



Universidad Nacional Autónoma de México

PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS DE LA TIERRA
CENTRO DE GEOCIENCIAS

APLICACIÓN DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LA
DOCUMENTACIÓN DE FALLAS CUATERNARIAS EN MÉXICO

TESIS

QUE PARA OPTAR EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS DE LA TIERRA

PRESENTA:

GONZALO CID VILLEGAS

TUTOR PRINCIPAL

CARLOS MENDOZA (UNAM, Centro de Geociencias)

Miembros de Comité Tutor

Dr. Luca Ferrari Pedraglio (UNAM, Centro de Geociencias)

Dr. Jaime Jesús Carrera Hernández (UNAM, Centro de Geociencias)

Dra. María Ortuño Candela (Universitat de Barcelona)

Dr. Pierre Gilles Lacan (UNAM, Centro de Geociencias)

Juriquilla, Qro. Noviembre de 2015



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Dedicatoria

A mis padres

Valentin Cid Celis y Rosalina Villegas Contreras,

A mis hermanos

Teresa y Manuel

A Mi sobrina

Maia Simoney por ser la alegría de la casa

Al Dr. Pompopo (†)

Lo logramos Doc.

Agradecimientos

Agradezco infinitamente todo el apoyo que he recibido de mi familia para poder concluir esta etapa de mi vida, gracias a ustedes soy quien soy y he llegado hasta este punto (y lo que falta). Mi familia, que a pesar de tener las más locas ideas siempre he tenido su respaldo.

Gracias al CGeo y la UNAM por abrirme las puertas de la máxima casa de estudios del país, brindándome en todo momento los elementos para culminar mis estudios. No ha sido fácil, pero al fin lo logré. Al CONACYT por apoyarme con una Beca durante mi estancia en el posgrado. Al PAPIIT por apoyarme en la conclusión de mi maestría mediante el proyecto “Estudio detallado del proceso de ruptura sísmica en la zona de subducción de Michoacán-Colima-Jalisco” clave IN104013.

Después de las formalidades...

A mi tutor el Dr. Carlos Mendoza, usted me ha enseñado bastante durante toda la maestría y me ha apoyado más allá de lo necesario, mil gracias. Un agradecimiento especial al Dr. Luca Ferrari que sin su gran apoyo simplemente esta tesis no se hubiera podido realizar, así como también a la Dra. Penélope López que me apoyó al poner en línea la información de la tesis. A todos los investigadores que han compartido parte de su tiempo y conocimiento para cultivarme: Dr. Mariano Cerca, Dr. Ramón Zúñiga, Dr. Harald Böhmel, Dr. Marco Guzmán, Dr. Jaime Carrera, Dra. Susana Alanís, Dr. Ángel Nieto Samaniego, Dr. Pierre Lacan, Dr. Juan Martín Gómez, Dr. Víctor Manuel Cruz Atienza, Dr. Raúl Valenzuela, Dr. Allen Husker, Dr. Vladimir Kostoglodov, Dr. José Luis Bravo, Dr. Tomás González, Dr. Jorge Aranda y la Dra. Eliza Fitz, por cierto Dra. Fitz, gracias por una salida a campo estupenda. Ya todos aquellos que directa o indirectamente compartieron conmigo su conocimiento.

A lo largo de mi estancia en el posgrado han existido muchas personas que me han apoyado y con las cuales estoy profundamente agradecido. Sin embargo, primero quiero agradecer a mis entrañables amigos que desde licenciatura me han impulsado a salir adelante: Erika, Alberto, Víctor y Bernardo, ustedes fueron mi inspiración para meterme al posgrado. Quiero agradecer a mis roomies (y vaya que he tenido muchos) que me soportaron en el Cgeo y en la casa (que aguante) Erik (Polite) carnal muchas gracias por tu amistad y por mostrarme el orden complejo detrás del caos, Tania Paulina, mil gracias hermanita por alegrarme mi estancia en CU, Erick (Chiapas) was Lend... wait for it... dary!!!, Melisa gracias por brindarme tu amistad incondicional, Nasser you were always like a brother, like the brothers always fighting (just kidding) jejejeje.

A todos mis compañeros y amigos del Cgeo los que ya no están, los que siguen y lo que acaban de llegar: Pily, Edgar Ángeles, Silvia, Alejandra, Pao Boterito, Gaby Castañeda, Félix, Cynthia, Liliana, Daniele, Lore, Iisel, Aurora, Minerva, Diana, Ivan, Héctor, Eliseo, Erick (DF), Carito, Rodrigo (Rora), Jorge, Mario, Rafael, Daniela, María del Rosario, Arlette, Pao Catalina, Violeta, Giovanni, Berlaine, Fito, Pedro, Paulina, Gloria, Walter, Chayito, Quique, Maria Isabel, Janet, Carmen, Eric, Antonio, Vania, Luis, Paco, Rodrigo (Vizquito), Neto, Angelito, Rosy, Rodrigo Portillo, si me falta alguien por favor disculpen.

Un agradecimiento muy especial a aquellos que me orientaron en la realización de esta tesis y una enorme disculpa por molestarlos tanto, Diego Gracia, Myrna Lorena, Edgar Juárez e Iván Suñe (Tío lo he logrado!!!).

A toda la banda que conocí en mi estancia en CU, Sachenka, Diego, Félix, Andrómeda, Carlos, Carla, Isaac, Tamara, Alex, Manolo, Toño Bayona, Edith, Mildred, Carlitos, Rodrigo, Eleazar, Lucero, Carolina, Andrés, Néstor, Diana, Selene y muy especialmente a Sarita (eres una gran amiga) y a Judith (mil gracias Judith por mostrarme el maravilloso mundo del Ultimate) que junto a mi hermanita Tania fueron mis tres mujeres y un camino...

Y como no todo fue estudio, mil gracias a toda la banda Ultimatera que he conocido y me ha apoyado. Comenzando con el equipo PUMAS UNAM (ahora Cóndor) por mostrarme todas las bases de este hermoso deporte, Richi, Luis, Nino, Edgar, Dani, Diana, Rodrigo, Isabel, Stephan, al Primo y demás miembros de este maravilloso equipo. Al equipo VALHALLA que ha sido mi segundo hogar aquí en Querétaro a Mike, Atenea, Mora, Chema, Iván, Jimmy, Dany, Mago, Eder, Martha, Campillo, Gallo, Enrico, Job, Ram, Angie, Liz, Caleb, Jos, Adri, Andy, Ale, Mariana, Drakj, Juanito (†) y muy especialmente a Jessy, Aáron e Hiram, que me han apoyado incondicionalmente y me han demostrado ser muy grandes amigos.

A todos ustedes mil gracias por brindarme su amistad y apoyo haciendo de esta etapa de la vida, una de las más alegres de mi vida.

La vida vale cuando tienes el valor de vivirla...

ÍNDICE

Resumen.....	1
I.- Introducción	3
I.1 Objetivos	4
I.2 Metodología General	4
I.3 Justificación	5
I.4 Conceptos y Definiciones	6
I.4.1 Sistema Coordinado	6
I.4.2 Fallas Geológicas	7
I.4.3 Conceptos Neotectónicos	10
I.4.4 Conceptos Sismológicos	11
II.-Marco Teórico.....	18
II.1 Marco Sismo-Tectónico.....	18
II.1 Marco Geológico	24
III.- Evolución del Estudio de Fallas Cuaternarias y Antecedentes.....	27
III.1 Evolución de la neotectónica en el mundo	27
III.2 Estudio de las fallas cuaternarias en México	28
IV.-Metodología de trabajo	37
IV.1 Clasificación de Fallas.....	39
IV.2 Base de Datos.....	40
IV.3 Sistemas de Información Geográfica	42
IV.3.1 Tipos de Datos.....	42
IV.3.2 SIG dentro de las Ciencias de la Tierra.....	43
IV.3.3 Elección del Software.....	43
IV.4 Mapa Base.....	46
IV.5 Información con datos Vectoriales	47
IV.6 Información sin datos Vectoriales.....	50
IV.7 Información en la Red	53
V.- Resultados.....	54
V.1 Zona Noroeste.....	55

V.1.1 Fallas Tipo A	57
V.1.2 Fallas Tipo B	66
V.2 Zona Noreste.....	67
V.2.1 Fallas Tipo A	69
V.2.2 Fallas Tipo B	71
V.2.3 Fallas Tipo C	71
V.3 Zona Centro.....	75
V.3.1 Fallas Tipo A	76
V.3.2 Fallas Tipo C:.....	79
V.4 Zona Sur	83
V.4.1. Fallas Tipo C	83
V.5 Estimación de las magnitudes.....	85
VI.-Discusión	89
VI.1 Completitud de la base de datos	89
VI.1.1 Documentación de fallas cuaternarias	89
VI.1.2 Completitud de la información de los campos en la base de datos	90
VI.2 Estimación de las posibles magnitudes de un sismo asociado a fallamiento cuaternario	92
VI.3 Impacto de las fallas cuaternarias al peligro sísmico	93
VII Conclusiones y Recomendaciones	100
Referencias.....	102
Apéndice Base de Datos.....	119
Fallas Tipo A.....	119
Fallas Tipo B.....	132
Fallas Tipo C.....	136

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1.1 Esquema de las tres principales proyecciones cartográficas.....</i>	<i>7</i>
<i>Figura 1.2 Diagrama de los tipos de fallas.....</i>	<i>8</i>
<i>Figura 1.3 Ejemplo de fallas oblicuas.....</i>	<i>8</i>
<i>Figura 1.4 Esquema sobre el plano de falla: rumbo, echado y dirección del echado.....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 1.5. Rango de edades de las disciplinas que estudian la deformación en las fallas.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 1.6. Sismograma de tres componentes de un sismo superficial.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 1.7. Esquema de una falla usado para el cálculo del momento sísmico.....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 2.1. Esquema del límite de placas.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 2.2 Placas tectónicas de México.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 2.3. Localización de las estaciones sismológicas del proyecto MARS.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 2.4. Localización de las estaciones sismológicas del proyecto MASE.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 2.5. Localización geográfica de las 54 estaciones de banda ancha del SSN.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 2.6 Provincias geológicas de México.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 2.7 Mapa geológico de la República Mexicana.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 3.1 Fotografía de los efectos en el pueblo de Acambay, producto del sismo de 1912.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 3.2 Diagrama una trinchera excavada en la falla San Miguel en Baja California Norte.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 3.3 Mapa de las trazas de fallas normales con una longitud mayor a 2 km en la parte central de la Faja Volcánica Transmexicana.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 3.4 Mapa de Fallas regionales del norte de Baja California.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 3.5 Mapa de la sismicidad en el Sureste Mexicano.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 3.6 Mapa Tectónico de la República Mexicana.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 4.1 Esquema ilustrativo de las regiones de trabajo.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 4.2 Organización del directorio de trabajo de GRASS.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 4.3 Mapa Base de proyecto en GRASS GIS.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 4.4 Imagen del trabajo “Mapa y Base de Datos de Fallas y Pliegues Cuaternarios en México y sus regiones marinas” del WGQFM.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 4.5 Programa Quantum GIS.....</i>	<i>49</i>

<i>Figura 4.6 Mapa de la fallas Pitáycachi, Teras y Otates.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 4.7 Vectorización de la traza de la falla Pitáycachi dentro del programa Quantum.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 4.8 Presentación de la falla Pitáycachi, Teras y Otates dentro del SIG GRASS.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 5.1 Distribución del Tipo de Fallas Cuaternarias en porcentaje del total documentado.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 5.2 Visualización de las fallas cuaternarias en el programa Google Earth Pro.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 5.3 Ubicación general de las fallas cuaternarias en la zona Noroeste del país.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 5.4 Configuración tectónica actual de la Península de Baja California.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 5.5 Ubicación del sistema de Fallas Vallecitos-San Miguel.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 5.6 Ubicación del sistema de fallas Agua Blanca.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 5.7 Ubicación de los Sistemas de Fallas Imperial-Cerro Prieto y Laguna Salada.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 5.8 Ubicación del sistema de Fallas Sierra Juárez-San Pedro Mártir.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 5.9 Ubicación del sistema de fallas Margen Extensional del Golfo y falla Loreto.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 5.10 Ubicación general de las fallas cuaternarias en la Zona Noreste del País.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 5.11 Ubicación de las Fallas Pitáycachi, Teras y Otates.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 5.12 Localización del Sistema de fallas Margen Norte de Chihuahua.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 5.13 Localización de las fallas del Campo Volcánico de Camargo.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 5.14 Localización de las fallas del Campo Volcánico de Durango.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 5.15 Ubicación general de las fallas cuaternarias en la zona centro del País.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 5.16 Ubicación de las Fallas del Graben de Acambay.....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 5.17 Ubicación del sistema de fallas Tenango.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 5.18 Localización de las fallas del Faja Volcánica Transmexicana sector central.....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 5.19 Ubicación de las fallas del Sistema de Faja Volcánica Transmexicana sector oriente.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 5.20 Ubicación del Sistema de Fallas Faja Volcánica Transmexicana sector poniente.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 5.21 Ubicación de la falla Concordia.....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 6.1 Gráfica de barras de la cantidad de información recabada en los campos de la base de datos de las fallas cuaternarias.....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 6.2. Pasos generales para el cálculo del Peligro sísmico.....</i>	<i>95</i>

Figura 6.3 Curvas de aceleración máxima del terreno para periodos de recurrencia de 500 años.....96

Figura 6.3 Mapa del peligro Sísmico Global para la región de México.....97

Figura 6.5. Mapa comparativo de las las fallas cuaternarias documentadas en la tesis y el mapa de peligro sísmico propuesto por GSHAP.....99

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1.1 Regresiones para el cálculo de magnitudes de sismos con diferentes ambientes tectónicos</i>	<i>14</i>
<i>Tabla 1.2 Principales escalas de Intensidad en el mundo.....</i>	<i>15</i>
<i>Tabla 2.1 Provincias geológicas de México.....</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 4.1 Campos correspondientes a la base de datos de las fallas.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 5.1 Posible magnitud esperada de un sismo producto del fallamiento cuaternario presente en la zona Noroeste del país.....</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 5.2 Posible magnitud esperada de un sismo producto del fallamiento cuaternario presente en la zona Noreste del país.....</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 5.3 Posible magnitud esperada de un sismo producto del fallamiento cuaternario presente en el zona Centro del país.....</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 6.2 Magnitud esperada para un sismo asociado a una falla hipotética de longitud variable.....</i>	<i>92</i>

Resumen

Esta tesis presenta una caracterización de fallas cuaternarias continentales en México con el apoyo de Sistemas de Información Geográfica (SIG) e implementación de bases de datos descriptivas asociadas a las fallas. Los SIG que se utilizaron fueron GRASS GIS y Quantum. Estos programas fueron elegidos debido a la accesibilidad que se tiene para adquirir esta paquetería, la facilidad en su manejo, la versatilidad que presentan para importar y exportar los archivos y ser softwares libres. La documentación y actualización de la información de las fallas cuaternarias es fundamental para identificar estructuras geológicas que puedan ser un elemento más del peligro sísmico de un área, particularmente en zonas intraplaca en el interior del país.

Dentro de la documentación realizada se pone mayor énfasis en las fallas que demuestran desplazamientos en el Holoceno (últimos 11.7 ka). Se realizó una recopilación bibliográfica, proveniente de instancias gubernamentales, centros de investigación o universidades. La mayoría de la información procede de un reporte inédito del 2002.

La clasificación de las fallas se basó en la cantidad y calidad de la información disponible del último desplazamiento registrado en la falla. Las fallas se clasificaron en tres tipos. Tipo A Fallas que presentan indicadores contundentes de desplazamiento en el Holoceno, los indicadores del desplazamiento son obtenidos a partir de registros sísmicos, sismología histórica, mediciones de GPS, estudios de paleosismología, geomorfología y geología. Tipo B Estructuras que se desplazaron en el Pleistoceno y posiblemente en el Holoceno, sin embargo la información obtenida no es suficiente para sustentar dicho desplazamiento, los indicadores del desplazamiento son basados en trabajos de paleosismología, geomorfología, geología y sismos históricos que posiblemente sean asociados a esas fallas. Tipo C Estructuras que presentaron desplazamientos en el Pleistoceno, sus indicadores son basados en datos geológicos y geomorfológicos.

Para la compilación de las fallas dentro del SIG se elaboró una base de datos, que incluye los campos: nombre de la falla, tipo de falla, rumbo promedio, echado promedio, dirección del echado promedio, longitud, la evidencia que indica el desplazamiento de la falla, último evento sísmico, magnitud del evento sísmico, desplazamiento máximo, tasa de deslizamiento, intervalo de recurrencia y la referencia de donde se tomó la información. Solo las fallas tipo A y B cubren la mayoría de los campos de la base de datos. Se documentaron un total de 151 fallas de las cuales 28 corresponden al tipo A, 7 al tipo B y 116 al tipo C. Las fallas Tipo A se concentran principalmente en la Faja Volcánica Transmexicana y la Provincia Extensional del Golfo, debido a que en estas áreas se concentran la mayoría de los trabajos y son las zonas geodinámicamente más activas. Además se realizó una estimación de la posible magnitud de un sismo asociado a las fallas cuaternarias tipo A y B.

Palabras Clave: Fallas cuaternarias, Sistemas de Información Geográficos, Bases de datos, Peligro Sísmico.

Abstract

This thesis presents a characterization of continental Quaternary faults in Mexico through the application of Geographic Information Systems (GIS) and the implementation of a descriptive data base associated with the faults. The programs used were GRASS GIS and Quantum GIS. These programs were chosen due their ease in handling, their versatility in importing and exporting files, and their availability as open-source software. The documentation and subsequent update of this faults information is important to identify geological structures that may affect the seismic hazard, particularly in intraplate areas within the country.

Within the database, more emphasis is placed on faults with known displacement in the Holocene (last 11.7 ka). A bibliographic compilation was completed based on information obtained from government agencies, research centers and universities, with much of the information obtained from an unpublished 2002 report.

The classification of faults was based on the quantity and quality of data that identify the last displacement recorded on the fault. Faults were classified into three categories. Type A structures have accurate indicators of fault displacement in the Holocene from seismic records and historical earthquakes, GPS measurements, paleoseismology, geomorphology, and geology. Type B structures have recorded displacement in the Pleistocene and possibly in the Holocene; however, the information available is not sufficient to confirm Holocene displacement. The displacement indicators are based on paleoseismology, geomorphology, geology and historical earthquakes that may be associated with these faults. Type C structures have displacements in the Pleistocene, with the indicators based on geological and geomorphological data.

For the GIS preparation, a database was prepared with the following elements: name of the fault, type of fault, average strike, average dip, sense of movement, fault length, evidence for fault displacement, last seismic event, magnitude of last seismic event, maximum displacement, slip rate, recurrence interval and reference from where information was taken. Only type A and B faults cover most elements of the database. A total of 151 faults, were documented with 28 corresponding to type A, 7 to type B and 116 to type C. The type A faults are mainly concentrated in the Trans Mexican Volcanic Belt and Gulf Extensional Province because more geologic studies have been conducted in these areas due to their increased geodynamic activity. An estimate is also obtained of the potential magnitude of an earthquake associated with the type A and B quaternary faults.

Keywords: Quaternary Faults, Geographic Information System, Database, Seismic Hazard.

I.- Introducción

Las fallas sismogénicas son estructuras geológicas consideradas como zonas de debilidad propensas a generar sismos a través del desplazamiento entre bloques. Una herramienta que ha tomado gran importancia en la cartografía de las fallas en los últimos años son los Sistemas de Información Geográfica o SIG. Esto debido a que los SIG permiten asociar información específica a cada estructura dibujada dentro de los SIG, además de poder georreferenciar las estructuras a un sistema coordenado.

En México los eventos telúricos o sismos son uno de los fenómenos naturales que han causado gran devastación a la población (Nava, 1998). Ejemplo de ellos son los sismos interplaca, eventos asociados a los límites de las placas tectónicas. De este tipo, tenemos los sismos de: Colima-Jalisco 1932 (3/06/1932, Magnitud Momento sísmico (Mw) 8.4, reportado por el Servicio Sismológico Nacional (SSN)), México 1957, (28/07/1957, Mw 7.7 SSN), Petatlán 1979 (14/03/1979, Mw 7.6, SSN), Michoacán 1985 (19/09/1985, Mw. 8.1, SSN) entre otros.

No obstante, al interior de la república Mexicana también existen eventos telúricos someros (menos de 35 km de profundidad) de magnitud considerable (Mw entre 6 y 7). Estos sismos han ocasionado daños a las poblaciones cercanas al evento. Los sismos de Bavispe 1887 (3/04/1887, Mw recalculado 7.4 (Natali & Sbar, 1982), 51 víctimas) y Acambay de 1912 (19/11/1912, Mw 6.9, SSN, el municipio de Acambay fue destruido, más de 100 víctimas) son ejemplo de ello. Estos sismos son asociados a fallamientos corticales.

Debido a que las fallas sismogénicas superficiales son potencialmente generadoras de sismos, es importante caracterizar los desplazamientos asociados a ellas en el pasado geológico reciente. En México no hay un acervo que reúna y homogenice la información disponible de las fallas con desplazamientos en el Cuaternario, así como tampoco existe una base de datos que contenga información del comportamiento de la falla, sus dimensiones, desplazamientos y eventos sísmicos asociados a la falla. Esta información puede ser utilizada para brindar elementos que ayuden a caracterizar el peligro sísmico.

Dentro de esta tesis se realiza una documentación de fallamiento cuaternario superficial, haciendo hincapié en las fallas que demuestran desplazamiento en el Holoceno (últimos 11.7 ka). Se presta mayor atención a las fallas holocénicas debido a que se cuenta con mayor información de estas fallas, además, muchas veces no se consideran las fallas holocénicas para la estimación del peligro sísmico debido al lapso de tiempo considerado en el cálculo del peligro sísmico. La información se presenta a través de un SIG. Este SIG permite que la información sea mostrada de manera más eficiente, a través de fichas descriptivas de las fallas, lo que hace más cómoda la consulta.

Se realiza una estimación de la posible magnitud esperada de un sismo asociado a las fallas holocénicas. De igual manera se realiza una evaluación cualitativa del posible impacto de las fallas documentadas al peligro sísmico.

I.1 Objetivos

El objetivo principal de este trabajo consiste en generar las herramientas necesarias para poder tener un acervo de fallas cuaternarias continentales de la República Mexicana, de fácil consulta a través de un Sistema de Información Geográfico (SIG). De acuerdo a este objetivo se pretende obtener una estructura base que sea capaz de caracterizar la información geológica disponible de las fallas mediante bases de datos descriptivas. Para alcanzar el objetivo se pretende cumplir las siguientes tareas:

- Generar un catálogo de fallas cuaternarias continentales con expresión superficial del país basado en la información geológica, sismológica, paleosismológica, geomorfológica o geofísica disponible.
- Clasificar las fallas cuaternarias contenidas en el catálogo dependiendo de la cantidad y calidad de información disponible del último desplazamiento de la falla.
- Colocar la información generada en línea en formato vectorial para poder ser visualizada en un SIG.

Si bien se podría realizar una clasificación de las fallas de acuerdo al intervalo de recurrencia y tasa de deslizamiento, esto se descarta debido a que en el país no se cuenta con información suficiente de las propiedades geodinámicas de las fallas. Cabe mencionar que no se pretende tener un acervo completo de la información sino uno catalogo inicial que se pueda ir actualizando con el tiempo.

I.2 Metodología General

La información recopilada de las fallas se resume mediante implementación de bases de datos descriptivas ligadas al SIG. Esta base de datos contiene campos con información específica para cada falla como es: longitud, geometría, edad del desplazamiento. Dicha información puede ser de utilidad para el cálculo del peligro sísmico. Sin embargo no todas las fallas cuentan con todos los campos cubiertos.

Para poder desarrollar el presente trabajo se siguió la siguiente metodología:

- Recopilar y analizar la información sobre fallas cuaternarias.
- Dividir la información en áreas geográficas.
- Clasificar las fallas.
- Generar la base de datos con la información obtenida.
- Dibujar las estructuras en un SIG.

Es importante recalcar la tesis es principalmente un trabajo de recopilación y por lo tanto, se enfoca en la recolección de información publicada a través de artículos de revistas arbitradas, libros, tesis y mapas disponibles. Las fuentes de información surgen de instancias como: universidades, centros de investigación e instancias gubernamentales. De igual forma, al ir surgiendo trabajos más recientes con nueva información, la base de datos debe ser capaz de actualizarse.

I.3 Justificación

En el momento que se produce un sismo, este puede romper una roca sana o puede seguir un plano de debilidad preexistente. Ya que una falla es un plano de debilidad, es importante caracterizar las propiedades de las fallas. Parámetros como sus dimensiones (mientras mayor sea la longitud de la falla, mayor será el tamaño del sismo), la tasa de deslizamiento e intervalo de recurrencia son características importantes para calcular la magnitud de un sismo generado a partir de la falla.

La implementación de bases de datos en la caracterización de fallas cuaternarias nos brinda la facilidad para consultar los parámetros de la falla, generando mapas interactivos donde se asocian las bases de datos con la traza de la falla georreferenciada. De igual manera, el uso de los SIG para crear mapas interactivos donde la información está disponible para cualquier usuario es un trabajo que aún no se ha desarrollado en México.

Los mapas de peligro sísmico representan el movimiento del suelo esperado en un intervalo de tiempo dado. Generalmente se calcula de manera probabilística tomando en cuenta todas las posibles fuentes sísmicas, las relaciones de recurrencia de los sismos, la atenuación de la onda sísmica con la distancia y el movimiento del terreno. Por ende la cuantificación del peligro varía de acuerdo a la cantidad y calidad de datos sismológicos y geológicos recabados. Información obtenida de trabajos como el que se presenta en esta tesis alimentan los datos para el cálculo probabilístico y la elaboración de los mapas de peligro. Si una falla que presenta desplazamientos en el pasado geológico reciente no es considerada dentro de un mapa de peligro sísmico el resultado obtenido puede reflejar una imagen errónea del movimiento del suelo esperado. Un sismo somero puede causar grandes daños a la población debido a la proximidad de la fuente a la superficie aumentando el peligro si el sismo se localiza cerca de poblaciones. Por ejemplo en el graben de Acambay en 1912 ocurrió un sismo asociado a una falla holocénica que destruyó por completo el pueblo de Acambay.

En México el cálculo del peligro sísmico no ha tomado en cuenta la información referente al fallamiento cuaternario que puede influir dentro del peligro sísmico, debido principalmente a la carencia de información de las fallas superficiales, como son su tasa de deslizamiento, intervalo de recurrencia o posible magnitud esperada. Ya que en México no existe ninguna base de datos que contenga esta información sería importante crear un acervo de fallas cuaternarias en base a la información disponible en todo el país.

I.4 Conceptos y Definiciones

Antes de proseguir es importante definir algunos términos básicos para tener un mejor entendimiento de la tesis realizada. A continuación se presentan conceptos geodésicos, geológicos, sismotectónicos y neotectónicos importantes, algunos campos de la base de datos o técnicas utilizadas para obtener los parámetros de la falla se definen en este apartado.

I.4.1 Sistema Coordinado

Ya que los mapas que se consultaron proceden de diferentes fuentes y no todos presentan el mismo sistema coordinado es importante definir los términos de **elipsoide o datum** y la **proyección**.

El elipsoide es la forma matemática que más se asemeja a la tierra. La tierra es representada como un elipsoide de revolución donde existen dos radios, un radio polar o semi eje menor y un radio ecuatorial o semi eje mayor. Como ejemplo de elipsoides tenemos el ED50 (European Datum 1950), ITRF (International Terrestrial Reference Frame), WGS84 (World Geodetic System 1984), y NAD27 (North America Datum 1927), la diferencia entre los elipsoides radica en los diferentes valores asignados para el radio polar y ecuatorial.

La proyección se refiere a la forma en que se pasa de una superficie de tres dimensiones (la Tierra) a una de dos (mapa). Las coordenadas proyectadas se identifican por medio de coordenadas cartesianas (x e y). Al pasar de una un plano tridimensional a uno bidimensional existen tres propiedades de las proyecciones, las cuales podemos conservar sin alterar una de ellas al hacer esta transformación: proyecciones equidistantes (conservando las distancias), proyecciones equivalentes (conservando las superficies) o proyecciones conformes (donde se conservan sus ángulos). Existen tres tipos de proyecciones básicas: cilíndricas, cónicas y azimutales. La figura 1.1 nos muestra los tres tipos de proyecciones.

- **La proyección cilíndrica** proyecta la Tierra sobre un cilindro, útil para ver la superficie terrestre completa, sin embargo distorsiona el tamaño de las formas en altas latitudes (cerca de los polos).
- **La proyección cónica** proyecta la Tierra sobre una superficie cónica tangente, donde el vértice es ubicado sobre uno de los polos, esta proyección es muy útil para proyectar los países de altas latitudes, sin embargo para los países localizados cerca del ecuador la distorsión es mayor.
- **La proyección polar o azimutal** proyecta una porción de la Tierra sobre un plano tangente a la superficie terrestre en un punto seleccionado, obteniéndose una imagen similar a la visión de la Tierra desde un punto interior o exterior de la misma.

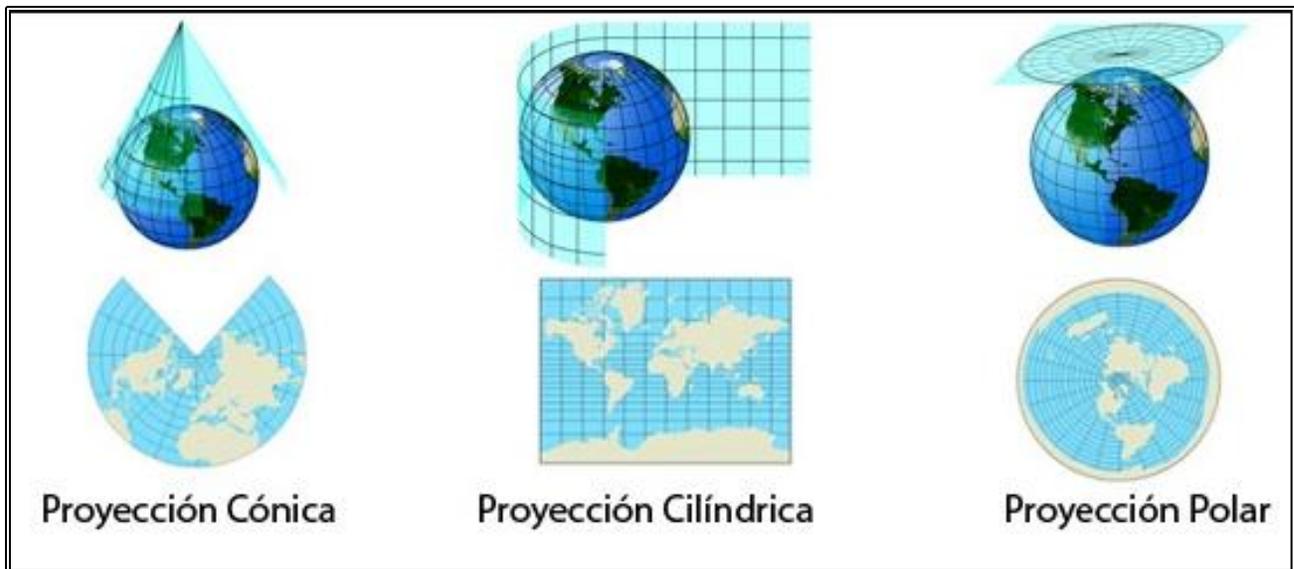


Figura 1.1 Esquema de las tres principales proyecciones cartográficas proyección cónica (útil para latitudes polares), proyección cilíndrica (útil para obtener un mapa de todo el mundo) y proyección polar o azimutal (útil para cartografiar zonas específica) (tomado de Velázquez., 2013).

Es importante conocer la proyección y el datum de los mapas empleados. Al comparar mapas de una misma área con diferente proyección y datum, y al pasar un objeto de un sistema coordinado a otro se utiliza una proyección o datum equivocado el error en la ubicación de los objetos del mapa puede ser de decenas a cientos de metros. En esta tesis se consultaron varios mapas y al momento de homogeneizar todas las trazas de falla se debieron de pasar de a un solo sistema coordinado.

I.4.2 Fallas Geológicas

Las fallas se pueden clasificar en diversas formas, de acuerdo al movimiento relativo entre bloques. Existen tres tipos principales de fallas (figura 1.2):

- **Falla Normal:** Se considera una falla normal cuando el bloque de techo baja y el bloque de piso sube, respecto al plano de falla.
- **Falla Inversa:** Se considera falla inversa cuando el bloque de techo sube y el bloque de piso baja, respecto al plano de falla.
- **Falla Lateral:** En lugar de tener bloque de piso y bloque de techo tenemos bloque derecho y bloque izquierdo, deslizándose un bloque respecto al otro, a lo largo de la falla. Si el punto de referencia se coloca sobre la falla el bloque derecho corresponde al bloque a la derecha de la falla y el bloque izquierdo al ubicado a la izquierda de la falla. Existen dos tipos de fallas laterales, lateral derecha o dextral (el bloque que se desplaza hacia el punto de referencia es el derecho, sentido horario) y lateral izquierda o sinistral (el bloque que se desplaza hacia el punto de referencia es el izquierdo, sentido anti horario).

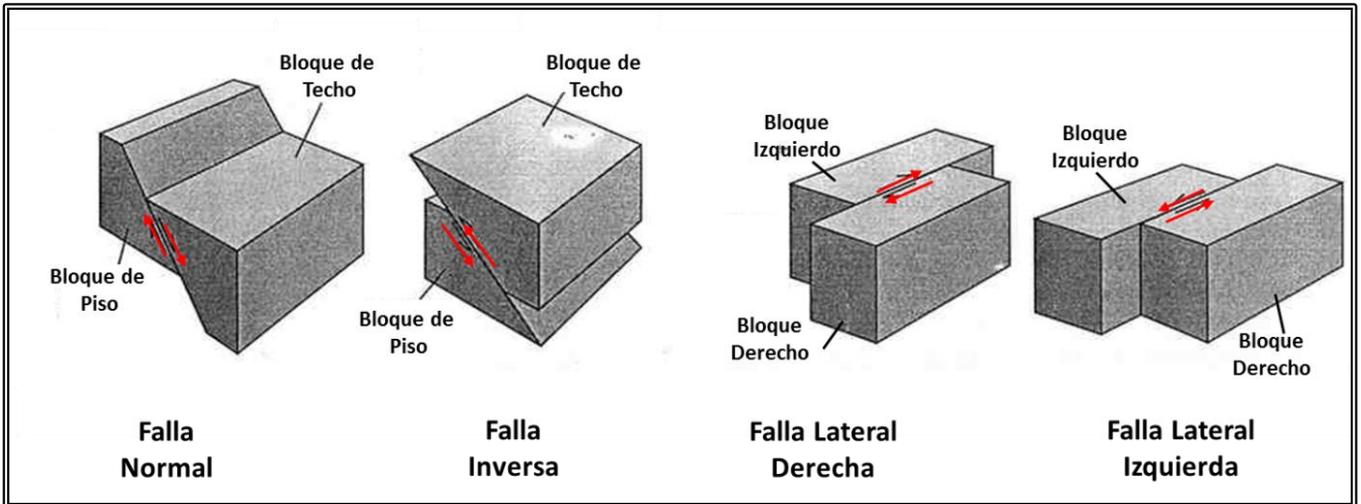


Figura 1.2 Diagrama de los tipos de fallas. Las flechas indican el sentido relativo del movimiento. El movimiento relativo en las fallas normales el bloque de piso sube y el bloque de techo baja respecto a sí mismos. En las fallas inversas el bloque de piso baja y el bloque de techo sube respecto a sí mismos. En la falla lateral derecha el desplazamiento del bloque derecho es hacia fuera de la página, mientras que la falla lateral izquierda el desplazamiento del bloque izquierdo es hacia fuera de la página (Tomado y modificado de Twiss & Moores, 1992).

Una falla puede contener más de una componente de desplazamiento. Se puede tener una falla normal con componente lateral derecho o una falla lateral izquierda con una componente inversa. A estas fallas se le conoce como **fallas oblicuas** (figura 1.3). Estas fallas son muy comunes. En esta tesis se ha documentado varias fallas oblicuas.

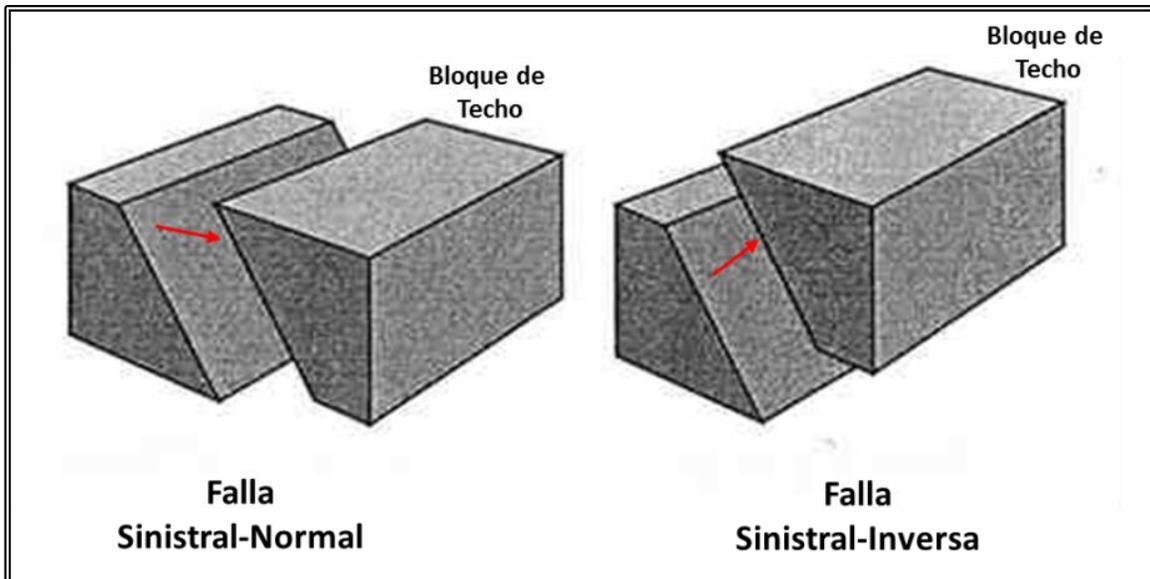


Figura 1.3 Ejemplo de fallas oblicuas. Las flechas indican el sentido relativo del movimiento. La falla sinistral-normal tiene componente de una falla lateral izquierda y una falla normal, La falla sinistral-inversa tiene componente lateral izquierda e inversa. (Tomado y modificado de Twiss & Moores, 1992).

Una de las estructuras geológicas más importantes presentes en México son los **grabens** que son depresiones o cuencas formadas a partir de fallas normales. Corresponden al espacio entre dos fallas normales paralelas que comparten el bloque de techo, formando una depresión entre ellas.

Además del tipo de desplazamiento de una falla, también es necesario caracterizar su geometría. Entre los elementos más importantes que nos indican la geometría de una falla tenemos el rumbo, el echado y la dirección del echado.

El **rumbo** de una falla es el ángulo comprendido entre el norte geográfico y la traza de la falla en superficie. El **echado** de una falla es el ángulo que existe entre un plano horizontal y el plano de falla, y corresponde al ángulo de máxima pendiente (perpendicular al rumbo). La **dirección del echado** es el ángulo geográfico que indica hacia donde se encuentra orientado el echado del plano de falla, se localiza a 90° del rumbo. Esto se ilustra de mejor manera a través de la figura 1.4. Generalmente cuando se cartografía una falla se toman dos datos, ya sea el rumbo y echado (siguiendo el principio de la mano derecha, donde el echado se mide a 90 grados del rumbo en dirección horaria) o dirección del echado y echado (para obtener el rumbo solo se tiene que restar 90 grados a la medición de la dirección del echado).

El tipo de falla de acuerdo al desplazamiento relativo de bloques, el rumbo, el echado y la dirección del echado son parámetros geométricos de la falla que se encuentran dentro de la base de datos de esta tesis.

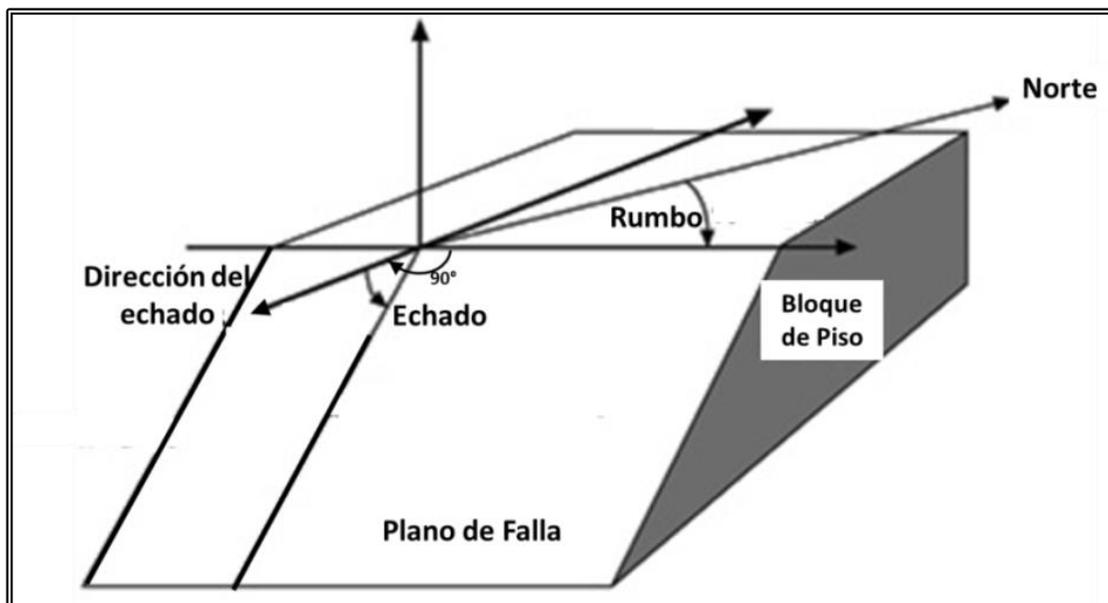


Figura 1.4 Esquema sobre el plano de falla: rumbo, ángulo comprendido entre la traza superficial del plano de falla y el norte geográfico; echado, ángulo comprendido entre la horizontal y la mayor pendiente del plano de falla; dirección del echado es la dirección sobre la cual se está orientado el echado de la falla y es perpendicular al rumbo (Tomado y modificado de Twiss & Moores, 1992).

I.4.3 Conceptos Neotectónicos

Debido a que varios de los parámetros que se consideran dentro de la base de datos se obtienen a partir de técnicas neotectónicas es importante definir algunos conceptos.

La **neotectónica** es una disciplina que estudia los movimientos y deformaciones de la corteza terrestre en un tiempo geológico reciente (Cuaternario), que aún están actuando y afectando el relieve actual.

La **paleosismología** es una disciplina de la neotectónica que tiene como finalidad identificar y documentar sismos históricos o paleoterremotos (eventos sísmicos del Cuaternario) (McCalpin, 2009). Esto se logra principalmente mediante la excavación de trincheras paleosismológicas a lo largo de la traza de la falla.

El objetivo de las trincheras paleosismológicas es cortar fallas geológicas recientes para poder obtener de manera más específica parámetros como: la **tasa de deslizamiento** que es el desplazamiento que sufre una estructura en determinado lapso de tiempo; **intervalo de recurrencia** que es el lapso de tiempo comprendido entre eventos sísmicos mayores ($M_w > 5.5$); **desplazamiento máximo vertical** por evento sísmico. Esto se logra a partir de mediciones directas en la trinchera, así como la edad de los estratos cortados por la falla a través de la datación por radiocarbono (isótopo carbono-14). La tasa de deslizamiento (en mm/año) se obtiene a partir de la división del desplazamiento total producido por la falla (en mm) entre la edad de los materiales fallados. El intervalo de recurrencia se obtiene de dividir el desplazamiento vertical de un evento entre la tasa de deslizamiento.

La figura 1.5 ilustra las ramas de las ciencias de la tierra que son utilizadas para caracterizar los parámetros de una falla. La sismicidad instrumental brinda información de los sismos. Si los sismos son corticales se puede asociar a alguna falla superficial mediante su epicentro y la geometría de su mecanismo focal. No obstante el rango de tiempo que cubre la sismicidad instrumental incluye principalmente los últimos 100 años. La sismicidad histórica nos brinda la ubicación de sismos mediante la implementación de isosistas, brindando la posibilidad de asociar los sismos a fallas existentes. El periodo de tiempo que cubre la sismicidad histórica va de unos 500 años (América) a 2000 años (China y Japón). La geomorfología nos brinda la posibilidad de encontrar escarpes de fallas y facetas triangulares (planos de falla en forma triangular que cortan los filos de las montañas, característicos de fallamiento cuaternario). La geomorfología presenta un rango de tiempo de hasta 100 000 años. La geología estructural es la ciencia que estudia la deformación del subsuelo, tanto sus causas y efectos. Para este trabajo la geología estructural es de utilidad ya que nos brinda las herramientas para obtener la cinemática de las fallas. De igual manera mediante la geocronología podemos conocer la edad de los depósitos que son cortados por las fallas lo que permite establecer una edad aproximada de las fallas. La geología estructural tiene un rango de tiempo que abarca millones de años, esto dependiendo de la edad del primer depósito fallado, dentro de esta tesis solo nos limitamos a los últimos 2.54 Ma.

Todas estas ciencias ayudan en la determinación de la edad del último desplazamiento en la falla, así como la tasa de deslizamiento y el intervalo de recurrencia.

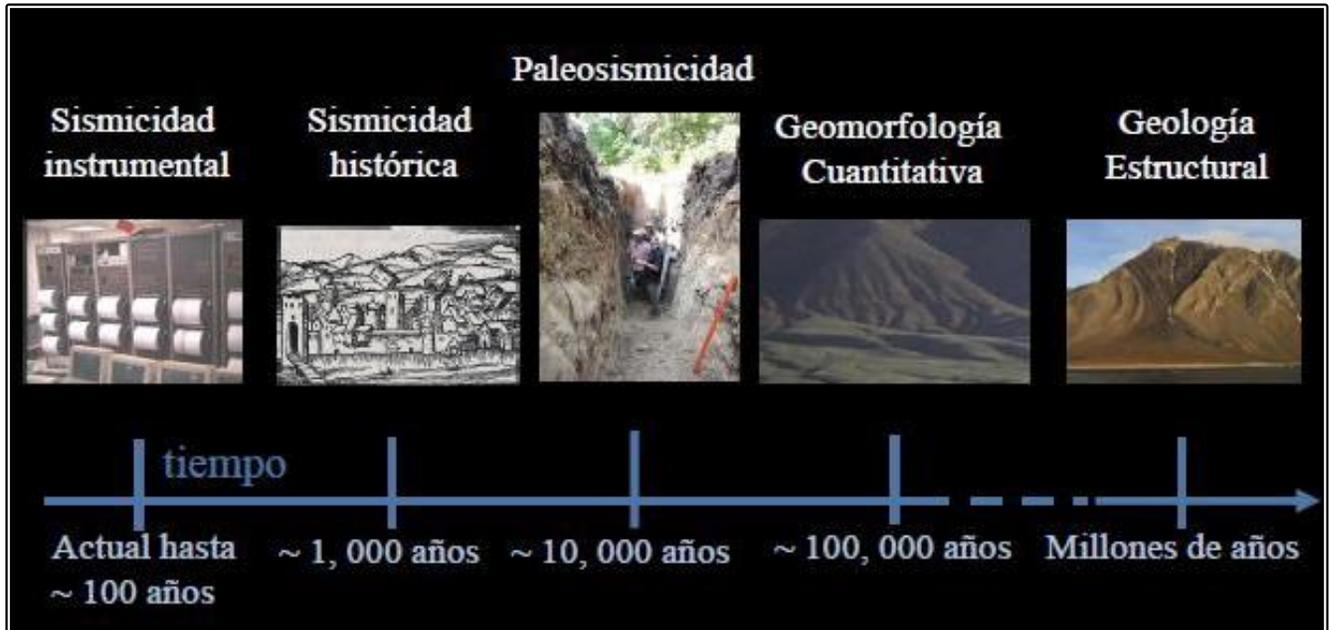


Figura 1.5. Rango de edades de las disciplinas que estudian la deformación en las fallas (Lacan, 2013).

