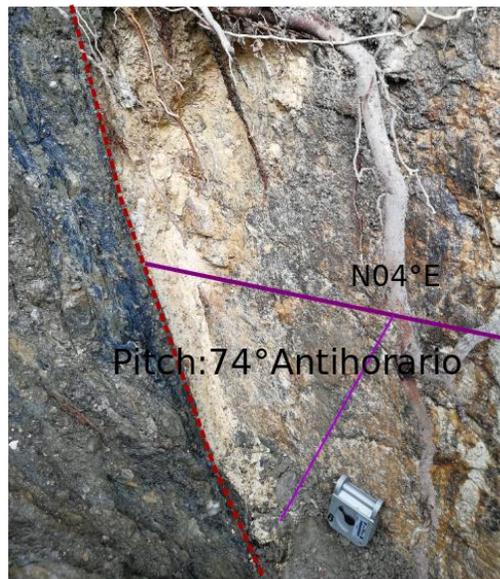
#### 4.1 *Análisis descriptivo*

Se comenzará describiendo las fallas que se encuentran marcadas en el mapa (Anexo al final de este trabajo).

Al Oeste en el mapa, entre los límites del Cerro Gallo y Monera Tumbada, se encuentra una falla inferida de tipo lateral derecha que abarca 11 km aproximadamente, con un rumbo al  $S79^{\circ}E$ . Un poco más al sur, en los contactos entre el Plutón Totoltepec encontrado al SE y el Complejo Acatlán se encuentran dos fallas inversas (Tabla IV.0.1 e Ilustración IV.0.1), las cuales fueron tomadas en la Barranca “La Iguana” con las siguientes coordenadas:

*Tabla IV.0.1 Elementos de las fallas inversas cuyos datos fueron tomados en campo*

<b>Coordenadas</b>	<b>Rumbo</b>	<b>Echado</b>	<b>Pitch</b>
14Q (628,159 m E, 2'020,781 m N)	N4°E	65° SE	74° Anti horario
14Q (627,825 m E 2'021,323 m N)	N5°W	84° NE	68° Horario



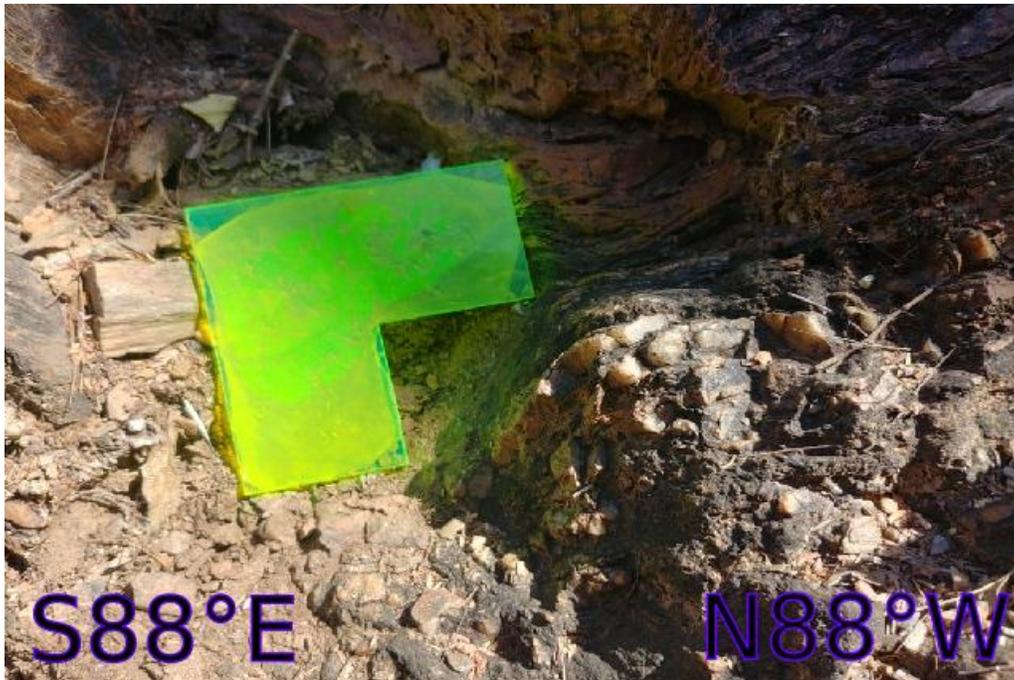
*Ilustración IV.0.1 Foto del plano de falla ubicado en la zona de contacto entre EL Plutón Totoltepec (W) y el Complejo Acatlán (E) en la barranca “La Iguana”, en el que se muestra la dirección de las estrias con respecto al plano de falla. La línea roja punteada presenta el contacto entre las dos litologías.*

A la misma altura en el mapa que estas fallas inversas, se encuentran dos fallas laterales izquierdas y una falla inversa, las tres fallas mencionadas, son inferidas entorno a las fallas encontradas que fueron mencionadas anteriormente. Estas fallas tienen rumbos de  $S37^{\circ}E$ ,  $S24^{\circ}E$  y  $S63^{\circ}E$  respectivamente.

Por otra parte, en la zona de estudio se encontraron estructuras alargadas en forma de lápiz (Ilustración IV.0.2), las cuales, se definen como estructuras compuestas de cuarzo lechoso de forma prolada o puro con dirección paralela a la charnela. Llamaremos a estas estructuras *lápices*; estos se encuentran marcados en el mapa y tienen los siguientes elementos (Tabla IV.0.2):

*Tabla IV.0.2 Elementos de los “lápices” encontrados en campo.*

<b>Coordenadas</b>	<b>Echado</b>	<b>Rumbo</b>	
14Q (627,671 m E, 2'022,227 m N)	84	27	NE
14Q (627,900 m E, 2'021,450 m N)	26	80	SW
14Q (628,400 m E, 2'022,800 m N)	15	80	NW



*Ilustración IV.0.2 Fotografía de un lápiz, ubicado en los límites de El Copal con las coordenadas 14Q (629,589 m E, 2'18,773 m N).*

Estas estructuras ayudaron a la interpretación para obtener de mejor manera la orientación de las charnelas de los pliegues interpretados.

Las siguientes estructuras a describir son los pliegues encontrados en el mapa. Los pliegues se clasifican en: anticlinales, sinclinales, anticlinales inferidos y sinclinales inferidos. Los pliegues se definieron al interpretar las foliaciones tomadas en los caminamientos hechos en campo (datos de foliación en Anexo 2).

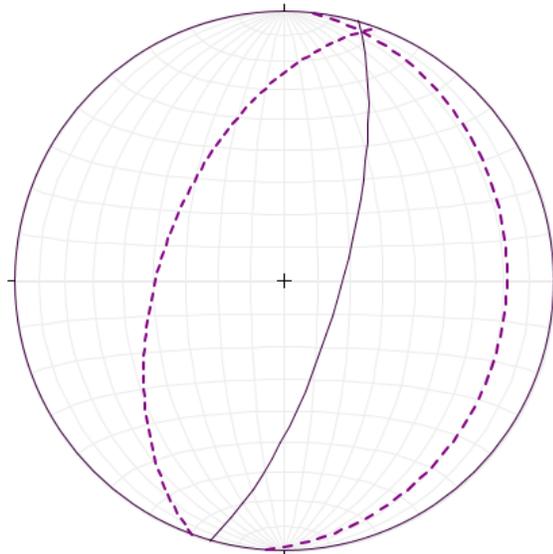
Los dominios fueron designados por sus características estructurales como antes fue mencionado (acomodo de los dominios en el mapa en Anexo 3). Para cada dominio se realizó un análisis de datos de pliegues tomados en la zona o con ayuda de las foliaciones que se encuentran dentro de los dominios y los resultados se presentarán a continuación:

**Dominio I.**

Los datos tomados para realizar el análisis para este dominio se obtuvieron en las afueras de Santo Tomás Otlaltepec (Ilustración IV.0.4), sobre el cauce del río que viaja paralelamente a la vialidad que lleva a Santo Domingo Tianguistengo (datos en Anexo 4). El análisis final (Ilustración IV.0.3) sugiere que los principales elementos del pliegue principal son los siguientes (Tabla IV.0.3):

*Tabla IV.0.3 Elementos del pliegue para el Dominio I.*

<b>Elemento</b>	<b>Rumbo</b>	<b>Echado</b>
Flanco Este	N6° E	19° SE
Flanco Oeste	S20°W	52° NW
Plano Axial	N17°E	73° SE
Charnela	N18°E	4°



*Ilustración IV.0.3 Proyección del pliegue principal en el Dominio I. Con línea punteada se presentan los dos flancos, mientras que con línea continua se presenta el plano axial.*

El ángulo interflacos es de  $108^\circ$  por lo que se clasifica como un pliegue *abierto* y por el echado del plano axial que es de  $73^\circ$  se trata de un pliegue *muy inclinado* y según el echado de la charnela ( $4^\circ$ ) se trata de un pliegue *horizontal* (Fleuty 1964).



*Ilustración IV.0.4 Fotografías en las que se visualizan la forma de los pliegues encontrados dentro del Dominio I.*

## Dominio II

Para este análisis, se utilizaron los datos de foliación obtenidos en el caminamiento que inicia en los límites del cerro El Gallo, pasando por el Teponaxtle (Ilustración IV.0.6) y hasta llegar a la barranca La Iguana (datos en Anexo 4). El resultado del análisis realizado es el siguiente (Tabla IV.0.4 e Ilustración IV.0.5):

Tabla IV.0.4 Elementos del pliegue final para el Dominio II.

Elemento	Rumbo	Echado
Flanco W 1	N46°W	18° NE
Flanco W 2	N72°W	26° NE
Plano Axial	N59°W	22° NE
Charnela	N77°E	17°

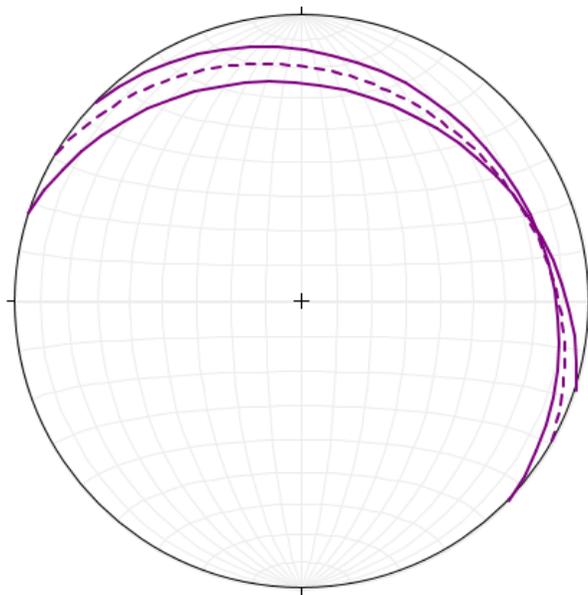


Ilustración IV.0.5 Proyección del pliegue principal en el Dominio II. Las líneas continuas representan a los flancos, mientras que la línea punteada presenta el plano axial.

Por su ángulo interflancos de 13°, este pliegue es clasificado como pliegue *apretado*. Se trata del pliegue más complejo del área estudiada, ya que el echado del plano axial que es de 22° indica que se trata de un pliegue *ligeramente inclinado* y según el echado de su charnela (17°) se encuentra *suavemente hundido* (Fleuty 1964).



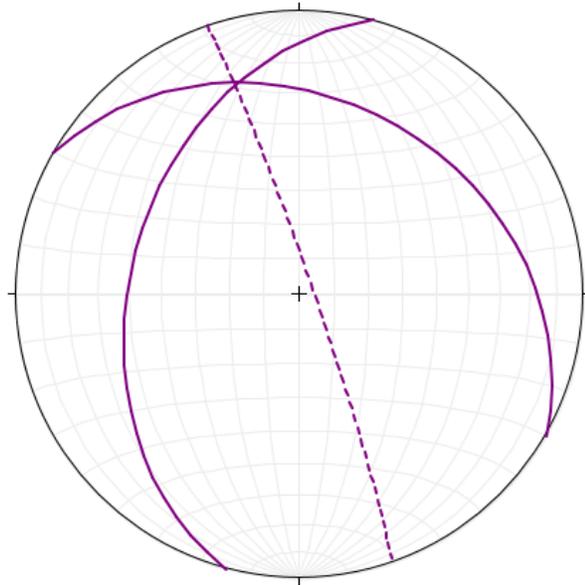
*Ilustración IV.0.6 Fotografías de algunos datos de foliaciones tomadas en cuenta para el análisis de pliegues en el Dominio II. En color púrpura se encuentra marcado la orientación del rumbo y la dirección del echado en un tono más fuerte.*

### Dominio III

Para el dominio número 3, se ocuparon los datos de foliaciones obtenidos en la barranca La Iguana (Ilustraciones IV.0.8 y IV.0.9), extendiéndose hasta los límites al sureste de Santo Domingo Tianguistengo, en el norte y el cerro Amarillo al sur (datos en Anexo 4). Los elementos resultantes del análisis realizado para este dominio (Ilustración IV.0.7), son los siguientes (Tabla IV.0.5):

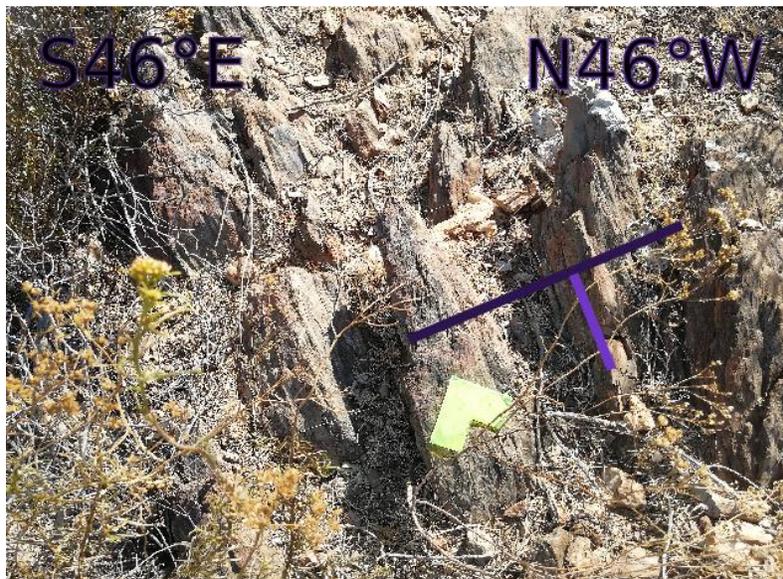
*Tabla IV.0.5 Elementos del pliegue final del analisis hecho para el Dominio III.*

<b>Elemento</b>	<b>Rumbo</b>	<b>Echado</b>
Flanco N	N60°W	40° NE
Flanco S	S15°W	32° NW
Plano Axial	N19°W	86° NE
Charnela	N37°W	24°

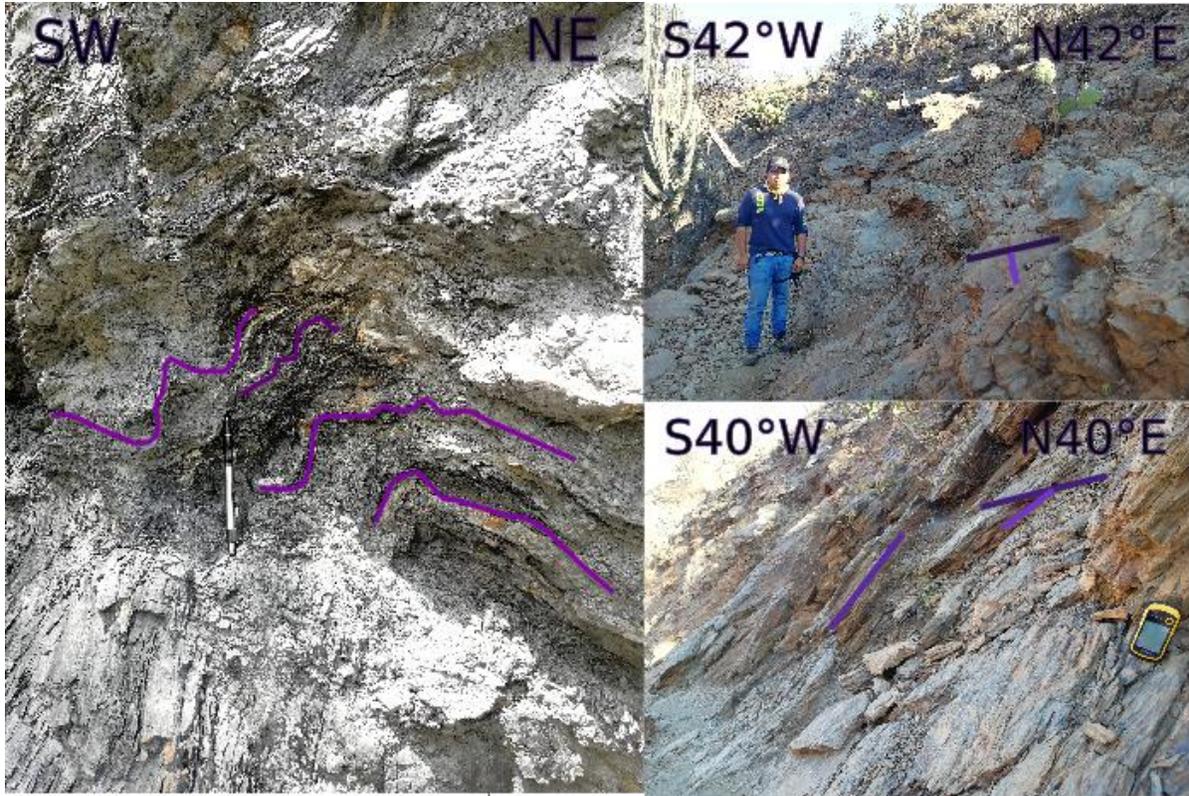


*Ilustración IV.0.7 Proyección estereográfica del pliegue obtenido para el dominio III. En líneas continuas se encuentran presentados los flancos, mientras que en la línea punteada representa el plano axial.*

El ángulo interflancos en este pliegue es de  $122^\circ$ , por lo que se clasifica como un pliegue *abierto* y el echado del plano axial es de  $86^\circ$  por lo que se trata de un pliegue *vertical* y por el echado de su charnela ( $24^\circ$ ) es *suavemente hundido* (Fleuty 1964).



*Ilustración IV.0.8 Fotografía del lugar en el que se tomó un dato en el Cerro Teponaxtli con similitud en el cuadrante en el que se ubica el flanco izquierdo en el pliegue resultante.*



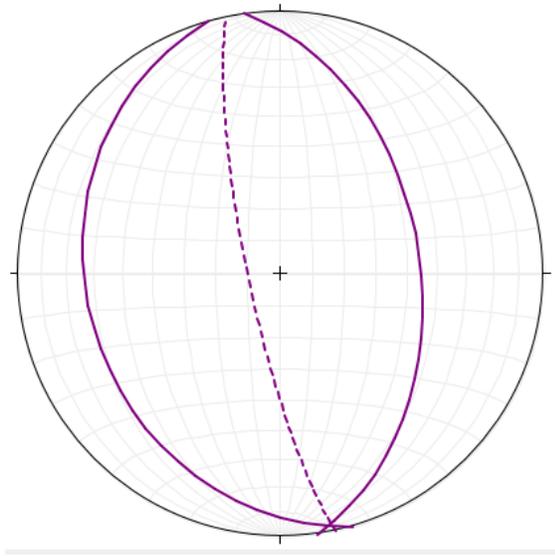
*Ilustración IV.0.9 Fotos tomadas en la barranca La Iguana, la primera al E, cerca de la zona de contacto entre el esquistos y el granito, mientras que las siguientes dos fueron tomadas más al W, en los límites del cerro Teponaxtli.*

#### Dominio IV

El dominio IV abarca desde parte del cerro Amarillo y hasta los límites de El Copal. Los datos utilizados para realizar este análisis fueron tomados en la carretera que sale de Santo Domingo Tianguistengo hacia El Copal y también dentro de la barranca ubicada en El Amate (Ilustraciones IV.0.11 y IV.0.12, datos en Anexo 4). Los elementos resultantes del análisis elaborado (Ilustración IV.0.10), son los siguientes (Tabla IV.0.6):

*Tabla IV.0.6 Elementos del pliegue final para el Dominio IV.*

Elemento	Rumbo	Echado
Flanco W	N8°W	46° NE
Flanco E	S16°E	27° SW
Plano Axial	S78°E	80° SW
Charnela	S12°E	3°

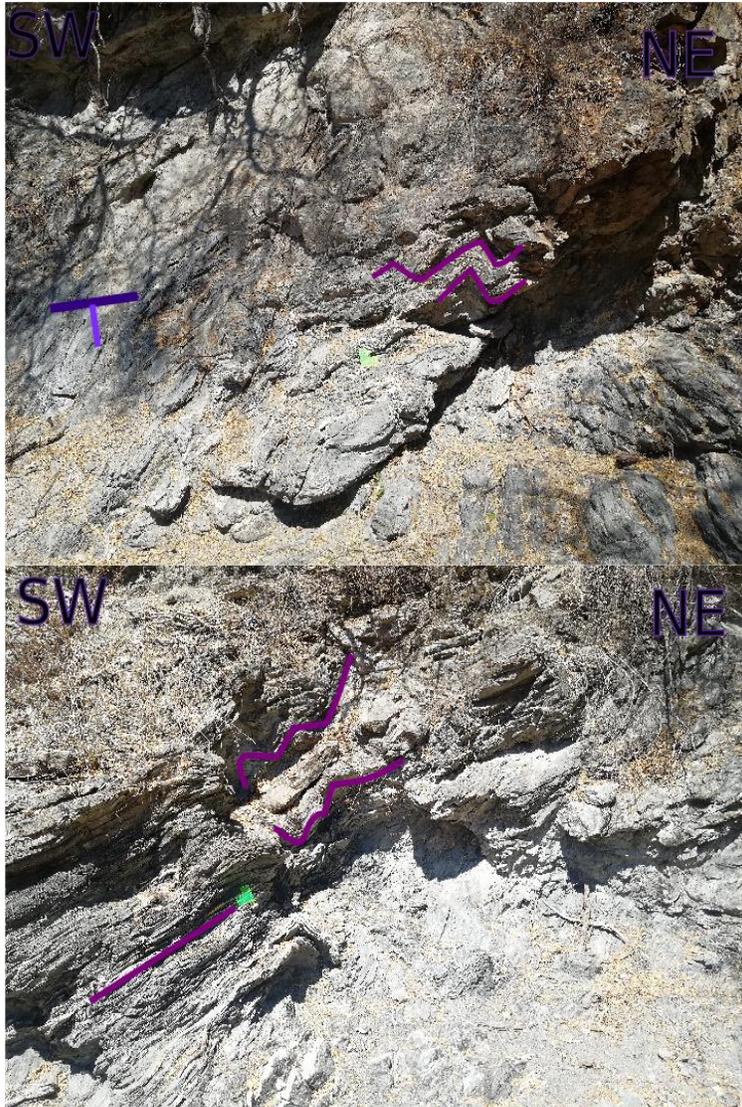


*Ilustración IV.0.10 Proyección estereográfica del pliegue final obtenido del análisis hecho para los datos encontrados en el dominio IV. Marcadas por líneas continuas se representan los flancos, mientras que la línea punteada representa el plano axial del pliegue.*

El ángulo interflancos en este pliegue es de  $106^\circ$ , por lo que se clasifica como un pliegue *abierto*, el echado del plano axial es de  $80^\circ$  por lo que se trata de un pliegue *vertical* y por el echado de su charnela de  $3^\circ$  se clasifica como un pliegue *sub-horizontal* (Fleuty 1964).



