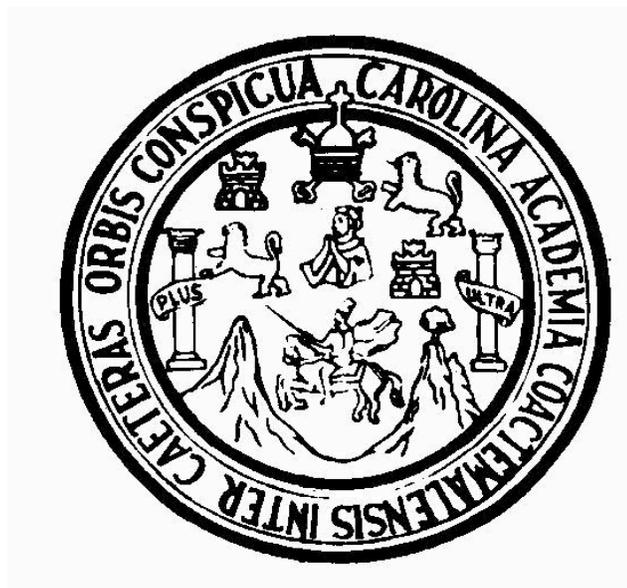


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE
CARRERA DE GEOLOGÍA

TRABAJO DE GRADUACIÓN



TESIS:
ANÁLISIS NEOTECTÓNICO DE LAS ZONAS DE FALLA Y SU
RELACIÓN CON LOS MODELOS SÍSMICOS DEL EVENTO DE
SEPTIEMBRE 2011, CUILAPA, SANTA ROSA

LUIS FELIPE VALIENTE

COBÁN, ALTA VERAPAZ, JULIO DE 2015.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE
CARRERA DE GEOLOGÍA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

TESIS:
ANÁLISIS NEOTECTÓNICO DE LAS ZONAS DE FALLA Y SU
RELACIÓN CON LOS MODELOS SÍSMICOS DEL EVENTO DE
SEPTIEMBRE 2011, CUILAPA, SANTA ROSA

PRESENTADO AL HONORABLE CONSEJO DIRECTIVO DEL
CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE

POR
LUIS FELIPE VALIENTE
CARNÉ: 200640718

COMO REQUISITO PREVIO A OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO GEÓLOGO

COBÁN ALTA VERAPAZ, JULIO DE 2015.

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

RECTOR MAGNÍFICO

Dr. Carlos Guillermo Alvarado Cerezo

CONSEJO DIRECTIVO

PRESIDENTE:	Lic. Zoot. M.A. Fredy Giovani Macz Choc
SECRETARIA:	Licda. T.S. Floricelda Chiquín Yoj
REPRESENTANTE DE DOCENTES:	Ing. Geol. César Fernando Monterroso Rey
REPRESENTANTE EGRESADOS:	Ing. Agr. Julio Oswaldo Méndez Morales
REPRESENTANTES ESTUDIANTILES:	Bach. Fredy Enrique Gereda Milián PEM. Cesar Oswaldo Bol Cú

COORDINADOR ACADÉMICO

Lic. Zoot. Erwin Gonzalo Eskenasy Morales

COORDINADOR DE LA CARRERA

Ing. Geol. Sergio David Morán Ical

COMISIÓN DE TRABAJOS DE GRADUACIÓN

COORDINADOR:	Ing. Geol. Bernie Gamaliel Castillo Moeschler
SECRETARIA:	Inga. Geol. Silvia Friné Cortez Bendfeldt
VOCAL:	Ing. Geol. Osmín Jared Vásquez Hernández

REVISORA DE REDACCIÓN Y ESTILO

Inga. Quim. Verónica Beatriz Juárez Jiménez

REVISOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Ing. Geol. Osmín Jared Vásquez Hernández

ASESOR

Ing. Geol. Sergio David Morán Ical

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



**CENTRO UNIVERSITARIO
DEL NORTE – CUNOR –
CARRERA GEOLOGÍA**

Código Postal 16001 – Cobán, Alta Verapaz
Telefax: 7952-1064 y 7956-6600 Ext. 209
Guatemala, C. A.

E-mail: geologiausac@gmail.com

Ref. 15-CG-14/2015
02 de febrero de 2015.

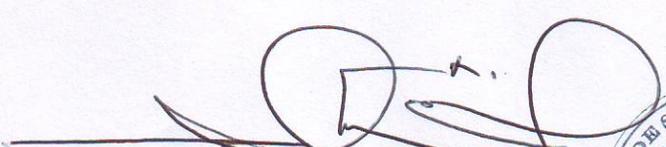
Señores
Comisión Trabajos de Graduación
Carrera Geología
CUNOR

Respetables Señores:

Por este medio informo a ustedes que he procedido a la **ASESORÍA** del informe final de Trabajo de Graduación del T.U. **GEOL. LUIS FELIPE VALIENTE**, carné No. **200640718**, titulado: **“ANÁLISIS NEOTECTÓNICO DE LAS ZONAS DE FALLA Y SU RELACIÓN CON LOS MODELOS SÍSMICOS DEL EVENTO DE SEPTIEMBRE 2 011, CUILAPA, SANTA ROSA”**, el cual considero llena los requisitos establecidos para su aprobación, por lo que someto a consideración de ustedes dicho informe.

Atentamente

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. Geol. Sergio David Morán Ica
Docente Asesor
Carrera Geología, CUNOR



c.c. archivo

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



**CENTRO UNIVERSITARIO
DEL NORTE – CUNOR –
CARRERA GEOLOGÍA**

Código Postal 16001 – Cobán, Alta Verapaz

Telefax: 7952-1064 y 7956-6600 Ext. 209

Guatemala, C. A.

E-mail: geologiausac@gmail.com

Ref. 15-CG-133/2015
07 de abril de 2015

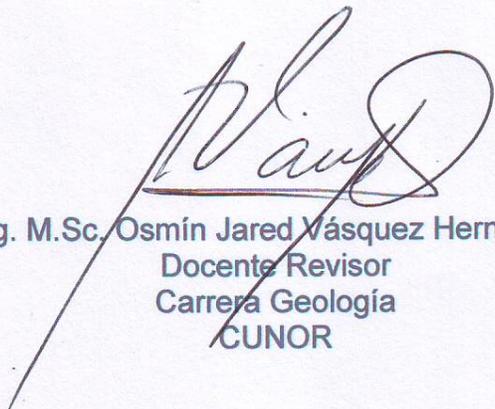
Señores
Comisión Trabajos de Graduación
Carrera Geología
CUNOR

Respetables Señores:

Por este medio informo a ustedes que he procedido a la **REVISIÓN** del informe final de Trabajo de Graduación del T.U. **GEOL. LUIS FELIPE VALIENTE**, carné No. **200640718**, titulado: **“ANÁLISIS NEOTECTÓNICO DE LAS ZONAS DE FALLA Y SU RELACIÓN CON LOS MODELOS SÍSMICOS DEL EVENTO DE SEPTIEMBRE 2 011, CUILAPA, SANTA ROSA”**, el cual considero llena los requisitos establecidos para su aprobación, por lo que someto a consideración de ustedes dicho informe.

Atentamente

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. M.Sc. Osmín Jared Vásquez Hernández
Docente Revisor
Carrera Geología
CUNOR



c.c. archivo

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



**CENTRO UNIVERSITARIO
DEL NORTE – CUNOR –
CARRERA GEOLOGÍA**

Código Postal 16001 – Cobán, Alta Verapaz
Telefax: 7952-1064 y 7956-6600 Ext. 209
Guatemala, C. A.
E-mail: geologiausac@gmail.com

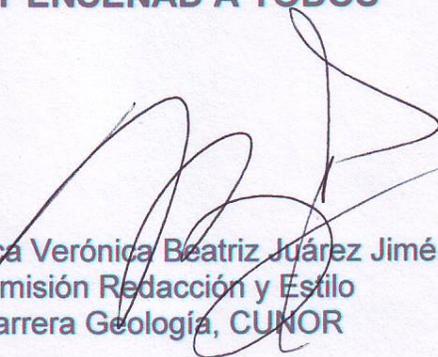
Ref. 15-CG-175/2015
15 de mayo de 2015.

Señores
Comisión Trabajos de Graduación
Carrera Geología
CUNOR

Respetables Señores:

Por este medio remito el informe Final de Trabajo de Graduación a nivel de grado titulado: **“ANÁLISIS NEOTECTÓNICO DE LAS ZONAS DE FALLA Y SU RELACIÓN CON LOS MODELOS SÍSMICOS DEL EVENTO DE SEPTIEMBRE 2 011, CUILAPA, SANTA ROSA”**, realizado por el (la) T.U. GEOL. LUIS FELIPE VALIENTE, carné No. 200640718, el cual ya fue revisado por la **COMISIÓN DE REDACCIÓN Y ESTILO** de la Carrera de Geología, quienes consideramos llena los requisitos establecidos para su aprobación.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Inga. Química Verónica Beatriz Juárez Jiménez
Comisión Redacción y Estilo
Carrera Geología, CUNOR



c.c. archivo

HONORABLE COMITÉ EXAMINADOR

En cumplimiento a lo establecido por los estatutos de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a consideración de ustedes el Trabajo de Graduación titulado: **ANÁLISIS NEOTECTÓNICO DE LAS ZONAS DE FALLA Y SU RELACIÓN CON LOS MODELOS SÍSMICOS DEL EVENTO DE SEPTIEMBRE 2011, CUILAPA, SANTA ROSA**, como requisito previo a optar al título profesional de Ingeniero Geólogo.

Luis Felipe Valiente
Carné No. 200640718

RESPONSABILIDAD

“La responsabilidad del contenido de los trabajos de graduación es: Del estudiante que opta al título, del asesor y del revisor; la Comisión de Redacción y Estilo de cada carrera, es la responsable de la estructura y la forma”

Aprobado en punto SEGUNDO, inciso 2.4, subinciso 2.4.1 del Acta No. 17-2012 de Sesión extraordinaria de Consejo Directivo de fecha 18 de julio del año 2012.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, ser maravilloso que nunca deja de estar a mi lado, brindándome la fuerza y fe para creer lo que parece imposible cumplir.

A mi madre amada, Gema Valiente, quien siempre me ha brindado su cariño incondicional, consejos y apoyo, sin ella no podría haber alcanzado este triunfo que nos pertenece.

A esa persona tan especial que amo, quien le agradezco todo ese amor y apoyo para poder alcanzar cada uno de mis sueños y metas.

A mis hermanos mayores, Carlos y Mario quienes han sido mi ejemplo a seguir, siempre brindándome sus consejos y cariño, guiándome en el camino del bien y a mis hermanitos Carlo y Angel que son la razón de seguir adelante y poder inspirarlos en cumplir sus sueños.

A mi abuela, Nidia Alvarado, que nunca me ha faltado su amor y cariño en los buenos y malos momentos y a mi abuelo Carlos Valiente (†), a quien recuerdo con mucho amor y siempre guardando las lecciones de vida que me enseñó.

A Aníbal Paredes, quien le agradezco el ejemplo de rectitud que me ha enseñado, siendo la cabeza de la familia.

A toda mi familia, tías, tíos, primos que desde niño me han brindado ese apoyo y cariño.

A mis amigos, que sin tener necesidad de mencionar sus nombres saben que son parte importante en mi vida, brindándome esa diversión, consejos y acompañándome en cada etapa de mi vida.

A mis compañeros de trabajo y amigos geólogos de Minera San Rafael, con quienes he compartido muchas experiencias y desafíos juntos.

A la Universidad de San Carlos de Guatemala y al Centro Universitario de Norte, por darme la oportunidad de prepararme como un gran profesional ante la sociedad.

A la carrera de geología, parte esencial de mi carrera profesional, cambiándome la perspectiva de vida y despertando el científico que llevamos dentro.

A los catedráticos de la carrera de Geología, quienes me han compartido sus experiencias y conocimientos para poder ser un profesional ante la sociedad y demostrar que en Guatemala existimos geólogos de calidad a nivel mundial.

A mi asesor, Ing. Geol. Sergio Moran, quien me guio paso a paso en la elaboración de este proyecto, brindándome sus conocimientos y experiencias.

Mi sincero agradecimiento a todas las personas que no han sido mencionadas, quienes me brindaron gran apoyo para poder realizar este y varios proyectos más en mi vida.

ÍNDICE GENERAL

Índice de contenidos	i
Índice de tablas	iv
Índice de Fotografías	v
Índice de Figuras	vi
Índice de Mapas	viii
Resumen	ix

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN

1.1	Introducción	1
1.2	Planteamiento del problema	2
1.3	Justificación	3
1.4	Hipótesis de investigación	4
1.5	Antecedentes	5
	1.5.1 Registros sísmicos	5
1.6	Objetivos	7
	1.6.1 Objetivo general	7
	1.6.2 Objetivos específicos	8
1.7	Alcances	8
1.8	Localización y extensión del área	8
1.9	Accesibilidad	10
1.10	Marco Estratigráfico Regional	10
1.11	El sismo básico de diseño	13
	1.11.1 Calculo del Mecanismo Focal de un Terremoto	15
	a. El método de Primera Polaridades de las Ondas P	15
	b. El Tensor de Momento Sísmico (M)	19
	c. Mecanismos y Fallas	20

CAPÍTULO 2 DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1	Metodo	23
	2.1.1 Cuantitativo	23
2.2	Marco Metodológico	24
	2.2.1 Etapa de recopilación y análisis bibliográfico	24
	2.2.2 Etapa de trabajo de Campo	24
	2.2.3 Etapa de Gabinete	24
2.3	Relación entre mecanismos focales de terremotos y fallas	25
2.4	Litología Regional	33
2.5	Geología estructural regional	35
2.6	Geología Local	38
	2.6.1 Estación No.1 El Boquerón	39
	2.6.2 Estación No. 2,3 y 4 Orillas N-E de Volcán Ixpaco	43
	2.6.3 Estación No. 5 y 6 Finca los Pocitos	45
	2.6.4 Estación No. 7 y 8, Faldas del cerro Ixhutatán	47
	2.6.5 Estación No. 10, 11 y 12 Aldea Tocinte, Santa Cruz del Naranjo	52
2.7	Estructuras geológicas en base a lineamientos	54
2.8	Obtención de mecanismos focales a partir de amplitudes espectrales en base a las agencias de sismología USGS Y CMT	57

CAPÍTULO 3 ANÁLISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

3.1	Generalidades	65
3.2	Análisis estructural regional	67
3.3	Análisis estructural local	69
3.4	Análisis de mecanismos focales generados por las agencias USGS y CMT	75
3.5	Contraste de mecanismos focales generados por las agencias USGS y CMT con los datos de campo analizados con diedros rectos (Angelier y Mechler, 1987)	77
3.6	Interpretación de resultados	79

CONCLUSIONES

General	83
Específicas	83

RECOMENDACIONES	85
------------------------	----

BIBLIOGRAFÍA	87
---------------------	----

ANEXOS

Anexo 1	Mapa de accesos y poblados
Anexo 2	Mapas de red hídrica
Anexo 3	Mapas de geología y accesos
Anexo 4	Mapas de geología y lineamientos
Anexo 5	Mapas de epicentros y mecanismos focales CTM y USGS
Anexo 6	Mapas de mecanismos focales CTM y USGS
Anexo 7	Mapa con mecanismos focales en fallas sinsedimentarias
Anexo 8	Mapa de mecanismos focales de fallas sinsedimentarias relacionados con CTM y USGS
Anexo 9	Mapa con mecanismos focales relacionadas a fallas antiguas
Anexo 10	Mapa con mecanismos focales con orientación N-S

ÍNDICE DE TABLAS

1	Coordenadas UTM del área de estudio	9
2	Dirección y sentido de estructuras geológicas medidas en campo en estación 1 y estereogramas con método de diedros rectos	42
3	Dirección y sentido de estructuras geológicas medidas en campo en estación 2,3 y 4, estereogramas con método de diedros rectos	44
4	Dirección y sentido de estructuras geológicas medidas en campo en estación 5, estereogramas con método de diedros rectos	46
5	Dirección y sentido de estructuras geológicas medidas en campo en estación 6, estereogramas con método de diedros rectos	47
6	Dirección y sentido de estructuras geológicas medidas en campo en estación 7, estereogramas con método de diedros rectos	51
7	Dirección y sentido de estructuras geológicas medidas en campo en estación 10, 11 y 12, estereogramas con método de diedros rectos	53
8	Mecanismos focales, USGS y CMT	61

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

1	Escalonamiento producto de fallas normales a la orilla de carretera CA-1 Chiquimulilla	40
2	Fallas normales a orillas de carretera CA-1 Chiquimulilla	40
3	Sistema de fallas normales a la orilla de carretera CA-1 cruce a Chiquimulilla	41
4	Falla normal en depósitos volcánicos, Ixpaco Chiquimulilla	43
5	Fracturas en depósitos volcánicos, carretera Cuilapa-Chiquimulilla	45
6	Fracturas en depósitos volcánicos y aluviales, carretera Cuilapa-Chiquimulilla	46
7	Fracturas en flujos basálticos y andesíticos, a orillas de carretera CA-1, km 67	48
8	Falla inversa en flujos andesíticos a orillas de carretera CA-1, km 67	49
9	Fracturas y falla normal en flujos basálticos y andesíticos a orillas de carretera CA-1, km 67	49
10	Fracturas y falla normal en flujos basálticos y andesíticos a orillas de carretera CA-1, km 67	50
11	Falla inversa en depósitos piroclásticos sobre basaltos	50
12	Sistema de fallas normales en cenizas volcánicas	52
13	Sistema de fallas normales en cenizas volcánicas	53

ÍNDICE DE FIGURAS

1	Sismos locales y zonificación sismológica del arco volcánico de Guatemala	7
2	Bloque Chorti en Guatemala y la configuración tectónica regional	11
3	Mapa de ubicación de los terrenos tectonoestratigráficos para el sur de México y América Central	12
4	Mapa de macro zonificación sísmica	14
5	Modelo de distribución de velocidades de ondas para la península Ibérica (izquierda) y modelo de variaciones de velocidad y densidad para toda la tierra (derecha)	16
6	Representación en proyección estereográfica de polaridades ondas P para la obtención del mecanismo de foco de un terremoto	18
7	Representación del cálculo del mecanismo de foco del terremoto mediante el método de las primeras polaridades de ondas P.	19
8	Relaciones entre mecanismos focales y estructuras activas para los tres regímenes de esfuerzos principales, incluyendo mecanismos puros y oblicuos	21
9	Relaciones entre mecanismos focales de terremotos y fallas	26
10	Bloque diagrama (arriba) de una falla con estrías de deslizamiento y de los ángulos de buzamiento (B). Cabeceo (C) y sentido de buzamiento del plano (SB)	27
11	Ejemplo de mecanismo focal de desgarre, primeros desplazamientos de partículas y posibles fallas asociadas	
12	Mecanismos focales de fallas con movimiento según el buzamiento: a) Normal b) Inverso	30
13	Diagrama del desplazamiento asociado a una falla normal pura y su proyección MF	30
14	Mecanismos focales de fallas con movimiento oblicuo: a) Normal-direccional, b) Inverso-direccional	31
15	Calculo del sentido de movimiento de un plano nodal en un mecanismo focal: el deslizamiento siempre va del cuadrante en dilatación (blanco) al compresión (negro)	32
16	Estructuras regionales y mecanismos focales para Guatemala	36
17	Marco tectónico del territorio guatemalteco	37
18	Movimiento de paca de Norte América	38
19	Diagrama de rosas de lineamientos, sector uno	56
20	Diagrama de rosas de lineamientos, sector dos	56
21	Diagrama de rosas de lineamientos, sector tres	57
22	Sismos locales y zonificación sismogenetica utilizada	58
23	Numero de sismos por zonas sismogeneticas año 2011	58
24	Numero de sismos por magnitud durante el año 2011	62
25	Numero de sismos por magnitud y profundidad	63
26	Modelo de elipse de deformación dextral, asociado a zona de falla de	68

	Jalpatagua	
27	Relación tectónica con la zona del arco volcánico en el sur de Guatemala	69
28	Modelo de triple unión de fallas denominado modelo de cremallera o zipper	80
29	Mecanismo para el desarrollo de fallas transtensivas bajo influencia del cizallamiento E-O, tanto sinestral como dextral	81

ÍNDICE DE MAPAS

1	Ubicación del área de estudio en el contexto regional	9
2	Lineamientos preferenciales en el área de estudio en base a modelo de elevación digital (MED)	55
3	Epicentros de principales eventos sísmicos en los alrededores de Cuilapa, 2011	60
4	Lineamientos y orientación preferencial con rosetas	68
5	Estereogramas de estructuras principales por medio de método de diedros rectos	70
6	Estereogramas de estructuras asociadas con el sistema de fallas Jalpatagua, por medio de método de diedros rectos.	71
7	Estereogramas de estructuras asociadas con el sistema de grabens de Guatemala, por medio de método de diedros rectos	72
8	Mecanismos focales generados por la USGS Y CMT (evento 2011 Cuilapa, Santa Rosa), asociada con el sistema de grabens de Guatemala	76
9	Mecanismos focales generados por la USGS Y CMT (evento 2011 Cuilapa, Santa Rosa) y estereogramas de datos de campo generados con el método de diedros rectos, asociados con el sistema de grabens de Guatemala.	78

RESUMEN

El trabajo de investigación titulado: **Análisis neotectónico de las zonas de falla y su relación con los modelos sísmicos del evento de septiembre 2011, Cuilapa, Santa Rosa**, da a conocer los resultados de la cinemática de estructuras geológicas activas, resultados obtenidos del análisis de datos medidos en campo de estructuras geológicas como fallas y fracturas en depósitos cuaternarios respecto a los resultados de mecanismos focales generados mediante las agencias geológicas de investigación CMT (*Centroid Moment Tensor*) y USGS (*United State Geological Survey*).

La metodología aplicada en la investigación, consistió en la medición de estructuras geológicas como fallas y fracturas en depósitos cuaternarios (Qp) y rocas volcánicas resientes (Tv), dando la dirección de la cinemática que afecta las rocas jóvenes o sistemas de fallas activas.

Mediante los resultados de los mecanismos focales generados por las agencias USGS CMT se obtiene un movimiento teórico de las zonas compresivas y distensivas que provocaron los sismos registrados por el INSIVUMEH, dando un sistema compresivo N-S y una zona de distensión E-O

Los modelos de esfuerzos neotectónicos generados mediante el método de diedros rectos, con datos de campo en rocas y sedimentos volcánicos del cuaternario, están relacionados con un sistema de fallas transpresionales con orientación N350 y N10 (N-S), el sistema de fallas tomadas en campo coinciden con la misma orientación (N-S) de modelos de mecanismos focales generados

por la USGS y CMT durante los eventos sísmicos ocurridos durante el mes de septiembre del año 2011.

Los lineamientos y fallas a los que se les atribuye el evento sísmico ocurrido en los alrededores de Cuilapa, Santa Rosa durante septiembre de 2011, presenta una orientación N10 y N350, afectados por esfuerzos con orientación N335, relacionado al mismo sistema de la falla de Jalpatagua.

Los datos tomados durante la etapa de campo se midieron en rellenos volcánicos y ceniza (Qp) y conglomerados (Qa), las estructuras como fallas y fracturas, están relacionadas con la orientación de esfuerzos mediante mecanismos focales generados por la USGS y CMT durante el evento sísmico en los alrededores de Cuilapa, Santa Rosa y los datos medidos en rocas volcánicas como coladas de lava basáltica y andesítica (Tv), se relacionan con esfuerzos provocados por la zona de falla de Jalpatagua.

De acuerdo con la orientación de esfuerzos activos mediante los datos de campo analizados con el método de diedros rectos y los mecanismos focales generados por la USGS y CMT, se establecen dos modelos geológicos que se asocian a estructuras geológicas activas o sistemas Neotectónicos, el primer modelo asociado a la triple conjunción de fallas como lo son las zonas de subducción, de falla del Motagua y la de Jalpatagua, la unión de estas fallas provoca una zona de relajación relacionada con la zona de grabens N-S y asociadas así a las estructuras activas en los alrededores de Cuilapa, Santa Rosa. El segundo modelo geológico se asocia a la zona de transtensión entre las zonas de cizalla sinistral relacionada con la depresión de Nicaragua y a la zona de cizalla dextral vinculada a la zona de falla de Jalpatagua, la conjunción de estas zonas de cizalla provoca la formación de zonas de transpresión o fallas en echelon con una orientación N-S, así mismo relacionadas con el sistema sísmico activo durante los sismos de septiembre del año 2011.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN

1.1 Introducción

Durante el mes de septiembre del 2011 en los alrededores del municipio de Cuilapa, Santa Rosa, se registró y percibió una fuerte actividad sísmica con magnitudes de 3,2 A 5,2, ocasionando serios daños materiales en la zona, esta también fue sensible en gran parte del territorio de Guatemala.

El Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), en su boletín sismológico correspondiente al año 2012, atribuye que la actividad sísmica fue producto del desplazamiento de la falla Jalpatagua, localizada al S-E de la república de Guatemala con una orientación preferencial N330.

Esta investigación brinda información geológica que beneficia al entendimiento de la geología estructural del país y apoya nuevas teorías del desplazamiento de fallas que se encuentran activas, afectando la zona S-E de la República de Guatemala.

El estudio consistió en el análisis y determinación de la cinemática de estructuras geológicas como lo son las fallas y fracturas, medidas en depósitos cuaternarios o rocas recientes que evidencian un desplazamiento activo o neotectónico.

Los resultados de los datos de campo fueron contrastados con la información de mecanismos focales de los eventos sísmicos durante el mes de septiembre de 2011 en los alrededores de Cuilapa, Santa Rosa,

generados por las agencias de soluciones globales de tensión de la Universidad de Harvard CMT (*Centroid Moment Tensor*) y la USGS (*United State Geological Survey*).

Con la ayuda de la interpretación de los datos medidos en campo y los resultados de la dirección de tensión y distensión con base a mecanismos focales generados por la USGS y CMT, se asociaron las zonas sísmicas activas mediante modelos geológicos regionales que afectan la zona S-E de la república de Guatemala.

1.2 Planteamiento del problema

La neotectónica es el estudio de los movimientos reciente en las fallas, basándose en la geomorfología y la geología de las deformaciones o rupturas superficiales, ha permitido, por ejemplo, ampliar el registro sísmico del territorio nacional al identificar los accidentes geológicos con actividad sísmica reciente.

Los estudios de este tipo permiten conocer la geometría de cada falla (traza activa, rumbo y buzamiento), cinemática (desplazamiento, longitud de ruptura por evento y tasa de desplazamiento promedio de la falla), desplazamientos acumulados a lo largo de cada accidente y edad de la deformación. Con esta información se estima el posible período de retorno de los terremotos.

El Servicio Geológico de los Estados Unidos por sus siglas en inglés USGS , reportó para el día 19 de septiembre de 2011, 6 sismos en Guatemala con intensidad de 4,3 a 5,8 grados Richter, el epicentro más cercano se localizó a 41 kilómetros de la ciudad de Guatemala en Cuilapa, Santa Rosa, al Sureste del país.

La USGS y la Universidad de Harvard por medio del Centro de movimientos de Tensión (*CMT, Centroid Moment Tensor*) en base a sismógrafos pertenecientes a las redes sísmicas de estas agencias, establecieron modelos de los esfuerzos mediante mecanismos focales indicando la orientación de compresión que provocó los sismos antes mencionados.

Se tienen los resultados de los mecanismos focales generados por la USGS Y CTM del evento ocurrido en el año 2011 en los alrededores de Cuilapa Santa Rosa, pero no existe un estudio de litología cuaternaria que defina de mejor manera la orientación de los esfuerzos de la neotectónica, originadores de amenazas sísmicas que afectan la zona Sureste del país, en los alrededores de Cuilapa, Santa Rosa.

Con base a lo anterior surgió la siguiente interrogante como el problema principal de la investigación: ¿Qué relación tienen los modelos de esfuerzos neotectónicos, en base a datos superficiales, con respecto a los modelos de esfuerzos de la USGS y CTM establecidos mediante mecanismo focales?

1.3 Justificación

Los epicentros de los sismos que afectaron la parte Sureste del país el 19 de septiembre del 2011 según el registro sísmico del INSIVUMEH, están ubicados en una zona donde influyen dos grandes sistemas de fallas (Jalpatagua y Grabens de Guatemala). Esto implica que la región bajo estudio es tectónicamente compleja y representa un alto potencial de amenaza sísmica. Con el análisis de los esfuerzos comparativos que afectan el área en los alrededores de Cuilapa, Santa Rosa, se pretende dar un aporte al entendimiento de la tectónica activa de la región para establecer las zonas propensas a futuros eventos sísmicos.

1.4 Hipótesis de investigación

De acuerdo con los eventos sísmicos ocurridos el 19 de septiembre del 2011 en Cuilapa, Santa Rosa, los servicios geológicos de Estados Unidos (USGS) y la Universidad de Harvard (CMT) mediante el monitoreo de sismógrafos generaron los modelos de esfuerzos que ocasionaron dichos sismos, según estos modelos establecen una dirección de compresión Norte-Sur, relacionándola a un sistema de falla del graben de Ipala.

A partir de la presente investigación generar un modelo mediante datos de la neotectónica del área, evidenciando los eventos sísmicos de septiembre del 2011 relacionándolos a una zona de intersección de dos sistemas de fallas, que son la falla de Jalpatagua con una orientación Noroeste-Sureste y la Falla Jocotan Chameleco, estas fallas resultantes con orientación N-S, relacionadas al sistema de grabens de Guatemala e Ipala.

1.5 Antecedentes

Actualmente no existe ningún estudio relacionado a los sismos ocurridos en Cuilapa Santa Rosa, septiembre del 2011, solamente la USGS y CMT genero modelos de mecanismos focales de los principales sistemas de presión y tensión en base a monitoreo de sismógrafos, dando una estimación de la direcciono de esfuerzos pero sin existir ningún estudio explicativo o asociándolos a un sistema de fallamiento regional.

1.5.1 Registros sísmicos

Todo el departamento de Santa Rosa está influenciado por los sistemas de fallas: Jalpatagua, Chixoy-Polochic, Jocotán-Chamelecón, Motagua, Mixco, Santa Catarina Pinula, así como la

zona de subducción al sur del país. De mayor importancia es la tectónica local, constituida por la falla de Jalpatagua y otras transversales y longitudinales que, en tiempos históricos han producido eventos sísmicos destructivos, como el terremoto ocurrido el 8 de marzo del año 1913 que destruyó la cabecera departamental.