I.4.4 Conceptos Sismológicos

Cuando ocurre un sismo, la energía que se libera se propaga de dos maneras, a través de calor y ondas sísmicas. Las ondas sísmicas se dividen en dos tipos: **ondas de cuerpo y ondas superficiales**. Las primeras son aquellas que atraviesan el interior de la tierra, a su vez se dividen en **ondas P** o primarias y **ondas S** o secundarias. Las ondas superficiales son aquellas que viajan a través de la superficie de la tierra y se dividen en **ondas Love** y **ondas Rayleigh**.

La propagación de las ondas sísmicas se detecta a través de sismógrafos que registran el movimiento del terreno mediante sismogramas. Los sismogramas grafican la amplitud de las ondas sísmicas contra el tiempo. La mayoría de los sismógrafos miden el desplazamiento del suelo en tres direcciones principales radial, transversal y vertical. La figura 1.6 muestra un ejemplo de un sismograma, en el sismograma podemos ver el arribo de las ondas de cuerpo y las ondas superficiales.

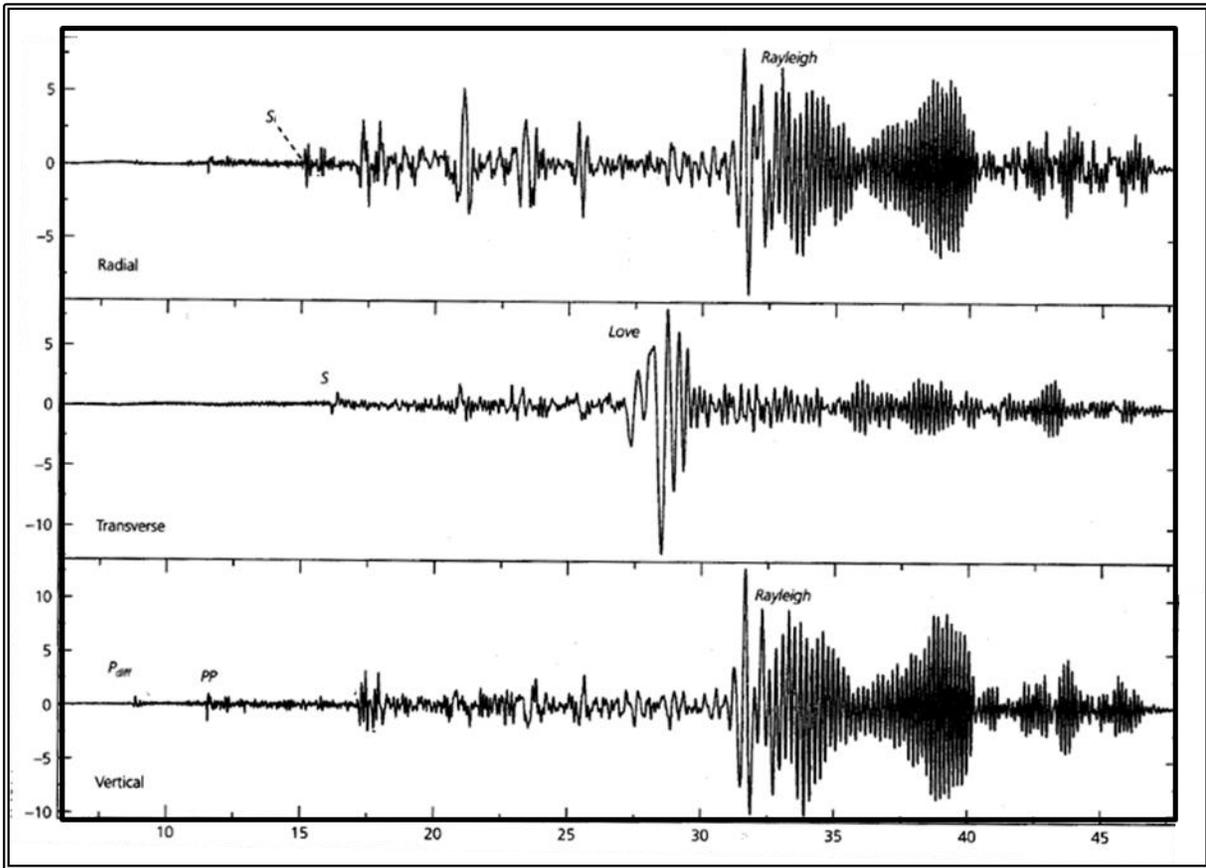


Figura 1.6. Sismograma de tres componentes de un sismo superficial de magnitud Mw 7.7 en la trinchera de Vanuatu. En la componente radial se pueden apreciar el arribo de las ondas S y ondas Rayleigh. En la componente Transversal se puede apreciar el arribo de las ondas S y ondas Love. En la componente vertical se aprecia el arribo de las ondas P y Rayleigh. (Tomado de Stein & Wysession, 2002).

La información que proporciona el registro de las ondas sísmicas mediante su amplitud se puede utilizar para conocer el tamaño de los sismos. El tamaño de un sismo depende principalmente del área de ruptura (plano de falla) y el desplazamiento ocurrido en el plano de falla. Para medir el tamaño de un sismo se puede emplear el concepto de **magnitud**, mientras que para medir las afectaciones del sismo a la sociedad se emplea la **intensidad**.

El concepto de **magnitud** fue introducido por C. Richter quien definió en 1935, la "magnitud", como un parámetro que describe la energía sísmica liberada por un terremoto. La magnitud está basada en la amplitud de la onda resultante de un sismograma. La escala de magnitud tiene por lo tanto la siguiente forma general:

$$M = \log\left(\frac{A}{T}\right) + F(h, \Delta) + C$$

Donde A es la amplitud de la señal, T es el periodo correspondiente, F es una corrección para la variación de la amplitud con la profundidad h del sismo y la distancia Δ del sismógrafo y C es un factor de escala regional.

Existen varios tipos de magnitudes como lo son la magnitud local M_L , definida originalmente para el sur de California con el uso de un sismómetro de torsión Wood-Anderson, la magnitud de ondas de cuerpo M_b que calcula la magnitud a partir de la amplitud de las ondas de cuerpo, o la magnitud obtenida utilizando las amplitudes de las ondas superficiales (M_s). Sin embargo una de las magnitudes más empleadas debido a que no subestima o sobrestima la magnitud, que está basado en el área de fractura y deslizamiento sobre esa zona es la magnitud del Momento Sísmico (M_w).

$$M_w = \frac{2}{3} \log M_0 - 10.73$$

Siendo M_0 el momento sísmico

$$M_0 = \mu Ds$$

Donde μ es el módulo de rigidez, una constante del material que caracteriza el cambio que sufre un cuerpo al aplicarse esfuerzos cortantes cuyo valor aproximado es de 3.10 dinas/cm^3 . D es el desplazamiento promedio que se sucede en el área de falla y S el área del desplazamiento. Por lo tanto como se mencionó anteriormente entre mayor sea el área de ruptura o mayor sea el desplazamiento promedio, mayor será el momento sísmico y por lo tanto la magnitud de un sismo será mayor. La figura 1.7 nos muestra el desplazamiento que ocurre en el plano de falla y el área de ruptura del plano.

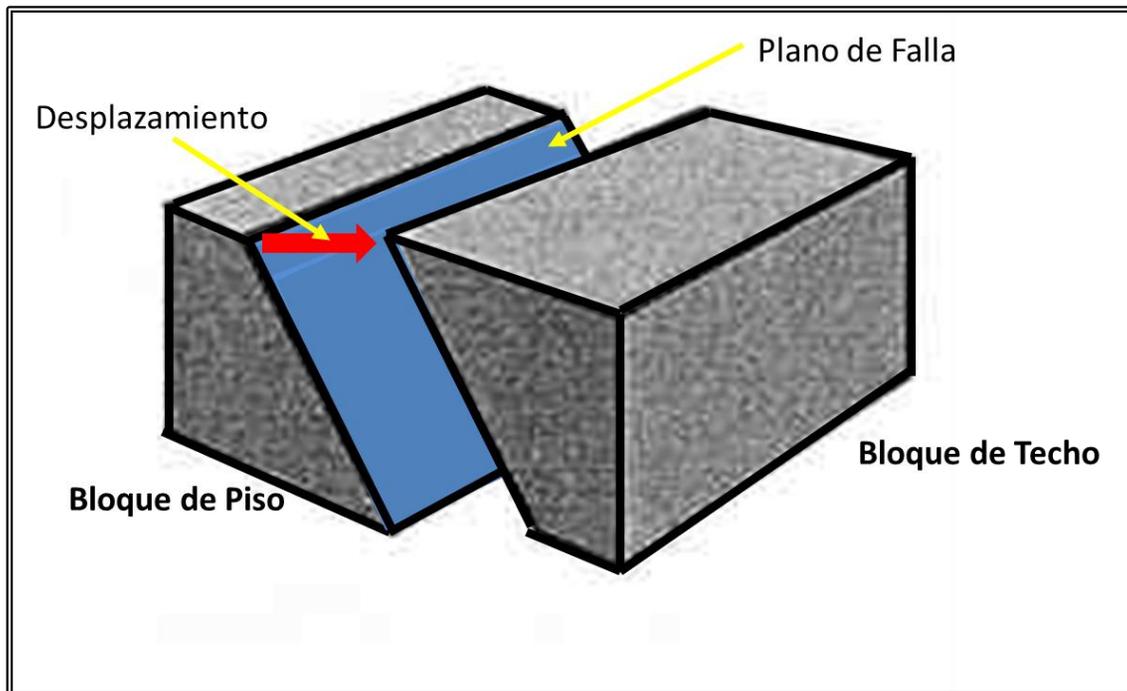


Figura 1.7. Esquema de una falla. Para el cálculo del momento sísmico es importante conocer el área de ruptura que corresponde a la zona que se desplaza sobre el plano de falla (color azul) y el desplazamiento que sucede en el plano de falla (flecha roja). (Tomado y modificado de Twiss & Moores, 1992).

Cuando un sismo es asociado a una falla, existen diferentes ecuaciones que estiman la magnitud del sismo, la tabla 1.1 presenta una recopilación de regresiones de acuerdo al tipo del límite de placas tectónica y al tipo de fallamiento (Stirling *et al.*, 2013), estas fórmulas serán ocupadas posteriormente para estimar las posibles magnitudes de sismos productos de las fallas documentadas en la tesis.

Tabla 1.1 Regresiones para el cálculo de magnitudes de sismos con diferentes ambientes tectónicos. El desplazamiento rápido en el límite de placas es mayor de 10 mm/año, el desplazamiento lento es menor de 10 mm/año. Dentro del ambiente volcánico la corteza delgada es menor de 10 km, la corteza gruesa es mayor a 10 km.

Ambiente Tectónico	Autor	Ecuación de Regresión	Unidades
Límite de placas con desplazamiento rápido (fallamiento lateral)	Wesnousky (2008)	$M_W = 5.56 + 0.87 \log L$	L = longitud de ruptura superficial (km)
Límite de placas con desplazamiento lento (Nueva Zelanda; fallamiento oblicuo)	Stirling <i>et al.</i> (2008)	$M_W = 4.18 + \frac{2}{3}W + \frac{4}{3} \log L$	L = longitud de ruptura subsuperficial W = anchura de la falla
Límite de placas con desplazamiento lento (fallamiento lateral)	Wesnousky (2008)	$M_W = 5.56 + 0.87 \log L$	L = longitud de ruptura superficial (km)
Límite de placas con desplazamiento lento (Basin and Range; fallamiento normal)	Wesnousky (2008)	$M_W = 6.12 + 0.47 \log L$	L = longitud de ruptura superficial (km)
Ambiente Volcánico de corteza delgada (Nueva Zelanda; fallamiento normal)	Villamor <i>et al.</i> (2001)	$M_W = 3.39 + 1.33 \log A$	A = área del plano de falla (km ²)
Ambiente Volcánico de corteza gruesa (fallamiento normal)	Wesnousky (2008)	$M_W = 6.12 + 0.47 \log L$	L = longitud de ruptura superficial (km)
Ambiente Volcánico de corteza gruesa (fallamiento normal)	Mason (1996)	$M_W = 4.86 + 1.32 \log L$	L = longitud de ruptura superficial (km)

La **intensidad** mide cualitativamente los efectos causados por un sismo en un lugar determinado de la superficie terrestre. Existen diversas escalas que miden la intensidad la tabla 1.2 muestra algunas de las principales escalas que existen. Para representar en un mapa los efectos de un sismo se utilizan curvas llamadas isosistas, que representan los lugares donde se presentan daños ocasionados por el sismo con la misma intensidad.

Tabla 1.2 Principales escalas de Intensidad en el mundo

Escala	Unidad	Valor Mínimo	Valor Máximo	Observaciones	Utilizada en
Mercalli Modificada (MM)	Grados	I	XII	Grado I: el sismo solo es percibido por sismógrafos, Grado XII: destrucción total.	México, EUA
MKS	Grados	I	XII	Grado I: el sismo es percibido solo por sismógrafos, Grado XII: quedan dañadas todas las estructuras.	Europa
JMA	Shindo	0	7	Grado I: No se sienten los temblores por los humanos. Grado 7: Derrumbes en montañas fallas en edificios.	Japón, Taiwán

Ya que la intensidad mide los daños ocasionados por los sismos, guarda una estrecha relación con las aceleraciones máximas, es posible tener una relación aproximada. Gutenberg & Richter (1952) establecieron la siguiente relación:

$$\log a = I/3 - 1/2$$

Donde a es la aceleración máxima en cm/s^2 mientras que I es la intensidad. En 1956 Gutenberg & Richter definieron la relación empírica entre la magnitud e intensidad de la siguiente manera:

$$M = 1 + 2I_0/3$$

Donde M es la magnitud e I_0 es la intensidad máxima, esta relación es determinada para datos de California. Para el caso de México Esteva & Rosenblueth (1964) realizan una relación empírica entre la intensidad (I) y magnitud (M), definida para sismos someros en México

$$I = 8.16 + 1.45M - 2.46 \log R$$

Donde R es la distancia de la fuente al punto de observación.

Es importante definir la magnitud e intensidad de un sismo ya que dentro de la base de datos existe un campo definido para la magnitud, así como también conocer que existen diferentes maneras de estimar la magnitud de un sismo (M_s , M_b , M_w , M_L). Para los sismos históricos donde solo se conoce la intensidad es importante establecer la relación entre la intensidad y magnitud. Dentro de la base de datos existen fallas con magnitudes establecidas a partir de la intensidad.

El peligro sísmico de una región dada, es la probabilidad de que ocurra un sismo de cierto tamaño con una aceleración del terreno superior a un valor establecido en un tiempo determinado (Nava, 1987). Este concepto viene asociado al concepto del **riesgo sísmico**, que es la probabilidad de que un evento sísmico produzca pérdidas o daños (Nava, 1987). Zonas con un peligro sísmico alto pueden tener bajo riesgo sísmico debido a que en esas zonas existen pocos habitantes. Sin embargo zonas con peligro sísmico modesto pueden tener riesgo sísmico elevado debido a la gran población localizada en el área y/o a la mala calidad en las construcciones civiles. Uno de los sismos más grandes de la historia es el sismo del 27 de marzo en 1964 (9.1 Mw) en Alaska donde hay un peligro sísmico alto debido a la cercanía del límite convergente de placas, riesgo sísmico bajo por la baja densidad poblacional que existe en el área, la principal devastación ocurrió en la ciudad de Anchorage. No obstante el sismo de Alaska ocasionó pocos daños en comparación del sismo del Valle de San Fernando, California del 9 de febrero de 1971 (6.6 Ms), donde existe peligro sísmico moderado debido y riesgo sísmico alto debido a la alta densidad poblacional de esta área que tuvo costos en pérdidas por más de 500 millones de Dólares.

Para realizar el cálculo del peligro sísmico de manera probabilística se requieren modelos sobre la ocurrencia de un sismo, así como información de las zonas de fuentes sísmicas, la relación existente entre la magnitud y recurrencia, y las ecuaciones de predicción del movimiento del suelo. Para poder realizar los cálculos de peligro sísmico es de vital importancia la información de los catálogos de sismos históricos, los registros de movimiento del terreno y la información geológica del área de estudio. Otro elemento importante para el cálculo del peligro es el fallamiento intraplaca superficial. Este elemento no se ha tomado en consideración en México debido a la carencia de información sobre fallamiento cuaternario presente en el país.

La relación entre la magnitud de un sismo y la frecuencia con la que este sucede, está establecida mediante la relación *Gutenberg-Ritcher* (1958). Es una fórmula empírica que permite cuantificar la relación Frecuencia - Magnitud de la actividad sísmica de una región.

Dicha cuantificación se mide de la siguiente manera

$$\log_{10}N = a - bM$$

Donde N es el número de eventos sísmicos de magnitud mayor a M, *a* es una medida del nivel de sismicidad de una región, expresa el logaritmo del número de sismos magnitudes mayor a cero, *b* es el decaimiento o pendiente de la relación, cuyo valor es generalmente cercano a 1 ($0.8 < b < 1.2$), *a* y *b* son constantes determinadas por la naturaleza sísmica de la región. Si se grafica la relación *Gutenberg-Ritcher* se puede observar que la relación se aproxima a una recta, sin embargo la relación lineal no se mantiene en el caso de magnitudes muy pequeñas o muy grandes. Existen dos explicaciones para el truncamiento de la linealidad en la relación *Gutenberg-Ritcher*, para magnitudes pequeñas se debe a que los sismo de baja magnitud no pueden ser registrados por todas las estaciones, para magnitudes mayores se debe a que los sismos ocurren con poca frecuencia, por lo que muchas veces el periodo de observación es demasiado corto en comparación con la recurrencia de los sismos de gran magnitud.

Como ya se mencionó, para calcular el peligro de un área se tiene que evaluar la tasa de actividad que se produce por todas las fuentes sísmicas que pueden afectar el área. La actividad de cada una de las fuentes sísmicas se define por la tasa de excedencia de las magnitudes que se generan en esa área, en otras palabras que tan frecuente se generan en una fuente, sismos de magnitud superior a la establecida. Por tal motivo es importante conocer la Relación *Gutenberg-Richter* los valores de a y b , así como la escala utilizada de magnitud los sismos, existen diversas ecuaciones para estimar la magnitud de un sismo, por lo que dentro del cálculo del peligro sísmico es importante la selección de la relación de escala de la magnitud sea la misma para todos los sismos.

Dentro del cálculo del peligro sísmico es importante tomar en cuenta el decrecimiento de la amplitud de las ondas sísmicas cuando estas se propagan por la tierra. Existen principalmente cuatro factores que reducen la amplitud de las ondas, estas son: dispersión geométrica, *scattering* (dispersión de la energía cuando las heterogeneidades en las velocidades son más pequeñas que la longitud de onda), multi-trayectoria (dispersión de la energía cuando las heterogeneidades en las velocidades son más grandes que la longitud de onda) y la atenuación intrínseca. Las tres primeras son procesos elásticos donde la energía en el campo de ondas es conservada, mientras que en la atenuación intrínseca existe conversión de la energía sísmica en calor (Stein & Wysession ,2002).

Existen efectos locales que pueden aumentar el movimiento del terreno cuando ocurre un sismo. Cuando las ondas sísmicas entran en un valle sedimentario las ondas sísmicas se amplifican debido a que, al pasar las ondas a un medio de menor rigidez produce con la misma energía, ondas con mayor amplitud (Tucker & King, 1984). Otro efecto que se observa principalmente en las arcillas es la licuefacción, que hace que el terreno fluya como si fuera líquido (Faccioli & Reséndiz, 1976). De igual manera la topografía del basamento de un valle puede generar un efecto de lente, enfocando la energía sísmica en determinados puntos conocidos como caústicas, con lo que se puede producir también un efecto de amplificación de ondas por la topografía (Munguia & Brune, 1984). Por último donde existen sedimentos confinados si el movimiento del terreno se prolonga por periodos del orden de minutos, con ondas de periodo cercano a los de los modos propios de los sedimentos estos pueden comenzar a resonar (Bard & Bouchon, 1985). Si a este efecto de sitio le aumentamos el efecto de proximidad de los sismos someros el peligro sísmico de un área puede aumentar.

II.-Marco Teórico

II.1 Marco Sismo-Tectónico

La dinámica de la corteza terrestre es controlada a partir del desplazamiento de las **placas tectónicas**. Una placa tectónica es un bloque rígido (litosfera) que incluye la corteza y la zona más somera del manto. La litosfera se desliza sobre una capa plástica del manto superior (astenosfera). La deformación principal de las placas sucede en sus límites. Existen tres límites entre ellas: 1) dos placas se separan (**límite divergente**); 2) dos placas convergen, montándose una sobre otra cuando la densidad de las placas es diferente, o generando sistemas montañosos al chocar cuando la densidad de las placas es similar (**límite convergente**); y 3) una placa se desliza a lo largo de otra (**límite transformante o transcurrente**) (Wilson, 1976). La figura 2.1 nos ilustra la interacción que existe en los límites de placas.

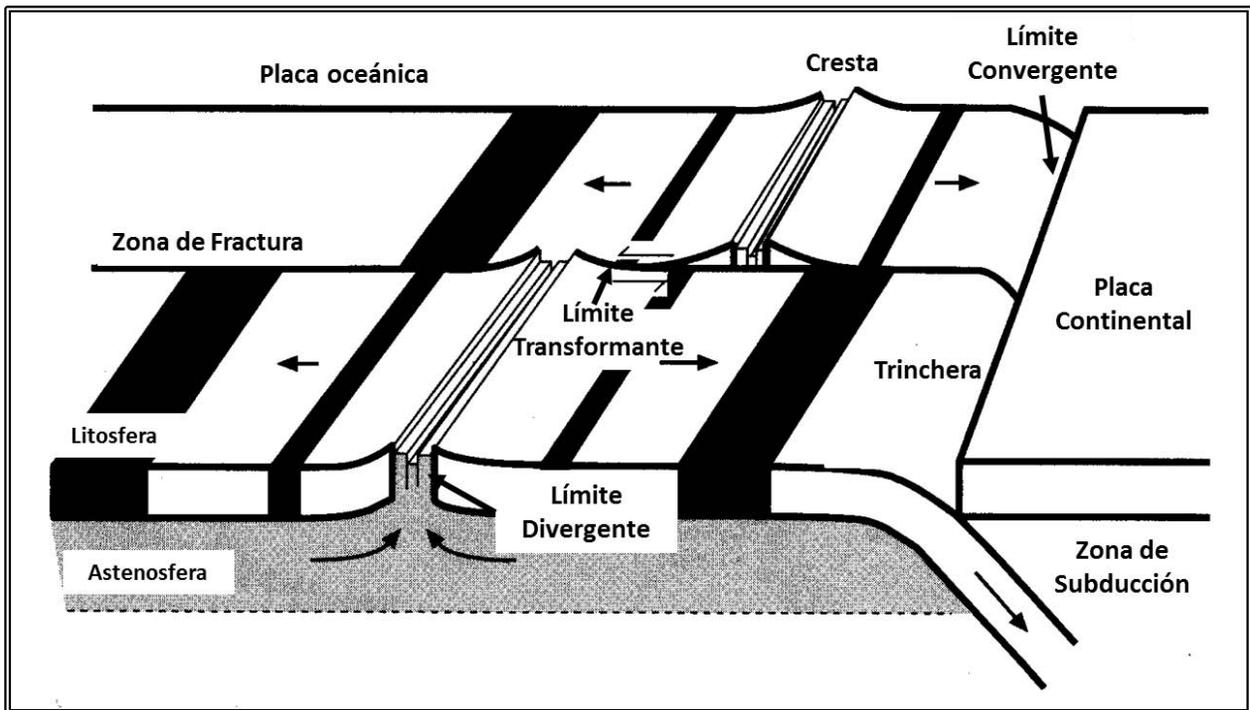


Figura 2.1. Esquema del límite de placas. La litosfera dividida en varios bloques o placas se desplaza sobre el manto superior (astenosfera). Las flechas nos indican los desplazamientos de las placas, así como la creación de nueva corteza. Del lado derecho se localiza la placa continental, del lado izquierdo se aprecia la placa oceánica. En el límite divergente existe la creación de nueva corteza (cresta). En el límite convergente dos placas chocan montándose una placa sobre otra (trincheras). El límite transformante desliza una placa a lo largo de otra mediante una zona de fractura. Las franjas blancas y negras que van de la cresta a la trincheras son las anomalías magnéticas producto de la inversión de polos magnéticos a lo largo de la historia de la formación de la Tierra. (Modificado de Stein & Wysession, 2002).

En México contamos con 5 placas tectónicas:

- **Placa Norteamericana:** Placa continental que abarca la mayor parte del territorio Mexicano. Esta forma un límite transformante con respecto a la placa Pacífico y Caribe, mientras que debajo de ella subducen la placa Cocos y Rivera.
- **Placa Pacífico:** Placa oceánica, localizada en el océano pacífico y en la península de Baja California. Forma un límite divergente con la placa Rivera y Cocos, mientras que su límite es transformante con la placa Norteamericana.
- **Placa Cocos:** Se localiza al oeste de las costas de los estados de Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas. Subduce bajo las placas Caribe y Norteamericana y mantiene un límite Divergente con la placa Pacífico.
- **Placa Caribe:** Se encuentra localizada en el mar Caribe y la parte sur de Chiapas. Mantiene un límite transformante con la Placa Norteamericana y la placa Cocos subduce bajo ella.
- **Placa Rivera:** Es una micro placa que se localiza principalmente al oeste de las costas de Jalisco y Nayarit. Subduce bajo la placa Norteamericana, tiene un límite divergente con la placa Pacífico y tiene un límite transformante con la placa Cocos.

La figura 2.2 nos muestra la distribución de las placas tectónicas en México, al igual que nos muestra los principales eventos telúricos magnitud mayor a 5 de 1963 al 2004, así como los volcanes activos (Simkin *et al.*, 2006).

Debido a la interacción de las placas tectónicas tenemos una gran cantidad de eventos sísmicos y se pueden clasificar de acuerdo a su posición respecto al límite de placas (Stein & Wysession, 2002). En México podemos encontrar:

Sismos Interplaca: Ocurren debido al roce producto de la subducción de las placas Cocos y Rivera bajo la Norteamericana y la divergencia oblicua entre Norteamérica y Pacífico. Siendo los sismos de mayor magnitud en México con magnitudes que han alcanzado hasta una magnitud 8 Mw, debido a que tienen mayor longitud de ruptura. Estos eventos son someros, concentrándose entre los 5 y 35 km de profundidad.

Sismos Intraplaca: Son de menor magnitud que los interplaca (sismos del orden de 6 y 7 Mw) y ocurren fuera del límite de placas. Los sismos más profundos de este tipo en México ocurren dentro de la placa subducida por extensión y contracción térmica con profundidades de más de 100 km. Mientras que los más someros (menos de 35 km de profundidad) se conocen como **sismos corticales**, y están alejados del límite de placas. La magnitud de los eventos que llegan a presentar expresión superficial es del orden de 5 - 6 Mw e incluso se tiene reporte de magnitudes de 7 (Bavispe 1887, Mw recalculado 7.4). Al ser estos eventos muy superficiales y tener reportes de estos sismos principalmente sobre la Faja Volcánica Transmexicana son muy peligrosos debido a la cercanía a zonas altamente pobladas.

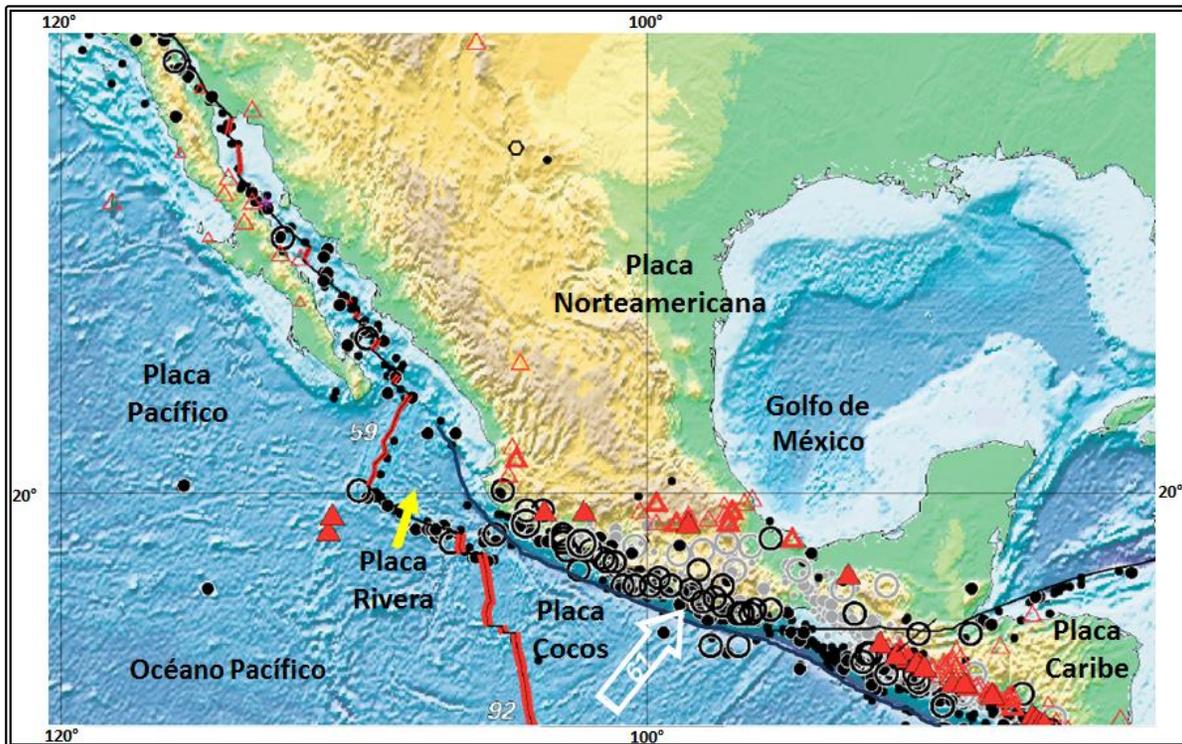


Figura 2.2 Placas tectónicas de México. El límite divergente es marcado a través de las líneas rojas. El límite transformante se indica mediante líneas negras. El límite convergente o zona de subducción es señalada a través de la traza azul marino. Las cifras descritas cerca de los límites divergentes indican la tasa de divergencia expresada en mm/año. La flecha color blanco indica la velocidad con la cual subduce la placa de Cocos en la placa Norteamericana, las cifras están presentadas en mm/año. La sismicidad somera (menos de 60 km) y de magnitud entre 5 y 6.9 se indica con las esferas negras. La sismicidad somera y de magnitud superior a 7 se representa mediante círculos negros. Los sismos de una profundidad superior a 60 km y magnitud superior a 7 se representan mediante los círculos grises. La sismicidad reportada va desde 1900 hasta 1999. Los triángulos representan los volcanes activos desde el Holoceno, siendo los triángulos rojos los que presentan eventos eruptivos en los últimos 114 años. Los triángulos con margen grueso rojo eventos eruptivos desde el año 1 D.C. y los triángulos de margen delgado rojo corresponden a eventos eruptivos en los últimos 10, 000 años. (Modificado de Simkim et al., 2006).

En este caso los sismos intraplaca y en particular los corticales presentan un mayor interés dentro de este trabajo, ya que estos pueden tener una expresión superficial a través de escarpes de fallas si son de magnitudes considerables (5 a 7) y /o se encuentran muy próximos a la superficie. Ejemplo de sismos corticales con expresión superficial son los sismos de Acambay y Bavispe. El sismo de Acambay del 19 de noviembre de 1912 tuvo una magnitud M_B 6.9 (Abe, 1981) y ocurrió en la falla de Acambay-Tixmadejé en el Estado de México, con una longitud de falla de 36 km y escarpes de más de 50 cm (Urbina & Camacho, 1913; Langridge et al., 2000). El sismo de Bavispe del 3 de mayo de 1887 tuvo una magnitud recalculada M_w 7.4 (Natali & Sbar, 1982). Este sismo localizado en el estado de Sonora afectó tres fallas, de sur a norte: la falla Otates con una longitud de 18.9 km y un desplazamiento vertical promedio de 152 cm; la falla Teras con una longitud de 20.7 km y desplazamiento vertical promedio de 112 cm y; la falla Pitáycachi con una longitud de 43.8 km y un desplazamiento vertical promedio de 232 cm, las tres fallas localizadas en el estado de Sonora.

La información que se tiene referente a la estructura de las placas tectónicas en México proviene de proyectos de investigación como lo han sido los proyectos MASE y MARS. Los Proyectos MARS y MASE fueron arreglos de sismógrafos de banda ancha, sismógrafos capaces de grabar un ancho rango de frecuencias. Estos proyectos se realizaron para estudiar la estructura de la subducción de la placa de Rivera y de Cocos respectivamente.

El proyecto MARS (*Mapping the Rivera Subduction Zone*) es un proyecto que tuvo como finalidad el mapeo de la zona de subducción de la placa de Rivera bajo la placa Norteamericana realizado en los estados de Jalisco y Michoacán (figura 2.3). Para ello se instalaron 50 sismógrafos de banda ancha de enero 2006 a junio de 2007 (León-Soto *et al.*, 2009; Yang *et al.*, 2009). El proyecto MASE (*Meso-American Subduction Experiment*) tuvo como objetivo general crear un modelo de subducción de la placa de Cocos bajo la placa Norteamericana (Pérez-Campos *et al.*, 2008). Este contó con 100 estaciones equipadas con sismógrafos de banda ancha a lo largo de una línea que va desde Acapulco Guerrero hasta Tempoal Veracruz del año 2005 al 2007 (figura 2.4).

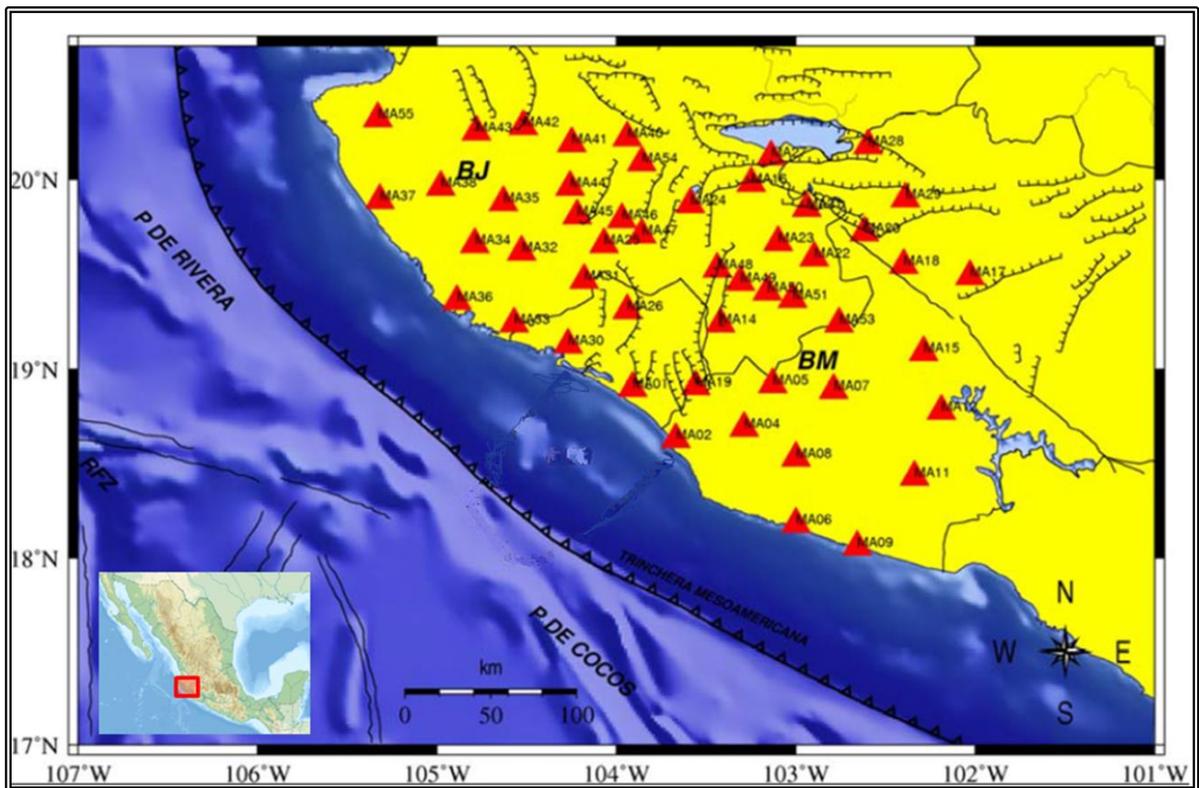


Figura 2.3. Localización de las estaciones sismológicas del proyecto MARS (*Mapping the Subduction Rivera Zone*). Cada triángulo rojo representa una estación. La clave MA significa MARS y los dos siguientes dígitos corresponden al número de estación. Las trazas dentadas corresponden a fallas normales, mientras que las líneas continuas corresponden a lineamientos estructurales (Modificado de Martínez-López, 2011).

Estos estudios han ayudado a conocer la geometría de las placas tectónicas en profundidad y la geodinámica presente en el país que influye en el comportamiento de las fallas en superficie principalmente en el centro del país (Faja Volcánica Trasmexicana).

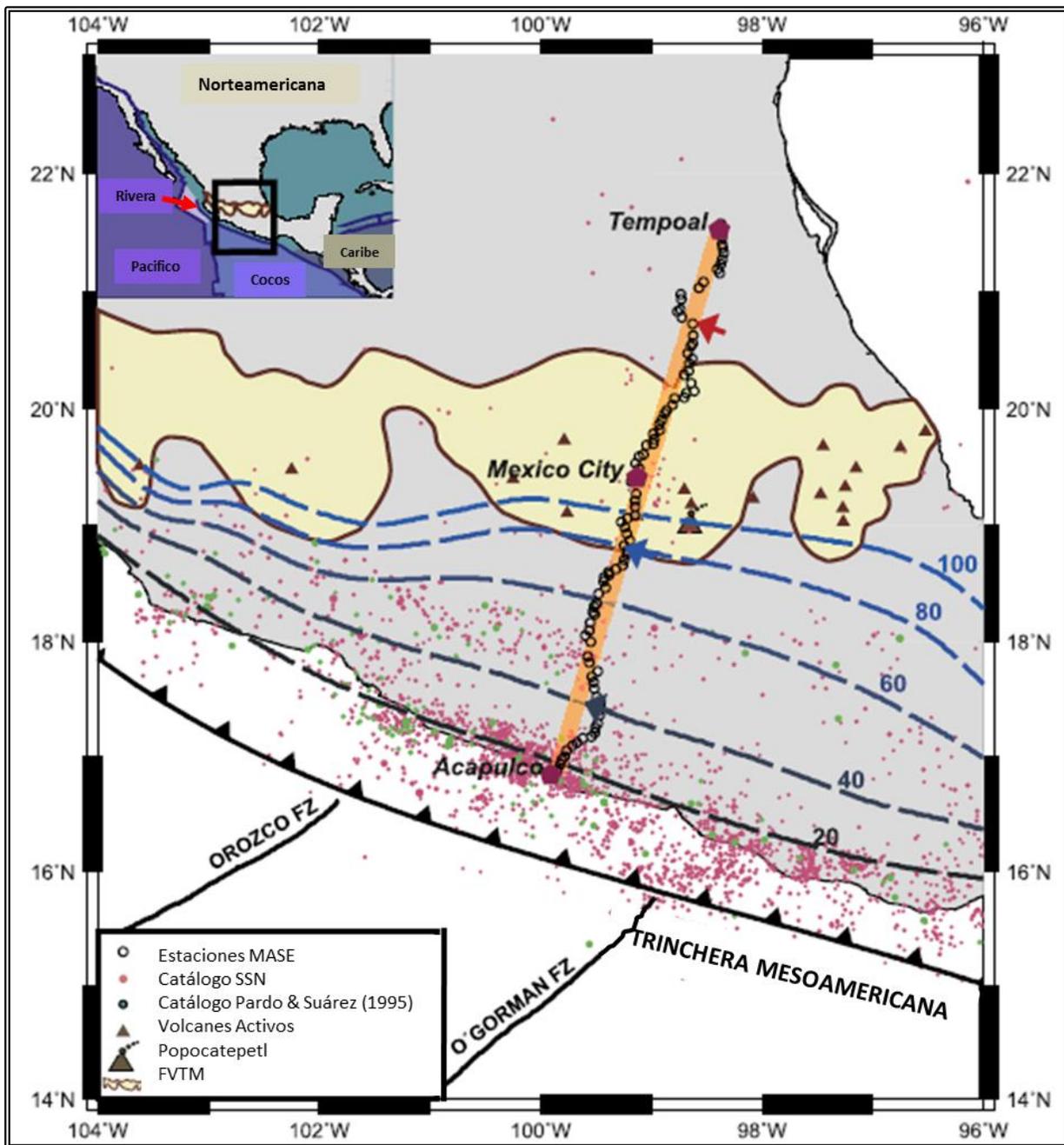


Figura 2.4. Localización de las estaciones sismológicas del proyecto MASE (Meso-American Subduction Experiment) mediante los círculos rojos. Las líneas discontinuas azules representan curvas de isopropfundidad de la placa de Cocos reportada por Pardo & Suarez 1995. Los puntos corresponden a los sismos magnitud $M > 4$ reportados por: el SSN (rosa, de Dic de 2004 a junio 2007), sismos reubicados por Pardo & Suárez 1995. La línea naranja representa el perfil del proyecto MASE Las flechas representan el inicio (azul fuerte), el final de la placa plana y la punta final de la placa en subducción subvertical (rojo). FVTM Faja Volcánica Transmexicana (Tomado y modificado de Pérez-Campos et al., 2008).

La información de la distribución de los sismos en México, proviene principalmente de las redes sismológicas del país y agencias internacionales. Dentro del territorio nacional hay una gran cantidad de redes de sismógrafos y acelerógrafos. Existen redes locales como: la red Sismológica

del Valle de México, o la RESNOM (Red sismológica del Noroeste Mexicano). No obstante la red más grande, abarcando todo el territorio Mexicano está implementada por parte del Servicio Sismológico Mexicano (SSN) y cuenta con 54 estaciones de banda ancha. La figura 2.5 nos muestra la localización de estas estaciones. Si bien la red del SSN tiene una buena cobertura del país esto no siempre fue así. El SSN se fundó el 5 de septiembre de 1910, de 1910 a 1923 se instalaron 9 estaciones sismológicas en todo el país. De 1929 a 1948 llegó a contar con 20 estaciones, a partir de 1986 el monitoreo sísmico fue en tiempo real. Sin embargo hasta 1992 se comenzó a actualizar la red sismológica aumentando la cantidad de estaciones instaladas, esto implica que el monitoreo sísmico anterior a esta fecha puede tener errores en la precisión de la magnitud y ubicación de los sismos registrados.

Las agencias internacionales que también brindan información de los sismos son el NEIC (Centro Nacional de información de Sismos, por sus siglas en Inglés) del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés), el GSN (Red Global Sismográfica, por sus siglas en Inglés). El GSN se encuentra formado por parte del USGS, la Fundación Nacional de la Ciencia de EUA (NSF, por sus siglas en inglés) y las Instituciones Incorporadas de Investigación de Sismología (IRIS, por sus siglas en inglés).

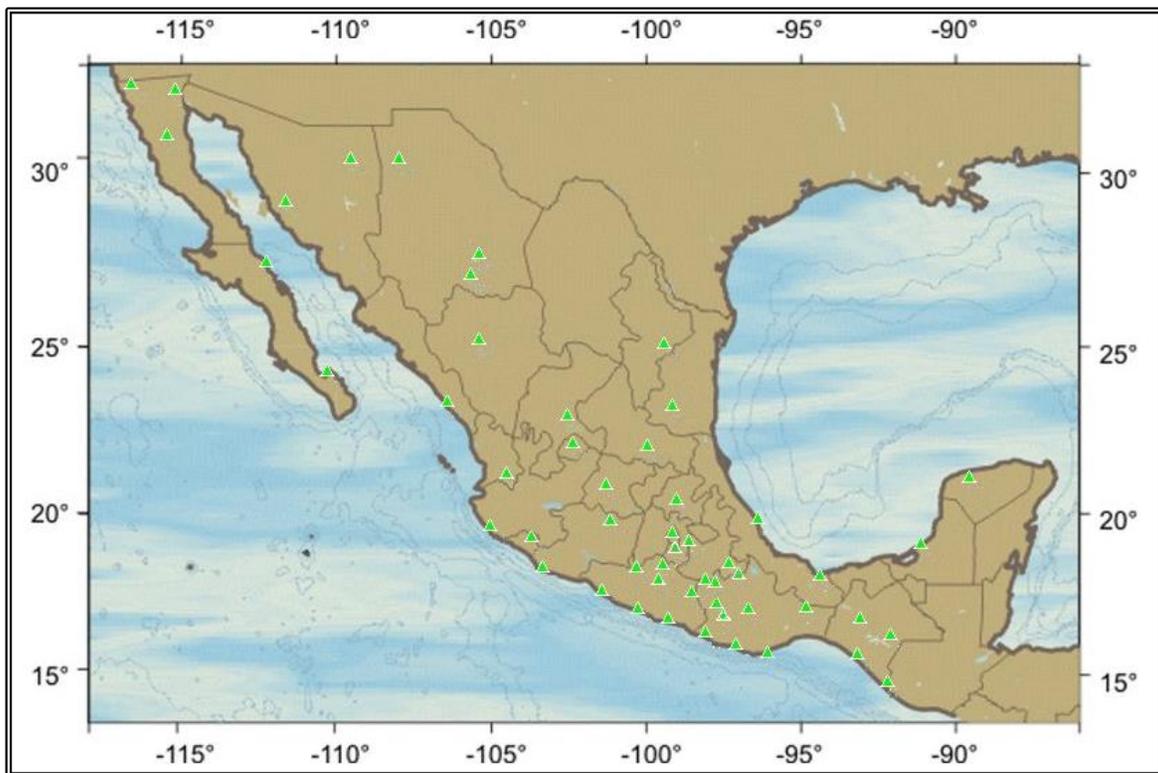


Figura 2.5 Localización geográfica de las 54 estaciones de banda ancha (triángulos verdes) que componen la red sísmica de las Servicio Sismológico Nacional (Modificado de la página de Internet del SSN http://www2.ssn.unam.mx:8080/website/jsp/red_sismologica.jsp#Red de Banda).

II.1 Marco Geológico

Dentro de este apartado observaremos un bosquejo geológico muy general presente en el área de estudio. México es un país con una diversidad geológica muy basta. Se puede encontrar rocas metamórficas del Precámbrico, rocas carbonatadas del Cretácico, ignimbritas del Cenozoico, entre otras muchas variedades. Al encontrarse en el límite de placas se encuentra sometida a diversos estados de esfuerzo que deforman el relieve formando sistemas montañosos, depresiones y valles.