*Ilustración IV.0.11 Fotografía de pliegues con forma chevron en El Amate más cercano a la carretera que va a Santiago Chazumba.*

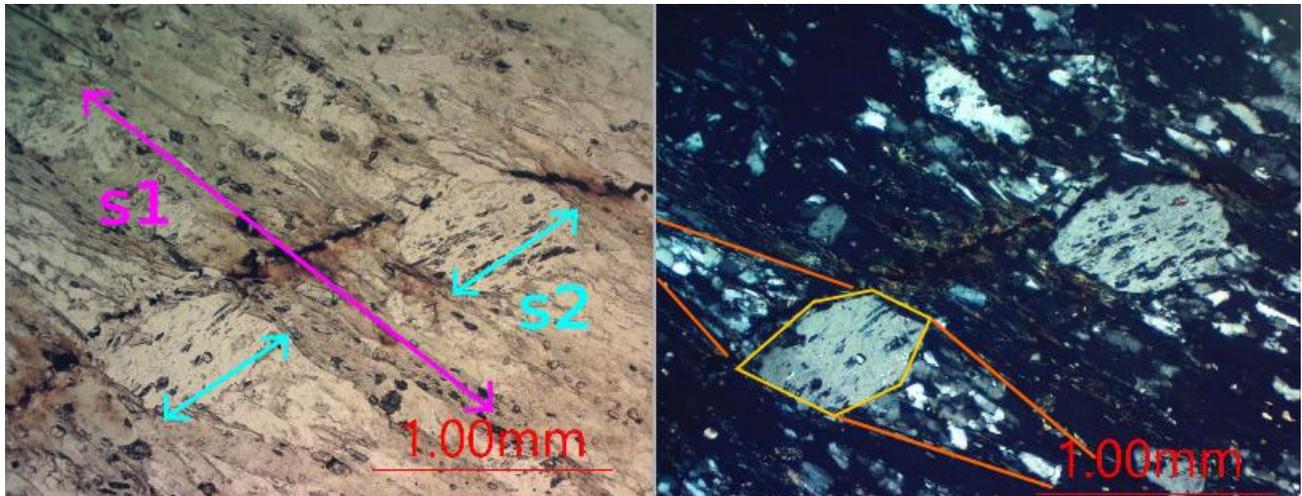


*Ilustración IV.0.12 Fotografías tomadas en el lugar en el que se tomaron los datos de los pliegues para el dominio IV. Se resalta cada uno de los pliegues pequeños, causados por la deformación.*

#### **4.2 Microestructuras en láminas delgadas**

En este capítulo se mostrarán las microestructuras encontradas en las láminas delgadas de algunas muestras representativas.

Con las láminas se pueden distinguir discontinuidades planares a pequeña escala como es el siguiente caso:



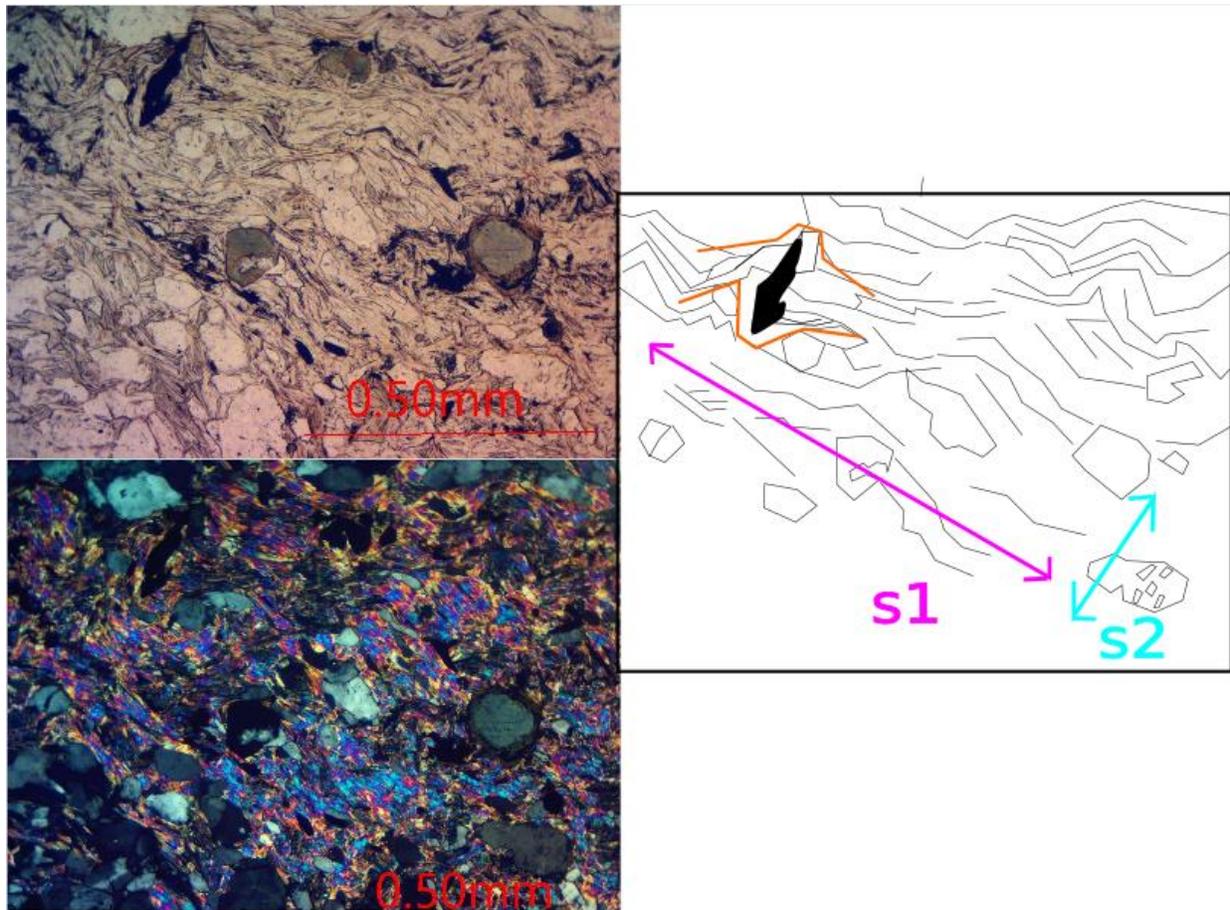
*Ilustración IV.0.13 Fotografía de una sección de lámina delgada de la muestra M1 usando objetivo de 4x. A la izquierda con luz paralela y a la derecha con nicoles cruzado en la que se observan fácilmente dos superficies de deformación (s1 y s2).*

En la Ilustración IV.0.13 del lado derecho se observan porfidoclastos dentro de una matriz de cuarzo, plagioclasas y clorita que se encuentran orientados todos en una dirección (s1). Sin embargo, estos porfidoclastos se encuentran orientados de otra manera, casi cruzan a s1 perpendicularmente, al igual que las inclusiones de epidota encontradas dentro de ellos, por lo que se propone otra discontinuidad (s2).

En la figura del lado izquierdo se observa “sombra de presión simétrica” a los lados del porfidoclasto y siguiendo la orientación de s1. Estas sombras de presión son ocasionadas por recristalización o cristalización sintectónica al haber un material duro entre el mineral primario y su matriz (J.P.Bard 1980).

En la Ilustración IV.0.14 se observa una primera orientación definida por los cristales deformados de muscovita y otros cristales (s1), mientras que las inclusiones presentes en un porfidoclasto (ubicado en la esquina inferior derecha de la foto) es observable una orientación distinta (s2).

En la misma foto pero en la esquina superior izquierda se observa un óxido que se encuentra rodeado por cristales de muscovita, dejando ver nuevamente a s2.



*Ilustración IV.0.14 Del lado se encuentran fotografías de una sección en lámina delgada de la muestra M2, mientras que a lado derecho hay un diagrama del acomodo de las discontinuidades. En las fotos de la muestra se observa mica y fenocristales de cuarzo.*

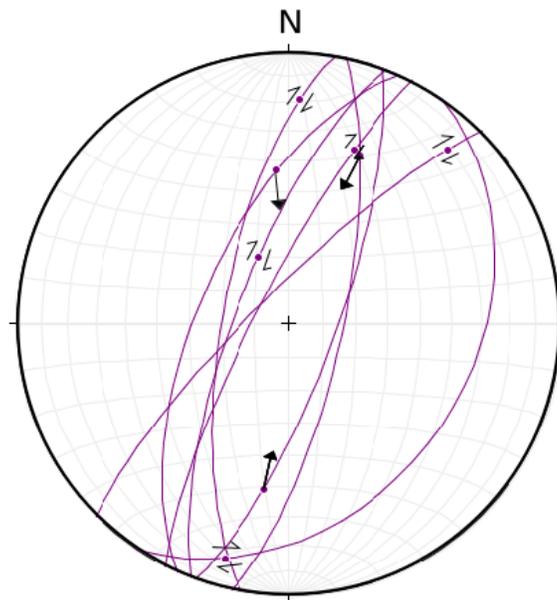
### 4.3 *Análisis cinemático*

Para el análisis cinemático se expondrán primero los ejes de extensión y acortamiento obtenido del análisis de un conjunto de datos de fallas tomados en un punto en diferentes ubicaciones en el mapa. Posteriormente los ejes de extensión y acortamiento en los pliegues y finalmente los diagramas de las rosetas realizadas con los datos obtenidos en campo.

Los ejes de acortamiento y extensión se explicarán por su ubicación de norte a sur en el mapa, empezando por los que se encuentran en el camino de Santo Tomás Otlaltepec a Santo Domingo Tianguistengo en el metamórfico.

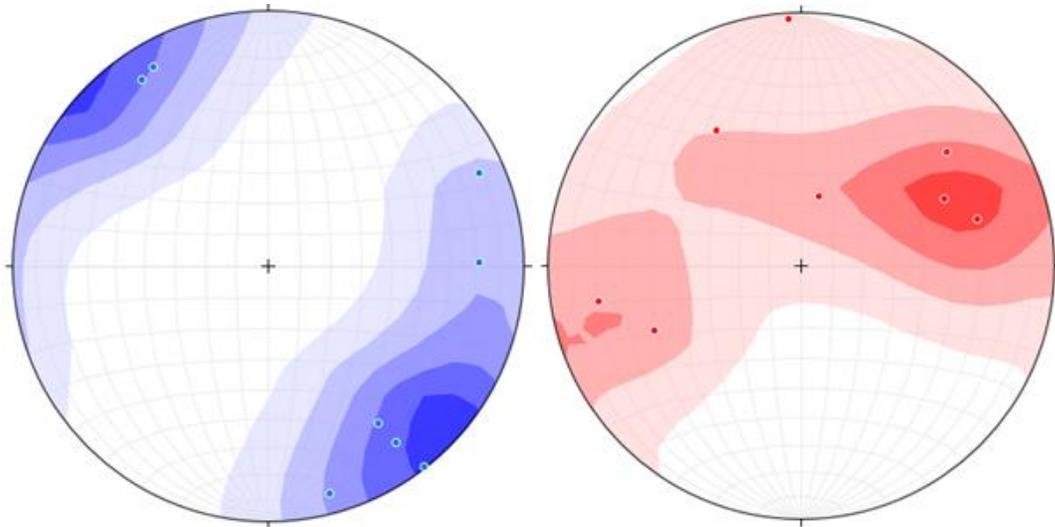
En la ilustración IV.0.15 se observa que la mayoría de las fallas presentes son de tipo Lateral derecha, mientras que las restantes son inversas. Los planos tienen una tendencia en su rumbo de NE-SW.

14Q (628,370 m E, 2'022,720 m N)



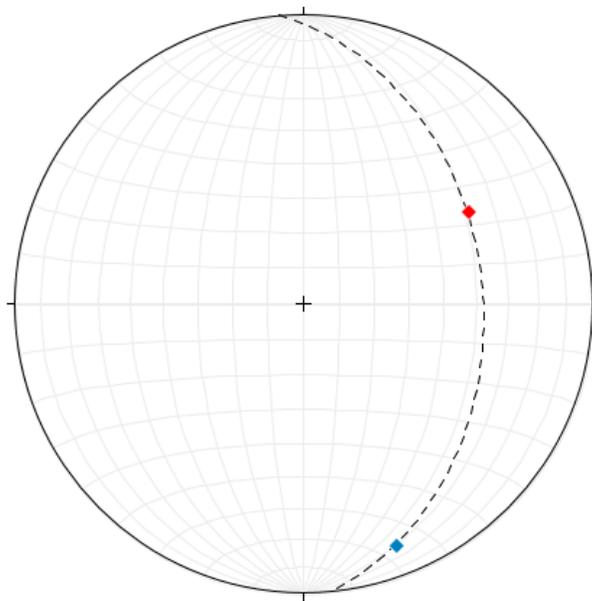
*Ilustración IV.0.15 Planos de falla obtenidos en las afueras de Santo Tomás Otlaltepec. Los datos se encuentran en el Anexo 5.*

Para cada una de estas fallas se obtuvo su eje de extensión y acortamiento y se hizo conteo para obtener los datos representativos de la zona (Ilustración IV.0.16).



*Ilustración IV.0.16* Conteo de puntos para los ejes de acortamiento (a la izquierda) y los ejes de extensión (a la derecha).

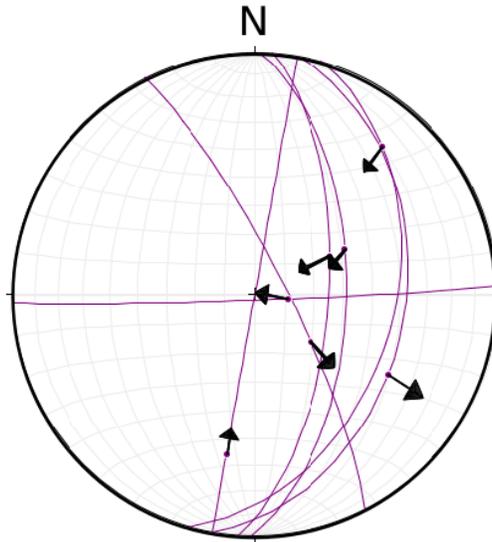
Al realizar este análisis, los ejes de extensión y acortamiento fueron propuestos de la siguiente manera: **Eje de extensión: 35° al N61°E. Eje de acortamiento: 11° al S21°E** (Ilustración IV.0.17). Los cuales al graficarlos se encuentran de la siguiente manera:



*Ilustración IV.0.17* Proyecciones del eje de acortamiento (azul) y el eje de extensión (rojo) obtenidos de los datos en Santo Tomás Otlaltepec.

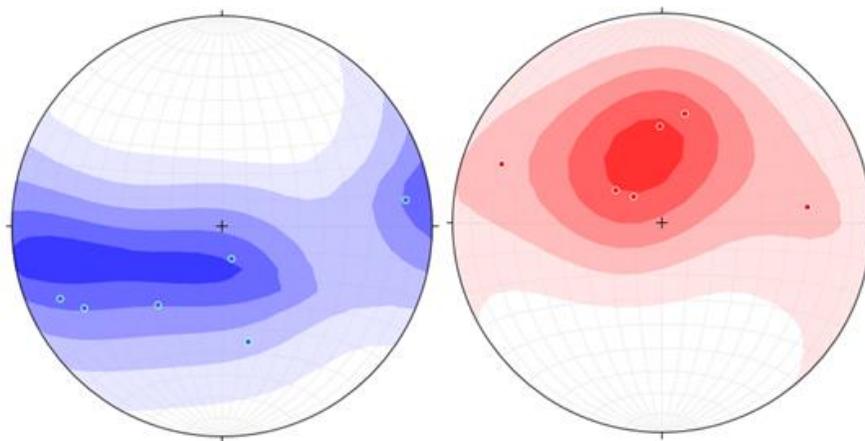
El siguiente análisis de fallas se realizó con las fallas encontradas en el granito que está en la barranca La Iguana justo a lado del punto de contacto (Ilustración IV.0.18). Las coordenadas del lugar son:

14Q (628,159 m E, 2'020,781 m N)



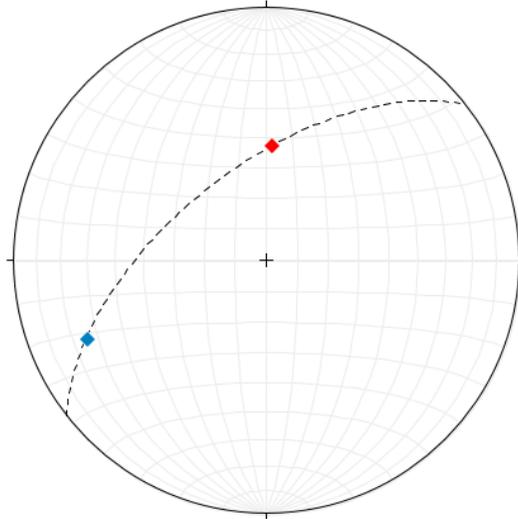
*Ilustración IV.0.18 Proyecciones de las fallas encontradas en la zona de contacto en la barranca La Iguana. La tabla de datos se encuentra en el Anexo 5.*

En el diagrama anterior se observa que la mayoría de las fallas son de tipo inverso, mientras que solo dos son de tipo normal. De igual manera para cada falla se encontró el eje de acortamiento y el eje de extensión para encontrar las concentraciones de estos (Ilustración IV.0.19).



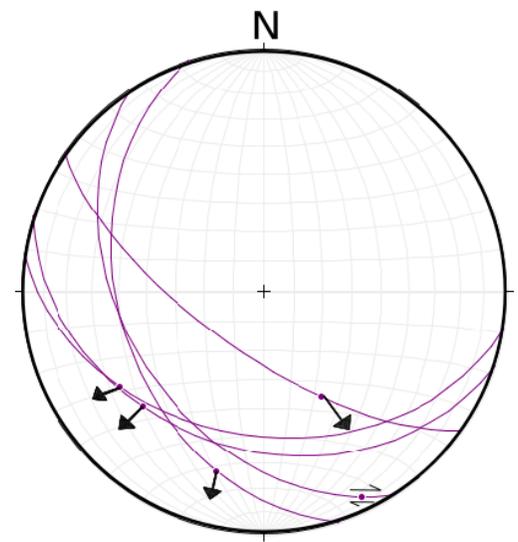
*Ilustración IV.0.19 Concentraciones para el eje de acortamiento (a la izquierda) y para el eje de extensión (a la derecha).*

Los ejes de extensión y acortamiento resultantes, fueron propuestos de la siguiente manera: **Eje de extensión: 53° al N3°E. Eje de acortamiento: 24° al S56°E** (Ilustración IV.0.20). Los cuales al graficarlos se encuentran de la siguiente manera:



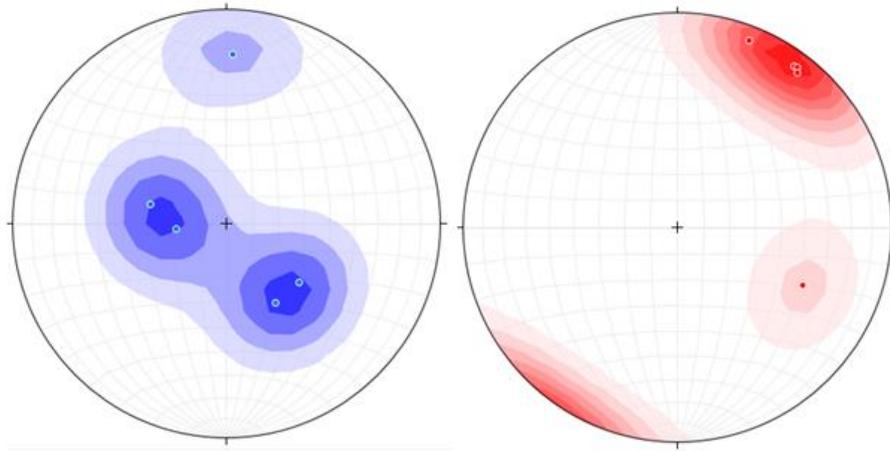
*Ilustración IV.0.20 Proyección del eje de extensión (rojo) y el eje de acortamiento (azul).*

Los siguientes datos fueron tomados en granito, en una zona en la que se encuentra en contacto el gabro y el granito sobre la carretera que va de Santiago Chazumba a Santo Domingo Tianguistengo (Ilustración IV.0.21). Tal punto tiene las coordenadas: 14Q (62,8306 m E, 2'019,802 m N).



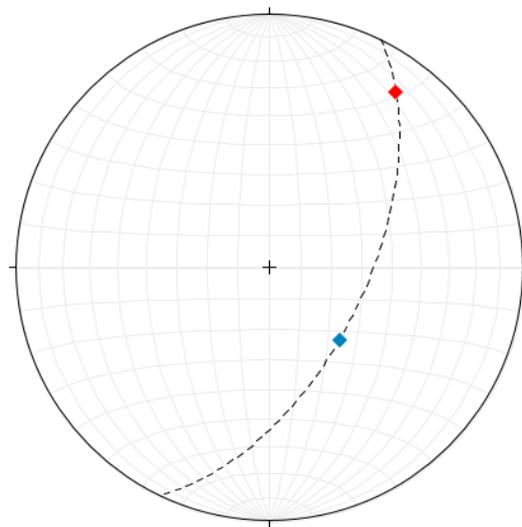
*Ilustración IV.0.21 Proyección de fallas tomadas en la zona de contacto granito-gabro.*

Los planos de falla en esta zona tienen un rumbo principal al SE-NW y son principalmente normales, solo una es de tipo lateral derecha. Los datos obtenidos para dicho análisis se encuentran en la tabla VII.12 en el Anexo 5. De cada falla se obtuvo el eje de extensión y el eje de acortamiento para encontrar su mayor concentración y definir los ejes principales (Ilustración IV.0.22).



*Ilustración IV.0.22* Conteo de puntos para los ejes de acortamiento (a la izquierda) y los ejes de extensión (a la derecha).

Al realizar este análisis, los ejes de extensión y acortamiento fueron propuestos de la siguiente manera: **Eje de extensión: 16° al N36°E. Eje de acortamiento: 57° al S44°E** (Ilustración IV.0.23). Los cuales al graficarlos se encuentran de la siguiente manera:

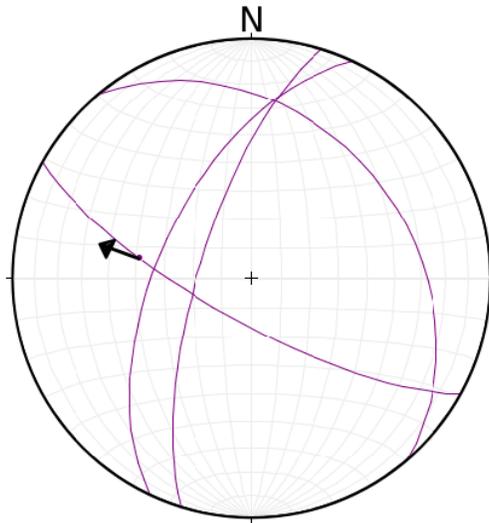


*Ilustración IV.0.23* Proyección del eje de extensión (rojo) y el eje de acortamiento (azul).

Los últimos datos de fallas fueron tomados en los límites de El Copal, sobre la carretera que va de Santiago Chazumba hacia Santo Domingo Tianguistengo (Ilustraciones IV.0.24 y IV.0.25).