La traza de la falla de Jalpatagua coincide con la cadena de grupos de volcanes cineríticos que se extienden desde el borde límite sur del país con El Salvador hasta la esquina sudeste del cuadrángulo de Nueva Santa Rosa y Amatitlán (Egger, 1971).

Estos conos de escoria ocurren en grupos alineados de norte a sur y en conos aislados cercanos a trazas de falla. (Bohnenberger, 1968, estos mismos conos pertenecen a la denominada franja del arco volcánico (White y Harlow, 1993)

Estos mismo autores, White y Harlow, fueron quienes identificaron que el evento sísmico ocurrido en el año 1930 al sureste de Guatemala es el sismo mayor asociado directamente a este sistema en toda la región, con 6,9 de magnitud del momento en escala sismológica (Mw).

Así mismo, estos autores indican que la frecuencia de eventos producidos en los sistemas de fallas del Arco Volcánico Centroamericano que han causado daños es de 2,5 años durante el siglo XX, a lo largo de toda América Central, desde Guatemala hasta Costa Rica.

Esta sección del arco volcánico también se caracteriza por la ocurrencia de actividad sísmica tipo enjambre. Sismo de este tipo

ocurrió de nuevo en el departamento de Santa Rosa, que es la región que ha presentado en distintos años (por ejemplo en el año 2011), sismicidad tipo enjambre. De acuerdo a boletín sismológico 2012 del INSIVUMEH:

“La actividad en esta zona se ha atribuido a una ramificación importante de la falla de Jalpatagua y puede observarse que es una fuente sismo genética activa. Sin embargo, los eventos de este año fueron registrados a lo largo del año y no se tuvo una frecuencia de ocurrencia como en los considerados enjambres sísmicos. La sismicidad registrada en el departamento de Santa Rosa fue de magnitudes bajas y poca profundidad, debido a que se trata de fallamientos superficiales locales”¹.

Ocurren sismos de este tipo también en el departamento de Jutiapa principalmente en la región cercana a la frontera con El Salvador, con sismos de poca profundidad y magnitudes pequeñas. De igual manera se indican sismos de este tipo en los límites de los departamentos de Sacatepéquez, Guatemala y Escuintla, con eventos de pequeñas magnitudes.

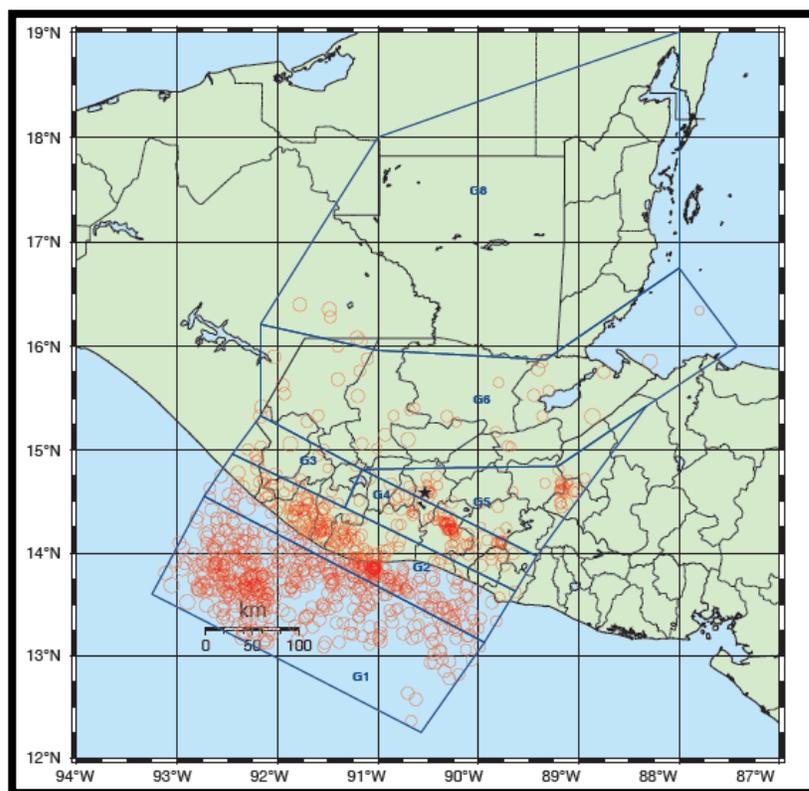
En esta zona también se plotean alguna sismicidad de fondo localizada, correspondiente a regiones más profundas de la subducción. A estos eventos corresponde el sismo de magnitud con epicentro en el departamento de Sololá con una profundidad de 199 km aproximadamente.

Siempre de acuerdo al boletín sismológico del INSIVUMEH de todos los sismos que han sido identificados en esta zona del arco volcánico solo 11 fueron reportados como sensibles a esta

¹INSIVUMEH. 2012. *Boletín Sismológico*. Unidad de Investigación y Servicios Geofísicos. Sección de Sismología.

sismicidad de fondo localizada, siendo 9 de ellos con epicentro en el departamento de Santa Rosa.

FIGURA 1 SISMOS LOCALES Y ZONIFICACIÓN SISMOLÓGICA ARCO VOLCÁNICO GUATEMALA



Fuente: INSIVUMEH. 2012. *Boletín Sismológico*. Unidad de Investigación y Servicios Geofísicos. Sección de Sismología.

1.6 Objetivos

1.6.1 General

Establecer la relación de los modelos de esfuerzos neotectónicos respecto a los modelos de la USGS y CMT implementados mediante mecanismos focales en la sismicidad de Cuilapa, Santa Rosa.

1.6.2 Específicos

- a) Analizar la cinemática, geometría de los planos y fallas que provocan la sismicidad en los alrededores del municipio de Cuilapa, Santa Rosa para generar un modelo de esfuerzos que afectan el área de estudio.

- b) Contrastar los datos de campo en la litología cuaternaria con los modelos generados por la USGS y CTM del evento sísmico de septiembre, 2011 para confirmar si pertenecen al mismo sistema de esfuerzos propuestos.

- c) Proponer un modelo geológico al que esté asociado el sistema de fallamiento y sismicidad del evento ocurrido en septiembre de 2011 en Cuilapa, Santa Rosa para saber que sistemas se encuentran activos asociándolos con los sistemas de fallamiento regional.

1.7 Alcances

Dar a conocer la relación de los modelos de esfuerzos neotectónicos respecto a los modelos implementados mediante mecanismos focales en la sismicidad de Cuilapa, Santa Rosa.

1.8 Localización y Extensión del Área

La investigación se llevó a cabo en los alrededores del municipio de Cuilapa, departamento de Santa Rosa en un área de 50 kilómetros cuadrados. El municipio dista 105 kilómetros de la ciudad capital de Guatemala y 319 kilómetros de la ciudad de Cobán, Alta Verapaz.

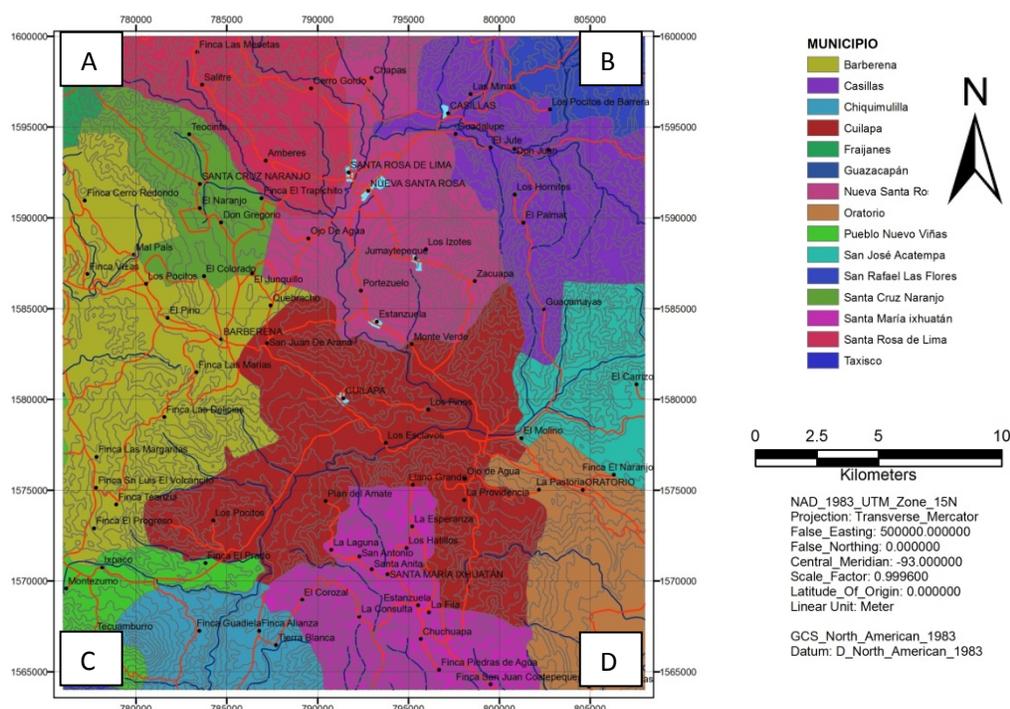
Geográficamente, limita al Norte con el municipio de Nueva Santa Rosa, al Este con el municipio de San José Acatempa, al Sur con el municipio de Santa María Ixhuatan y al Oeste con el municipio de Barberena. (IGN 2000).

TABLA 1
COORDENADAS UTM DEL ÁREA DE ESTUDIO

VERTICE	NORTE	ESTE
A	1600000	7800000
B	1600000	805000
C	1565000	780000
D	1565000	805000

Fuente: Investigación de campo. 2014

MAPA 1
UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO EN EL CONTEXTO REGIONAL



Fuente: Investigación de campo. 2014

1.9 Accesibilidad

De Cobán al área de estudio existen 319 km, inicialmente se conduce sobre la carretera CA-14 hasta llegar al Rancho, El Progreso, luego conducirse sobre la CA-9 con destino la ciudad de Guatemala.

El área de estudio dista 86 kilómetros de la ciudad capital sobre la carretera nacional CA-1, con su totalidad en carretera asfaltada de buenas condiciones. De la ciudad capital se debe tomar la carretera a El Salvador con destino a Barberena, Santa Rosa y luego buscar la ruta hacia Jutiapa que conduce directamente a Cuilapa.

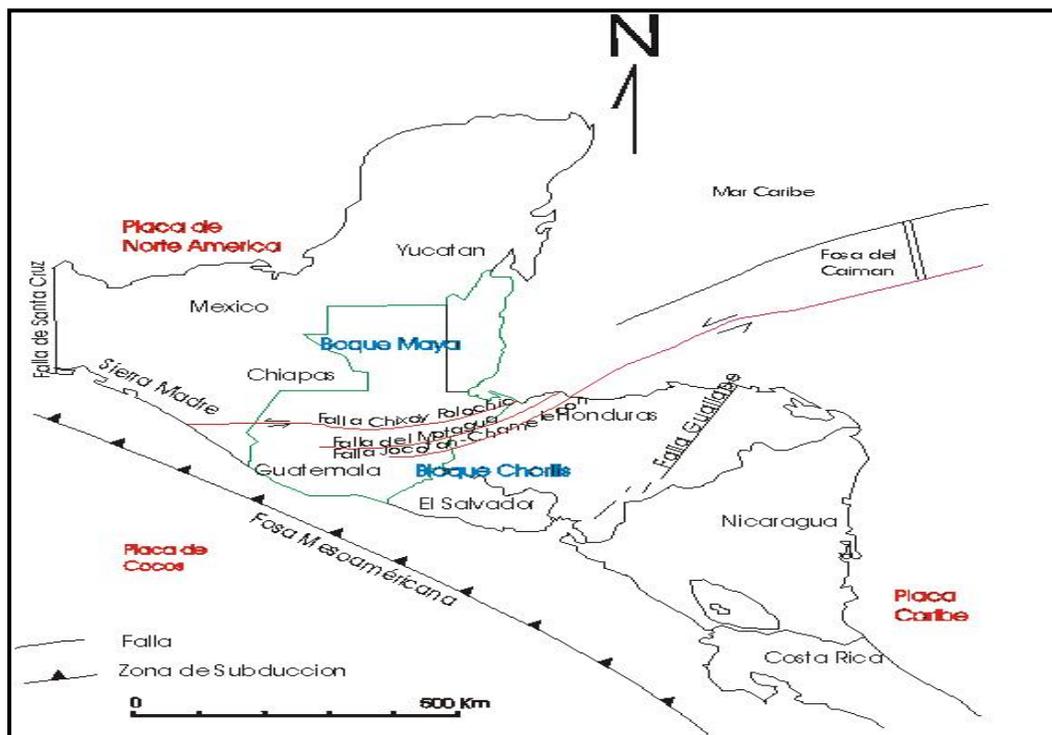
1.10 Marco Estratigráfico Regional

Considerando el origen, la edad y el desplazamiento, se ha dividido el territorio guatemalteco en dos grandes bloques. Las características para la distinción de dichos terrenos las indica Donnelly:

“Centro América Norte (nuclear) está dividido convenientemente en los bloques maya (algunas veces llamado Yucatán) y Chortí. La división entre los dos bloques es la zona de sutura Motagua, que sigue el río Motagua en el este y centro de Guatemala, pero cuya extensión oeste está cubierta por rocas volcánicas Terciarias del oeste. El bloque Maya incluye parte de Guatemala al Norte de la zona de sutura Motagua, Belice, la península de Yucatán, y México al Oeste del Istmo de Tehuantepec. El bloque Chortí consiste en la parte Sur de Guatemala, El Salvador, Honduras, una parte indeterminada del Norte de Nicaragua, y el Alto Nicaragüense cubierto por agua”².

² Thomas, Donnelly, Et. Al. *Northern Central America; The Maya and Chortis Blocks*. USA, The Geological Society of América, 1 990. (Traducción libre Mauricio ChiquínYoj). pág. 1

FIGURA 2 BLOQUE CHORTÍ EN GUATEMALA Y LA CONFIGURACIÓN TECTÓNICA REGIONAL



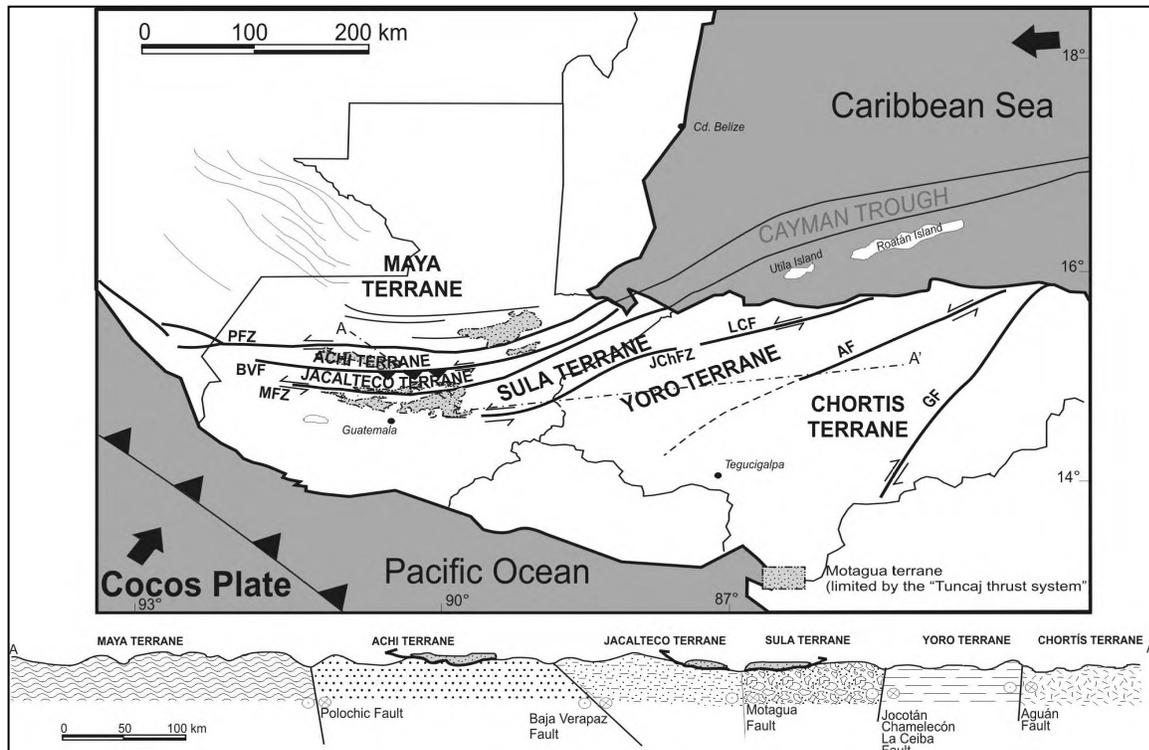
Fuente: Thomas, Donnelly, Et. Al. *Northern Central America; The Maya and Chortís Blocks*. USA, The Geological Society of America, 1990.

De manera general se iniciaron los trabajos a grandes rasgos de dividir la presencia de dos grandes bloques en el país, esto debido a las diferencias de origen y complejidad geológica presentes en el país y fue Gabriel Dengo quien denominó a la sección al Norte de la zona de sutura de la falla Motagua como Bloque Maya y a la sección Sur como bloque Chortí. (Fig 3)

Esta división entre los dos bloques Maya y Chortí consiste en los primeros trabajos y es de lo más aceptado; aunque en trabajos recientes donde se pueden citar a Ortega-Gutiérrez y a Valiere Pompa, ellos consideran el uso de Terrenos tectono-estratigráficos. Valiere Pompa hace una correlación de terrenos al Sureste de México. En tanto Ortega-

Gutiérrez hace una aproximación a los terrenos tectonoestratigráficos de Centroamérica.

FIGURA 3
MAPA DE UBICACIÓN DE LOS TERRENOS
TECTONOESTRATIGRÁFICOS DEL SUR DE MÉXICO Y
AMÉRICA CENTRAL



Fuente: Ortega-Gutiérrez et al. *The Maya-Chortís Boundary: a Tectonostratigraphic Approach*. UNAM México, 2007.

Para el área de trabajo en cuestión, el bloque Chortí da la bases conceptuales de Geología, Estratigrafía y Estructural por lo que se desarrollan los principales tópicos mencionados de dicho bloque.

Utilizando la división de terrenos mencionados por Ortega-Gutiérrez, el bloque Chortí lo constituirían tres terrenos los cuales son:

“Terreno Sula, Yoro y Chortí, los cuales se diferencian por sus litologías, estratigrafía e historia geológica. El Terreno Motagua que comprendería a los terrenos emplazados que comprenden corteza

oceánica que fue obducida, aquí este terreno no se describe por considerarse que se encuentra como cuerpos en varios terrenos y como aquí lo que interesa es el bloque Chortí solo cabe indicar que dentro de este terreno se encuentran cuerpos ofiolíticos asociados al terreno Motagua”³.

En ocasiones el bloque Chortí ha sido considerado como un mosaico de pequeños fragmentos de corteza de origen diverso, si la afirmación fuera correcta vendría a apoyar el uso de terrenos tectono-estratigráficos, aunque tendría que ser discutido y aclarado con investigaciones que tendrán que hacerse. En tanto se debe seguir considerando al Bloque Chortí a toda esa extensa área al sur de la zona de falla del Motagua. Como indica Pérez Bol.

“El bloque Chortí contiene las exposiciones de rocas metamórficas y rocas pre-Mesozoicas más extensas y ampliamente distribuidas de la Placa del Caribe. Las rocas metamórficas expuestas en diferentes áreas son bastantes diversas, revelan complejas historias y pueden no ser correlativas a través del bloque”⁴.

1.11 El sismo básico de diseño

Muñoz M. (2012) indica que con el sismo básico de diseño se establece primero, la aceleración máxima del terreno (PGA) que provocaría dicho sismo y luego una aceleración máxima efectiva (Ao), la cual se utiliza para establecer el espectro básico de diseño.

La aceleración máxima efectiva (Ao) intenta representar al conjunto de pulsos grandes de un sismo. No hay un acuerdo general sobre cuanto

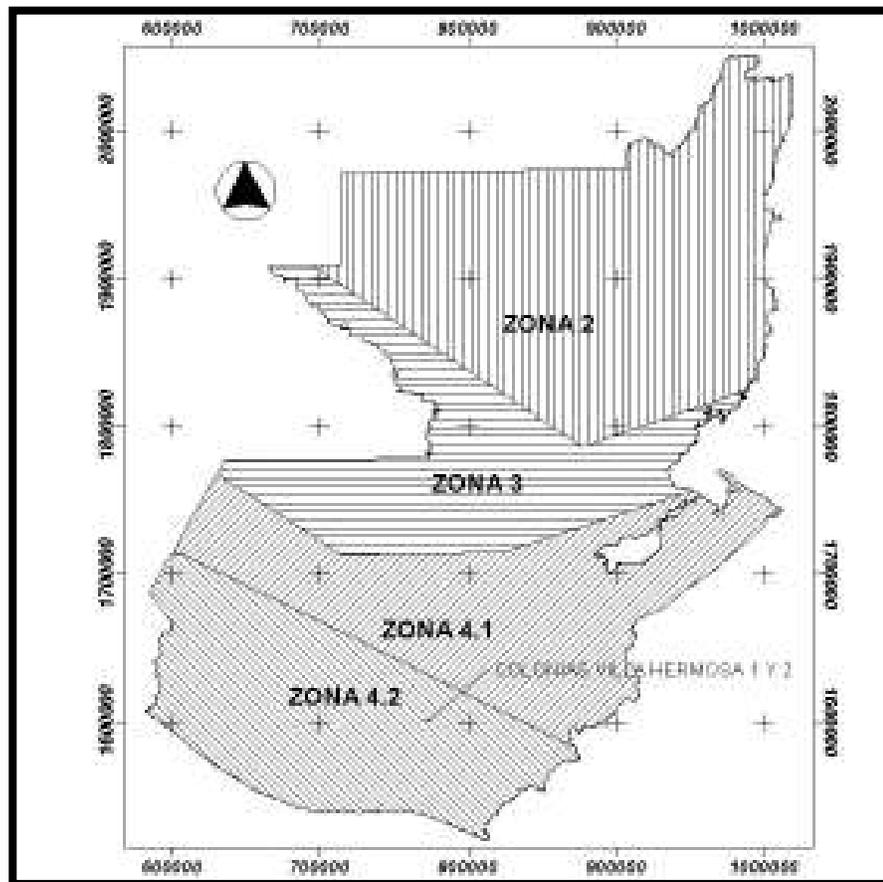
³Ortega-Gutiérrez Et Al. *The Maya-Chortís Boundary: a Tectonostratigraphic Approach*. UNAM México, 2007. pág. 2

⁴ Pérez Bol, Édgar Rolando. *Léxico Estratigráfico del Bloque Chortí en Guatemala*. Cobán 2000., pág. 8

deba ser la reducción, pero generalmente se utilizan valores de entre 70% y 90% de la aceleración pico del terreno o sea entre 0,70 y 0,90 del PGA.

Las normas estructurales de diseño y construcción, entre sus comentarios hacen notar que la aceleración efectiva (A_0) escogida para las zonas 4.1 4.2 del mapa de macro zonificación sísmica de Guatemala mostrado en la figura 4.

FIGURA 4
MAPA DE MACRO ZONIFICACIÓN SÍSMICA



Fuente: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2310_C.pdf. (08/08/2 013).

1.11.1 Cálculo del mecanismo focal de un terremoto

La solución del mecanismo focal de un sismo (MF) según Muñoz M. (2012), es el resultado del análisis de las formas de las ondas sísmicas generadas por un terremoto registradas en una serie de estaciones sísmicas en forma de sismogramas. La caracterización precisa del mecanismo focal de un terremoto proporciona información muy importante para los Geólogos Estructurales y Sismólogos que trabajan en estructuras activas: su epicentro, profundidad de foco, la magnitud (una medida de la energía sísmica radiada por el terremoto), así como la orientación del posible plano de falla y su movimiento.

Para este último aspecto existen dos modos diferentes de calcular el mecanismo: el método de primeras polaridades de las Ondas P, y el cálculo del tensor de momento sísmico (M). En cualquier caso, para conocer las características de la fuente sísmica, las fuerzas que actúan en ella y el medio que recorren las ondas, es necesario utilizar simplificaciones relacionadas con el modelo de tierra supuesto y con las dimensiones del foco.

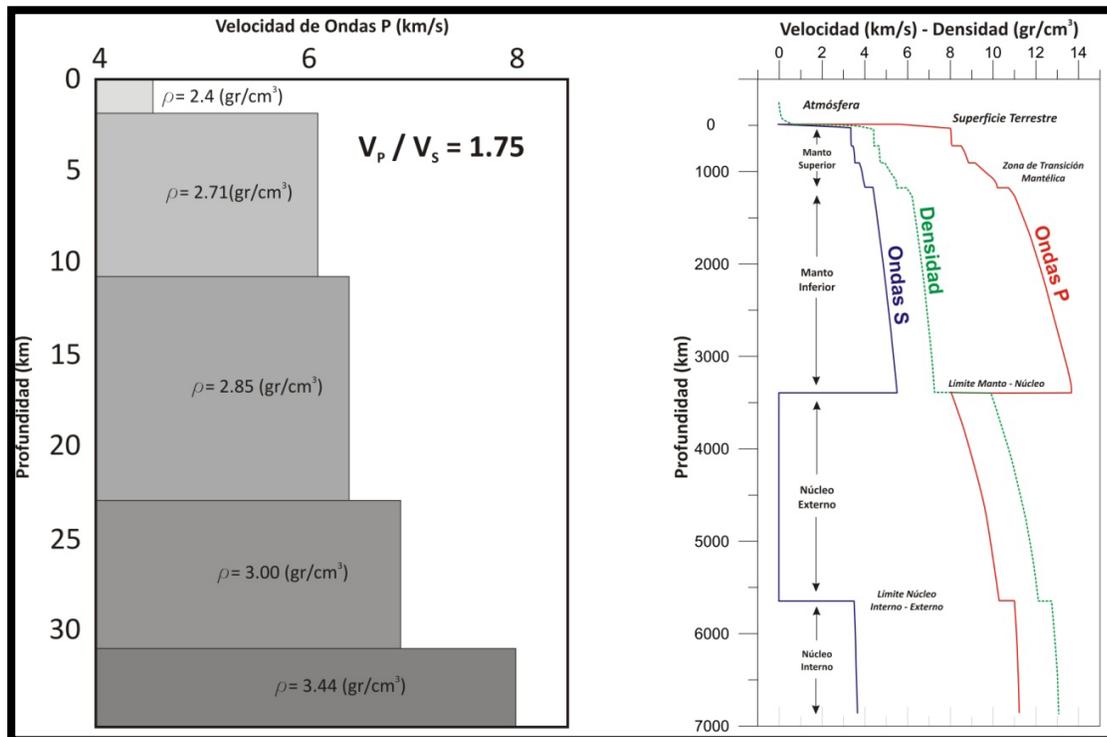
a. El método de primeras polaridades de las ondas P

Esta técnica se empleó antes del desarrollo de los ordenadores considerado uno de los primeros métodos sísmicos que aún se sigue utilizando especialmente para analizar terremotos antiguos. Desde un punto de vista didáctico, resulta muy útil calcular el MF manualmente mediante el análisis geométrico utilizando proyección estereográfica.

El primer paso en la construcción de un mecanismo focal consiste en calcular la orientación de cada rayo sísmico desde el foco a cada estación. Para ello se sitúa una esfera imaginaria en el foco, y se calcula cual es la orientación del rayo (azimut y la inclinación del rayo) con respecto a cada estación.

En la figura 5 se muestra un ejemplo de perfil de velocidad de ondas P y de densidad utilizado por el IGN para la Península Ibérica. Es un ejemplo de un modelo de velocidad estándar para toda la Tierra.

FIGURA 5
MODELO DE DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES DE ONDAS
PARA LA PENÍNSULA IBÉRICA (IZQUIERDA) Y MODELO DE
VARIACIONES DE VELOCIDAD Y DENSIDAD PARA TODA LA
TIERRA (DERECHA)



Fuente: IGN 1980. PREM (Preliminary Earth Reference Model, Dziewonski y Anderson, 1981).

Al observar la figura 5 con el sismógrafo de la componente vertical se evalúa si la primera llegada que se detecta es hacia arriba o hacia abajo (o no hay señal) en el momento esperado.

La parte de la energía recibida por cada sismógrafo, que dejó el foco del terremoto en forma de una onda P compresiva, puede decirse que ha viajado a lo largo de la trayectoria de un rayo desde el foco hasta el sismógrafo.

Se tiene que saber dos cosas acerca de ese rayo en cada estación: el azimut del rayo que la conecta con el foco y su ángulo de emergencia. Este ángulo se mide entre el rayo que deja el foco (emerge) y un eje vertical desde el foco (normalmente se toma de tablas que relacionan el ángulo de emergencia y la distancia de la estación al foco).

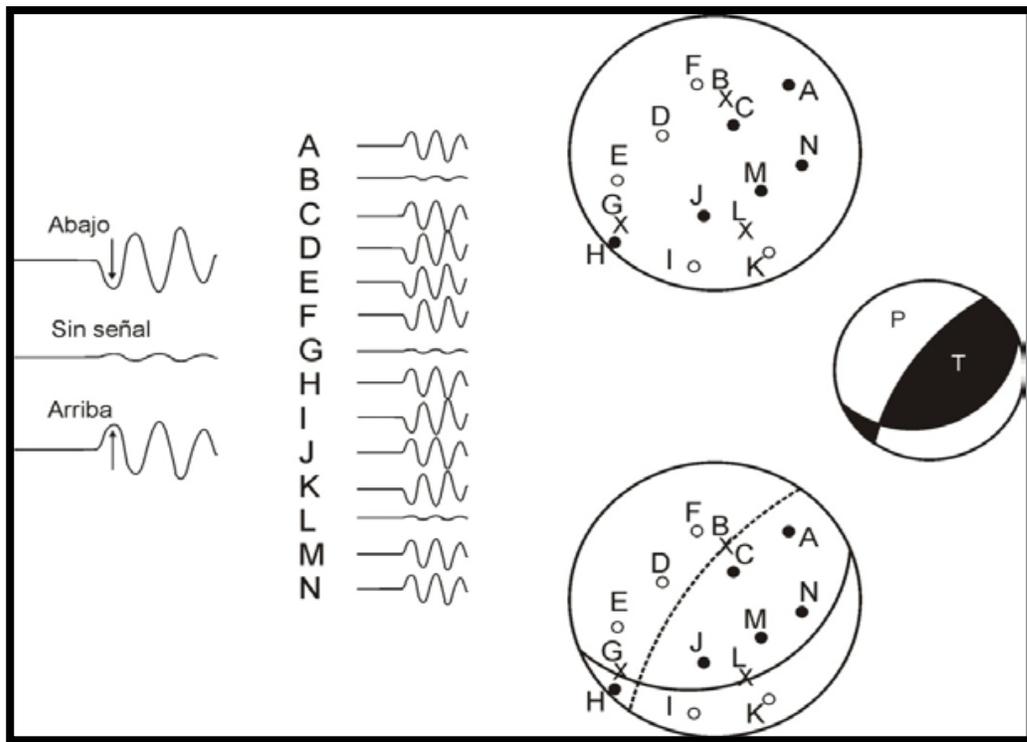
Una vez calculada la orientación del rayo sísmico desde el foco a cada estación, se representa en la semiesfera inferior (proyección estereográfica equiangular). Cada uno de estos puntos (rayos) se dibujan en sólido si la onda P es Up (el suelo se levanta, cuadrante de compresión), y en blanco si la primera llegada es Down (el suelo se hunde, cuadrante de dilatación).