Para poder realizar un modelo geológico de todo el territorio nacional se utiliza la definición de provincia geológica presentada por Ortega-Gutiérrez *et al.* (1991): “Una provincia geológica es toda área factible de ser cartografiada de la superficie sólida de la Tierra. Abarca de centenares a millones de kilómetros cuadrados. Se caracteriza por, su litología, su estructura, y los eventos geológicos que integran su historia evolutiva. Está separada de otras provincias por límites estratigráficos, tectónicos o por ambos”.

La figura 2.6 nos brinda la localización de las 35 provincias geológicas que propone Ortega-Gutiérrez *et al.* (1991) y modificada por Dávalos-Álvarez (2006) dentro del República Mexicana. Esta figura se encuentra asociada la tabla 2.1 que muestra la edad, origen y el ambiente geotectónico de cada una de las 35 provincias.

La figura 2.7 nos muestra el mapa geológico de la república Mexicana propuesto por el Servicio Geológico Mexicano (SGM) en el 2007. Las rocas que afloran primordialmente en el territorio mexicano corresponden en su mayoría a rocas del Mesozoico o Cenozoico (casi el 75% del área,) mientras que el 12% corresponde a rocas del Precámbrico, el 13 % restante al Paleozoico.

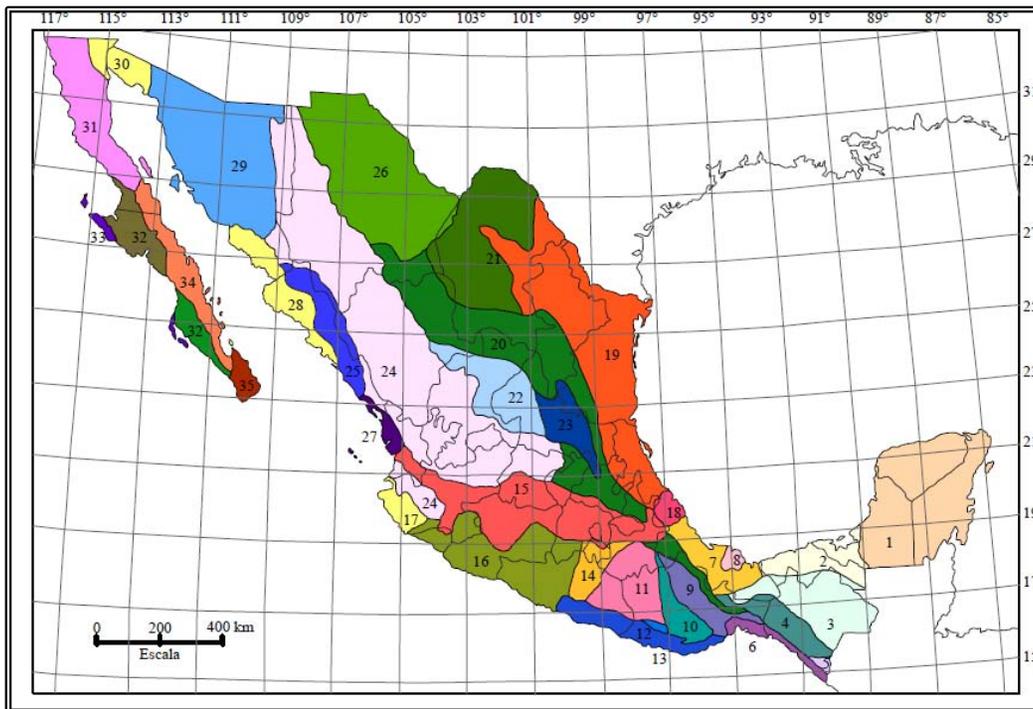


Figura 2.6 Provincias geológicas de México. La numeración en el mapa corresponde a la de la tabla 2.1 donde se muestra la edad, origen y el ambiente geotectónico de cada una de las provincias. (Ortega *et al.* 1991, modificado por Dávalos-Álvarez 2006).

Tabla 2.1 Provincias geológicas de México (Ortega-Gutiérrez et al., 1991, modificada por Dávalos-Álvarez, 2006).

	Provincia Geológica	Edad	Origen	Ambiente Geotectónico
1	Plataforma de Yucatán	Cenozoico	Sedimentario Marino	Plataforma
2	Cuenca Deltaica de Tabasco	Cenozoico	Sedimentario Continental	Geoclinal
3	Cinturón Chiapaneco de Pliegues y Fallas	Cenozoico	Sedimentario Marino	Orógeno
4	Batolito de Chiapas	Paleozoico	Plutónico	Raíz de Arco
5	Macizo Ígneo de Sononusco	Cenozoico	Plutónico	Raíz de Arco
6	Cuenca de Tehuantepec	Cenozoico	Sedimentario Marino	Geoclinal
7	Cuenca Deltaica de Veracruz	Cenozoico	Sedimentario Continental	Geoclinal
8	Macizo Volcánico de los Tuxtlas	Cenozoico	Volcánico	Arco Continental
9	Cuicateca	Mesozoico	Vulcanosedimentario	Arco Submarino
10	Zapoteca	Precámbrico	Complejo	Compuesto
11	Mixteca	Paleozoico	Complejo	Compuesto
12	Chatina	Mesozoico	Plutónico	Raíz de Arco
13	Juchateca	Paleozoico	Vulcanosedimentario	Arco Submarino
14	Plataforma Morelos	Mesozoico	Sedimentario Marino	Plataforma
15	Faja Volcánica Transmexicana	Cenozoico	Volcánico	Arco Continental
16	Complejo Orogénico de Guerrero-Colima	Mesozoico	Vulcanosedimentario	Arco Submarino
17	Batolito de Jalisco	Mesozoico	Plutónico	Raíz de Arco
18	Macizo Ígneo de Palma Sola	Cenozoico	Volcánico	Arco Continental
19	Miogeoclinal del Golfo de México	Cenozoico	Sedimentario Marino	Geoclinal
20	Cinturón Mexicano de Pliegues y Fallas	Mesozoico	Sedimentario Marino	Orógeno
21	Plataforma de Coahuila	Mesozoico	Sedimentario Marino	Plataforma
22	Zacatecana	Mesozoico	Complejo	Compuesto
23	Plataforma Valles-San Luis Potosí	Mesozoico	Sedimentario Marino	Plataforma
24	Faja Ignimbrítica Mexicana	Cenozoico	Volcánico	Arco Continental
25	Cinturón Orogénico Sinaloense	Mesozoico	Vulcanosedimentario	Arco Submarino
26	Chihuahuense	Cenozoico-Mesozoico	Complejo	Compuesto
27	Cuenca de Nayarit	Cenozoico	Sedimentario Marino	Geoclinal
28	Cuenca Deltaica de Sonora-Sinaloa	Cenozoico	Sedimentario Continental	Geoclinal
29	Sonorense	Precámbrico	Complejo	Compuesto
30	Delta del Colorado	Cenozoico	Sedimentario Continental	Geoclinal
31	Batolito de Juárez-San Pedro Mártir	Mesozoico	Plutónico	Raíz de Arco
32	Cuenca de Vizcaíno-Purísima	Cenozoico	Sedimentario Marino	Geoclinal
33	Cinturón Orogénico de Cedros y Margarita	Mesozoico	Vulcanosedimentario	complejo de Subducción
34	Falla Volcánica de la Gitana	Cenozoico	Volcánico	Arco Continental
35	Complejo Plutónico de la Paz	Mesozoico	Plutónico	Raíz de Arco



Figura 2.7 Mapa geológico de la República Mexicana (Tomado de SGM, 2007).

III.- Evolución del Estudio de Fallas Cuaternarias y Antecedentes

III.1 Evolución de la neotectónica en el mundo

El estudio de la deformación de corteza en el Cuaternario se ha desarrollado principalmente en los países donde la tasa de los procesos tectónicos es alta. De igual manera estas investigaciones geológicas son apoyadas por una buena infraestructura científica y recursos económicos. Ejemplo de países que cumplen con estas dos características son Japón, Nueva Zelanda, Rusia y Estados Unidos (McCalpin, 2009).

El concepto de que la morfología abrupta de algunas regiones fue generada a partir de terremotos se ha desarrollado desde varios siglos atrás (Vita-Finzi, 1986; Bonilla, 1991). El estudio de fallas cuaternarias tiene sus orígenes a finales del siglo XIX y principios del siglo XX (Richter, 1958). Siendo uno de sus principales exponente Grove K. Gilbert quien definió varios conceptos que son actualmente empleados por la paleosismología. Para Gilbert, alturas variables de escarpes en diferentes superficies aluviales sugieren varios eventos de fallamiento superficial. Mediante las mediciones de las alturas de los escarpes de falla, Gilbert estima el desplazamiento de la falla por evento dentro de la falla Wasatch en Utah EUA (Gilbert; 1884; 1886; 1890; 1928).

No obstante los métodos de estudio paleosismológico surgieron a finales de los años de 1960 y principios de 1970. Dentro de esta época se empezó a utilizar la estratigrafía y geomorfología como evidencia para interpretar las características de los sismos prehistóricos. Entre los principales trabajos están: Florensov (1960), Solonenko (1962; 1970; 1973), Engelder, (1974), Huzita & Ota, (1977), y Lensen (1968).

En la actualidad existen trabajos de recopilación de información de fallamiento cuaternario como el desarrollado por el Instituto Geológico y Minero de España, realizado en la península Ibérica con el nombre “La base de datos de fallas activas de Iberia”. Este proyecto tiene como objetivo identificar y caracterizar fuentes sismogénicas tipo falla (García-Mayordomo *et al.*, 2012). Contiene un total de 262 falla y se puede consultar mediante la siguiente liga de Internet: <http://info.igme.es/qafi/>

La liga nos muestra un mapa de la península ibérica, donde se encuentran dibujadas las trazas de las fallas, al seleccionar cada una de las fallas se abre una nueva ventana donde se despliegan 6 campos generales con información de la falla, dichos campos son:

- Identificación y compilación
 - Geometría y cinemática
 - Actividad Cuaternaria
 - Parámetros Sísmicos
-

- Sismicidad Asociada
- Datos y Referencia extendida

También existe la base de datos presentada por la USGS (2014) donde se presenta un mapa interactivo de fallas cuaternarias, se hace la distinción en la edad de las fallas de acuerdo al color de la traza de falla, rojo menor a 150 años, amarillo menor a 15 000 años, verde menor a 130 000 años, azul menor a 750 000 mil años, negro menor a 1.6 millones de años (página web: <http://earthquake.usgs.gov/hazards/qfaults/map/>). Los campos que cubre la base de datos de USGS (2014) son:

- nombre de la falla
- quien la documentó
- edad de la falla
- tipo de falla
- tasa de deslizamiento
- rumbo de la falla
- echado de la falla
- la longitud de la falla

Estas bases de datos no fueron utilizadas como referencia para realizar la base de datos en esta tesis, sin embargo presentan una estructura similar a la que se hizo en la tesis.

III.2 Estudio de las fallas cuaternarias en México

El estudio de las fallas cuaternarias en México está asociado a los eventos sísmicos corticales de magnitudes considerables ($M > 6$), que han causado daños a las poblaciones aledañas al sismo. El ejemplo más claro de esto corresponde al sismo de Acambay de 1912.

El 19 de Noviembre de 1912 un sismo con magnitud aproximada M_w 7 ocasionó gran destrucción en las poblaciones del graben de Acambay, localizado en la parte central de la faja Volcánica Transmexicana entre los estados de Michoacán y Estado de México. La población de Acambay fue destruida por completo debido al sismo de 1912 (figura 3.1). A partir de este sismo se elaboró el primer trabajo que documentó el fallamiento producto del sismo, realizado en la parte central de México.

Urbina & Camacho (1913) presentan una descripción detallada de los efectos producidos por el sismo, fotografías y mapas donde se cartografiaban las rupturas superficiales. Dentro del trabajo hacen mención que a partir del evento de 1912 se presentan grietas en las fallas Acambay-Tixmadejé (al norte del graben), Pastores (al sur del graben) y en la parte central del graben. El trabajo presentado por estos autores es el primer trabajo sobre fallamiento cuaternario en México.



Figura 3.1 Fotografía de los efectos en el pueblo de Acambay, producto del sismo del 19 de septiembre de 1912 (Urbina & Camacho, 1913).

El 3 de mayo de 1887 ocurrió el mayor evento intraplaca documentado en México al Noreste de Sonora cerca de la población de Bavispe. Este sismo tuvo una expresión superficial a través de las fallas Pitáycachi, Teras y Otates. No obstante fue hasta finales de la década de 1970 cuando se realizaron estudios en esta área. Natali & Sbar (1982) realizaron un estudio que estuvo enfocado en la implementación de redes sismológicas temporales en la zona epicentral del sismo. Mediante la implementación de estas redes se detectaron treinta y tres eventos de magnitud $M < 2$. A través de los mecanismos focales de estos eventos se determinó que las fallas corresponden a fallas normales con rumbo NE y echado de 72° , proponiendo a esta área como una zona de fallamiento cuaternario (Natali & Sbar, 1982).

Entre los primeros trabajos que cuentan con estudios paleosismológicos, geomorfológicos y neotectónicos en México, están los trabajos de Hirabayashi *et al.* (1996) y Langridge *et al.* (2000).

Hirabayashi *et al.* (1996) realizaron estudios neotectónicos en la falla San Miguel en Baja California Norte y estimaron una tasa de deslizamiento de 0.2 mm/año. Mediante la excavación de trincheras a lo largo y cortando a la falla, determinaron un desplazamiento de 80 a 115 cm asociado al sismo de 1956 de magnitud $M 6.8$ producido en esta zona. Estimaron un periodo de retorno de 5.8 ka para un sismo $M_w 6.8$. Combinaron sus estimaciones geológicas con las magnitudes y frecuencias de sismos a lo largo de la falla a través de la Red Sísmica del Noroeste (RESNOR) durante el periodo de 1976 a 1991. La figura 3.2 muestra un diagrama de una de las trincheras que se realizaron dentro de este proyecto.

Por su parte Langridge *et al.* (2000) trabajaron dentro del graben de Acambay sobre la falla Acambay-Tixmadejé. Mediante la excavación de la trincheras se determinaron multieventos

sísmicos (cinco eventos, contando el evento de 1912) con un desplazamiento oblicuo (lateral izquierdo-normal). Obtuvieron un intervalo de recurrencia promedio de 3600 años y una tasa de deslizamiento de 0.17 mm/año.

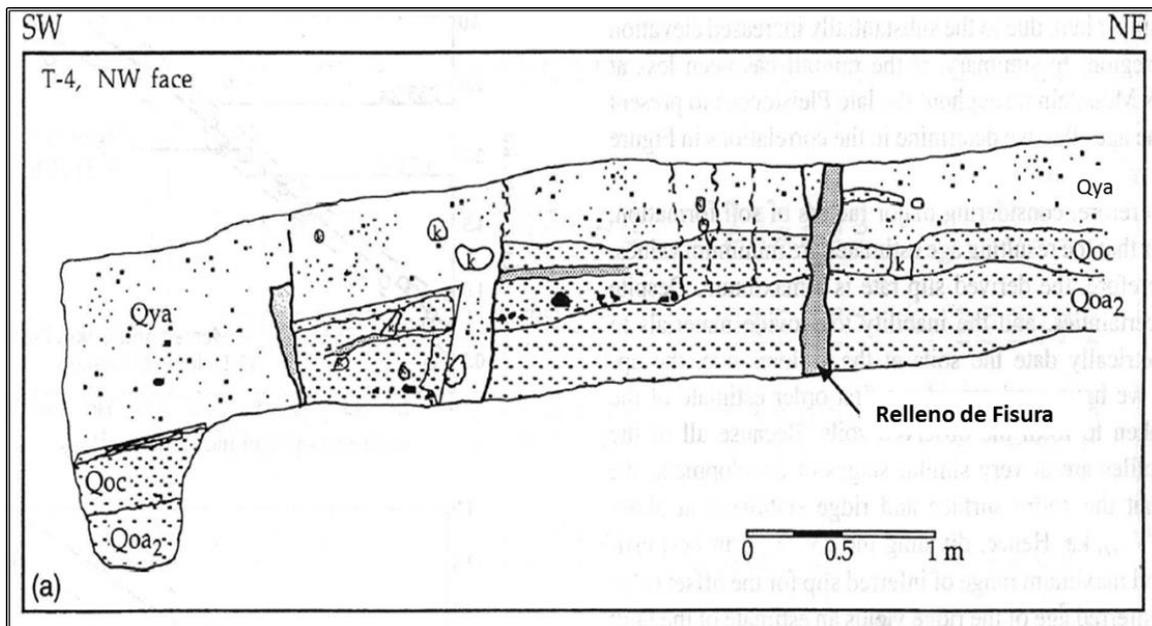


Figura 3.2 Diagrama de la cara noroeste de la trinchera 4 (T-4, cara NW) excavada en la falla San Miguel en Baja California Norte. Esta trinchera corta perpendicular a la zona de falla. Las Fallas están representadas por la líneas negras, Qya = aluvión joven, Qoc = coluvión antiguo, Qoc₂ = aluvión antiguo (Hirabayashi *et al.*, 1996).

En el año 2012 la Unión Internacional para la Investigación de Cuaternario (INQUA por sus siglas en inglés) y el Programa Internacional de Ciencias de la Tierra (IGCP por sus siglas en inglés) realizaron en Morelia Michoacán el tercer taller internacional en “Geología de sismos, paleosismología y arqueosismología”. En este taller se presentaron varios trabajos de paleosismología documentando principalmente fallamiento cuaternario en el centro del país, se presentó un estado del conocimiento del fallamiento cuaternario en México para ese año. De igual manera el taller también mostró las técnicas paleosismológicas más actualizadas para la obtención de datos sobre la cinemática de las fallas y diversas técnicas para fechar las muestras obtenidas en campo.

La documentación de fallas en general se lleva a cabo mediante la cartografía de todo el país (Ortega-Gutiérrez, *et al.*, 1992) o de áreas como la Faja Volcánica Transmexicana (Pasquaré *et al.*, 1991; Ferrari *et al.*, 2012), y al sur de la provincia Cuencas y Sierras (*Basin and Range*) (Nakata *et al.*, 1982; Collins, & Raney, 1991; Henry, 1998; Henry *et al.*, 1985). La importancia de estos trabajos corresponde a la ubicación y geometría de las fallas, así como a su posible último desplazamiento, a través de conocimiento de la edad de la litología cortada por la falla. Sin embargo no cuentan con información más detallada, como la tasa de deslizamiento, o intervalo de recurrencia.

Dentro de la literatura se cuentan con varios trabajos publicados que documentan áreas con fallamiento cuaternario, siendo primordialmente los estudios realizados en la Faja Volcánica

Transmexicana (Ferrari & Rosas-Elguera, 2000; Suter, *et al.*, 1995; Suter *et al.*, 2001), la península de Baja California (Cruz-Castillo, 2002; Díaz-Torres, *et al.* 2012; González-Ortega, *et al.* 2014; Fletcher & Munguia, 2000; Fletcher *et al.*, 2014), las fallas asociadas al sistema de falla Polochic-Motagua (Guzmán Speziale, 2010; Guzmán-Speziale & Meneses-Rocha, 2000) y en el estado de Sonora (Suter & Contreras, 2002; Suter 2008, 2015). Estos trabajos brindan información de la geometría de las fallas, los sismos asociados a estas fallas, la tasa de desplazamiento, el intervalo de recurrencia o estudios de paleosismología. Estudios como los de Suter (1995; 2001) y Cruz-Carillo (2002) hacen además, una recopilación de fallas en la Faja Volcánica Transmexicana y Baja California Norte respectivamente.

El trabajo de Suter *et al.* (2001) hace una documentación de fallas en los sectores central y oriental de la Faja Volcánica Transmexicana. El estudio abarca al graben de Cuitzeo, el graben de Acambay, el semigraben de Aljibes y el graben de Mezquital (de oeste a este). Este proyecto mapeó aproximadamente 100 fallas normales con rumbo este-oeste de una longitud mayor a 2 km. De las fallas cartografiadas aproximadamente 65 cortan rocas de edad cuaternaria conocida (más jóvenes de 1.6 Ma), y 22 cortan rocas con edad documentada más joven que 750 ka. Determinan que las mayores tasas del deslizamiento vertical máximo de las fallas se localizan en el margen sur del graben de Cuitzeo, en el margen sur del graben de Acambay y en el medio graben de Aljibes, cuyos valores están entre 0.16 y 0.8 mm/año. Las fallas de mayor longitud que documentan son la falla Venta de Bravo (45 km) y Acambay-Tixmadejé (34 km). La figura 3.3 muestra las fallas cartografiadas en la parte central de la Faja Volcánica Transmexicana.

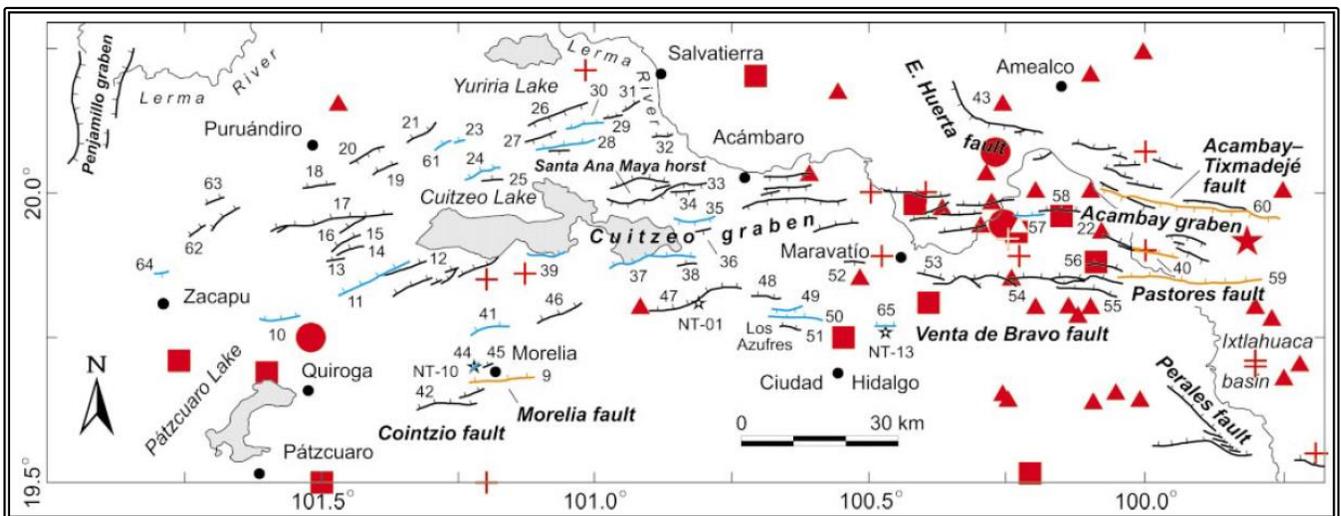


Figura 3.3 Mapa de las trazas de fallas normales con una longitud mayor a 2 km en la parte central de la Faja Volcánica Transmexicana. La expresión superficial de las fallas es continua, no se muestran fallas inferidas. Las fallas numeradas desplazan rocas con edad Cuaternaria documentada (65 fallas), mientras que las que no están numeradas no cuentan con una edad Cuaternaria documentada por completo. Las trazas negras corresponden a fallas del cuaternario temprano (750 ka- 1.6 Ma), trazas azules a fallas del cuaternario medio (130- 750 ka), trazas naranjas a fallas de edad menor a 130 ka. Las estrellas pequeñas corresponden a la ubicación de muestras de datación radiométrica. Los triángulos corresponden al epicentro de sismos de magnitud <4.0, Los cuadrados muestran eventos de magnitud entre 4.0 y 4.9, círculos eventos con magnitud entre 5.0 y 5.9, las estrellas rojas corresponden a eventos con magnitudes igual o mayor a 6.0, las cruces representa eventos sin magnitud especificada (Suter *et al.*, 2001).

Transcurrencia. Guzmán-Speziale (2010) propone a dos fallas que son parte de la deformación asociada al límite de placas Norteamérica-Caribe. Estas estructuras son la falla Ixcán en Guatemala y la falla Concordia en el estado de Chiapas. A ambas fallas se les asocian sismos históricos. La figura 3.4 muestra la sismicidad en el Sureste Mexicano donde Guzmán-Speziale & Meneses-Rocha (2000) asocian la sismicidad a las fallas cartografiadas.

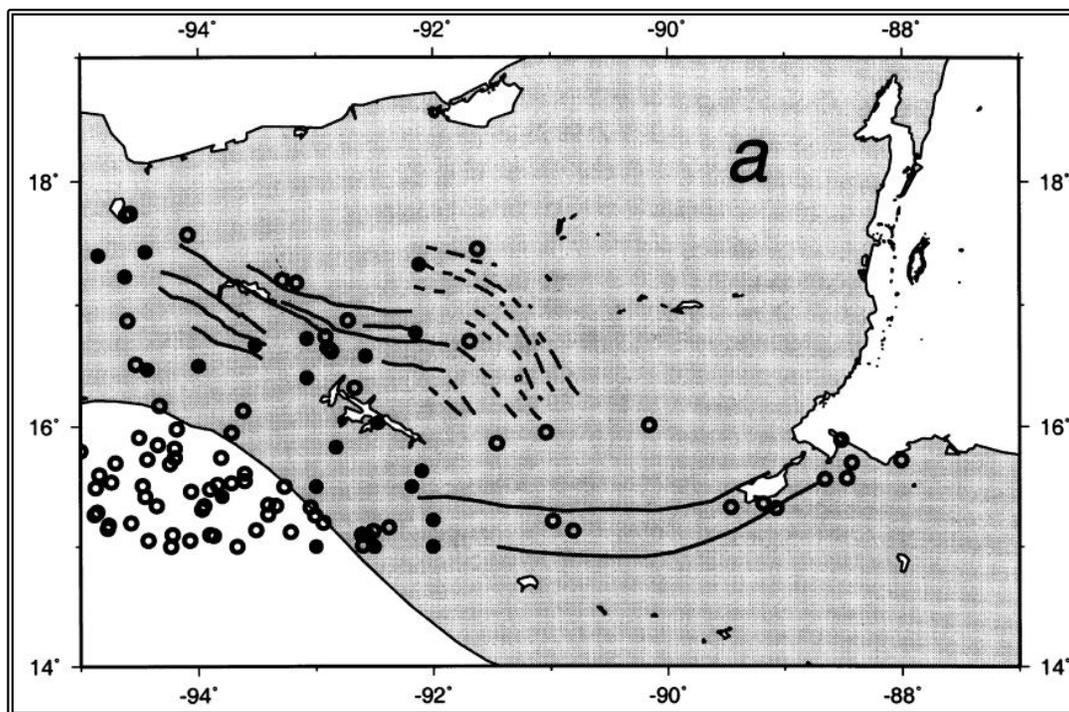


Figura 3.4 Mapa de la sismicidad en el Sureste Mexicano. Eventos con profundidad menor o igual a 50 km y $M_b \geq 4.5$ reportado por parte del SSN (círculos claros), eventos históricos (círculos oscuros, sin profundidad o magnitud conocidos) de los catálogos de Figueroa (1970), Figuero (1973), Gansse y Nelson (1981) y SSN (1997). (Guzmán-Speziale & Meneses-Rocha, 2000).

Como parte del programa Internacional de la Litosfera “Mapa Mundial de las Mayores fallas Activas” el Servicio Geológico de los Estados Unidos inició en 1998 una serie de Mapas digitales de las fallas y pliegues en los países del continente Americano. Dicho proyecto recibió el nombre: “Mapa y Base de Datos de Fallas y Pliegues Cuaternarios en México y sus Regiones Marinas” (traducido del Inglés). Fue llevado a cabo por el grupo de trabajo de fallas Cuaternarias en México. De ahora en adelante este trabajo será citado como WGQFM, por sus siglas en inglés (*Working Group for Quaternary Faults of Mexico*).

Los mapas del WGQFM mostraban los lugares, edades y las tasas de desplazamiento de las principales fallas y pliegues. Se acompañaron de las bases de datos que describían estas características e información sobre su actividad durante el Cuaternario. Este proyecto fue dirigido por el Dr. Luca Ferrari y la participación de los siguientes investigadores: Max Suter, José Jorge Aranda-Gómez, José Antonio Pérez-Venzor, Fernando Ortega-Gutiérrez, Jaime Roldán Quintana, Elena Centeno García, Thierry Calmus, Bill Bandy, Hugo Delgado Granados, Odranoel Quintero Legorreta, Michael N. Machette, Philip A. Pearthree, Larry Mayer, Karl Mueller, David Schug,

Michael Hatch, Richard L. Dart, y Lee-Ann Bradley. Este trabajo nunca fue publicado y la única información que se obtuvo es el borrador del reporte de trabajo No. 3 con fecha de noviembre 2002, así como también con los datos vectoriales de estas fallas.

De los trabajos anteriormente mencionados solo el trabajo del WGQFM cuenta con un documento detallando la información de cada falla a través de bases de datos. Dicha base de datos permite distinguir entre la edad del último desplazamiento de la falla. Nos muestra un listado de 147 fallas, donde cada una de las fallas presenta los siguientes campos:

- Nombre de la falla
- Sinopsis
- Fecha de compilación
- Compilador e institución de procedencia del Compilador
- Estado donde se ubica la falla
- Municipio donde se ubica la falla
- Cartas geológicas donde se ubica la fallas
- Provincia geológica donde se ubica la falla
- Escala de la traza de falla
- Fiabilidad de la localización
- Características geológicas
- Sentido del Movimiento
- Echado
- Dirección del echado
- Expresión geomorfológica
- Edad de los depósitos fallados
- Estudios detallados
- Edad del más reciente paleoevento
- Intervalo de Recurrencia
- Tasa de deslizamiento
- Longitud
- Rumbo promedio
- Referencia

El trabajo de WGQFM sirvió de base para la realización de esta tesis. Gran parte de las fallas documentadas por el WGQFM fueron retomadas en el presente trabajo.

También se encuentra disponible el mapa tectónico de México elaborado por Padilla (2013), donde se hace una recopilación de fallas superficiales desde el Paleoceno (inicio del Cenozoico hace 66 Ma.) hasta el Cuaternario. La figura 1.7 corresponde a este mapa, sin embargo debido a la gran cantidad de información que tiene este mapa, solo se muestra la litología y estructuras geológicas recientes (desde el Mioceno) en el mapa. De las estructuras dibujadas en el mapa de Padilla (2013) se tiene un total de 128 fallas con edades que van del Plio-Cuaternario (5.33 Ma) al Holoceno, siendo en su mayoría fallas Normales, abarcando solo la parte centro y sur del país.

Este mapa corresponde a un mapa interactivo mostrado en un SIG y puede ser descargado en su versión vectorial mediante la siguiente liga:

<http://www.datapages.com/associatedwebsites/gisopenfiles/tectonicmapmexico.aspx>.

La limitante que tiene este mapa radica en que solo se tiene la ubicación geográfica de las fallas y su edad. Faltando datos como son: la tasa de deslizamiento y el intervalo de recurrencia, así como indicadores que muestren el desplazamiento de las fallas. Otra limitante con el trabajo de Padilla (2013) es la escala de 1:2000000 que implica una gran pérdida de precisión en la ubicación de las fallas. El motivo por el cual no se consideró esta información en la tesis es debido a que no se puede verificar la veracidad de los datos, ya que el mapa no cuenta con ningún texto explicativo ni cuenta con referencias.

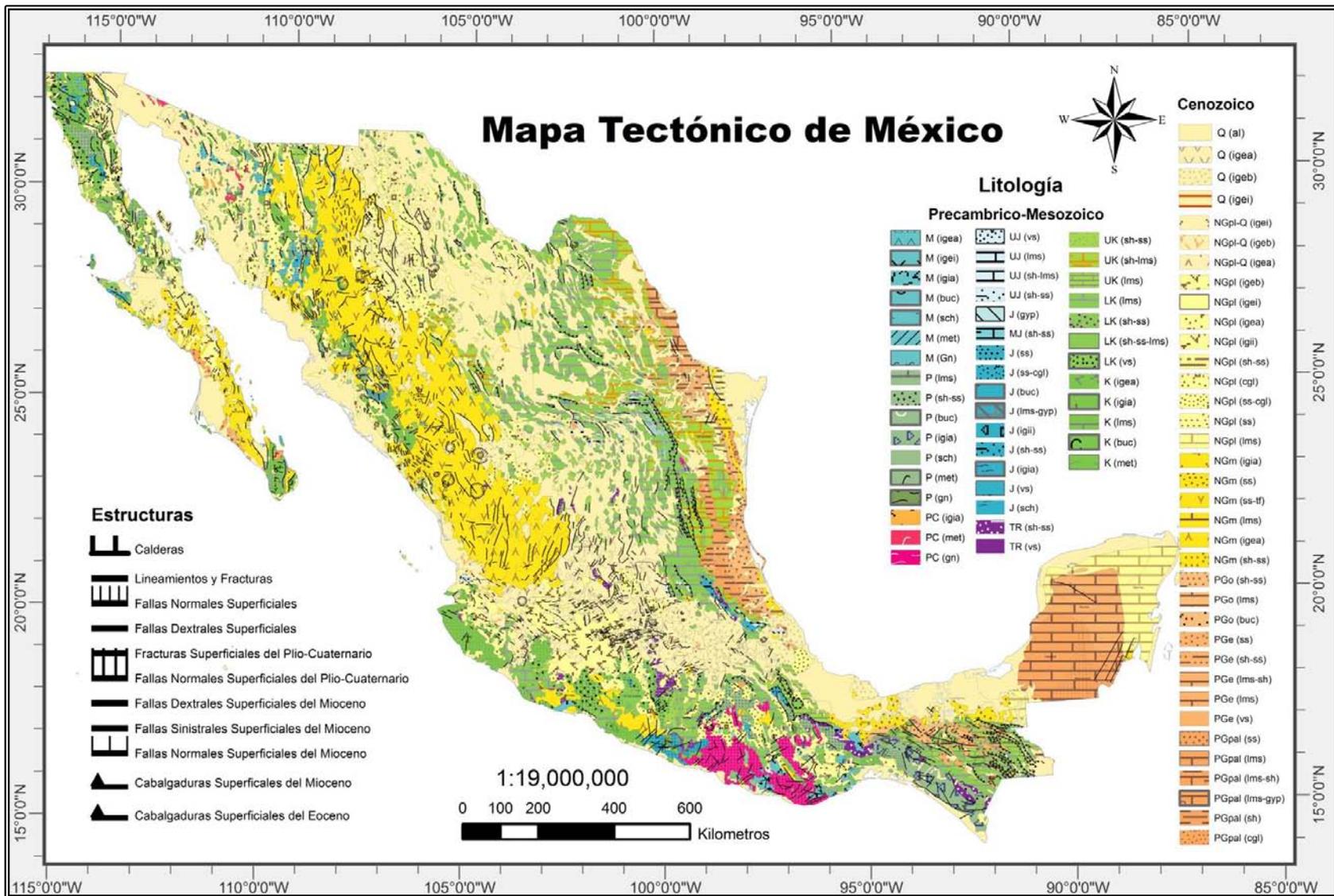


Figura 3.5 Mapa Tectónico de la República Mexicana Los colores en la leyenda del lado derecho corresponden a los establecidos por la tabla Cronoestratigráfica Internacional, representa la litología presente en el país, se lee de izquierda a derecha de abajo hacia arriba, mostrando de las rocas más antiguas a la más recientes. La leyenda izquierda corresponde a las estructuras geológicas, fallas. (Modificado de Padilla, 2013) La nomenclatura en la leyenda izquierda en la figura 3.5 corresponde a la edad: PC Era Precámbrico, P Era Paleozoico, M Era Mesozoico, TR Periodo Triásico, J Periodo Jurásico, MJ Periodo Jurásico Época Medio, UJ Periodo Jurásico Época Superior, K Periodo Cretácico, LK Periodo Cretácico Época Inferior, UK Periodo Cretácico Época Superior, PGo Era Cenozoica Periodo Paleógeno Época Paleoceno, PGe Era Cenozoica Periodo Paleógeno Época Eoceno, PGo Era Cenozoica Periodo Paleógeno Época Oligoceno, NGm Era Cenozoica Periodo Neógeno Época Mioceno, NGpl Era Cenozoica Periodo Neógeno Época Plioceno, Q Época Cuaternario .

Otro ejemplo de la documentación del fallamiento Cuaternario que también sirvió de base para esta tesis fue realizado por Lacan & Ortuño (2012). Lacan & Ortuño (2012) utilizaron un esquema similar en la elaboración de las bases de datos de las fallas cuaternarias en los Pirineos, la base de datos de Lacan & Ortuño (2012) cubre los campos de:

- Longitud y orientación
- Principal evidencia de la actividad de la falla, dividida en dos subcampos evidencias geomorfológicas/estratigráficas y Sismicidad histórica/instrumental.
- Cinemática de la falla;
- Grado de confiabilidad de la referencia
- Referencia

Lacan & Ortuño (2012) realizan un análisis sobre los trabajos previos de los Pirineos y presentan sus resultados en un contexto neotectónico. Distinguen cinco regiones neotectónicas de acuerdo a la evolución geomorfológica, sismicidad y al estilo de fallamiento: los Pirineos más occidentales, la Zona Noroeste Pirenaica, las cuencas de antepais, el dominio de láminas cabalgantes inferiores y los Pirineos Orientales. Hacen la diferenciación de dos dominios principales de esfuerzos: los de alta cadena, estructuras paralelas a la cordillera reactivadas como fallas normales; y los de Baja Cadena donde las fallas son reactivadas por esfuerzos máximos compresivos.

Con un total de 33 fallas se obtiene datos como: longitud, orientación, edad de la deformación, evidencia de la actividad, tasa de deslizamiento, origen y referencia. Clasifican las fallas en:

- Fallas con evidencia de actividad acumulada en el Plio-Cuaternario, con registros sismológico instrumental.
- Fallas con evidencia de actividad acumulada en el Plio-Cuaternario, sin registros sismológico instrumental.
- Fallas con evidencia de actividad acumulada en Periodo Post orogénico, con registros sismológico instrumental.
- Fallas con registros sismológico instrumental sin evidencia de actividad acumulada en Periodo Post orogénico.

IV.-Metodología de trabajo

La recopilación de información de las fallas se obtuvo de artículos, tesis, informes técnicos y mapas, siendo el trabajo elaborado por parte de WGQFM el que aportó la mayor parte de la información a este trabajo.

Para poder tener un mejor control de la información obtenida se agrupó la información en regiones geográficas. Estas regiones son: Área Noreste, Área Noroeste, Área Centro y Área Sur. La ubicación de dichas áreas corresponde a la figura 4.1. Esta división se realizó además para distinguir regiones con diferentes ambientes de deformación en el Cuaternario, la región Noroeste está más asociada al límite de placas Norte América y Pacífico, la región Centro asociada a la deformación existente en la Faja Volcánica Transmexicana, la región Noreste a la continuación del *Basin and Range* Mexicano, El área sur corresponde a la subducción de la placa de Cocos en la placa Norte América, así como la interacción de la placa Caribe y Norte América, y a la plataforma de Yucatán.

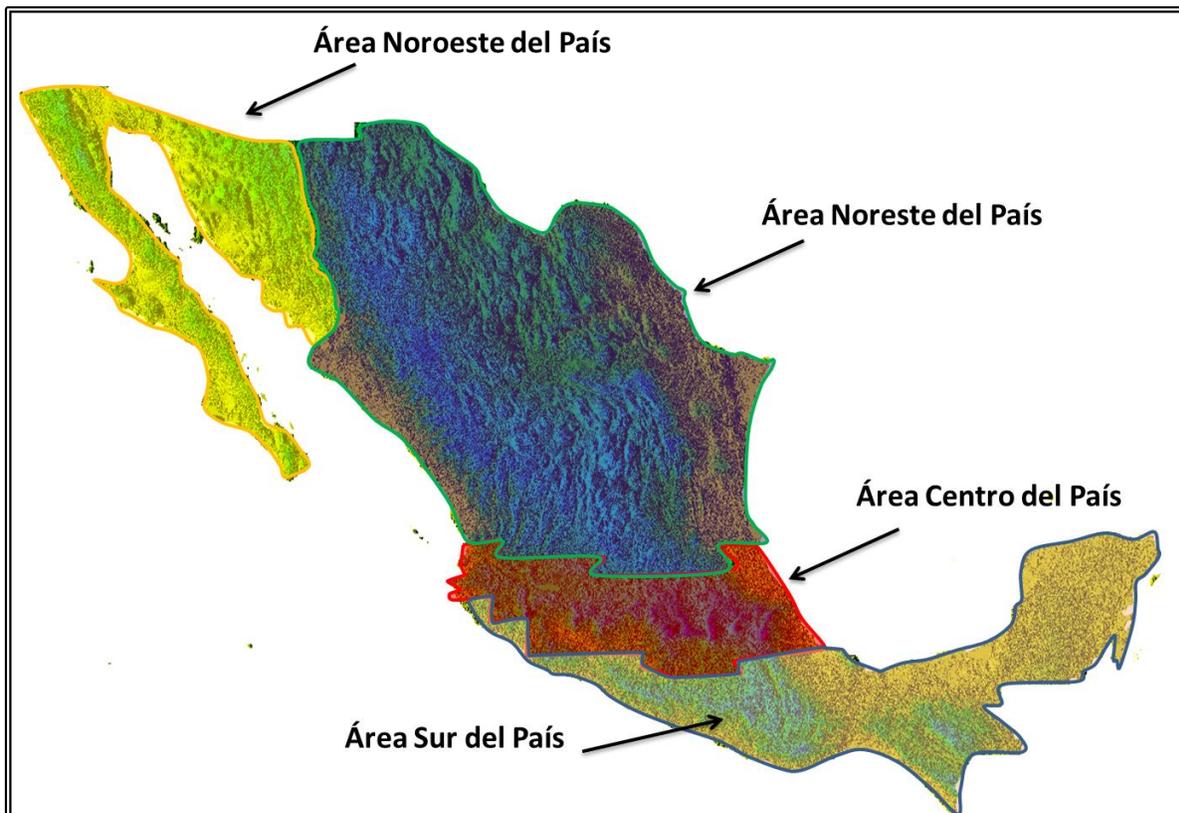


Figura 4.1 Esquema ilustrativo de las regiones de trabajo: Área Noroeste corresponde a los estados de Baja California, Baja California Sur y parte de Sonora; Área Noreste, comprende los estados de Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Sinaloa, Durango, San Luis Potosí, Aguascalientes, Nayarit, Guanajuato, Querétaro, Parte de Jalisco, Hidalgo y Veracruz; Área Centro, comprende básicamente toda la faja Volcánica Transmexicana; Área Sur, todos los estados al sur y sureste de la faja Volcánica.

A través de la clasificación de fallas se obtuvieron tres tipos de fallas. La clasificación depende de la cantidad y calidad de la información técnica obtenida del último desplazamiento identificado para cada falla. Antes de describir los tres tipos de fallas a continuación se coloca una sinopsis de las técnicas utilizadas para detectar indicadores del desplazamiento de las fallas, están ordenadas de acuerdo a su importancia.

- **Sismología Instrumental:** Este uno de los elementos más importantes para determinar la jerarquía de las fallas. La localización epicentral de un sismo así como sus réplicas y mecanismos focales son una gran herramienta para determinar la ubicación de las fallas. Sin embargo el registro instrumental en México se limita a 120 años, que es un rango de registro muy corto para los periodos de retornos de los sismos corticales intraplaca. Ejemplo de esto son los sismos de Acambay de 1912 (Urbina & Camacho, 1913) y el de El Mayor-Cucapá de 2010 (González-Ortega *et al.*, 2014). Hoy en día conforme han evolucionado las técnicas del registro instrumental de los sismos, así como el procesamiento de los datos sísmicos, se tiene un mejor entendimiento del comportamiento y la geometría del plano de falla que genera el sismo, así como el registro de las réplicas presentadas posterior al evento principal localizadas sobre el mismo plano de falla permiten distinguir con mayor precisión la ubicación de la falla.
- **Paleosismología:** Como ya se mencionó anteriormente, la paleosismología estudia e interpreta las evidencias creadas por los paleoterremotos (Cenozoico tardío) con el objetivo de determinar el comportamiento de las fallas sísmicas activas (McCalpin *et al.* 2009). Estudia la expresión geológica de los grandes y antiguos terremotos, con magnitudes igual o superiores de 5.5, que generan deformación en la superficie. La limitante de la paleosismología radica en la dependencia de la preservación de las estructuras formadas durante el sismo debido a que la erosión e intemperismo pueden llegar a desaparecerlas (McCalpin *et al.* 2009).
- **Medición de GPS:** La implementación de las lecturas de GPS ha sido una herramienta muy útil para la obtención de la tasa del desplazamiento de una falla. Si bien, el desplazamiento no se da exclusivamente por medio de un sismo, mediante la lectura de puntos GPS se mide la deformación intersísmica y postsísmica, así como cosísmica si se cuenta con mediciones poco antes del sismo y posterior al evento (González-Ortega *et al.*, 2014). Para obtener una tasa de deslizamiento adecuada, se tiene que contar con una red de GPS de alta precisión en ambos bloques de la falla y ser colocada por periodos de tiempo muy largos. Entre mayor adquisición de datos, mejor será la fiabilidad del valor obtenido. Lamentablemente dentro de la República Mexicana no existen suficientes estudios de este tipo en las fallas. Dentro de esta tesis solo se encontraron trabajos de medición de GPS en Baja California (González-Ortega *et al.*, 2014).
- **Sismología Histórica:** La sismología histórica es una herramienta que nos brinda información de los sismos ocurridos desde épocas prehispánicas. Utiliza registros históricos escritos en códices, así como reportes elaborados por monjes en la época de la colonia. Como ejemplo de la sismología histórica en México existe el Archivo General de las Indias donde se encuentran reportes de sismos desde 1597 hasta 1791 (Zúñiga *et al.*,

1997). Otro ejemplo de los trabajos de recopilación de la sismicidad histórica en México es presentado por García-Acosta & Suárez-Reynoso (1996) donde tienen una documentación de sismos desde 1480 hasta 1912. Para estimar el tamaño de los sismos utiliza la información sobre los efectos ocasionados por los sismos mediante la escala de Mercalli, para identificar las Isosistas que dan una indicación general de la posible magnitud del sismo. El principal problema con la sismología histórica radica en obtener la ubicación exacta de la fuente sísmica, y con ello la correcta ubicación de la falla.

- **Geología:** La geología estructural, la litología y la geocromología son herramientas importantes para determinar la edad de los estratos fallados. La geología estructural describe la geometría y cinemática de la falla. Conocer la edad de alguno de los estratos o evento extrusivo que son cortados por la falla, al igual que de los estratos que no son cortados por la falla, mediante dataciones geocronológicas (absolutas o relativas) permite establecer una relación temporal-espacial la cual limita la edad de la falla.
- **Geomorfología:** La geomorfología estudia las formas de la superficie terrestre. Mediante las variaciones en la geomorfología podemos ver los efectos de la erosión e intemperismo. Sin embargo también nos permite ver las deformaciones tectónicas recientes a través de la geomorfología tectónica. Entre los elementos que describen fallamiento reciente se pueden observar escarpes de falla sin mucho intemperismo ni erosión, facetas triangulares, así como cualquier desplazamiento en los elementos del paisaje nos pueden indicar fallamiento, por ejemplo drenajes desplazados o bloqueados y lomos presión. La geomorfología también se apoya en la interpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales, ya que nos permiten observar variaciones en la morfología del terreno, mediante estereoscopia, de manera más eficaz y rápida que después puede ser verificada en campo.
- **Geofísica:** Una gran herramienta, no tanto por brindar indicadores del desplazamiento o la edad de la falla, sino más bien para estimar las dimensiones de la estructura a profundidad ha sido la exploración geofísica. Esta herramienta es implementada para conocer la longitud de la falla cuando se cree que la terminación de la falla no cuenta con expresión superficial o cuando la terminación de la falla es cubierta por sedimentos recientes. La mejor herramienta dentro de la geofísica para cartografiar fallas es la sísmica de reflexión y refracción (Michaud *et al.*, 2005), que es utilizada dentro del sector petrolero para identificar estructuras capaces de almacenar el Hidrocarburo. Los estudios gravimétricos también resultan ser una importante herramienta para la exploración de cuencas que delimitan las dimensiones de una falla (Busch *et al.*, 2011).