Las coordenadas de la zona son:

14Q (629,167 m E, 2'018,706 m N)

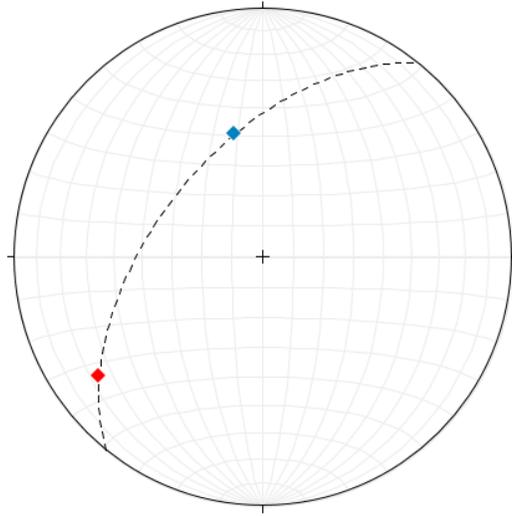


*Ilustración IV.0.24 Proyección estereográfica de los datos de fallas obtenidos en los límites de El Copal.*



*Ilustración IV.0.25 Fotografías de los planos de fallas encontrados los límites de El Copal.*

Para este caso, al encontrar solo un plano de falla con estrías y poder medir el Pitch solo de una falla, se encontró solo el **eje de extensión (20° al S54°W)** y el **eje de acortamiento (45° al N13°W)** de esta (Ilustración IV.0.26). Quedan graficados en la red estereográfica de la siguiente manera:

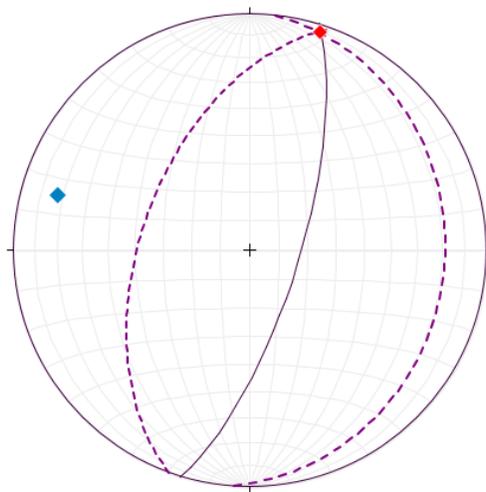


*Ilustración IV.0.26 Proyección del eje de acortamiento (azul) y el eje de extensión (rojo).*

A continuación se presentarán las proyecciones estereográficas de los ejes de acortamiento y los ejes de extensión para cada pliegue de cada dominio estructural.

#### Dominio I.

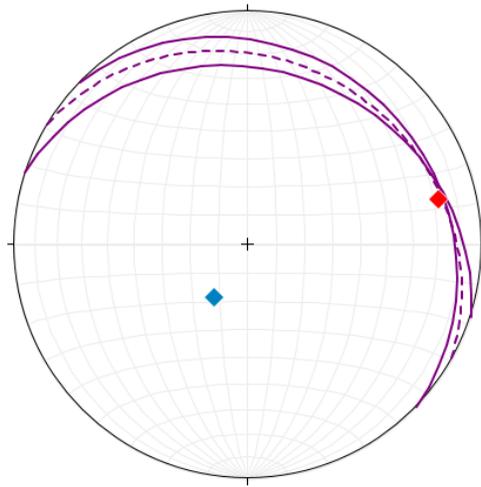
Los flancos de este pliegue se representan por las líneas punteadas, mientras que el plano axial se representa por una línea continua y el eje de acortamiento con orientación NW se representa con en color azul y el eje de extensión con orientación NE se representa con el color rojo (Ilustración IV.0.27).



*Ilustración IV.0.27 Proyección del pliegue del Dominio I con su dominio de extensión en rojo y eje de acortamiento en azul.*

## Dominio II

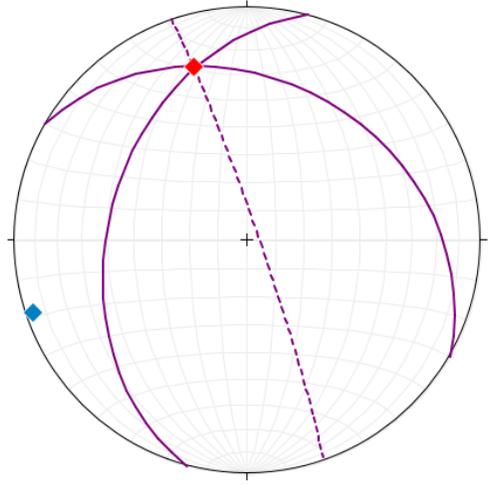
Para el pliegue del Dominio II (Ilustración IV.0.28), los flancos se representan por dos líneas continuas en color morado, mientras que el plano axial se representa por una línea punteada igualmente en color morado y el eje de acortamiento con orientación SW se representa con un diamante en color azul, mientras que el eje de extensión con orientación NE se representa con un diamante en color rojo.



*Ilustración IV.0.28 Proyección del pliegue del Dominio II con su dominio de extensión en rojo y eje de acortamiento en azul.*

## Dominio III.

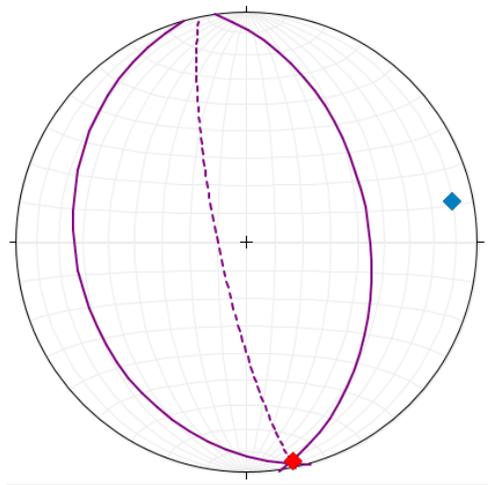
Los flancos se representan en la ilustración IV.0.27 como dos líneas continuas, mientras que el plano axial se representa por una línea punteada. El eje de extensión se representa por un diamante rojo y este tiene una orientación al NW. El eje de acortamiento está representado por un diamante de color azul, el cual tiene una orientación al SW.



*Ilustración IV.0.29 Proyección del pliegue del Dominio III con eje de extensión en rojo y eje de acortamiento en azul.*

#### Dominio IV.

Para el pliegue representativo del dominio IV (Ilustración IV.0.30), los flancos se representan como dos líneas continuas, mientras que el plano axial se representa por una línea punteada. El eje de extensión se representa por un diamante rojo y este tiene una orientación al SE. El eje de acortamiento está representado por un diamante de color azul, el cual tiene una orientación al NE. A continuación se presenta la proyección estereográfica de estos elementos estructurales:

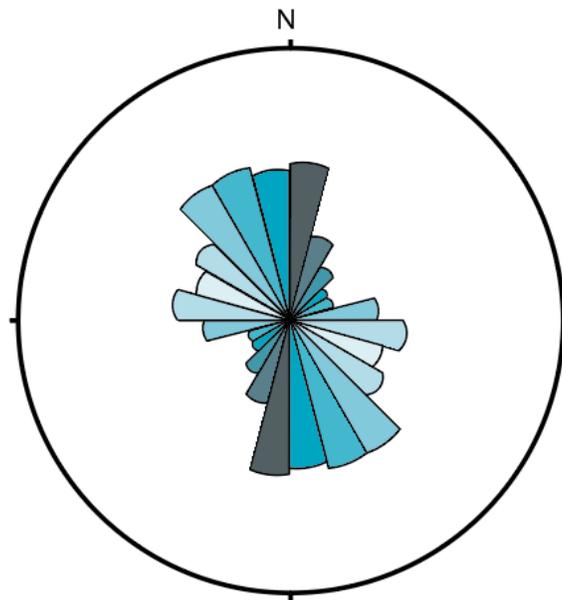


*Ilustración IV.0.30 Proyección del pliegue del dominio IV con su eje de extensión en rojo y eje de acortamiento en azul.*

Para un mejor entendimiento de la cinemática en la zona de estudio, se elaboraron un total de 8 rosetas de rumbos de fracturas, cubriendo localidades importantes en la zona de estudio. A continuación se presentará cada una de ellas según su ubicación de norte a sur en el mapa.

La roseta de la Ilustración IV.0.31 se realizó con los datos obtenidos en las afueras de Santo Tomás Otlaltepec con dirección a Santa Catarina Tehuixtla, en un afloramiento sobre el camino de la formación Otlaltepec (sedimentario clástico). Esta formación se encuentra en contacto con la zona de estudio (Complejo Acatlán) por lo que el objetivo de tener una roseta en esta zona es definir si hay coincidencia en las fracturas.

14Q (629,397 m E, 2'023,805 m N)



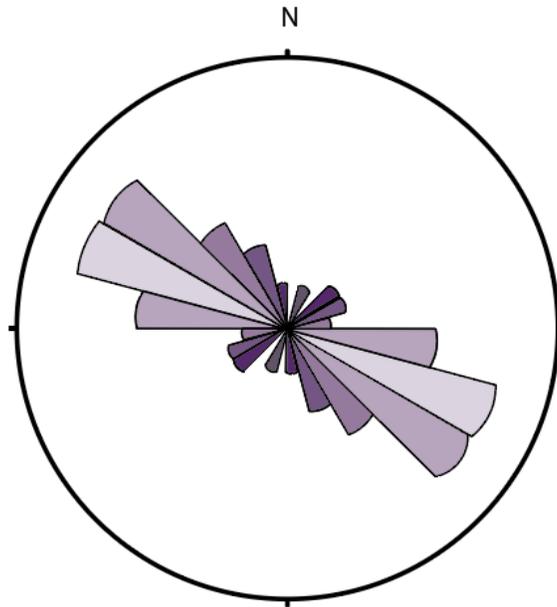
*Ilustración IV.0.31 Roseta elaborada con datos de la formación Otlaltepec.*

Como se observa en la Ilustración IV.0.31, se encuentran dos principales tendencias, una que se encuentra NE-SW de  $0^\circ$  a  $15^\circ$  a partir de N hacía el E; la otra tendencia abarca NW-SE de  $15^\circ$  a  $45^\circ$  a partir de N y hacía W. Esta roseta fue hecha con un total de 81 datos de fracturas, la lista de datos se encuentra en el Anexo 6 en la tabla VII.14.

La roseta de la ilustración IV.0.32 se obtuvo relativamente cerca del contacto entre el Complejo Acatlán y la Formación Otlaltepec, (Ilustración IV.0.33). Esta roseta muestra una tendencia muy

marcada hacía la orientación NW-SE con  $45^\circ$  a  $75^\circ$  medidos a partir de N hacia W. Los datos utilizados para esta roseta fueron 80 y se encuentran en el Anexo 6 en la tabla VII.15.

14Q (628,600 m E, 2'022,865 m N)



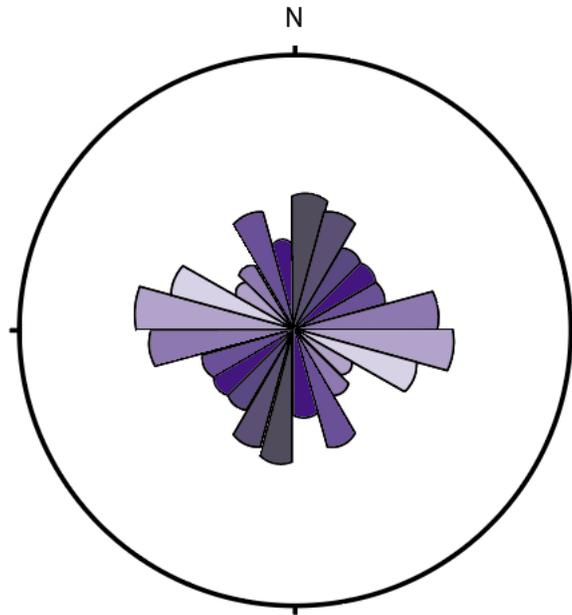
*Ilustración IV.0.32 Roseta obtenida por datos en la salida de Santo Tomás Otlaltepec camino a Santo Domingo Tianguistengo, en un afloramiento del Complejo Acatlán.*



*Ilustración IV.0.33 Foto del afloramiento en el que se obtuvieron los datos de fracturas en las afueras de Santo Tomás Otlaltepec. En rosa se encuentran marcadas algunas fracturas pertenecientes a la familia principal presente en la roseta.*

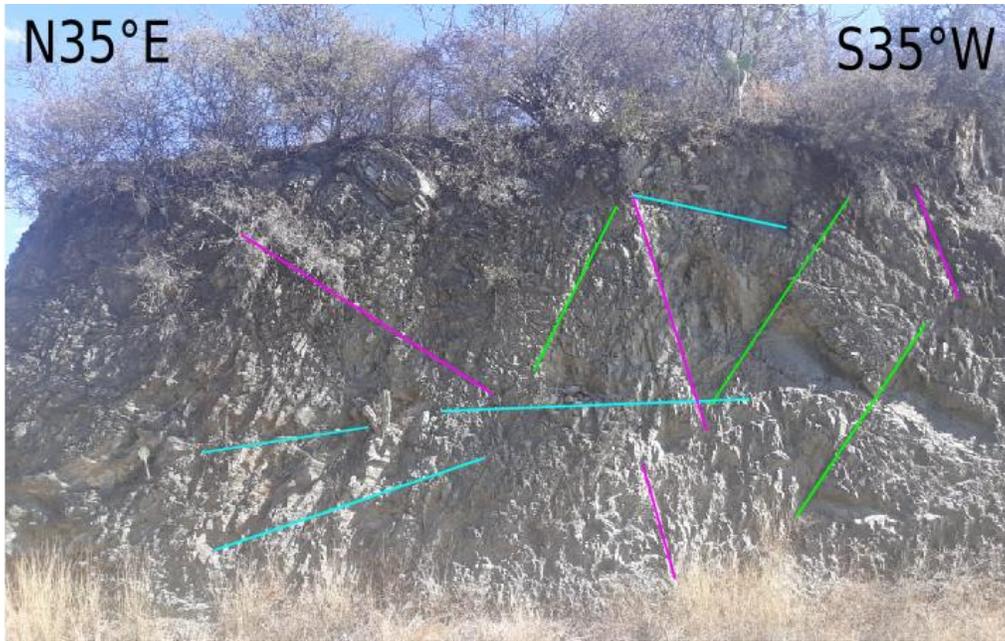
La roseta representada en la ilustración IV.0.34 está compuesta por 105 datos de fracturas obtenidas en las afueras de Santo Domingo Tianguistengo, sobre un afloramiento del Complejo Aactlán (Ilustración IV.0.35) encontradas en el camino que se dirige a Santo Tomás Otlattepec (Datos en Anexo 6, Tabla VII.16).

14Q (627,506 m E, 2'022,108 m N)



*Ilustración IV.0.34 Roseta obtenida en un afloramiento del Complejo Acatlán en las afueras de Santo Domingo Tianguistengo.*

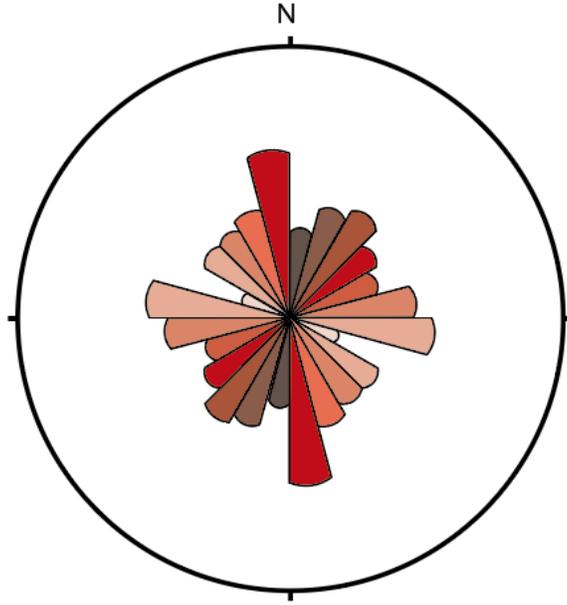
En esta roseta, se observan fácilmente 3 familias principales, la más representativa tiene una orientación NW-SE con  $75^{\circ}$  a  $90^{\circ}$  medidos a partir del N hacia el W. La segunda familia representativa tiene una orientación NE-SW con  $0^{\circ}$  a  $15^{\circ}$  medidos a partir del N hacia el E. Por último la tercera familia que se observa tiene una orientación NW-SE con  $15^{\circ}$  a  $30^{\circ}$  medidos a partir del N y hacia el W.



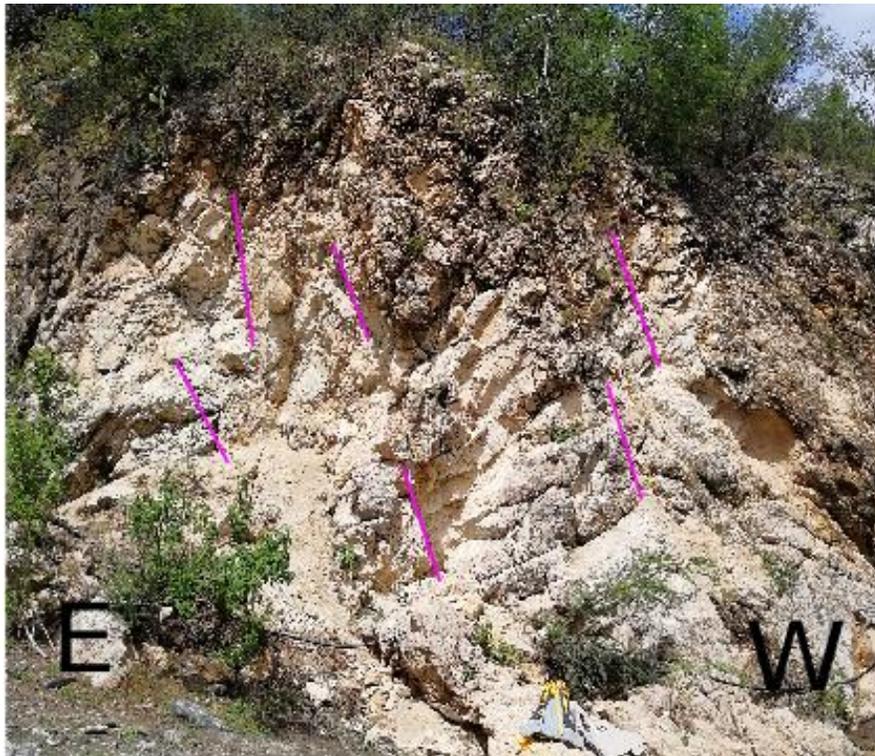
*Ilustración IV.0.35 Foto del afloramiento en el que se obtuvieron datos de fracturas para la roseta en la salida de Santo Domingo Tianguistengo. En rosa están marcadas las fracturas pertenecientes a la familia 1, en azul las fracturas pertenecientes a la familia 2 y en verde las de la familia 3.*

La siguiente roseta (Ilustración IV.0.36) fue obtenida por fracturas del granito ubicado en la zona de contacto en la barranca La Iguana (Ilustración IV.0.37), que tiene las coordenadas: 14Q (629,428 m E, y= 2'020,717 m N). La roseta está compuesta por 60 datos de fracturas que se muestran en el Anexo 6 en la tabla VII.17.

En la roseta presentada en la ilustración IV.0.36 se observan tres familias, la primera y la más notoria tiene orientación al NW-SE de  $0^{\circ}$  a  $15^{\circ}$  medido a partir del N hacia el W. La segunda familia tiene también una tendencia NW-SE, sin embargo esta se encuentra de  $75^{\circ}$  a  $90^{\circ}$  medidos a partir del N hacia el W. Una tercera familia se encuentra con orientación NE-SW con  $30^{\circ}$  a  $45^{\circ}$  medidos a partir del N y hacia el E.

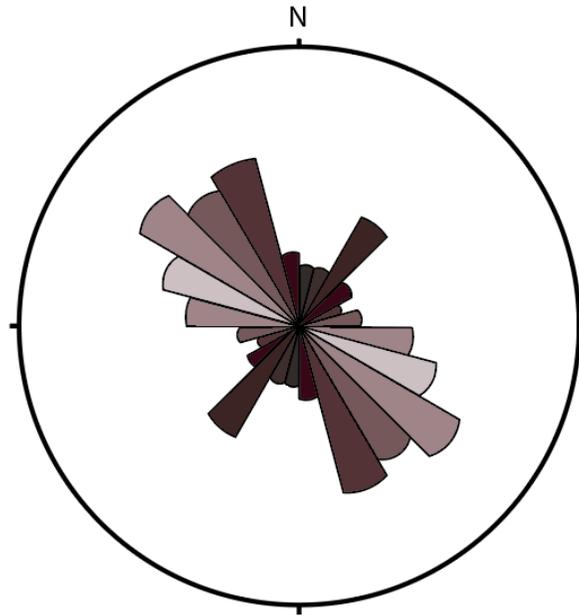


*Ilustración IV.0.36 Roseta obtenida de datos de fracturas en el Plutón Totoltepec en la barranca La Iguana, en la zona de contacto.*



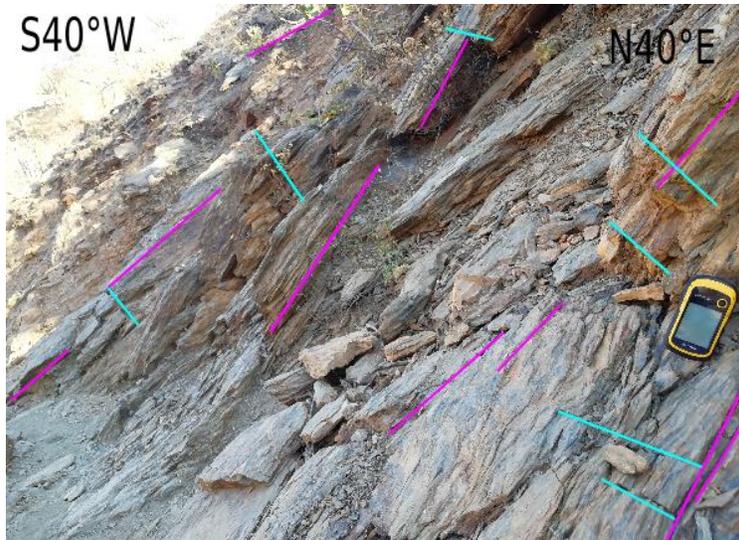
*Ilustración IV.0.37 Fotografía del granito en la barranca La Iguana con algunas fracturas de la familia principal marcada en color rosa.*

La roseta a continuación, representada por la ilustración IV.0.38 fue tomada de la misma manera que la anterior sobre la barranca La Iguana, sin embargo estos datos fueron tomados al SE de la ubicación de la zona de contacto en un afloramiento del Complejo Acatlán ubicado en los límites del cerro Amarillo (Ilustración IV.0.39). Las coordenadas del punto son: 14Q (629,428 m E, 2'020,717 m N). Se tomaron un total de 90 datos de fracturas para elaborar esta roseta, los datos se encuentran en el Anexo 6 en la tabla VII.18.



*Ilustración IV.0.38 Roseta de fracturas obtenida de datos en la barranca La Iguana en el Complejo Acatlán.*

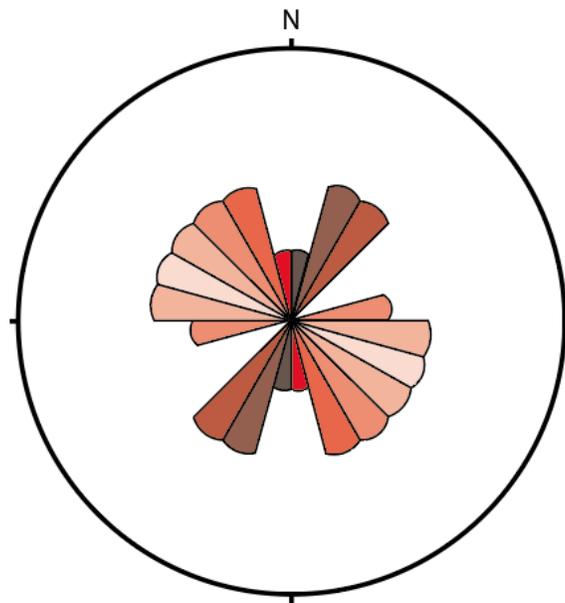
En esta roseta se pueden apreciar fácilmente dos familias principales, la primera tiene una orientación NW-SE, sin embargo, podría decirse que abarca una gran porción en estos cuadrantes, pero para fines prácticos se utilizará la medida más representativa que va de  $45^{\circ}$  a  $60^{\circ}$  medidos a partir del N y hacia el W. La segunda familia es muy notoria, se encuentra en los cuadrantes NE-SW con medidas de  $30^{\circ}$  a  $45^{\circ}$  midiendo del N al E.