Los datos de cada estación sísmica pueden ser representados en una falsilla estereográfica usando uno de estos tres símbolos: Un círculo blanco si la primera llegada de la onda P es hacia abajo, un círculo negro si la primera llegada fue hacia arriba, o una x si la primera llegada fue muy

débil como para diferenciarla tal como se muestra en la figura 6.

Para cada estación, el símbolo se sitúa en la línea que pasa por el centro de la proyección con el azimut de la estación relativo al terremoto y con el ángulo de emergencia (complementario a la inmersión del rayo) contado desde el centro.

FIGURA 6
REPRESENTACIÓN EN PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA DE
POLARIDADES ONDAS P PARA LA OBTENCIÓN DEL
MECANISMO DE FOCO DE UN TERREMOTO.

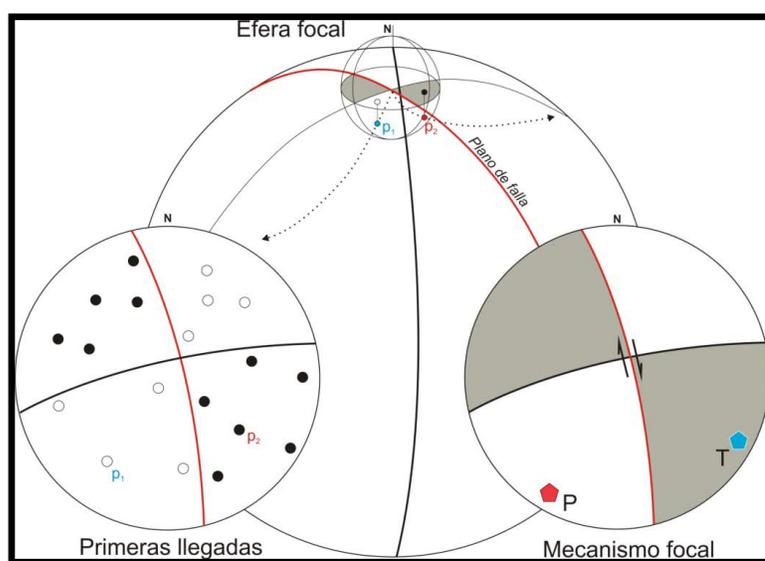


Fuente: *Análisis de Esfuerzos Tectónicos, Fallas y Sismo.* 2010

Una vez se dibujan todos los datos de primeras llegadas, hay que buscar dos ciclográficas perpendiculares en la falsilla que separen los círculos blancos de los negros y que pasen

por las x . Estos serán los planos nodales (uno de ellos será la falla). Finalmente, se rellenan los cuadrantes, de blanco los que contienen a los círculos blancos y de negro el de los negros como se muestra en la Figura 7.

FIGURA 7
REPRESENTACIÓN DEL CÁLCULO DEL MECANISMO DE FOCO
DEL TERREMOTO MEDIANTE EL MÉTODO DE LAS PRIMERAS
POLARIDADES DE ONDAS P.



Fuente: *Análisis de Esfuerzos Tectónicos, Fallas y Sismo*. 2010

b. El tensor de momento sísmico (M)

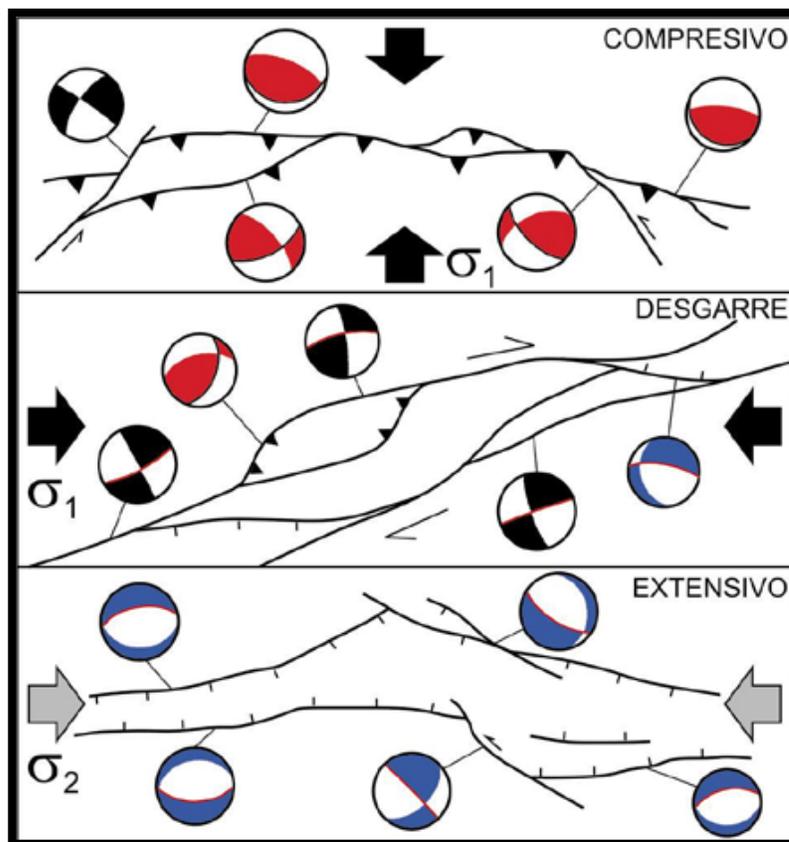
Muñoz M. (2012), señala que con este método se puede determinar el mecanismo focal a partir del modelado de las formas de onda generadas por el terremoto, mediante el cálculo de las fuerzas que han generado los desplazamientos medidos en las estaciones. La relación entre desplazamientos y fuerzas se calcula a partir de las denominadas funciones de Green (AKI y RICHARDS, 1980).

c. Mecanismos y fallas

Un sismo es una falla en movimiento. Así, los Mecanismos Focales para los geólogos deben de entenderse como un “lenguaje” distinto para describir cómo se comportan “en tiempo real” las fallas. La figura 8 muestra la localización y el mecanismo del terremoto de la ciudad de Bamen Iran asociado al sistema de fallas de Gowk (BIHONG FU *Et Al.* 2007), así como un bloque 3D con una representación de los elementos geológico-estructurales relacionados con la falla responsable de la destrucción de la ciudad.

De ésta manera un mapa de mecanismos focales debe traducirse rápidamente a un mapa de fallas activas que se mueven bajo un campo de esfuerzos coherente representado en la figura 8.

FIGURA 8
RELACIONES ENTRE MECANISMOS FOCALES Y
ESTRUCTURAS ACTIVAS PARA LOS TRES REGÍMENES DE
ESFUERZOS PRINCIPALES, INCLUYENDO MECANISMOS
PUROS Y OBLICUOS



Fuente: *Análisis de Esfuerzos Tectónicos, Fallas y Sismo*. 2010

CAPÍTULO 2

METODOLOGÍA

2.1 Método

El método que se utilizó en la investigación es el denominado cuantitativo, el cual se describe a continuación.

2.1.1 Cuantitativo

La metodología que se empleó en la investigación consistió en la recolección de información del área de estudio, toma de datos en campo, generación de modelos estructurales e interpretación de los resultados, resumiéndolo de la siguiente forma:

- a) Identificación de lineamientos del área afectada por los sismos ocurridos en Septiembre 2011 en los alrededores de Cuilapa, Santa Rosa, por medio de orto fotos y modelos de elevación digital (*MED*).
- b) Realización de un análisis litológico del área en estudio recopilando información bibliográfica y recolección de datos en visitas de campo.
- c) Definir los principales rasgos estructurales del área de estudio por medio de diagramas de rosa y

estereogramas de datos obtenidos en campo e interpretación de lineamientos.

2.2 Marco metodológico

Comprende las principales etapas en las que se dividió el proceso del trabajo para completar la Investigación, y las fases son las siguientes:

2.2.1 Etapa de recopilación y análisis bibliográfico

En esta etapa se obtuvo toda la información relacionada con la investigación, modelos sísmicos, modelos de mecanismos focales, fechas de los principales eventos sísmicos ocurridos en Cuilapa Santa Rosa y sus alrededores, recopilar alguna técnicas a utilizar para alcanzar los objetivos propuesto en el estudio.

2.2.2 Etapa de trabajo de campo

Durante la etapa de campo se realizó una cartografía de los sistemas estructurales recientes en litología cuaternaria, mediante el caminamiento en los afloramientos representativos del área y la toma de fotografías para representar el movimiento de las estructuras medidas, con el fin de determinar un modelo de esfuerzos que estén asociados a la sismicidad actual en Cuilapa, Santa Rosa y sus alrededores.

2.2.3 Etapa de gabinete

En esta etapa se realizó el análisis de los datos obtenidos en campo, haciendo la interpretación de los mismos, generación de

modelos de mecanismos focales, sistemas estructurales asociados a la tectónica regional.

2.3 Relación entre mecanismos focales de terremotos y fallas

El tensor momento puede describirse en términos de tres ejes ortogonales: P (presión, el eje compresivo), T (Tensión, eje extensivo) y B (nulo). La orientación de los ejes P y T del tensor del momento forma 45° con el plano de falla, que contiene al eje B (nulo).

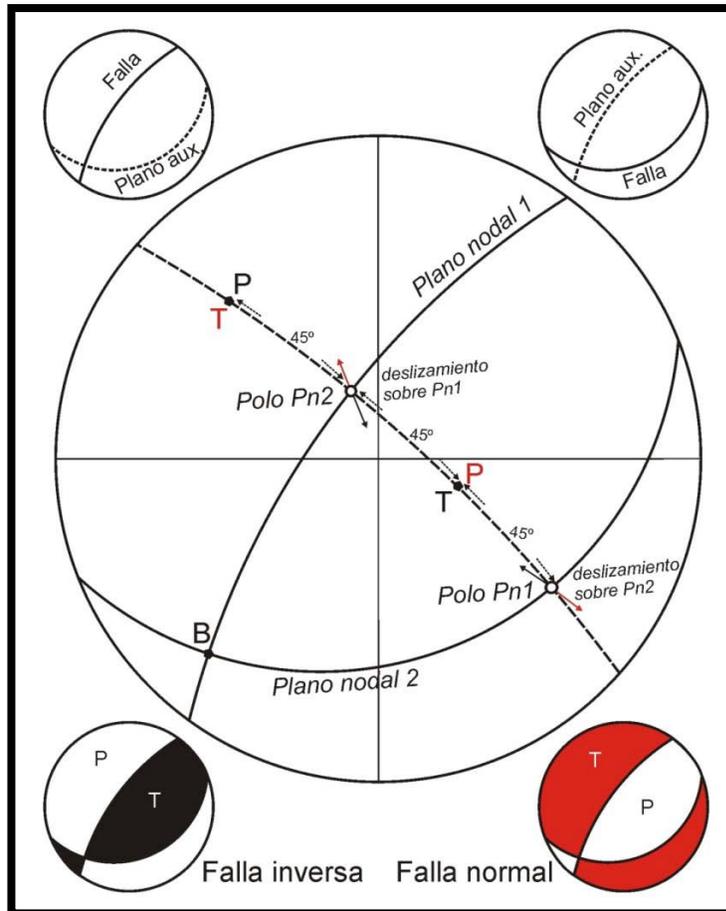
Esto es similar a la caracterización del esfuerzo y la deformación ya que estos también pueden describirse de acuerdo a los mismos tres ejes mencionados, presión, tensión y nulo.

El significado mecánico de estos tres ejes, determina las direcciones donde se genera más energía durante un terremoto, y no debe confundirse con la orientación de los esfuerzos tectónicos principales que originaron el sismo.

Para cualquier tensor momento, hay dos planos posibles que siguen estos criterios. Estos dos planos se denominan planos nodales, son mutuamente perpendiculares y se cortan a lo largo de B (nulo).

Uno de los dos planos es la falla, mientras que al otro se le denomina plano auxiliar según puede observarse en la figura 9. La posición de los ejes P y T depende del tipo de falla, pudiendo dos mecanismos tener los mismos planos nodales, pero distinta posición de los ejes P y T intercambiados también representados en la figura 9.

FIGURA 9 RELACIONES ENTRE MECANISMOS FOCALES DE TERREMOTOS Y FALLAS



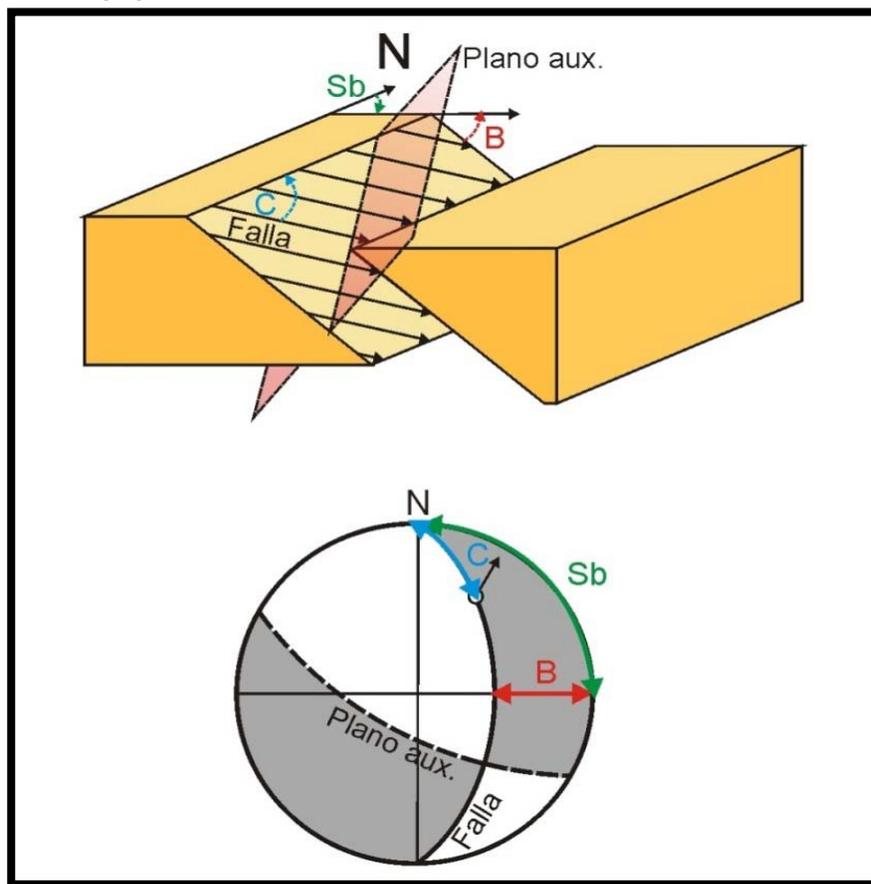
Fuente: *Análisis de Esfuerzos Tectónicos, Fallas y Sismo.* 2010

La ciclográfica cuyo polo es B contiene a los polos de los planos nodales, es decir que contiene a P y a T, todos ellos separados por 45° . Los polos de los planos nodales resultan ser también las orientaciones en que deslizan las fallas, como se representa más adelante en la figura 10.

Para señalar el sentido del movimiento se dibuja una pequeña flecha en el círculo que representa la orientación del deslizamiento según la línea que lo une con el centro de la falsilla. La flecha indica el sentido en el que se mueve el bloque del techo de la falla: hacia fuera en fallas normales, y hacia adentro en inversas.

Desde un punto de vista sismológico, los planos nodales no son distinguibles, lo que hace necesario implementar criterios geológicos para elegir entre de entre las dos posibles soluciones cuál es la falla, tal como se muestra en la figura 10.

FIGURA 10
BLOQUE DIAGRAMA (ARRIBA) DE UNA FALLA CON ESTRÍA DE DESLIZAMIENTO Y DE LOS ÁNGULOS DE BUZAMIENTO (B). CABECEO (C) Y SENTIDO DE BUZAMIENTO DEL PLANO (SB).



Fuente: *Análisis de Esfuerzos Tectónicos, Fallas y Sismo.* 2010

En la parte de debajo de la figura 10 se muestra la representación en proyección estereográfica de los elementos como el cabeceo, el buzamiento y sentido de buzamiento, lo que junto con el plano auxiliar (cuyo polo es la estría de la falla) permite construir el mecanismo de foco de la falla.

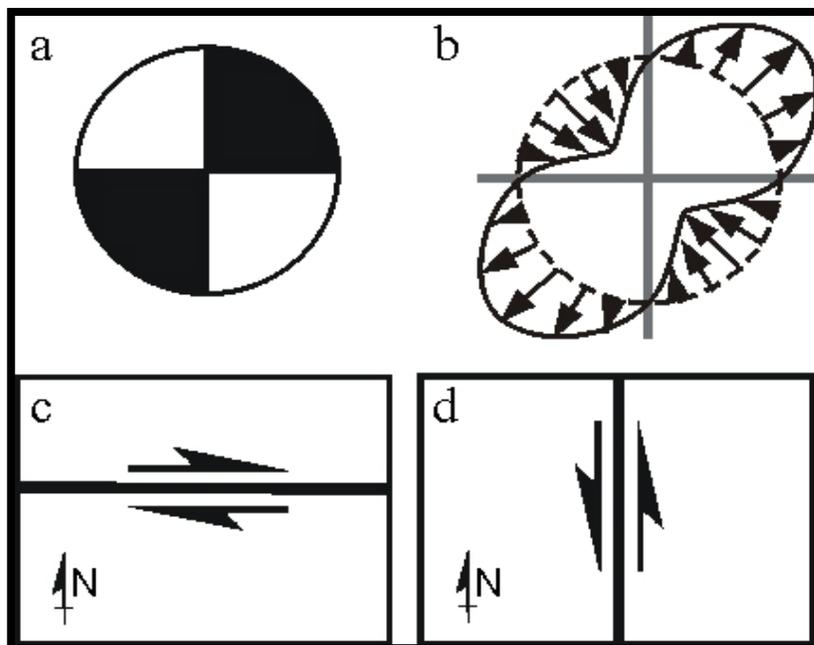
Realizando este análisis el Mecanismo Focal es el que termina por proporcionar la orientación del plano de falla, el sentido y orientación del movimiento del bloque de techo de la falla, y por supuesto, el tipo de falla que produjo el terremoto sea esta una Falla Normal, Falla Inversa o una Falla de Desgarre.

Esta información puede obtenerse de forma inmediata desde los mapas de “balones de playa” o más conocidos como *beachballs*, y son proyecciones estereográficas del hemisferio inferior que tienen dos cuadrantes negros y dos cuadrantes blancos, separados por planos (círculos máximos) mutuamente perpendiculares.

Las ciclográficas son los planos nodales (uno es el plano de falla que generó el sismo) mientras que los desgarres (cabecero de la estría 0°) producen un mecanismo focal con una forma característica en cruz. En el instante en que ocurre el sismo, el movimiento de las ondas P (primarias) a través del material alrededor del foco, produce movimiento en las partículas situadas

El movimiento de la falla será el que indica el desplazamiento paralelo a su dirección, siempre desde un cuadrante blanco que contiene al eje P hacia uno negro que contiene al eje T representado en la figura 11.

FIGURA 11
A) EJEMPLO DE MECANISMO FOCAL DE DESGARRE, B)
PRIMEROS DESPLAZAMIENTOS DE PARTÍCULAS Y C) Y D)
POSIBLES FALLAS ASOCIADAS.

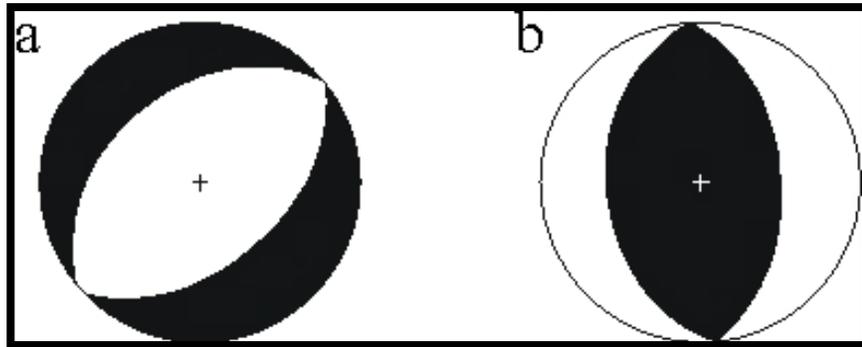


Fuente: *Análisis de Esfuerzos Tectónicos, Fallas y Sismo*. Consulta literaria 2010

Las fallas con movimiento según el buzamiento (o la máxima pendiente de la falla, cabeceo de la estría de 90°) incluyen a las fallas normales y a los cabalgamientos. Sólo tres de los cuatro cuadrantes son visibles en una bola de playa en fallas de Cabeceos de 90° .

El eje vertical (el centro de la proyección estereográfica) cae en un cuadrante blanco en fallas normales (a), y en negro en las inversas comúnmente conocidas como ojos de gato (b), ello se muestra en la figura 12.

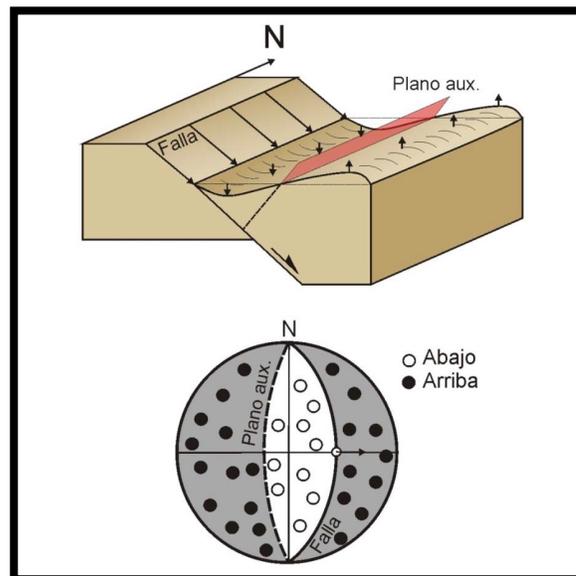
FIGURA 12
MECANISMOS FOCALES DE FALLAS CON MOVIMIENTO
SEGÚN EL BUZAMIENTO: A) NORMAL, B) INVERSA.



Fuente: *Análisis de Esfuerzos Tectónicos, Fallas y Sismo.* 2010

De nuevo, el patrón de movimiento de las partículas es atraído hacia el foco en los cuadrantes blancos y repelido en los negros: En el plano auxiliar no hay movimiento de partículas como se muestra en la figura 13.

FIGURA 13
DIAGRAMA DEL DESPLAZAMIENTO ASOCIADO A UNA FALLA
NORMAL PURA Y SU PROYECCIÓN DE MF



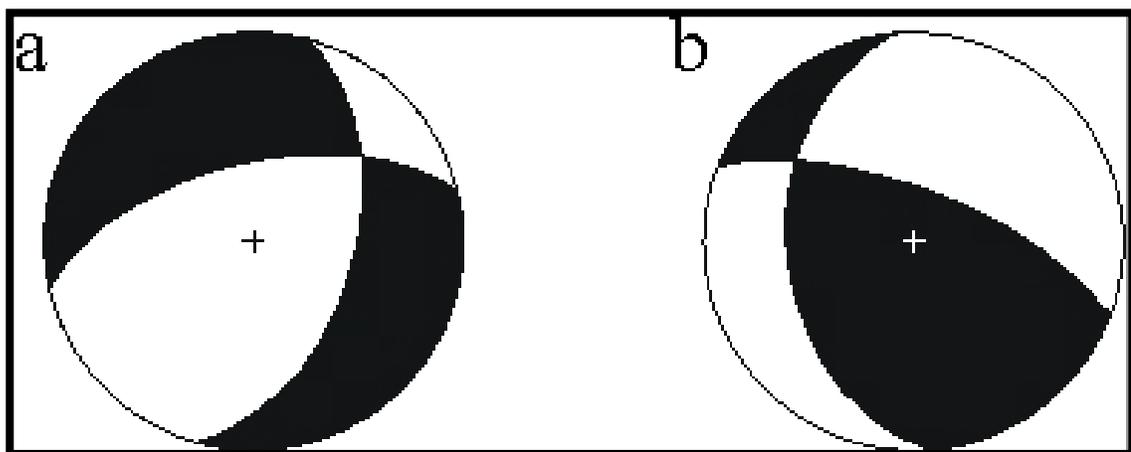
Fuente: *Análisis de Esfuerzos Tectónicos, Fallas y Sismo* 2010

Como se muestra en la figura anterior el desplazamiento de una falla normal las flechas indican el primer movimiento en la vertical de puntos situados en la superficie. Mientras que en la parte de abajo se muestra la proyección del mecanismo de foco (MF) con los primeros movimientos verticales de las partículas.

Así como se caracterizan las gráficas de mecanismos focales para las fallas normales como inversas también existe una caracterización grafica para las fallas con movimientos oblicuos, y son estas las que tienen a la vez componentes en dirección y según el buzamiento y por tanto siempre se ven los cuatro cuadrantes.

Si el eje vertical está incluido en un cuadrante blanco, la falla tiene un componente normal, independientemente de que plano nodal sea la falla. Si el centro está en un cuadrante negro, la falla tiene un componente inverso según el buzamiento representado en la figura 14.

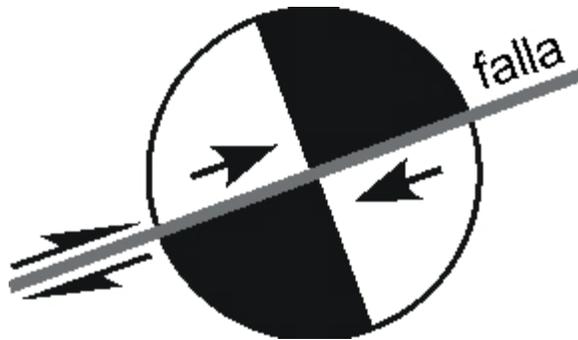
FIGURA 14
MECANISMOS FOCALES DE FALLAS CON MOVIMIENTO
OBLICUO: A) NORMAL-DIRECCIONAL, B) INVERSO-
DIRECCIONAL.



Fuente: *Análisis de Esfuerzos Tectónicos, Fallas y Sismo.* 2010

Por ultimo pero no menos importante, se puede utilizar una regla sencilla para determinar el movimiento de una falla conociendo únicamente su mecanismo focal, y es que el deslizamiento va siempre de un cuadrante blanco a otro negro representado en la figura 15.

FIGURA 15
CÁLCULO DEL SENTIDO DE MOVIMIENTO DE UN PLANO NODAL EN UN MECANISMO FOCAL: EL DESLIZAMIENTO SIEMPRE VA DEL CUADRANTE EN DILATACIÓN (BLANCO) AL DE COMPRESIÓN (NEGRO).



Fuente: *Análisis de Esfuerzos Tectónicos, Fallas y Sismo.* 2010

Concluyendo, utilizando toda la información al alcance (fallas, estrías, cabalgamientos) y aplicándola o ploteándola correctamente en una falsilla resulta posible realizar análisis tectónicos a partir de estas proyecciones de mecanismos focales conocidos como mapas de balones de playa. Y es con estos mecanismos focales que se analiza el comportamiento neotectónico asociado a la Fallas encontradas y mapeadas en el área de Cuilapa, Santa Rosa.

2.4 Litología Regional

Siempre enfocado en el bloque Chortí de Guatemala, que representa y contiene al área de estudio, se describen las unidades de rocas que lo caracterizan, todas pertenecientes a unidades terciarias y cuaternarias del cuadrángulo de Cuilapa, el estudio se enfocó en los sedimentos volcánicos Ixhuatan y el Complejo de Cerro Gabia.

De estas se identificaron principalmente las unidades del terciario más jóvenes, andesitas erosionadas probablemente sin dividir y también se identificaron unidades del cuaternario como algunos basaltos sin dividir (Qbl), aluvión (Qal), así como una formación de conos cineríticos (Qcc), representado en la figura 17.

“Las andesitas terciarias sin dividir pertenecen a flujos masivos y algunas fueron emplazadas por extrusiones viscosas a lo largo de fisuras, las cuales no fluyeron sino que formaron pequeñas colinas angostas. En el campo no se pueden diferenciar coladas individuales, solo quedan paquetes aislados por lo que se presume que la mayor parte de la unidad se ha erosionado”.⁵

Siempre citando a Pérez Bol y en concordancia a lo observado en la etapa de campo se identificaron tobas, basaltos, brechas y cenizas volcánicas, se asociaron los primeros con la unidad de andesitas, basaltos y brechas a las que hace alusión Pérez, estos fueron los que dominaron en extensión territorial el área de estudio y se caracterizaron por flujos andesíticos y basálticos de color gris oscuro de granos finos separados por una franja estrecha de brecha.

Se observó también la variación en la coloración de los basaltos cambiando de coloración grisácea oscura a un gris blanquecino esto en áreas meteorizadas, y en ocasiones asociadas a las brechas, las cuales

⁵Pérez Bol. Édgar Rolando. *Léxico estratigráfico del bloque Chortí en Guatemala*. Cobán 2000. 8.

presentaron fragmentos angulosos de andesita y basalto principalmente, mezclados con escoria y ceniza en matriz lodosa.