IV.1 Clasificación de Fallas

De acuerdo a lo establecido en el apartado anterior (indicadores del desplazamiento) se tiene la siguiente clasificación de fallas:

- **Fallas Tipo A:** Son fallas que presentan desplazamientos en el Holoceno (últimos 11 700 años). Estas fallas presentan gran cantidad de información con indicadores contundentes que sustentan este desplazamiento. Las principales técnicas que brindan indicadores son: sismología instrumental, medición de GPS, sismos históricos y paleosismología. De igual manera se cuenta con información de geología y geomorfología.
- **Fallas Tipo B:** Son fallas con desplazamientos en el Pleistoceno que posiblemente presentaron desplazamientos en el Holoceno. Sin embargo la información disponible así como sus indicadores son insuficientes para sustentar el desplazamiento reciente. Los indicadores son: sismos históricos (sismos que pueden estar asociados a las fallas), paleosismología, geomorfología y geología.
- **Fallas Tipo C:** Corresponden a fallas con desplazamientos en el Pleistoceno sin ninguna información que indique posible desplazamiento en el Holoceno. La información obtenida corresponde a la cartografía geológica. Sus indicadores corresponden principalmente a la geomorfología y a la geología.

IV.2 Base de Datos

Teniendo las fallas clasificadas, con la información obtenida de la bibliografía se elaboró una base de datos. Los catorce campos que comprenden la base de datos están dentro de la tabla 4.1. Estos campos se describen a continuación

Tabla 4.1 Campos correspondientes a la base de datos de las fallas, la clave corresponde al código que se implementó dentro del SIG. N/A No aplica

Campo	Clave	Unidades
Nombre de la falla	Nom_Falla	N/A
Tipo de Falla	Tipo_Falla	N/A
Rumbo	Rumbo	N/A
Echado	Inclin	grados (°)
Dirección del echado	Dir_Inclin	N/A
Longitud	Long_Km	Km
Evidencia de la actividad	Evi_Act	N/A
Último evento sísmico	Event_Sis	Año
Magnitud del último evento	Magnitud	N/A
Desplazamiento Máximo Vertical	Des_Max_cm	Cm
Tasa de deslizamiento	Tasa_des	mm/año
Intervalo de Recurrencia	Int_Rec	miles de años
Referencia	Referencia	Autor, año
Observaciones	Obs	N/A

Nombre de la falla: Este campo puede traer algunas siglas: SN = sin nombre (principalmente fallas Tipo C), Z.F. = zona de falla (cuando tenemos una agrupación de fallas). De igual manera algunas fallas y zonas de fallas son divididas en secciones que se enumeran alfabéticamente.

Tipo de falla: Corresponde a una falla normal, inversa o lateral. Si se trata de una falla oblicua, se pone en primera instancia el tipo de falla más dominante y en segunda instancia la otra componente del desplazamiento, por ejemplo, Normal-Lateral Derecha.

Rumbo: Dentro del acervo de fallas no existe ninguna falla que sea completamente recta, por lo cual obtener un rumbo exacto es muy difícil, debido a esto se optó por manejar un rumbo promedio y no expresarlo en grados. La nomenclatura del rumbo corresponde a: N = Norte, S = Sur, E = Este, W = Oeste, NW = Noroeste, SW = Suroeste, NE = Noreste, SE = Sureste, NNE = Norte Noreste, ENE = Este Noreste, ESE = Este Sureste, SSE = Sur Sureste, SSW = Sur Sureste, WSW = Oeste Suroeste, WNW, Oeste Noroeste, NNW = Nort Noroeste.

Echado: En algunos casos el echado corresponde a un promedio de un rango de echados medidos a lo largo de la falla. Para las fallas que presenten un echado promedio, esto se indica en el apartado de observaciones. Por ejemplo si el echado varía de 40° a 60°, el campo de Echado dirá Inclín = 50. De igual manera existen fallas que no cuentan con datos del echado, para este caso el campo del echado permanece vacío.

Dirección del echado: Dentro de la cartografía geológica solo se emplean la combinación del rumbo/echado o dirección del echado/echado para describir la orientación de una falla, en esta tesis se incluye los tres elementos (rumbo/echado/dirección de echado) debido a que el rumbo no brinda información precisa de las fallas. Por ejemplo, una falla N-S puede tener un echado E o echado W (debido a que se desconoce si el autor usó la regla de la mano derecha al medir el rumbo y echado), por lo tanto es necesario incluir hacia donde se está inclinando el echado. La dirección del echado sigue la misma nomenclatura que el rumbo. En esta tesis se asume que las fallas laterales tienen un echado de 90° por lo que no tienen dirección del echado.

Longitud: Expresa el longitud de la traza de la falla dibujada en el SIG.

Evidencia de la actividad: Indica la principal evidencia o las principales evidencias del desplazamiento de la falla, que pueden ser estudios de: sismología instrumental, sismos históricos, paleosismología, mediciones de GPS, geomorfología o geología.

Último evento sísmico: Si existe un evento sísmico registrado de manera instrumental o histórica asociado a esta falla se escribe dentro de este campo.

Magnitud del último evento: Se refiere a la magnitud del último evento sísmico asociado a la falla.

Desplazamiento máximo vertical: Se refiere al desplazamiento vertical que causó el sismo a la falla.

Tasa de deslizamiento: Corresponde al cálculo del desplazamiento que tiene la falla en un periodo de tiempo.

Intervalo de recurrencia: Es el periodo de retorno de un evento sísmico, calculado para cada falla.

Referencia: En este campo se cita al autor y año del trabajo de donde se obtuvo la información de la base de datos. La cita completa viene dentro del apartado de Bibliografía de este trabajo. Si bien existen varios autores que estudian una misma área, para las fallas tipo A y B se tomó la decisión de colocar dentro de la base de datos la información del autor con el trabajo más reciente. Para las fallas tipo C la referencia indicada corresponde a la proporcionada en el trabajo del WGQFM.

Observaciones: Contiene información importante resumida de las fallas, como puede ser las fechas completas de los eventos sísmicos, si existe microsismicidad, los paleoeventos registrados mediante trabajos de paleosismología, la petrología de las rocas que cortan la falla así como la edad de la datación de los estratos cortados por la falla, si las cifras colocados dentro de la base de datos (echado, tasa de deslizamiento, intervalo de recurrencia) son promediados o inferidos.

Con la clasificación de las fallas y la elaboración de las bases de datos, se prosiguió a cartografiar las fallas dentro del SIG. Antes de presentar esos resultados se muestra a continuación un panorama general de un SIG y su aplicación dentro de las Ciencias de la Tierra.

IV.3 Sistemas de Información Geográfica

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) es una herramienta computacional que nos permite almacenar, manipular y desplegar información que se localiza georreferenciada. Muchas veces cuenta con información asociada a través de bases de datos. Son diseñados para “apoyar la captura, gestión, manipulación, análisis, modelado y visualización de datos espacialmente referenciados para la solución de problemas complejos de planificación y gestión” (Aranoff, 1989).

Los SIG cuando se emplean dentro de las Ciencias de la Tierra, resultan ser una buena herramienta para la toma de decisiones y son de gran apoyo para la investigación científica.

IV.3.1 Tipos de Datos

Los SIG representan los objetos del mundo real. Para almacenar información dentro de un SIG existen principalmente dos tipos de datos: raster y vectorial.

Un raster es cualquier tipo de imagen digital que se representa mediante una malla de celdas. Se centra más en las propiedades del espacio que en la precisión de la localización. Divide el espacio en filas y columnas, donde cada celda tiene un valor único. Los datos raster pueden ser imágenes; datos con valor discreto, como el uso del suelo; valores continuos, como temperaturas; o un valor nulo si no se dispone de datos. En los datos vectoriales el interés se centra en la precisión de la localización de los elementos geográficos, donde los fenómenos que se representan son discretos, con límites definidos. Cada uno de estos elementos está vinculado a una fila de una base de datos que describe los atributos del elemento. Existen tres tipos de elementos vectoriales que modelan las entidades del mundo real: puntos, líneas y polígonos. A partir de los datos raster y vectoriales

se pueden crear mapas raster y Vectoriales en dos dimensiones. Cuando se pretende manejar datos en tres dimensiones se les conoce como mapas de volumen.

IV.3.2 SIG dentro de las Ciencias de la Tierra

La aplicación de los SIG dentro de las Ciencias de la Tierra ha tenido un gran auge en los últimos años, siendo una herramienta trascendental en la georreferenciación de datos. Los campos dentro de las Ciencias de la Tierra donde se aplican los SIG son muy variados como son: la estimación de los efectos de sitio relacionados al peligro sísmico (Chang-Guk *et al.*, 2008), la exploración de nuevos campos carboníferos (Cicioglu, 2012), el peligro de la subsidencia debido a minas abandonadas (Ki-Dong *et al.*, 2006), el riesgo volcánico (Leone & Lesales, 2009), y la cartografía de la susceptibilidad de deslizamientos (Mancini *et al.*, 2010) entre otros.

Una importante referencia de la implementación de los SIG para la cartografía de las fallas geológicas es aplicado por Barreca *et al.* (2012). Ellos implementan un SIG para la evaluación y análisis del peligro relacionado al fallamiento activo que afecta la parte este y sur del volcán Monte Etna, donde se asocia una base de datos de la información bibliográfica de las fallas a la traza de la falla georreferenciada. La información que manejan incluye parámetros como son la localización, cinemática, forma del relieve y tasa de deslizamiento de la estructura. El SIG implementado por Barreca *et al.* (2012) fue basado en el software comercial ArcGis. La zona de trabajo cuenta con una gran cantidad de estudios previos, debido a que el Monte Etna es uno de los volcanes activos más documentados del mundo. La elaboración de la base de datos contó con 4 campos (Localización geográfica, geometría y parámetros estructurales, deformación Vulcano-tectónico, parámetros del deslizamiento de la falla) de los cuales se obtiene un total de 35 parámetros.

La diferencia del estudio de Barreca *et al.* (2012) con el presente trabajo está tanto en la escala como en la cantidad y calidad de los datos obtenidos. Mientras que el proyecto de Barreca *et al.* (2012) es muy completo y puntual, el proyecto que se desarrolla en esta tesis abarca un área mucho mayor y la información encontrada no abarca por completo los parámetros propuestos por Barreca *et al.* (2012) dentro de la base de datos. Parámetros como el deslizamiento mínimo vertical, el deslizamiento mínimo horizontal, el deslizamiento máximo horizontal no fueron considerados dentro de esta tesis. No obstante en un futuro se puede implementar estos parámetros dentro de la base de datos.

IV.3.3 Elección del Software

Se escogió los programas GRASS GIS y Quantum GIS debido principalmente por ser softwares libres y de fácil manejo. Al ser programados para su uso anglosajón no cuenta con la letra Ñ, por lo que el nombre de algunas fallas fue modificado colocando una N mayúscula en lugar de la Ñ. La principal limitante que presentan estos programas radica en las pocas herramientas con las que

cuentan para editar mapas. No se permite la edición de las leyendas ni del marco de referencia del sistema de coordenadas geográficas.

Para el procesamiento de georreferenciación y vectorización de la información se ocuparon las siguientes versiones de los softwares:

- GRASS GIS versión 6.4
- Quantum GIS Versión 1.8.0
- Adobe Illustrator CS6

Sistema de Apoyo de Análisis de Recursos geográfica (o GRASS por sus siglas en inglés) es uno de los Sistemas de Información Geográficos libres mejor desarrollados. Combina imágenes raster e imágenes vectoriales en un solo software. Incluye herramientas para el análisis espacial y modelado, procesamiento de imágenes y su sofisticada visualización (Neteler & Mitsova, 2008).

El directorio de trabajo de GRASS se divide en sitios de trabajo (*locations*) las cuales nos permiten tener diferentes espacios de trabajo que pueden tener características geodésicas diferentes. Se pueden tener sitios de trabajo con coordenadas geográficas y otros sitios de trabajo con coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM). Dentro de los sitios de trabajo se cuenta con los “*Mapset*”, siendo estos mapas que utilizan el mismo sitio de trabajo (comparten mismas proyecciones y datum). Dentro de cada *mapset* se cuenta con tres tipos diferentes de mapas: mapas de vectores, mapas de volumen y mapas raster.

Si bien GRASS tiene muchas herramientas, dentro de esta tesis se limitó a utilizar solo las herramientas de digitalización, superposición de capas puntos y líneas, álgebra de mapas 2D, gestión de datos vectoriales de atributos múltiples (bases de datos asociados a cada falla) y análisis geométrico de parámetros topográficos.

Otra ventaja que muestra el programa es su compatibilidad con diferentes plataformas de trabajo, como son Windows, Mac OS X y Linux. El catálogo de fallas cuaternarias recopilado en este trabajo, la digitalización de las fallas, así como la asociación de las trazas de las fallas con la base de datos se realizó en la plataforma de Windows. La figura 4.2 figura ilustra la organización del directorio de GRASS.

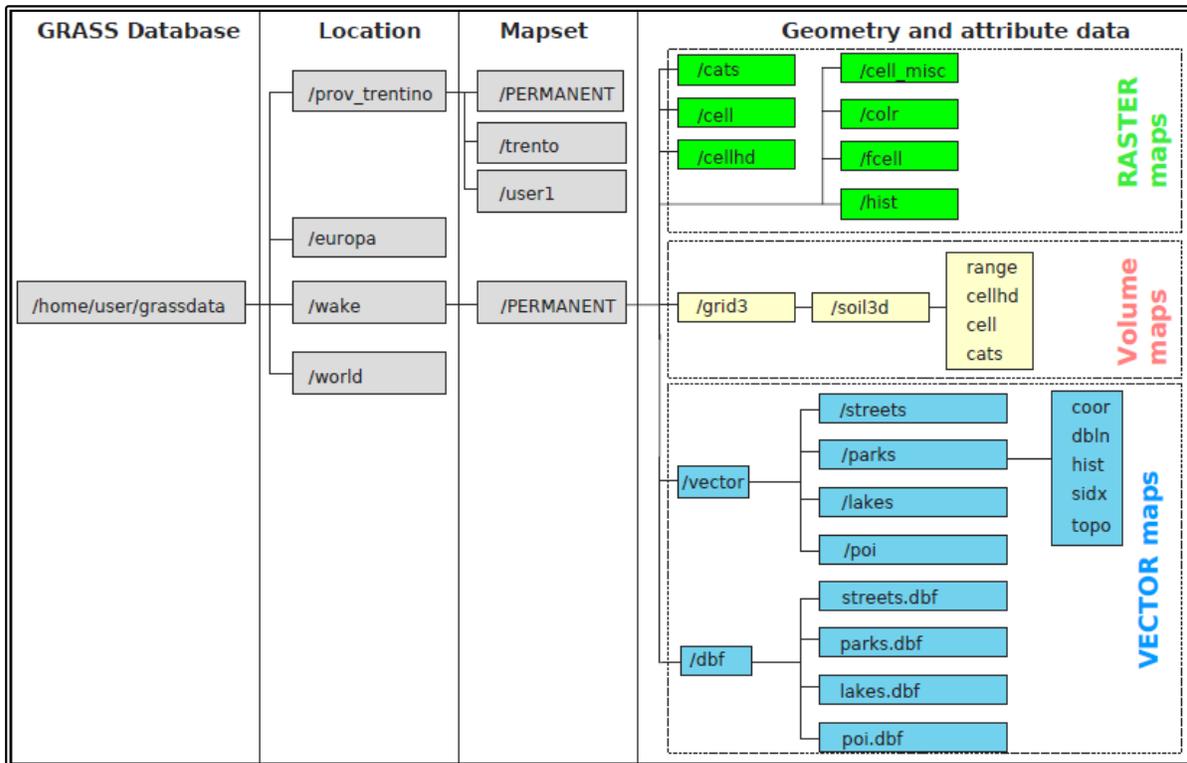


Figura 4.2 Organización del directorio de trabajo de GRASS, Locations, Mapset, vectores y mapas raster. La información presentada en el esquema corresponde al ejemplo que viene dentro de la versión 6.4 del software cuando se descarga (Neteler & Mitsova, 2008).

Quantum GIS es un SIG muy parecido a GRASS, que inclusive se encuentran complementados uno al otro. Quantum GIS nos permite realizar manipulaciones de los vectores de los “Locations” de GRASS, y presenta una plataforma más práctica de manejar. Dentro del presente trabajo se realizaron operaciones con datos del tipo raster y vectorial mediante ambos programas, Quantum GIS y GRASS GIS.

Quantum GIS o QGIS es un Sistema de Información Geográfica de código abierto, lo que significa que el usuario puede inspeccionar y modificar el código fuente, esto con el propósito de realizar mejoras al programa o adaptarlo al beneficio del usuario, además de realizar copias del software sin tener problemas de derechos de autor. El proyecto nace en el 2002 con el objetivo de tener un SIG viable para cualquier persona con una computadora personal. Actualmente corre en las plataformas Unix, Windows y OS X. QGIS está diseñado para ser rápido de usar, con una interfaz agradable para el usuario. Así como en GRASS en QGIS el desarrollo del presente trabajo fue llevado a cabo mediante la plataforma de Windows (página de Qgis <http://qgis.org/es/docs/>).

QGIS pretende ser un SIG fácil de usar, que proporciona funciones y características comunes y cuyo objetivo inicial fue proporcionar un software sencillo capaz de visualizar datos SIG. QGIS actualmente está siendo utilizado por sus usuarios para visualización de datos SIG que varían diariamente. QGIS soporta varios formatos de datos raster y vector.

IV.4 Mapa Base

Una vez que se obtuvo la información de las fallas recabada en la base de datos, se prosiguió a obtener un mapa base que se usó dentro del SIG. En este mapa base se colocaron todas las trazas de las fallas. De la información adquirida algunas fallas contaban ya con las trazas de las fallas georreferenciadas, por tal motivo se realizaron dos procedimientos distintos para colocar las fallas en el SIG.

A continuación se describe el trabajo realizado para obtener el mapa base utilizado. Mientras que el procedimiento para añadir las fallas al SIG de fuentes de información que ya contaban con trazas de fallas vectorizadas y georreferenciadas serán descritos en el apartado IV.5. Por su parte el procedimiento para añadir fallas al SIG que provienen de fuentes de información que no contaban con trazas de fallas sin vectorizar ni georreferenciadas serán descritos en el apartado IV.6.

Para obtener el mapa base se utilizó el programa GRASS GIS. Para este caso se utilizó una proyección en Latitud (Lat), Longitud (Long), Altitud (Alt) y un datum WGS84, siendo las unidades de Latitud y Longitud en grados y la altitud en metros.

Los datos Raster que se manejaron para la elaboración del mapa base fueron:

- 1) **Modelo Digital de Elevación (MDE):** Es un raster que se descargó de INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) que presenta un modelo digital de elevación de todo el país con una resolución de 120 m² por pixel. Contiene coordenadas Lat/Long/Alt (grados/grados/metros). El MDE sirvió para crear el raster de Relieve sombreado (Liga <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/continuoelevaciones.aspx>).
- 2) **Relieve sombreado:** Es un raster que refleja la topografía que tiene una exageración vertical 5 veces a la elevación normal.

Los datos Vectoriales que se manejaron fueron los siguientes:

- 1) **División política:** Este fue un vector poligonal descargado de la Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO). El vector División Política nos brinda el perímetro y área de cada uno de los 32 estados de la república Mexicana.
- 2) **Principales ciudades:** Es un vector puntual que presenta las principales ciudades del país. Se determinan las principales ciudades en función de la cantidad de personas que habitan estas ciudades. El vector fue obtenido de igual manera de la CONABIO.
- 3) **Sismo 1998-2014:** Es un vector del epicentro de los eventos telúricos ocurridos en ese periodo de tiempo, con magnitudes Mw superiores a 5, obtenidos del Servicio Sismológico Nacional (SSN). El periodo de tiempo que abarca este vector se debe a que en la página del SSN solo brinda información de sismos comprendidos en ese periodo de tiempo. El objetivo del vector Sismos 1998-2014 es ilustrar la distribución de sismos en el país durante ese periodo de tiempo. Sin embargo no existe una relación directa entre este vector y la distribución de las fallas, excepto en la parte de Baja California Norte donde

existe una alta sismicidad reciente debido al límite de placas. Entre los sismos más importantes dentro de esta área destaca el sismo del 19 de abril del 2010 que contó con expresión superficial a través de varias fallas. En el siguiente capítulo se retomará este sismo y la falla a la que está asociado el sismo.

GRASS GIS es una muy buena herramienta de trabajo ya que es muy fácil la exportación de otros formatos vectoriales y raster. Además presenta comandos muy prácticos para realizar reproyecciones de otros vectores o raster con diferente proyección y datum a la que trabajamos.

La figura 4.3 nos muestra el Mapa Base utilizado dentro de este trabajo, ilustra los raster y vectores mencionados anteriormente.

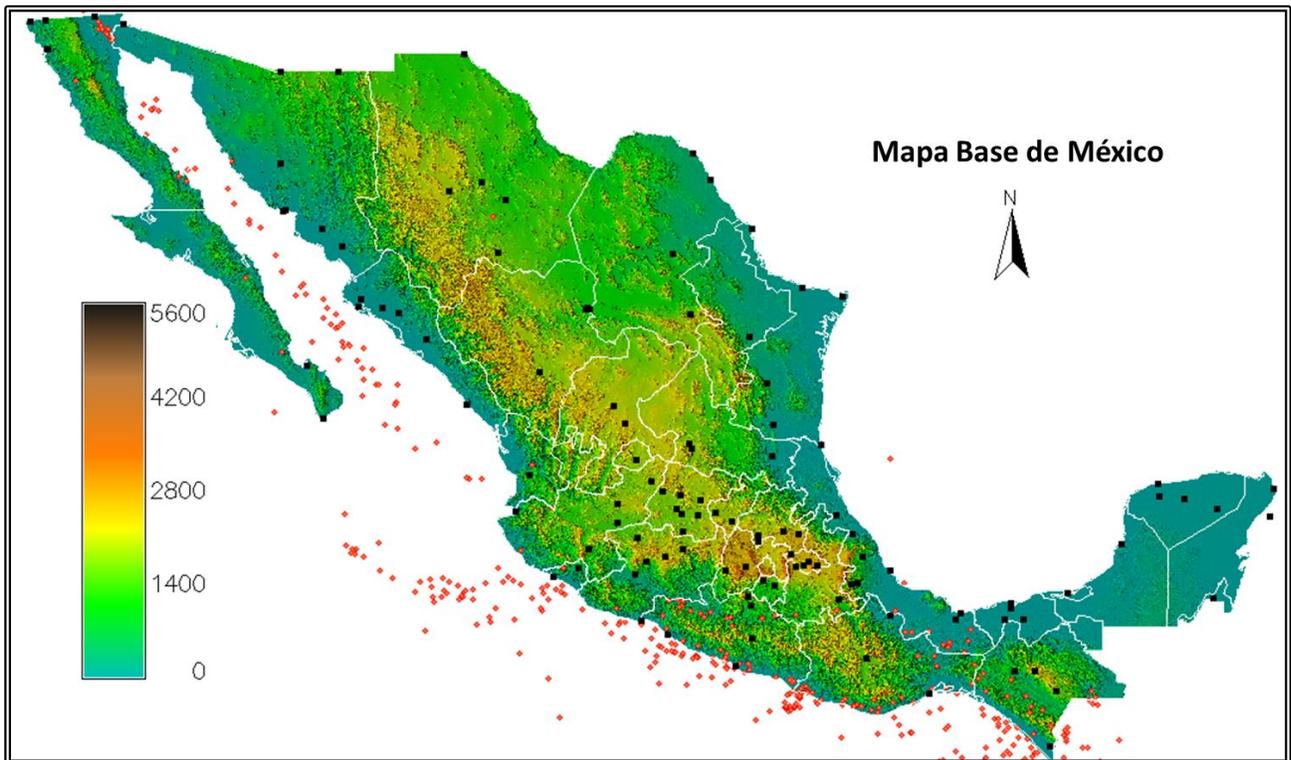


Figura 4.3 Mapa Base de proyecto en GRASS GIS, presenta el MDE sobrepuesto en el relieve sombreado, la escala de colores en la parte izquierda de la figura se maneja es en metros y nos indica la elevación respecto al nivel medio del mar. Los cuadros negros indican las principales ciudades de la República Mexicana. Los rombos naranja representan los epicentros de los sismos de magnitud Mw mayor a 5 localizados por parte del SSN entre 2006- 2014. Proyección Lat-Long Datum WGS84.

IV.5 Información con datos Vectoriales

La fuente de información que nos proporcionó las trazas de fallas ya georreferenciadas y vectorizadas corresponde al del WGQFM. La figura 4.4 muestra el mapa con las fallas obtenidas de este trabajo.

Este proyecto se pudo importar y reproyectar en GRASS. El proyecto del WGQFM mostraba diferentes capas vectores de las cuales la que se ocupó en esta tesis fue el de las trazas de las fallas. Cada Traza de falla vectorizada contenía la siguiente información:

- Clave de Identificación
- Nombre de la estructura
- Longitud
- Tipo de falla
- Dirección de Desplazamiento



Figura 4.4 Imagen del trabajo "Mapa y Base de Datos de Fallas y Pliegues Cuaternarios en México y sus regiones marinas" del WGQFM. Las líneas rojas representan las fallas Cuaternarias cartografiadas. La proyección está Lat/Long.

Si bien las trazas de fallas se encontraban ya vectorizadas y georreferenciadas se volvió a vectorizar y georreferenciar por dos motivos. El primer motivo debido a la reproyección de los datos que puede mover algunos metros de su posición original la traza de la falla, el proyecto del WGQFM tiene una proyección Clarke 1886 y un datum Clarke 1886. El segundo motivo es referente a los trabajos más recientes al del WGQFM, donde existe la posibilidad de que se haya modificado las dimensiones de la traza de la falla. Para hacer la nueva digitalización se verificó, mediante el Relieve sombreado, que la traza de la falla concuerde con la morfología que se presenta en el área. La resolución del MDE se presta para visualizar escarpes de falla de una longitud de varios cientos de metros, así como también es posible ver los saltos verticales que tienen las fallas.

Para poder realizar nuevamente la digitalización de la traza se ocupó el programa Quantum GIS. Mediante la combinación de la capa vectorial de las fallas reportadas por WGQFM y el relieve sombreado obtenido en el Mapa base se pudo visualizar si la traza de la falla estaba bien digitalizada. De lo contrario se rectificó la traza.

Debido a que los datos vectoriales del trabajo WGQFM tiene más de 10 años de antigüedad la interpretación de las trazas de las fallas dibujadas dentro de su proyecto pueden variar en forma y tamaño con respecto a trabajos más recientes. Por ello es importante poder editar y manipular cada una de las trazas de fallas vectorizadas dentro de este trabajo. Ejemplo de esto se ilustra en la figura 4.5. La traza de la falla Pastores, reportada dentro del trabajo WGQFM (traza amarilla) difiere con la traza reportada por parte de Langridge (2000) y Ortuño *et al.* (2012)(Traza roja). Ambos autores proponen diferentes terminaciones para esta falla tanto en su sector este (Langridge, 2000) y oeste (Ortuño *et al.*, 2012), dentro de la tesis se dividió a la falla en dos secciones (oeste y este).

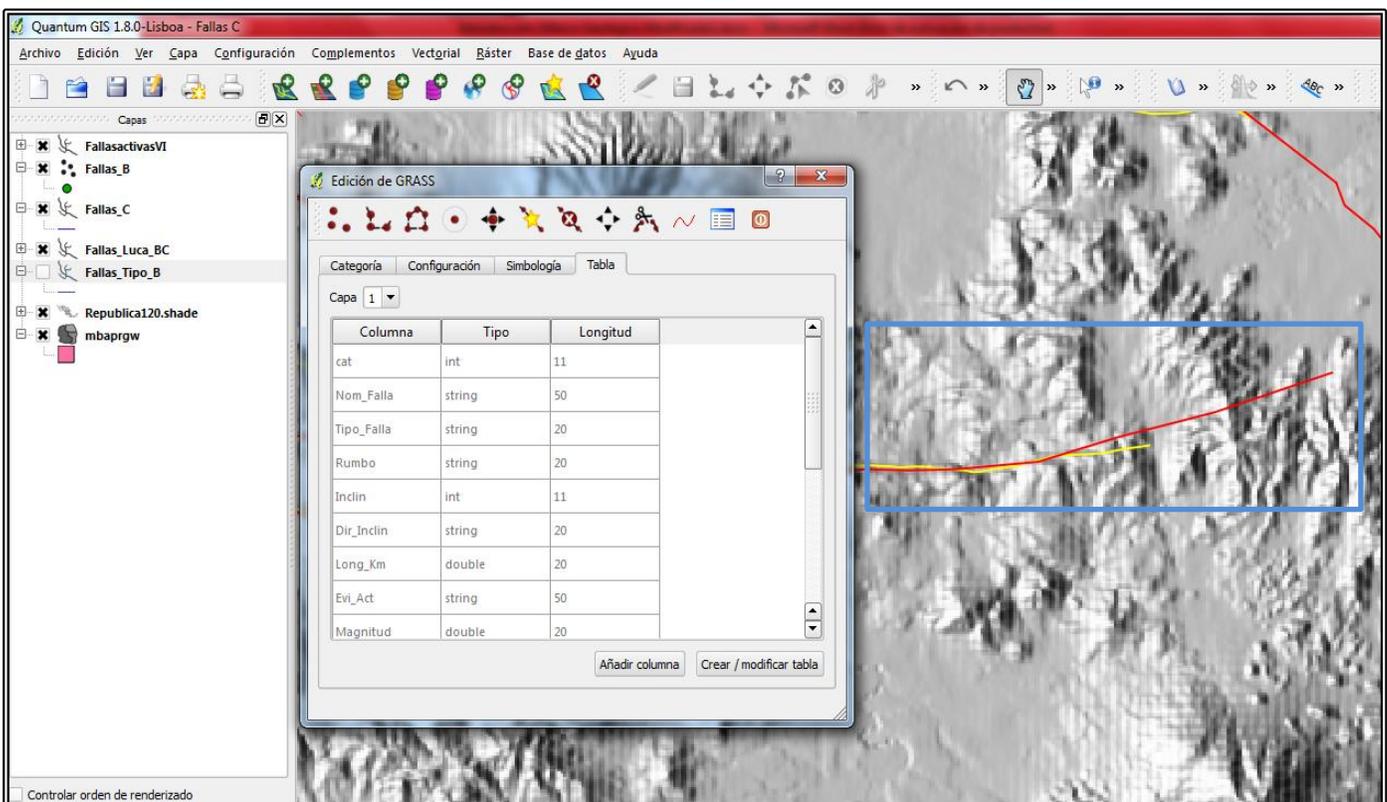


Figura 4.5 Programa Quantum. Mediante este programa se realizó la digitalización de las fallas. Se observa de color amarillo la traza de falla propuesto por WGQFM para la falla Pastores (recuadro azul). Sin embargo mediante trabajos de paleosismología y geomorfología (Langridge 2000) se pudo observar que la falla se prolonga más hacia el este (traza roja). Al lado izquierdo de la traza de la falla se puede apreciar la tabla de edición de Datos de GRASS dentro de Quantum. La tabla de edición está mostrando los atributos de la falla Pastores incluidos en la recapitulación de las fallas Cuaternarias.

Ya que cada traza de falla tiene que venir asociada a su base de datos se realizó el siguiente procedimiento:

- a) Se crea un sitio de trabajo (*Locations*) dentro de GRASS donde se importará la capa vectorial de las fallas Cuaternarias del WGQFM (El sitio de trabajo tiene la misma proyección y datum que la capa vectorial del WGQFM). Una vez importado a GRASS la capa vectorial del WGQFM se reproyecta al sitio de trabajo donde está el mapa base.
- b) Posteriormente en el programa Quantum se abre el Sitio de trabajo del proyecto del mapa Base donde ya están cargadas la capa vectorial del WGQFM y el raster del relieve sombreado. Se dibuja una traza arbitraria, con el propósito de crear el vector de las fallas Cuaternarias y también generar su tabla de atributos.
- c) Teniendo ya el vector de fallas Cuaternarias creado en Quantum se carga en GRASS. Donde se puede mostrar ya la tabla de atributos. Mediante la administración de la tabla de atributos se crea cada uno de los campos anteriormente descritos en el apartado IV.2 de esta tesis.
- d) Una vez creada y guardada la tabla de atributos con sus campos correspondientes en GRASS, se cargan dentro de Quantum donde ya es posible dibujar la traza de la falla con su base de datos asociada. Una vez finalizada la traza de la falla aparece automáticamente la base de datos y se procede a llenarse con la información obtenida de la bibliografía.

Estos pasos se hacen para los tres tipos de fallas (fallas tipo A, B y C) y solo es necesario hacer el procedimiento una vez por cada tipo de falla. Esto con el objetivo de que cada tipo de falla cuente con su capa vectorial y su base de datos asociada.

Complementario a la base de datos dentro de la tesis también se realizó un resumen de la información disponible de las fallas. Esta información será presentada en el siguiente capítulo.

IV.6 Información sin datos Vectoriales

Las fuentes sin datos vectoriales comprenden a fallas cuaternarias que se localizan principalmente en las zonas Noroeste, Centro y Sur del país. Para este caso la información proviene de artículos, tesis, o mapas, de los cuales no se tiene información vectorial georreferenciada. De igual manera que en las fallas con datos vectoriales de la fuente se procede a obtener toda la información de las fallas que es colocada dentro de la base de datos.

Para realizar la vectorización de las trazas de la fallas de los mapas de fuentes bibliográficas, primero las imágenes con las fallas son modificadas a través del programa **Adobe Illustrator**. Este nos permite manipular los mapas manejándolos como archivos tipo raster. Se emplea Adobe Illustrator con el objetivo de escalar el mapa (en el caso de que el mapa sea muy pequeño) y colocarle un mallado con sus coordenadas. Es importante que se conozca la proyección y el datum del mapa de la fuente ya que estos datos son necesarios para poder hacer una correcta georreferenciación de los mapas a vectorizar.

Debido a que la mayoría de los mapas varían en cuanto al sistema geográfico coordinado, es importante que se homogenice el sistema coordinado de referencia. Para este proyecto se utilizó la proyección geográfica y el datum ocupado fue el WSG84. Una vez que se conoce la proyección y datum de la fuente se procede con la georreferenciación de esta imagen mediante el

georreferenciador de Quantum. Si la imagen georreferenciada no tiene la misma proyección y el mismo datum ocupados en este trabajo se realiza una transformación del sistema coordinado (reproyección). La figura 4.6 muestra un ejemplo de la distorsión de forma que sufren las imágenes al ser georreferenciadas. La distorsión se puede ver a través del achatamiento de los polos de los mecanismos focales presentes en los sismos ocurridos en la zona de Bavispe (fallas Pitáycachi, Teras y Otates). Al tener la imagen georreferenciada, con la proyección y datum correctos, se carga la imagen en el proyecto de Fallas Cuaternarias de Quantum. Mediante la verificación de su correcta ubicación con el relieve sombreado se calca la traza de la falla. Se genera su tabla de atributos de la misma manera descrita en la sección IV.5.

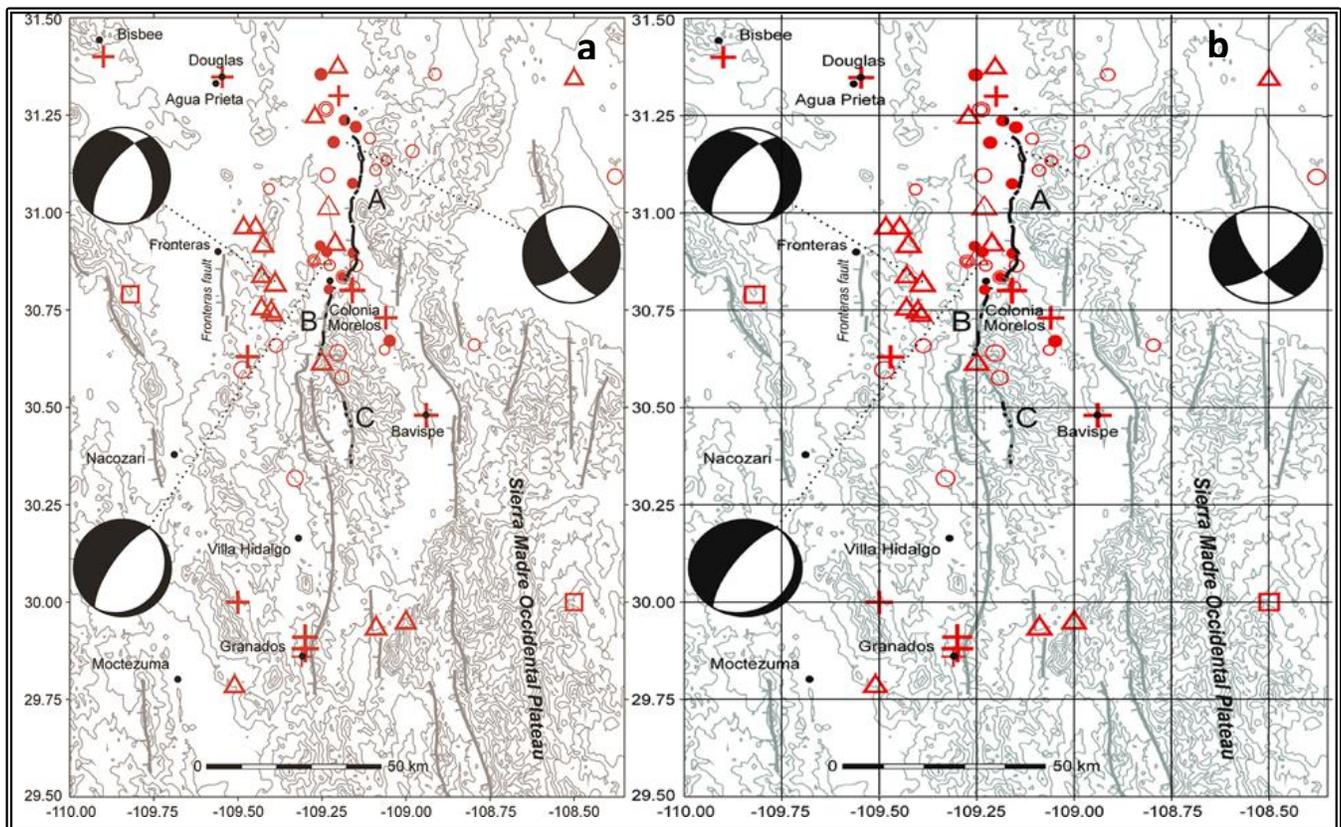


Figura 4.6 Mapa de la fallas Pitáycachi (A) Teras (B) Otates (C), Figura a) Mapa obtenido de la fuente sin modificar (Suter & Contreras, 2002); b) Mapa modificado ya georreferenciado en Quantum. Se puede observar la deformación de la figura inicial a través de la deformación de los mecanismos focales. Los símbolos de color rojo representan epicentros de sismos (Natali & Sbar, 1982). Cruces, sismos con localización basada en la distribución de intensidades. Triángulos, sismos con ubicación instrumental y magnitud específica. Cuadrados, sismos con ubicación instrumental y magnitud no específica. Círculos, microsismicidad de alta calidad (error de localización horizontal < 5 km). Circunferencias, microsismicidad de baja calidad (error de localización horizontal > 5 km). El tamaño de los símbolos es proporcional a la magnitud (o máxima intensidad reportada) del evento. Las curvas de nivel están a 200 metros de intervalo (imagen tomada y modificada de Suter et al, 2012).

La figura 4.7 muestra cómo se realiza la vectorización de la traza de la falla Pitáycachi dentro del SIG Quantum. La traza vectorizada corresponde a la línea tenue color azul claro que pasa por la

parte central de la traza dibujada en el mapa. Del lado izquierdo de la traza de la falla se puede apreciar la tabla de edición de GRASS dentro de Quantum, la cual permite editar la traza de la falla colocando la información que le corresponde a cada uno de los campos de las base de datos de las fallas cuaternarias.

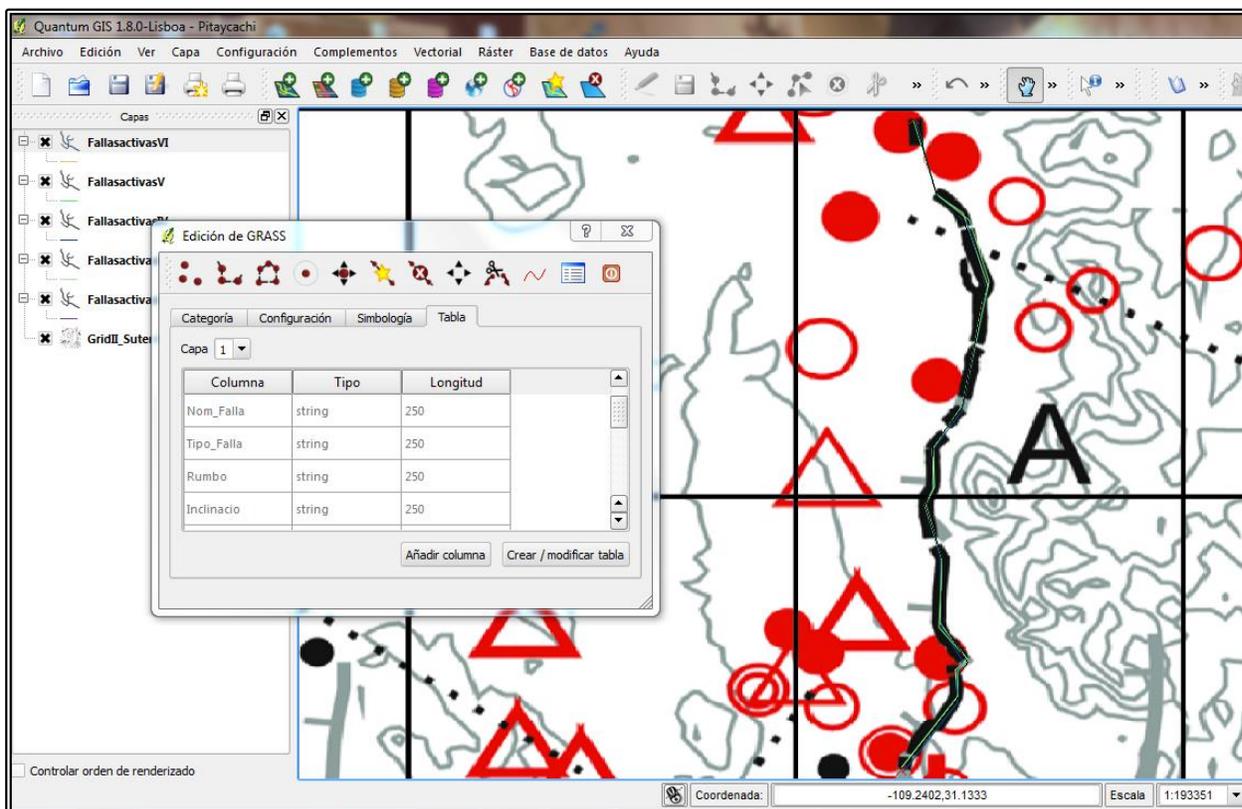


Figura 4.7 Vectorización de la traza de la falla Pitáycachi dentro del programa Quantum.

La figura 4.8 muestra la traza de las fallas Pitáycachi, Teras y Otates ya vectorizadas, así como el MDE superpuesto sobre el relieve sombreado corroborando la correcta vectorización de las fallas. Al lado izquierdo de la figura se aprecia la tabla de atributos de la falla Pitáycachi. Donde ya se aprecia toda la información recabada de la falla.

Dentro de la información recabada sin datos vectoriales también existen fallas cuaternarias que no pudieron ser digitalizadas, esto se debe principalmente a trabajos en donde los mapas carecen de sistema coordinado o se desconoce el datum y elipsoide. En este caso los mapas no son tomados en cuenta dentro de la base de datos ya que existe una gran incertidumbre en la ubicación exacta de las fallas.

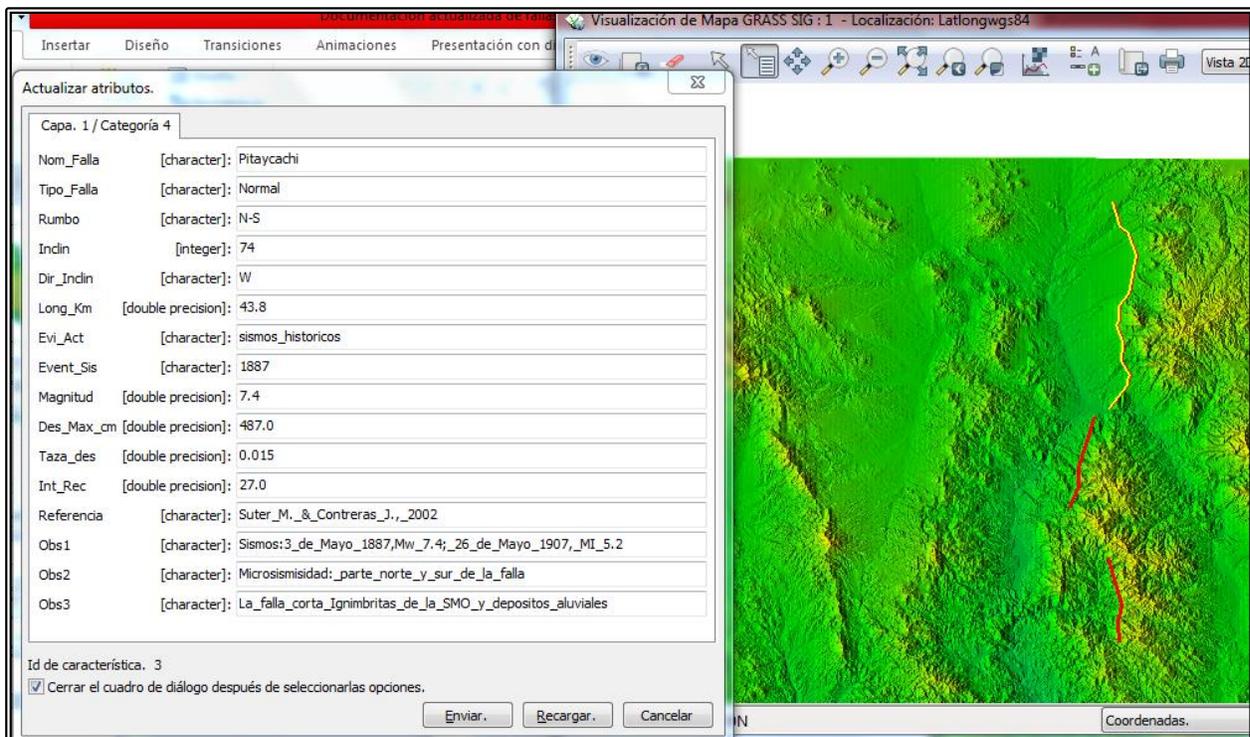


Figura 4.8 Presentación de la falla Pitáyacachi, Teras y Otates dentro del SIG GRASS. Se presenta el MDE sobrepuesto al Relieve sombreado. Del lado izquierdo se presenta la tabla de atributos de la falla Pitáyacachi (traza amarilla).