*Ilustración IV.0.39 Fotografía del afloramiento del Complejo Acatlán en la barranca La Iguana en el que se marcan la familia uno de fracturas con color rosa y en color azul la familia dos.*

En la ilustración IV.0.40 se observa una roseta que se obtuvo a partir de 32 datos de fracturas, tomadas en el Plutón Totoltepec (datos en Anexo 6, tabla VII.19), cerca del contacto entre el granito y el gabro que se encuentra sobre la carretera que va de camino de Santo Domingo Tianguistengo a Santiago Chazumba (Ilustración IV.0.41).

14Q (628,682 m E, 2'019,564 m N)



*Ilustración IV.0.40 Roseta obtenida por datos en el Plutón Totoltepec (contacto entre gabro y granito).*

En esta roseta pueden observarse dos familias importantes, se tomará la familia NW-SE como la más representativa por abarcar bastante en estos cuadrantes y la segunda NE-SW con orientación de 15° a 45°.

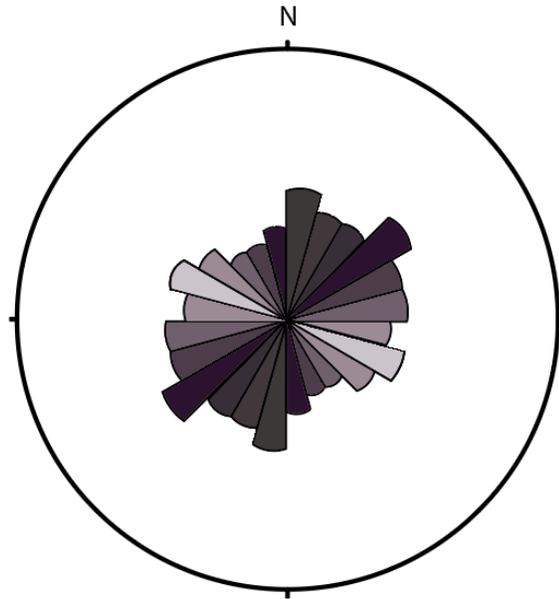


*Ilustración IV.0.41 Fotografía del afloramiento en el que se obtuvieron los datos de las fracturas para la roseta de la Ilustración IV.38.*

La roseta representada en la ilustración IV.0.42 se encuentra al sur en el mapa, en un afloramiento sobre la carretera que va de Santo Domingo Tianguistengo a Santiago Chazumba. Se obtuvo a partir de 71 datos tomados en los límites de El Copal (Ilustración IV.0.43).

Entre las rosetas obtenidas, esta es en la que menos se puede visualizar familias importantes, ya que las fracturas parecen tener orientación en todas direcciones, sin embargo se podrían tomar dos o hasta 3, en las que se aprecia una mayor concentración de datos. La primera se encuentra en el cuadrante NE-SW de 45° a 60° medido de N a E. La segunda se encuentra de igual manera en los cuadrantes NE-SW pero esta se inclina más a una orientación de entre 0° a 15° medido de N a E. Por último, una tercera parece tener concentración en los cuadrantes NW-SE de 60° a 75° medidos de N a W.

14Q (629,167 m E, 2°018,706 m N)



*Ilustración IV.0.42 Roseta obtenida en los límites de El Copal.*

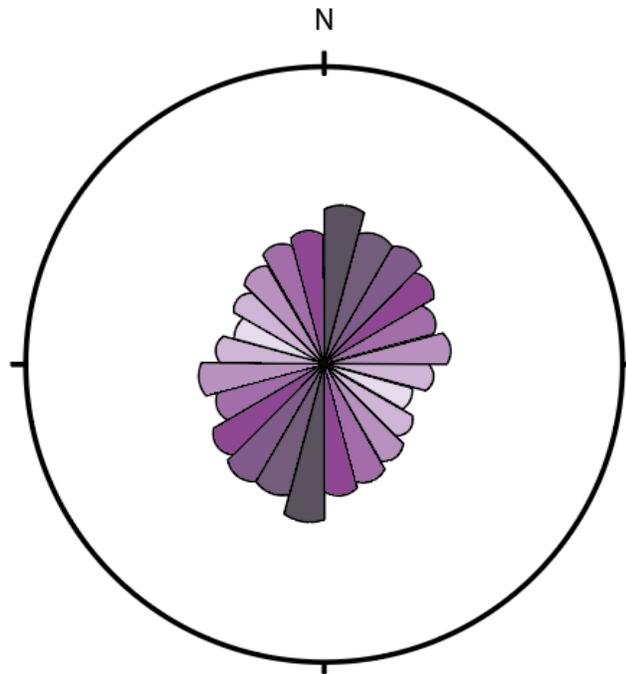


*Ilustración IV.0.43 Fotografía del afloramiento ubicado en los límites de El Copal. En esta zona se obtuvieron datos de fallas y de fracturas. Con colores se encuentran marcadas las familias, en rosa las familias de fracturas 1 y 2, mientras que en azul se encuentran marcadas algunas fracturas de la familia 3.*

La siguiente roseta presentada por la ilustración IV.0.44 se obtuvo con datos de la orientación de lineaciones que se marcaron sobre el mapa final, con ayuda de las ortofotos en escala 1:10000. Utilizando el software QGIS 3.6.0 se realizó una capa únicamente para marcar las lineaciones y después obtener su orientación en azimutal, para obtener finalmente una roseta. En el Anexo 7 se pueden observar las lineaciones sobre el mapa trabajado.

En tal roseta puede observarse una importante tendencia de la orientación de las lineaciones en los cuadrantes NE-SW con ángulos bajos principalmente de 0° a 15° medidos de N a E, sin embargo, la tendencia sigue siendo marcada hasta los 60°. En los cuadrantes NW-SE se presenta en menores proporciones sin dejar de estar presentes.

Esta roseta resulta ser importante porque puede relacionarse con las rosetas anteriores además de los datos descritos anteriormente.



*Ilustración IV.0.44 Roseta de lineaciones.*

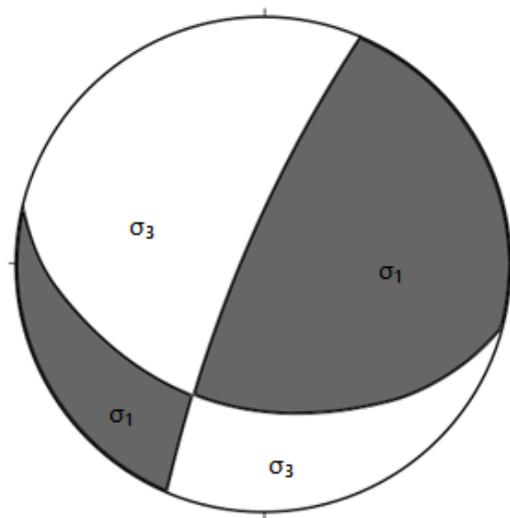
#### 4.4 *Análisis dinámico*

Se comenzará por describir el análisis dinámico elaborado para los datos obtenidos de fallas en las distintas ubicaciones, al contar con solo un plano de falla, se utilizó el “método del diedro recto” con el que se delimitaron las orientaciones en las que se encuentran los principales ejes de esfuerzo.

Para tres de los casos presentados a continuación, se elaboró un conteo de puntos para los polos de las fallas presentes en la ubicación con la finalidad de obtener un plano de falla principal para cada tipo de falla (normal o inversa). De igual manera se obtuvo el pitch de esta falla por conteo de puntos y coincidencia de estos, con el plano de falla principal, obteniendo así la falla y su plano de movimiento respectivo. Una vez hecho esto, se obtuvo el plano auxiliar para cada una y se definió el área de la ciclográfica perteneciente a  $\sigma_1$  y a  $\sigma_3$ , tomando en cuenta el tipo de falla (normal o inversa).

De igual manera que en análisis anteriores, se propondrán los análisis dinámicos para cada falla según su ubicación comenzando por el Norte. Por lo que el primero a continuación (Ilustración IV.0.45) se trata del análisis obtenido para las fallas pertenecientes a las coordenadas:

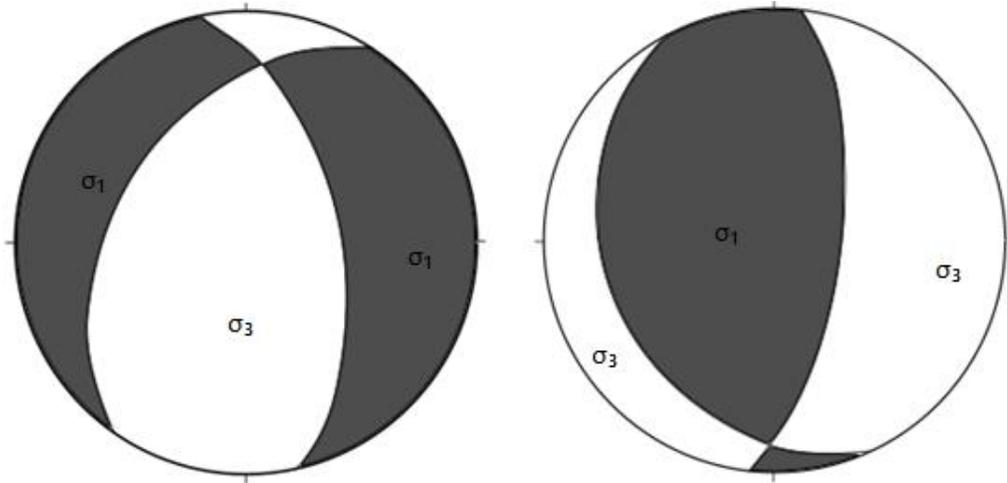
14Q (628,370 m E, 2'022,720 m N)



*Ilustración IV.0.45 Análisis dinámico de una falla inversa en los datos tomados en Santo Tomás Otlaltepec.*

Las fallas tomadas en esta zona son principalmente inversas y algunas de tipo lateral derecho, sin embargo estas últimas también tienen una componente inversa por lo que solo se obtuvo un plano principal de falla y se tomó como inversa.

Los siguientes análisis (Ilustración IV.0.46) pertenecen a los datos de fallas tomadas en la barranca La Iguana.

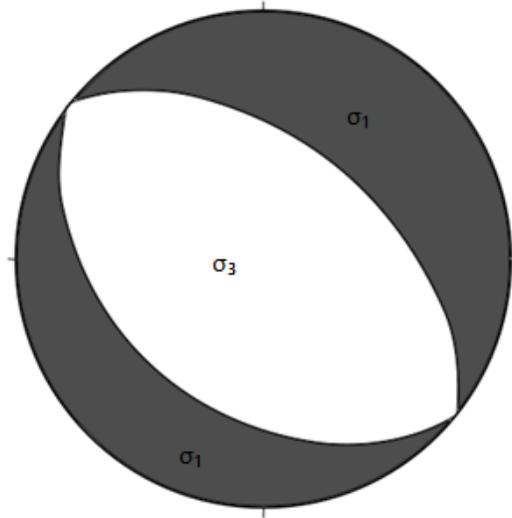


*Ilustración IV.0.46 Análisis dinámico para las fallas tomadas en la barranca La Iguana. Del lado izquierdo está el análisis para las fallas normales y en el derecho el análisis para las fallas inversas.*

En el caso de los datos tomados en la barranca La Iguana, se encontraron dos tipos de fallas, fallas de tipo normal e inverso por lo que se obtuvo un plano de falla principal para cada una y por lo tanto un análisis de los ejes de esfuerzo para cada una.

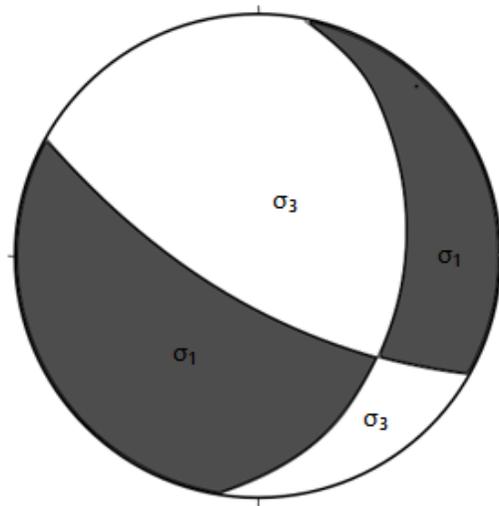
La siguiente figura (Ilustración IV.0.47) representa el análisis hecho para una falla normal, puesto que la mayoría de los datos de las fallas tomados en esta ubicación, son de ese tipo. Los datos de fallas se tomaron en las siguientes coordenadas:

14Q (628,306 m E, 2'019,802 m N).



*Ilustración IV.0.47 Análisis dinámico de las fallas tomadas en el contacto entre el granito y el gabro.*

Para el caso del último análisis (Ilustración IV.0.48), perteneciente a la ubicación más al sur en el que se obtuvieron los datos (los límites de El Copal) sólo se tomó un dato de falla con pitch de tipo normal, por lo que se elaboró el análisis con ese dato.



*Ilustración IV.0.48 Análisis dinámico de la falla normal medida en los límites de El Copal.*

A continuación se presentarán los ejes de esfuerzo obtenidos para cada pliegue que se obtuvo según el dominio al que pertenece.

Los ejes de esfuerzos pertenecientes al dominio I se presentan en la tabla IV.0.7 y sus proyecciones estereográficas se encuentran en la ilustración IV.0.49.

Tabla IV.0.7 Esfuerzos para el dominio I.

$\sigma_1$	17° al NW 16°
$\sigma_2$	04° al NE 18°
$\sigma_3$	73° al SE 29°

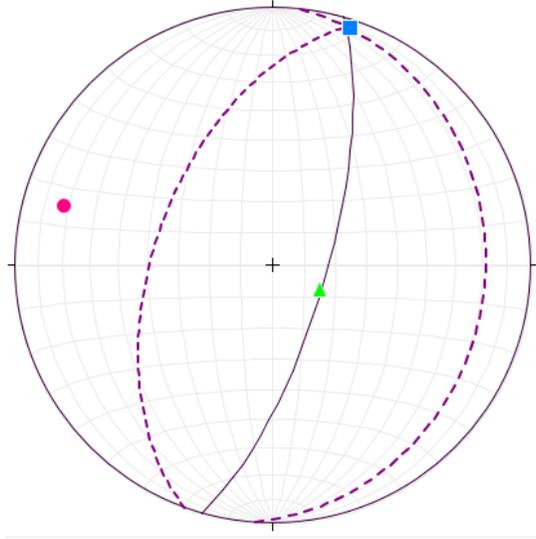


Ilustración IV.0.49 Proyección del pliegue y sus ejes de esfuerzo para el dominio I.

Para el dominio II, los ejes de esfuerzos están presentados en la tabla IV.0.8 y sus proyecciones estereográficas se encuentran en la ilustración IV.0.50.

Tabla IV.0.8 Esfuerzos obtenidos para el dominio II.

$\sigma_1$	68° al SW 31°
$\sigma_2$	17° al NE 77°
$\sigma_3$	13° al NW 70°

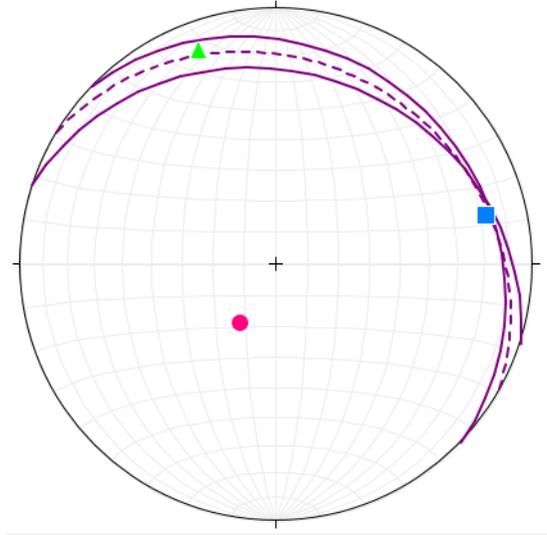


Ilustración IV.0.50 Proyecciones de los esfuerzos obtenidos para el dominio II.

Los siguientes esfuerzos presentados (Tabla IV.0.9), pertenecen al dominio III, mientras que sus proyecciones estereográficas se representan en la ilustración IV.0.51.

Tabla IV.0.9 Esfuerzos pertenecientes al dominio III.

$\sigma_1$	04° al SW 71°
$\sigma_2$	24° al NW 73°
$\sigma_3$	62° al SE 62°

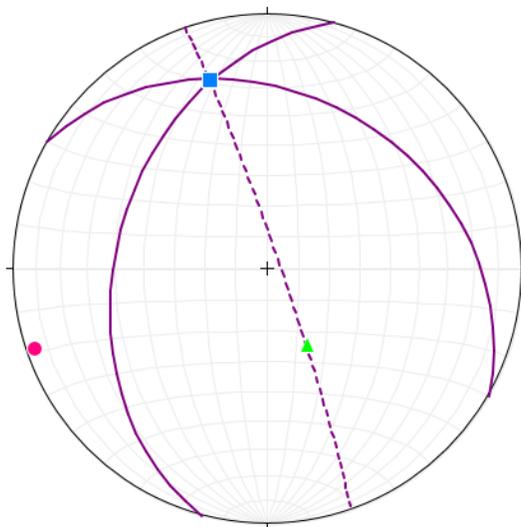
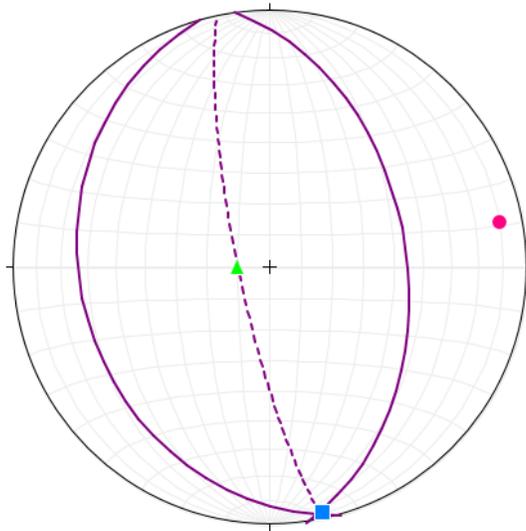


Ilustración IV.0.51 Proyecciones estereográficas para los esfuerzos pertenecientes al dominio III.

La última tabla perteneciente al análisis dinámico (Tabla IV.10) contiene los esfuerzos encontrados para el dominio IV, mientras que sus proyecciones estereográficas se muestran en la Ilustración IV.0.52.

*Tabla IV.0.10 Esfuerzos pertenecientes al dominio IV.*

$\sigma_1$	10° al NE 79°
$\sigma_2$	03° al SE 78°
$\sigma_3$	80° al SE 87°



*Ilustración IV.0.52 Proyecciones estereográficas de los esfuerzos que pertenecen al dominio IV.*

## V. Geología regional y tectónica

### 5.1 Geología regional

#### 5.1.1 Mapa cartográfico obtenido

Para este capítulo se explicarán las formaciones presentes en el mapa anexo.

Al sur, se encuentra la Formación Otlaltepec, esta consta de rocas sedimentarias clásticas que pertenecen al Jurásico Medio (167 Ma) según Martini et al. (2016). Esta Formación tiene límites con la Formación Magdalena al Norte y con el Complejo Acatlán al Sur. Los límites entre estas formaciones fueron definidos por las ortofotos con escala 1:10 000.

En cuanto al Complejo Acatlán, como ya se mencionó tiene límites al Norte con la Formación Otlaltepec y al Sur con el Plutón Totoltepec, tales datos fueron tomados por caminamientos. A continuación se presentarán fotos de algunos puntos de contacto entre estas dos litologías (Ilustraciones V.1, V.2, V.3 y V.4.).



*Ilustración V.1 Foto del Cerro Amarillo tomada desde la carretera que va de Santo Domingo Tianguistengo a Santiago Chazumba.*



*Ilustración V.2 Fotografías tomadas desde la carretera Santo Domingo Tianguistengo-Santiago Chazumba.*



*Ilustración V.3 Fotografía tomada en la barranca La Iguana con las coordenadas  $x= 628159$  m,  $y= 2020781$  m.*



*Ilustración V.4 Fotografía tomada en otra parte de la barranca La Iguana con las coordenadas  $x= 627825$  m,  $y= 2021323$  m.*

### 5.1.2 *Plutón Totoltepec*

Fue nombrado y datado por Fries (1970), dándole una fecha por radiometría (Pb-alfa) del Ordovícico tardío. Después Ortega (1978) lo describe como un intrusivo con ligera foliación modificada por plegamiento cataclástico con una extensión de 8km de largo y 5 de ancho aproximadamente, principalmente se encuentra orientado en dirección E-W. Su contacto al norte es tectónico; al sur se encuentra bordeada por ortogneises máficos, bandeados y migmatíticos con aspecto cataclástico; mientras que en otros sitios se ubica rodeado de las formaciones Tecomate y Xayacatlán, a las cuales, está intrusionando.

Las muestras estudiadas por Ortega (1978) cuentan con textura compuesta por su origen ígneo, la recristalización metamórfica a la que fue expuesta y la deformación cataclástica. Los minerales presentes son cuarzo y plagioclasa sódica que se encuentra en una matriz de feldespato potásico intersticial como minerales esenciales, epidota en asociación con muscovita, calcita, esfena y rutilo como mineral secundario y con minerales accesorios pesados se tiene zircón y apatita. También se encontró biotita, la cual se encuentra totalmente reemplazada por clorita. Así mismo, Ortega (1978) propone que el Tronco de Totoltepec fue resultado de diferenciación de un gabro toleítico. Posteriormente Kirsch et al. (2013) demuestra que el Tronco de Totoltepec es resultado de una intrusión sintectónica con el Complejo Acatlán y lo llama Plutón Totoltepec. Ramos-Leal

(1989) lo dividió en Gabrodiorita Santo Domingo y el Tronco de Totoltepec, sin embargo, para este trabajo se tomará como Plutón Totoltepec.

### *5.1.3 Formación Otlaltepec*

Propuesta informalmente por Ortega-Guerrero (1989), se compone de una sucesión de rocas sedimentarias clásticas que se encuentra en contacto discordante con el Complejo Acatlán y con el Plutón Totoltepec y se encuentra en contacto con las formaciones Tianguistengo y Piedra Hueca en forma de discordancia angular.

Esta formación se compone por sucesiones de estratos que miden de decímetros a metros, los cuales de manera ascendente se componen en su base por conglomerados, areniscas conglomeráticas y areniscas de grano medio, sobre estas se encuentran areniscas de grano fino, las cuales, tienen laminación cruzada y se intercalan con limolitas y lutitas. Los conglomerados se componen por fragmentos de rocas faneríticas de composición cuarzo feldespáticas que llegan a medir hasta 10 cm. Los paleosuelos contienen abundantes marcas de bioturbación, restos de plantas (hojas, ramas, troncos y corteza). Ramos-Leal (1989) menciona la recolección de un ejemplar de *Williamsonia nezahualcoyotli* Wieland ubicado en el Jurásico Inferior-Medio.

A lo largo del arroyo Magdalena, los datos de paleocorrientes indican la dirección dominante del transporte sedimentario del W al NW, mientras que a lo largo del arroyo Xiotilo la dirección es del N al NE.

Las areniscas de la formación Otlaltepec derivan principalmente de rocas faneríticas deformadas con composición cuarzo feldespática a sobresaturada en cuarzo, la textura meso porfírica en algunas muestras tomadas de la zona, sugieren que las rocas en facies de granulita del Complejo Oaxaqueño son una fuente de detritos para la Formación Otlaltepec, esta idea se comprueba por la presencia de granos de zircón con edades de 940 a 1400 Ma y de granates detríticos que se superponen en composición con los granates encontrados en el Complejo Oaxaqueño.