En el área de Ixhuatán al SE del cuadrángulo de Cuilapa se observaron una serie de cenizas y lava volcánica que de acuerdo a Pérez Bol se citan sus principales características:

“Volcánicos Ixhuatán: las lavas y piroclastos Ixhuatán están característicamente sin diaclasamiento y exhiben superficies superiores relativamente frescas, vesiculares y de flujo en bloques. Parecen buzarse alejándose del centro emisor, localizado en el cerro los achiotos en la parte NW del cuadrángulo Moyuta. Está compuesta de flujos de lava básica de hasta 3 m de espesor y está interestratificados con materiales piroclásticos y lahar de hasta 10 m de espesor. La composición de la mayoría de las lavas es andesítica aunque también se encontraron dos flujos de basalto”.⁶

Entre las cenizas observadas al tope de los afloramientos, se observó principalmente cenizas meteorizadas de coloración blanquecina grisácea a gris oscura. La escoria observada podría pertenecer a las escorias descritas siempre por Pérez Bol dentro de uno de los límites de la Unidad Complejo Cerro Gabia:

“El límite de la unidad (Complejo Cerro Gabia) con las andesitas sin dividir hacia el norte es problemático y se coloca el límite sur del área muy rica en escoria, cubriendo sedimentos volcánicos terciarios y cuaternarios”.⁷

⁶Pérez Bol. Édgar Rolando. *Léxico estratigráfico del bloque Chortí en Guatemala*. Cobán 2000. 90.

⁷Ibíd., 92.

2.5 Geología estructural regional

De acuerdo con la tectónica regional del bloque Chortí Pérez Bol indica:

“El bloque Chortí forma parte de la Placa del Caribe, una unidad litosférica independiente entre las grandes placas de Norteamérica y Sudamérica. En la configuración tectónica regional del bloque Chortí limita con el bloque Maya al NW, con el bloque Chorotega al SE y con la Placa de Cocos al sur. La interacción de las placas produce dos localidades de triple unión e intensa actividad tectónica, principalmente en las zonas de falla y la cadena volcánica asociada a la Fosa Mesoamericana.”⁸

Los rasgos estructurales regionales generados por la interacción de dichas placas son: la zona de sutura del Motagua que es considerado el límite de bloques (Maya-Chortí). Caracterizado por la presencia de la falla Cuilco-Chixoy-Polochic en el lado del bloque Maya y la falla Jocotán-Chamelecón en el bloque Chortí el movimiento de las fallas mencionadas es de tipo sinestral.

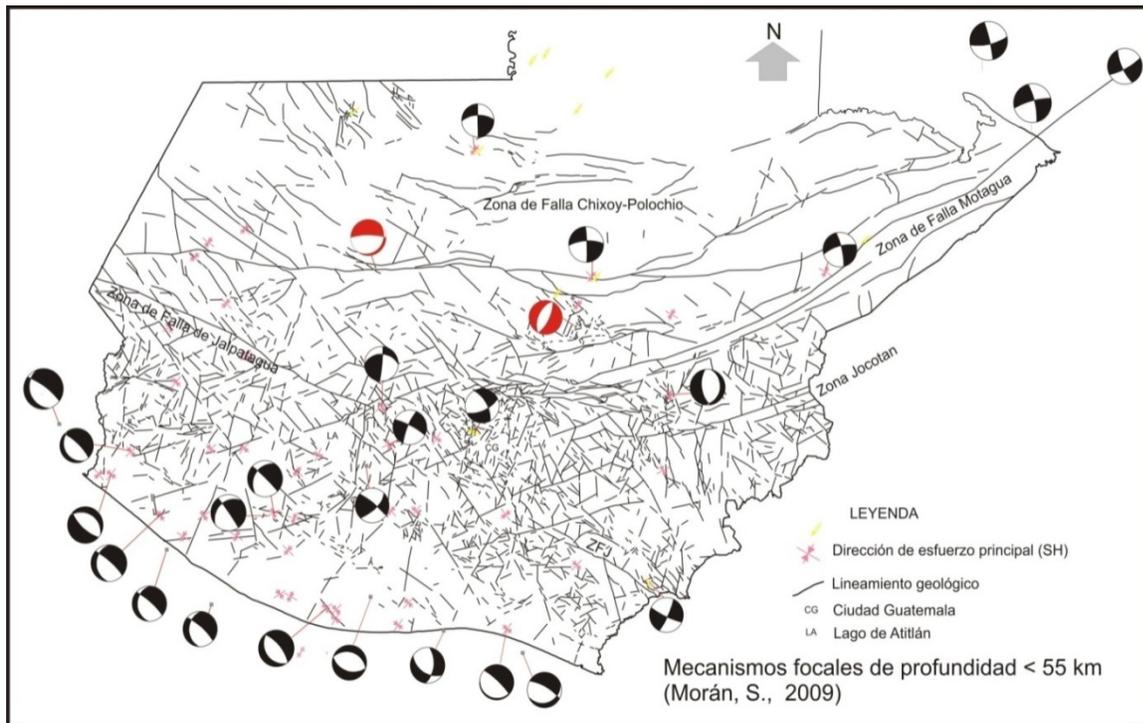
Otro rasgo característico es la fosa centroamericana que genera esa cadena volcánica que forma parte del cinturón de fuego del Pacífico. El cual ha tenido actividad a través del Terciario y actividad reciente. También se cuenta con calderas de colapso como Retana, Ayarza y Atitlán, entre otras.

También ocurre la presencia de otra falla en dirección NW-SE conocida como la falla Jalpatagua con movimiento dextral. Los rasgos estructurales se muestran en la figura 16.

⁸Carr, Michael J. Underthrusting and Quaternary Faulting in Northern Central America Department of Geology Rutgers College, New Jersey tomado de: <http://www.geo.mtu.edu/>. (30 de septiembre de 2010).

La falla de Jalpatagua en el estudio realizado por Michael Carrestableció que la falla de Jalpatagua se localiza cerca de los volcanes activos y las trazas es paralela a ellos esto lo determino en base al análisis de sismos de Guatemala y El Salvador, supuso una edad Neógeno.

FIGURA 16 ESTRUCTURAS REGIONALES Y MECANISMOS FOCALES PARA GUATEMALA



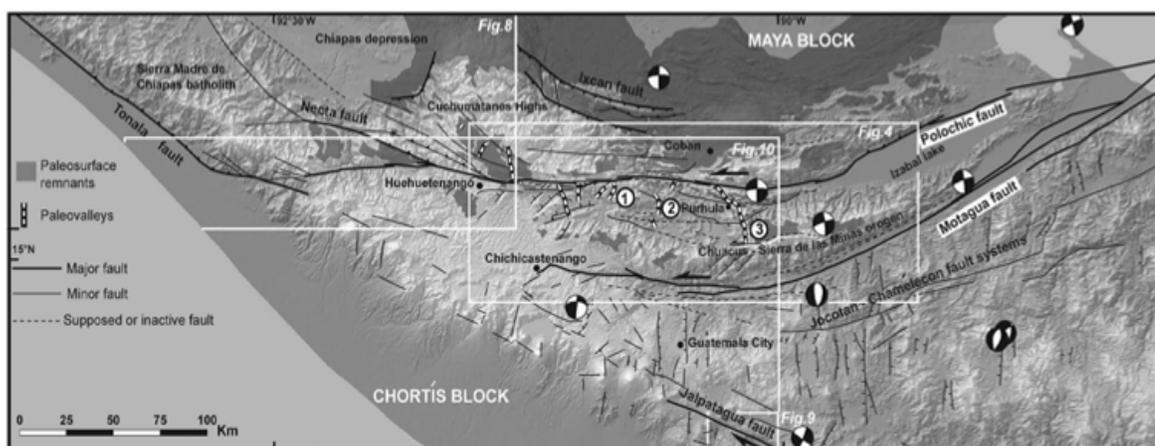
Fuente: *Mecanismos Focales para Guatemala*. Archivo JPG. 2009

En un estudio más reciente Goff Et. Al (1991) en el domo de Moyuta, indican que la falla de Jalpatagua en esa zona tiene una cinemática dextral con una componente normal. Newhall también hizo un estudio de la falla de Jalpatagua en la zona del volcán de Atitlán logrando indicar que poseía un movimiento.

La geología estructural regional del área de estudio tiene como rasgos característicos la interacción de la zona de Sutura del Motagua, que es un fallamiento tipo sinistral y también cabe resaltar la falla de

Jalpatagua que es de tipo dextral. Entre estas dos fallas regionales se puede observar un arreglo casi NS que origina estructuras tipos graben se pueden observar los más sobresalientes, Ipala, Guatemala y Santa Rosa de Lima. A continuación se presenta una imagen donde se observan los rasgos estructurales más sobresalientes del territorio guatemalteco.

FIGURA 17 MARCO TECTÓNICO DEL TERRITORIO GUATEMALTECO



Fuente: C. Authemayou, et-al. *The Caribbean-North America-Cocos Triple Junction and the dynamics of the Polochic-Motagua fault systems: Pull up and zipper models.*AmericanGeophysicalUnion. 2011

Otros estudios realizados en Febrero de 1999 por estudiantes universitarios extranjeros en colaboración con el CUNOR, en lo que estarían los límites de las placas tectónicas que dividen al país, definirían la dirección de movimiento de la placa de Norte América utilizando distintos sistemas de posicionamiento global SPG, en concreto se instalaron y midieron 16 puntos con red formando tres perfiles perpendiculares al sistema de fallas, esto para medir la velocidad relativa entre dos placas especialmente caracterizar el comportamiento mecánico del sistema de fallas presente. La misma red de puntos fue medida una vez más en Febrero de 2003. Los datos de ambas investigaciones se

procesaron utilizando el programa GAMIT de todas las estaciones en varios azimut mostrado en la figura 18.



Fuente: Constraints On North America-Caribbean Plate Motion From Gps Measurements Across The Polochic-Motagua Fault System In Guatemala. H. Lyon-Caen (1) C. Lasserre (1), E. Barrier (2), T. Duquesnoy (3), J. Romero (4), E. Molina (5), J. Requena (6), M. Chiquin (6), J. Luna (7), O. Flores (7) for the Polochic-Motagua Project team

2.6 Geología local

De acuerdo a los objetivos del estudio de neotectónico en la zona, las estructuras medidas en campo corresponden a las identificadas en depósitos cuaternarios, se realizó una exploración superficial en base a caminamientos y mapeo en los cortes de carreteras donde se evidencia de mejor manera las estructuras geológicas como fallas y sistemas de fracturamiento.

Se identificaron 10 estaciones de interés donde se aprecian de mejor manera la cinemática de estructuras en depósitos cuaternarios, siendo estos depósitos aluviales, tobas de grano fino y ceniza volcánica.

Durante la etapa de campo se identificaron tobas, basaltos, brechas y cenizas volcánicas (Qv), se asociaron los primeros con la unidad de andesitas, basaltos y brechas a las que hace alusión Pérez Bol (2000), estos fueron los que dominaron en extensión territorial el área de estudio y se caracterizaron por flujos andesíticos y basálticos de color gris oscuro de granos finos separados por una franja estrecha de brecha y ceniza volcánica (Qp), por último estaban dispuestos en algunas zonas aluviones cuaternarios (Qa).

A continuación se detallan cada uno de los puntos de interés, describiendo la litología a grandes rasgos y las estructuras geológicas que afectan cada uno de los afloramientos, determinando el tipo de estructura y su cinemática.

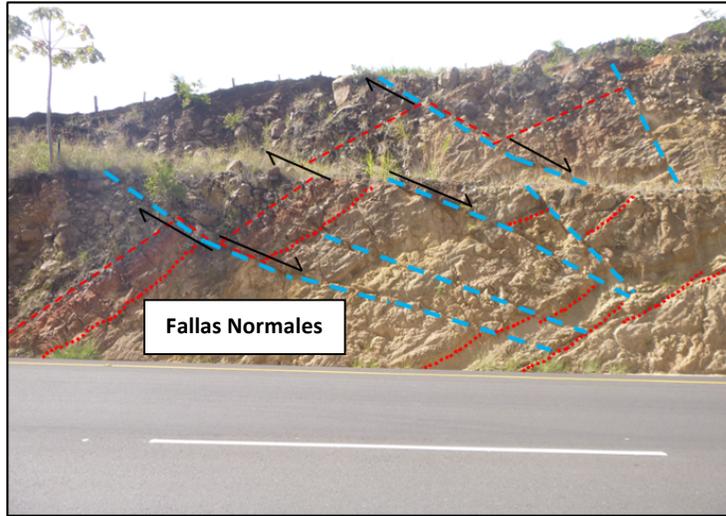
2.6.1 Estación No.1 El Boquerón

A las orillas de la carretera CA-1, el lugar conocido como El Boquerón dentro del municipio de Cuilapa, Santa Rosa, se observan tobas de grano fino, aglomerados volcánicos y columnas de depósitos aluviales con clastos volcánicos extrusivos, el mapa con la ubicación de la estación puede ser observada en los anexos.

Los afloramientos observados en esta zona, estructuralmente están siendo afectados por un sistema de fallas normales evidenciando la cinemática en el escalonamiento de bloques de

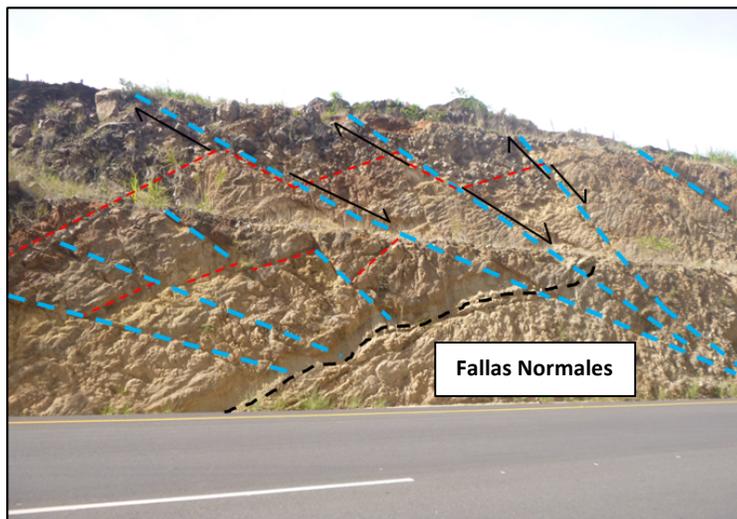
aglomerados volcánicos sobre tobas de grano fino representados en las fotografías 1 y 2.

FOTOGRAFÍA 1 ESCALONAMIENTOS PRODUCTO DE FALLAS NORMALES A LA ORILLA DE CARRETERA CA-1 CRUCE A CHIQUIMULILLA



Tomada por: Luis Felipe Valiente. 2014

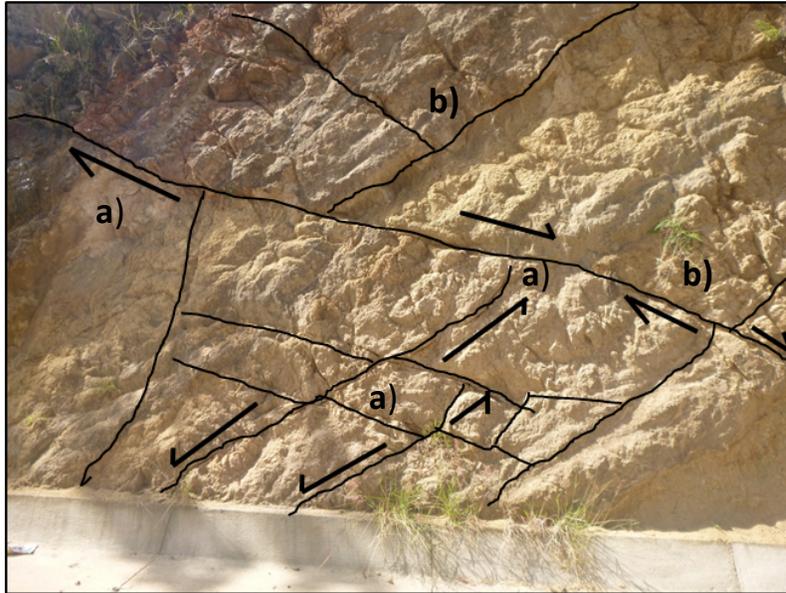
FOTOGRAFÍA 2 FALLAS NORMALES A LA ORILLA DE CARRETERA CA-1 CRUCE A CHIQUIMULILLA



Tomada por: Luis Felipe Valiente. 2014

FOTOGRAFÍA 3

SISTEMA DE FALLAS NORMALES A LA ORILLA DE CARRETERA CA-1 CRUCE A CHIQUIMULILLA



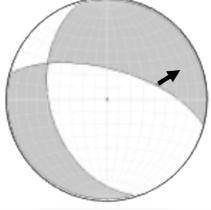
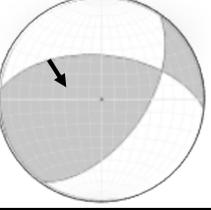
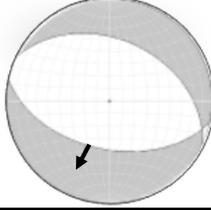
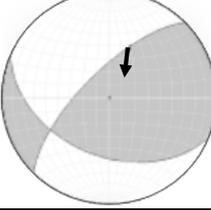
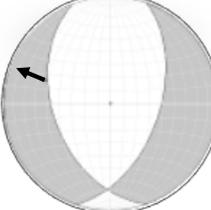
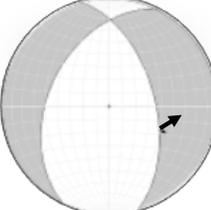
Tomada por: Luis Felipe Valiente. 2014

Los datos de campo representados en las fotografías anteriores, fueron analizados por medio del método de diedros rectos (Angelier y Mechler, 1977), que constituye una forma muy visual de representar los distintos tipos de esfuerzo-deformación que se relacionan con los distintos tipos de falla.

Según sea el movimiento, los estereogramas con diedros rectos quedan en modo alterno en compresión y tensión, la representación de estos elementos es similar a la de los mecanismos focales de sismos.

Los datos fueron tomados en campo mediante una brújula brunton usando la metodología de la regla de la mano derecha.

TABLA 2
DIRECCION Y SENTIDO DE ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS
MEDIDAS EN CAMPO EN ESTACION 1 Y ESTEREOGRAMA CON
MÉTODO DE DIEDROS RECTOS (ANGELIER Y MECHLER, 1977)

DATOS DE CAMPO, METODO DE DIEDROS RECTOS				
Tipo de estructura	Rumbo	Buzamiento	Rake	Plano
Falla Normal/Dextral	N285	65E	35NW	
Falla Inversa/Dextral	N35	55E	45SE	
Falla Normal	N280	40W	60SW	
Falla Inversa	N225	70E	50SW	
Falla Normal	N160	45W	30NW	
Falla Normal	N345	55E	26SE	

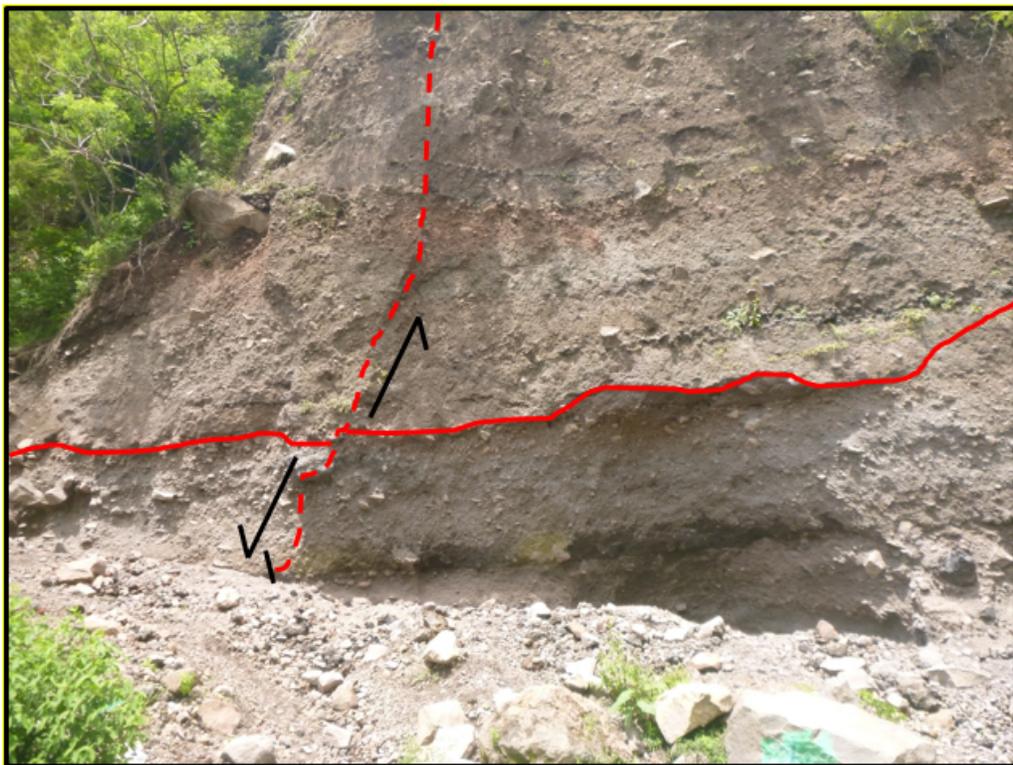
Fuente: Investigación de campo. 2014

2.6.2 Estación No. 2, 3 y 4 Orillas N-E de Volcán Ixpaco

A las orillas de la carretera que conduce de Chiquimulilla a Cuilapa Santa Rosa, en las orillas del volcán Ixpaco, la litología que caracteriza esta zona son tobas de grano fino y depósitos piroclásticos y ceniza volcánica.

En los depósitos piroclásticos se observan fallas con una tendencia de movimiento Normal, aunque la cinemática no está bien definida debido a la poca compactación del material.

FOTOGRAFÍA 4 FALLA NORMAL EN DEPOSITOS VOLCANICOS, IXPACO CHIQUIMULILLA



Tomada por: Luis Felipe Valiente. 2014

TABLA 3
DIRECCION Y SENTIDO DE ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS
MEDIDAS EN CAMPO EN ESTACIONES 2,3 Y 4,
ESTEREOGRAMA CON MÉTODO DE DIEDROS RECTOS
(ANGELIER Y MECHLER, 1977)

DATOS DE CAMPO, METODO DE DIEDROS RECTOS				
Tipo de estructura	Rumbo	Buzamiento	Rake	Plano
Falla Inversa	N220	30	15SE	
Falla Normal	N230	35	30NW	
Falla Normal	N210	35	20NW	
Falla Inversa	N130	45	20NE	
Falla Normal	N180	70	35SW	
Falla Normal	N175	80	45SW	
Falla Normal	N160	60	10SW	
Falla Normal	N330	55	55NE	
Falla Inversa	N265	60	76SW	

Fuente: Investigación de campo. Año 2 014

2.6.3 Estación No. 5 y 6 Finca los Pocitos

A las orillas de la carretera que conduce a Chiquimulilla de Cuilapa Santa Rosa, a 2 km del cruce llamado El Boquerón, el paisaje se encuentra rodeado por rocas volcánicas sin dividir, en las que predominan coladas de lavas, tobas riolíticas, algunas coladas de lava y material laharico.

Los materiales volcánicos están siendo afectados por esfuerzos neotectónicos, estos esfuerzos se evidencian en un sistema de fracturamiento en sedimentos recientes, un sistema de fracturamiento NO-SE

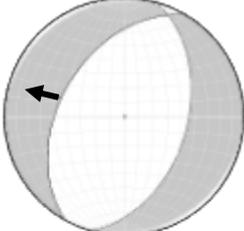
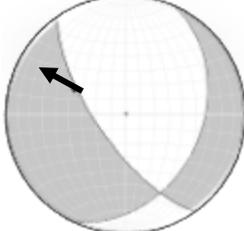
En la fotografía 5, se observan depósitos piroclásticos y algunas tobas meteorizadas, las cuales presentan un fracturamiento reciente, en algunas de las fracturas observadas se deduce como un sistema de fallas normales atribuyéndole la evidencia del movimiento del plano.

FOTOGRAFÍA 5 FRACTURAS EN DEPÓSITOS VOLCÁNICOS, CARRETERA CUILAPA-CHIQUIMULILLA



Tomada por: Luis Felipe Valiente. 2014

TABLA 4
DIRECCION Y SENTIDO DE ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS
MEDIDAS EN CAMPO EN ESTACION 5, ESTEREOGRAMA CON
MÉTODO DE DIEDROS RECTOS (ANGELIER Y MECHLER, 1977)

DATOS DE CAMPO, METODO DE DIEDROS RECTOS				
Tipo de estructura	Rumbo	Buzamiento	Rake	Plano
Falla Inversa	N220	30	15NW	
Falla Normal	N230	35	30NW	

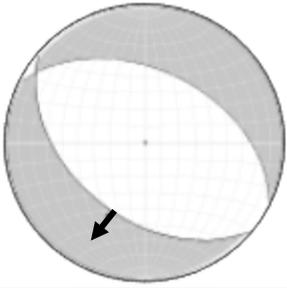
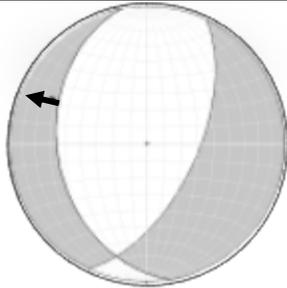
Fuente: Investigación de campo. 2014

FOTOGRAFÍA 6
FRACTURAS EN DEPÓSITOS VOLCÁNICOS Y ALUVIALES,
CARRETERA CUILAPA-CHIQUIMULILLA



Tomada por: Luis Felipe Valiente. 2014

TABLA 5
DIRECCION Y SENTIDO DE ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS
MEDIDAS EN CAMPO EN ESTACION 6, ESTEREOGRAMA CON
MÉTODO DE DIEDROS RECTOS (ANGELIER Y MECHLER, 1977)

DATOS DE CAMPO, METODO DE DIEDROS RECTOS				
Tipo de estructura	Rumbo	Buzamiento	Rake	Plano
Falla Normal	N130	45	80SW	
Falla Normal	N170	35	30NW	

Fuente: Investigación de campo. 2014.

2.6.4 Estación No. 7 y 8, Faldas del cerro Ixhuatán.

A orillas de la carretera CA-1, km 67, se observaron afloramientos con lavas y piroclastos en las faldas del cerro Ixhuatán, se caracterizan por sus superficies superiores relativamente frescas y de flujo en bloques. Parecen buzarse alejándose del centro emisor, localizado en el cerro los achiotos en la parte NW del cuadrángulo Moyuta.

Está compuesta de flujos de lava básica de hasta 3 m de espesor y está interestratificada con materiales piroclásticos y lahar de hasta 10 m de espesor. La composición de la mayoría de

las lavas es andesítica aunque también se encontraron dos flujos de basalto y tobas riolíticas.

La cinemática de estos afloramientos se caracteriza por tener fallas Normales y algunas fallas inversas, los flujos de lava basáltica poseen un fracturamiento perpendicular al movimiento de las estructuras predominantes.

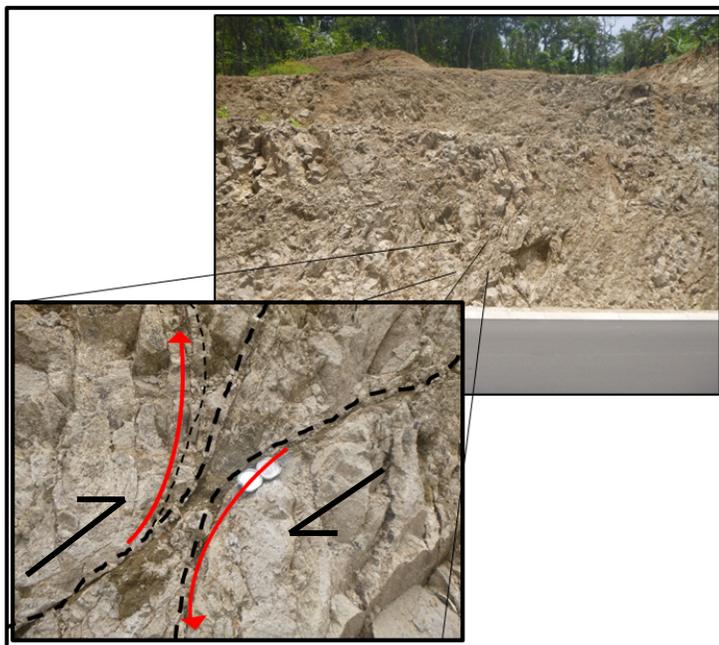
En la fotografía 7, se observa el afloramiento de lavas basálticas y andesíticas, sobrepuestas por depósitos piroclásticos y ceniza volcánica.

FOTOGRAFÍA 7
FRACTURAS EN FLUJOS BASÁLTICOS Y ANDESÍTICOS, A
ORILLAS DE CARRETERA CA-1, km 67



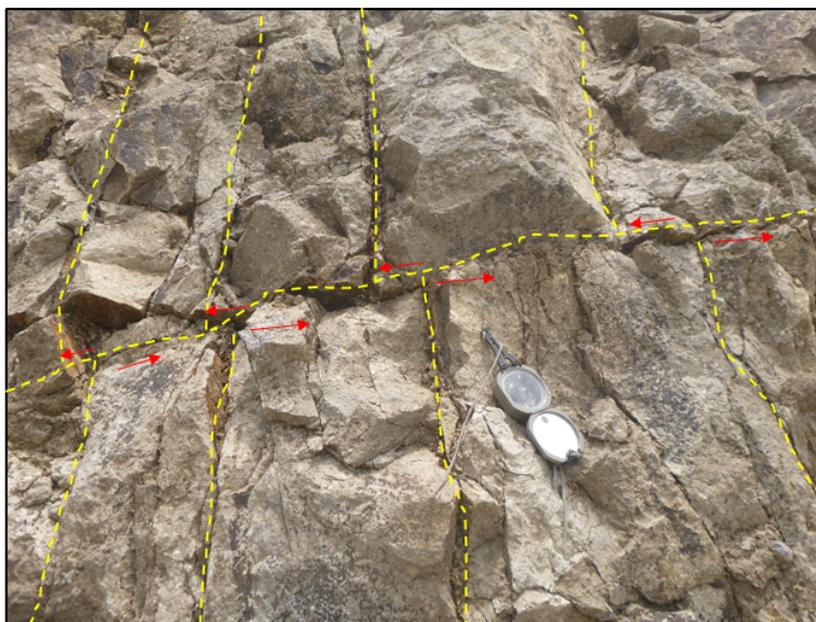
Tomada por: Luis Felipe Valiente. 2014

FOTOGRAFÍA 8
FALLA INVERSA EN FLUJOS ANDESITICOS, A ORILLAS DE
CARRETERA CA-1, km 67



Tomada por: Luis Felipe Valiente. 2014

FOTOGRAFÍA 9
FRACTURAS Y FALLA NORMAL EN FLUJOS BASÁLTICOS Y
ANDESITICOS, A ORILLAS DE CARRETERA CA-1, km 67



Tomada por: Luis Felipe Valiente. 2014

FOTOGRAFÍA 10
FRACTURAS Y FALLA NORMAL EN FLUJOS BASÁLTICOS Y
ANDESITICOS, A ORILLAS DE CARRETERA CA-1, km 67



Tomada por: Luis Felipe Valiente. 2014

Sobre los depósitos de lavas basálticas, se disponen sedimentos volcánicos, tobas y piroclastos. En los depósitos piroclásticos se identifican fallas inversas, evidenciadas por estrías y la correlación de coloración de estratos respecto al fracturamiento, mostrado en la fotografía 11.