IV.7 Información en la Red

Para poder poner la información a disposición de los usuarios los archivos vectoriales fueron exportados a dos formatos de archivos vectoriales muy comunes, KML y Shape. Los archivos KML (Keyhole Markup Language, lenguaje de marcas de Keyhole) son empleados por programas como Google Maps y Google Earth, los cuales permiten visualizar la traza de la falla sobre imágenes satelitales, lo que permite ver donde atraviesa la traza de la falla. Los archivos Shape son archivos vectoriales empleados por el programa ArcGis. Cada archivo Shape consta de cuatro archivos separados .dbf, .prj, shp, shx. Estos cuatro archivos contienen la proyección y Datum del archivo vectorial, y las base de datos asociado al archivo vectorial. Es importante aclarar que al importar la base de datos a programa ArcGis, los campos numéricos que carezcan de información por defecto el programa les asigna el valor de cero (echado de la falla, magnitud del evento sísmico, desplazamiento máximo, taza de deslizamiento, intervalo de recurrencia). Mientras que al crear los archivos KML si en un campo se carece de información este campo será omitido por defecto. Dentro de Google Earth Pro se pueden importar archivos vectoriales por lo que permite visualizar la traza de la falla en imágenes satelitales y además desplegar la tabla de atributos de las fallas. Se crearon tres archivos KML y tres Shapes, con los tres diferentes tipos de Fallas, Fallas Tipo A, Tipo B y Tipo C, así como el archivo shape “División Política” que contiene un mapa de México con la división política del país.

V.- Resultados

A partir de la recopilación de información se registraron un total de 151 fallas, 28 fallas del tipo A, 7 fallas del tipo B y 116 del tipo C. Sin embargo como algunas fallas se dividieron en secciones de falla o se trabajó en zonas de fallas, se tiene un total de 227 trazas de falla (34 tipo A, 7 tipo B y 186 tipo C). A las 227 trazas de falla se les desarrolló todo el procedimiento descrito en el capítulo IV. La figura 5.1 nos ilustra la cantidad de fallas en México reportadas en este trabajo, divididas en tipos de fallas y representadas en porcentaje del total de fallas documentadas. La figura muestra que la cantidad de fallas del Tipo C es tres veces mayor que las Fallas Tipo A y B juntas. De acuerdo con lo descrito en el capítulo IV existe una gran carencia en la caracterización de las fallas cuaternarias en México debido a que la mayor cantidad de fallas registradas pertenecen al grupo que cuenta con la menor cantidad de información (fallas Tipo C).

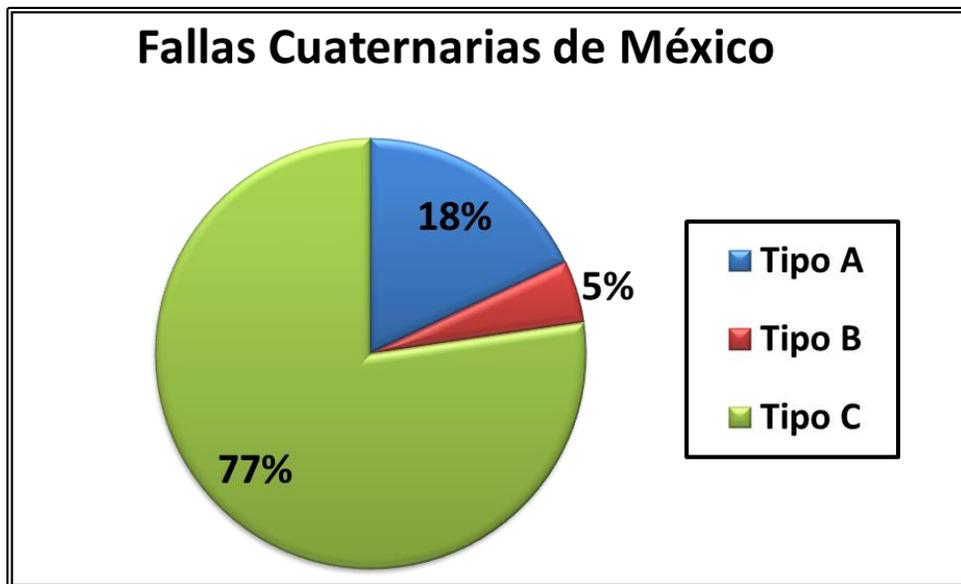


Figura 5.1 Distribución del Tipo de Fallas Cuaternarias en porcentaje del total documentado. Tipo A un total de 27 fallas (18% del total de fallas documentadas), Tipo B un total de 7 fallas (5% del total de fallas documentadas), tipo C un total de 116 fallas (77% del total de fallas documentadas).

Los archivos vectoriales así como sus bases de datos asociadas se encuentran en formato Shape y KML. Estos archivos pueden ser visualizados por cualquier SIG. Además los archivos KML pueden ser abiertos en Google Maps y Google Earth, mientras que en Google Earth Pro también se pueden importar los archivos tipo Shape. La figura 5.2 muestra un ejemplo de la visualización de una falla en Google Earth Pro. Los datos vectoriales Shape y KML de los tres tipos de fallas (Tipo A, B, C) se pueden descargar de la siguiente liga como una carpeta de archivos comprimidos en formato ZIP, dentro de la pestaña Tesis Cgeo:

<http://digitalgeosciences.unam.mx/web/geomatica/recursos.html>

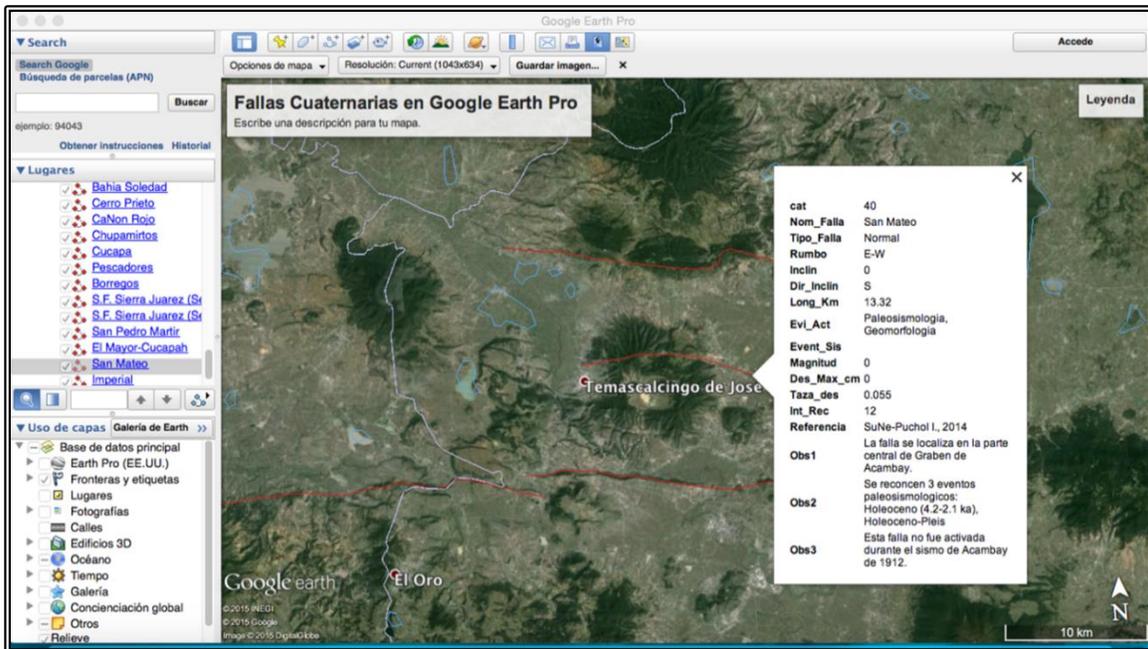


Figura 5.2 Visualización de las fallas cuaternarias en el programa Google Earth Pro. La imagen muestra al Graben de Acambay. La falla que muestra su tabla de atributos corresponde a la falla San Mateo en la parte Central de Graben.

En el apartado de Apéndice de la tesis se localiza el listado de la base de datos con las 151 fallas documentadas en este proyecto. Las fallas se presentan ordenadas en Tipo A, B y C. Cada falla presenta un listado de los catorce campos que describen a las fallas, estos campos fueron enlistados en el apartado IV.2. Las fallas que cubren casi todos los campos corresponden a las fallas tipo A, mientras que las fallas que tienen menos campos cubiertos son las fallas tipo C.

A continuación serán presentados los resultados obtenidos del trabajo realizado para las zonas Noroeste, Noreste, Centro y Sur. Una vez separadas por zonas, las fallas son presentadas por tipo de falla (tipo A, B y C respectivamente). De igual manera se incluye una breve reseña de las fallas, donde las estructuras fueron agrupadas en áreas más pequeñas que describen un ambiente geológico muy similar. Para concluir en el apartado V.5 se realiza una estimación de la posible magnitud esperada de un sismo asociado a las fallas tipo A y B que tengan una longitud inferior a 100 km.

V.1 Zona Noroeste

La zona Noroeste del país se localiza en los estados de Baja California, Baja California Sur, y Sonora. En la frontera entre Baja California y Sonora se encuentra el límite de las Placas Pacífico y Norteamérica. La figura 5.3 muestra la ubicación general de las fallas dentro de la zona Noroeste del país.

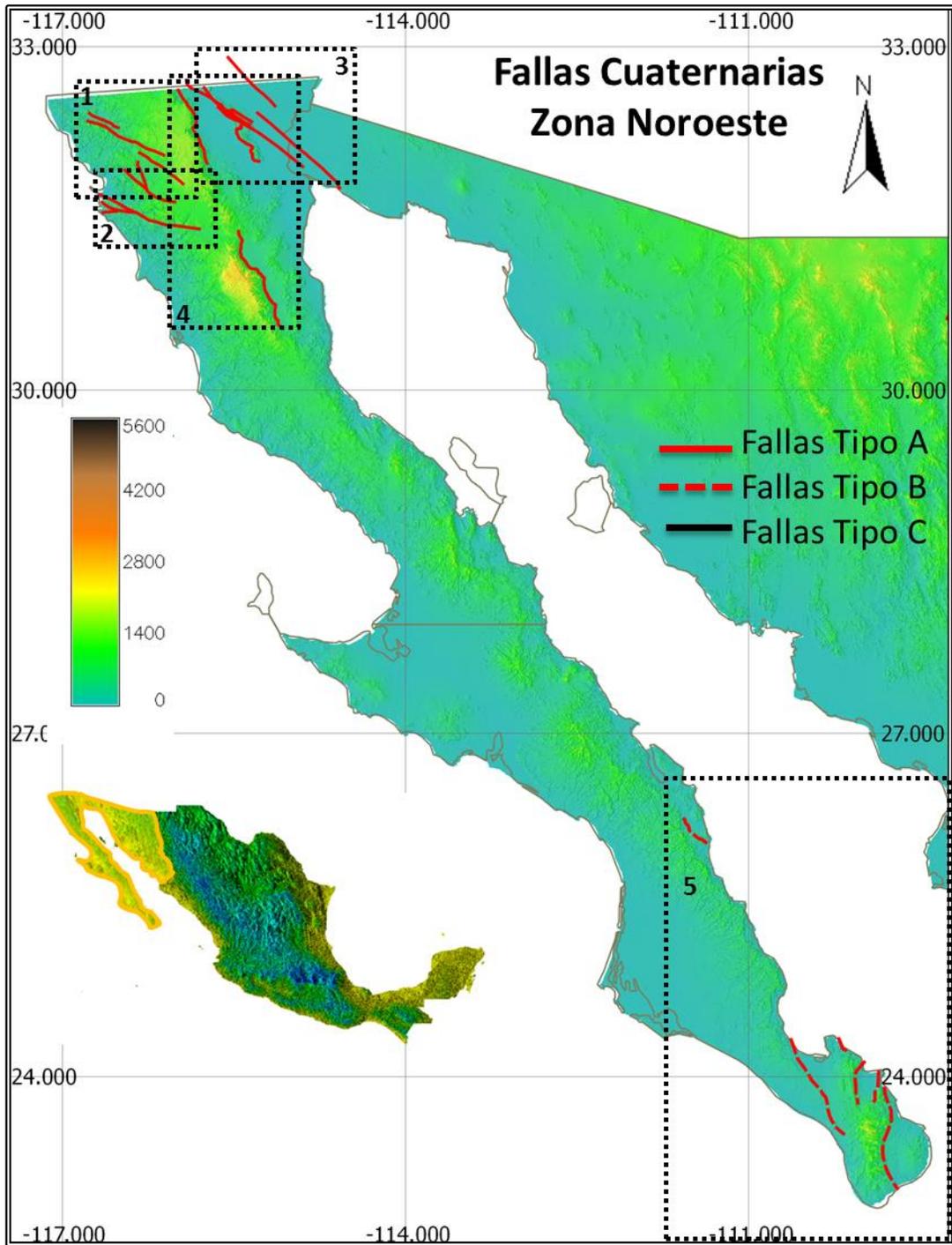


Figura 5.3 Ubicación general de las fallas cuaternarias en la zona Noroeste del país. La escala indica la altura en metros respecto al nivel medio del mar. Los recuadros punteados ilustran los sistemas de fallas: 1, Vallecitos-San Miguel; 2, Agua Blanca; 3, Cerro Prieto-Imperial y Laguna Salada; 4, Sierra Juárez-San Pedro Mártir; 5, Margen Extensional del Golfo y Falla Loreto.

Esta zona comprende las fallas:

- ❖ Tipo A
 - Norte de Baja California
 - Sistema de fallas Vallecitos-San Miguel (figura 5.5)
 - Sistema de fallas Agua Blanca (figura 5.6)
 - Sistema de fallas Cerro Prieto-Imperial (figura 5.7)
 - Sistema de fallas Laguna Salada (figura 5.7)
 - Sistema de fallas Sierra Juárez-San Pedro Mártir (figura 5.8)
- ❖ Tipo B
 - Sistema de fallas Margen Extensional (figura 5.9)
 - Falla Loreto (figura 5.9)

Dentro de la zona Noroeste no se tiene reportadas fallas tipo C.

V.1.1 Fallas Tipo A

Como se había mencionado en el capítulo IV las fallas Tipo A corresponden a fallas con fuertes indicadores de un desplazamiento en el Holoceno. Por tal motivo las fallas que se localizan dentro del Norte de Baja California al estar próximos al límite de placas presentan alta sismicidad existiendo eventos superficiales que se manifiestan a través de fallas. Trabajos como los de Lomnitz *et al.* (1970), Hirabayashi *et al.* (1996) y Suárez-Vidal *et al.* (2008) documentan la sismicidad presente en esta área.

V1.1.1 Norte de Baja California

La península de Baja California se localiza dentro de la placa Pacífico, la cual se desplaza hacia al Noroeste respecto a la placa Norteamericana. La interacción de estas dos placas en el Norte de Baja California se manifiesta a través de fallas transformantes que van desde el golfo de California, se conectan con el sistema de fallas de San Andrés y terminan en la zona de fractura de Mendocino al norte de California. El desplazamiento relativo de la placa Pacífico con respecto a la placa América del Norte varía de 56 mm/a (modelo RM2, Relative Motion 2, Minster, & Jordan, 1978) a 50 mm/a (modelo NUVEL 1A de DeMets *et al.*, 1990) o 48.8 ± 1.8 mm/a (DeMets & Traylen, 2000).

Al interior del estado también existe una zona de cizalla ajena al sistema de fallas de San Andrés, definida por Legg *et al.* (1991) conocida como la Zona de Cizalla del Sur de California (Southern California Shear Zone). Esta zona está delimitada por fallas dextrales que rotan en sentido antihorario (opuesto a las manecillas del reloj), y que ocupa área marina y continental. La figura 5.4 muestra un esquema general de la península de Baja California, los recuadros superior e inferior indican los Sistemas de Fallas Norte de Baja California (Fallas Tipo A) y Margen Extensional (Fallas Tipo B) respectivamente.

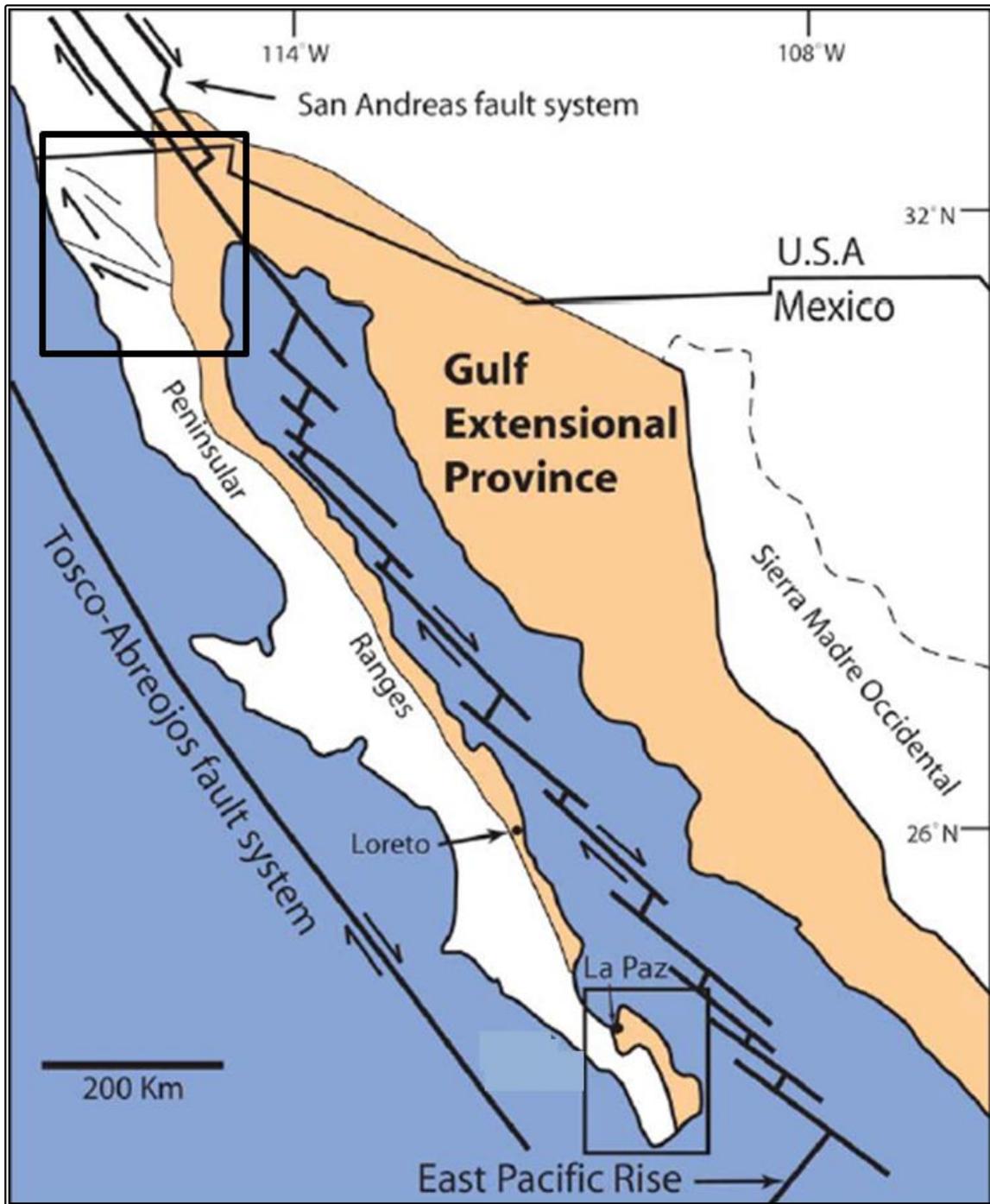


Figura 5.4 Configuración tectónica actual de la Península de Baja California y los límites de placas Norteamérica (este) y Pacífico (oeste) en el Golfo de California. De color carne se ilustra el área de la Provincia Extensional del Golfo. Los recuadros indican los sistemas de fallas Norte de Baja California (Recuadro superior) y Margen Extensional del Golfo (recuadro inferior) (tomado y modificado de Umhoefer et al., 2002).

A continuación se describen las fallas regionales que presentan desplazamientos recientes dentro de la parte Norte de Baja California, agrupadas por sistemas de fallas.

V.1.1.1.1 Sistema de fallas Vallecitos-San Miguel

Dentro del sistema de fallas Vallecitos-San Miguel se ha agrupado las fallas Calabazas, San Miguel, Vallecitos y Tres Hermanas en sus dos secciones (también conocidas como falla Tres Hermanos). Este sistema de fallas es considerado sísmicamente muy activo con una gran cantidad de sismos principalmente en la falla San Miguel (Cruz-Carrillo, 2002). Las fallas Calabazas, Vallecitos y San Miguel forman escalonamiento derecho. La figura 5.5 nos muestra la ubicación de estas fallas.

La falla San Miguel es considerada como una de las fallas más activas del siglo pasado (Shor & Roberts, 1958; Gastil *et al.*, 1975; Reyes *et al.*, 1975; Frez & González, 1991; Suárez *et al.*, 1991). De 1954 a 1956 ha producido 6 sismos moderados de magnitud 6 o mayor (Reyes *et al.*, 1975). Estos eventos sísmicos han presentado desplazamientos superficiales oblicuos. Los desplazamientos vertical y horizontal máximos reportados son de 0.9 m y 0.8 m respectivamente (Hirabayashi *et al.*, 1996).

La falla Calabazas se localiza en la parte NW del sistema de fallas Vallecitos-San Miguel y se encuentra pobremente definida. La falla cuenta con escarpes de falla, escalones de falla y desarrollo de depósitos aluviales desplazados afectados por la tectónica.

La falla Vallecitos es la continuación al NW de la falla San Miguel (Suárez *et al.*, 1991), que geomorfológicamente forma escarpes. No se le tiene asociados sismos de magnitud mayor a 6. Cruz-Carrillo (2002) considera que el sismo de Guadalupe (M= 5.7) de 1949 está asociado a esta falla.

La falla Tres Hermanas es paralela al sistema de fallas San Miguel-Vallecitos, no cuenta con estudios sismológicos, geológicos ni geofísicos detallados. La localización de la falla se debe primordialmente a la interpretación de fotografías aéreas, imágenes de satélite, alineación de sismos, escarpes y manantiales de aguas termales (Suárez *et al.*, 1991).

Con respecto a la litología el basamento de la parte noroccidental de la península consta de rocas graníticas y una secuencia metamorfoseada de rocas intrusivas y vulcanosedimentarias de arco. El basamento es cubierto discordantemente por depósitos sedimentarios poco consolidados de Cretácico Superior, que sobreyacen a derrames basálticos y brechas. Para el Pleistoceno se encuentran depositadas areniscas y conglomerados (Delgado-Argote *et al.*, 2012).

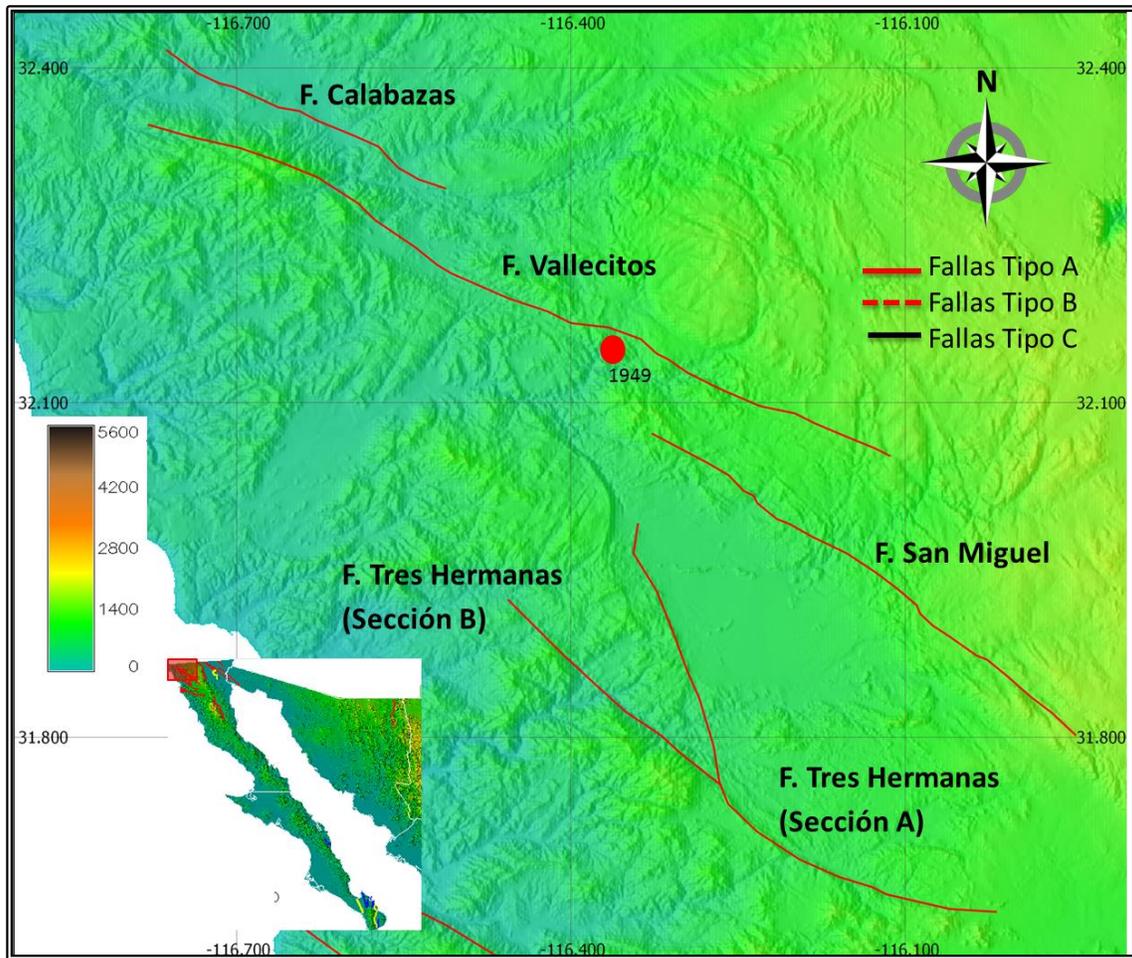


Figura 5.5 Ubicación del sistema de Fallas Vallecitos-San Miguel. La leyenda nos indica la elevación en metros respecto al nivel media del mar. El círculo rojo representa al sismo de Guadalupe de 1949 (ML = 5.7). El recuadro rojo indica la ubicación de la figura en la zona Noroeste de la República Mexicana.

V.1.1.2.2 Sistema de fallas Agua Blanca

Este sistema de fallas se compone por las fallas Agua Blanca, Maximitos y Bahía Soledad. Estas dos últimas fallas son ramificaciones de la falla Agua Blanca. La figura 5.6 nos muestra la ubicación del sistema de Fallas Agua Blanca.

La falla Agua Blanca se extiende desde el Paso de San Matías hasta la bahía de Todos Santos. La falla tiene una orientación NW y un desplazamiento lateral de 22 km. Es la falla activa más antigua de Baja California, ha presentado desplazamientos desde el Mesozoico tardío (Allen *et al.* 1960). Entre los rasgos geomorfológicos que tiene se observa que corta y desplaza abanicos aluviales; forma cañadas, cañones, valles en escalón; y hacia el sector oeste se pueden apreciar facetas triangulares.

Para la falla Agua Blanca, Rockell *et al.* (1987) estiman un periodo de recurrencia de 175 a 200 años para sismos de magnitud mayor a 6. La velocidad promedio en que se desplaza la falla es 4

mm/año. Se considera de baja sismicidad debido a que los eventos que se presentan son de magnitud de moderada a baja con magnitudes de 3 a 5 (Suárez, 1991).

Al oeste de la falla Agua Blanca se localizan las fallas Maximitos y Bahía Soledad. Son el límite al norte y al sur de la península Punta Banda respectivamente. Ambas son fallas transcurrentes con desplazamiento lateral derecho.

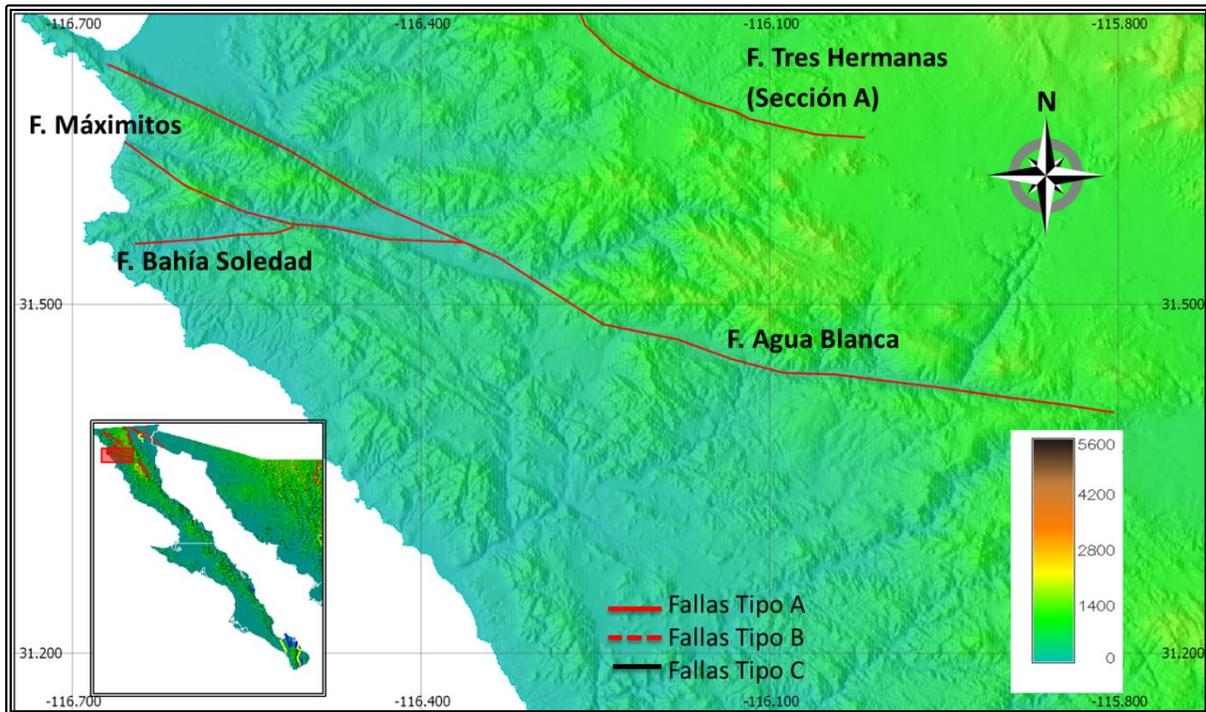


Figura 5.6 Ubicación del sistema de fallas Agua Blanca. La leyenda nos indica la elevación en metros respecto al nivel medio del mar. El recuadro rojo muestra la ubicación de la figura en la zona Noroeste de la República Mexicana. En la parte superior de la figura aparece la parte sur de la Falla Tres Hermanas (sección A) descrita el apartado V.1.1.2.1.

V.1.1.2.3 Sistema de fallas Cerro Prieto-Imperial, Laguna Salada

La figura 5.7 muestra los sistemas de Fallas Imperial-Cerro Prieto y Laguna Salada. El sistema de fallas Cerro Prieto-Imperial corresponde a un sistema de fallas transcurrentes lateral derecho y tiene un rumbo de NW-SE. Este sistema de fallas da lugar a arreglos de escalonamiento derecho. Delimitan y conectan cuencas que conforman la parte norte de los centros de expansión oceánicos activos del golfo de California. La falla Cerro Prieto se extiende desde la parte norte del golfo de California hasta el volcán Cerro Prieto. Mientras que la falla Imperial forma un escalón derecho con respecto a la falla Cerro Prieto, manteniendo una separación de 13 km entre sí. En medio de estas dos fallas se localiza el Valle Imperial (Suárez-Vidal *et al.*, 2008).

La actividad sísmica que domina es la microsismicidad (enjambres, y actividad de fondo). Esta actividad ocurre primordialmente en la terminación sur de la falla Imperial y en la terminación norte de la falla Cerro Prieto, justo en la zona de superposición de estas dos estructuras. Los eventos de magnitud considerable (Magnitudes entre 6 y 7) ocurren en la parte central de estas fallas, pero fuera del área de superposición (Frez & González, 1991).

Los principales eventos ocurridos en la falla Imperial con magnitud superior a 6 ocurrieron en mayo de 1940 (ML=7.1) y octubre de 1979 (ML=6.6), ambos sismos con manifestación superficial que sirvió para delimitar la falla (Frez & Frías, 1998; Suárez *et al.*, 1991). Con lo que respecta a la falla Cerro Prieto, se le asocian tres eventos: diciembre de 1934 (2 eventos M 6.5 y M 7.1) y en junio de 1980 (M 6.1). No obstante solo los sismos de 1934 tuvieron manifestación en superficie mediante fallas (Frez & González, 1991; Suárez *et al.*, 1991).

Ambas fallas forman el límite de placas Norteamericana y Pacífico. La falla Imperial además es la principal conexión entre el sistema de fallas de San Andrés y las estructuras del golfo de California y su velocidad de desplazamiento se estima de 47 mm/año, mientras que la velocidad de desplazamiento de la falla Cerro Prieto en la región de Valle de Mexicali se estima mayor de 50 mm/años (Suárez *et al.*, 1991; Cruz-Carrillo, 2002).

Dentro del Sistema de Fallas Laguna Salada se localizan las fallas: Laguna Salada, Borregos, Pescadores, Cucapá, Chupamirtos, Cañón Rojo, El Mayor-Cucapá y Cañada David (Ver figura 5.7).

El Sistema de fallas Laguna Salada consta de dos fallas juntas; una compleja en la parte sur y una simple en la parte norte. Al SE tenemos la falla Cañón Rojo y Chupamirtos, al oriente se localizan las fallas Cucapá, Pescadores y Borregos, mientras que en la parte NW se localiza una única falla, Laguna Salada (Ver figura 5.8) (Cruz-Carrillo M., 2002).

El sistema de fallas Laguna Salada se localiza en la parte norte de la provincia extensional del Golfo de California y es el límite entre la Laguna Salada y las Sierras El Mayor y Cucapá, siendo el sistema de Falla Laguna Salada fallas normales posiblemente con componente lateral (Muller & Rockwell, 1995). Las fallas que cortan a las sierras El Mayor y Cucapá acomodan deformación con un eje principal de extensión que se encuentra orientado NE-SW. (Axen & Fletcher, 1998; Axen *et al.*, 1999; Chora-Salvador, 2003).

La falla Laguna Salada es una falla normal con componente lateral derecha y con echado al NW (Ver figura 5.8). Tiene un desplazamiento promedio de menos de 1 mm/año, tiene un desplazamiento vertical de 1 mm/año y 0.7 mm/año en el sentido horizontal. A esta falla se le asocian los sismos de 1982 (Mw=7.1) y otro en 1934 (M=6.5) (Muller & Rockwell, 1991; Suárez *et al.*, 1991; Cruz-Carrillo, 2002). De igual forma se activó en el sismo del 2010 (González-Ortega *et al.*, 2014; Fletcher *et al.*, 2014).

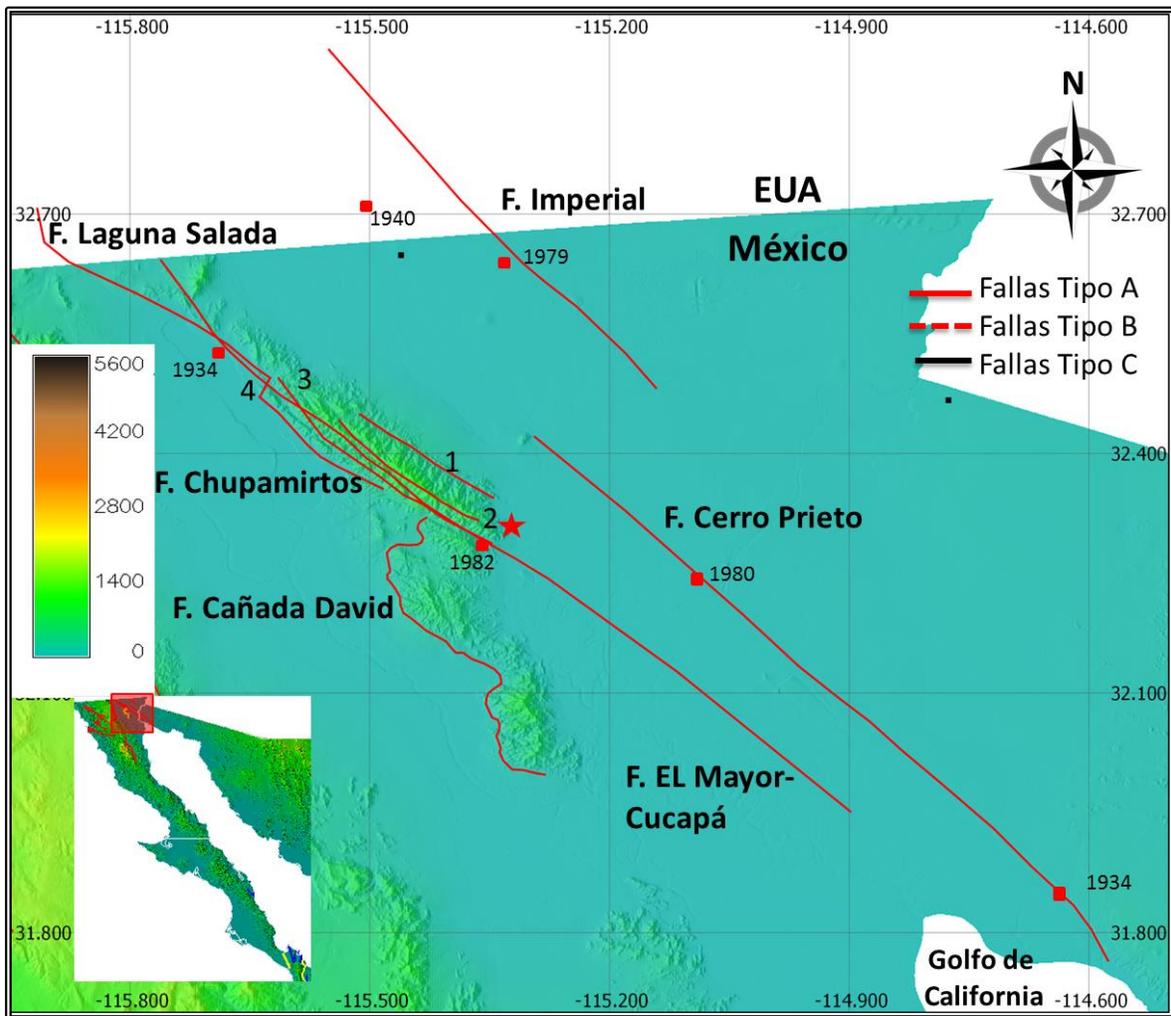


Figura 5.7 Ubicación de los Sistemas de Fallas Imperial-Cerro Prieto y Laguna Salada. La numeración representa a las fallas: 1 Cucapá, 2 Pescadores, 3 Borregos, 4 Cañón Rojo, El recuadro rojo muestra la ubicación de la figura en la zona Noroeste de la República Mexicana. La estrella roja representa el epicentro del sismo del 4 de abril de 2010 (Mw 7.2) (González-Ortega et al., 2014). Los recuadros rojos indican los principales sismos asociados a las fallas cuaternarias documentadas.

La falla Cañón rojo (Figura 5.7) es una falla normal de alto ángulo con rumbo NE-SW y echado al NW. El sismo de 1982 preservó el escarpe de la falla, forma escarpes y abanicos aluviales. La razón de movimiento de la falla es menor a 1 mm/año, y su conexión con la falla Laguna Salada está muy bien definida (Suárez et al., 1991; Cruz-Carrillo, 2002). La falla Chupamirtos tiene una componente principalmente de fallamiento Normal y el arreglo del escarpe es angosto (aprox. 70 m).

La falla Cañada David (figura 5.7) es una falla normal de despegue de bajo ángulo con una traza curvilíneal de entre 50-55 km de longitud. La falla corta estratos del Mioceno-Pleistoceno y se infiere que ha acomodado 5-7 km de denudación desde hace 12 Millones de años (Axen et al., 2000). Esta falla produce un extenso arreglo de escarpes cuaternarios que cortan depósitos aluviales a lo largo de toda la falla. Spelz et al., 2008 realizaron estudios geomorfológicos a lo

largo de toda la Sierra El Mayor dentro de su sector occidental, donde identificaron 8 abanicos aluviales cortados por fallas cuaternarias y realizaron dataciones de nucleídos terrestres cosmogénéticos en varios abanicos obteniendo edades de 15.5 ± 2.2 y 204 ± 11 ka.

Las fallas Borregos, Pescadores y Cucapá (figura 5.7) corresponden a fallas normales paralelas de alto ángulo de rumbo NW-SE que buzan al NE, estas fallas están dentro de la Sierra Cucapá (Suárez *et al.*, 1991; Cruz Carrillo, 2002).

El 4 de abril del 2010 ocurrió el sismo de El Mayor-Cucapá, Magnitud Mw 7.2, sucedió dentro del límite de las placas Norteamérica y Pacífico (ver figura 5.7). Este sismo tuvo manifestación superficial a lo largo de 120 km. La falla se propagó a través de las fallas Pescadores y Borregos en la sierra Cucapá y hacía el Sureste a través de la falla Indiviso [Hauksson *et al.*, 2010]. Las mediciones del desplazamiento cartografiado a lo largo de la falla Pescadores corresponde a un fallamiento Normal (2.5 m de desplazamiento). El segmento que pasa por la falla Borregos indica una falla oblicua (4 m de desplazamiento) lo que hace el mecanismo de ruptura de la falla corresponda a un proceso complejo (González-Ortega *et al.*, 2014; Fletcher *et al.*, 2014).

V.1.1.2.4 Sistema Sierra Juárez- Sierra San Pedro Mártir

La figura 5.8 muestra la ubicación del Sistema de fallas Sierra de Juárez-San Pedro Mártir en la parte central de la figura. También se puede apreciar al sistema de Fallas Laguna Salada y Cerro Prieto-Imperial en la parte superior derecha de la figura y al sistema de Fallas San Miguel-Vallecitos del lado izquierdo de la figura.

El Escarpe Principal del Golfo es un rasgo tectónico y geomorfológico distintivo que define el límite oeste de la zona de extensión del rift del Golfo de California y la corteza continental que aún no ha sido afectada por la extensión de Baja California (Dokka & Merriam, 1982; Plattner *et al.*, 2007). Un rift es una zona de extensión tectónica asociada generalmente al límite divergente de las placas. El Escarpe Principal del Golfo alcanza una altura de 2.5 km y 1.7 km de relieve en los segmentos del frente montañoso oriental de la Sierra San Pedro Mártir y la Sierra Juárez, respectivamente (Díaz-Torres *et al.*, 2012). Aunque su relieve es similar, estos dos segmentos del rift están controlados por fallas con diferente geometría y cinemática. El escarpe de San Pedro Mártir es el bloque de piso de un sistema de falla normal con deslizamiento al este. El escarpe de la Sierra Juárez se formó en el bloque de techo de un sistema de falla normal de bajo ángulo con deslizamiento al oeste (Dokka & Merriam, 1982; Stock & Hodges, 1989; Axen, 1995; Díaz-Torres *et al.*, 2012).

En un catálogo de sismicidad para el norte de Baja California, Frez & Frías (1998) reportan que la falla Sierra Juárez presenta una microsismicidad relativamente alta en su segmento central, mientras que la falla Sierra San Pedro Mártir parece tener microsismicidad asociada pero sólo en su parte norte.

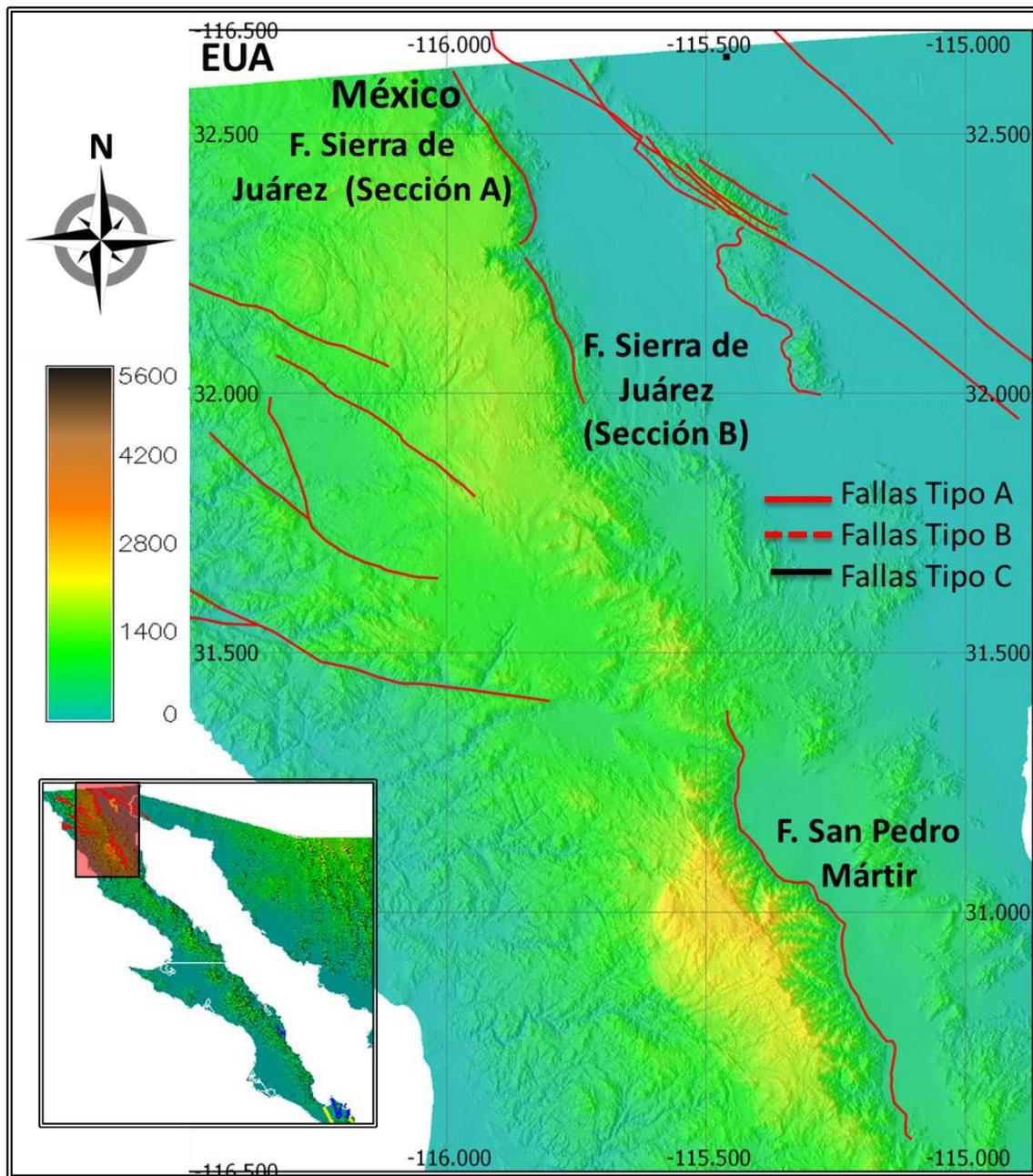


Figura 5.8 Ubicación del sistema de Fallas Sierra Juárez-San Pedro Mártir. Al extremo derecho se observa los sistemas de falla Laguna Salada e Imperial-Cerro Prieto. Al oeste se observa el sistema de fallas San Miguel-Vallecitos. El recuadro rojo representa la ubicación de la figura dentro de la zona Noroeste de la República Mexicana. La escala indica la elevación respecto al nivel medio del mar.