Ortega-Guerrero (1989) interpretó que esta formación se depositó por medio de un ambiente fluvial o aluvial, posteriormente Cruz Cruz (2012) en su tesis de licenciatura, concluyó que la formación Otlaltepec se depositó en ambiente fluvial dentro de un graben, en el que se generaron depósitos aluviales que después pasaron a un ambiente fluvial de tipo trenzado.

Su edad, según los zircones analizados por Martini et al, (2016) se propone para el jurásico medio (164 Ma).

## ***5.2 Tectónica***

En cuanto a la tectónica de la Sierra Madre del Sur tiene una historia compleja, sin embargo, existen sucesos importantes, los cuales, provocaron los rasgos tectónicos encontrados hoy en día, los cuales son explicados por Morán-Zenteno et al. (2005) y serán resumidos a continuación (Ilustración V.5).

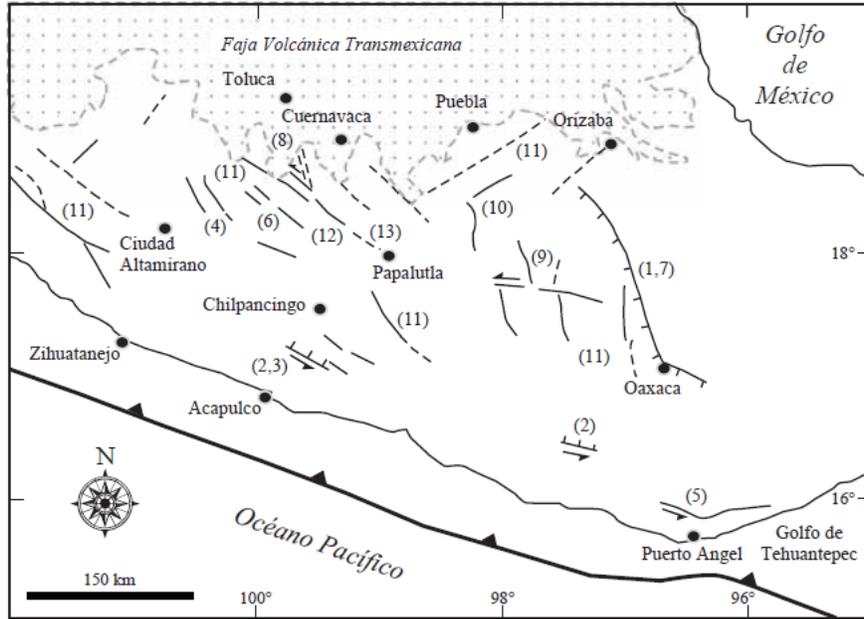
A partir del Cretácico tardío hubo un evento de acortamiento en el terreno Guerrero que predominó hacia el oriente, este tiene una fuerte relación en tiempo y deformación con la orogenia Laramide. Este acortamiento se propaga hasta el Eoceno en la región Veracruz. La teoría más aceptada para la causa de este evento, se trata del acoplamiento mecánico y la tracción, resultados de la subducción de la placa Farallón en posición horizontal bajo la corteza de la placa Norteamérica. Los pliegues y cabalgaduras resultantes de este evento tectónico tienen una orientación aproximada N-S.

Por otro lado, en el Eoceno se presentó actividad tectónica que se presenta por fallas laterales izquierdas con orientación NW-SE y E-W, las cuales se presentan principalmente en el la parte norte-central.

Posteriormente para el inicio del Oligoceno hubo un cambio en la cinemática de la deformación, la cual, provocó reactivación de fallas con orientación tipo N-S y desplazamiento lateral izquierdo en fallas de orientación similar. Se estima que las direcciones de extensión asociadas a cada régimen varían de NNW-SSE a NE-SW, también a estas orientaciones se le atribuye la reactivación de la falla de Oaxaca, produciendo un semigraben con orientación NNW-SSE.

Meschede et al. (1996) infirieron los esfuerzos para el periodo de entre 70 a 40 Ma, para  $\sigma_1$  definieron la orientación E-W y  $\sigma_3$  con orientación subhorizontal. Al parecer estos esfuerzos definen una deformación de fallas laterales, incluyendo a las zonas de cizalla de orientación NW-SE.

Se estima que las fallas de tipo lateral derecha tienen un vínculo con el desplazamiento del bloque Chortis.

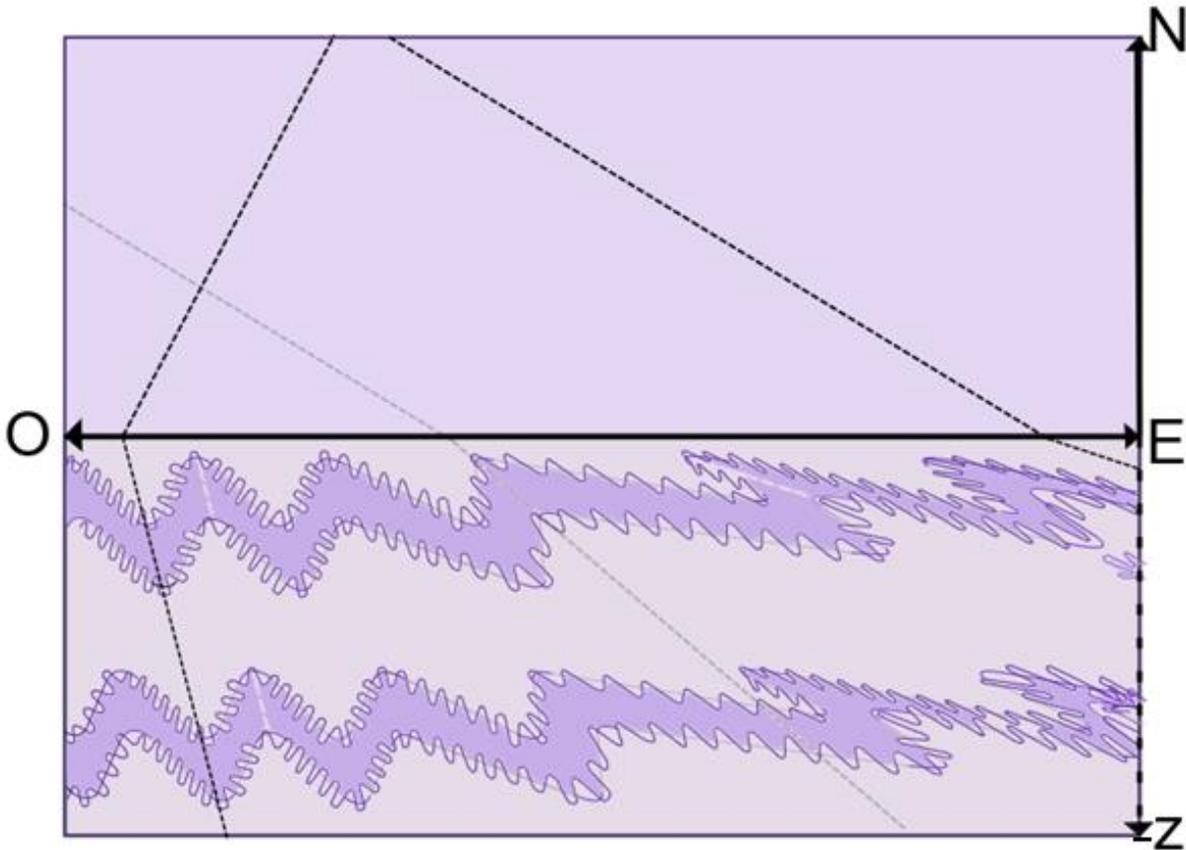


*Ilustración V.5 Figura con representación de los principales rasgos estructurales en la Sierra Madre del Sur, obtenida de Morán-Zenteno et al. (2005).*

## VI. Discusión de resultados

Los dominios ubicados en la zona de estudio, se clasificaron por sus características estructurales homogéneas, como se mencionó anteriormente, sin embargo, estos dominios también tienen relación entre sí, por lo que, a continuación se presentarán esquemas de las posibles formas que estos podrían tener y como cambiarían al cambiar de dominio moviéndolos de Oeste a Este sobre el mapa.

En la Ilustración VI.1 se observa el posible comportamiento del dominio I al Oeste y el dominio II por el Este. La ilustración se divide en dos partes, en la parte superior, se observa la vista en planta, teniendo en el eje de las abscisas al O-E, mientras que en el eje de las ordenadas se presenta el N-S.

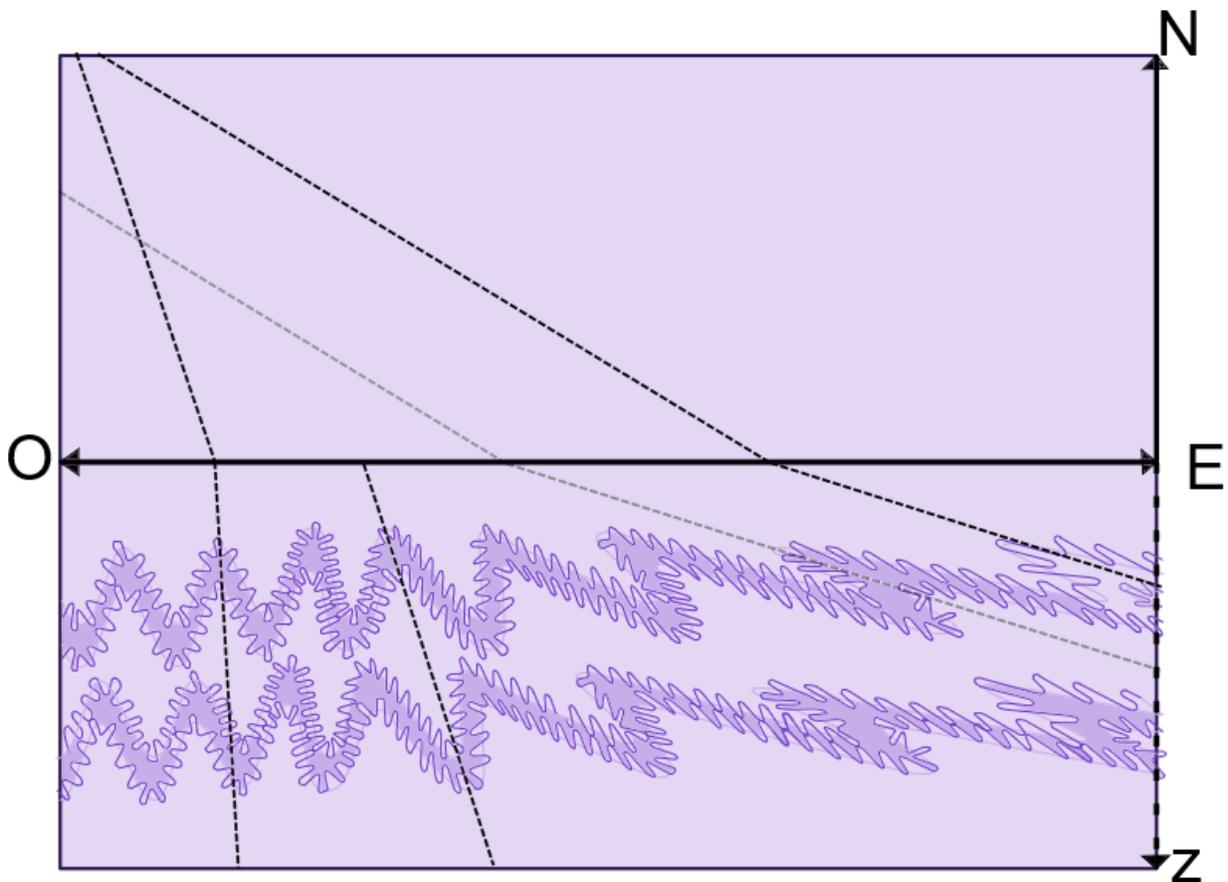


*Ilustración VI.1 Formas de los pliegues pertenecientes al dominio I y el dominio II, y sus relaciones.*

De este modo se observa el comportamiento del rumbo del plano axial de los pliegues según su dominio, entre estos dos dominios es muy notoria la rotación que es de  $87^\circ$  aproximadamente. Por otra parte, en el rectángulo inferior, el eje de las abscisas se mantiene, mientras que el eje de

las ordenadas cambia por la profundidad (-Z), de este modo se puede observar el comportamiento de los pliegues que tienden a cambiar de pliegues abiertos a pliegues apretados, además de que los planos axiales también tienden a ser más inclinados conforme se mueven al E, cambiando de 22° hasta 77°, en cuanto al comportamiento de la charnela cambia de ser suavemente hundido a horizontal.

La ilustración VI.2 tiene la misma estructura que la anterior, sin embargo, esta representa al dominio III del lado izquierdo, mientras que, se sigue representando al dominio II del lado derecho, este último, tiene relación con ambos dominios (I y III) en el mapa.

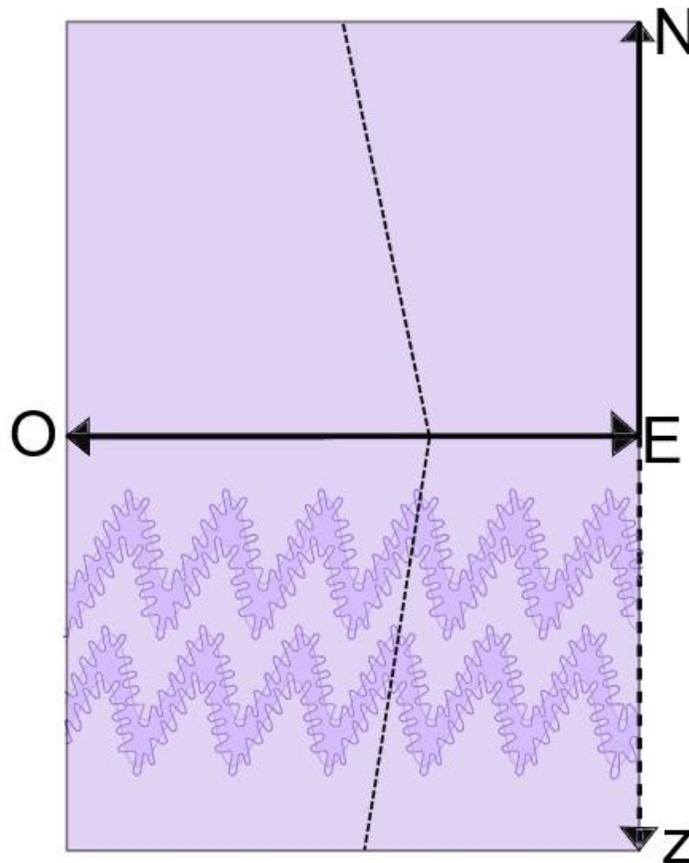


*Ilustración VI.2 Formas de los pliegues pertenecientes al dominio III y el dominio II, y sus relaciones.*

En esta ocasión el rumbo del plano axial que se encuentra representado por las líneas punteadas de color negro, tienen una diferencia de 40° hacia el E. En la parte inferior, de igual manera que el caso anterior, los pliegues pasan de ser pliegues abiertos (a la izquierda) a ser apretados. En cuanto a la inclinación del plano axial, también disminuye significativamente de 86° a 22°, de ser

vertical cambia a ligeramente inclinado, que es poco antes de llegar a ser un pliegue recumbente. Para el caso se la inclinación de la charnela se comportan muy parecido, y estos dos dominios quedan clasificados según Fleuty como suavemente hundidos.

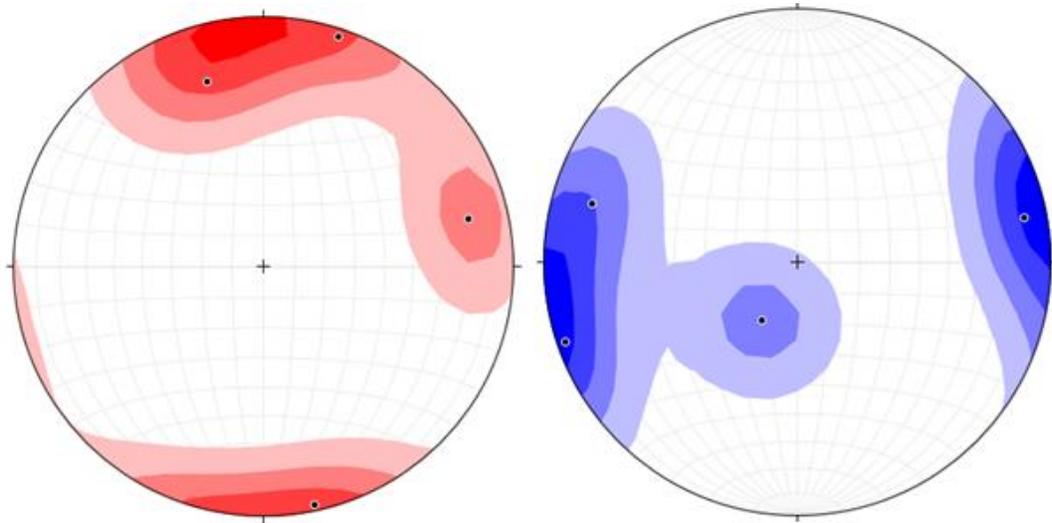
En el caso del dominio IV, al encontrarse más al sur, no tiene contacto en el eje O-E con los demás dominios, por tal razón, en la lustración VI.3 solo se muestra la manera en que se comportaría el plano axial, a diferencia de los dominios anteriores, el rumbo de este plano se comporta muy similar, sin embargo, el echado de este mismo, tiene una dirección totalmente distinta. Al Norte de este dominio, se encuentra en contacto con el dominio III y de igual manera que este, se clasifica como un pliegue abierto, el cual a su vez, se clasifica como un pliegue vertical y el echado de la charnela si cambia a sub-horizontal.



*Ilustración VI.3 Forma y comportamiento del pliegue perteneciente al dominio IV.*

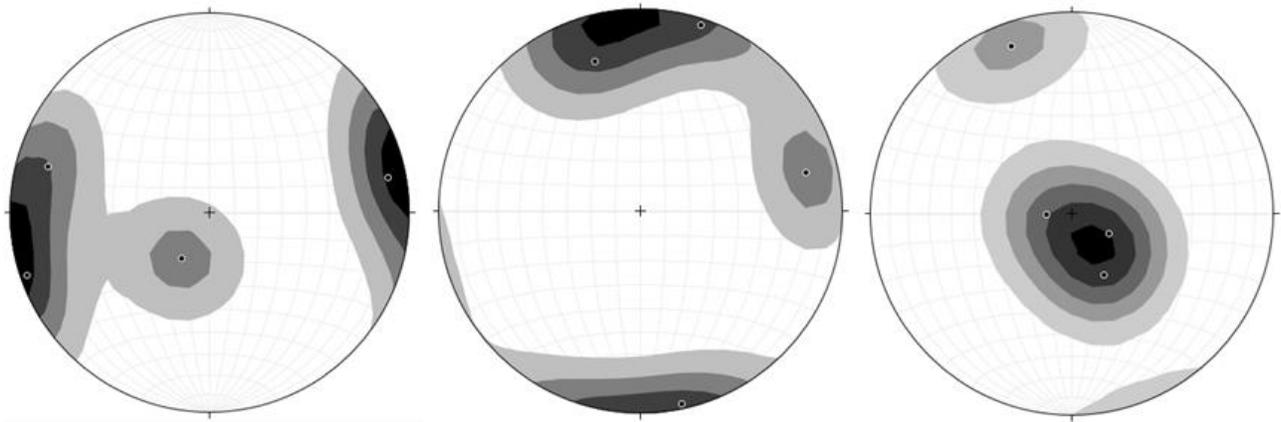
Los ejes de extensión y acortamiento para los cuatro pliegues obtenidos tienen orientaciones y direcciones similares, como se muestra en la siguiente figura (VI.4). La mayoría de los ejes de

extensión se concentran levemente al NW, mientras que los ejes de acortamiento se encuentran mayormente al SW.



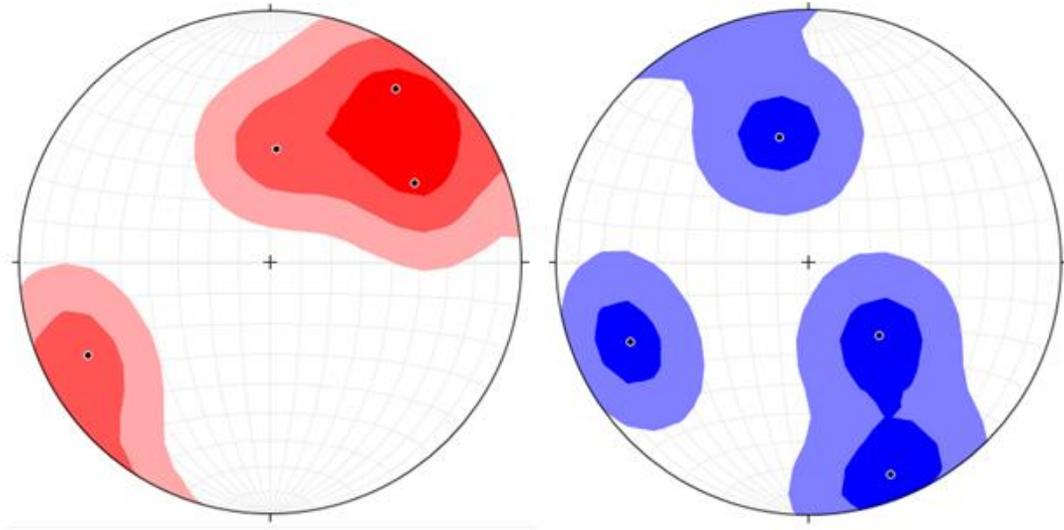
*Ilustración VI.4 Conteo de puntos para los ejes de extensión y acortamiento de los cuatro pliegues obtenidos para cada pliegue.*

Posteriormente, al proyectar también los esfuerzos, se observa que  $\sigma_1$  se concentra al SW,  $\sigma_2$  al NW y  $\sigma_3$  al SE, a diferencia de  $\sigma_1$  y  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$  tiene un echado muy grande (Ilustración VI.5).



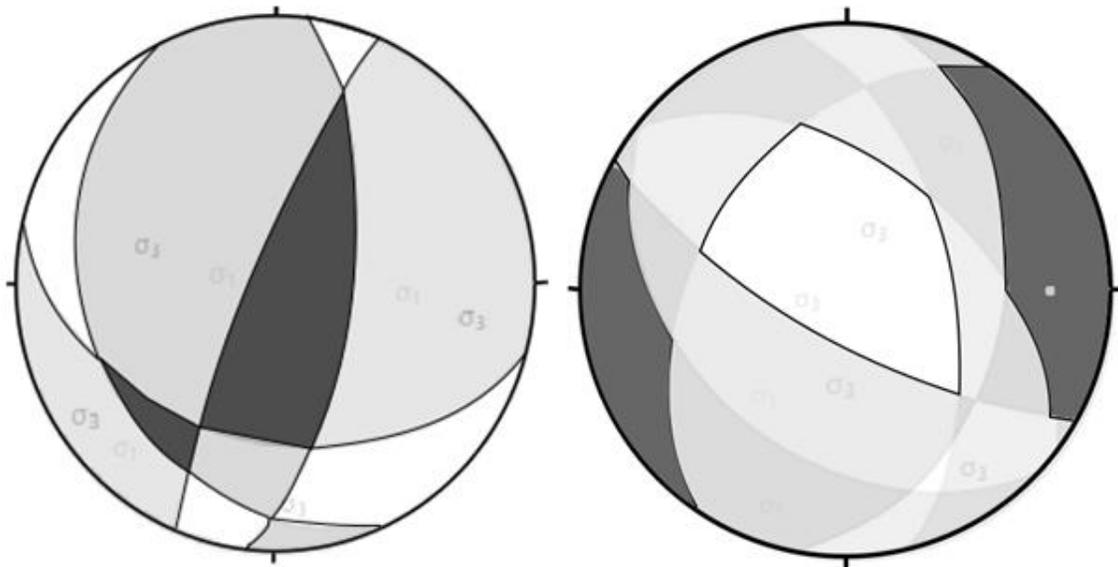
*Ilustración VI.5 Conteo de puntos para los esfuerzos obtenidos en los cuatro pliegues, de izquierda a derecha, se presentan  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  y  $\sigma_3$ .*

Para las fallas, sus ejes de extensión se concentran al NE, sin embargo, los ejes de acortamiento, no tienen una tendencia tan marcada, estos se distribuyen principalmente en el SE pero también están presentes en los cuadrantes NW y SW (Ilustración VI.6).