FOTOGRAFÍA 11
FALLA INVERSA EN DEPOSITOS PIROCLASTICOS SOBRE
BASALTOS



Tomada por: Luis Felipe Valiente. 2014

TABLA 6
DIRECCION Y SENTIDO DE ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS
MEDIDAS EN CAMPO EN ESTACION 7 Y 8, ESTEREOGRAMA
CON MÉTODO DE DIEDROS RECTOS (ANGELIER Y MECHLER,
1977)

DATOS DE CAMPO, METODO DE DIEDROS RECTOS				
Tipo de estructura	Rumbo	Buzamiento	Rake	Plano
Falla Normal	N280	85	03SE	
Falla Inversa	N40	75	85NW	
Falla Inversa	N50	50	60NW	
Falla Inversa	N285	75	50NE	
Falla Inversa	N85	30	65NW	
Falla Normal	N150	55	10SE	

Fuente: Investigación de campo. 2014

2.6.5 Estación No. 10, 11 y 12. Aldea Tocinte, Santa Cruz del Naranjo.

La aldea el Teocinte, perteneciente al municipio de Santa Cruz el Naranjo, se encuentra rodeado por rocas volcánicas sin dividir, en el predominan tobas, coladas de lava y sedimentos volcánicos. Esta zona relativamente reciente, correlacionada con depósitos piroclásticos del volcán pínula, se evidencia por una serie de fallas normales en su mayoría con orientación N-S, estas fallas se interpretan como un fallamiento subyacente denominado Falla Pínula.

Las fotografías 12 y 13 muestran como un sistema de fallas interpretadas como fallas normales, cortan los sedimentos volcánicos evidenciando un movimiento reciente, donde las fracturas rellenas con material arcilloso propio de los sedimentos volcánicos dan la evidencia de una inclinación este y oeste.

FOTOGRAFÍA 12 SISTEMA DE FALLAS NORMALES EN CENIZAS VOLCANICAS



Tomada por: Luis Felipe Valiente. 2014

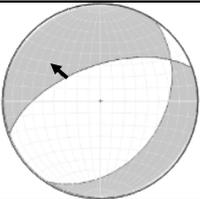
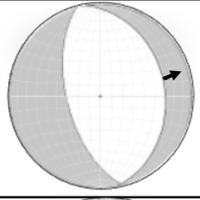
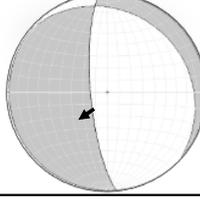
FOTOGRAFÍA 13

SISTEMA DE FALLAS NORMALES EN CENIZAS VOLCANICAS



Tomada por: Luis Felipe Valiente. 2014

TABLA 7
DIRECCION Y SENTIDO DE ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS
MEDIDAS EN CAMPO EN ESTACIONES 10,11 Y 12
ESTEREOGRAMA CON MÉTODO DE DIEDROS RECTOS
(ANGELIER Y MECHLER, 1977)

DATOS DE CAMPO, METODO DE DIEDROS RECTOS				
Tipo de estructura	Rumbo	Buzamiento	Rake	Plano
Falla Normal	N250	60	20NW	
Falla Normal	N350	30	5NE	
Falla Normal	N160	76	13SW	

Fuente: Investigación de campo. 2014

2.7 Estructuras geológicas en base a lineamientos

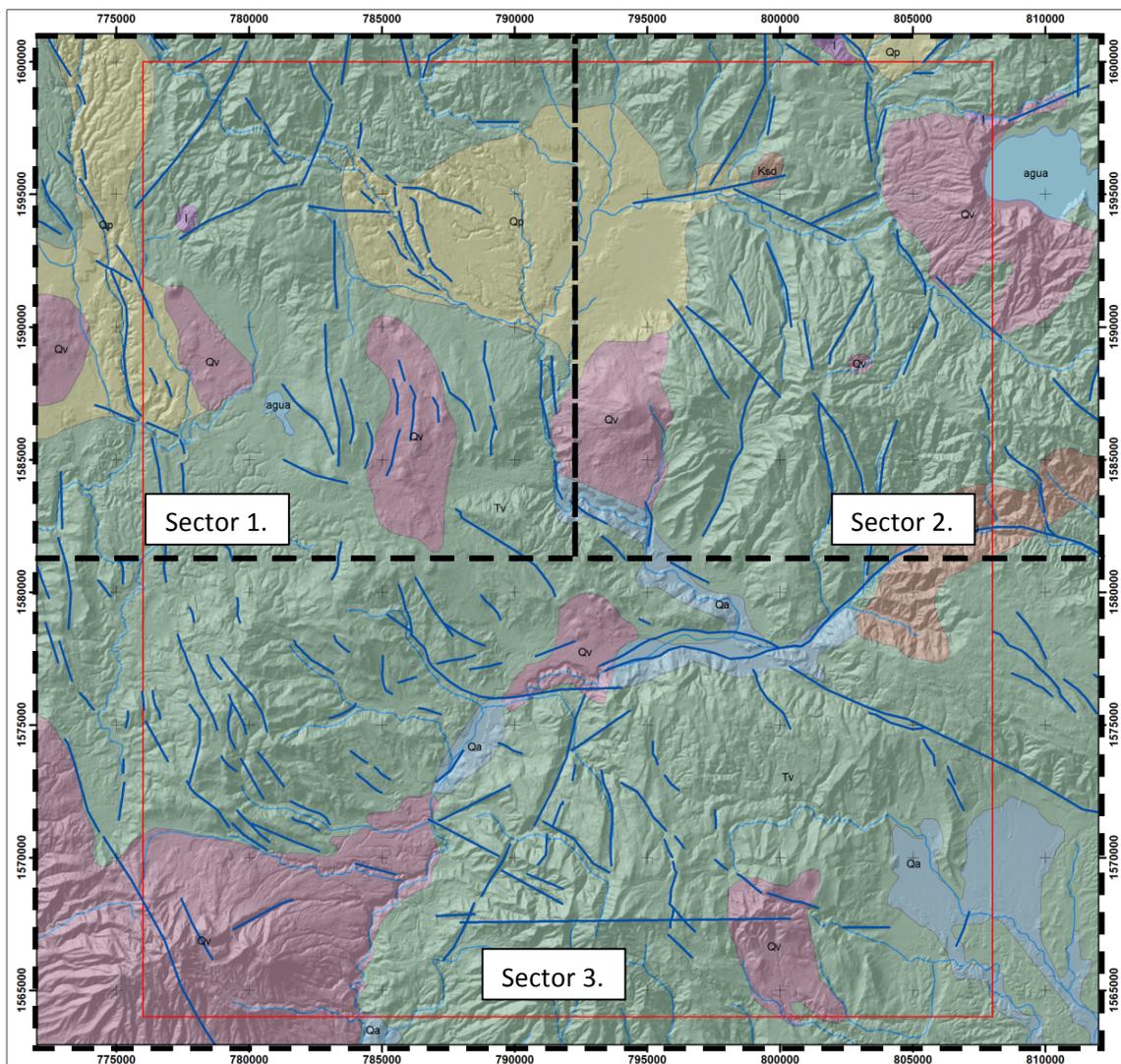
Según Flores G. (2000). Los lineamientos son rasgos lineares que distinguen las formas de la superficie de un terreno a otro adyacente

Las fallas y fracturas son elementos geológicos que en depósitos cuaternarios es difícil juzgar su movimiento, es por eso que se crea un mapa de lineamiento representado en Mapa 2. En este mapa se marcan los rasgos lineares más sobresalientes de la superficie, con el fin de generar de manera regional la tendencia de las estructuras dentro del área de estudio.

El mapa de lineamientos se generó por medio de un modelo de elevación digital (DEM) del área de estudio, los datos obtenidos del mapa se encuentran representados en forma gráfica por medio de un diagrama de rosa en las figuras 19, 20 y 21. Las figuras de los diagramas de rosa detallan los patrones preferenciales divididos por zonas

La dirección preferencial de los rasgos lineares de toda la zona de investigación presenta tres tendencias o lo que podría denominarse tres patrones estructurales, la principal presenta una tendencia N-S, el segundo patrón estructural asociado a la Falla Jalpatagua con orientación N330 y un tercer patrón N60 (perpendicular al segundo), el conjunto de estas tres orientaciones se reflejan en el siguiente mapa de lineamientos.

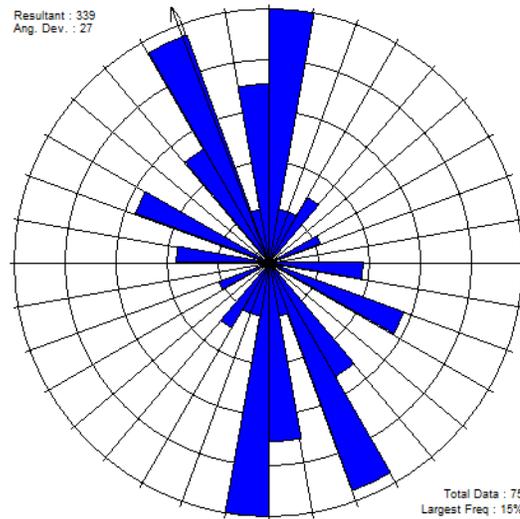
MAPA 2 LINEAMIENTOS PREFERENCIALES EN EL ÁREA DE ESTUDIO EN BASE A MODELO DE ELEVACIÓN DIGITAL (MED)



Fuente: Investigación de campo. 2014

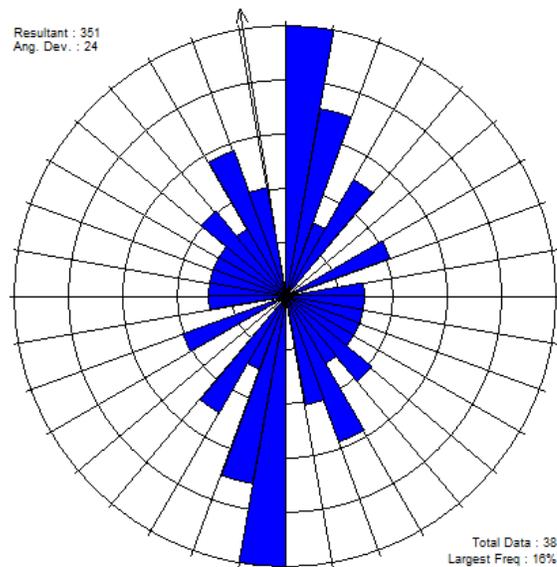
Para obtener un mejor análisis del comportamiento estructural del área de investigación, se dividió la misma en tres sectores de acuerdo a la tendencia del rumbo que estas presentan, cada una de las mismas con las 3 orientaciones principales mencionadas en el párrafo anterior. (N-S, N330 y N60). En seguida en las figuras 19, 20 y 21 representan los diagramas de rosa de cada uno de los sectores indicados en el mapa 2.

FIGURA 19
DIAGRAMA DE ROSA DE LINEAMIENTOS, SECTOR UNO



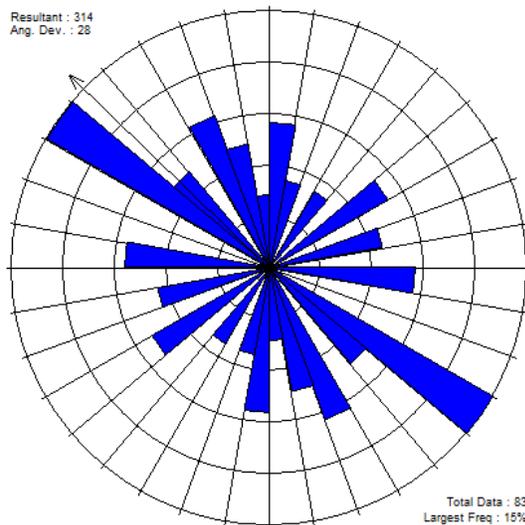
Fuente: Investigación de campo. 2014

FIGURA 20
DIAGRAMA DE ROSA DE LINEAMIENTOS, SECTOR DOS



Fuente: Investigación de campo. 2014

FIGURA 21
DIAGRAMA DE ROSA DE LINEAMIENTOS, SECTOR TRES



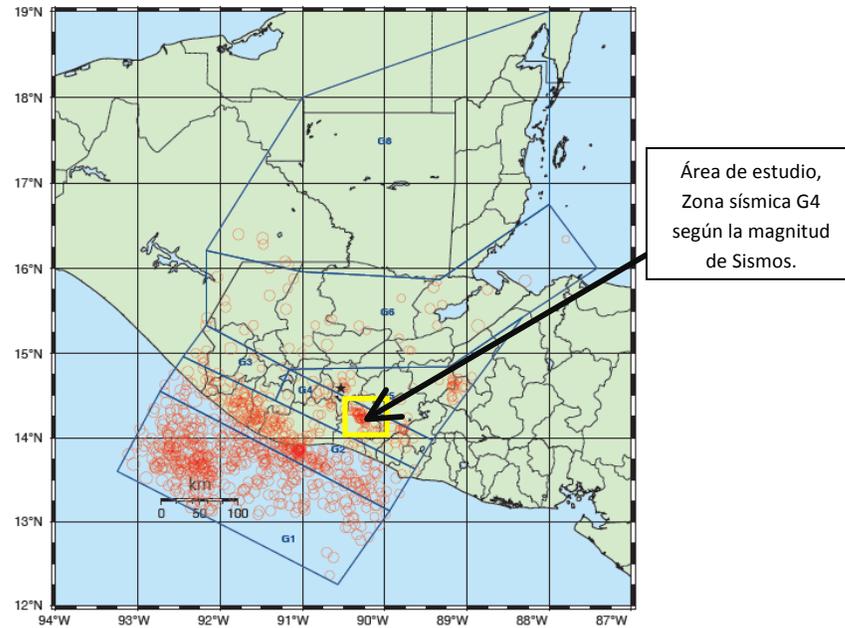
Fuente: Investigación de campo. 2014

2.8 Obtención de mecanismos focales a partir de amplitudes espectrales en base a las agencias de sismología USGS y CMT

Durante el mes de septiembre de 2011 a la actualidad, los alrededores de Cuilapa Santa Rosa se encuentra en una zona sísmica activa, el INSIVUMEH asocia la sismicidad los sistemas de fallas del Arco Volcánico de Centroamérica, que ha causado daños cada 2.5 años durante el siglo XX a lo largo de toda América Central, desde Guatemala hasta Costa Rica

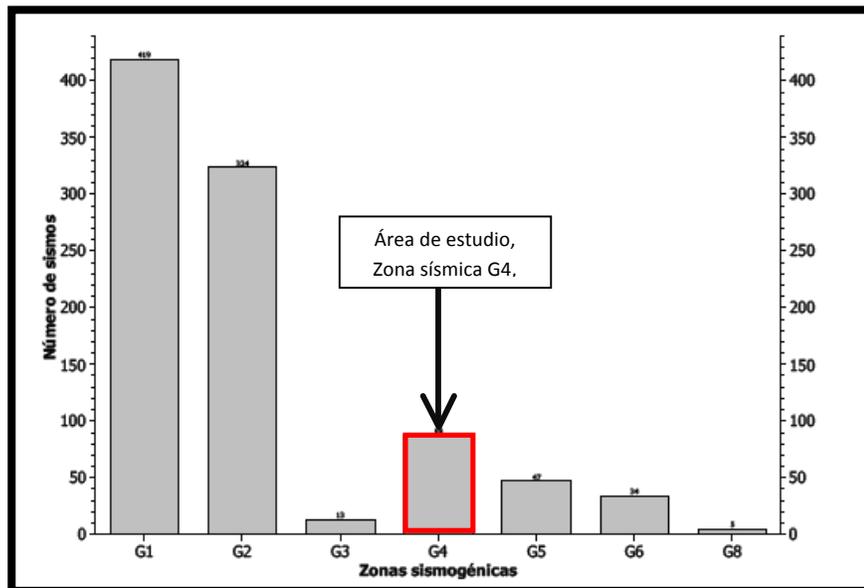
En concordancia con la descripción, se registró actividad importante en el departamento de Santa Rosa durante el 2011, una actividad sísmica denominada de tipo enjambre, la actividad en esta zona se ha atribuido a una ramificación importante de la falla de Jalpatagua, estando dentro de una fuente sísmica activa.

FIGURA 22 SISMOS LOCALES Y ZONIFICACIÓN SIMOGENETICA UTILIZADA



Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, Boletín Sismológico (INSIVUMEH). 2012

FIGURA 23 NUMERO DE SISMOS POR ZONAS SIMOGENETICAS AÑO 2011

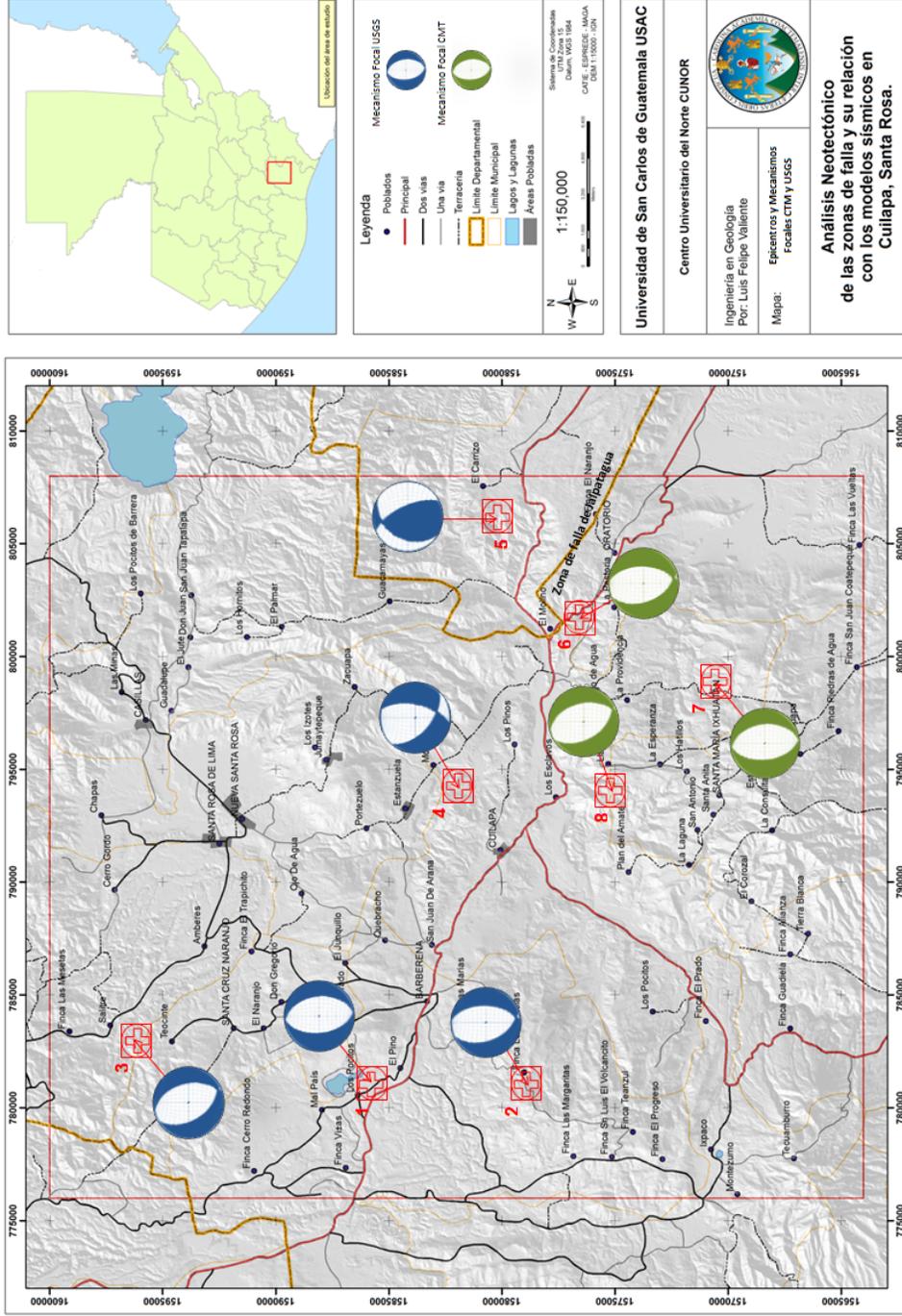


Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, Boletín Sismológico (INSIVUMEH). 2012

La determinación del mecanismo focal de un sismo contribuye considerablemente al entendimiento del comportamiento tectónico de la zona de generación, actualmente se tienen soluciones globales de tensión CTM (*Centroid Moment Tensor*) y USGS (*UnitedState Geological Survey*). Estos dos servicios geológicos generan la información de los sismos a nivel mundial, la metodología utilizada por estos centros de investigación está basada en el uso de periodos largos para determinar las características que ocurrieron durante el proceso de ruptura, además brinda el valor de la energía liberada, la dirección de ruptura, el buzamiento y la dirección del movimiento (*Rake*). En base a las agencias sísmicas mencionadas anteriormente, se obtuvieron los mecanismos focales para los eventos presentados durante Septiembre de 2011 en Cuilapa Santa Rosa, de magnitudes Mw 3,8, 3,6 y 4,2 respectivamente.

En el siguiente mapa se muestran las ubicaciones de los principales epicentros con magnitudes mayores a Mw 3,0, con los mecanismos focales de los eventos sísmicos del 2011 en los alrededores de Cuilapa, Santa Rosa. Monitoreados por las agencias USGS y CMT.

MAPA 3 EPICENTROS DE PRINCIPALES EVENTOS SISMICOS EN LOS ALREDEDORES DE CUILAPA, 2011



Fuente: Investigación de campo. 2014

Con la información de las agencias USGS Y CMT se generaron los mecanismos focales, conteniendo la información del epicentro, dirección, buzamiento y sentido.

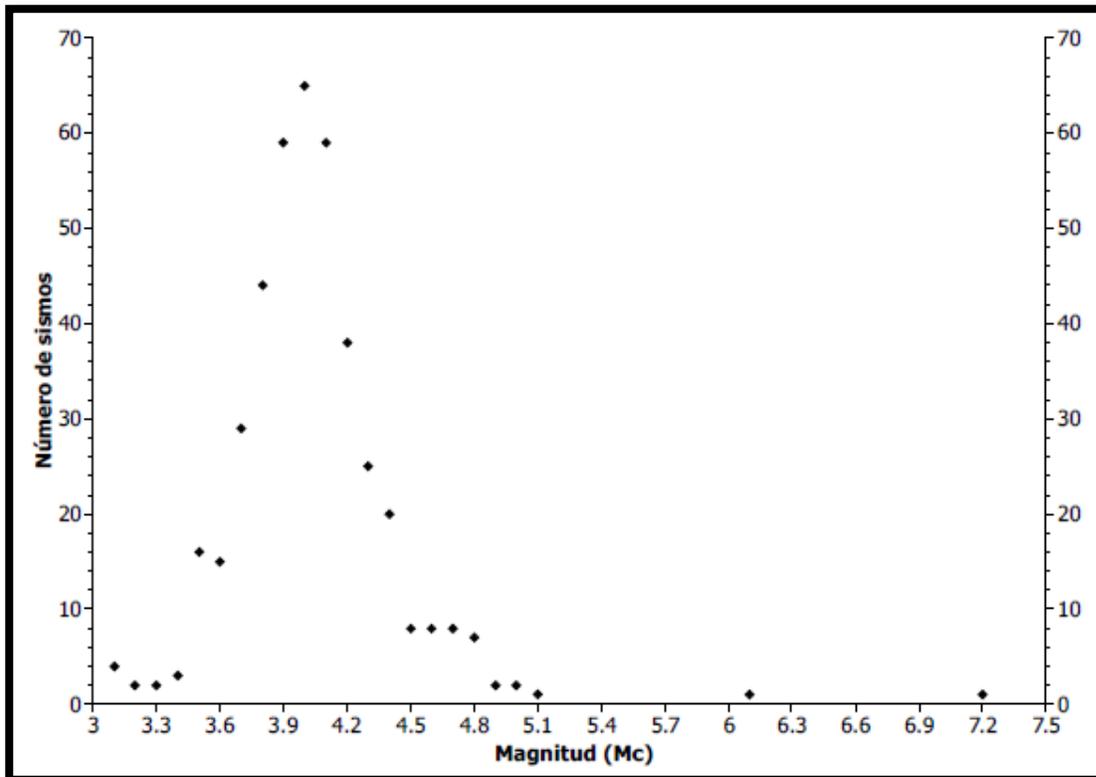
TABLA 8
MECANISMOS FOCALES, USGS Y CMT

MECANISMOS FOCALES GENERADOS CON INFORMACIÓN DE AGENCIAS USGS Y CMT									
Agencia	Latitud	Longitud	Tipo de estructura	No. De Plano	Rumbo	Buzamiento	Rake		
EVENTO 2 011	USGS	14.32	-90.4	FALLA INVERSA	1	157	45	19NE	
	USGS	14.32	-90.4		2	2	48	8NW	
	USGS	14.26	-90.4	FALLA NORMAL	1	351	42	2NE	
	USGS	14.26	-90.4		2	173	49	02SW	
	USGS	14.42	-90.38	FALLA NORMAL	1	346	44	14SW	
	USGS	14.42	-90.38		2	147	47	13NE	
	USGS	14.29	-90.28	FALLA NORMAL	1	131	54	41NW	
	USGS	14.29	-90.28		2	13	58	44NE	
	USGS	14.273	-90.173	FALLA INVERSA	1	209	37	43NE	
	USGS	14.273	-90.173		2	336	66	30NE	
EVENTO 2 011	CTM	14.24	-90.21	FALLA NORMAL	1	157	45	19SW	
	CTM	14.24	-90.21		2	2	48	8NW	
	CTM	14.19	-90.24	FALLA NORMAL	1	351	42	02SW	
	CTM	14.19	-90.24		2	173	49	01NE	
	CTM	14.23	-90.28	FALLA NORMAL	1	346	44	14NW	
	CTM	14.23	-90.28		2	147	47	13SE	

Fuente: Investigación de campo. 2014

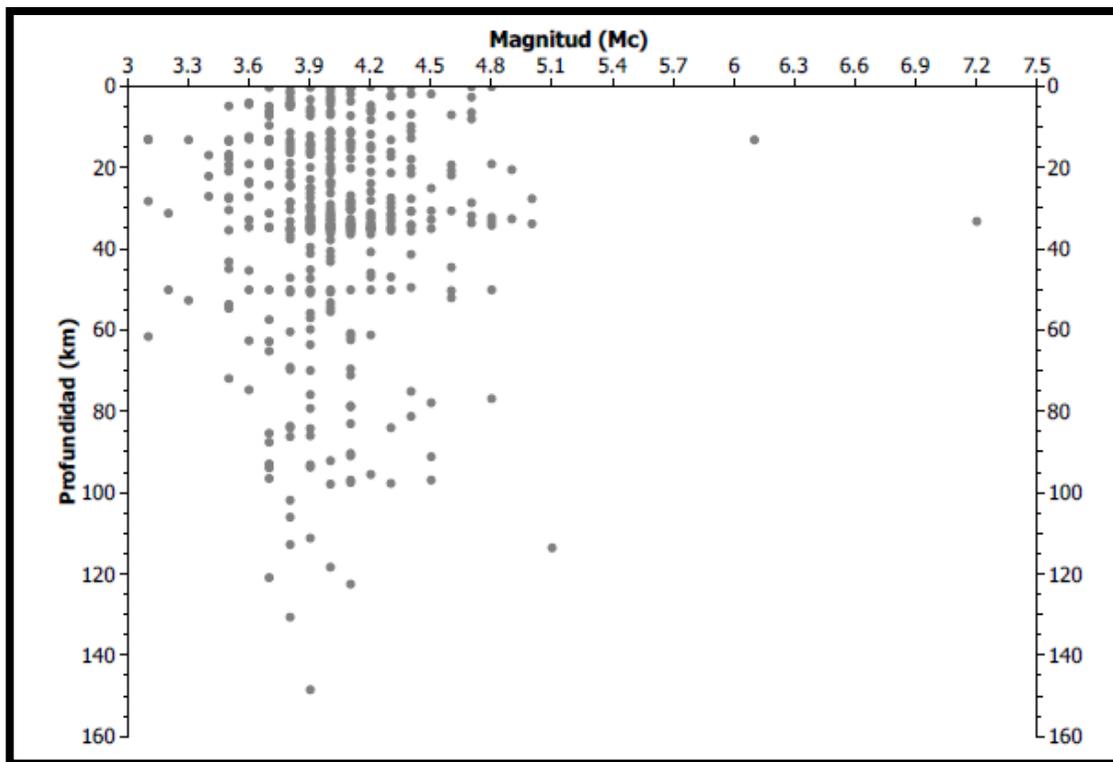
En las figuras 24 y 25, se detallan el número de eventos por magnitud sísmica y profundidad de los alrededores de Cuilapa Santa Rosa.