V.1.2 Fallas Tipo B

Las fallas del Tipo B presentes en el área Noroeste de México corresponden al Sistema de Fallas del Margen Extensional así como a la Falla Loreto. Si bien existe sismicidad presente dentro del mar de Cortés asociado al límite de placa Norteamérica y Pacífico no existe una relación directa con las fallas cuaternarias continentales del Margen Extensional. Fletcher & Muguia (2000) no asocian los sismos del 30 de junio de 1995 (Ms 6.2, localizado mar adentro a 70 km al NNE de la ciudad La Paz, Figura 5.9) a alguna falla dentro del continente. Antes de Fletcher & Muguia (2000) se consideraba la existencia de la falla La Paz, que es un lineamiento que pasaba al este de La Paz (Beal, 1948; Hamilton, 1971; Hausback, 1984). Por su parte Coyán et al. (2013), Maloney (2009) y Fletcher & Munguia (2000) indican la presencia de fallas cuaternarias continentales en esta región. Sin embargo el rango de la edad establecido del último desplazamiento de la falla es muy amplio y no permite asociarlas como fallas holocénicas.

V.1.2.1 Sistema de fallas Margen Extensional del Golfo y falla Loreto

Este sistema de fallas se localiza entre las ciudades La Paz y Cabo San Lucas en Baja California Sur. Las fallas que componen este sistema son: El Carrizal, San Juan de los Planes, La Gata y San José de los Cabos. La falla La Gata también ha sido descrita con el nombre de falla San Bartolo (Fletcher & Munguia 2000). La figura 5.9 muestra la localización del sistema de Fallas Margen Extensional de Golfo y la Falla Loreto.

En general este sistema de fallas comprenden fallas normales con rumbo Norte-Sur y Nornoroeste-Sursureste, con el bloque de piso al este y escalonamiento izquierdo. Estas fallas tienen bajas tasas de deslizamiento (<1 mm/año). Sin embargo controlan la topografía de la parte Sur de la península de Baja California (Fletcher & Munguia, 2000; Maloney, 2009; Bush et al, 2011; Coyán et al., 2013).

La mitad de la parte sur de la península de Baja California es dominada por una potente secuencia de lavas y brechas volcánicas que fue depositado a lo largo del flanco occidental del área de estudio, en el Mioceno medio. Estas secuencias son cortadas por el Sistema de Fallas Margen Extensional del Golfo, que las pone en contacto con plutones graníticos y rocas metamórficas del Cretácico que dominan el extremo sur de la península (Fletcher & Munguia, 2000).

El arreglo de fallas está situado entre la corteza adelgazada caliente de la zona principal del rift y, la corteza continental más fría y gruesa marginal a la zona principal de rift. La baja tasa de deslizamiento (< 1 mm/año) que muestran las fallas del sistema podría ser generada a partir de las diferencias entre las propiedades físicas de estas dos zonas, o puede ser un reflejo de la gravedad, donde los bloques están colapsando dentro del golfo (Fletcher & Munguia, 2000; Maloney, 2009; Bush et al, 2011; Coyán et al., 2013).

La falla Loreto es una falla normal con un rumbo Norte-Sur localizada en la parte central de la península de Baja California (Ver figura 5.9). La falla Loreto presenta desplazamientos desde el Plioceno, principalmente en su porción sur. La falla en su porción norte corta al grupo Comundu y depósitos Cuaternarios. La existencia de terrazas Cuaternarias cortadas por la falla indica varios periodos de movimiento de la falla (Dorsey *et al.*, 1994).

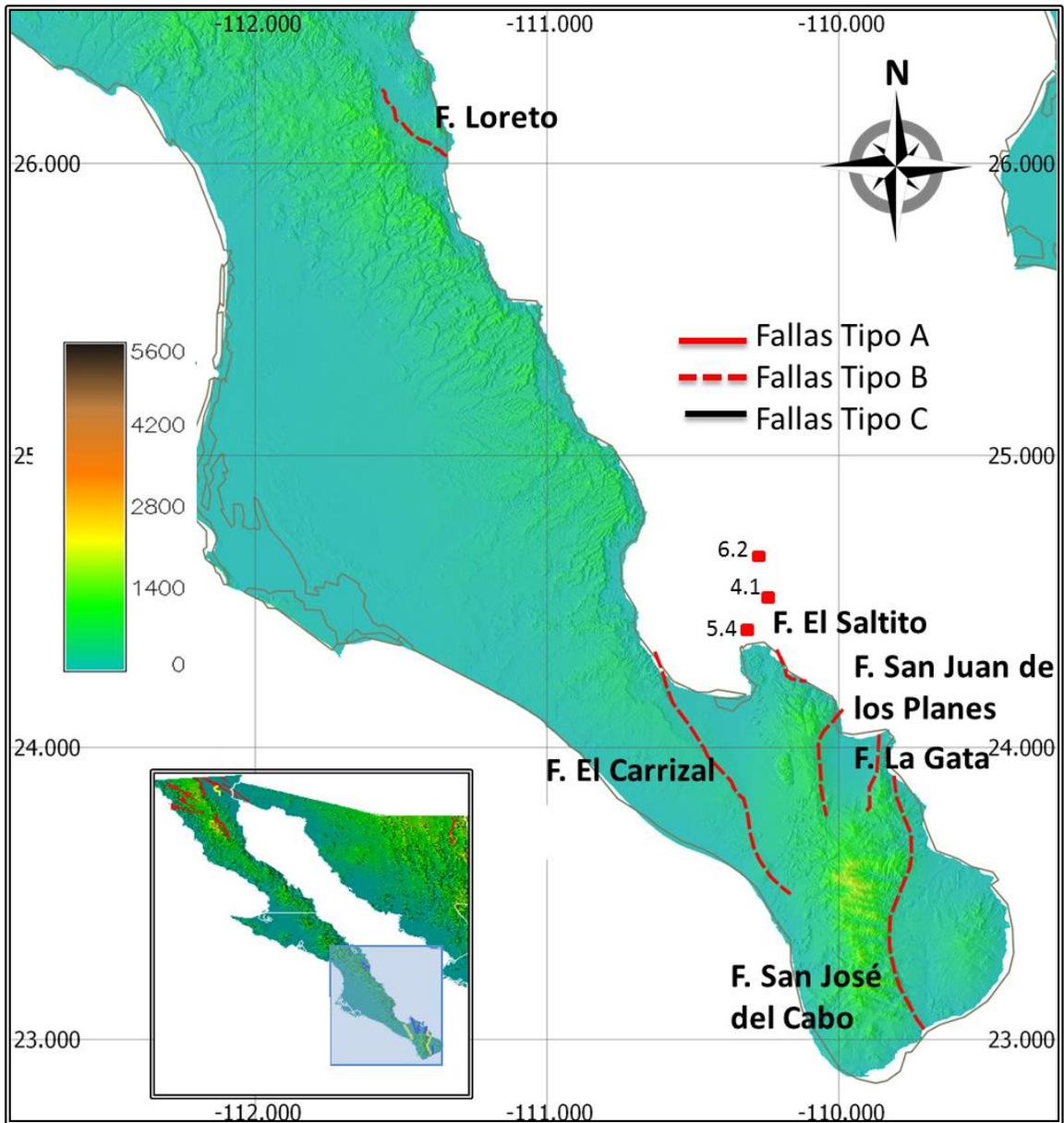


Figura 5.9 Ubicación del sistema de fallas Margen Extensional del Golfo y falla Loreto. El recuadro azul indica la ubicación de la figura dentro de la zona Noroeste de la República Mexicana. Los recuadros rojos indican los epicentros de los sismos del 30 de junio de 1995. La escala indica la elevación respecto al nivel medio del mar en metros.

V.2 Zona Noreste

La figura 5.10 muestra la ubicación general de las fallas cuaternarias dentro de la Zona Noreste del país.

Esta zona comprende las fallas:

- ❖ Tipo A
 - Sistema de fallas de Bavispe (Figura 5.11)
 - Falla La Amargosa (Figura 5.12)
- ❖ Tipo B
 - Falla Montañas Indio Oeste (Figura 5.12)
- ❖ Tipo C
 - Sistema de fallas Margen Norte de Chihuahua (Figura 5.12)
 - Sistema de fallas Campo Volcánico de Camargo (Figura 5.13)
 - Sistema de fallas Campo Volcánico de Durango (Figura 5.14)

Tanto la falla Amargosa como la falla Montañas Indio Oeste se localizan dentro del Sistema de Fallas Margen Norte de Chihuahua.

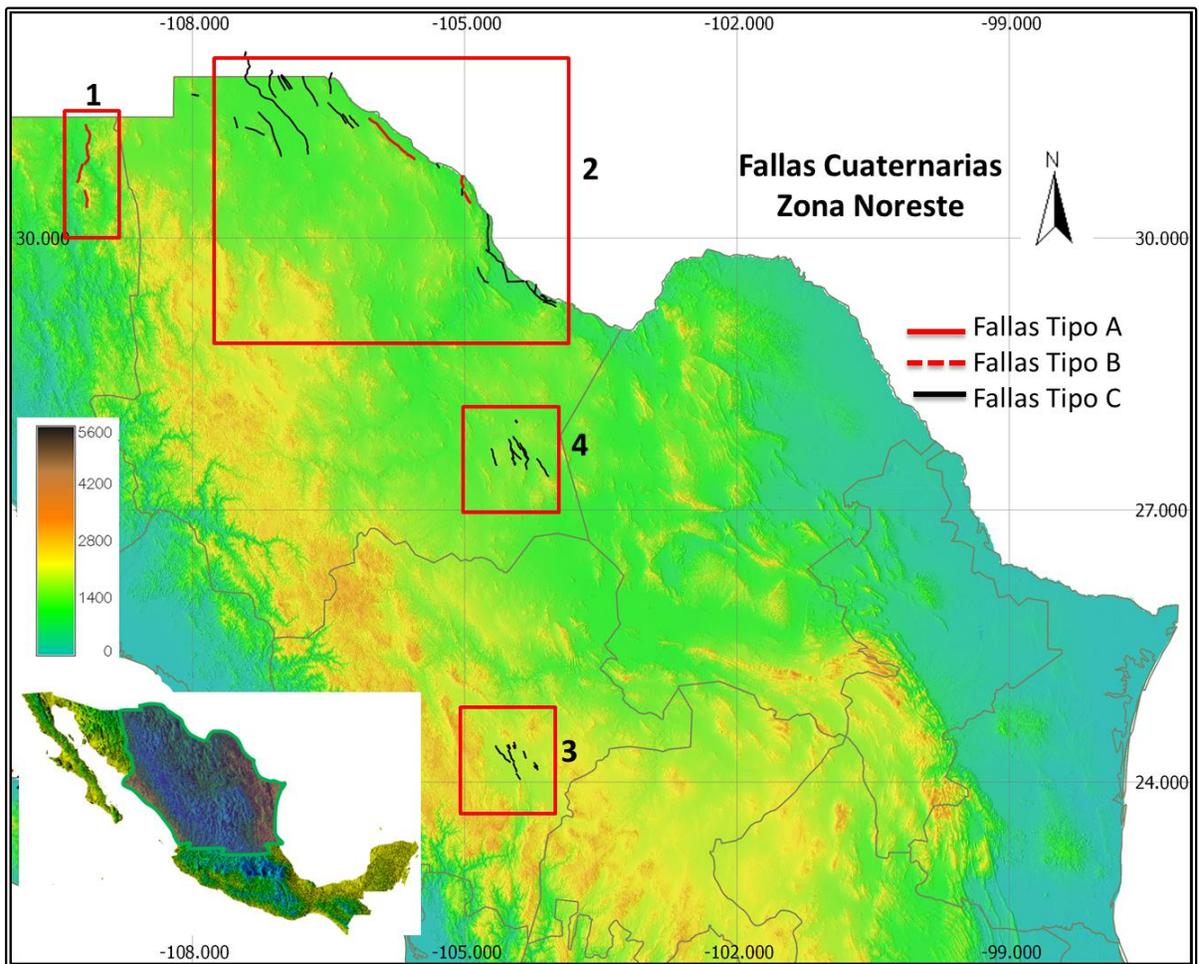


Figura 5.10 Ubicación general de las fallas cuaternarias en la Zona Noreste del País. Los recuadros 1 (Sistema de fallas de Bavispe), 2 (Sistema de Fallas Margen Norte de Chihuahua), 3 (Sistema de Fallas Campo Volcánico de Camargo) y 4 (Campo Volcánico de Durango) representan la ubicación de las figuras 5.11, 5.12, 5.13 y 5.14 respectivamente. La escala indica la elevación en metros respecto al nivel medio del mar.

V.2.1 Fallas Tipo A

V.2.1.1 Sistema de fallas Bavispe

El sistema de fallas de Bavispe pertenece a la parte sur de la provincia de Cuencas y Sierras (Basin and Range) y se localiza en la parte Noreste del estado de Sonora (Figura 5.11). En sección estas fallas forman una serie de escalonamientos de medios graben donde la mayoría de los medios graben buzcan hacia el oeste. Estas fallas definen el límite oeste de la planicie de la Sierra Madre Occidental. A lo largo de todo el rumbo estas fallas y semigrabens asociados se extienden sobre una distancia de más de 300 km entre la cuenca Sahuaripa en el sur y la cuenca de San Bernardino en el norte (Suter & Contreras 2002; Suter 2008; 2015).

El sismo del 3 de mayo de 1887 de 7.4 Mw produjo la ruptura de 3 segmentos de falla, con un rumbo aproximado N-S y echado promedio de 74° al oeste resultado de la actividad de las fallas. Estas fallas son (de sur a norte): Otates con una separación vertical máxima en la falla producto del sismo (a) = 220 cm, separación vertical promedio en la falla producto del sismo (b) = 152 cm, Teras a = 184 cm, b = 112 cm y Pitáycachi a = 487 cm, b = 232 cm (Suter & Contreras 2002). Los segmentos que rompen son de al menos 1360 m para la falla Otates, 1640 m para la falla Teras y 4080 m para la falla Pitáycachi. Siendo el indicador estratigráfico que correlaciona el bloque de techo y el bloque de piso un basalto que recubre las ignimbritas de la provincia Volcánica de la Sierra Madre Occidental. A partir de la edad de los basaltos se puede inferir que el sistema de fallas de Bavispe en la región epicentral del sismo de 1887 empezó hace 23 Ma (Mioceno). La tasa de deslizamiento neto en el Cuaternario es: 0.07 mm/año para la falla Teras, 0.06 mm/año para la falla Otates y 0.015 mm/año para la falla Pitáycachi. La tasa de deslizamiento para la falla Pitáycachi reporta ese valor debido a que corta depósitos aluviales que hacen que el deslizamiento sea más lento (Suter & Contreras, 2002). El intervalo de recurrencia se determina a través de los datos antes mencionados y los obtenidos a partir del sismo de 1887. Los valores del intervalo de recurrencia son: 37 Ma para la falla Otates; 26 Ma para la falla Teras y 27 Ma para la falla Pitáycachi (Suter & Contreras, 2002).

La sismicidad del área de estudio ha sido compilada de catálogos de DuBois *et al.* (1982), de la relocalización epicentral de Wallace *et al.* (1988), de Wallace & Peearthree (1989) y trabajos como los de Natali & Sbar (1982) y de Suter (2001). De acuerdo a estos trabajos se identifican tres tipos de sismicidad:

- 1) El primero de ellos está localizado en la parte norte del relevo de las fallas Teras y Pitáycachi cerca de la superficie de ruptura del sismo de 1887. En esta zona se tiene registro de microsismos con una profundidad aproximada de 15 km, que pueden ser interpretados como eventos posteriores al evento de 1887 debido al incremento en los esfuerzos dentro del criterio de Mohr-Coulomb. El segundo evento sísmico más grande registrado en esta área corresponde al evento del 26 de Mayo de 1907 de 5.2 MI (evento Colonia Morelos). El epicentro de este sismo se ubica en la zona de relevo de las fallas de Pitáycachi y Teras (Natali & Sbar, 1982; Suter & Contreras, 2002).

2) El segundo grupo de sismos, orientados norte-sur y de 30 a 40 km de largo, se ubican al este de Fronteras (a 20 km al oeste de la falla Pitáyacachi). Estos sismos ocurrieron durante 1987-1989, donde el evento de mayor magnitud fue del 25 de Mayo de 1989 con una magnitud de 4.2 (Wallace *et al.*, 1988; Wallace & Pearthree, 1989).

3) El tercer grupo de sismos existe más hacia el sur a lo largo de la misma zona de falla a 40 o 50 km al sur del límite del segmento de falla afectado por el sismo de 1887 en la región de Granados. Los eventos más grandes ocurrieron el 7 de Mayo de 1913 (MI 4.0) y el 20 de Diciembre 1923 (MI 5.7) (DuBois *et al.*, 1982; Suter 2001). Más recientemente en 1993 una serie de eventos de magnitud MI 4.0 han sido reportados en el área de Granados (Suter & Contreras 2002).

Recientemente Castro (2015) documentó microsismicidad en el área epicentral del sismo del 3 de mayo de 1887 mediante la red sísmica RESNES (Red Sísmica del Noreste de Sonora) en un periodo comprendido del 2003 al 2011.

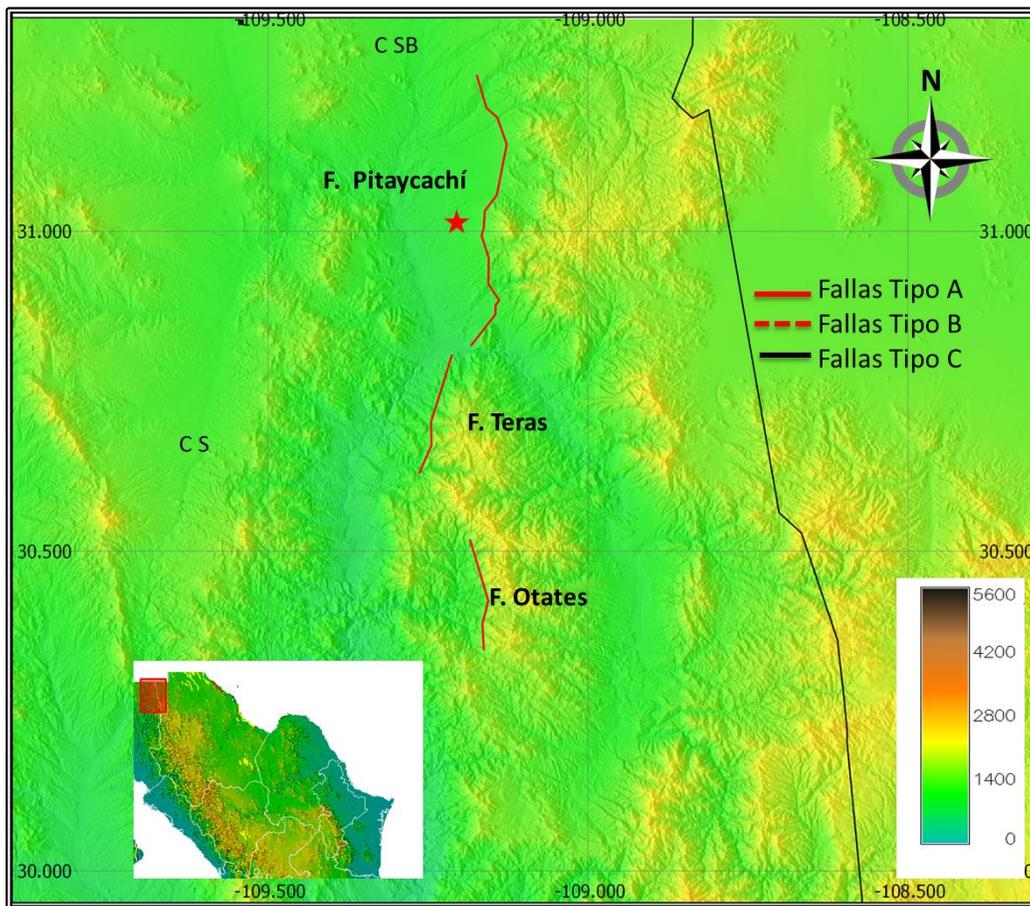


Figura 5.11 Ubicación de las Fallas Pitáyacachi, Teras y Otates. El recuadro rojo representa la ubicación de la zona de fallas de Bavispe en la República Mexicana. La leyenda representa la elevación en metros respecto al nivel medio del mar. La estrella roja indica el epicentro del sismo del 3 de mayo de 1887. C SB Cuenca de San Bernardino, C S Cuenca de Sahuaripa.

V.2.1.2 Falla La Amargosa

Esta falla se localiza en la parte norte del país, al sureste de Ciudad Juárez Chihuahua, a lo largo del margen noroeste de la Sierra La Amargosa. La falla forma una gran gamma de distintos y continuos escarpes de falla. Forma la parte Suroeste de un graben junto con la falla a 16 km al Noreste en la parte de Texas EUA (Collins & Raney, 1993). La figura 5.12 muestra la localización de la falla La Amargosa. La falla se localiza en la provincia de *Basin and Range* (Cuencas y Sierras). La provincia ha experimentado extensiones que van del 10 a 35 %, existen puntos con una extensión del 100%. Dicha extensión se refleja en movimientos en su mayoría verticales a través del fallamiento normal, que al bascular los bloques forman altos y bajos estructurales (horst y grabens) típicos de la provincia (Oviedo-Padrón, 2008). La falla Amargosa tiene un fallamiento normal cuya dirección del echado es hacia Noroeste. El graben que genera la falla presenta características que indican que la falla también puede tener componente lateral. El echado varía de 65 a 80° lo que indica una falla de alto ángulo (Collins & Raney, 1993).

La morfología en las alturas de los escarpes sugiere el movimiento en el Pleistoceno y Holoceno. Los rangos de los escarpes varían de 2.8 a 32 m. El escarpe de falla corta depósitos aluviales jóvenes lo que indica que al menos un evento ocurrió en el Holoceno, así como varios eventos de desplazamiento en el Cuaternario (Collins & Raney, 1993). La tasa de deslizamiento de la falla varía de 0.05 a 0.1 mm/año. Esta se calcula a partir de la edad del depósito fallado (depósitos calcáreos) que está fechado de 250-500 mil años. El desplazamiento máximo registrado varía de 1 a 2 metros por evento, mientras que su intervalo de recurrencia varía de 20 a 40 mil años (Collins & Raney, 1993).

V.2.2 Fallas Tipo B

V.2.2.1 Falla Montañas Indio Oeste

La falla Montañas Indio Oeste (Ver figura 5.12) es la continuación sur de una falla de Estados Unidos, limitando con el estado de Chihuahua. La falla corta depósitos sedimentarios de cuenca del Mioceno al Holoceno. El intervalo de recurrencia de falla varía de 40 a 80 mil años (Collins & Raney, 1993).

La falla Montañas Indio Oeste se considera del tipo B debido a que los sedimentos que corta se han datado con edades de 110 a 130 mil años. Debido también a que la falla se generó posterior al depósito de los sedimentos, se puede considerar como holocénica. Sin embargo no existen estudios neotectónicos, geomorfológicos, sismológicos que apoyen desplazamientos de esta falla en el Holoceno.

V.2.3 Fallas Tipo C

La mayoría de las fallas Tipo C cuentan con muy pocos trabajos geológicos, geomorfológicos, paleontológicos detallados. No obstante se sabe que las fallas cortan litología cuaternaria. Debido a la carencia de estudios la mayoría de las fallas Tipo C carecen de nombre. Estas fallas son conocidas mediante la localidad o rasgo morfológico cercano a la fallas. Dentro de la documentación estas fallas se indican con las siglas SN (Sin Nombre).

V.2.3.1 Sistema de fallas Margen Norte de Chihuahua

Estas fallas se localizan en la parte norte de la república Mexicana en el estado de Chihuahua (Ver figura 5.12) en la frontera con Estados Unidos de América. Varias de estas fallas atraviesan la frontera. Geológicamente estas fallas se encuentran dentro del cinturón plegado de Chihuahua, en su límite norte. El cinturón plegado de Chihuahua es el resultado de la inversión tectónica de la cuenca de Chihuahua durante la orogenia Laramide. En esta área de estudio afloran rocas sedimentarias precenozoicas, rocas volcánicas del Eoceno y Oligoceno y sedimentos continentales del Cenozoico medio a tardío (Brown & Dyer, 1987; Oviedo-Padrón *et al.*, 2010).

Las fallas que se presentan en este sistema corresponden a fallas normales con un rumbo NNW-SSE. La sedimentación en esta área ocurrió en episodios hace 20-17 Ma, 10 Ma, 5 Ma al presente. Según Henry (1998) esta sedimentación probablemente indica adicionales episodios de fallamiento.

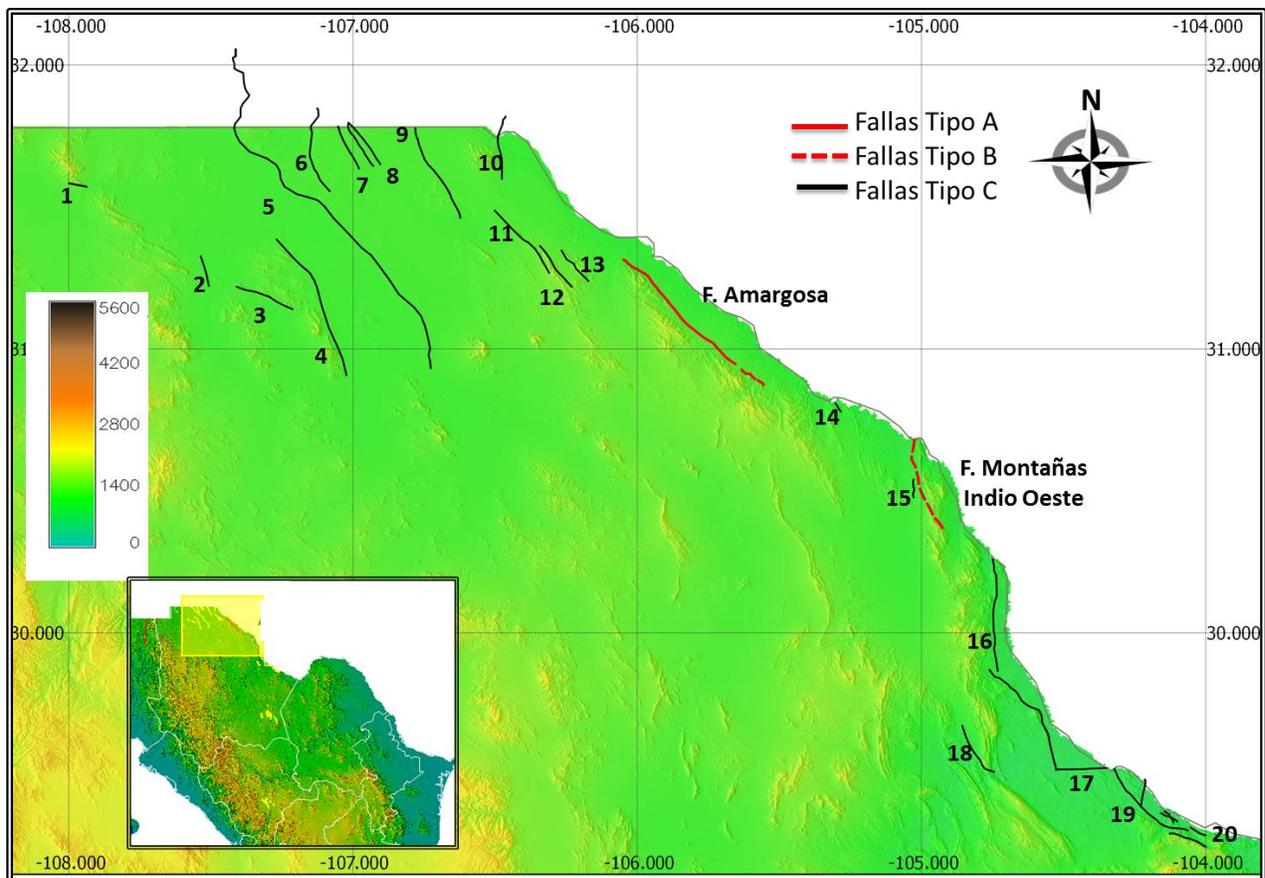


Figura 5.12 Localización del Sistema de fallas Margen Norte de Chihuahua. El recuadro amarillo indica la ubicación de la figura dentro de la Zona Noreste de la República Mexicana. La numeración indica las fallas: 1) SN Río Casas Grandes, 2) SN Cerro La Rosina y el Fresal, 3) SN Sierra El Malpaís, 4) SN El Barrenal y Ahumada, 5) Sierra del Camello, 6) Robledo Oeste, 7) SN Abanicos de la zona de falla Monte Riley, 8) Z.F. Monte Riley, 9) SN Cuenca Mesilla, 10) Montaña Este Franklin, 11) Sierra El Presidio (parte Suroeste), 12) Sierra el Presidio (parte Noreste), 13) Sierra de Guadalupe (parte Suroeste), 14) Caballo (sección sur), 15) Sierra los Pilares, 16) SN Margen Oeste de Presido Bolson, 17) Mesa Tascotal, 18) SN Oeste de la Sierra El Peguis, 19) Z.F. Redford Bolson, 20) Z.F. Bedford-Latijas. La leyenda indica la elevación en metros respecto al nivel medio del mar.

V.2.3.2 Sistema de fallas Campo Volcánico de Camargo

Estas fallas se localizan en la parte suroriental del estado de Chihuahua cortando al campo volcánico de mismo nombre. La figura 5.13 muestra las fallas del Campo Volcánico de Camargo.

El campo volcánico de Camargo se localiza dentro de la provincia geológica Cuencas y Sierras (Basin and Range Mexicano). Está dividido en tres largos dominios tectónicos. La parte occidental es caracterizada por una llanura que contiene abundantes conos cineríticos. La porción central se caracteriza por tener numerosas fallas normales y pequeños lagos, en varias ocasiones las fallas actúan como conductos de las lavas y las trazas de fallas son cubiertas por jóvenes conos cineríticos y/o flujos de lava. El sector Noreste nuevamente corresponde a un área sin fallamiento, cubierto por extensos flujos de lava. Las fallas El Carretón y San Francisco parecen ser el límite este de la porción central. Al sur de esta área el desplazamiento gradualmente decrece (Noyola-Medrano, 1995, Aranda-Gómez *et al.*, 2003).

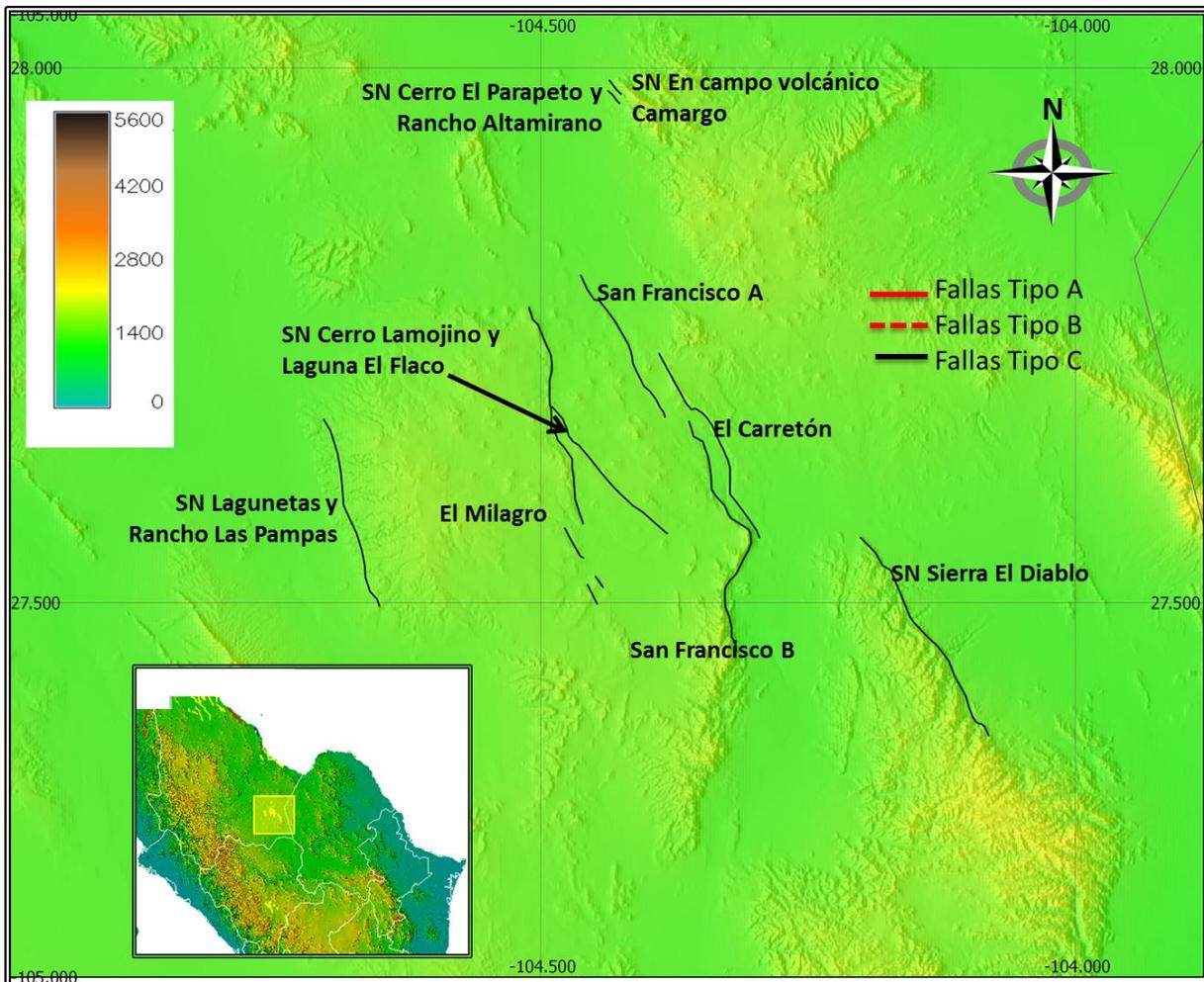


Figura 5.13 Localización de las fallas del Campo Volcánico de Camargo. El recuadro amarillo indica la ubicación de la figura dentro de la Zona Noreste de la República Mexicana. La leyenda indica la elevación en metros referente al nivel medio del mar.

V. 2.3.3 Sistema de fallas Campo Volcánico de Durango

Estas fallas se localizan al noreste de Durango (Ver figura 5.14), en la parte noroeste de la provincia de la Mesa Central, limitando al oeste con la Sierra Madre Occidental. Esta es una provincia caracterizada por ser una región elevada subdividida en dos regiones, Norte y Sur. La región sur es una zona montañosa cubierta en su mayoría por rocas volcánicas cenozoicas. La región Norte cuenta con grandes cuencas continentales rellenas de sedimentos aluviales y lacustres (Nieto-Samaniego *et al.*, 2005).

La zona de estudio consiste en un campo volcánico de gran extensión (2 000 km²), donde se localizan más de 100 conos cineríticos. Además se han documentado algunos maars de edad Cuaternaria. La composición de este campo volcánico es en su mayoría alcalina (Swanson 1989; Aranda-Gómez *et al.*, 2003).

Dentro de este campo Volcánico se documentan varias fallas normales con orientación NW-SE que cortan toda la litología Volcánica. Estas fallas se localizan en la parte sur del graben de Santiaguillo, donde Yamamoto (1993) reporta sismicidad superficial.

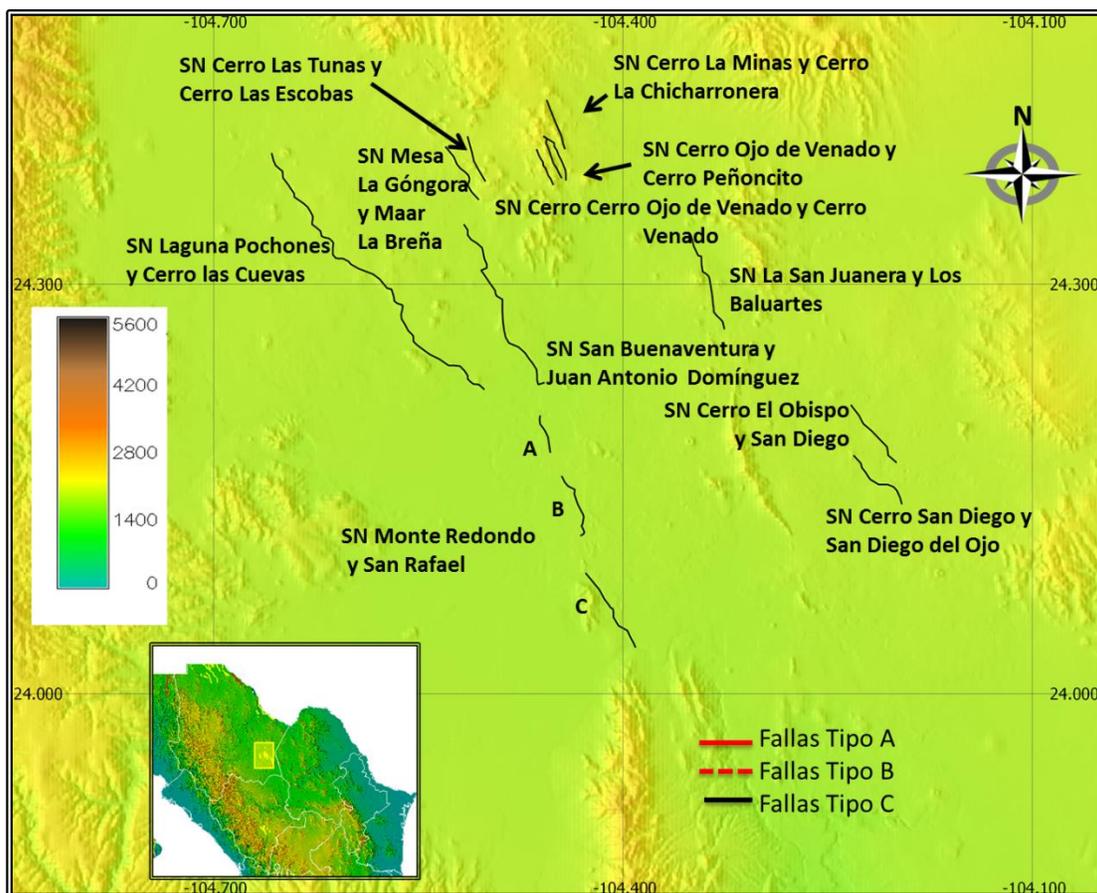


Figura 5.14 Localización de las fallas del Campo Volcánico de Durango. El recuadro amarillo representa la figura dentro de la zona Noreste de la República Mexicana. La falla SN Monte Redondo y San Rafael está compuesta de las secciones A, B y C. La leyenda indica la elevación en metros respecto al nivel medio del mar.

V.3 Zona Centro

La figura 5.15 muestra la ubicación general de las fallas Cuaternarias dentro de la Zona Centro del país.

Esta zona comprende las fallas:

- ❖ Tipo A
 - Graben de Acambay (Figura 5.16)
 - Sistemas de fallas Tenango (Figura 5.17)
- ❖ Tipo C
 - Sistema de fallas Faja Volcánica Transmexicana (FVTM) (Figura 5.18)
 - Sistema de fallas FVTM Sector Centro (Chapala Tula) (Figura 5.19)
 - Sistema de fallas FVTM Sector Oriente (Aljibes-Mezquital) (Figura 5.18)
 - Sistema de fallas FVTM Sector Poniente (Tepic- Zacoalco) (Figura 5.19)

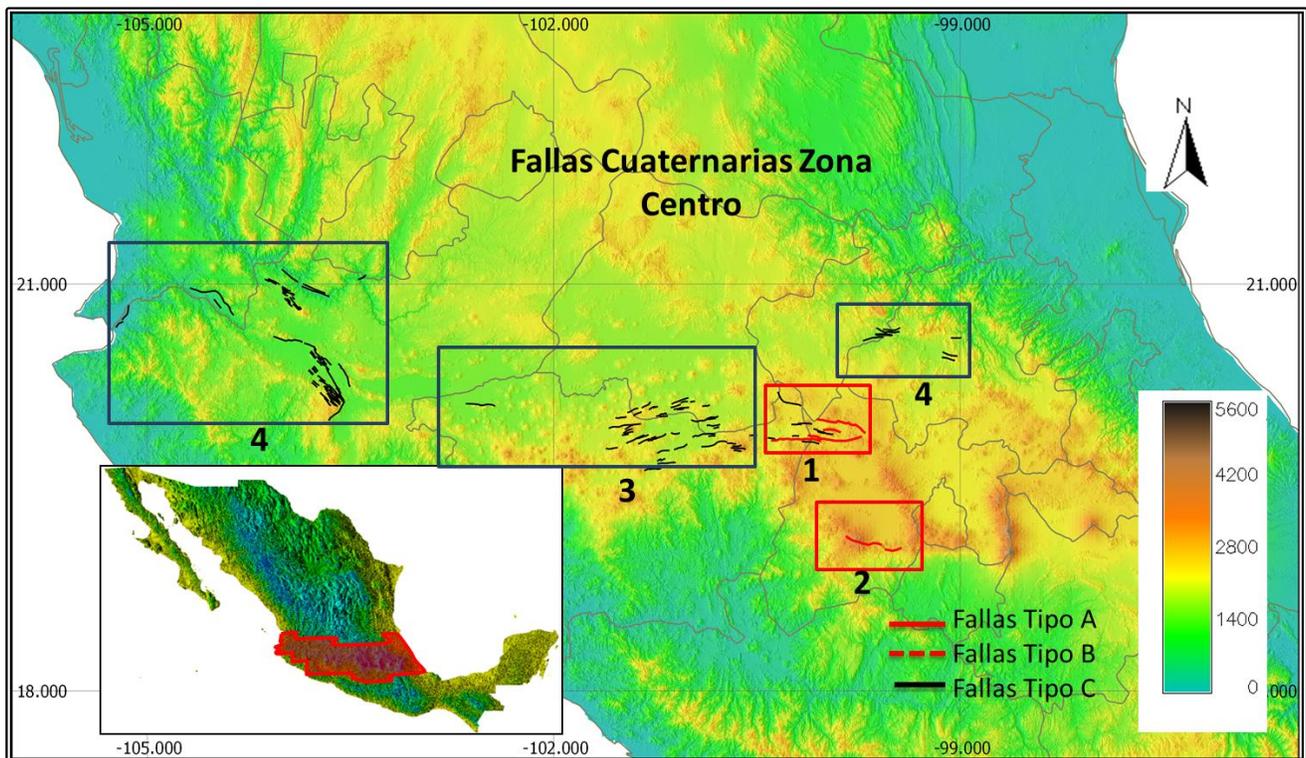


Figura 5.15 Ubicación general de las fallas cuaternarias en la zona centro del País. Los recuadros 1 (Graben de Acambay), 2 (Sistema de fallas Tenango), 3 (Chapala Tula), 4 (Aljibes-Mezquital) y 5 (Tepic- Zacoalco) representan la ubicación de las figuras 5.16, 5.17, 5.18, 5.19 y 5.20 respectivamente. La escala indica la elevación en metros respecto al nivel medio del mar.

La Faja Volcánica Transmexicana es un arco volcánico en su mayoría calcoalcino, activo desde el Mioceno (Robin, 1982; De Cserna, 1989, Ferrari *et al.*, 2012). La faja tiene un rumbo general ESE-WNW y atraviesa la parte central del país yendo del océano Pacífico al Golfo de México. La elevación promedio de la Faja Volcánica Transmexicana oscila en los 2000 metros sobre el nivel

medio del mar, mientras que los puntos más elevados sobrepasan los 5000 metros y corresponden a los volcanes: Citlaltépetl 5,636 m, Popocatépetl 5426 m e Iztaccíhuatl 5230m. Es aquí donde se localizan la mayoría de los volcanes más grandes del país. La Faja Volcánica es generalmente asociada con la subducción de las placas Cocos y Rivera bajo la placa Norteamericana (Nixon *et al.*, 1982; Suárez & Singh, 1986).

Dentro de la Faja Volcánica Transmexicana localizamos una gran cantidad de fallas. En este trabajo la FVTM se dividió en sector Poniente, Centro y Oriente (Figuras 5.18, 5.19 y 5.20). Dentro del sector centro existe el área del graben de Acambay que será mencionado en un apartado diferente ya que este contiene fallas del Tipo A. También existe el sistema de fallas Tenango que se localiza en el límite sur de la faja Volcánica Transmexicana. Los tres sectores de la Faja Volcánica Transmexicana son descritos a continuación, presentando primero las fallas Tipo A.

V.3.1 Fallas Tipo A

V.3.1.1 Sistema de Fallas Graben de Acambay

El graben de Acambay corresponde a una cuenca ubicada en la parte central de la Faja Volcánica Transmexicana que tiene una orientación E-W con una longitud de 80 km y una anchura que varía entre los 15 y 38 km. Los escarpes más pronunciados tienen una altura máxima de 400 m. Corresponde a un graben asimétrico debido a la altura superior del margen norte del graben (Suter *et al.*, 1995; Ramírez-Herrera M.T, 1998; Norini *et al.*, 2010).

El graben de Acambay es delimitado por cuatro fallas principales (figura 5.16) que son: Acambay-Tixmadejé en la parte noreste, Epitacio Huerta en la parte Noroeste, Venta de Bravo en la parte Suroeste y la falla Pastores en la parte Sureste (Suter, 1992; 1995). Además de la fallas que limitan el graben dentro de la base de datos se tiene contempladas las fallas: SN Sur de Tlacotepec, SN Carretera Maravatio-El oro y SN Zaragoza y Santiago, que se localizan en la parte sur del graben, próximas a la falla Venta de Bravo (figura 5.16). En la parte central del graben se localizan las fallas: SN Cerro el Pelón y SN Cerro el Cerillo, SN Cerro el Cerillo Volcán Altamirano, SN Juanacatlan y El Calvario, SN San Pedro el Alto (sección A y B) y San Mateo (Suter *et al.*, 1992; Suter *et al.*, 1995; Landridge *et al.*, 2000; Langridge *et al.*, 2013; Suñe-Puchol, 2014).

De las fallas localizadas en el graben de Acambay, solo las fallas Acambay-Tixmadejé, Pastores, Venta de Bravo y San Mateo cuentan con la información suficiente para ser consideradas como fallas tipo A. Las demás son consideradas del tipo C. En estas fallas se han llevado a cabo trabajos de neotectónica, geomorfología y paleosismología que permiten establecer más de un desplazamiento dentro de estas fallas en el Cuaternario (Suter *et al.*, 1992; Suter *et al.*, 1995, Ramírez-Herrera, 1998; Landridge *et al.*, 2000; Lacan *et al.*, 2013; Langridge *et al.*, 2013, Suñe-Puchol, 2014).

En la parte norte del graben se localiza principalmente litología de origen volcánico, mientras que en la parte sur se localizan además paquetes de rocas metasedimentarias. En la parte más superficial de todo el graben se encuentran lavas basálticas cuaternarias. Las ignimbritas de la caldera de Amealco sirven de horizonte guía (Aguirre-Díaz, *et al.*, 2000). El graben tiene una tasa

de apertura de 0.25 mm/año, con una sismicidad modesta con magnitudes del orden de 4 a 6 Mw (Suter, M., *et al.* 2001).