*Ilustración VI.6* Conteo de puntos para los ejes de extensión y de acortamiento obtenido en las fallas. A la izquierda, en rojo, se encuentran los ejes de extensión y a la derecha, los de acortamiento.

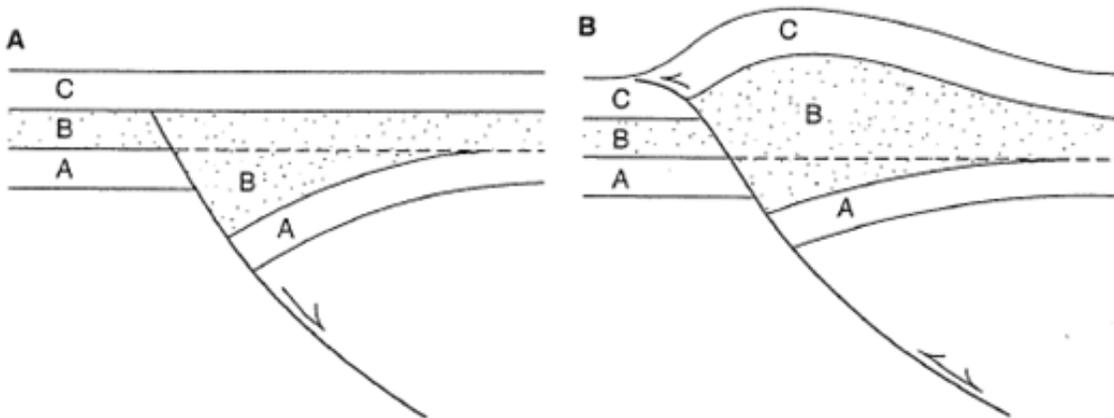
De igual modo, al marcar intersecciones entre las principales orientaciones de los pliegues, en los que podrían encontrar los esfuerzos  $\sigma_1$  y  $\sigma_3$ , se obtiene lo siguiente (Ilustración VI.7):



*Ilustración VI.7* Intersecciones de los análisis dinámicos en fallas normales e inversas.

Para estas intersecciones, al encontrarse dos tipos de fallas, inversas y normales, se elaboró una intersección por cada tipo, a la izquierda se encuentran los análisis de las fallas inversas y a la derecha las de las fallas normales. En caso de que se sobrepongan juntas, no se obtendrían intersecciones. Esto argumenta el posible hecho de que se traten de dos eventos distintos, el

primer evento pudo ser el surgimiento de las fallas normales dado el ángulo de echado que tienen los planos de falla de los que se obtuvieron datos. Más adelante pudo haber una reactivación de estas fallas y por un cambio en las orientaciones de los esfuerzos, el movimiento fue distinto pero usando las estructuras existentes. Este proceso es llamado inversión tectónica (Ilustración VI.8).



*Ilustración VI.8 Figura mostrando la inversión tectónica, en la figura A se observa la falla normal originada por deformación extensional, mientras que en la figura B, mediante un régimen compresivo, se reactiva la falla de manera inversa, por lo que, el desplazamiento original es completamente cancelado. Figura obtenida del libro Structural Geology of Rocks and Regions p.357.*

Las rosetas tienen relación entre sí, sobre todo, las que se encuentran más cerca entre ellas. Por ejemplo al norte, la roseta que se elaboró en la Formación Tecomazúchitl, tiene las orientaciones de la familia principal (NW-SE $>45^\circ$ ) que se muestran en la roseta tomada en el Complejo Acatlán, en las afueras de Santo Tomás Otlaltepec, sin embargo, en la primera hay mayor presencia de otra familia importante (NW-SE $<45^\circ$ ), y la familia en común está presente de una manera tenue.

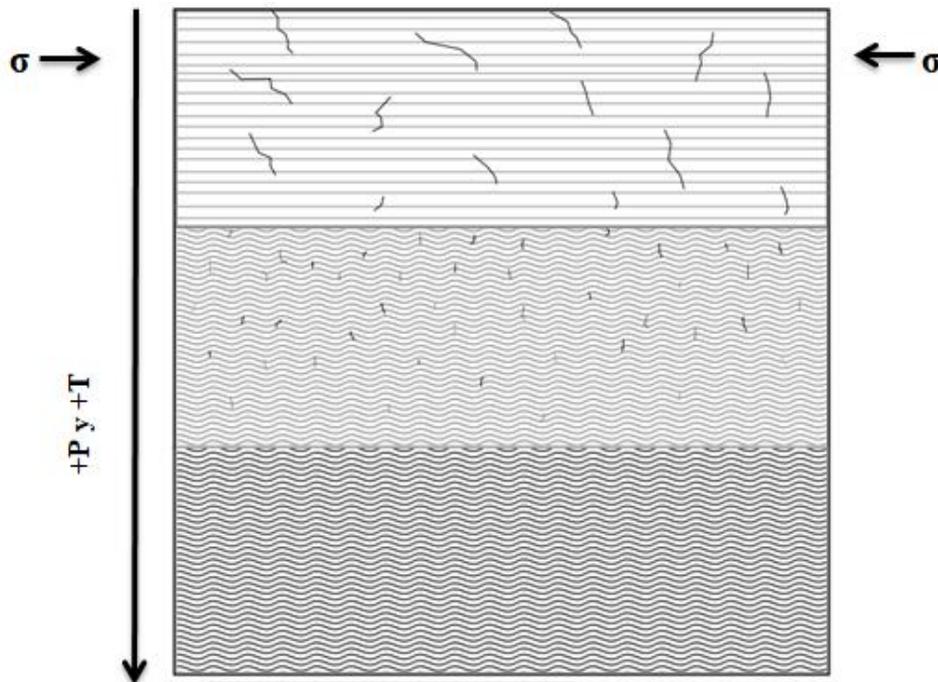
Entre las roseta que se encuentra en las afueras de Santo Domingo Tianguistengo y las rosetas tomadas en la barranca La Iguana se tienen similitudes presentes en las familias principales (NW-SE $<45^\circ$ , NW-SE $>60^\circ$ ), sin embargo, las familias se encuentran en menor proporción que en otras. También a partir de estas rosetas se comienza a presentar una familia con orientaciones NE-SW y ángulos de  $15^\circ$  a  $45^\circ$ .

La familia NE-SW se presenta fuertemente hacía el sur, en la roseta elaborada en el punto de contacto entre el gabro y el granito y la roseta tomada en los límites de El Copal. La roseta del contacto también tiene una segunda familia en los cuadrantes NW-SE desde  $15^\circ$  y hasta los  $90^\circ$ .

Mientras que, la roseta elaborada en los límites de El Copal, parece tener una reducción gradual de las fracturas, siendo mayor en NE-SW y menor en NW-SE. Por otra parte, la roseta elaborada con las lineaciones encontradas en el Complejo Acatlán ubicado en el mapa, tiene presente las orientaciones NE-NW $<15^\circ$ , también presente pero en menor proporción, se encuentran las orientaciones en el mismo cuadrante pero con mayor ángulo hacia el E.

Esta parte del complejo Acatlán contiene pliegues pero también se observan algunas discontinuidades, por lo que estructuralmente puede inferirse, que estuvo en un lugar en el que hubo metamorfismo de bajo grado.

La ilustración VI.9 es un esquema de cómo podría comportarse un cuerpo de roca al estar bajo presión y temperatura a diferentes niveles y aplicar un esfuerzo. Mientras más P y T haya presentes, la roca se comporta de manera dúctil, por lo que solo hay deformación, sin embargo, así como disminuyen estos factores, también disminuye el comportamiento dúctil, hasta convertirse en frágil, por lo que tiende solo a romperse. En la corteza continental la transición del mecanismo frágil al dúctil generalmente ocurre en un intervalo de 10 a 15 km bajo la superficie.



*Ilustración VI.9 Comportamiento de un cuerpo de roca al presentarse P y T, además de un esfuerzo de contracción.*

## Conclusiones

Al realizar el estudio de campo, se concluye que en la zona de estudio hay 4 eventos de deformación, presentes en la foliación, en los pliegues, en los micropliegues y por las fallas y fracturas presentes.

Al obtener los datos para la elaboración e interpretación de la geología estructural detallada da paso para la elaboración de trabajos posteriores con aún más detalle o complementario para trabajos regionales.

La elaboración de la cartografía detallada también podría ser un gran apoyo para trabajos posteriores en la zona o zonas aledañas.

Las rosetas y lineaciones presentan orientaciones N-S y SW-NE, las cuales, son muy similares a los planos de falla que se encuentran representados en el mapa por lo que se puede concluir que tienen relación entre sí.

Para el caso de las fallas inversas, propongo que sean producto de una reactivación por inversión tectónica, dado su inclinación tan vertical. La similitud entre los esfuerzos para las fallas inversas ( $\sigma_1$  al N y  $\sigma_3$  al E) tomadas diferentes a las intersecciones de los esfuerzos para las fallas normales ( $\sigma_1$  al SE y  $\sigma_3$  al SE) también puede indicar diferentes eventos.

Los pliegues son principalmente abiertos, sin embargo las orientaciones de los planos axiales se presentan cercanos a N-S, cambiando el rumbo de NE a NW y SE, sin embargo, sus echados tienden a cambiar abruptamente, midiendo de 22° y hasta 86°.

Las orientaciones de algunas lineaciones también tienen las mismas orientaciones de los planos axiales, además de que al realizar la interpretación pudo notarse que los pliegues sinclinales de encuentran principalmente en las barrancas, mientras que los pliegues anticlinales tienden a presentarse en las zonas de mayor elevación topográfica.

Tratándose de las muestras tomadas, con la mineralogía obtenida se sabe que se trata de metamorfismo de bajo grado, además de que las texturas indican dinamometamorfismo. La mineralogía es parecida a la que describe Ortega-Gutierrez (1978) en las formaciones Cosoltepec y Tecomate.

No existen muchos trabajos sobre geología estructural en rocas metamórficas en México, lo que hace especial a este trabajo, además de que busca alentar para realizar más trabajos de este tipo.

### **Recomendaciones**

Se recomienda realizar tomas de datos de lugares más al sur en los que se sigue manteniendo presente el Complejo Acatlán. Para completar el comportamiento estructural de este.

La elaboración de estudios en laboratorio para comprender de mejor manera el comportamiento de estos materiales, además de la elaboración de microtectónica.

También la toma de muestras en otros lugares completaría la información obtenida y podría dar información acerca de las ubicaciones de los contactos entre formaciones del Complejo Acatlán.

## Referencias consultadas

Bard J. P., 1980, *Microtextures of Igneous and Metamorphic Rocks*, Boston, USA: D. Reidel Publishing Company.

CONAGUA, Sistema Nacional de Información del Agua (SINA) *Módulo de metadatos geográficos*, 2016, [consulta: 10 de agosto de 2019], disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=regionesHidrologicas&n=nacional>

CONAGUA, *Programa Hídrico Regional Visión 2030 Región Hidrológico-Administrativa IV Balsas*, marzo de 2012, Editado por SEMARNAT, México, [consulta: 10 de agosto de 2019], disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/9-sgp-17-12gn.pdf>

CONAGUA Subdirección General de Planeación, *Atlas del Agua en México 2016*, D. R. © Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2016, México, [consulta: 10 de agosto de 2019], disponible en: [http://201.116.60.25/publicaciones/AAM\\_2016.pdf](http://201.116.60.25/publicaciones/AAM_2016.pdf)

CONAGUA, *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Huajuapán De León, 2014*, Estado de Oaxaca, Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 20 de abril de 2015, México, [consulta: 10 de agosto de 2019], disponible en: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/103971/DR\\_2014.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/103971/DR_2014.pdf)

Cruz-Cruz Miguel Ángel, 2012, *Análisis estratigráfico de la secuencia jurásica de la región de Santo Domingo Tianguistengo, Oaxaca Santa Cruz Nuevo, Puebla*, Facultad de Ingeniería, CDMX, Tesis de licenciatura, 115 p.

INEGI, *Síntesis geográfica del estado de Puebla*, 2000, México, [consulta: 10 de agosto de 2019], disponible en: [http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825222949/702825222949\\_12.pdf](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825222949/702825222949_12.pdf)

INEGI, *Conjunto de datos vectoriales Fisiográficos. Continuo Nacional escala 1:1 000 000 serie I. Provincias fisiográficas*, 2001, México, [consulta: 10 de agosto de 2019], disponible en: <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/mapas/fisiografia/>

Kirsch M., Keppie J., Murphy J., Lee J., 2013, *Arc plutonism in a transtensional regime: the late Paleozoic Totoltepec pluton , Acatlán Complex, southern Mexico*, International Geology Review, Volume 55, Issue 3, p. 263-286.

Lugo-Hubp J. y Córdova C. (1991), *Regionalización Geomorfológica de la República Mexicana*. Instituto de Geografía, UNAM. México, D.F. p. 25-63

Lugo-Hubp, 1990, *El Relieve de la República Mexicana*, Revista vol.9, núm. 1, Instituto de Geología, UNAM, p. 82-111.

Martini Michelangelo, Ramírez-Calderón Monica, Solari Luigi, Villanueva-Amadoz Uxue, Zepeda-Martínez Mildred, Ortega-Gutiérrez Fernando, Elías-Herrera Mariano, *Provenance analysis of Jurassic sandstones from the Otlaltepec Basin, southern Mexico: Implications for the reconstruction of Pangea breakup*, Geosphere, v. 12, no. 6, UNAM, Instituto de geología, CDMX, p. 1-23.

Morán-Zenteno Dante, Cerca Mariano, Duncan Keppie John (2005), *La evolución tectónica y magmática cenozoica del suroeste de México: avances y problemas de interpretación*, CDMX, México, Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Tomo LVII, Núm. 3, p.319-341.

Ortega-Gutiérrez Fernando, Elías-Herrera Mariano, Morán-Zenteno Dante, Solari Luigi, Weber Bodo y Luna-González Laura, 2018, *The pre-Mesozoic metamorphic basement of Mexico, 1.5 billion years of crustal evolution*, Earth- Science Reviews, p. 18-23.

Ortega-Gutierrez F., 1981, *Metamorphic belts of southern Mexico and their tectonic significance*, Geofísica Internacional, Vol. 20-3, 1981, p. 177-202.

Ortega-Gutiérrez Fernando, 1978, *Estratigrafía del Complejo Acatlán en la Mixteca Baja, estados de Puebla y Oaxaca*, Revista vol. 2, núm. 2, UNAM, Instituto de geología, p. 112-131

Ramsay-John G. y Huber-Martin I., 1987, *The Techniques of Modern Structural Geology Volume 2: Folds and Fractures*, London, UK: Academic Press.

Sánchez-Zavala, 2008, *Estratigrafía, sedimentología y análisis de procedencia de la Formación Tecamate y su papel en la evolución del Complejo Acatlán, Sur de México*, UNAM, Posgrado en Ciencias de la Tierra, CDMX, Tesis de Doctorado, 201 p.

SEGOB, *Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal*, 2010, México, [consulta: 10 de agosto de 2019], disponible en: <http://www.snim.rami.gob.mx/>

Turner-Francis J. y Weiss-Lioinel E., 1963, *Structural Analysis of metamorphic Tectonites*, California, USA: International Series in the Earth sciences.

Vaca Díez-Trillo Juan Pablo, 2018, *Caracterización morfoestructural en el límite de la Sierra Madre del Sur y el Eje Neovolcánico, entre Puebla y Oaxaca*, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, CDMX, Tesis de licenciatura, 282 p.

Verde-Ramírez, *Relación entre la tectónica y sedimentación del Jurásico, Santo Domingo Tianguistengo, Oaxaca*, UNAM, Instituto de geología, CDMX, Tesis de Maestría, 182 p.

## Anexos

### *Anexo 1. Petrografía*

#### Muestra 1

Coordenadas: 14Q (629,769 m E, 2'020,668 m N)

#### Muestra de mano:

Roca color gris que se encuentra foliada y deformada. Tiene grano de medio a fino con cristales gruesos de cuarzo sin presencia aparente de micas.

#### Lámina delgada

*Textura:* Porfidoclástica.

*Minerales que la componen:*

*Tabla VII.0.1 Minerales en porcentaje que componen a la muestra M1.*

<b>Mineral</b>	<b>Porcentaje</b>
Cuarzo	40
Feldespatos	30
Clorita	23
Epidota	5
Óxidos	1
Apatita	<1
Clinozoisita	1

#### *Observaciones:*

- Clastos de cuarzo y feldespatos potásicos con cristales de epidota dentro de ellos.
- La foliación es marcada y los cristales se encuentran orientados en una dirección.
- Presenta limonitización.
- Los contactos entre los cristales arrojan que sufrió dinamometamorfismo.

*Clasificación: Milonita.*

## Muestra 2

Coordenadas: 14Q (629,303 m E, 2'020,702 m N)

### Muestra de mano:

Color gris, foliada de grano de medio a fina con cristales gruesos de cuarzo (aprox. 20% en toda la muestra), se observan cristales de mica.

### Lámina delgada

*Textura:* Porfidoclástica.

*Minerales que la componen:*

Tabla VII.0.2 Minerales en porcentaje que componen a la muestra M2.

Mineral	Porcentaje
Cuarzo	45
Muscovita	10
Feldespatos	35
Cloritoides	4
Clorita	3
Óxidos	2
Apatita	<1

### *Observaciones:*

- Presencia de cristales opacos de gran tamaño.
- Los cristales de cuarzo y feldespatos son homogéneos en cuanto al tamaño.
- La mica se concentra en pocas partes, se encuentra alterada y pareciera estar rellenando fracturas.
- Los clastos siguen una dirección distinta al bandeamiento general.

*Clasificación:* Protomilonita.

### Muestra 3

Coordenadas: 14Q (628,683 m E, 2'023, 059 m N)

#### Muestra de mano:

Roca de grano de tamaño medio color gris, foliada, se alcanzan a observar micas y cristales gruesos de cuarzo. Efervesce en algunas bandas de color blanco.

#### Lámina delgada

*Textura:* Porfidoclástica.

*Minerales que la componen:*

Tabla VII.0.3 Minerales en porcentaje que componen a la muestra M3.

Mineral	Porcentaje
Feldespatos	45
Cuarzo	30
Biotita	9
Epidota	6
Clorita	5
Óxidos	3
Clinozoisita	1
Carbonatos	1

#### *Observaciones:*

-Se encuentran plagioclasas que se notan deformadas y con fracturas, evidencia de dinamometamorfismo, sin embargo, a diferencia de las muestras anteriores, hay menos deformación en la mayoría de los cristales.

-Dentro de los cristales de plagioclasas se encontraban cristales de epidota y en otras secciones hay cristales grandes de epidota.

-Se presenta la clorita alterando alrededor de los cristales de plagioclasas.

*Clasificación: Protomilonita.*

## Muestra F1

**Localidad: Barranca Agua la Iguana, zona de falla**

### Muestra de mano:

Muestra color gris con algunas partes más oscuras que otras, foliada en algunas partes, sin embargo, en otras se encuentran cristales gruesos (principalmente feldespatos pero también hay cuarzo) regularmente alineados. Se observa la mica por su hábito laminar. También hay presencia de grafito.

### Lámina delgada

*Textura:* Porfidocástica

*Minerales que la componen:*

*Tabla VII.0.4 Minerales en porcentaje que componen a la muestra F1.*

<b>Mineral</b>	<b>Porcentaje</b>
Cuarzo	40
Feldespatos	45
Mica	3
Óxidos	7
Cloritoides	3
Clorita	2

*Observaciones:*

-La biotita se encuentra alterada por clorita en su totalidad

-Presenta mucha deformación de dinamometamorfismo.

Clasificación: Milonita.

## Anexo 2. Datos de foliaciones tomadas en campo y su ubicación en el mapa.

Tabla VII.0.5 Foliaciones

Datos de foliaciones tomadas en campo								
Coordenadas	Rumbo	Echado	Coordenadas	Rumbo	Echado	Coordenadas	Rumbo	Echado
14Q (629,305 m E, 2°022,111 m N)	42	NW	28	14Q (627,548 m E, 2°022,034 m N)	53	NW	78	
14Q (629,632 m E, 2°021,771 m N)	74	NW	20	14Q (627,742 m E, 2°022,082 m N)	50	NE	90	
14Q (629,597 m E, 2°021,679 m N)	45	NW	20	14Q (627,935 m E, 2°022,118 m N)	34	SW	48	
14Q (629,552 m E, 2°021,602 m N)	10	NW	48	14Q (628,120 m E, 2°022,168 m N)	6	NE	37	
14Q (629,478 m E, 2°021,479 m N)	47	NW	30	14Q (628,298 m E, 2°022,189 m N)	4	NE	37	
14Q (629,375 m E, 2°021,450 m N)	30	NW	15	14Q (628,460 m E, 2°022,146 m N)	34	NE	39	
14Q (629,317 m E, 2°021,536 m N)	72	NW	22	14Q (628,633 m E, 2°022,115 m N)	55	NW	33	
14Q (629,582 m E, 2°021,420 m N)	62	NW	46	14Q (628,781 m E, 2°022,245 m N)	6	NE	60	
14Q (629,576 m E, 2°021,251 m N)	73	NW	30	14Q (628,960 m E, 2°022,196 m N)	23	NW	43	
14Q (629,546 m E, 2°021,140 m N)	89	NW	22	14Q (629,118 m E, 2°022,089 m N)	13	SW	90	
14Q (629,566 m E, 2°020,986 m N)	49	NW	41	14Q (629,313 m E, 2°022,107 m N)	69	NW	29	
14Q (629,517 m E, 2°020,907 m N)	40	NW	31	14Q (629,434 m E, 2°021,954 m N)	69	NW	42	
14Q (629,589 m E, 2°018,773 m N)	80	NW	33	14Q (629,629 m E, 2°021,929 m N)	59	NW	66	
14Q (629,374 m E, 2°018,747 m N)	64	SW	35	14Q (629,780 m E, 2°021,760 m N)	46	NW	17	
14Q (629,265 m E, 2°018,728 m N)	22	NW	13	14Q (629,971 m E, 2°021,679 m N)	6	NE	42	
14Q (629,161 m E, 2°018,735 m N)	56	NW	45	14Q (630,155 m E, 2°021,590 m N)	47	NW	18	
14Q (629,168 m E, 2°018,873 m N)	23	SE	83	14Q (630,250 m E, 2°021,428 m N)	36	NW	35	
14Q (629,229 m E, 2°018,939 m N)	31	NE	25	14Q (630,151 m E, 2°021,279 m N)	55	SW	63	
14Q (629,278 m E, 2°019,006 m N)	12	SE	35	14Q (630,039 m E, 2°021,133 m N)	19	NW	49	
14Q (628,990 m E, 2°018,777 m N)	18	NW	42	14Q (629,959 m E, 2°020,968 m N)	80	NW	45	
14Q (628,854 m E, 2°018,836 m N)	10	NE	65	14Q (629,965 m E, 2°020,774 m N)	57	NW	42	
14Q (628,752 m E, 2°019,644 m N)	20	SW	70	14Q (629,971 m E, 2°020,597 m N)	37	NW	29	
14Q (628,619 m E, 2°019,859 m N)	26	NW	36	14Q (629,789 m E, 2°020,608 m N)	30	NE	54	
14Q (628,588 m E, 2°019,843 m N)	38	SE	63	14Q (629,769 m E, 2°020,668 m N)	32	NW	39	
14Q (629,167 m E, 2°018,706 m N)	86	NE	25	14Q (629,741 m E, 2°020,734 m N)	59	NW	40	
14Q (628,258 m E, 2°020,740 m N)	24	NE	89	14Q (629,587 m E, 2°020,663 m N)	82	NW	29	
14Q (628,224 m E, 2°020,668 m N)	14	NE	59	14Q (629,535 m E, 2°020,805 m N)	78	NW	30	
14Q (628,402 m E, 2°020,657 m N)	25	NW	57	14Q (629,404 m E, 2°020,782 m N)	86	SW	26	
14Q (628,503 m E, 2°020,646 m N)	7	NW	40	14Q (629,303 m E, 2°020,702 m N)	35	NW	30	
14Q (628,621 m E, 2°020,658 m N)	44	NW	34	14Q (629,145, m E, 2°020,677 m N)	69	NW	24	
14Q (628,703 m E, 2°020,645 m N)	65	SE	35	14Q (629,041 m E, 2°020,777 m N)	84	NW	18	
14Q (628,769 m E, 2°020,695 m N)	27	NE	56	14Q (629,079 m E, 2°020,846 m N)	41	SW	51	