FIGURA 24
NÚMERO DE SISMOS POR MAGNITUD DURANTE EL AÑO 2011



Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, Boletín Sismológico (INSIVUMEH). 2012

FIGURA 25
NÚMERO DE SÍSMOS POR MAGNITUD Y PROFUNDIDAD



Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, Boletín Sismológico (INSIVUMEH). 2012

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 Generalidades

En los estudios sismológicos se calculan los parámetros que definen la fuente a partir de los desplazamientos del suelo registrado en las estaciones sísmicas. Para conocer las características de la fuente, las fuerzas que actúan en ella y el medio que recorren las ondas sísmicas, es necesario utilizar simplificaciones relacionadas con el modelo de tierra supuesto y con las dimensiones del foco.

La investigación realizada en los alrededores del municipio de Cuilapa Santa Rosa, para representar las fuerzas que actúan en los focos sísmicos, se utilizaron los modelo de fuerzas equivalentes en el que se acepta que los desplazamientos en la superficie terrestre son idénticos a los que tienen lugar en la fuente sísmica. Comparando los modelos de esfuerzos generados por el centro de investigación sísmica de la Universidad de Harvard (CMT) y modelos generados por el Servicio Geológico de los Estados Unidos USGS con los modelos de esfuerzos o zonas de presión y distensión locales y regionales.

Regionalmente se analizaron los patrones preferenciales de los lineamientos y se asociaron a modelos de deformación regionales.

Los datos obtenidos en campo fueron divididos en familias de fallas, según la orientación preferencial de esfuerzos en cada una de las estaciones por medio del método de diedros rectos (Angelier y Mechler, 1976).

Luego de tener divididas las familias de fallas, se asociaron a modelos de deformación regional, en este caso a la zona de falla de Jalpatagua y zona de distensión o zona de grabens de Guatemala. Los distintos estereogramas se representaron sobre mapas geológicos y contrastados con los modelos de deformación antes mencionados y dando una breve descripción de la litología en la que se identifican las principales fallas asociadas.

La información de los mecanismos focales generada por las agencias sismológicas USGS y CMT fue analizada de igual forma que las estructuras locales tomadas en campo, asociando los sistemas de compresión y distensión a sistemas de deformación regional.

El último paso del análisis estructural en el trabajo de investigación, consistió en asociar los mecanismos focales generados por las agencias USGS y CMT y los datos de campo analizados mediante el método de diedros rectos (Angelier y Mechler, 1976), dividiéndolos y contrastándolos con los sistemas regionales de deformación. Teniendo divididos y contrastados los datos de campo mediante diedros rectos y los mecanismos focales, se procede a realizar la interpretación de las fallas que actualmente se encuentran activas, asociando los eventos de deformación a modelos estructurales y teorías planteadas por diversos autores.

3.2 Análisis estructural regional

El análisis de lineamientos mediante rosetas descrito en el capítulo II, se evidencian tres patrones preferenciales, siendo estos N-S, N330 y N60

Los patrones preferenciales en el área de estudio se asociaron a un sistema de deformación perteneciente a la zona de falla de Jalpatagua con movimiento dextral y una zona de distensión asociada a la zona de grabens de Guatemala.

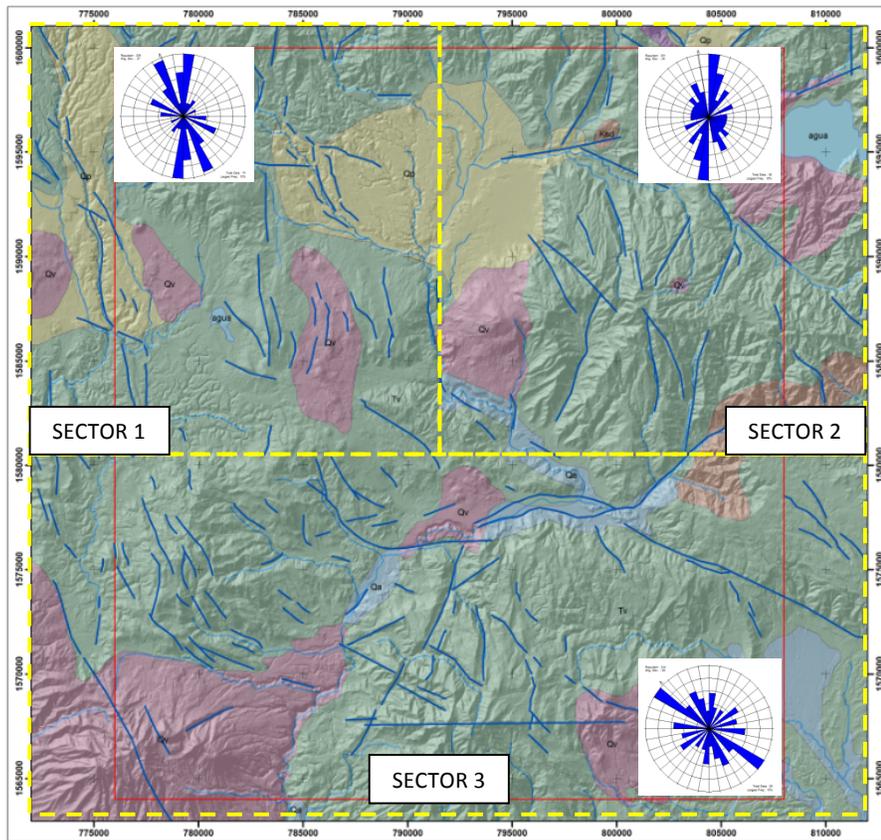
En el área de estudio localizan las siguientes fallas geológicas: La falla de Jalpatagua con una orientación N330 de movimiento dextral. Un sistema de fallas transversales de orientación N45 preferencialmente con movimiento sinextral según el modelo de deformación propuesto.

Otra estructura geológica sobresaliente identificada en el área de estudio lo conforma una serie de conos cineríticos alineados con orientación N295W paralelos a la falla de Jalpatagua que atraviesa la ciudad de Cuilapa.

Los lineamientos con una tendencia N-S, se asocian a la zona de grabens de Guatemala, una zona regional que viene de Oeste a Este,

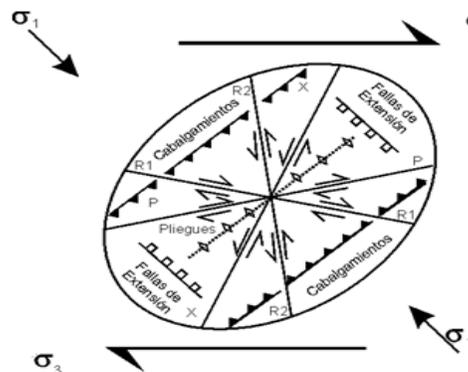
A continuación se muestra el mapa de lineamiento con diagramas de rosa mostrando la dirección preferencial de esfuerzos que afectan el área y asociados a los modelos de falla de Jalpatagua y Zona de grabens de Guatemala.

MAPA 4 LINEAMIENTOS Y ORIENTACION PREFERENCIAL CON ROSETAS



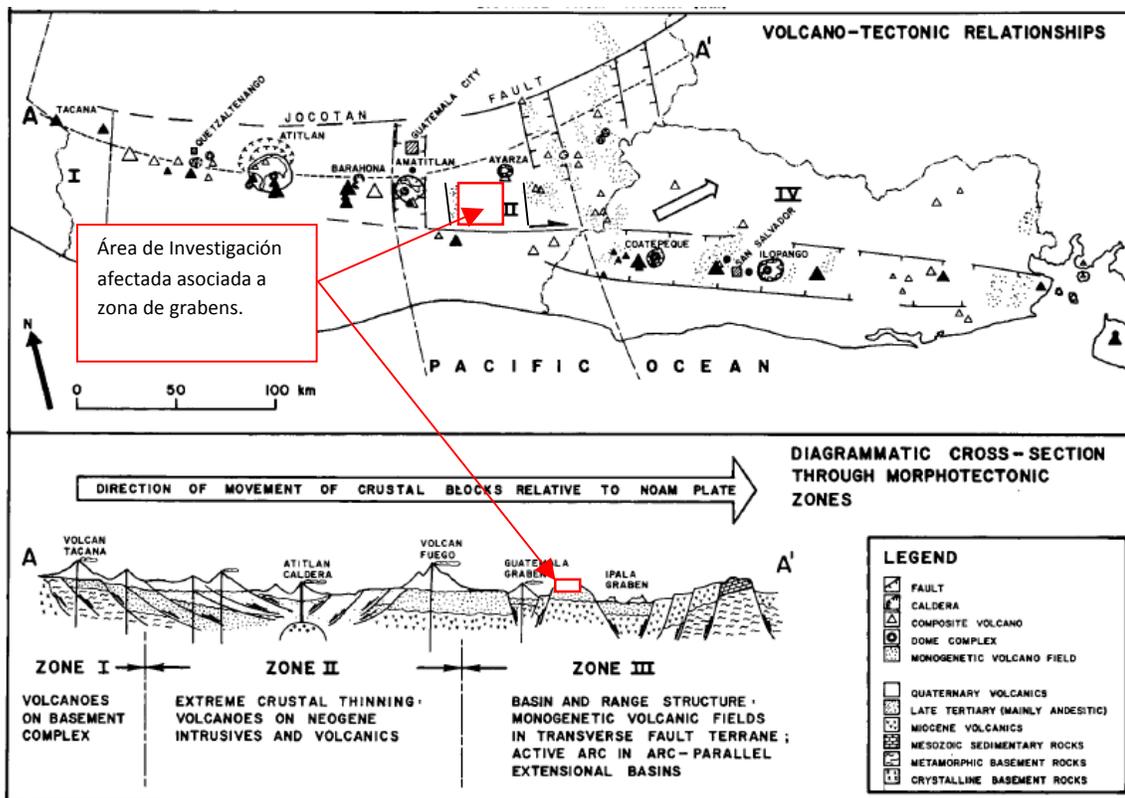
Fuente: Investigación de campo. 2014

FIGURA 26 MODELO DE ELIPSE DE DEFORMACIÓN DEXTRAL, ASOCIADO A ZONA DE FALLA DE JALPATAGUA



Fuente: Modificación de imagen de C. W. Passchier & R.S.J Trow. 1980

FIGURA 27 RELACIÓN TECTÓNICA CON LA ZONA DEL ARCO VOLCÁNICO EN EL SUR DE GUATEMALA



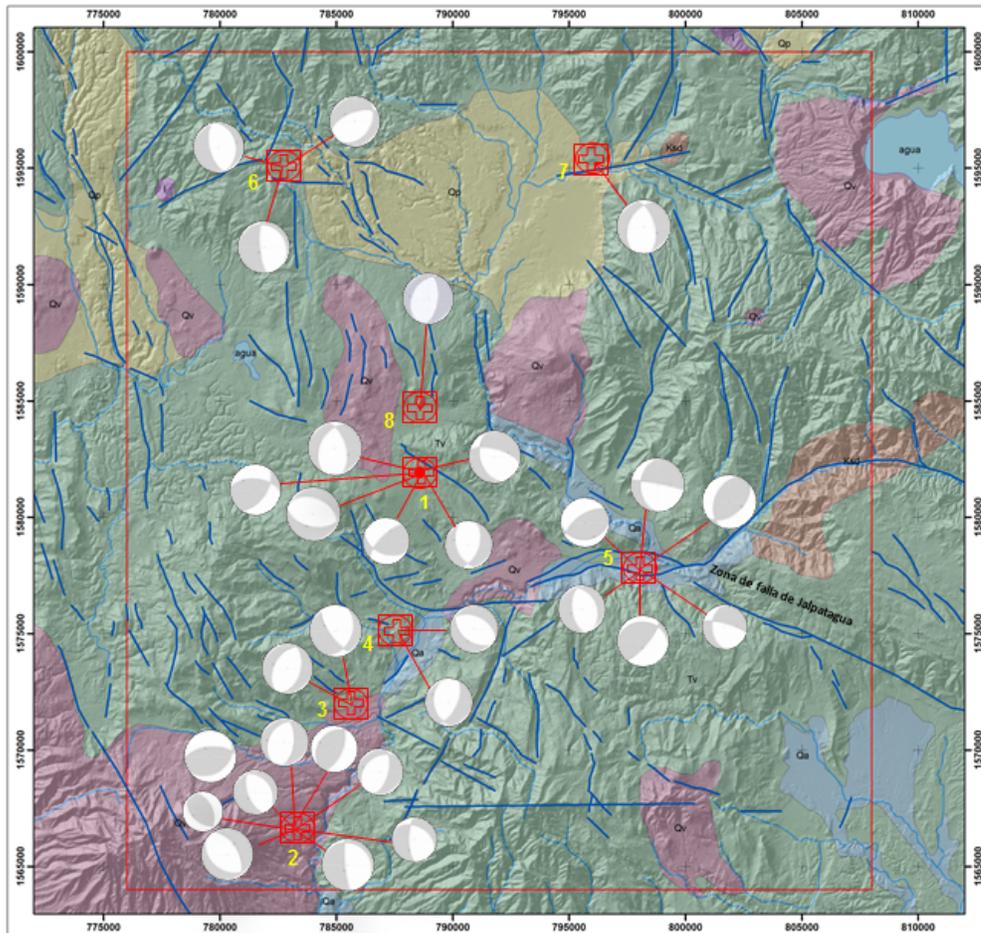
Fuente: Modificado de Bunkart B. Extension and rotation of crustal blocks in northern Central America and effect on the volcanic arc. 1990

3.3 Análisis estructural local

El análisis estructural local se realizó por medio del método de Angelier y Mechler (1976), denominado método de los diedros rectos. Se analizaron las familias de fallas y clasificándolas como fallas normales y fallas inversa, dividiendo las familias según la orientación de los esfuerzos compresivos y la distensión que provocan.

En el mapa 5 se muestra los datos de campo con su ubicación analizando las familias de fallas principales por medio de diedros rectos.

MAPA 5 ESTEREOGRAMAS DE ESTRUCTURAS PRINCIPALES POR MEDIO DE MÉTODO DE DIEDROS RECTOS (ANGELIER Y MECHLER, 1976)



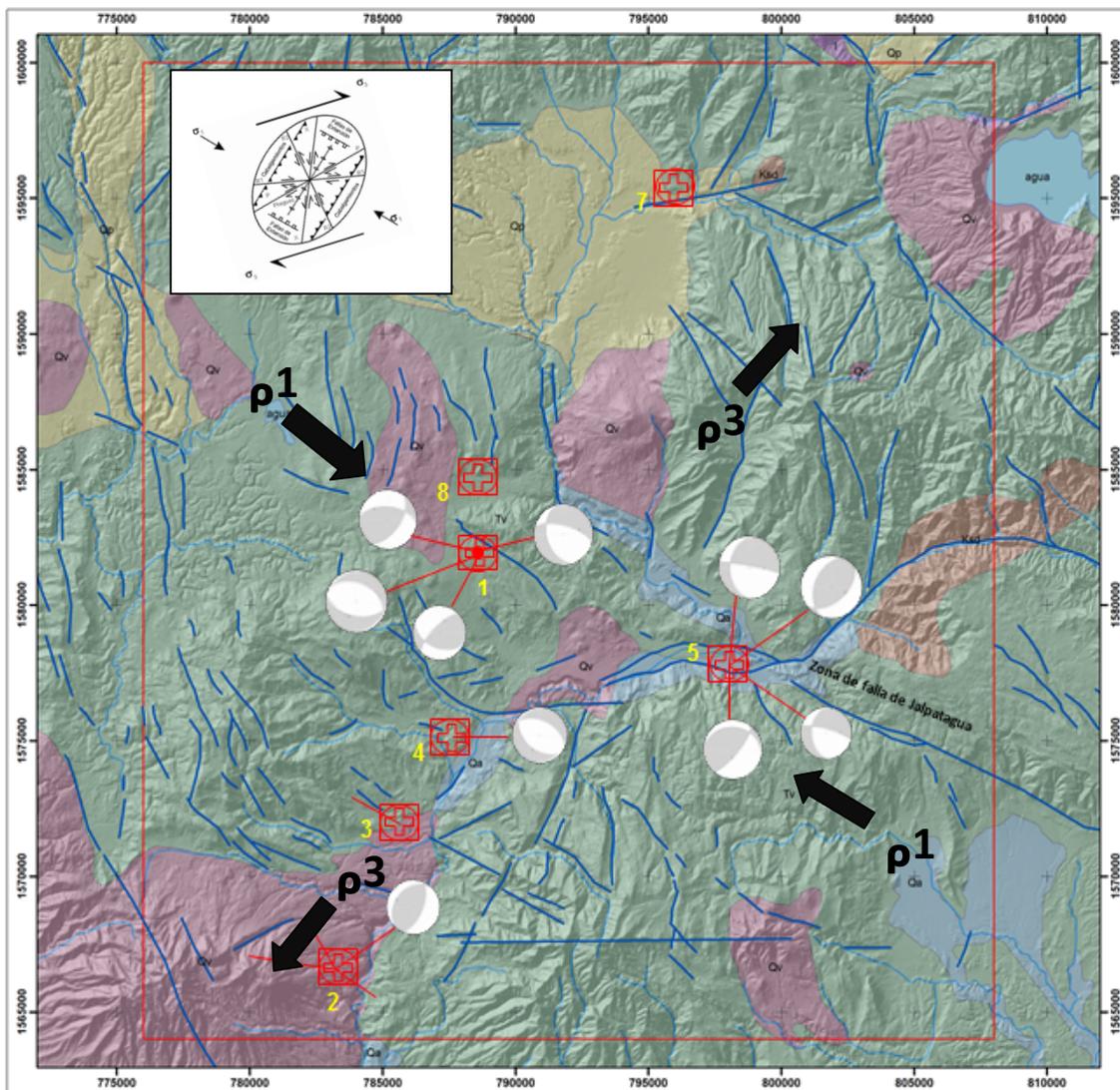
Fuente: Investigación de campo. 2014

Los datos de las diferentes estructuras obtenidas en la fase de campo, contrastan con dos modelos regionales, un modelo con elipse de deformación con movimiento dextral (falla de Jalpatagua) y el modelo de zonas de distensión E-O, perteneciente a la zona de grabens.

Para esquematizar de mejor manera el resultado de los estereogramas, se dividieron y acomodaron de acuerdo a modelo regional asociado.

En el mapa 6, se muestran los datos de campo por medio de diedros rectos, asociados al sistema de falla de Jalpatagua.

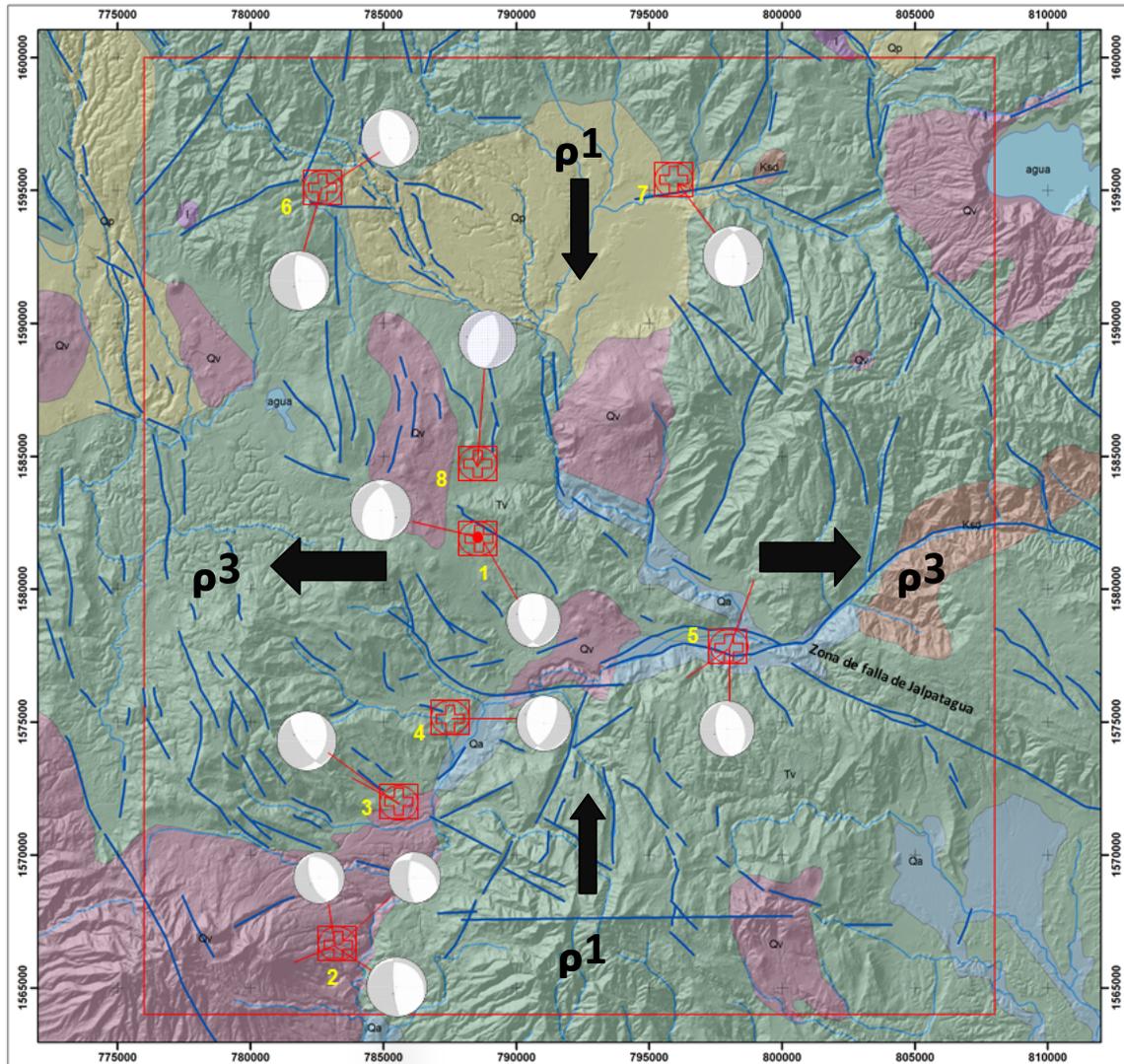
MAPA 6
ESTEREOGRAMAS DE ESTRUCTURAS ASOCIADA CON EL SISTEMA DE
FALLA JALATAGUA, POR MEDIO DE MÉTODO DE DIEDROS RECTOS
(ANGELIER Y MECHLER, 1976)



Fuente: Investigación de campo. 2014

En el mapa 7. Se muestran los datos de campo por medio de diedros rectos, asociados al sistema de distensión o denominada por varios autores como la zona grabens de Guatemala.

MAPA 7
ESTEREOGRAMAS DE ESTRUCTURAS ASOCIADA CON EL
SISTEMA DE GRABENS DE GUATEMALA, POR MEDIO DE
MÉTODO DE DIEDROS RECTOS (ANGELIER Y MECHLER, 1976)



Fuente: Investigación de campo. 2014

Los datos de campo fueron tomados en afloramientos expuestos en niveles de superiores según los objetivos de la investigación, enfocándose en sedimentos volcánicos relativamente recientes y en sedimentos aluviales, el criterio para tomar estos dato enfocados en sedimentos recientes es para poder interpretar los sistemas de esfuerzos de deformación activos que afectan el área de estudio, ya que en

sedimentos recientes se pueden apreciar de mejor manera y no confundirlos con sistemas de deformación antiguos o inactivos.

De acuerdo a Perez Bol, la litología en el área de estudio está asociada a unidades terciarias y cuaternarias del cuadrángulo de Cuilapa, principalmente el estudio se enfoca en los sedimentos volcánicos Ixhuatan y el Complejo de Cerro Gabia: “Volcánicos Ixhuatán: Santa María Ixhuatán, esquina SE del cuadrángulo Cuilapa, Complejo Cerro Gabia: Cerro Gabia, porción SW del cuadrángulo Cuilapa”.⁹

De estas se identificaron principalmente las unidades del terciario más jóvenes, andesitas erosionadas probablemente sin dividir y también se identificaron unidades del cuaternario como algunos basaltos sin dividir (Qbl), aluvión (Qal), así como una formación de conos cineríticos (Qcc). (Figura 3).

Los datos de fallas medidos en campo asociados al sistema de fallas de Jalpatagua según el análisis con la metodología de diedros rectos, se midieron principalmente en andesitas y basaltos, las andesitas están asociadas al vulcanismo del terciario característico del cinturón volcánico al sur de Guatemala y los basaltos asociados a rocas más jóvenes del cuaternario pertenecientes a coladas de lavas de una diversidad de conos cineríticos propios de los alrededores de Cuilapa Santa Rosa.

“Las andesitas terciarias sin dividir pertenecen a flujos masivos y algunas fueron emplazadas por extrusiones viscosas a lo largo de fisuras, las cuales no fluyeron sino que formaron pequeñas colinas angostas. En el campo no se pueden diferenciar coladas individuales, solo quedan paquetes aislados por lo que se presume que la mayor parte de la unidad se ha erosionado.”¹⁰

⁹Pérez Bol. Édgar Rolando. *Léxico estratigráfico del bloque Chortí en Guatemala*. Cobán 2000. 8.

¹⁰Ibíd., 89.

Siempre citando a Pérez Bol y en concordancia a lo observado en la etapa de campo se identificaron tobas, basaltos, brechas y cenizas volcánicas, se asociaron los primeros con la unidad de andesitas, basaltos y brechas a las que hace alusión Pérez, estos fueron los que dominaron en extensión territorial el área de estudio y se caracterizaron por flujos andesíticos y basálticos de color gris oscuro de granos finos separados por una franja estrecha de brecha.

En el área de Ixhutatán al SE del cuadrángulo de Cuilapa se observaron una serie de cenizas y lava volcánica que de acuerdo a Pérez Bol se citan sus principales características:

“Volcánicos Ixhutatán: las lavas y piroclastos Ixhutatán están característicamente sin diaclasamiento y exhiben superficies superiores relativamente frescas, vesiculares y de flujo en bloques. Parecen buzarse alejándose del centro emisor, localizado en el cerro los achiotos en la parte NW del cuadrángulo Moyuta. Está compuesta de flujos de lava básica de hasta 3 m de espesor y esta interestratificados con materiales piroclásticos y lahar de hasta 10 m de espesor. La composición de la mayoría de las lavas es andesítica aunque también se encontraron dos flujos de basalto”.¹¹

Entre las cenizas observadas al tope de los afloramientos en la etapa de campo, fueron medidos en su mayoría un sistema de fallas normales con una orientación preferencial Norte-Sur, estas fallas fueron asociadas a una zona de distensión relativamente joven según varios autores, donde hay una zona de relajación debido a la interacción de dos sistemas de fallas, sistema de falla del motagua con orientación Este-Oeste (movimientos sinistral) y a un sistema de falla más joven que es el sistema de fallas de Jalpatagua (movimiento dextral) con una orientación N330, la interacción de estas dos zonas de falla forma lo que se conoce como zona de grabens de Guatemala.

¹¹ Pérez Bol. Édgar Rolando. *Léxico estratigráfico del bloque Chortí en Guatemala*. Cobán 2000. 90.

3.4 Análisis de mecanismos focales generados por la agencias USGS y CMT

El análisis de los mecanismos focales generados por las agencias sismológicas USGS Y CMT, fue realizada ploteando los epicentros de los sismos del evento del 2011 en Cuilapa Santa Rosa, luego se generaron los mecanismos focales mediante la información de la dirección de compresión y distensión,

La dirección preferencial de esfuerzos de compresión de los mecanismos focales es norte sur y la dirección preferencial de distensión es Este-Oeste, solamente en el lado oeste del rio Los Esclavos presenta un sistema de compresión este-oeste y una distensión norte-sur.

La dirección de esfuerzos compresivos se interpreta como una zona de relajación o zona de distensión asociada a la zona de grabens de Guatemala.

3.5 Contraste de mecanismos focales generados por la agencias USGS y CMT con los datos de campo analizados con diedros rectos (Angelier y Mechler, 1987)

De acuerdo a los objetivos de la investigación, enfocados en la interpretación de los principales esfuerzos de deformación que provocan la sismicidad en los alrededores de Cuilapa, en base a los resultados de la dirección de compresión de los mecanismos focales de los epicentros detectados por la agencias USGS y CMT y los resultados de la interpretación de esfuerzos principales analizados por medio del método de diedros rectos (Angelier y Mechler, 1987) con datos de campo, principalmente fallas en depósitos volcánicos recientes, se realiza un contraste de los estereogramas y así interpretar y asociar los esfuerzos predominante.

Los resultados de datos tomados en campo como en los resultados de los mecanismos focales, se puede observar el patrón de compresión N-S, asociados en ambos métodos a la zona de distensión de grabens de Guatemala.

Los datos de campo que presentan el patrón compresivo N-S, está asociado a rocas volcánicas del cuaternario principalmente y los esfuerzos de compresión de los mecanismo focales están asociados a eventos con una profundidad menor a veinticinco kilómetros

En el mapa 9, se muestran los epicentros del evento ocurrido en Cuilapa con su respectivo mecanismo focal y los estereogramas analizados con diedros rectos de datos tomados en campo, ambos asociados a la zona de grabens de Guatemala con una orientación N-S.