La sismicidad registrada dentro del graben de Acambay presenta dos eventos históricos de importancia, el sismo del 19 de Noviembre de 1912 con una magnitud aproximada Mw 7, profundidad inferida 5-15 km y expresión superficial en las fallas Acambay, San Mateo y Pastores; y el sismo del 22 de febrero de 1979 con una magnitud Mw de 5.3 con una profundidad aprox. 8 km, cuyo epicentro fue localizado cerca de Maravatio (Astiz, 1980; Suter *et al.*, 1995). El último evento registrado de magnitud 3.7 Mb ocurrió el 15 de marzo de 2013 con epicentro a 26 km al noreste de Maravatio a 10 km de profundidad reportado por parte del Servicio Sismológico Nacional (www.snn.unam.mx).

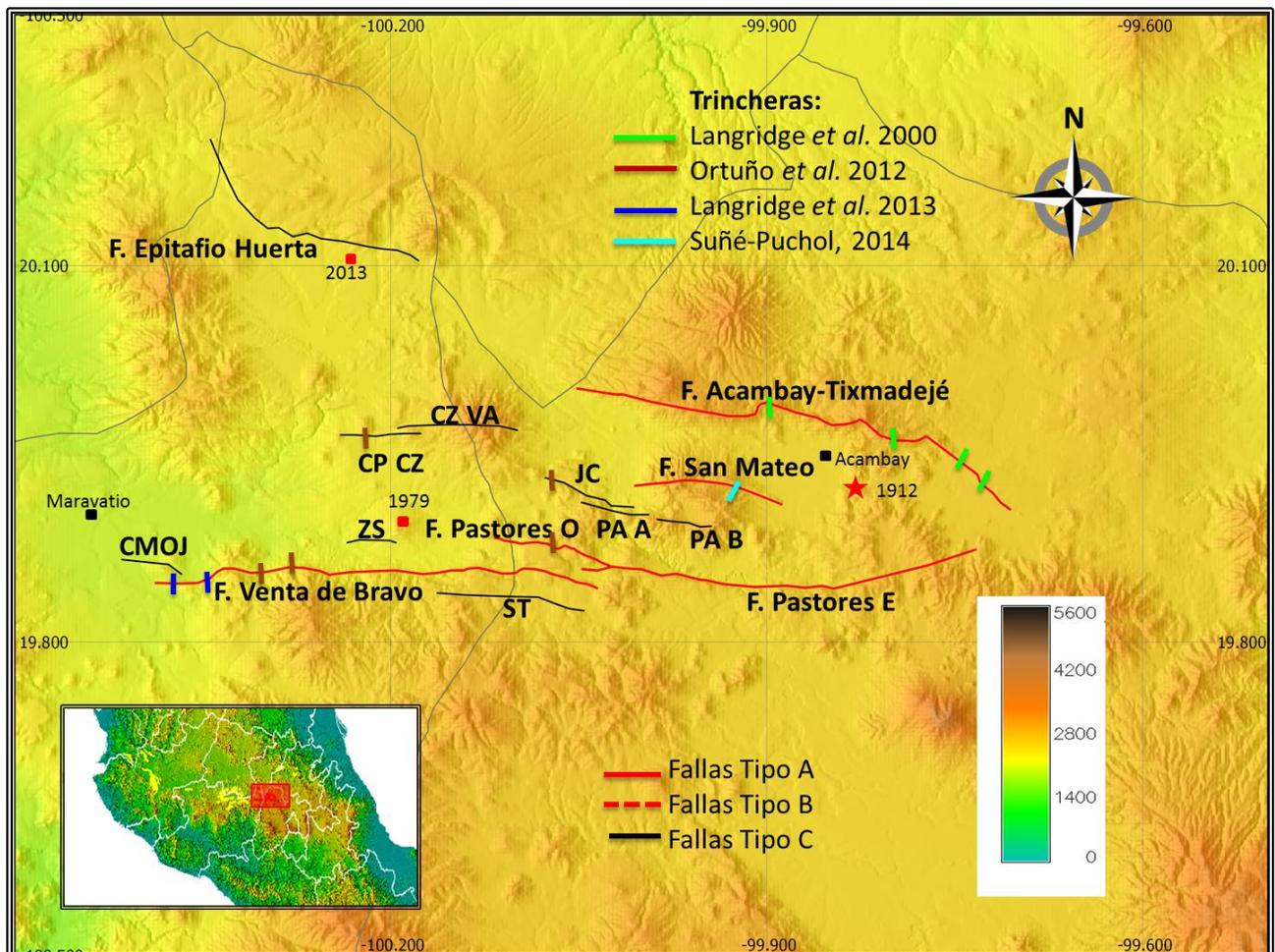


Figura 5.16 Ubicación de las Fallas del Graben de Acambay. La Nomenclatura de las fallas es la siguiente: CP CZ, SN Cerro el Pelón y Cerro el Zorrillo; CZ VA, SN Cerro el Zorrillo y Volcán Altamirano; JC, SN Juanacatlán y El Calvario; PA A, SN San Pedro el Alto sección A; PA B, SN San Pedro el Alto sección B; CMOJ, SN Carretera Maravatio-El Oro y el Jaquey; ZS, SN Zaragoza y Santiago; ST, SN Sur de Tlacotepec. La estrella roja representa el epicentro del sismo histórico de 1912, los cuadrados rojos representan los epicentros de los sismos de 1979 y 2013. El recuadro de color rojo representa el área del graben de Acambay en la República Mexicana. La leyenda nos indica la elevación en metros respecto al nivel medio del mar.

El sismo histórico de 1912 dentro del graben de Acambay es considerado como el sismo interplaca dentro de la Faja Volcánica Transmexicana más destructivo. Destruyó por completo la población de Acambay así como tuvo afectaciones en varias ciudades cercanas al epicentro. El sismo ocurrió el día domingo a las 7:18 am, varias personas se localizaban en la iglesia del poblado de Acambay resultando con 74 víctimas a consecuencia del sismo. Urbina & Camacho (1913) reportaron grietas paralelas en las fallas Acambay y Pastores así como en la parte central del graben (falla San Mateo), con orientación preferencial E-W. Las grietas que se podían observar eran del orden de varios metros de longitud y anchura que variaba de 5-30 cm y presentando desplazamientos de 5 a 10 cm. Las grietas eran más pronunciadas en la parte norte del graben a lo largo de la falla Acambay abarcando una longitud de 36 km.

Mediante trabajos de trincheras paleosismológicas se tiene conocimiento de la existencia de al menos 5 eventos paleosismológicos dentro del graben de Acambay: Evento 1 de 5.5 a 3.5 ka; Evento 2 de 10.2 a 5.2 ka; Evento 3 de 23.9 a 12.2 ka; Evento 4 de 34.6 a 23.9 ka; Evento 5 de 40.1 a 31.5 ka (Langridge *et al.*, 2000, Ortuño *et al.*, 2012, Langridge *et al.*, 2013, Suñe-Puchol, 2014).

V.3.1.2 Sistema de Fallas Tenango

En el límite sur de la Faja Volcánica Transmexicana en su parte central se localiza el Sistema de Fallas La Perla con una orientación E-W. Delgado *et al.*, (1997) y Ferrari & Capra (2001) consideran a este como un sistema de Fallas con desplazamientos cuaternarios. La falla principal de este sistema de fallas normales se encuentra sepultada por los diques monogenéticos de campo volcánico de Chichinautzin. Al oeste del sistema de fallas en su terminación se localiza el sistema de Fallas de Tenango aproximadamente 20 km al sur de la ciudad de Toluca. Norini *et al.* (2006) mediante trabajos de campo, geomorfología y paleosismología revelan desplazamientos en los depósitos volcánicos recientes. Norini *et al.* (2006) consideran a estas fallas como normales subverticales con una componente lateral izquierda. El desplazamiento lateral izquierdo es el último que se ha documentado (Norini *et al.*, 2006), y dentro de la tesis la falla se considera como lateral izquierda dividida en dos secciones, S.F. Tenango A y S.F. Tenango B (Figura 5.17). El sistema A corta el flanco sur del volcán Nevado de Toluca, mientras que al norte de la sección B se documentó sismicidad en 1980 (Yamamoto & Mota, 1988).

Yamamoto & Mota (1988) registraron un enjambre sísmico del 18 al 31 de agosto de 1980, la mayor magnitud fue 3.5 ML. Este enjambre sísmico se localizó a 20 Km al SE de la ciudad de Toluca. La actividad sísmica es asociada al sistema de Fallas Tenango.

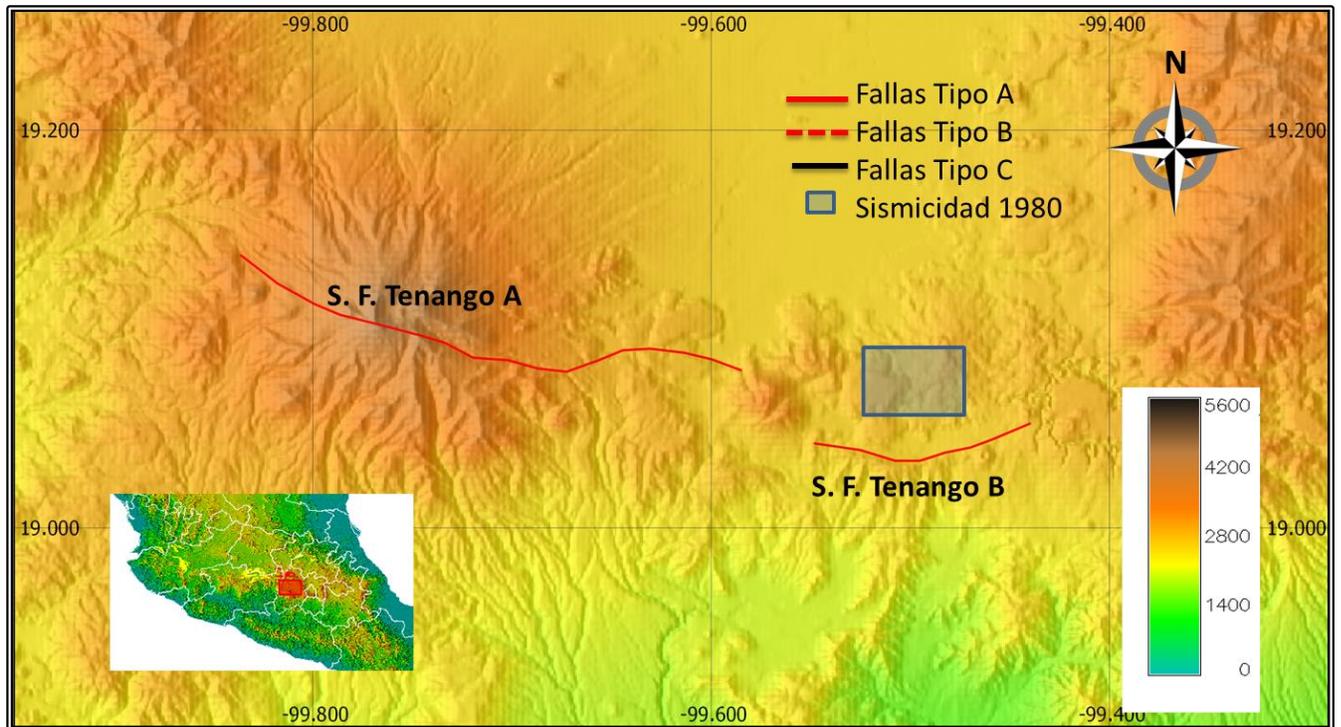


Figura 5.17 Ubicación del sistema de fallas Tenango. El recuadro de color rojo representa el área donde se localiza la figura dentro de la zona centro de la República Mexicana. La leyenda nos indica la elevación en metros respecto al nivel medio del mar. El recuadro azul representa el área donde Yamamoto & Mota (1998) reportaron la sismicidad del valle de Toluca en 1980.

V.3.2 Fallas Tipo C:

V.3.2.1 Sistema de fallas Faja Volcánica Transmexicana sector centro (Chapala-Tula):

La figura 5.18 muestra las fallas Tipo C localizadas dentro de la Faja Volcánica Transmexicana para el sector centro. Las fallas se concentran principalmente en el estado de Michoacán y Guanajuato.

El sector centro de la falla Volcánica Transmexicana es caracterizado mediante la zona de Falla Chapala-Tula (ZFCT) (Suter, 1995). La zona de falla tiene 450 km de longitud y más de 50 km de anchura, desde el graben de Chapala al oeste y el graben de Acambay al este. La ZFCT corta rocas volcánicas del Neógeno y Cuaternario de la Faja Volcánica Transmexicana. (Nixon *et al.*, 1987). Las fallas presentes en ZFCT corresponden a un fallamiento normal con una orientación E-W.

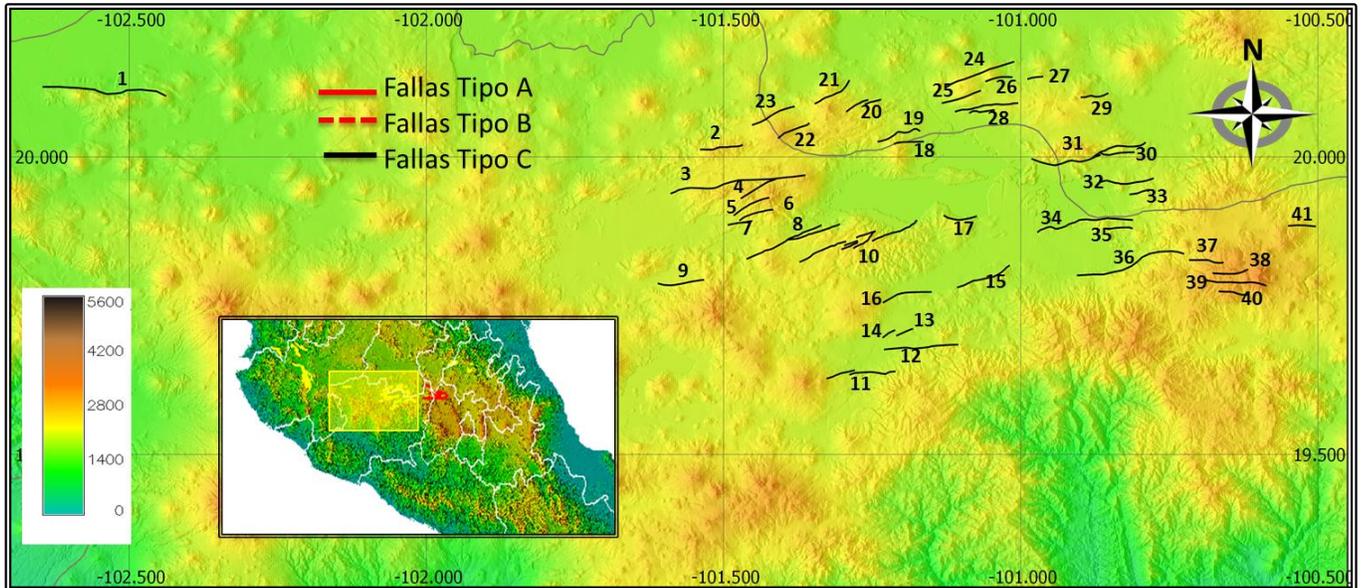


Figura 5.18 Localización de las fallas del Faja Volcánica Transmexicana sector central. El recuadro Amarillo ilustra la de la figura dentro de la zona centro de la República Mexicana. La numeración indica las siguientes fallas: 1 Pajucarán, 2 Reservoirio El Tablón, 3 SN El Cuatro y Volcán Cerro las Ventas, 4 SN Cerro las Huertas y Barranca el Terreno, 5 SN Huaniqueo de Morales y Cerro la Leonera, 6 SN Reservoirio El Casco, 7 SN Huaniqueo de Morales y Cerro La Encinera, 8 SN San Pedro Puruátiro y Chucándiro, 9 SN Tunguitiro y Zipiajo, 10 SN El Santo y San Sebastián, 11 Cointzio, 12 Morelia, 13 SN Río Chiquito, 14 La Quemada y Río Grande, 15 SN Cerro Quinceo, 16 SN Miguel Hidalgo y El Venado, 17 SN Cerro Palo Dulce y Chehuayito, 18 SN El Cerro y Rancho Seco, 19 SN Cerro Blanco y Carretera Federal 43, 20 SN Pamaseo y las Peñas, 21 Aragón y Moral, 22 SN Cerro El Varal y Cerécuaro, 23 SN Rincón Don Pedro y Arroyo Colorado, 24 SN El Comal y La Joyita, 25 SN El Aguacate y El Volcán Blanco, 26 SN La Tinaja del Coyote y Leona, 27 SN Cerro Ceja de Palomas y Los Nietos, 28 SN Pusandero y Las Canas, 29 SN Arroyo la Mora y Obrajuelo, 30 SN Cutero y Cerro La Tortuga, 31 SN Puerto Las Cabras y San Francisco Rancho Viejo, 32 SN Andacutín y Santa Clara, 33 SN Bordo de Enmedio y Chumbacua, 34 SN Tzintzimeo y San Nicolás, 35 SN Balneario Atzimba, 36 SN Queréndaro y Volcán Cerro Mozo, 37 SN Taimeo el Chico y cerro Zacatanal, 38 SN Presa Laguna Larga y Cerro Pizcuaro, 39 SN Laguna Larga, 40 SN Los Tejamaniles y Mesa Guadalupe, 41 SN Puriatzícuaru y Santa Rita. La leyenda indica la elevación con respecto al nivel medio del mar.

V.3.2.2 Sistema de fallas Faja Volcánica Transmexicana sector oriente (Aljibes-Mezquital):

La figura 5.19 muestra las fallas Cuaternarias del sector occidental de la Faja Volcánica Transmexicana. Estas se localizan principalmente en los estados de Querétaro e Hidalgo. Este sistema se localiza en la parte Noreste de la faja Volcánica Transmexicana en el límite sur de la provincia Basin and Range. Se trata de una serie de fallas normales paralelas entre sí, con rumbo general E-W. Las fallas que se localizan dentro de este sector corresponden a las fallas que limitan el semi graben de Aljibes y el Graben del Mezquital (Suter, 2005).

La estratigrafía del Mioceno tardío que comprende esta área corresponde, de la base a la cima, de unidades volcánicas interestratificados y una unidad riolítica (Nichols, 1970). El principal evento sísmico reportado en el área corresponden al sismo de 26 de Marzo de 1976 Mb 5.3, con una

profundidad 8 km, cuyo epicentro fue localizado cerca de Cardonal Hidalgo, evento reportado por el SSN y Engdahl & Rinehart (1988). No obstante la incertidumbre en la localización epicentral de este evento es aproximadamente de 20 km. (Suter, 1995).

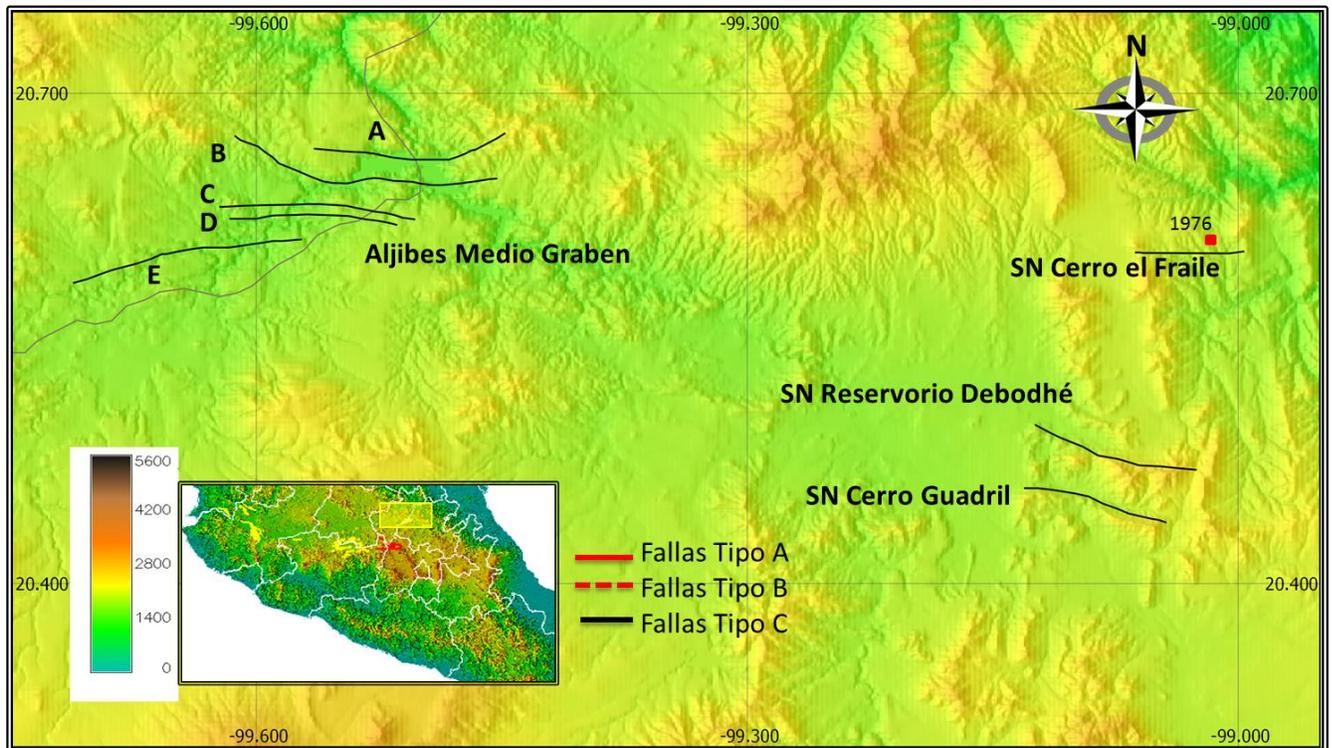


Figura 5.19 Ubicación de las fallas del Sistema de Fallas Faja Volcánica Transmexicana sector oriente. Las fallas del semi graben Aljibes son nombrados por letras del A al E. El cuadro rojo representa el epicentro del sismo de 1976. Mediante el recuadro amarillo se ubica la figura dentro de la zona centro de la República Mexicana. La leyenda indica la elevación respecto al nivel medio del mar.

V.3.2.3 Sistema de fallas Faja Volcánica Transmexicana sector poniente (Tepic-Zacoalco):

El Sistema de fallas Faja Volcánica Transmexicana sector poniente corresponde a las fallas ubicadas en el Bloque de Jalisco (Ver figura 5.20). Dentro del Bloque de Jalisco se pueden distinguir dos estructuras principales que son el Rift de Colima y el Rift de Tepic-Zacoalco. Sin embargo es en el Rift Tepic-Zacoalco donde se localizan la mayoría de las fallas cartografiadas por este trabajo. El bloque Jalisco cuenta con una tectónica extensional provocada por los rifts. De igual manera cuenta con tectónica compresional debido a la subducción de la placa Rivera bajo la Norteamericana (Stock, 1993; Pardo & Suárez, 1995).

El rift Tepic-Zacoalco tiene una orientación NW-SE, una longitud de 250 km, y una anchura de 50 km aproximadamente. Siendo este uno de los límites oeste del Bloque de Jalisco. La tectónica ha sido esencialmente extensional durante el Plioceno-Cuaternario. El rift Tepic-Zacoalco está constituido por grabens y semi grabens desarrollados desde el Mioceno medio, con una extensión dominante NE durante el Plioceno y Cuaternario (Ferrari, 1995; Rosas-Elguera *et al.*, 1996; Rosas-

Elguera & Urrutia-Fucugauchi, 1998; Ferrari y Rosas-Elguera, 2000). Dentro de este Rift se cuenta con trabajos de microsismicidad en los años de 1996-1998 en el Área de Amatlán de las Cañas donde localizan 49 sismos de magnitud ML de 2.9 a 5.3, estos sismos no sobrepasan los 35 km de profundidad. (Rutz-López & Núñez-Cornú, 2004; Núñez-Cornú *et al.*, 2002). Pacheco *et al.*, (1999) por su parte realiza estudios de microsismicidad en el área del semigraben de Zacualco, donde reporta 33 sismos con magnitudes de 1.5 a 3.5 durante los meses de abril y mayo de 1997. Dentro de la misma área se localizan los sismos históricos de 1568, 1875 y 1905 (Figuroa 1963; Suárez *et al.*, 1994; García-Acosta & Suárez, 1996).

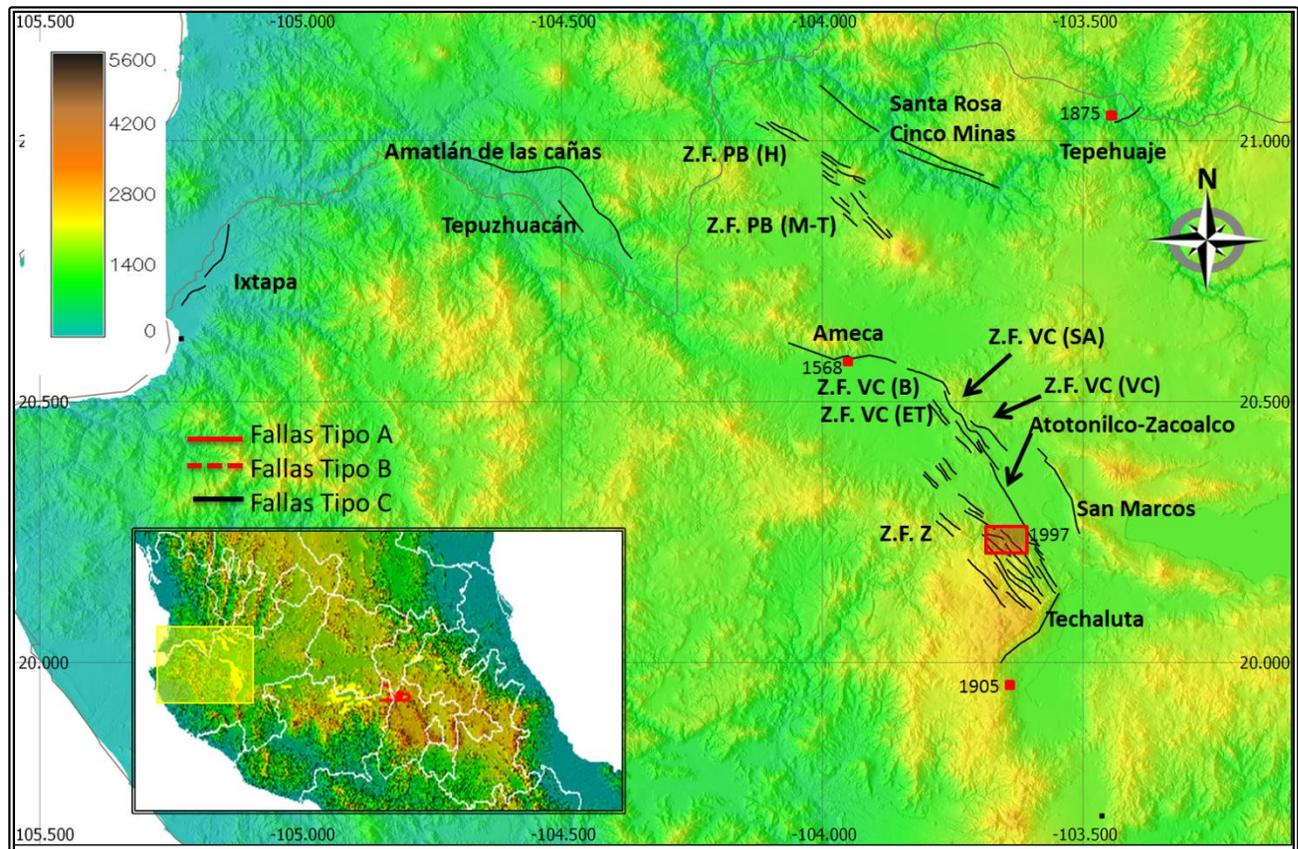


Figura 5.20 Ubicación del Sistema de Fallas Faja Volcánica Transmexicana sector poniente. La nomenclatura usada dentro de la figura indica: Z.F. PB (H) Zona de falla Plan de Barrancas sección Hostotipaquillo, Z.F. PB (M-T) Zona de falla Plan de Barrancas sección Magdalena-Tequila, Z.F. VC (VC) Zona de falla Villa Corona sección Villa Corona, Z.F. VC (SA) Zona de falla Villa Corona sección Sierra de Ahuisculco, Z.F. VC (B) Zona de falla Villa Corona sección Buenavista, Z.F. VC (ET) Zona de falla Villa Corona sección El Timbal, Z. F. Z Zona de falla Zacualco. Los cuadros rojos indican la máxima intensidad para los sismos históricos reportados en la Faja Volcánica Transmexicana en el sector poniente (<http://www.sismoshistoricos.org/>). El recuadro rojo indica la microsismicidad reportada por Pacheco *et al.* (1999). El recuadro amarillo indica la ubicación de la figura dentro de la zona Centro de la República Mexicana. La leyenda indica la elevación respecto al nivel medio del mar.

V.4 Zona Sur

Dentro del área sur se reporta una gran cantidad de sismicidad, la cual se asocia a la interacción entre las placas Norte America, Cocos Y Pacífico, además existe una gran cantidad de fallas que pueden tener sismicidad asociada, no obstante no existen suficientes trabajos neotectónicos que sustenten esta teoría.

Dentro de la zona Sur es donde existe la menor cantidad de información referente a fallas cuaternarias, no se reportan fallas tipo A o B solo se documenta una falla del tipo C que corresponde a la falla Concordia. Sin embargo trabajos como el de Guzmán-Speziale (2010) indican la gran actividad sísmica presente en el estado de Chiapas. Esto sugiere que el estado de Chiapas puede contener bastantes fallas con desplazamientos en el Cuaternario.

V.4.1. Fallas Tipo C

V.4.1.1 Falla Concordia

La falla Concordia (figura 5.21) se localiza en el estado de Chiapas dentro de la depresión central, al Noroeste del sistema de Fallas Polochic-Motagua. Guzmán-Speziale (2010), propone a esta falla junto con la falla Ixcan en Guatemala, como parte de la deformación asociada al límite transformante entre las placas Norteamérica y Caribe.

La falla Concordia tiene rumbo NW-SE. Se trata de una falla lateral izquierda con una longitud superior a los 100 Km (Figura 5.22). Esta falla cuenta con varios periodos de reactivación (Movarec, 1983). A esta falla se le asocia el sismo histórico de 23 de septiembre de 1902 cuya magnitud es reportada entre 7.6 y 7.8 (Böse, 1903; Figueroa, 1973; Pacheco & Sykes, 1992; Ambraseys & Adams, 1996). A la falla Concordia se le asocia el sismo histórico del 23 de septiembre de 1902, que tuvo afectaciones a las poblaciones de Tuxtla Gutiérrez y San Cristóbal de las Casas. Sin embargo la ubicación epicentral del sismo así como de la falla no se encuentra bien definida. Esta falla se considera de Tipo C por que no se sabe si el sismo corresponde a un sismo de profundidad intermedia o está asociado a la falla.

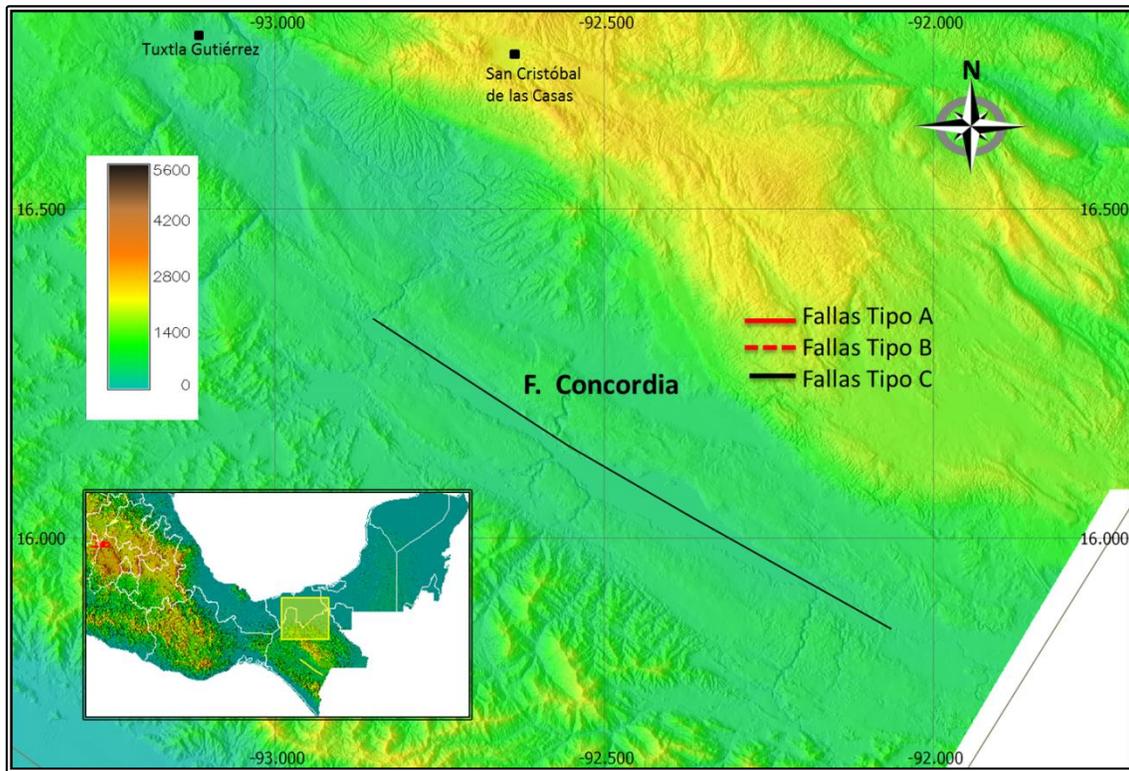


Figura 5.21 Ubicación de la falla Concordia. El recuadro indica la localización de la figura dentro de la zona Sur de la República Mexicana. La leyenda representa la elevación respecto al nivel medio del mar.

V.5 Estimación de las magnitudes

A partir de este momento de las cuatro regiones en que se dividió el país se analizarán tres, la zona Noreste, Noroeste y Centro. La zona sur no se toma en cuenta debido a la poca información que se recopiló en la tesis del fallamiento cuaternario en esa región y a que no se tiene reportadas fallas tipo A o B en la zona. Se realizará una estimación de la posible magnitud esperada de un sismo generado a partir de las fallas tipo A y B presentes en la tesis. Las fallas tipo C no son consideradas en las estimaciones de la magnitud debido a la poca información con que se cuenta de estas fallas.

Para el cálculo de las magnitudes se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$\text{Wesnousky 1 (2008)} \quad M_W = 5.56 + 0.87 \log L$$

$$\text{Wesnousky 2(2008)} \quad M_W = 6.12 + 0.47 \log L$$

$$\text{Mason (1996)} \quad M_W = 4.86 + 1.32 \log L$$

Donde L es la longitud en superficie de las fallas en km. Cada una de estas fórmulas fueron escogidas debido a que han sido diseñadas para un ambiente geodinámico similar al que se presenta en las diferentes zonas del país. En el caso de Wesnousky 1 es diseñada para un límite de placas con un desplazamiento rápido, mientras que Wesnousky 2 es diseñada para un límite de placas lento. De igual manera se escogen estas fórmulas debido a que solo se necesita conocer la longitud superficial de la falla para poder estimar M_w . Es importante aclarar que estas fórmulas están basadas a partir de información que solo incluye fallas con longitudes no mayores a 100 km, por lo que algunas fallas se omitieron del cálculo por tener longitudes de falla superiores a 100 km.

Cada uno de los ambientes geodinámicos se indican a continuación. Las zonas en las que fue dividido el país presenta un ambiente geodinámico diferente.

Zona Noroeste: Las fallas documentadas en esta zona del país reflejan de manera clara el límite transcurrente que existe entre las placas Norte América y Pacífico siendo todas las fallas de tipo A y B. Presenta en su gran mayoría fallas dextrales, por ejemplo las fallas Imperial, Cerro Prieto, San Miguel y Calabacitas. No obstante también se localizan fallas normales como es el caso de las fallas Laguna Salada, Cucapá y Borregos, en la parte sur de la península de Baja California están fallas como San Juan de los Planes, La Gata y Loreto que también son fallas normales. Todas las fallas que se localizan dentro de la zona Noroeste tienen una orientación preferencial que va de NW-SE a N-S, la longitud máxima de las fallas sobrepasa los 100 km y la longitud mínima es de casi 3 km, siendo la longitud promedio 52.59 km.

Para el cálculo de la magnitud esperada para un sismo producto de las fallas de esta región se consideró la fórmula propuesta por Wesnousky 1 (2008) $M_W = 5.56 + 0.87 \log L$. Se escogió esta fórmula debido a las características geodinámicas presentes en la zona Noroeste del país en el límite de placas con desplazamiento rápido (velocidad de desplazamiento mayor a 10 mm/año) y corteza delgada. Además esta fórmula sólo requiere de conocer la longitud en superficie de la

falla, información presente en todas las fallas de la base de datos. Las magnitudes estimadas van de 5.9 a 7.3 Mw (tabla 5.1). Debido a la longitud superior de 100 km de las fallas Cerro Prieto, Cucapah-El Mayor y San Pedro Martir el cálculo de sus magnitudes es omitido.

Tabla 5.1 Posible magnitud esperada de un sismo producto del fallamiento cuaternario presente en el zona Noroeste del país. La fórmula que se utilizó corresponde a la propuesta por Wesnousky 1 (2008) $M_W = 5.56 + 0.87 \log L$ para fallamiento cuaternario en límite de placas, con corteza menor de 10 km y desplazamiento mayor a 10 mm/año.

Nombre Falla	Tipo de Falla	Rumbo	Longitud Km	Mw (Wesnousky)
San Miguel	Lateral Derecha	NW-SE	52.2	7
Calabazas	Lateral Derecha	NW-SE	31.3	6.8
Vallecitos	Lateral Derecha	NW-SE	81.8	7.2
Tres Hermanas (Sección A)	Lateral Derecha	NW-SE	59.2	7.1
Tres Hermanas (Sección B)	Lateral Derecha	NW-SE	28	6.8
Agua Blanca	Lateral Derecha	WNW-ESE	103.1	7.3
Maximitos	Lateral Derecha	NW-SE	34.4	6.8
Bahía Soledad	Lateral Derecha	W-E	15.2	6.5
Imperial	Lateral Derecha	NW-SE	65.4	7.1
Laguna Salada	Normal, Lateral Derecha	NW-SE	41.5	6.9
Cañón Rojo	Normal	NE-SW	2.9	5.9
Chupamirtos	Normal	NW-SE	21.5	6.7
Cucapá	Normal	NW-SE	21.8	6.7
Pescaderos	Normal	NW-SE	23.9	6.7
Borregos	Normal	NNW-SSE	37.9	6.9
S.F. Sierra Juárez (Sección A)	Normal	NNW-SSE	43	6.9
S.F. Sierra Juárez (Sección B)	Normal	NNW-SSE	33.8	6.8
Cañada David	Normal	NW-SE	55.3	7
San Juan de los Planes	Normal	NNE-SSW	41.6	6.9
Saltito	Normal	NW-SE	16.5	6.6
La Gata	Normal	N-S	28.8	6.83
San José del Cabo	Normal	N-S	101.8	7.3
Loreto	Normal	N-S	35.1	6.9
El Carrizal	Normal	NW-SE	100.5	7.3

Zona Noreste: Las fallas documentadas en esta zona del país corresponden a la extensión de la provincia geológica de *Basin and Range*, por lo que existe principalmente fallamiento normal. Dentro de esta zona se localizan las fallas Pitáycachi, Tera y Otates que fueron afectadas por el sismo del 3 de Mayo de 1887, el mayor sismo intraplaca del país del que se tienen reportes. La magnitud recalculada de este sismo fue de 7.4 Mw. Las fallas presentes en esta zona son en su mayoría del tipo C. Sin embargo se presentan cuatro fallas de tipo A y una falla de tipo B. La falla Amargosa que se divide en tres secciones cuenta con la sección de falla con mayor y menor

longitud la sección A tiene 55 km, mientras la sección C no pasa de 3 km. El promedio de la longitud de las fallas es de 28.24 km.

Para realizar la estimación de la magnitud de un sismo producto del fallamiento cuaternario en esta zona se utilizó la ecuación propuesta por Wesnousky 2 (2008) $M_W = 6.12 + 0.47 \log L$. Se eligió esta fórmula debido a que está diseñada para un límite de placas con un desplazamiento lento, con velocidades de desplazamiento menores de 10 mm/año. Además de que la fórmula es establecida para el área del *Basin and Range*. Para la estimación de la magnitud la fórmula solo se requiere conocer la longitud superficial de la falla. Las magnitudes obtenidas van desde 6.3 a 7.1 Mw (tabla 5.2).

Tabla 5.2 Posible magnitud esperada de un sismo producto del fallamiento cuaternario presente en el zona Noreste del país. La fórmula que se utilizó corresponde a la propuesta por Wesnousky 2 (2008) $M_W = 6.12 + 0.47 \log L$ para fallamiento cuaternario en límite de placas y desplazamiento menor a 10 mm/año.

Nombre Falla	Tipo de Falla	Rumbo	Longitud Km	Mw (Wesnousky)
Amargosa (Sección A)	Normal	NW-SE	55.8	7.1
Amargosa (Sección B)	Normal	NW-SE	6	6.5
Amargosa (Sección C)	Normal	NW-SE	2.7	6.3
Pitáycachi	Normal	N-S	43.8	7
Teras	Normal	N-S	20.7	6.8
Otates	Normal	N-S	18.9	6.8
Montañas Indio Oeste	Normal	N-S	49.6	7

Zona Centro: Las fallas documentadas en esta zona cortan los depósitos volcánicos originados por la Faja Volcánica Transmexicana. Las fallas presentes en el área centro corresponden a fallas Normales con una componente de desplazamiento lateral izquierdo. Dentro de la zona centro la mayoría de fallas son consideradas como tipo C. Las fallas tipo A corresponden a las fallas principales del graben de Acambay y al sistema de fallas Tenango (Tabla 5.3). Si bien la geometría, cinemática, y la edad de los sistemas de falla presentes en la Faja Volcánica Transmexicana siguen un patrón complejo siendo diversos factores los que controlan su deformación (Ferrari *et al.*, 2012) las fallas tipo A documentadas en la tesis presentan una misma orientación. Las fallas tipo A presentes en la zona centro tienen longitudes que van desde los 10 km (falla Pastores Oeste) hasta los 38 km (falla Venta de Bravo) siendo el promedio de la longitud 25 km, y tienen una orientación E-W.

Para el cálculo de la magnitud esperada de un sismo producto del fallamiento presente en la zona centro del país se utilizaron dos fórmulas, una de ellas propuesta por Wesnousky 2 (2008) $M_W = 6.12 + 0.47 \log L$ y la otra por Mason (1996) $M_W = 4.86 + 1.32 \log L$. Las fórmulas fueron escogidas porque ambas fueron diseñadas para un ambiente volcánico y ambas ecuaciones requieren solamente conocer el longitud en superficie de la falla para calcular las magnitudes. Las magnitudes obtenidas van del orden de 6.2 hasta 7 Mw (tabla 5.3).

Tabla 5.3 Posible magnitud esperada de un sismo producto del fallamiento cuaternario presente en el zona Centro del país. La fórmula que se utilizó corresponde a la propuesta por Wesnousky 2 (2008) $M_W = 6.12 + 0.47 \log L$ y Mason (1996) $M_W = 4.86 + 1.32 \log L$ para fallamiento cuaternario en un ambiente volcánico.

Nombre Falla	Tipo de Falla	Rumbo	Longitud Km	Mw (Wesnousky)	Mw (Mason)
Pastores Este	Normal	E-W	33	6.8	6.8
Pastores Oeste	Normal	E-W	10.8	6.6	6.2
Acambay-Tixmadejé	Normal	E-W	42	6.8	7
Venta de Bravo	Normal, Lateral Izquierda	W-E	38.1	6.8	6.9
San Mateo	Normal	E-W	13.3	6.6	6.3
S.F. Tenango A	Lateral Izquierda, Normal	E-W	29.6	6.8	6.8
S.F. Tenango B	Lateral Izquierda, Normal	E-W	12.4	6.6	6.3

Si bien las ecuaciones que se utilizaron para la estimación de las magnitudes son para ambientes geotectónicos diferentes al comparar los valores obtenidos se puede observar que las magnitudes son muy similares para segmentos de falla de la misma longitud en diferentes ambientes geotectónicos. La diferencia entre los rangos de magnitudes para las fallas cartografiadas es del orden de 2 décimas. Dentro del capítulo de discusiones se retomará el tema de la estimación de las magnitudes.

VI.-Discusión

Las discusiones de esta tesis se centran en tres aspectos importantes: 1) La completitud de la base de datos de las fallas cuaternarias, que a su vez se divide en la cantidad de fallas que se documentaron en la tesis y en la cantidad de información que se obtuvo de cada una de las fallas documentadas. 2) La estimación de la magnitud de un sismo asociado a fallamiento cuaternario a partir las fórmulas de Wesnousky 1, 2 (2008) y Mason (1996) propuestas en apartado V.5 de la tesis. 3) La evaluación del posible impacto de las fallas cuaternarias recopiladas en la tesis al peligro sísmico haciendo una comparación cualitativa entre un mapa de peligro sísmico y las fallas cuaternarias documentadas dentro de la tesis.

VI.1 Completitud de la base de datos

VI.1.1 Documentación de fallas cuaternarias

Si bien no existe publicado en el país ningún mapa de fallas cuaternarias el marco geotectónico y la alta sismicidad son indicios de la existencia del fallamiento cuaternario en México. En la tesis se tienen documentadas un total de 151 fallas, siendo la zona centro y noreste las mejores documentadas. Sin embargo la zona sur donde se localiza el punto triple entre las fallas Norte América, Caribe y Pacífico prácticamente no cuenta con fallas tipo A o B documentadas, lo que muestra un área de oportunidad para desarrollar futuros trabajos en esta zona.

Generar un mapa de fallas cuaternarias de todo un país es un trabajo muy exhaustivo que requiere un gran número de colaboradores, ejemplo de ello son los trabajos realizados por parte de los Servicios Geológicos de Estados Unidos, España y Portugal. Sin embargo a pesar de los grandes esfuerzos por recabar toda la información del fallamiento cuaternario ni el trabajo del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) ni el Instituto Geológico y Minero de España cuentan con un mapa completo. Esta tesis presenta un intento de agrupar la mayor cantidad de fallas cuaternarias con la visión de en un futuro poder complementar de mejor manera la base de datos, así como anexar más fallas que no han sido documentadas dentro de la tesis.

La completitud del trabajo presentado en esta tesis depende de varios aspectos, entre ellos se pueden citar los siguientes:

- Los estudios de fallas cuaternarias solo se habían concentrado en zonas donde existía reportes de sismos históricos o registros instrumentales de sismicidad interplaca superficial. Los sismos de 1887 y 1912 son el mejor ejemplo de zonas donde se tienen estudios del fallamiento cuaternario.
- México es un país sísmicamente muy activo sin embargo la mayoría de estaciones sismológicas se habían localizado solo en los límites de placas, si existía un sismo al interior de país muchas veces no existía registro de este. Fue hasta principios de la década de 1990

cuando se empezó a instalar estaciones sismológicas en todo el país, descubriendo con esto sismicidad en zonas que antes se consideraban asísmicas.

- El estudio detallado del fallamiento cuaternario en México mediante la paleosismología tiene apenas algunas decenas de años, siendo México un territorio poco explorado con esta técnica. Mediante la paleosismología se tiene información como el intervalo de recurrencia, la tasa de deslizamiento y el desplazamiento máximo, elementos importantes para el cálculo del peligro sísmico.