14Q (628,859 m E, 2'020,732 m N)	61	NW	33	14Q (629,038 m E, 2'020,987 m N)	59	SW	7
14Q (628,953 m E, 2'020,736 m N)	48	SW	60	14Q (628,887 m E, 2'020,947 m N)	57	SW	23
14Q (628,713 m E, 2'020,594 m N)	78	SW	33	14Q (628,748 m E, 2'022,885 m N)	42	NW	10
14Q (628,666 m E, 2'020,544 m N)	20	SW	50	14Q (628,549 m E, 2'022,857 m N)	4	SW	30
14Q (628,625 m E, 2'020,486 m N)	5	SW	52	14Q (628,380 m E, 2'022,785 m N)	25	NE	87
14Q (628,714 m E, 2'020,438 m N)	60	SW	60	14Q (628,246 m E, 2'022,646 m N)	30	SW	74
14Q (628,762 m E, 2'020,370 m N)	64	SW	41	14Q (628,114 m E, 2'022,509 m N)	85	SW	48
14Q (628,833 m E, 2'020,294 m N)	30	SW	90	14Q (627,957 m E, 2'022,400 m N)	21	NE	80
14Q (628,932 m E, 2'020,264 m N)	27	NW	30	14Q (627,797 m E, 2'022,302 m N)	24	NE	83
14Q (629,164 m E, 2'020,291 m N)	67	NW	44	14Q (627,671 m E, 2'022,227 m N)	27	NE	84
14Q (628,603 m E, 2'020,517 m N)	22	SW	80	14Q (627,615 m E, 2'022,191 m N)	38	SW	72
14Q (628,527 m E, 2'020,533 m N)	42	NE	74	14Q (627,480 m E, 2'022,061 m N)	4	NW	90
14Q (628,446 m E, 2'020,559 m N)	13	SW	37	14Q (627,830 m E, 2'021,413 m N)	53	SW	46
14Q (628,749 m E, 2'022,773 m N)	30	NE	68	14Q (627,873 m E, 2'021,500 m N)	35	SE	56
14Q (628,723 m E, 2'022,669 m N)	16	NE	51	14Q (627,913 m E, 2'021,585 m N)	14	NE	35
14Q (628,682 m E, 2'022,601 m N)	12	NE	71	14Q (627,989 m E, 2'021,643 m N)	30	SW	85
14Q (628,666 m E, 2'022,490 m N)	49	SW	43	14Q (627,742 m E, 2'022,082 m N)	50	NE	90
14Q (628,630 m E, 2'022,404 m N)	11	NE	33	14Q (629,118 m E, 2'022,089 m N)	13	SW	90
14Q (628,623 m E, 2'022,317 m N)	3	NW	70	14Q (627,480 m E, 2'022,061 m N)	4	NW	90
14Q (628,546 m E, 2'022,282 m N)	74	SE	60	14Q (628,548 m E, 2'022,217 m N)	45	SW	23
14Q (628,539 m E, 2'022,271 m N)	4	NE	57	14Q (628,464 m E, 2'022,201 m N)	5	NW	30

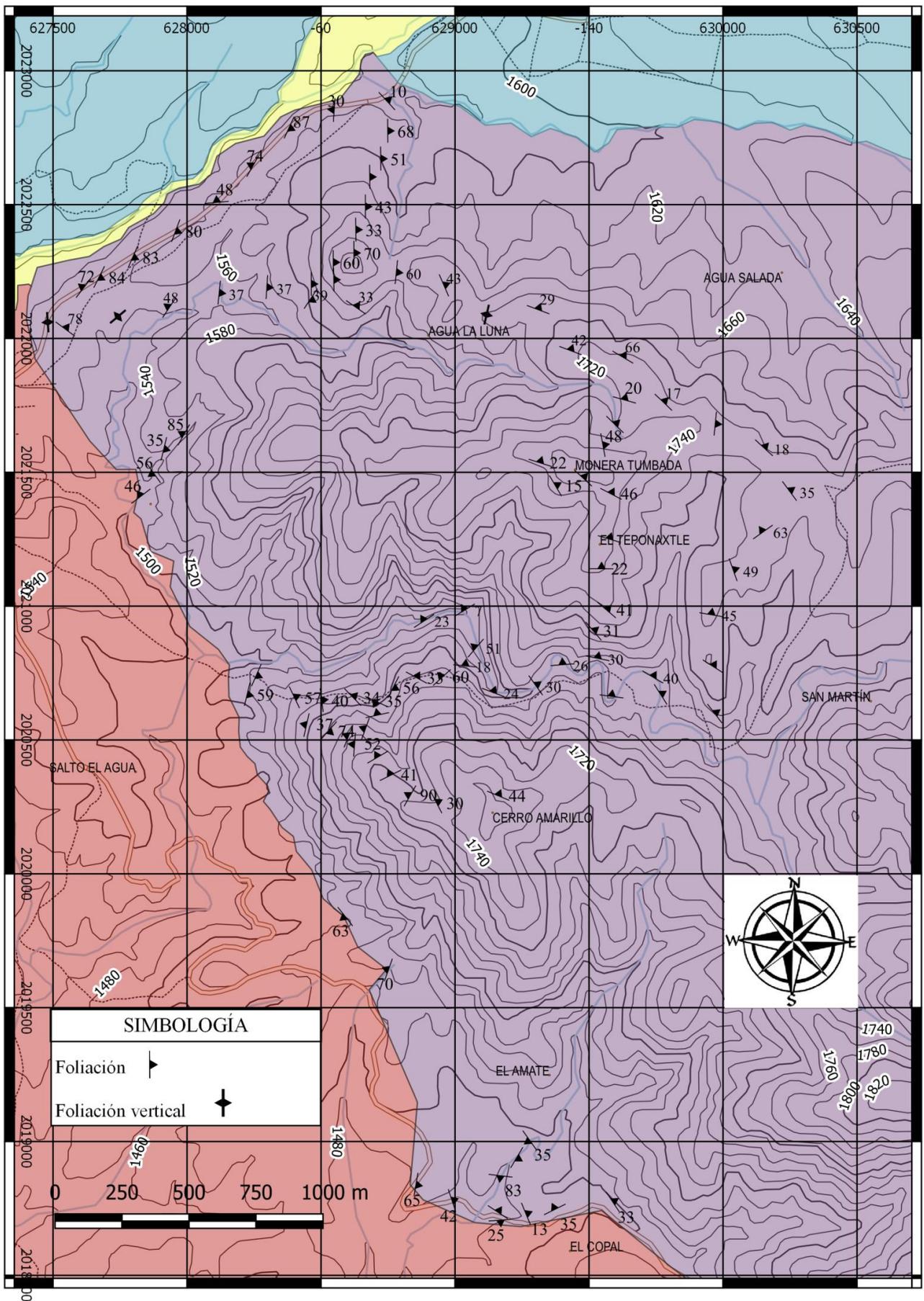
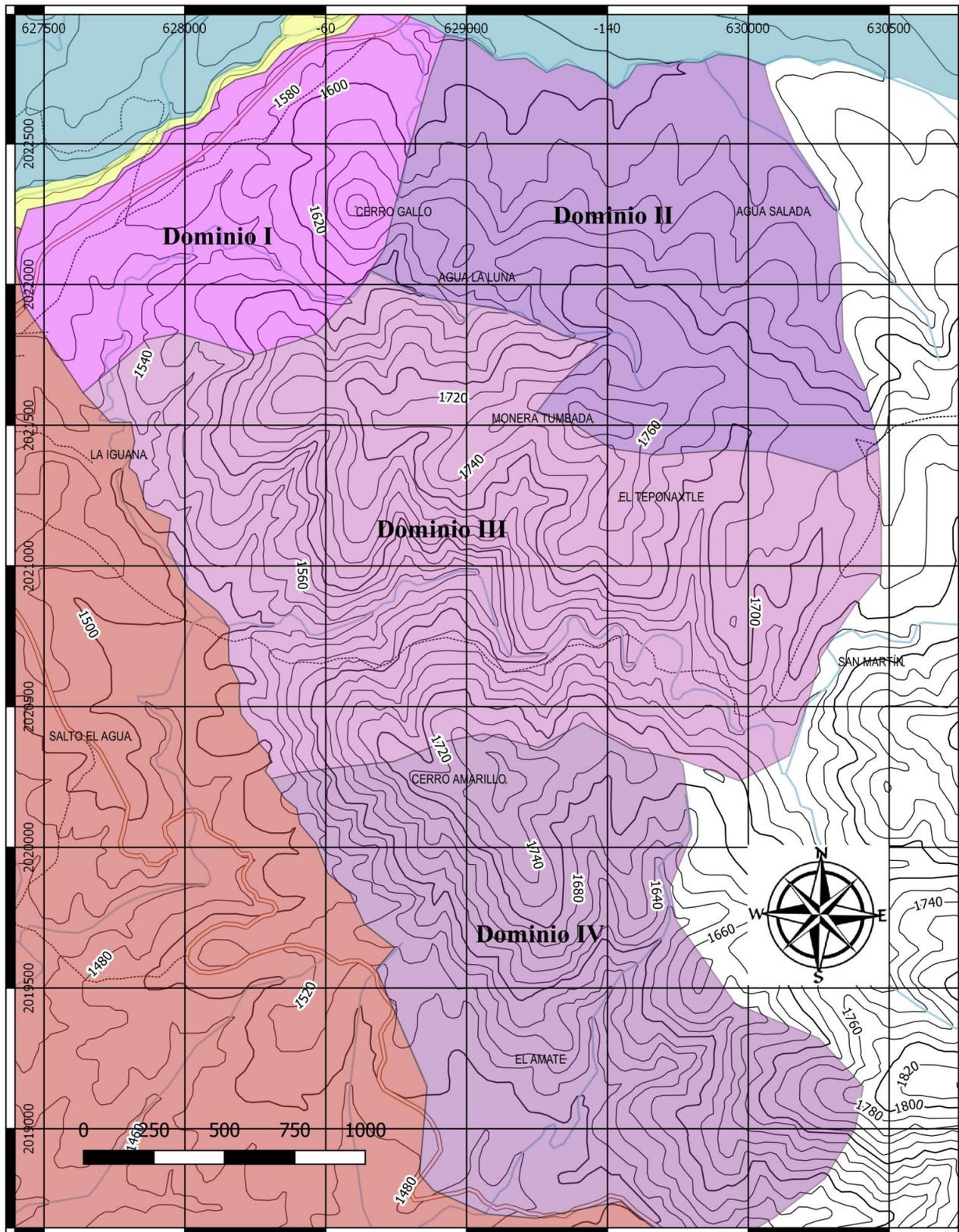


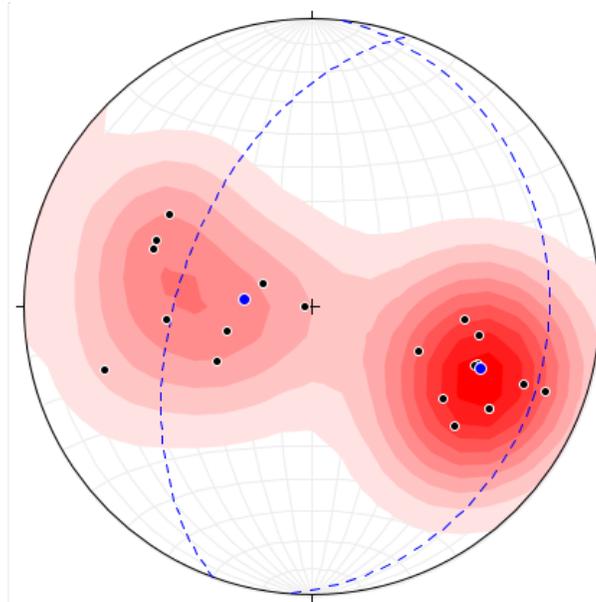
Ilustración VII.0.1 Mapa con la representación de las foliaciones obtenidas en campo.

*Anexo 3. Ubicación de los Dominios estructurales en el mapa*



**Anexo 4. Diagrama de concentración de polos y datos tomados para los análisis de pliegues**

Dominio I.

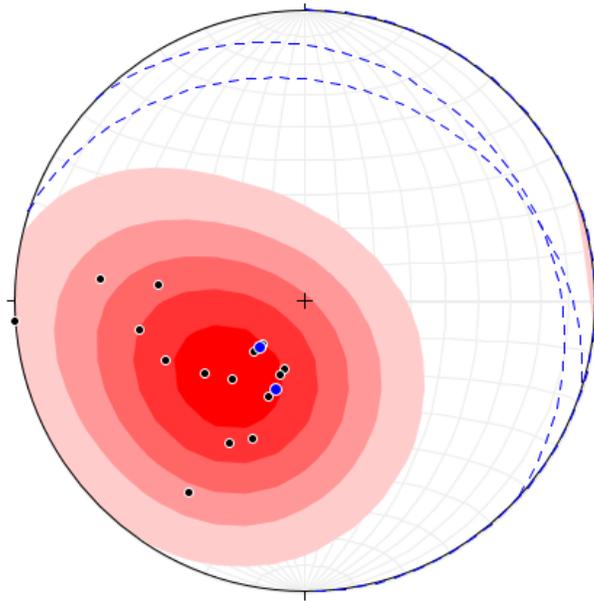


*Ilustración VII.0.3 En tonalidades de rojo se encuentran las concentraciones de los polos de los datos mostrados en la tabla VII.6. En círculos azules están los polos utilizados para definir los planos de flancos representados por líneas punteadas.*

*Tabla VII.6 Datos de pliegues obtenidos en las afueras de Santo Tomás Otlaltepec para el análisis de pliegues para el Dominio I.*

14Q (629,167 m E, 2'018,706 m N)			7	7	NW	39
#	Rumbo	Echado	8	7	NE	51
1	5	NE	69	39	SW	36
	8	SW	58	40	NW	25
2	9	SE	63	40	SW	66
	7	SE	34	78	SW	30
3	11	NW	78	55	NW	40
	52	SE	10	27	NW	35
4	73	NW	31	87	SW	32
	52	NW	44	3	NW	58
5	36	SW	27	50	NW	21
	18	NW	52	24	SW	51
6	14	SW	65	6	NW	38
	23	NW	44	50	SW	52
7	16	SW	31	20	NW	19

Dominio II.

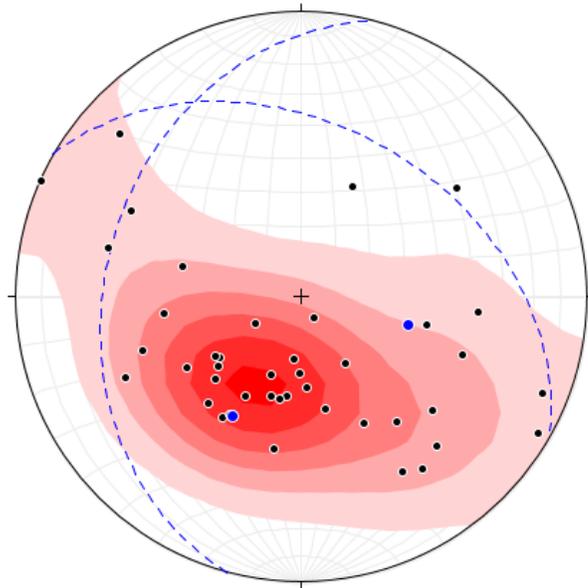


*Ilustración VII.4 Concentración de los polos de los datos en la tabla VII.7. En azul se encuentran los polos utilizados para obtener los flancos utilizados para el análisis.*

*Tabla VII.7 Datos de foliaciones utilizados para el análisis del pliegue del dominio 2.*

Rumbo	Echado	Rumbo	Echado
6	NE	60	62
23	NW	43	72
4	NW	90	10
69	NW	29	47
69	NW	42	36
59	NW	66	45
46	NW	17	74
6	NE	42	47

Dominio III.

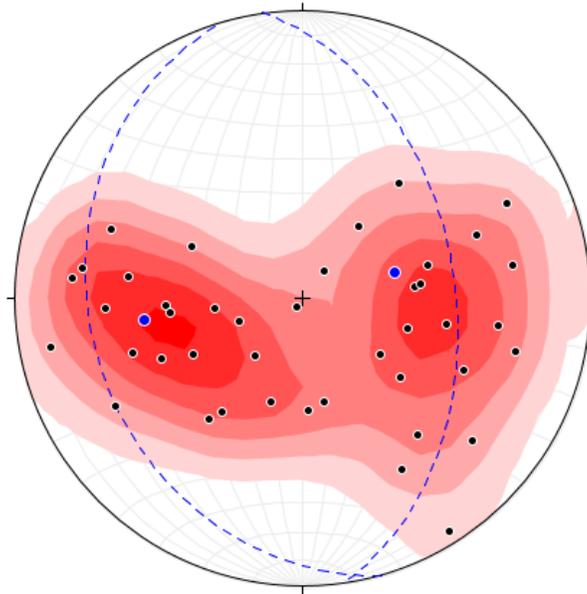


*Ilustración VII.5 Concentración de los polos que se obtuvieron de graficar los datos de la tabla VII.8. En círculos azules se encuentran los polos elegidos para obtener los dos planos de los flancos para el pliegue final.*

*Tabla VII.8 Datos de foliaciones tomadas para realizar el análisis para el Dominio III.*

Rumbo	Echado	Rumbo	Echado
30	NW	15	41
73	NW	30	84
40	NW	31	59
49	NW	41	57
89	NW	22	53
55	SW	63	35
19	NW	49	14
80	NW	45	30
57	NW	42	48
37	NW	29	61
32	NW	39	27
59	NW	40	65
82	NW	29	44
78	NW	30	7
86	SW	26	25
35	NW	30	24
69	NW	24	14
78	SW	33	13
20	SW	50	42
60	SW	60	22
64	SW	41	5
			51
			18
			7
			23
			46
			56
			35
			85
			60
			33
			56
			35
			34
			40
			57
			89
			59
			37
			74
			80
			52

Dominio IV.



*Ilustración VII.6 Concentración de los polos obtenidos de los datos que se encuentra en la tabla VII.9. En los círculos azules se encuentran marcados los polos que designan a los flancos para el pliegue final, estos se encuentran graficados en líneas punteadas en color azul.*

*Tabla VII.9 Datos de pliegues tomados en El Amate en las coordenadas: 14Q (629,167m E, 2'018,706 m N).*

#	Rumbo	Echado	#	Rumbo	Echado
<b>1</b>	15	SE	37	12	36 SW
	25	NE	35	18	NW
<b>2</b>	10	SW	42	13	14 SW
	58	SW	85	23	NW
<b>3</b>	57	NW	3	14	16 SW
	20	SE	54	7	NW
<b>4</b>	25	SE	67	15	7 NE
	60	SW	58	39	SW
<b>5</b>	52	SE	26	16	40 NW
	20	NE	60	40	SW
<b>6</b>	50	SE	43	17	78 SW
	30	NW	64	55	NW
<b>7</b>	8	NE	66	18	27 NW
	6	SE	32	87	SW
<b>8</b>	5	NE	69	19	3 NW
	8	SW	58	50	NW
<b>9</b>	9	SE	63	20	24 SW
	7	SE	34	6	NW
<b>10</b>	11	NW	78	21	50 SW
	52	SE	10	20	NW
<b>11</b>	73	NW	31	52	NW
				44	52

## Anexo 5. Datos para análisis cinemático de fallas.

Tabla VII.10 Datos de fallas obtenidos para realizar el análisis en las afueras de Santo Tomás Otlaltepec.

RUMBO		Azimutal	ECHADO	PITCH	HOR/ANT	TIPO
<b>10</b>	SW	190	70	20	ANT	LD
<b>20</b>	NE	20	76	40	ANT	I
<b>45</b>	SW	225	80	15	ANT	LD
<b>34</b>	NE	34	33	22	ANT	LD
<b>21</b>	SW	201	74	33	ANT	LD
<b>24</b>	SW	204	63	50	ANT	I
<b>27</b>	SW	207	80	30	ANT	LD
<b>12</b>	NE	12	74	35	HOR	I

Tabla VII.11 Datos de las fallas obtenidos para realizar el análisis en la barranca La Iguana.

RUMBO		Azimutal	ECHADO	PITCH	HOR/ANT	TIPO
<b>16</b>	NE	16	42	32	HOR	INV
<b>27</b>	NW	333	80	67	ANT	NOR
<b>10</b>	SW	190	90	33	HOR	INV
<b>88</b>	NE	88	88	79	ANT	INV
<b>1</b>	NE	1	59	75	HOR	INV
<b>10</b>	NE	10	38	73	ANT	NOR
<b>4</b>	NE	4	65	76	HOR	INV

Tabla VII.12 Datos obtenidos para el análisis de fallas obtenidos en la zona de contacto granito-gabro.

RUMBO		Azimutal	ECHADO	PITCH	HOR/ANT	TIPO
<b>37</b>	SE	147	42	10	HOR	LD
<b>55</b>	SE	125	69	54	HOR	NOR
<b>18</b>	SE	162	40	40	HOR	NOR
<b>72</b>	SE	108	35	66	ANT	NOR
<b>81</b>	SE	99	40	50	ANT	NOR

Tabla VII.13 Datos obtenidos para el análisis de fallas obtenido en los límites de El Copal.