3.6 Interpretación de resultados

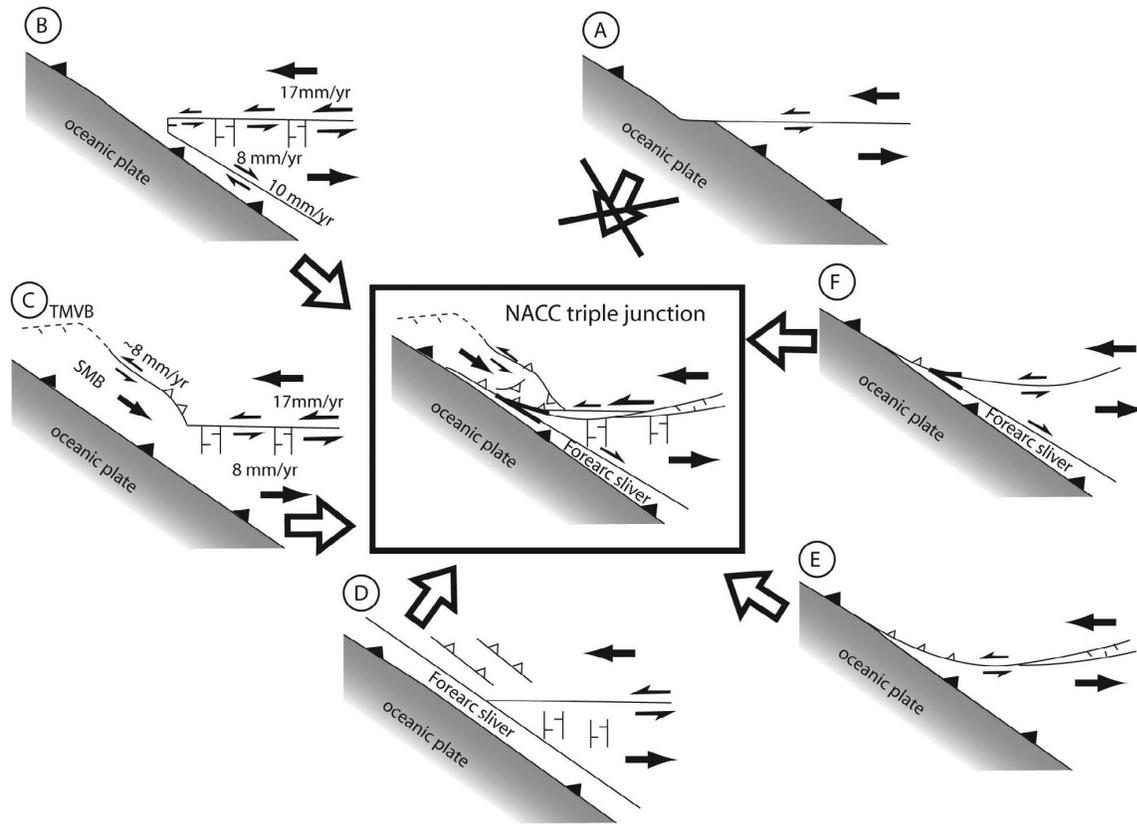
Como resultado del análisis de datos de campo y la información de la USGS Y CMT, el sistema de fallas activo asociado a los eventos sísmicos durante el mes de Septiembre de 2011 se relaciona con dos modelos geológicos.

El primer modelo asociado pertenece a la triple conjunción de fallas o estructura de zipper, donde la unión de la falla Motagua (movimiento sinistral E-O) con la falla Jalpatagua (movimiento dextral N330) y la zona de subducción, provoca una zona de distensión o relajación N-S.

Esta zona de distensión se asocia a un sistema de fallas normales con orientaciones cercanas a N-S, también asociadas a la zona de grabens en el centro de Guatemala e Impala.

En la figura 28 está representado el modelo de la triple conjunción de fallas y las zonas de grabens que provocan la distensión al unirse las fallas antes mencionadas.

FIGURA 28
MODELO DE LA TRIPLE UNIÓN DE FALLAS DENOMINADO
MODELO DE CREMALLERAS O ZIPPER

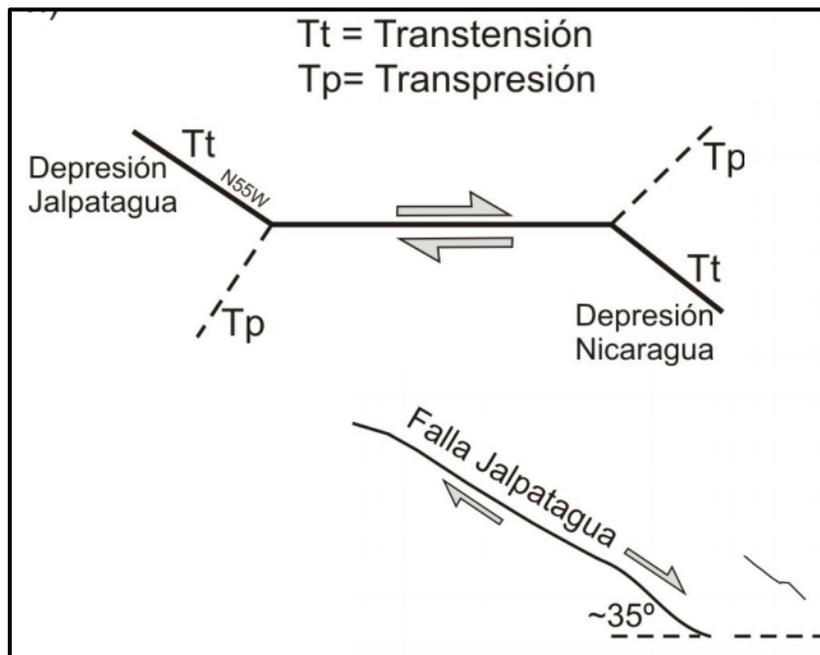


Fuente: C. Authemayou, G. Brocard, C. Teyssier, T. Simon-Labric, A. Gutiérrez, E. N. Chiquín, y S. Morán (2011). *The Caribbean–North America–Cocos Triple Junction and the dynamics of the Polochic Motagua fault systems: Pull-up and zipper models.*

El segundo modelo geológico propuesto que se relaciona a las estructuras con tendencia de orientación N-S, pertenece a una zona de tranpresión producto de la zona de transtensión provocada por la zona de cizalla de la falla de Jalpatagua y la zona de cizalla E-O relacionada a la depresión de Nicaragua E. Según Moran S. (2014), La zona de transtensión del cizallamiento tanto dextral como sinistral, da como resultado estructuras denominadas echelon. En la figura 29 se muestra el

modelo teórico de cómo actúan las zonas de transtensión formando zonas de transpresión.

FIGURA 29
MECANISMO PARA EL DESARROLLO DE FALLAS
TRANSTENSIVAS BAJO INFLUENCIA DEL CIZALLAMIENTO
E-O, TANTO SINISTRAL COMO DEXTRAL



Fuente: *Caracterización geométrica y cinemática del Rift del Sureste de Guatemala: Redefinición del Graben de Ipala*. 2014

CONCLUSIONES

General

Los modelos de esfuerzos neotectónicos generados mediante el método de diedros rectos, con datos de campo en rocas y sedimentos volcánicos del cuaternario, están relacionados a un sistema de fallas transpresionales con orientación N350 y N10 (N-S), el sistema de fallas tomadas en campo coinciden con la misma orientación (N-S) de modelos de mecanismos focales generados por la USGS Y CMT durante los eventos sísmicos ocurridos durante el mes de septiembre de 2011.

Específicas

1. Los lineamientos y fallas a los que se atribuye al evento sísmico ocurrido en los alrededores de Cuilapa Santa Rosa durante septiembre de 2011, presentan una orientación N10 y N350, afectados por esfuerzos con orientación N335 relacionado al mismo sistema de la falla de Jalpatagua.
2. La mayoría de datos tomados durante la etapa de campo se midieron en rellenos volcánicos y ceniza (Qp) y conglomerados (Qa), las estructuras como fallas y fracturas, están relacionadas a la orientación de esfuerzos mediante mecanismos focales generados por la USGS y CMT durante el evento sísmico en los alrededores de Cuilapa, Santa Rosa, y los datos medidos en rocas volcánicas como coladas de lava basáltica y andesítica (Tv), se relacionan a esfuerzos provocados por la zona de falla de Jalpatagua.

3. De acuerdo a la orientación de esfuerzos activos mediante los datos de campo analizados con el método de diedros rectos y los mecanismos focales generados por la USGS y CMT se establecen dos modelos geológicos que se asocian a estructuras geológicas activas o sistemas neotectónicos, descartando la influencia de la zona de falla Jocotan Chameleco, el primer modelo asociado a la triple conjunción de fallas como lo es la zona de subducción, zona de falla del Motagua y la zona de falla de Jalpatagua, la unión de las fallas antes mencionadas provoca una zona de relajación relacionada a la zona de grabens N-S y asociadas así a las estructuras activas en los alrededores de Cuilapa, Santa Rosa. El segundo modelo geológico se asocia a la zona de transtensión entre las zonas de cizalla sinistral relacionada a la depresión de Nicaragua y a la zona de cizalla dextral relacionada a la zona de falla de Jalpatagua, la conjunción de estas zonas de cizalla provoca la formación de zonas de transpresión o fallas en echelon con una orientación N-S, así mismo relacionadas con el sistema sísmico activo durante los sismos de septiembre del año 2011.

RECOMENDACIONES

1. En futuras investigaciones y eventos sísmicos se recomienda asociar la información geológica de rocas cuaternarias con datos de actividades sísmicas con profundidades menores a 25 Km, ya que a esta profundidad existe mayor amenaza de algún desastre porque las ondas de propagación afecta con más fuerza las superficie.
2. Delimitar zonas potencialmente en peligro durante un sismo, debido a que los sistemas estructurales que afectan principalmente al cuadrángulo de Cuilapa, Santa Rosa, hacen vulnerable a la población durante la ocurrencia de movimientos sísmicos.
3. Ejecutar planes y programas de seguridad estructural de edificaciones y obras de infraestructura para la república de Guatemala AGIES NSE 2.1, con todos los estándares de seguridad en la cimentación de viviendas, ya que la mayoría de casas o edificios colapsados durante el evento sísmico ocurrido en los alrededores de Cuilapa, Santa Rosa, fueron obras antiguas y de materiales poco resistentes como el adobe.

BIBLIOGRAFÍA

- Authemayou C. *The Caribbean-North America-Cocos Triple Junction and the dynamics of the Polochic-Motagua fault systems: Pull up and zipper models*. United State of America: American Geophysical Union, 2 011.
- Carr, Michael J. *Underthrusting and Quaternary Faulting in Northern Central America* Department of Geology Rutgers College. New Jersey
http://www.geo.mtu.edu/volcanoes/06upgrade/Seismicity_Rudiger/carr_underthrusting_and_faulting (10 de septiembre de 2 012).
- Donnelly, Thomas, Et.Al. *Northern Central America. The Maya and Chortis Blocks*. United States of America: The Geological Society of America, 1 990.
- Dziewonski and Anderson. *Preliminary earth reference model*. Guatemala: Instituto Geográfico Nacional, 1 981.
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología -INSIVUMEH-. *Análisis de la sismicidad local por zonas sismogénicas en Guatemala*. Guatemala: Unidad de Investigación y Servicios Geofísicos, 2 012.
- Moran Ical, Sergio David. *Caracterización geométrica y cinemática del rift del sureste de Guatemala. Redefinición del graben de Ipala*. Centro Universitario del Norte- Universidad de San Carlos de Guatemala. Cobán, Alta Verapaz, Guatemala: Carrera de Geología, 2 014.
- *Mecanismos Focales para Guatemala*. Centro Universitario del Norte- Universidad de San Carlos de Guatemala. Cobán, Alta Verapaz, Guatemala: Carrera de Geología, 2 009.
- Muñoz, Martin A. y Vicente G. *Análisis de esfuerzos tectónicos fallas y sismo*. Madrid, España: Facultad de Geología, 2 010.
- Ortega-Gutiérrez, Et.Al. *The Maya-Chortís Boundary: a Tectonostratigraphic Approach*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2 007.

Pérez Bol, Édgar Rolando. *Léxico Estratigráfico del Bloque Chortí en Guatemala*. Tesis ingeniero geólogo. Centro Universitario del Norte- Universidad de San Carlos de Guatemala. Cobán, Alta Verapaz, Guatemala: Carrera de Geología, 2 008.



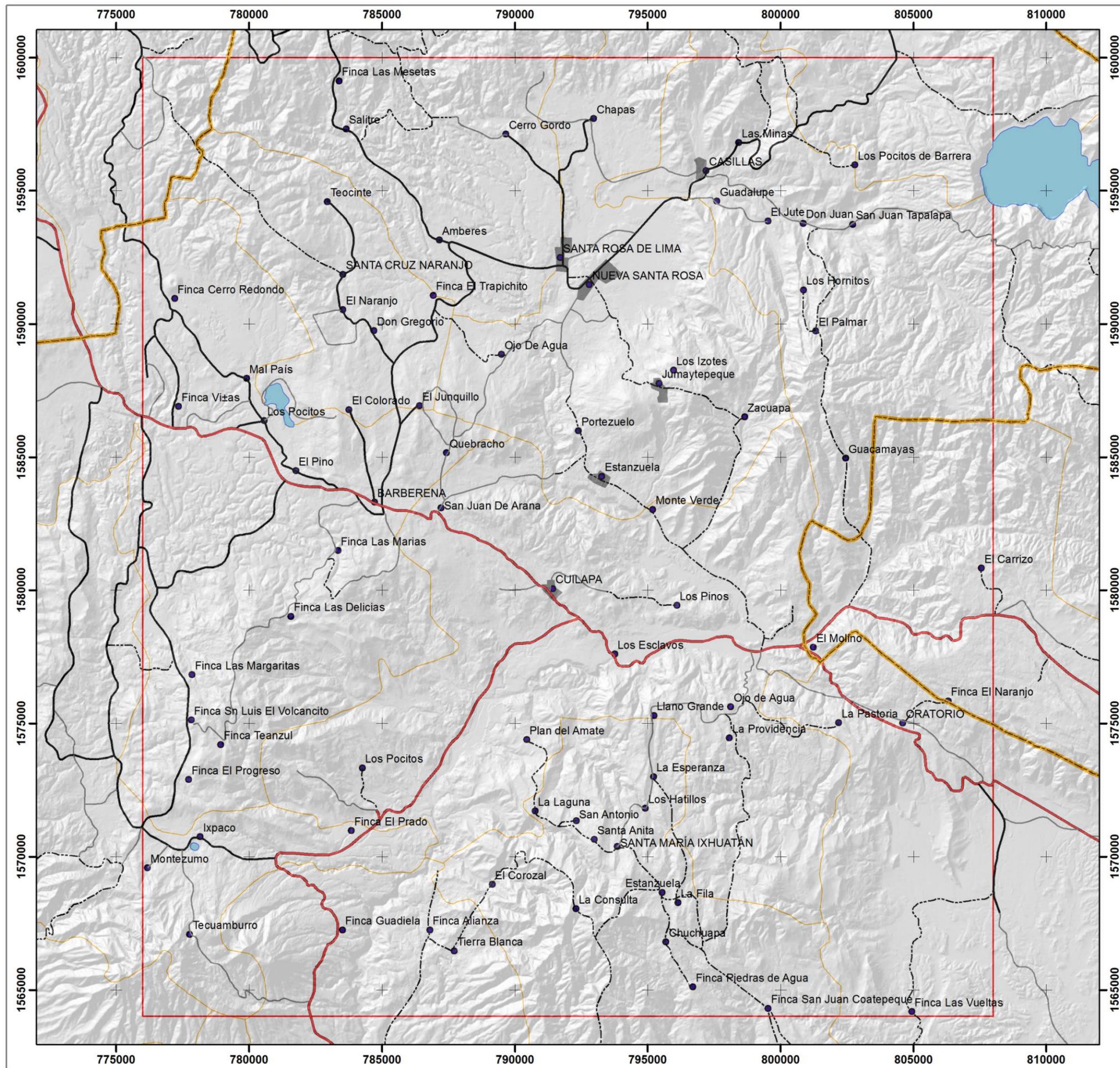
V.ºB.º

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Adán García Véliz', written over a horizontal line.

Adán García Véliz
Licenciado en Pedagogía e Investigación
Bibliotecario



ANEXOS



Leyenda

- Poblados
- Principal
- Dos vías
- Una vía
- - - Terracería
- ▭ Límite Departamental
- ▭ Límite Municipal
- Lagos y Lagunas
- Áreas Pobladas

1:150,000
 0 800 1,600 3,200 4,800 6,400 Meters

Sistema de Coordenadas
 UTM Zona 15
 Datum, WGS 1984
 CATIE - ESPREDE - MAGA
 DEM 1:15000 - IGN

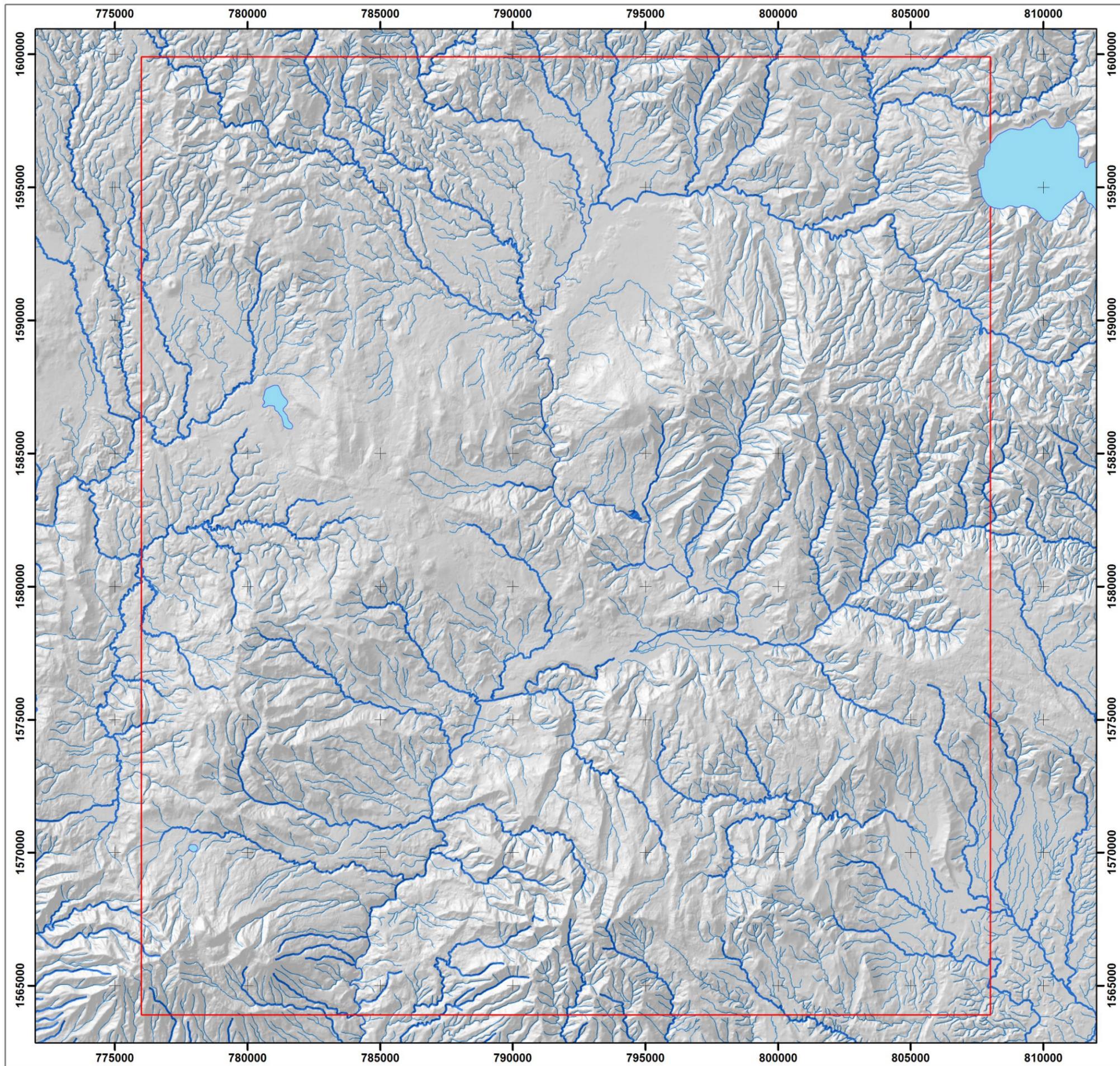
Universidad de San Carlos de Guatemala USAC

Centro Universitario del Norte CUNOR

Carrera de Geología
 Por: Luis Felipe Valiente

Mapa:
 ACCESOS Y POBLADOS

Análisis Neotectónico de las zonas de falla y su relación con los modelos sísmicos en Cuilapa, Santa Rosa.



Leyenda

- Cuerpos de Agua
- Área de estudio
- Permanente
- Intermittente
- Efímera


1:150,000
Sistema de Coordenadas
UTM Zona 15
Datum, WGS 1984

0 800 1,600 3,200 4,800 6,400
Meters

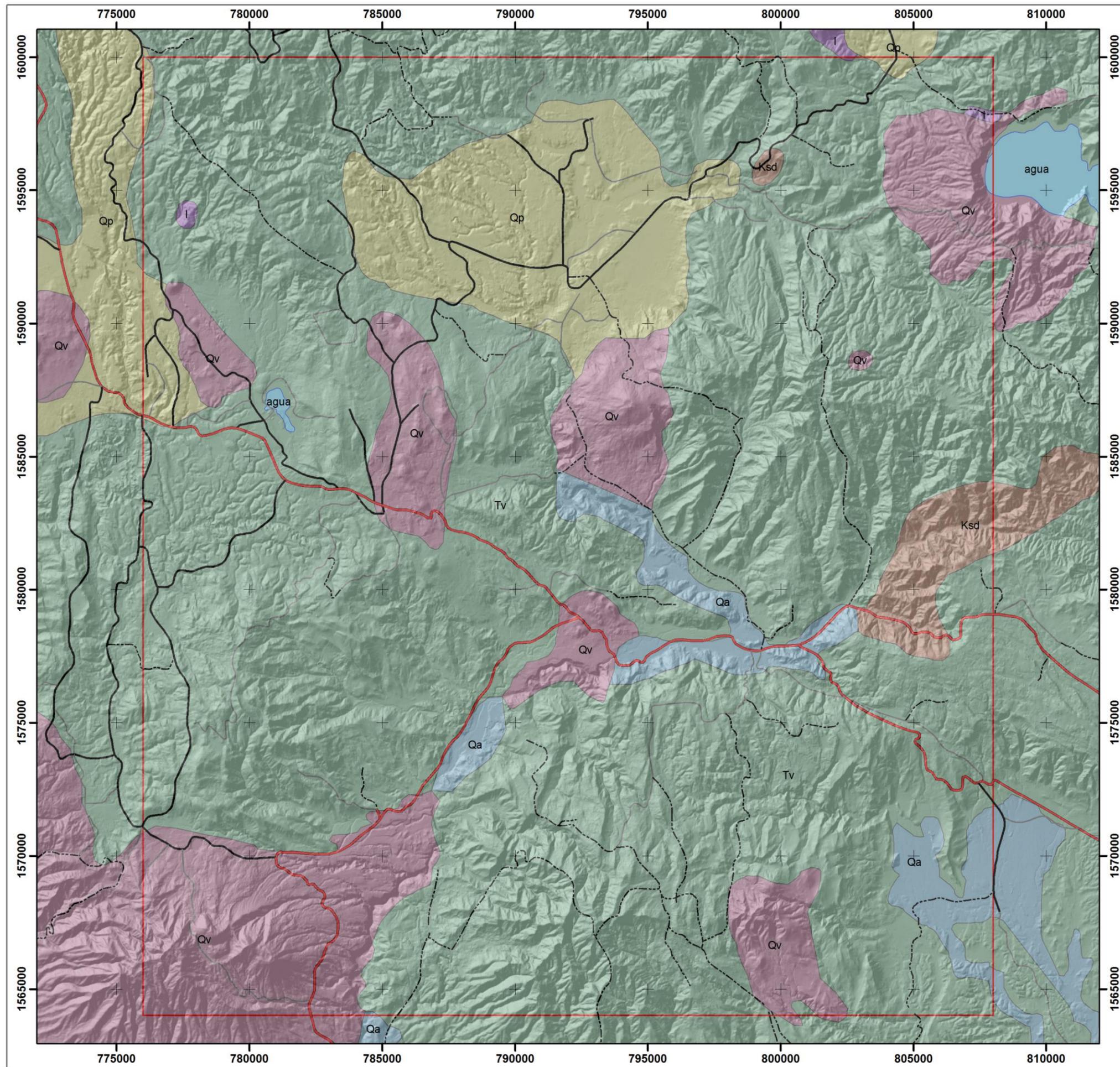
CATIE - ESPREDE - MAGA
DEM 1:15000 - IGN

Universidad de San Carlos de Guatemala USAC

Centro Universitario del Norte CUNOR

Carrera de Geología Por: Luis Felipe Valiente	
Mapa: RED HIDROGRÁFICA	

**Análisis Neotectónico
de las zonas de falla y su relación
con los modelos sísmicos en
Cuilapa, Santa Rosa.**



Leyenda

- Área de estudio
- I - Rocas plutónicas sin dividir. Incluye granitos y dioritas de edad pre-Pérmico, Cretácico y Terciario
- Ksd - Carbonatos Neocomiano-Camapanianos. Incluye Cobán, Ixcay, Campur, Sierra Madre y Grupo Yojoa
- Qa - Aluviones cuaternarios
- Qp - Rellenos y cubiertas gruesas de cenizas pómez de origen diverso
- Qv - Rocas volcánicas. Incluye coladas de lava, material lahárico, tobas y edificios volcánicos
- Tv - Rocas volcánicas sin dividir. Predominantemente Mio-Plioceno. Incluye tobas, coladas de lava, material lahárico, y sedimentos volcánicos
- Lagos y Lagunas

Carreteras

- Principal
- Dos vías
- Una vía
- Terracería


1:150,000

Sistema de Coordenadas
 UTM Zona 15
 Datum, WGS 1984
 CATIE - ESPREDE - MAGA
 DEM 1:15000 - IGN

Universidad de San Carlos de Guatemala USAC

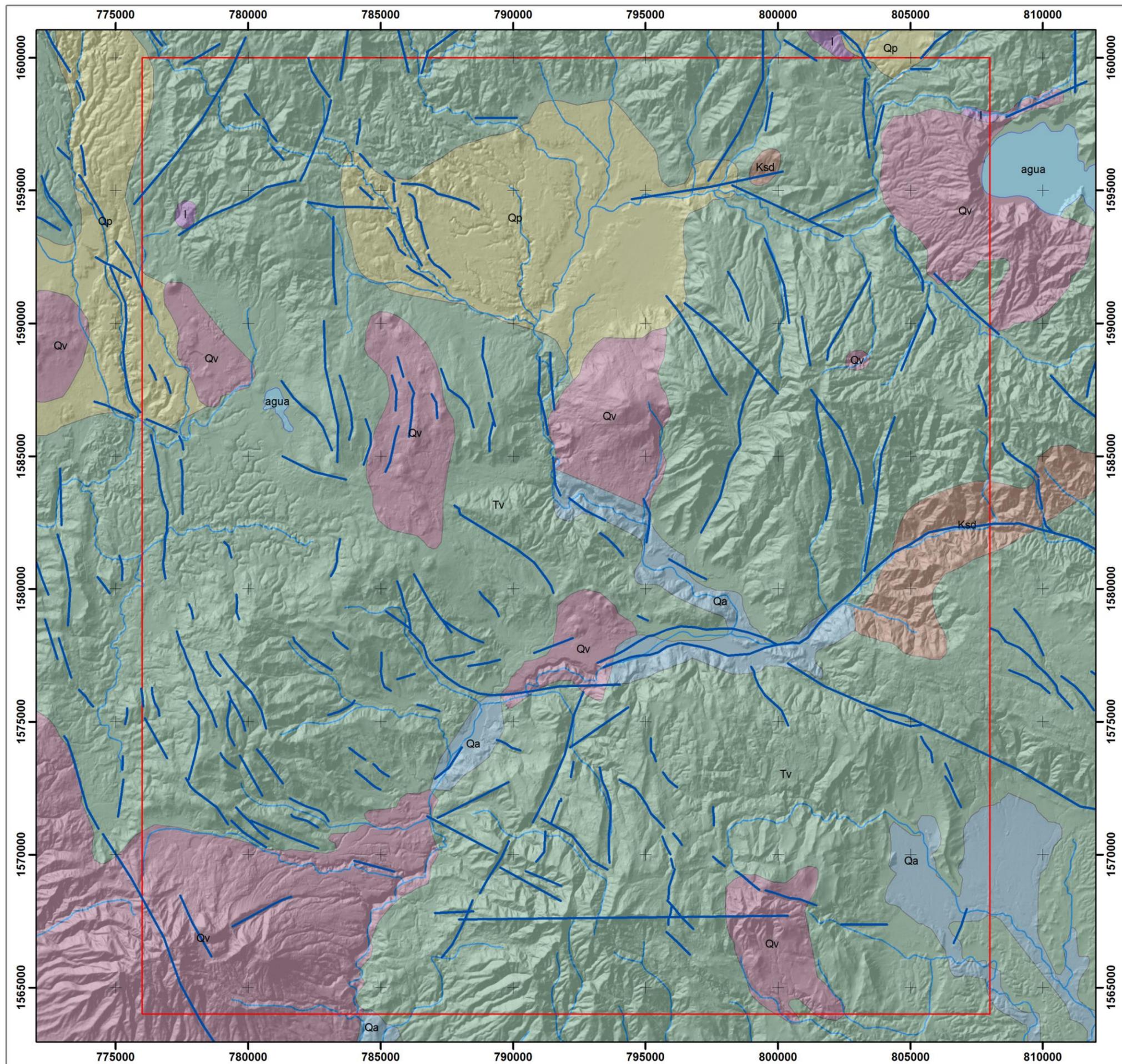
Centro Universitario del Norte CUNOR

Carrera de Geología
 Por: Luis Felipe Valiente

Mapa:
 GEOLOGICO Y ACCESOS



**Análisis Neotectónico
 de las zonas de falla y su relación
 con los modelos sísmicos en
 Cuilapa, Santa Rosa.**



Legenda

- ▭ Área de estudio
- I - Rocas plutónicas sin dividir. Incluye granitos y dioritas de edad pre-Pérmico, Cretácico y Terciario
- Ksd - Carbonatos Neocomiano-Camapanianos. Incluye Cobán, Ixcoy, Campur, Sierra Madre y Grupo Yojoa
- Qa - Aluviones cuaternarios
- Qp - Rellenos y cubiertas gruesas de cenizas pómez de origen diverso
- Qv - Rocas volcánicas. Incluye coladas de lava, material lahárico, tobas y edificios volcánicos
- Tv - Rocas volcánicas sin dividir. Predominantemente Mio-Plioceno. Incluye tobas, coladas de lava, material lahárico, y sedimentos volcánicos
- Lagos y Lagunas
- Lineamientos

1:150,000
Sistema de Coordenadas
UTM Zona 15
Datum, WGS 1984

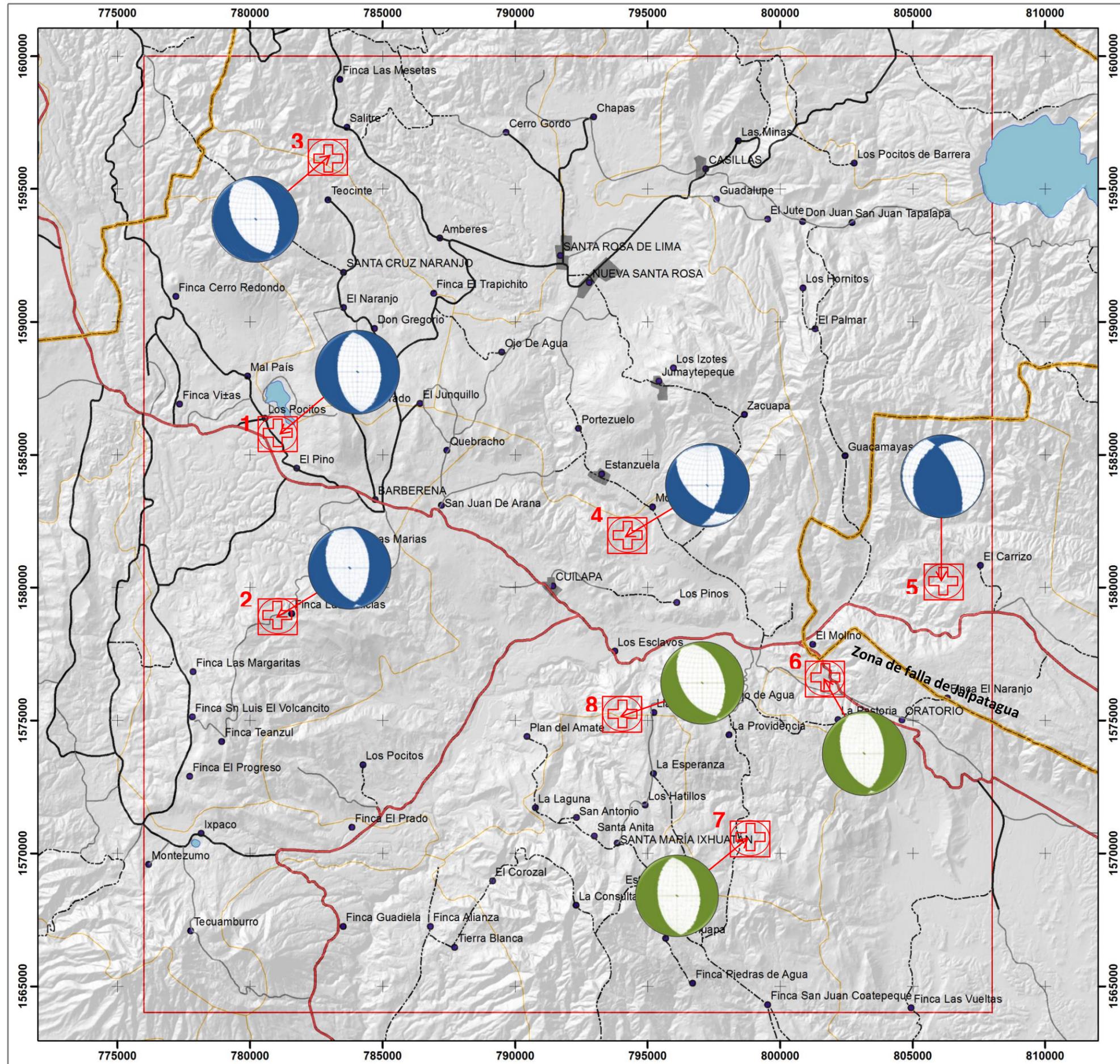
CATIE - ESPREDE - MAGA
DEM 1:15000 - IGN

Universidad de San Carlos de Guatemala USAC

Centro Universitario del Norte CUNOR

Carrera de Geología Por: Luis Felipe Valiente	
Mapa: GEOLOGICO Y LINEAMIENTOS	

Análisis Neotectónico de las zonas de falla y su relación con los modelos sísmicos en Cuilapa, Santa Rosa.