RUMBO		Azimutal	ECHADO	PITCH	HOR/ANT	TIPO
<b>3</b>	NW	357	75	50	ANT	N
<b>25</b>	SW	205	58			
<b>17</b>	SW	197	72			
<b>40</b>	NW	320	34			

**Anexo 6. Datos de fracturas utilizados en las rosetas.**

*Tabla VII.14 Datos utilizados para realizar la roseta en la formación Otlaltepec.*

<b>Datos de Fracturas (TOMADAS CON PÍNULA A LA DERECHA)</b>											
#	Rumbo	Echado	#	Rumbo	Echado	#	Rumbo	Echado	#	Rumbo	Echado
1	2	NW	65	28	70	NW	40	55	10	SW	79
2	13	SW	75	29	23	NW	75	56	74	SE	78
3	46	NW	28	30	5	NE	50	57	8	NW	44
4	10	NW	40	31	75	NW	37	58	7	SE	75
5	58	NW	30	32	81	NW	30	59	64	SW	15
6	42	SW	80	33	43	SE	74	60	85	NE	78
7	5	NW	74	34	9	SW	69	61	0	N-S	53
8	10	SE	90	35	10	NE	66	62	2	SE	86
9	22	SE	48	36	26	SE	55	63	84	NE	85
10	16	SW	77	37	32	NW	27	64	36	NW	25
11	17	NW	72	38	34	NW	10	65	84	SE	89
12	44	NW	45	39	27	NE	60	66	21	NW	76
13	58	NW	20	40	40	SE	70	67	85	NW	33
14	21	NW	29	41	24	SE	55	68	84	NW	19
15	81	SE	65	42	45	NE	69	69	81	SW	27
16	52	NW	33	43	25	NE	74	70	12	NE	54
17	10	NW	18	44	46	NW	21	71	34	SE	65
18	10	SW	73	45	10	SW	90	72	24	SE	50
19	10	SW	85	46	72	SE	36	73	46	NW	14
20	90	E-W	63	47	45	NW	33	74	6	SW	79
21	35	NW	10	48	42	NW	30	75	11	SE	83
22	18	NW	38	49	29	NE	58	76	14	NW	25
23	33	NW	67	50	31	SW	70	77	44	SE	65
24	14	SW	80	51	81	SE	54	78	29	NW	10
25	33	NW	90	52	5	SE	81	79	10	SE	86
26	65	SE	68	53	22	SE	60	80	20	NW	68
27	25	NW	82	54	1	NE	51	81	85	NE	77

*Tabla IV.15 Datos tomados para la roseta del Complejo Acatlán sobre el camino que va de Santo Tomás Otlaltepec hacia Santo Domingo Tianguistengo.*

<b>Datos de Fracturas (TOMADAS CON PÍNULA A LA DERECHA)</b>											
#	Rumbo	Echado	#	Rumbo	Echado	#	Rumbo	Echado	#	Rumbo	Echado
1	63	SE	74	28	55	NW	62	55	57	SE	41
2	59	SE	82	29	74	SE	88	56	75	SE	58
3	60	NW	75	30	90	E-W	75	57	90	E-W	30
4	66	SE	79	31	60	NW	77	58	75	SE	65
5	55	NW	64	32	53	NW	79	59	51	SE	60
6	53	SE	77	33	81	SE	86	60	24	SE	40
7	67	SE	75	34	65	NW	33	61	60	SE	48
8	63	SE	72	35	71	SE	80	62	83	SE	66
9	60	SE	72	36	85	SE	82	63	86	NE	68
10	84	NW	86	37	85	SE	77	64	59	SE	68
11	74	SE	83	38	65	SE	71	65	65	NE	72

12	76	SE	38	39	63	SE	90	66	57	SE	47
13	72	SE	85	40	73	SE	82	67	50	NE	87
14	54	SE	84	41	40	SE	53	68	34	SE	57
15	56	NW	19	42	44	SE	55	69	66	SE	63
16	75	SE	77	43	61	NW	65	70	80	SE	84
17	84	SE	63	44	54	NW	66	71	59	NW	66
18	40	NW	30	45	50	SE	56	72	51	SE	78
19	73	SE	86	46	32	SE	68	73	60	SE	80
20	78	SE	43	47	63	SE	78	74	27	SE	79
21	20	NW	51	48	66	SE	85	75	55	SE	33
22	75	SE	66	49	74	SE	86	76	29	SW	5
23	47	SE	64	50	2	SE	82	77	46	SW	80
24	66	SE	36	51	48	SE	64	78	78	SE	89
25	30	SE	37	52	39	NW	40	79	40	SE	52
26	65	SE	74	53	48	SE	85	80	61	SE	60
27	71	SW	75	54	42	NW	44				

Tabla IV.16 Datos de fracturas obtenidos en las afueras de Santo Domingo Tianguistengo camino a Santo Tomás Otlaltepec. En el Complejo Acatlán.

Datos de Fracturas (TOMADAS CON PÍNULA A LA DERECHA)											
#	Rumbo		Echado	#	Rumbo		Echado	#	Rumbo		Echado
1	05°	NE	74	36	81	SW	61	71	14	SE	59
2	69	NW	86	37	26	SW	54	72	75	NW	49
3	69	NW	70	38	41	NE	34	73	89	SW	45
4	77	NW	64	39	88	NW	43	74	10	NE	61
5	86	SE	4	40	16	SE	80	75	36	SW	50
6	0	N-S	15	41	63	NW	57	76	10	NW	74
7	19	NW	50	42	50	SE	46	77	79	SE	45
8	24	SW	74	43	80	SE	44	78	82	SE	50
9	80	NW	69	44	51	NE	40	79	19	NE	50
10	25	SE	63	45	4	SW	72	80	81	SE	44
11	34	NE	64	46	14	NE	64	81	43	NW	55
12	11	SW	45	47	86	NE	74	82	89	SW	70
13	10	SE	55	48	79	SW	50	83	11	SW	50
14	67	SE	86	49	70	SE	39	84	52	SW	51
15	70	SW	49	50	74	NW	84	85	49	SW	40
16	85	NW	65	51	84	NE	32	86	31	SE	54
17	76	NW	72	52	68	SW	52	87	55	SE	43
18	75	SE	65	53	87	NE	53	88	0	N-S	38
19	15	SE	55	54	85	SE	64	89	54	SW	34
20	29	NW	59	55	87	NE	52	90	90	E-W	57
21	81	NW	26	56	42	NE	76	91	30	NE	50
22	19	NE	44	57	46	SW	53	92	28	SW	75
23	82	NW	56	58	89	NW	48	93	2	SW	50
24	85	SE	70	59	64	SW	54	94	23	SE	74
25	50	SE	34	60	23	SE	54	95	26	SE	75
26	12	NE	78	61	25	NE	73	96	75	NE	74
27	10	NE	45	62	18	NE	24	97	62	NE	37
28	12	NE	78	63	24	SW	66	98	26	SE	83

<b>29</b>	67	NE	45	<b>64</b>	19	SE	40	<b>99</b>	76	SW	55
<b>30</b>	65	NW	83	<b>65</b>	4	NW	46	<b>100</b>	47	SW	40
<b>31</b>	90	W-E	65	<b>66</b>	26	NE	40	<b>101</b>	36	SW	57
<b>32</b>	44	SE	42	<b>67</b>	29	NE	76	<b>102</b>	0	N-S	37
<b>33</b>	80	NE	52	<b>68</b>	24	SE	75	<b>103</b>	40	NW	89
<b>34</b>	81	NE	48	<b>69</b>	73	SW	32	<b>104</b>	69	SE	50
<b>35</b>	72	NW	30	<b>70</b>	80	NE	86	<b>105</b>	76	SW	55

*Tabla IV.17. Datos utilizados para elaborar la roseta en el Plutón Totoltepec de la zona de falla en la barranca La Iguana.*

<b>Datos de Fracturas (TOMADAS CON PÍNULA A LA DERECHA)</b>							
<b>#</b>	<b>Rumbo</b>	<b>Echado</b>	<b>#</b>	<b>Rumbo</b>	<b>Echado</b>	<b>#</b>	<b>Echado</b>
<b>1</b>	18	SE	15	<b>31</b>	68	NE	54
<b>2</b>	77	NE	85	<b>32</b>	3	NE	24
<b>3</b>	73	NE	50	<b>33</b>	21	SW	88
<b>4</b>	7	SE	64	<b>34</b>	34	SE	78
<b>5</b>	41	SW	59	<b>35</b>	31	NE	45
<b>6</b>	15	NE	50	<b>36</b>	3	SE	55
<b>7</b>	82	SE	70	<b>37</b>	63	SE	43
<b>8</b>	59	SE	52	<b>38</b>	23	SE	63
<b>9</b>	85	NW	37	<b>39</b>	55	SW	24
<b>10</b>	80	NE	26	<b>40</b>	5	NW	77
<b>11</b>	29	NW	77	<b>41</b>	15	NW	42
<b>12</b>	53	NW	70	<b>42</b>	40	SE	18
<b>13</b>	90	E	70	<b>43</b>	14	NE	85
<b>14</b>	16	SE	39	<b>44</b>	44	NW	68
<b>15</b>	90	E	79	<b>45</b>	10	NW	35
<b>16</b>	58	NE	60	<b>46</b>	50	NE	74
<b>17</b>	25	SW	90	<b>47</b>	5	NW	74
<b>18</b>	30	SW	72	<b>48</b>	25	NW	73
<b>19</b>	18	SW	90	<b>49</b>	84	SE	39
<b>20</b>	7	SE	82	<b>50</b>	11	NW	60
<b>21</b>	45	NE	68	<b>51</b>	44	NW	32
<b>22</b>	90	E	11	<b>52</b>	0	N	78
<b>23</b>	69	NE	45	<b>53</b>	80	SW	65
<b>24</b>	1	SE	42	<b>54</b>	79	SW	85
<b>25</b>	12	SE	54	<b>55</b>	60	SE	58
<b>26</b>	78	SE	60	<b>56</b>	90	E	70
<b>27</b>	55	NW	41	<b>57</b>	37	SW	24
<b>28</b>	78	NE	40	<b>58</b>	30	NE	59
<b>29</b>	32	SW	81	<b>59</b>	84	NE	68
<b>30</b>	28	NE	51	<b>60</b>	11	SE	71

Tabla IV.18 Datos tomados en la barranca La Iguana en el Complejo Acatlán.

Datos de Fracturas (TOMADAS CON PÍNULA A LA DERECHA)											
#	Rumbo		Echado	#	Rumbo		Echado	#	Rumbo		Echado
1	27	SE	40	31	1	SE	65	61	26	SW	88
2	70	SE	24	32	10	SE	36	62	34	NW	74
3	55	NW	85	33	50	NW	67	63	36	NE	60
4	57	SE	46	34	62	SE	40	64	55	SE	55
5	29	NW	75	35	30	NE	42	65	47	NE	72
6	51	SE	58	36	70	NW	65	66	60	SE	64
7	43	SE	90	37	50	SE	39	67	22	SE	86
8	40	NE	87	38	35	SE	65	68	70	NW	85
9	33	SE	90	39	50	NW	77	69	24	NW	86
10	30	NW	85	40	60	NW	82	70	50	SE	36
11	39	NW	75	41	75	NE	50	71	56	SE	76
12	26	SE	46	42	55	NW	61	72	49	SE	65
13	74	SE	40	43	90	E-0	50	73	30	SE	54
14	32	NW	80	44	34	NW	59	74	62	NW	84
15	23	SE	47	45	50	NW	70	75	64	SE	63
16	88	SE	59	46	77	NW	83	76	74	NE	70
17	22	SE	44	47	25	NW	65	77	30	SE	79
18	0	N-S	74	48	5	SE	60	78	56	SE	56
19	45	SE	34	49	23	NW	64	79	40	SW	80
20	19	SE	51	50	37	SW	65	80	62	SE	53
21	55	NW	62	51	87	NW	66	81	65	SE	84
22	35	SE	58	52	80	NW	86	82	40	SE	72
23	33	SW	83	53	30	NW	90	83	60	SE	64
24	73	SE	76	54	90	E-W	85	84	40	NW	56
25	33	NE	75	55	20	SW	71	85	60	SE	45
26	83	SW	53	56	36	NW	70	86	1	SW	74
27	84	NW	86	57	52	NW	90	87	39	SE	75
28	70	NW	84	58	26	NW	56	88	20	NW	55
29	59	SW	78	59	44	SE	66	89	15	SE	80
30	32	NE	52	60	44	SW	76	90	18	SE	60

Tabla VII.19 Datos de fracturas obtenidos en el granito (zona de contacto entre el granito y el gabro en el Plutón Totoltepec..

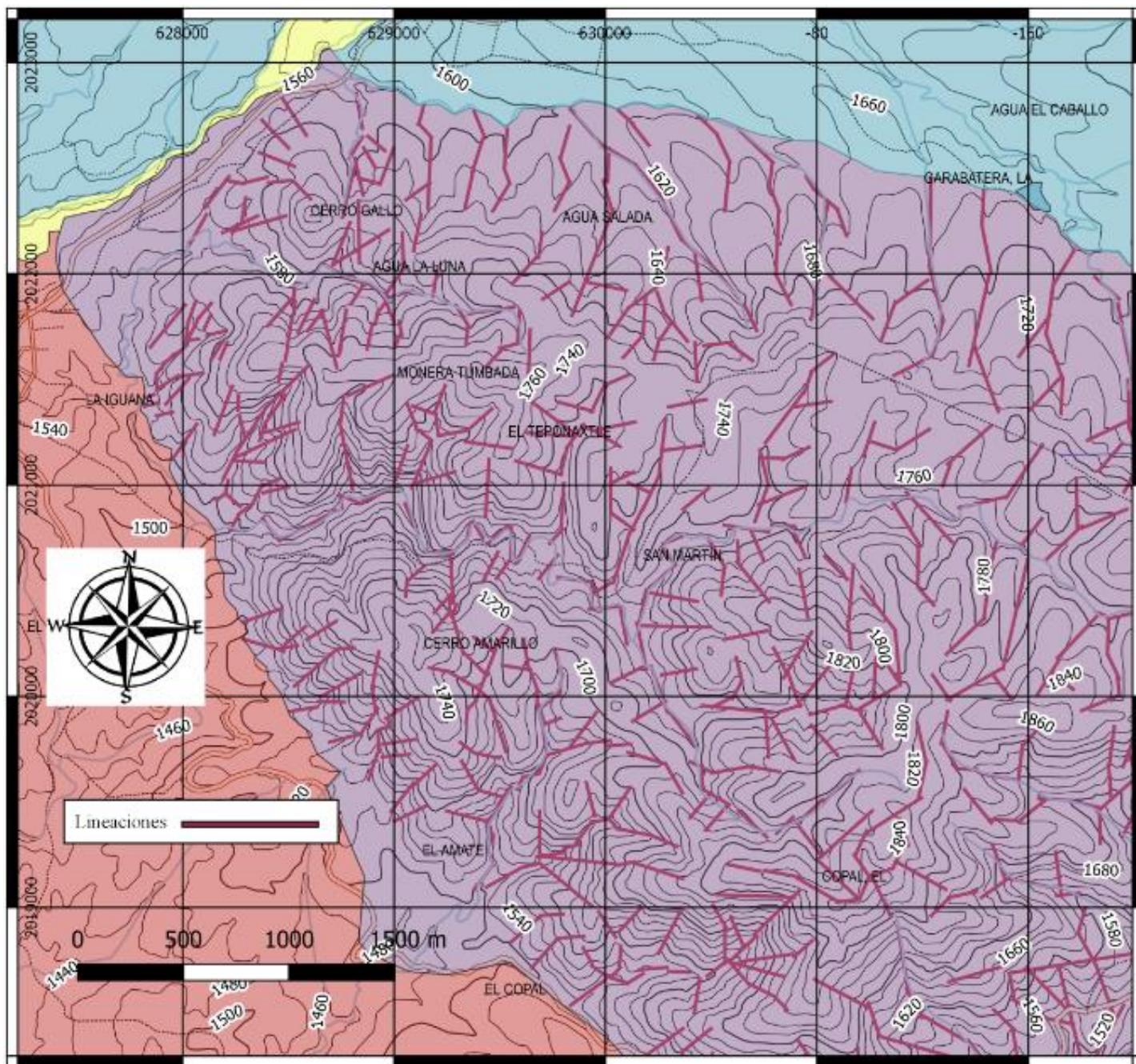
Datos de Fracturas (TOMADAS CON PÍNULA A LA DERECHA)							
#	Rumbo		Echado	#	Rumbo		Echado
1	31	SE	90	51	50	SE	35
2	23	SW	70	52	40	NE	63
3	37	SW	90	53	75	SE	65
4	86	SE	46	54	7	SE	90
5	10	NE	90	55	20	SE	90
6	52	SE	45	56	78	SE	64
7	32	SE	86	57	80	SE	72
8	42	SE	67	58	72	SE	84
9	75	NE	48	59	68	SE	49
10	23	NE	90	60	60	SE	90

<b>11</b>	80	NW	60	<b>61</b>	40	SW	72
<b>12</b>	26	NE	65	<b>62</b>	22	SE	50
<b>13</b>	37	NW	48	<b>63</b>	75	SE	54
<b>14</b>	18	NW	58	<b>64</b>	22	NE	90
<b>15</b>	60	SE	66	<b>65</b>	76	SW	46
<b>16</b>	42	NE	90	<b>66</b>	26	SE	67

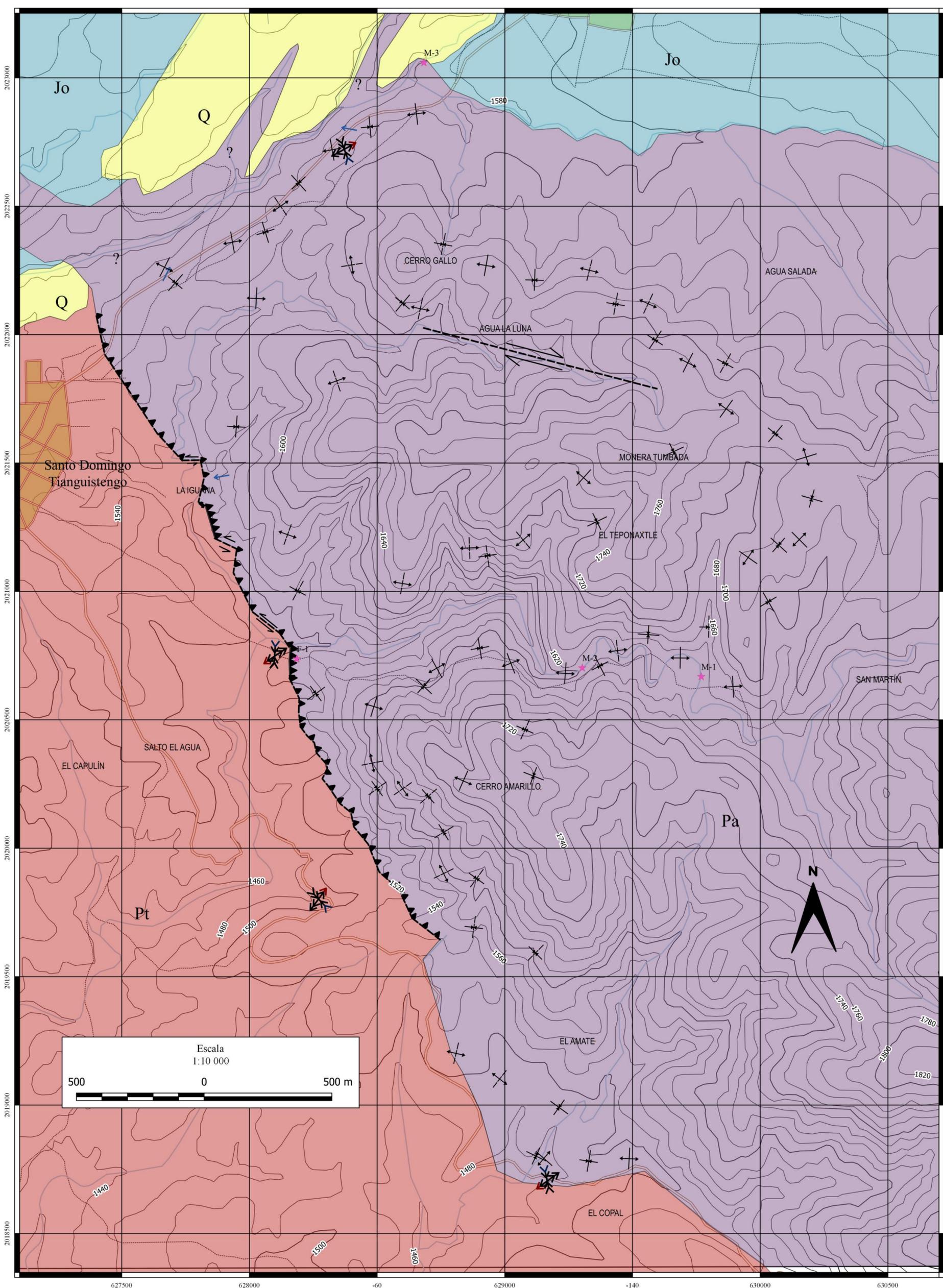
Tabla VII.20 Datos tomados en los límites de El Copal.

<b>Datos de Fracturas (TOMADAS CON PÍNULA A LA DERECHA)</b>											
<b>#</b>	<b>Rumbo</b>		<b>Echado</b>	<b>#</b>	<b>Rumbo</b>		<b>Echado</b>	<b>#</b>	<b>Rumbo</b>		<b>Echado</b>
<b>1</b>	52	NE	90	<b>25</b>	54	SE	70	<b>49</b>	36	NW	90
<b>2</b>	60	NW	90	<b>26</b>	12	NE	72	<b>50</b>	40	NE	42
<b>3</b>	83	SW	60	<b>27</b>	82	SE	68	<b>51</b>	17	SW	66
<b>4</b>	60	SE	70	<b>28</b>	78	NW	90	<b>52</b>	50	NW	65
<b>5</b>	50	SW	90	<b>29</b>	32	SW	70	<b>53</b>	66	SW	90
<b>6</b>	60	SW	69	<b>30</b>	70	NW	72	<b>54</b>	65	NW	90
<b>7</b>	86	NW	90	<b>31</b>	80	SE	64	<b>55</b>	12	SW	90
<b>8</b>	83	NE	65	<b>32</b>	82	SW	76	<b>56</b>	30	SW	54
<b>9</b>	66	SW	68	<b>33</b>	65	SW	70	<b>57</b>	8	SW	71
<b>10</b>	25	NW	61	<b>34</b>	40	SW	78	<b>58</b>	11	NE	64
<b>11</b>	8	NE	62	<b>35</b>	56	NE	78	<b>59</b>	56	SW	80
<b>12</b>	70	SE	61	<b>36</b>	7	SE	82	<b>60</b>	12	SW	90
<b>13</b>	74	SW	90	<b>37</b>	64	SW	80	<b>61</b>	9	SE	90
<b>14</b>	36	SW	90	<b>38</b>	9	SE	90	<b>62</b>	78	NE	90
<b>15</b>	50	SW	90	<b>39</b>	75	NW	90	<b>63</b>	78	SW	90
<b>16</b>	46	SW	90	<b>40</b>	65	NW	90	<b>64</b>	77	SW	90
<b>17</b>	65	NW	90	<b>41</b>	58	NE	40	<b>65</b>	36	NW	66
<b>18</b>	50	SW	90	<b>42</b>	32	NW	52	<b>66</b>	29	SW	68
<b>19</b>	71	SW	90	<b>43</b>	70	NW	90	<b>67</b>	81	SW	90
<b>20</b>	8	NE	66	<b>44</b>	15	NE	90	<b>68</b>	10	SW	65
<b>21</b>	48	SW	90	<b>45</b>	10	NW	88	<b>69</b>	16	SW	67
<b>22</b>	25	SW	90	<b>46</b>	44	SW	62	<b>70</b>	15	SW	65
<b>23</b>	58	SE	69	<b>47</b>	24	SE	90	<b>71</b>	88	NW	90
<b>24</b>	28	NW	53	<b>48</b>	46	SW	90				

*Anexo 7. Mapa con lineaciones.*



*Ilustración VII.6 Mapa de la zona de estudio con las lineaciones marcadas en rosa.*



<p>UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA</p> <p>MAPA GEOLÓGICO DE LA SIERRA "EL GALLO", COMPLEJO ACATLÁN</p> <p>Autora: Stefania Flores Pérez</p> <p>Equidistancia de las curvas de nivel a cada 20 m.</p>	<p><b>Simbología</b></p>	<p><b>Litologías</b></p> <p>Q Depósitos recientes</p> <p>Jo Formación Otlattepec</p> <p>Pt Plutón Totoltepec</p> <p>Pa Complejo Acatlán</p>	<p><b>Datos estructurales</b></p> <p>▲▲▲ Falla inversa</p> <p>--- Planos de Fallas Inferidos</p> <p>★ Toma de muestras</p>	<p>⊕ Pliegues sinclinales inferidos</p> <p>⊕ Pliegues sinclinales</p> <p>⊕ Pliegues anticlinales inferidos</p> <p>⊕ Pliegues anticlinales</p>	<p>⊕ Ejes de acortamiento</p> <p>↑ Lapices</p> <p>⊕ Ejes de extensión</p>
		<p>Jurásico</p>	<p>⊕ Pliegues anticlinales inferidos</p>	<p>⊕ Ejes de acortamiento</p>	
		<p>Cenozoico</p>	<p>⊕ Pliegues anticlinales</p>	<p>⊕ Ejes de extensión</p>	
		<p>Paleozoico</p>			