Leyenda

- Poblados
- Principal
- Dos vías
- Una vía
- - - Terracería
- ▭ Límite Departamental
- ▭ Límite Municipal
- Lagos y Lagunas
- Áreas Pobladas

Mecanismo Focal USGS

Mecanismo Focal CMT

W N E S

1:150,000

0 800 1,600 3,200 4,800 6,400 Meters

Sistema de Coordenadas
UTM Zona 15
Datum, WGS 1984

CATIE - ESPREDE - MAGA
DEM 1:15000 - IGN

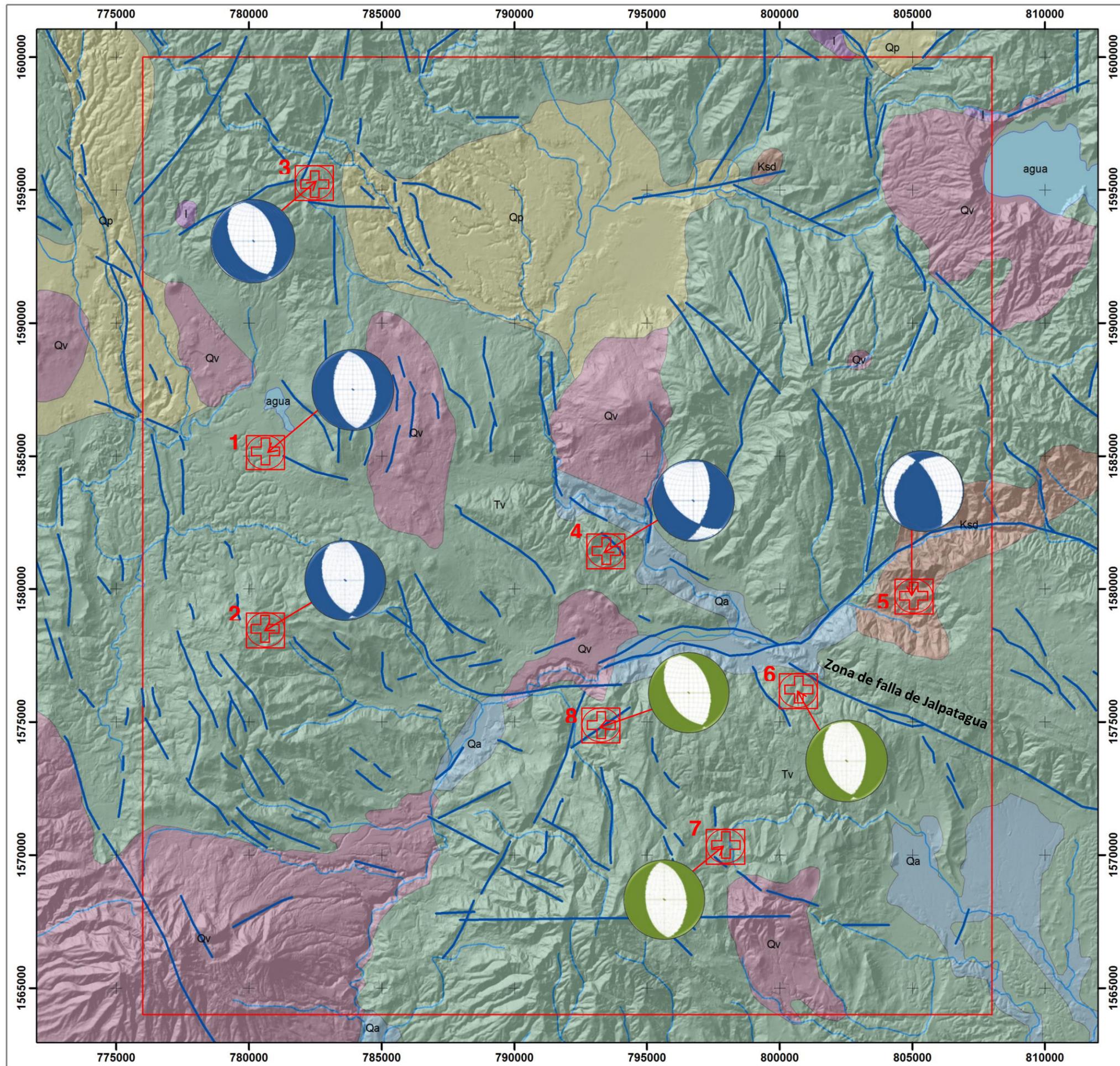
Universidad de San Carlos de Guatemala USAC

Centro Universitario del Norte CUNOR

Carrera de Geología
Por: Luis Felipe Valiente

Mapa: **Epicentros y Mecanismos Focales CTM y USGS**

Análisis Neotectónico de las zonas de falla y su relación con los modelos sísmicos en Cuilapa, Santa Rosa.



Leyenda

Área de estudio	Mecanismo Focal USGS
I - Rocas plutónicas sin dividir. Incluye grani y dioritas de edad pre-Pérmico, Cretácico y Terciario	Mecanismo Focal CMT
Ksd - Carbonatos Neocomiano-Camapanianos. Incluye Cobán, Ixcay, Campur, Sierra Madre y Grupo Yojoa	
Qa - Aluviones cuaternarios	
Qv - Rellenos y cubiertas gruesas de ceniza: pómez de origen diverso	
Tv - Rocas volcánicas. Incluye coladas de lava, material lahárico, tobas y edificios volcánicos	
Tv - Rocas volcánicas sin dividir. Predominantemente Mio-Plioceno. Incluye tobas, coladas de lava, material lahárico, y sedimentos volcánicos	
Lagos y Lagunas	Lineamientos

Sistema de Coordenadas UTM Zona 15 Datum, WGS 1984
 Escala: 1:150,000
 CATIE - ESPREDE - MAGA DEM 1:15000 - IGN

Universidad de San Carlos de Guatemala USAC

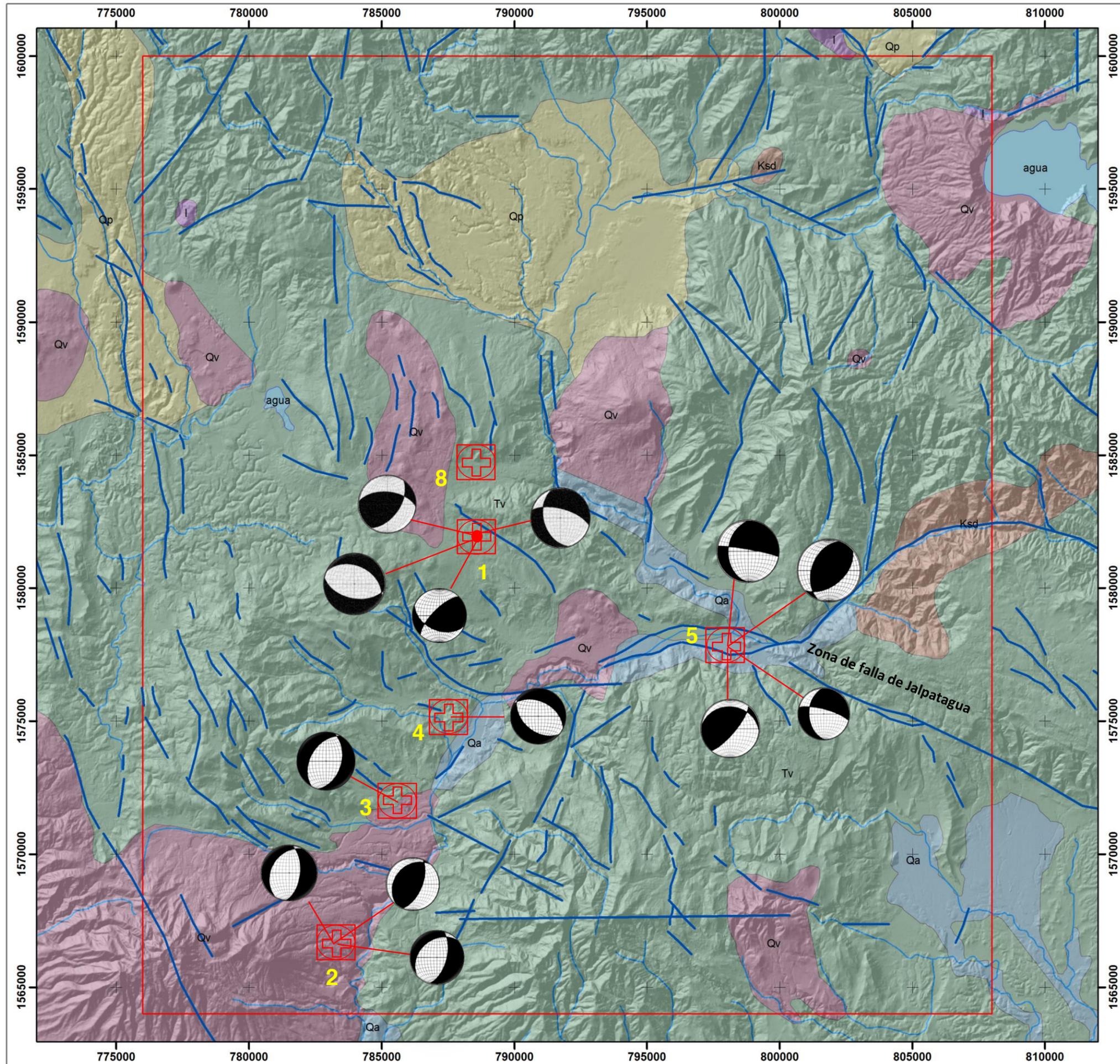
Centro Universitario del Norte CUNOR

Carrera de Geología
Por: Luis Felipe Valiente

Mapa:
Mecanismos Focales CTM y USGS



Análisis Neotectónico de las zonas de falla y su relación con los modelos sísmicos en Cuilapa, Santa Rosa.



Legenda

- Área de estudio
- I - Rocas plutónicas sin dividir. Incluye granitos y dioritas de edad pre-Pérmico, Cretácico y Terciario
- Ksd - Carbonatos Neocomiano-Camapanianos. Incluye Cobán, Ixcay, Campur, Sierra Madre y Grupo Yojoa
- Qa - Aluviones cuaternarios
- Qp - Rellenos y cubiertas gruesas de cenizas pómez de origen diverso
- Qv - Rocas volcánicas. Incluye coladas de lava, material lahárico, tobas y edificios volcánicos
- Tv - Rocas volcánicas sin dividir. Predominantemente Mio-Plioceno. Incluye tobas, coladas de lava, material lahárico, y sedimentos volcánicos
- Lagos y Lagunas
- Lineamientos

Sistema de Coordenadas
 UTM Zona 15
 Datum, WGS 1984
 CATIE - ESPREDE - MAGA
 DEM 1:15000 - IGN

1:150,000
 0 800 1,600 3,200 4,800 6,400
 Meters

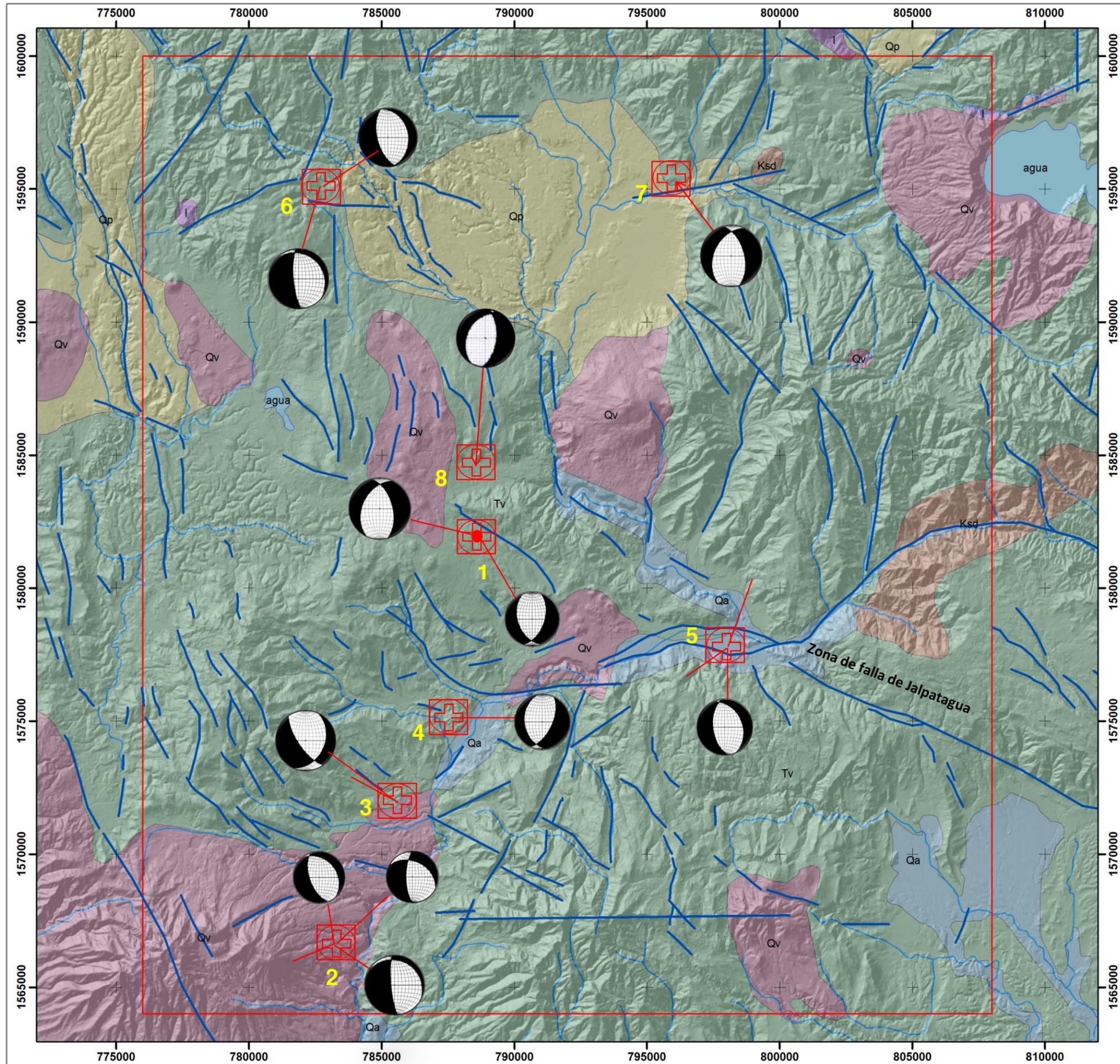
Universidad de San Carlos de Guatemala USAC

Centro Universitario del Norte CUNOR

Carrera de Geología
 Por: Luis Felipe Valiente

Mapa:
 Mecanismos Focales, Fallas Antiguas

Análisis Neotectónico de las zonas de falla y su relación con los modelos sísmicos en Cuilapa, Santa Rosa.



Leyenda

- Área de estudio
- I - Rocas plutónicas sin dividir. Incluye granitos y dioritas de edad pre-Pérmico, Cretácico y Terciario
- Ksd - Carbonatos Neocomiano-Camapanianos. Incluye Cobán, Ixcay, Campur, Sierra Madre y Grupo Yojoa
- Qa - Aluviones cuaternarios
- Qp - Rellenos y cubiertas gruesas de cenizas pómez de origen diverso
- Qv - Rocas volcánicas. Incluye coladas de lava, material lahárico, tobas y edificios volcánicos
- Tv - Rocas volcánicas sin dividir. Predominantemente Mio-Plioceno. Incluye tobas, coladas de lava, material lahárico, y sedimentos volcánicos
- Lagos y Lagunas
- Lineamientos

Sistema de Coordenadas
 UTM Zona 15
 Datum, WGS 1984
 CATIE - ESPREDE - MAGA
 DEM 1:15000 - IGN

1:150,000
 0 800 1600 3200 4800 6400
 Meters

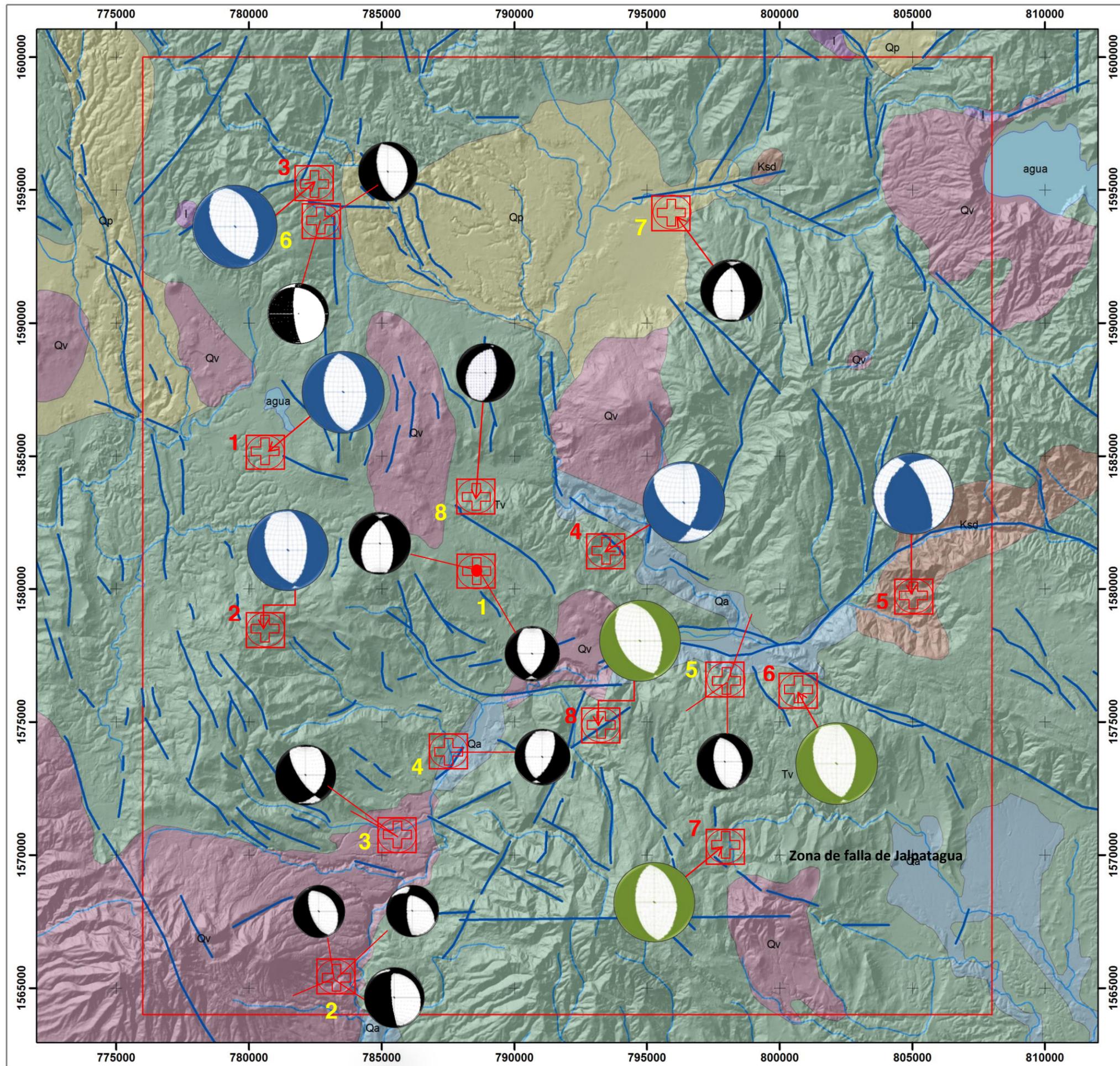
Universidad de San Carlos de Guatemala USAC

Centro Universitario del Norte CUNOR

Carrera de Geología
 Por: Luis Felipe Valiente

Mapa:
 Fallas Relacionadas con USGS y CTM

Análisis Neotectónico de las zonas de falla y su relación con los modelos sísmicos en Cuilapa, Santa Rosa.



Leyenda

- Área de estudio
- I - Rocas plutónicas sin dividir. Incluye granitos y dioritas de edad pre-Pérmico, Cretácico y Terciario
- Ksd - Carbonatos Neocomiano-Camapanianos. Incluye Cobán, Ixcay, Campur, Sierra Madre y Grupo Yojoa
- Qa - Aluviones cuaternarios
- Qp - Rellenos y cubiertas gruesas de cenizas pómez de origen diverso
- Qv - Rocas volcánicas. Incluye coladas de lava, material lahárico, tobas y edificios volcánicos
- Tv - Rocas volcánicas sin dividir. Predominante Mio-Plioceno. Incluye tobas, coladas de lava, material lahárico, y sedimentos volcánicos
- Lagos y Lagunas
- Lineamientos

Mecanismo Focal USGS

Mecanismo Focal CMT

Diedros Rectos

Sistema de Coordenadas
UTM Zona 15
Datum, WGS 1984
CATIE - ESPREDE - MAGA
DEM 1:15000 - IGN

Scale: 1:150,000
0 800 1,600 3,200 4,800 6,400 Meters

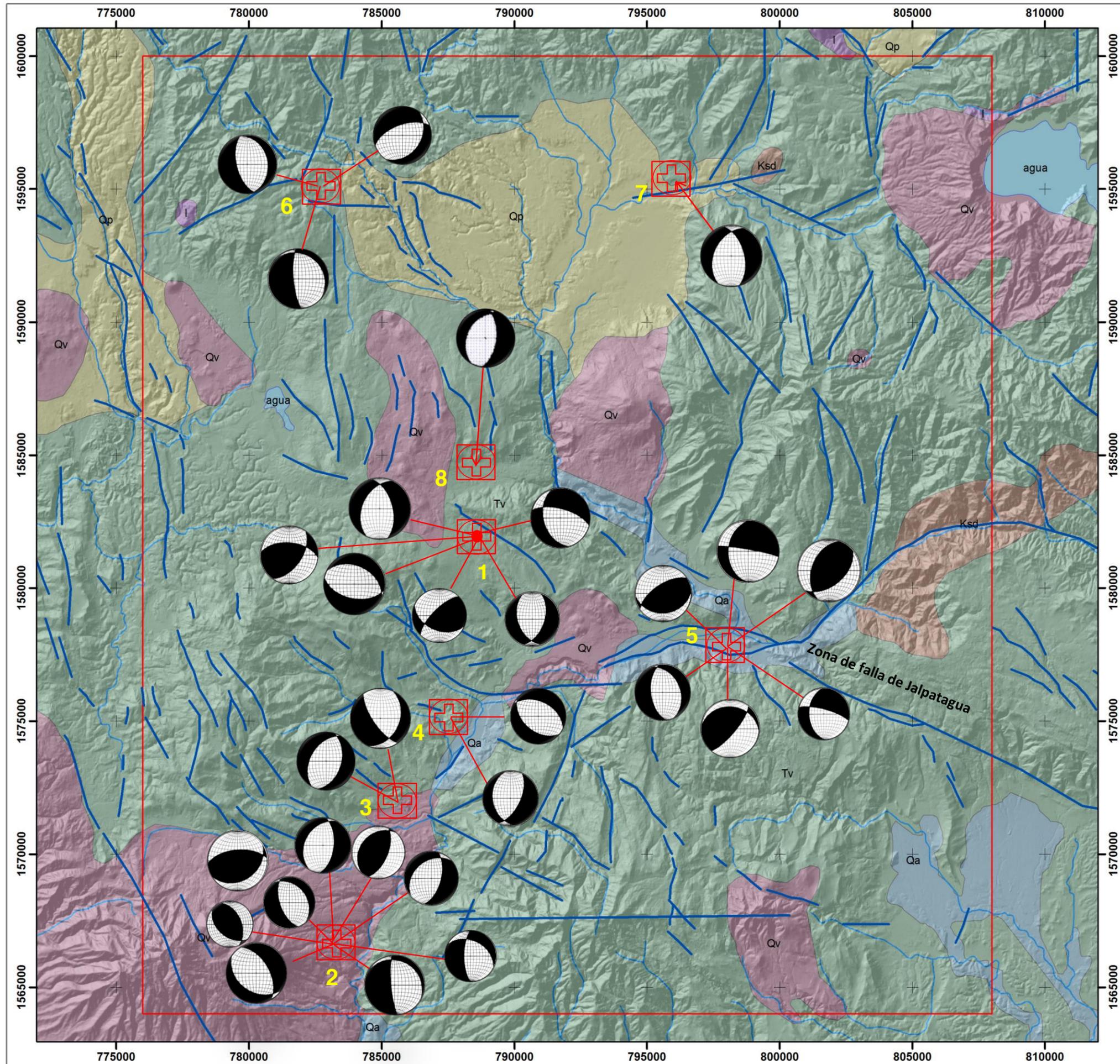
Universidad de San Carlos de Guatemala USAC

Centro Universitario del Norte CUNOR

Carrera de Geología
Por: Luis Felipe Valiente

Fallas Relacionadas con USGS y CTM

Análisis Neotectónico de las zonas de falla y su relación con los modelos sísmicos en Cuilapa, Santa Rosa.



Legenda

- Área de estudio
- I - Rocas plutónicas sin dividir. Incluye granitos y dioritas de edad pre-Pérmico, Cretácico y Terciario
- Ksd - Carbonatos Neocomiano-Camapanianos. Incluye Cobán, Ixcay, Campur, Sierra Madre y Grupo Yojoa
- Qa - Aluviones cuaternarios
- Qp - Rellenos y cubiertas gruesas de cenizas pómez de origen diverso
- Qv - Rocas volcánicas. Incluye coladas de lava, material lahárico, tobas y edificios volcánicos
- Tv - Rocas volcánicas sin dividir. Predominantemente Mio-Plioceno. Incluye tobas, coladas de lava, material lahárico, y sedimentos volcánicos
- Lagos y Lagunas
- Lineamientos

Sistema de Coordenadas
 UTM Zona 15
 Datum, WGS 1984
 CATIE - ESPREDE - MAGA
 DEM 1:15000 - IGN

1:150,000
 0 800 1600 3200 4800 6400
 Meters

Universidad de San Carlos de Guatemala USAC

Centro Universitario del Norte CUNOR

Carrera de Geología
 Por: Luis Felipe Valiente

Mapa:
 Mecanismos Focales en fallas sinsedimentaras

Análisis Neotectónico de las zonas de falla y su relación con los modelos sísmicos en Cuilapa, Santa Rosa.



CUNOR

CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE

Universidad de San Carlos de Guatemala



15067

El Director del Centro Universitario del Norte de la Universidad de San Carlos, luego de conocer el dictamen de la Comisión de Trabajos de Graduación de la carrera de:

Geología

Al trabajo titulado:

"Análisis neotectónico de las zonas de falla y su relación con los modelos sísmicos del evento de septiembre 2011, Cuilapa, Santa Rosa"

Presentado por el (la) estudiante:

Luis Felipe Valiente

Autoriza el

IMPRIMASE

"Id y enseñad a todos"


Lic. Zoot. M.A. ~~Fredy Giovanni Macz Choc~~
DIRECTOR



Cobán, Alta Verapaz julio del 2015