Por otra parte también existen fallas cuaternarias que no se han documentado dentro de la tesis ya que no cumplen los lineamientos establecidos de contar con la ubicación exacta de la traza de falla. Un ejemplo de fallamiento cuaternario que carece de la ubicación exacta de las fallas, debido a que no tiene definido claramente su sistema coordinado al carecer de proyección y datum corresponde al trabajo de Garduño *et al.* (2009). Garduño *et al.* (2009) documentan fallamiento cuaternario al suroeste de la ciudad de Morelia, mediante sismos históricos y paleosismología identifica 6 fallas cuaternarias que cortan litología que van de los 700 a 3 ka.

También es importante mencionar que existen sismos corticales que no alcanzan a tener una expresión superficial a través de una falla. Ejemplo de ello se tiene a la falla Sanfandila localizada a 20 km al sureste de la ciudad de Santiago de Querétaro (Zúñiga *et al.*, 2003). Esta falla fue documentada a partir de una secuencia de pequeños sismos (magnitud máxima de 3.5 Mw) durante los tres primeros meses de 1998. La distribución espacial de los mecanismos focales indican que se trata de una falla normal enterrada localizada a 2 km de profundidad, con un rumbo aproximado de 334° (Zúñiga *et al.*, 2003).

VI.1.2 Completitud de la información de los campos en la base de datos

Una vez que se documentó cada una de las fallas la información obtenida fue colocada en una base de datos de catorce campos que son:

- | | |
|--|---|
| ❖ Nombre de la Falla | ❖ Ultimo evento sísmico |
| ❖ Tipo de Falla (Normal, Inversa, Lateral) | ❖ Magnitud del último evento |
| ❖ Rumbo Promedio (°) | ❖ Desplazamiento máximo del evento (cm) |
| ❖ Echado Promedio (N, S, E, W) | ❖ Tasa de deslizamiento (mm/año) |
| ❖ Dirección de Echado (N, S, E, W) | ❖ Intervalo de recurrencia (ka) |
| ❖ Longitud (Km) | ❖ Referencia |
| ❖ Evidencia de la actividad de la falla | ❖ Observaciones |

En la figura 6.1 se puede observar que se conoce el sentido del movimiento de todas las fallas, ya que se tiene el tipo de falla de todas las estructuras recabadas en la base de datos. De igual manera se tiene la orientación, la dirección del echado y la longitud en las 151 fallas. Las fallas que cumplen con todos los campos de la base de datos son las fallas Pitáycachi, Teras, Otates y Acambay-Tixmadejé.

Sin embargo existe una mayor carencia de información referente a los sismos con evidencia instrumental asociados a las fallas (figura 6.1), ya que los campos del último evento sísmico registrado, magnitud del último evento registrado y desplazamiento máximo del evento, solo se identifican en menos de 10 fallas.

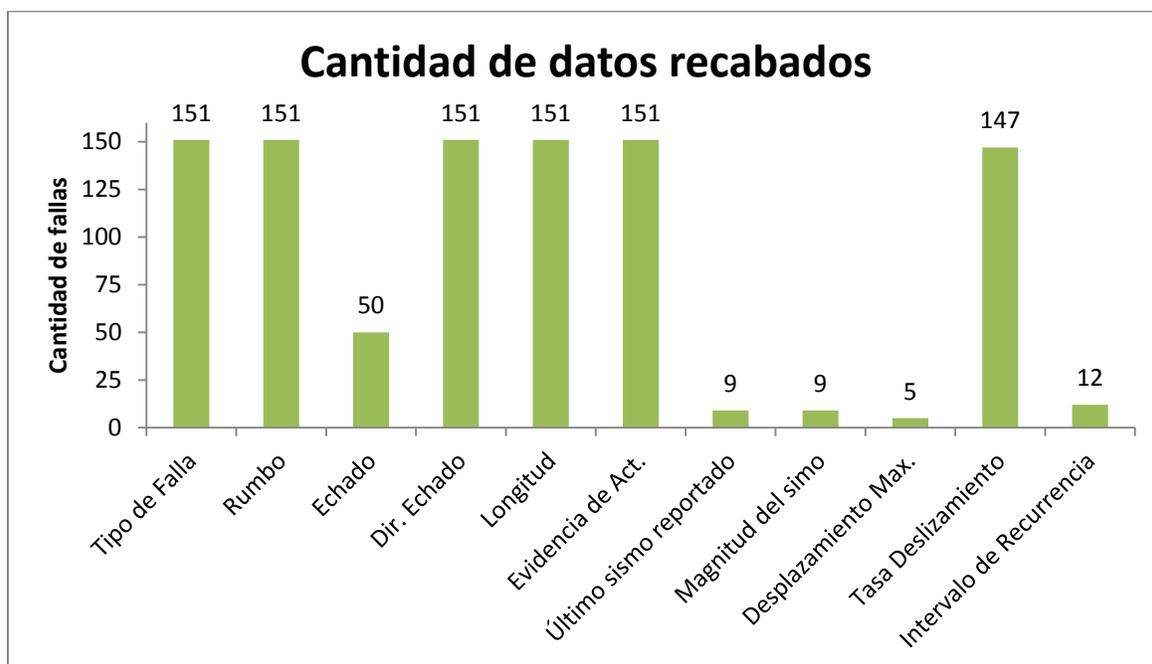


Figura 6.1 Gráfica de barras de la cantidad de información recabada en los campos de la base de datos de las fallas cuaternarias. El total de fallas documentadas fueron 151. La cifra en la parte superior de cada barra indica el número de fallas que cuentan con ese campo cubierto.

El tipo de clasificación de fallas se desarrolló en la tesis de acuerdo a la edad y la cantidad de información recabada también puede ser un punto a discutir, ya que la clasificación de las fallas también se podría desarrollar a partir de los campos de la Tasa de Deslizamiento y el Intervalo de Recurrencia. De acuerdo a lo que muestra en la figura 6.1, 147 fallas cuentan con información de la tasa de deslizamiento, no obstante en la mayoría de esas fallas el dato obtenido ha sido inferido de la edad del estrato fallado y el desplazamiento que ha tenido el estrato (fallas tipo C). Por otro lado el intervalo de recurrencia solo es conocido para 12 fallas por lo que realizar una clasificación de acuerdo a los datos de la Tasa de Deslizamiento y el Intervalo de Recurrencia no es posible si se carece de estos datos.

La gráfica 6.1 también indica que todas las fallas cuentan con el campo de longitud de falla, por lo que es factible utilizar las ecuaciones de Wesnousky (2008) y Mason (1996), además al ser diseñadas para ambientes geodinámicos similares a los presentes en México son una buena opción para estimar la magnitud de un sismo asociado al fallamiento cuaternario. Utilizar fórmulas como las establecidas por Stirling *et al.* (2008) y Villamor *et al.* (2001) entre otros para obtener una magnitud de un sismo asociado a las fallas requiere de información como es el área o el ancho de la falla, información con la que no se cuenta dentro de la base de datos.

VI.2 Estimación de las posibles magnitudes de un sismo asociado a fallamiento cuaternario

Para el cálculo de la magnitud de un sismo asociado a las fallas cuaternarias se utilizaron tres ecuaciones que representan un ambiente geodinámico diferente. Estas fórmulas fueron:

$$\text{Wesnousky 1 (2008) } M_W = 5.56 + 0.87 \log L$$

$$\text{Wesnousky 2 (2008) } M_W = 6.12 + 0.47 \log L$$

$$\text{Mason (1996) } M_W = 4.86 + 1.32 \log L$$

Las magnitudes estimadas para un sismo asociado al fallamiento cuaternario tienen valores similares a los estimados por otros autores para aquellas fallas que cuentan con sismos con registros instrumentales. Estas diferencias pueden ser producto de las diversas formas utilizadas para el cálculo de cada magnitud. Las magnitudes pueden ser estimadas a través de la amplitud de las ondas de cuerpo y ondas superficiales en los sismogramas o las fórmulas implementadas para la estimación de la magnitud. También es importante considerar las incertidumbres de las relaciones empíricas utilizadas en la tesis en la estimación de la magnitud donde se presentan incertidumbres del orden de 3 a 4 décimas de magnitud (Stirling *et al.*, 2013; Wesnousky, 2008).

Si realizamos una comparación de las tres ecuaciones utilizadas para estimar la magnitud mediante una falla hipotética (tabla 6.1), se puede observar que existe una variación de casi cinco décimas de magnitud para la falla con una longitud de 100 km. Esta diferencia va aumentando conforme crece la longitud de la falla. Es importante recordar que estas ecuaciones son estimadas para longitudes de fallas máximas de 100 km (Stirling *et al.* 2013). Se puede observar que la ecuación de Mason (1996) tiene una mayor rango de variación de la magnitud conforme aumenta la longitud de la falla. Para una longitud de 25 km Mason (1996) estima una magnitud de 6.7 Mw y para una falla de 100 km de longitud una magnitud de 7.5 Mw con una diferencia de 8 décimas de magnitud. Mientras que la diferencia de Wesnousky 1 es de 6 décimas de magnitud y Wesnousky 2 es de 3 décimas de magnitud entre el valor de 25 y 100 km. Lo que implica que la magnitud estimada a partir de las ecuaciones de Wesnousky varía menos con la variación de la longitud. Para saber cual de las dos fórmulas es la más adecuada para México habría que comparar la magnitud estimada con las magnitudes reportadas de eventos sísmicos en las zonas Noroeste y Centro del país.

Tabla 6.1 Magnitud esperada para un sismo asociado a una falla hipotética de longitud variable. Las ecuaciones corresponden a las establecidas por Mason (1996) $M_W = 4.86 + 1.32 \log L$, Wesnousky 1 (2008) $M_W = 5.56 + 0.87 \log L$ y Wesnousky 2 (2008) $M_W = 6.12 + 0.47 \log L$.

Longitud de la falla (km)	Mason	Wesnousky 1	Wesnousky 2
25	6.7	6.7	6.7
50	7.1	7.0	6.9
75	7.3	7.1	7.0
100	7.5	7.3	7.0

Es importante también considerar que el fracturamiento generado a partir de un sismo se puede propagar por más de una falla, cuando el sismo se presenta dentro de un sistema de fallas o la falla vecina presenta una geometría y orientación similar. Esto implica que el valor de la magnitud del sismo sería subestimado en la tesis. Un claro ejemplo de esto está dado por el sismo histórico de Bavispe de 1887 (Mw 7.4) que afectó las fallas Pitáycachi, Teras y Otates, estimando la magnitud de las tres fallas juntas con una longitud de 83 km se obtiene una magnitud de 7.2 Mw (usando la ecuación de Wesnousky 1, 2008), magnitud superior a la estimada para cada una de las fallas por separado.

Otro aspecto importante que puede ocurrir al producirse un sismo es que el fracturamiento sobrepase la longitud de falla cartografiada, lo que también implica que el valor de la magnitud del sismo sea subestimado. Un ejemplo claro de esto se dio con el sismo de Cucapah-El Mayor del 2010, donde el sismo se propagó por las fallas Borregos y Pescadores, pero además el fracturamiento se propagó hacia el sur de la falla Pescadores.

Es importante tener al menos una idea de la posible magnitud de un sismo asociado a las fallas con mayor probabilidad de generar un sismo, ya que la magnitud esperada es de gran importancia para la estimación del peligro sísmico. Motivo por el cual en la tesis se presentan los valores estimados de la magnitud de un sismo asociado a la mayoría de las fallas Tipo A y B mediante las ecuaciones Wesnousky 1 y 2 (2008) y Mason (1996).

La estimación de la magnitud de un sismo asociado al fallamiento cuaternario no se colocó dentro de la base de datos por las siguientes razones:

- a) La estimación de la magnitud presenta incertidumbres en los valores obtenidos, las cuales se pueden deber a las ecuaciones que se están estableciendo.
- b) En la base de datos se presenta la información lo más objetivamente posible colocando la información tal y como se recopiló, para que sea el usuario quien tome la decisión de cómo usar los datos. Si se presenta una magnitud estimada con una ecuación dada se pierde la objetividad de la base de datos al tener inclinación por una ecuación.
- c) Se le brinda al usuario la libertad de escoger la manera que crea más pertinente para la estimación de la magnitud de un sismo. Así como también la posibilidad de poder agrupar fallas vecinas y obtener la magnitud de un sismo a partir de sus cálculos.

VI.3 Impacto de las fallas cuaternarias al peligro sísmico

Comparado con otras recopilaciones de fallamiento cuaternario en el mundo como lo la realizada por García-Mayordomo J. *et al.* (2012) para la península Ibérica, la información reunida en esta tesis es escasa, sin embargo es la primera vez que se publica un mapa y base de datos de fallas cuaternarias en México. Información como la Longitud de la falla, Desplazamiento máximo del último evento sísmico, Tasa de deslizamiento e Intervalo de recurrencia son elementos recabados en la base de datos de gran utilidad para la estimación del peligro sísmico.

El cálculo del peligro sísmico se puede realizar a partir de 4 principales pasos (Figura 6.2). (Cornell, 1968), donde se incorpora fuentes sísmicas con el fallamiento cuaternario:

- 1) La definición de las fuentes sísmicas: Para un área establecida se deben definir todos y cada uno de los elementos que puedan generar un sismo, las fuentes pueden ser fallas planas hasta provincias sismotectónicas. En este caso debemos considerar a las fallas cuaternarias.
- 2) La definición de la recurrencia sísmica: Cada una de las fuentes sísmicas es caracterizada por una relación de recurrencia. Entre las relaciones de recurrencia una de las más utilizadas es la establecida por Gutenberg-Richter $\log_{10} N = a - bM$. También se puede utilizar el Intervalo de recurrencia de la base de datos, si se carece del Intervalo de recurrencia se puede estimar a partir de la razón del Desplazamiento máximo del evento sísmico entre la Tasa de deslizamiento y a su vez el desplazamiento máximo a partir de la magnitud estimada.
- 3) Estimación de los efectos del sismo: Generalmente esta caracterizado por el movimiento del terreno, donde se realizan gráficas a diferentes magnitudes a una distancia contra los picos de aceleración considerando la incertidumbre en la atenuación.
- 4) Cálculo del peligro sísmico: El cálculo del peligro sísmico viene dado a partir del efecto de todos los sismos de diferentes tamaños, ocurridos en diferentes puntos del área de estudio en diferentes fuentes sísmicas, donde se obtienen diferentes probabilidades de ocurrencia, que son integradas en una curva que muestra la probabilidad de excedencia de diferentes niveles del movimiento del terreno (por ejemplo, picos de aceleración) en el sitio de estudio durante un periodo de tiempo específico.

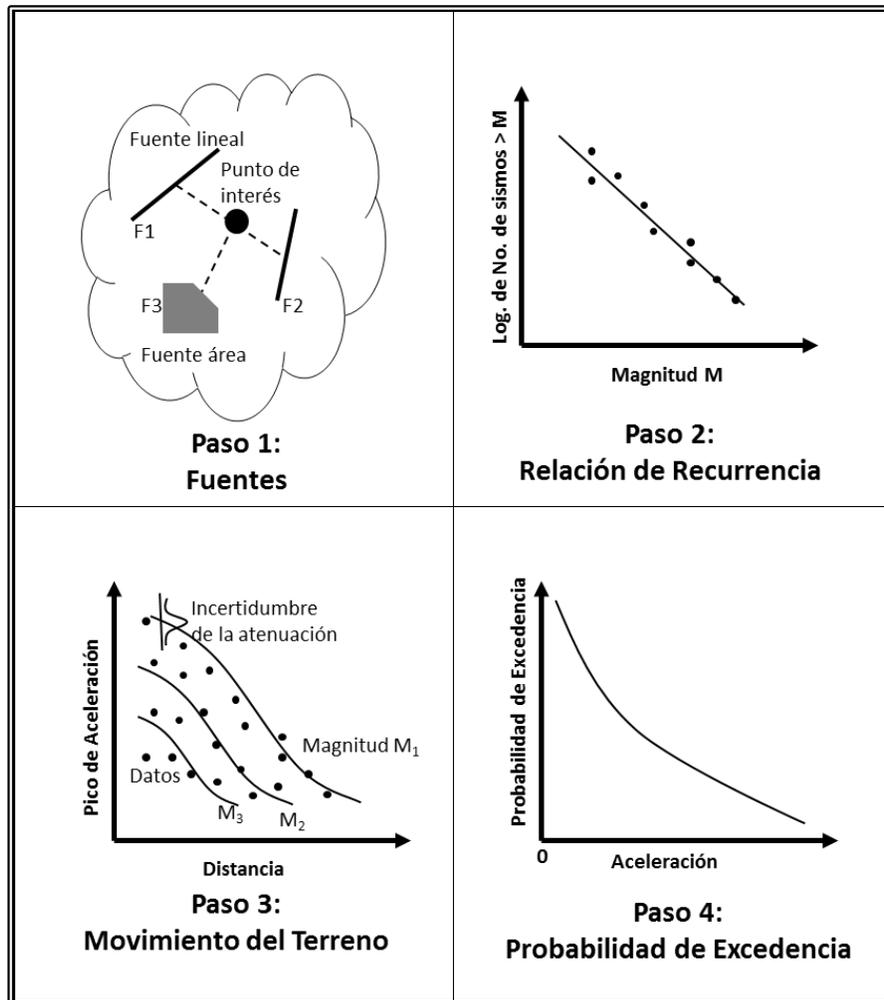


Figura 6.2. Pasos generales para el cálculo del Peligro sísmico (Reiter, 1990).

En 1997 el Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH) presentó el trabajo “Peligro Sísmico en Latinoamérica y el Caribe” (Zúñiga *et al.*, 1997). Zúñiga *et al.* (1997) presentan las metodologías empleadas para la recopilación de información de sismicidad histórica e instrumental y realizan una regionalización sismotectónica de México. Zúñiga *et al.*, 1997 muestran las bases que utilizaron para la estimación del peligro sísmico, las relaciones de atenuación utilizadas y concluyen su trabajo presentando un mapa de iso-aceleraciones máximas del terreno (Figura 6.3) para un periodo de recurrencia de 500 años (Zúñiga *et al.*, 1997).

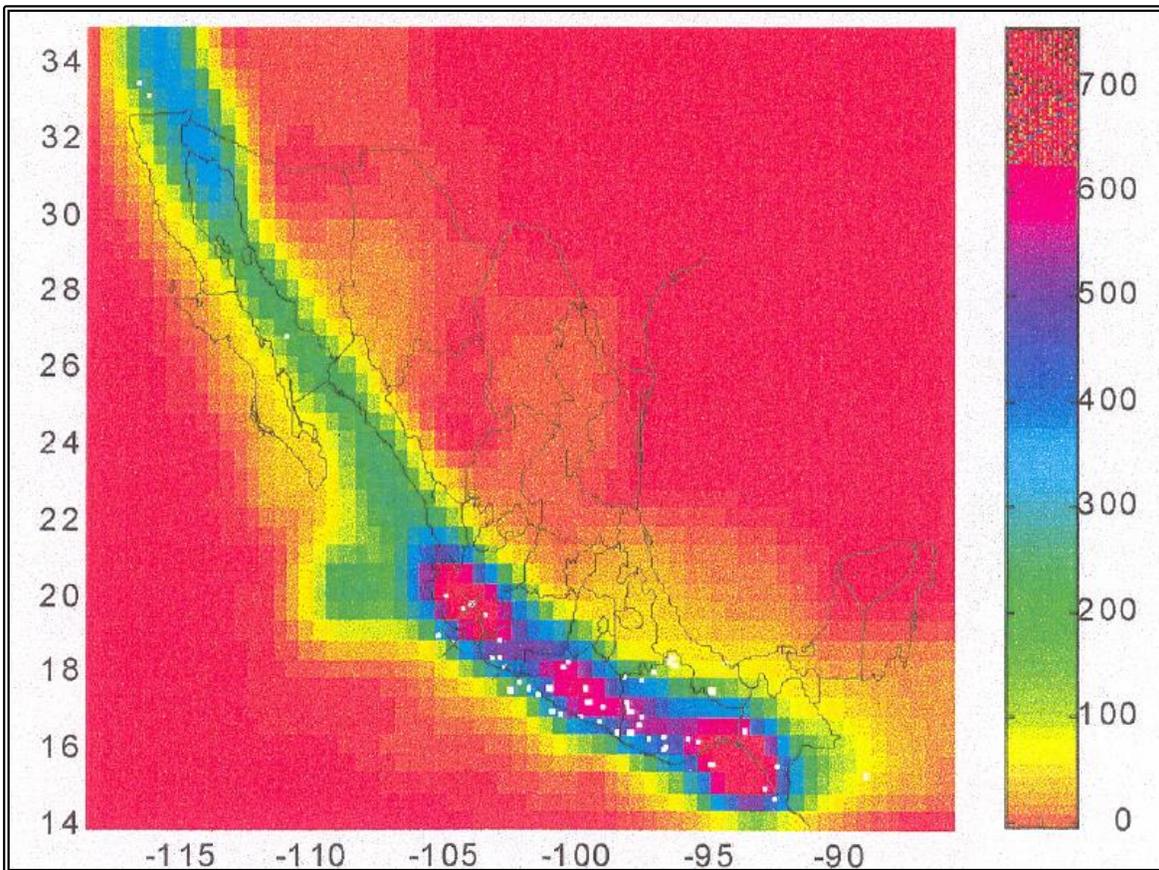


Figura 6.3 Curvas de aceleración máxima del terreno para periodos de recurrencia de 500 años en México estimada por Zúñiga et al. (1997). La escala de colores indica las aceleraciones en gales ($1 \text{ gal} = 0.01 \text{ m/s}^2$).

En el año de 1999 el Programa de Evaluación de Peligro Sísmico Global (GSHAP, por sus siglas en inglés) generó el mapa del peligro sísmico global, que nos indica la máxima aceleración de terreno con el 10% de probabilidad de excederse en 50 años, que corresponde a un periodo de retorno de 475 años por evento sísmico (Giardini et al., 1999, mapa digital disponible en la liga http://gmo.gfz-potsdam.de/pub/gshap_data/gshap_data_frame.html). La figura 6.4 nos ilustra los resultados obtenidos por parte del GSHAP para el área de la República Mexicana. El código de colores que manejan indica que colores fríos representan peligros sísmicos bajos, mientras que colores más cálidos indican peligro sísmico alto. Los elementos básicos que tomó el GSHAP para poder realizar una evaluación probabilística del peligro sísmico, fueron agrupados en 4 categorías principales:

- Catálogos de sismos y bases de datos
- Caracterización de la fuente sísmica
- Movimiento del subsuelo a partir de una fuente sísmica
- Cálculo del peligro sísmico

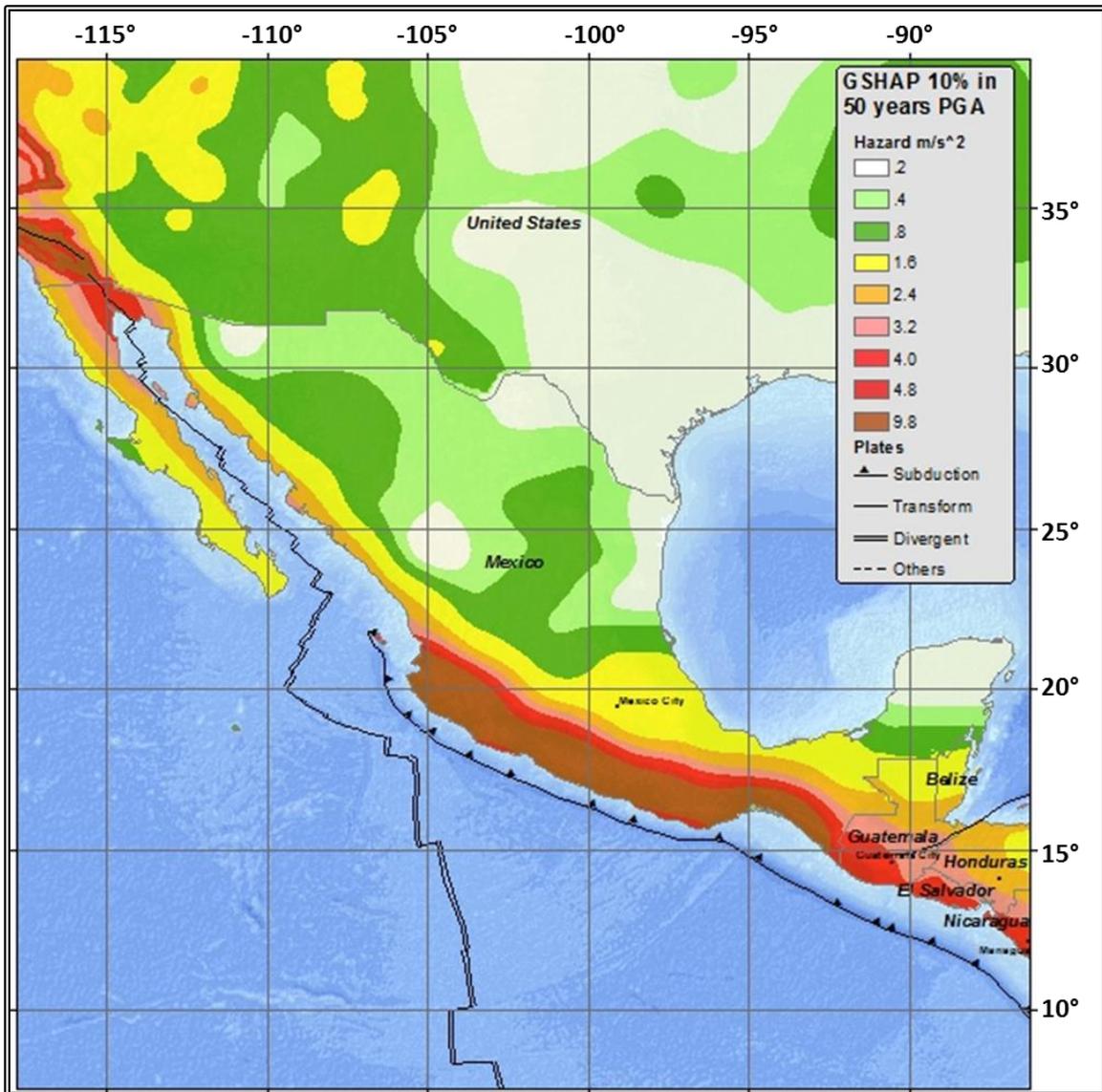


Figura 6.4 Mapa del peligro calculado por GSHAP (1999) para la región de México, mostrando 10% de la probabilidad de excedencia en 50 años de la aceleración máxima del terreno (PGA) indicado en m/s^2 . Los colores blanco y verdes corresponden a peligro bajo (0-8% de g , donde g es la aceleración de la gravedad $9.81 m/s^2$), amarillo y naranja a peligro moderado (8-25% de g), rosa y rosa oscuro a peligro alto (25-40% de g) y rojo y café corresponden a peligro muy alto (>40% de g) (tomado de Giardini et al., 1999).

Realizando una comparación entre los mapas se puede observar que ambos presentan sus máximas aceleraciones cercanos al límite de placas. Además el mapa propuesto por Zúñiga et al. (1997) solo considera las fuentes sísmicas cercanas al límite de placas ya que para gran parte del Noreste Mexicano el valor de la aceleración es cercano a cero gales. También se puede observar que los valores de la aceleración reportados por el GSHAP (1999) son $2 m/s^2$ mayores que los presentados por Zúñiga et al. (1997).

No obstante los mapas de peligro sísmico que se han elaborado en México carecen de información suficiente de las fallas geológicas capaces de generar sismos, debido a la poca información

referente a estas fallas. Solo existen algunos trabajos de áreas en particular que consideran a las fallas cuaternarias. Un claro ejemplo de este tipo trabajos es desarrollado por Ortega *et al.* (2015), donde estiman el peligro sísmico en el centro de Baja California. Ortega *et al.* (2015) identifican que para el peligro sísmico con una probabilidad de excedencia de 5% en 100 años (periodo de retorno de 1950 años) ya refleja variaciones en la aceleración del terreno en los mapas de peligro sísmico, para fallas con una longitud superior de 10 km.

A continuación se presenta el mapa de peligro sísmico propuesto por el GSHAP (1999) en conjunto con las fallas documentadas en esta tesis (Figura 6.5). Este mapa se realiza con el objetivo de comparar el mapa de peligro sísmico y la ubicación de las fallas documentadas. La comparación que se realiza de manera cualitativa ya que realizar una comparación entre un mapa de peligro sísmico y el fallamiento cuaternario requiere realizar el cálculo del peligro sísmico.

Dentro de este mapa se puede observar que las fallas cuaternarias podrían modificar el mapa de peligro sísmico, ya que en la parte Norte del país en la frontera con Estados Unidos existe una inconsistencia en el valor de excedencia de la aceleración del terreno, ya que para la parte de Estados Unidos se tiene un valor máximo de 0.8 m/s^2 y para la parte de Chihuahua se tiene un valor máximo de 0.4 m/s^2 . Esta inconsistencia se puede deber a que en la parte de Estados Unidos fueron tomadas en cuenta fallas cuaternarias para la estimación del peligro sísmico, mientras que en México no. Así mismo también se puede observar una pequeña parte con aceleraciones máximas de 1.6 m/s^2 en la parte de Estados Unidos que se ubica muy próxima a la falla tipo B Montañas Indio Oeste, mientras que en la frontera mexicana que sigue conservando un valor de excedencia de la aceleración máximo de 0.4 m/s^2 . De igual manera se podría modificar el peligro sísmico en la región donde se ubican las fallas Pitáycachi, Teras, Otates y La Amargosa que son fallas tipo A y en el mapa del GSHAP presentan valores de excedencia de aceleración máxima de 0.4 m/s^2 . También podría existir una variación en la región donde se localizan las fallas del Campo Volcánico de Durango, donde se tiene aceleraciones máximas de apenas 0.2 m/s^2 . Para la parte de Baja California Sur se cuentan valores de excedencia de la aceleración máxima de 1.6 m/s^2 cuando la existencia del Sistema de Fallas de la Provincia Extensional del Golfo podría modificar el valor de excedencia de aceleración para esa región.

Una de las razones por el cual es difícil realizar una comparación entre ambos elementos se debe a que el periodo de retorno del mapa presentado por el GSHAP es corto (475 años) en comparación del intervalo de recurrencia de la mayoría de las fallas cartografiadas. Las únicas fallas que presenta un periodo de retorno menor al de 475 años son las fallas: Agua Blanca, Máximitos y Bahía Soledad, las tres fallas tipo A con un intervalo de recurrencia de 200 años y localizadas en Baja California.

Es importante considerar que la sismicidad instrumental puede ser representativa del fallamiento cuaternario. Si se cuenta con los registros de eventos sísmicos asociados a las fallas dentro del catálogo sísmico y además se vuelve a considerar a la falla como una fuente sísmica se estaría duplicando la información, lo que generaría una imagen errónea del al aceleración del terreno en esa área. Por ello se debe tener cuidado en el momento en que se toman en cuenta todas y cada

una de las fuentes sísmicas. Como ejemplo se tiene todas las fallas cuaternarias que se localizan dentro de la faja Volcánica Transmexicana, el área donde se localizan tienen un valor de excedencia de la aceleración máxima de 1.6 m/s^2 , sin embargo no se sabe si las fallas son o no representadas a partir de la sismicidad, por lo que podrían o no influir en el valor de la excedencia de la aceleración.

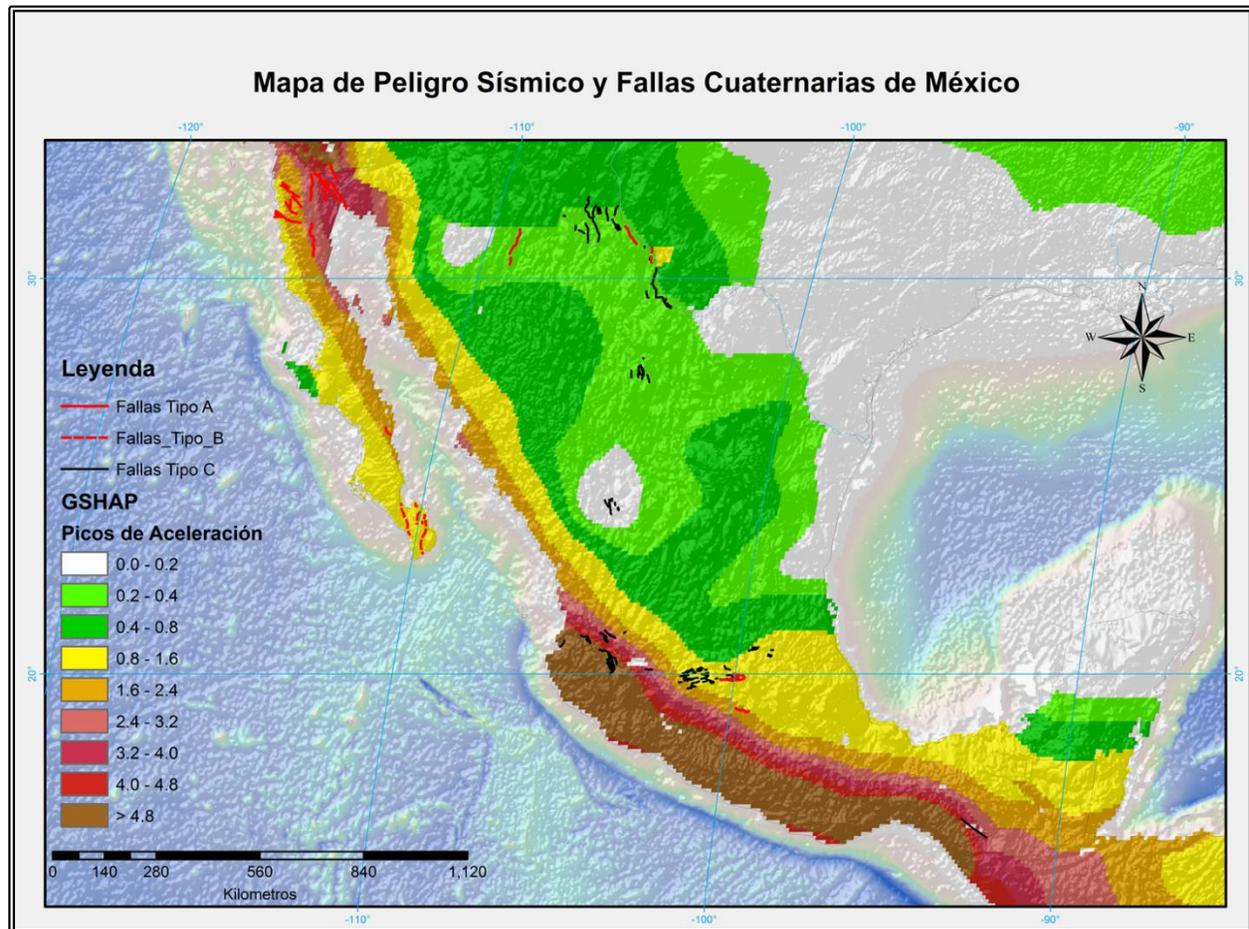


Figura 6.5. Mapa comparativo de las las fallas cuaternarias documentadas en la tesis y el mapa de peligro sísmico propuesto por GSHAP. La comparación se realiza de manera cualitativa.

VII Conclusiones y Recomendaciones

Del trabajo realizado se documentaron un total de 151 fallas, de las cuales 28 fallas fueron clasificadas del tipo A, 7 fallas del tipo B y 116 del tipo C. Las fallas tipo A corresponden a fallas con desplazamiento en el Holoceno, las fallas tipo B son fallas con desplazamiento en el Pleistoceno y posiblemente en el Holoceno y las fallas tipo C fallas con desplazamiento en el Pleistoceno.

Las conclusiones principales obtenidas en la tesis son:

- Debido a que México se localiza en el límite de placas tectónicas es considerado como un país geodinámicamente muy activo, con fallamiento cuaternario abundante. No obstante el trabajo neotectónico presente en el país es muy escaso, generalmente se concentra en los sitios con sismicidad histórica o instrumental alta. La mayoría de trabajos que documentan fallamiento cuaternario se localizan en la zona centro (Faja Volcánica Transmexicana) y el Noroeste del País.
- Las fallas documentadas en la tesis han sido clasificadas de acuerdo a la edad de su último desplazamiento. También se tomó en cuenta en la clasificación los elementos que sustentan dicho desplazamiento. Por ello se clasificaron en fallas holocénicas (Tipo A), posiblemente holocénicas (Tipo B) y pleistocénicas (Tipo C).
- El trabajo realizado en esta tesis dista mucho de ser completo, ya que existen muchas áreas con una gran actividad geodinámica que aún no han sido estudiadas a fondo, así como también muchos de los campos de la base de datos no se encuentran completamente cubiertos. Sin embargo no existe hasta la fecha ningún trabajo publicado que realice una recopilación completa de fallamiento cuaternario que abarque todo el país.
- Debido a que la clasificación de fallas también es realizada a partir de la cantidad y calidad de información recabada, se observa que las fallas con la mayor cantidad de información son las fallas Tipo A y B, aunque son las de menor número (35). Mientras que las fallas Tipo C que carecen de información en la mayoría de los campos de la base de datos, son las más numerosas en la tesis (116).
- La base de datos consta de 14 campos: Nombre de la Falla, Tipo de Falla, Rumbo promedio, Echado promedio, Dirección del Echado, Longitud, Evidencia de la actividad, último evento sísmico registrado, Magnitud del último evento sísmico, Magnitud del último evento sísmico, Desplazamiento Máximo del último evento sísmico, Tasa de deslizamiento, Intervalo de Recurrencia, Referencia y Observaciones. Los campos que son cubiertos casi en su totalidad son: Tipo de Falla, Rumbo, Dirección del echado, Longitud, Evidencia de la actividad. Siendo las fallas Pitáycachi, Teras, Otates y Acambay –Tixmadejé las que cuentan con todos los campos cubiertos. Mientras que los campos de Último eventos sísmico, Magnitud del último evento sísmico y Desplazamiento máximo del último evento sísmico son los campos que menos información tienen (menos de 10 fallas).
- La base de datos utilizada en la tesis ha sido diseñada para poder actualizarse con el paso del tiempo, por lo que en algunas de las fallas en las que se tienen campos vacíos pueden ser llenados a partir de trabajos futuros.

- La base de datos ha sido diseñada dentro del Sistema de Información Geográfico GRASS GIS y Q GIS, lo que brinda la oportunidad de obtener las trazas de fallas georreferenciadas. Al igual, permite al usuario poder acceder a toda la información colocada en la base de datos al poner la información en línea a través de la siguiente liga: <http://digitalgeosciences.unam.mx/web/geomatica/recursos.html>
- La estimación de la posible magnitud de un sismo asociado al fallamiento cuaternario quedó fuera de los campos de la base de datos, ya que se prefiere que el usuario use su propio criterio al escoger las fórmulas para obtener la magnitud, así como elegir los sistemas de fallas o segmentos de falla donde se puede propagar el sismo. No obstante se colocan algunas ecuaciones y se estiman la magnitud de las fallas Holocénicas y posiblemente holocénicas dentro de la tesis ya que es un elemento muy importante para el cálculo del peligro sísmico.
- Las fórmulas utilizadas para el cálculo de las magnitudes diseñadas para diferentes ambientes geodinámicos y para una longitud de falla no superior a 100 km son: Wesnousky 1 (2008) $M_W = 5.56 + 0.87 \log L$ diseñada para un límite de placas con desplazamiento rápido, Wesnousky 2 (2008) $M_W = 6.12 + 0.47 \log L$ diseñada para un ambiente volcánico de corteza gruesa y Mason (1996) $M_W = 4.86 + 1.32 \log L$ diseñada para un ambiente volcánico de corteza gruesa. Las tres fórmulas presentan diferencias de dos décimas de magnitud entre sí al compararlas entre sí.
- La información aquí recabada es de utilidad para la estimación del peligro sísmico, sin embargo no se sabe que tanto influye en el peligro sísmico hasta no realizar este cálculo. En la tesis se presentan los pasos generales para realizar esta estimación.

De acuerdo a los resultados de este trabajo se presentan las siguientes recomendaciones:

- Volver a evaluar las fallas tipo C, estas fallas son principalmente de fuentes con una antigüedad de más 15 años obtenidas por parte del WGQFM. Una evaluación periódica de la información bibliográfica permitiría la actualización de la base de datos, teniendo un conocimiento actualizado del estudio de las fallas cuaternarias en México
- Realizar estudios en las zonas Noreste y Sur del país. De acuerdo con los reportes de redes sismológicas existen sismos dentro de la sierra Madre Oriental así como en el estado de Chiapas. Si bien existen trabajos que indican la presencia de fallas cuaternarias se carece de estudios detallando el comportamiento de las fallas. El fallamiento cuaternario podría estar asociado a la sismicidad somera de ambas regiones.
- Se sugiere realizar mapas de peligro sísmico con la información obtenida en esta tesis, considerando diferentes periodos de retorno que consideren la mayor cantidad de fallas cuaternarias posibles.
- Formar un equipo de trabajo cuyo objetivo sea actualizar la información de la base de datos y generar mapas de peligro sísmico actualizados.

Referencias

Ambraseys, N.N. & Adams, R.D., 1996, Large-magnitude Central American earthquakes, 1898–1994, *Geophysical Journal International* 127, pp. 665–692.

Aguirre-Díaz, G.J., Urútia-Fucugauchi, J., Soler-Arechalde, M.S., McDowell, F.W., 2000, Stratigraphy, K-Ar ages, and magnetostratigraphy of the Acambay graben, central Mexican Volcanic Belt, en Delgado-Granados, H., Aguirre-Díaz, G.J., Stock, J., (eds.), *Cenozoic Tectonics and Volcanism of Mexico*, Geological Society of America Special Paper, 334, pp. 167-178.

Aguirre-Díaz G.J., Zúñiga-Dávila Madrid F.R., Pacheco-Alvarado F.R., Guzmán-Speziale M., Nieto-Obregón J., 2000, El Graben De Querétaro, México. Observaciones De Fallamiento Activo, *GEOS, Unión Geofísica Mexicana*, Vol. 20, No. 1, pp. 2-7.

Aguirre-Díaz, G., 1993a, The Amealco caldera, Querétaro, Mexico: Geology, geochronology, geochemistry, and comparison with other silicic centers of the Mexican volcanic belt: Austin, University of Texas at Austin, Tesis de Doctorado.

Allan, J. F., 1986, Geology of the Colima and Zacoalco grabens, SW Mexico—Late Cenozoic rifting in the Mexican Volcanic Belt: *Geological Society of America Bulletin*, v. 97, p. 473-485.

Allan, C. R., Silver L., Stehli F. G., 1960, Agua Blanca fault, a major transverse structure of northern Baja California, Mexico, *Geol. Soc. Am. Bull.*, 71, pp. 457– 482.

Aranda-Gómez. J. J., Henry, C. D., Luhr, J., McDowell, F. W., 2003, Cenozoic volcanic-tectonic development of northwestern Mexico – a transect across the Sierra Madre Occidental volcanic field and observations on extension-related magmatism in the southern Basin and Range and Gulf of California tectonic provinces, en *Geologic transects across Cordilleran Mexico*, Guidebook for field trips 99th Annual Meeting of the Cordilleran Section of the Geological Society of America, México, D. F., March 25-30: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Centro de Geociencias, Publicación Especial 1, 71-121.

Aranda-Gómez, J.J. & Henry, C.D., 1992, Fallamiento cuaternario cerca de la ciudad de Durango— Naturaleza del período de deformación más joven relacionado a extensión multiepisódica en el noroeste de México: *GEOS*, v. 12, no. 5, p. 53-54.

Aranda-Gómez, J.J. & Pérez Venzor, J.A., 1988, Estudio geológico de Punta Coyotes B.C.S.: Universidad Nacional Autónoma México, *Inst. Geología, Revista*, v. 7, no. 1, p. 1-21.

Aranoff, S., 1989, *Geographic Information Systems: A Management Perspective*. WDL Publications, Ottawa, p. 230.

Astíz-Delgado, L. M., 1980. Sismicidad en Acambay, Estado de México. El temblor del 22 de febrero de 1979. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, 130 pp.

Axen, G.J., Grove M., Stockli D., Lovera O. M., Rothstein D.A., Fletcher J.M., Farley K., Abbott P.L., 2000, Thermal evolution of Monte Blanco dome: Low-angle normal faulting during Gulf of California rifting and late Eocene denudation of the eastern Peninsular Ranges, *Tectonics*, 19(2), p. 197-212.

Axen, G.J., Fletcher, J.M., Cowgill, E., Murphy, M., Kapp, P., MacMillan, I., Ramos-Velazquez, E., Aranda-Gomez, J., 1999, Range-front fault scarps of the Sierra El Mayor, Baja California: Formed above a low-angle normal fault? : *Geology*, v. 27, pp. 247–250

Axen, G.J., & Fletcher, J.M., 1998, Late Miocene–Pleistocene extensional faulting, northern Gulf of California, Mexico and Salton Trough, California: *International Geology Review*, v. 40, pp. 217–244.

Axen, G. J., 1995, Extensional segmentation of the Main Gulf Escarpment, Mexico and United States: *Geology*, 23(6), pp. 515-518.

Bard P. & Bouchon M., 1985, The two dimensional resonance of sediment filled valleys. *Bull. Seism. Soc. Amér.*, vol. 75, pp. 519-541.

Barreca, G., Bonforte A., Neri M., 2012, A pilot GIS database of active faults of Mt. Etna (Sicily): A tool for integrated hazard evaluation, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*.

Beal, C H., 1948, *Reconnaissance Geology and Oil Possibilities of Baja California, Mexico*, Waverly, Baltimore, Md. 138 pp

Böse, E., 1903, Informe sobre los temblores de Zanatepec a fines de septiembre de 1902 y sobre el estado actual del volcán de Tacaná, Vol. 1, *Parergones del Instituto Geológico*, pp.25.

Brown, M.L. & Dyer, R., 1987, Mesozoic geology of northwestern Chihuahua, Mexico, in Dickinson, W.R. (ed.), *Mesozoic Rocks in Southern Arizona and Adjacent Areas: Arizona Geological Society Digest 18*, pp. 381-394.

Busch, M.M., Arrowsmith, J, Umhoefer, P.J., Cayan, J.A., Maloney, S.J., y Martínez-Gutiérrez, G., 2011, Geometry and evolution of rift-margin, normal-fault–bounded basins from gravity and geology, La Paz–Los Cabos region, Baja California Sur, Mexico, *Lithosphere*, v. 3, p. 110-127

Castro R., 2015, Seismicity in the Basin and Range Province of Sonora, México, between 2003 and 2011, near the Rupture of the 3 May 1887 Mw 7.5 Earthquake, *Geofísica Internacional*, 54-1, pp 83-94.

Chang-Guk S. Sung-Ho C., Tae-Gyun H., Choong-Ki C., Dong-Soo K., 2008, Development and application of a GIS-based tool for earthquake-induced hazard prediction, *Computers and Geotechnics* 35, pp. 436–449.

Chora-Salvador, J.M., 2003, Análisis cinemático de fallas neogénicas normales de alto y bajo ángulo en la Sierra Cucapá, Baja California, Mexico, Tesis de Maestría, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), pag. 107

Cicioglu E. 2012, Use of GIS to discover potential coalfields in Yatagan–Milas area in Turkey, *International Journal of Coal Geology* 98, pp. 95–109.

Clemente-Chávez A., Figueroa-Soto A., Zúñiga F.R., Montiel M., Chavéz O., 2013, Seismicity at the northeast edge of the Mexican Volcanic Belt (MVB) and activation of an undocumented fault: the Peñamiller earthquake sequence of 2010–2011, Querétaro, Mexico, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 13, pp. 2521–2531

Collins E. W., Raney J. A., Machette M. N., Haller K.M., & Dart, R.L., 1996, Map and data for Quaternary faults in west Texas and adjacent parts of Mexico: U.S. Geological Survey Open-File Report 96-002, 74 p., 1 plate (1:500,000 scale).

Collins, E.W., & Raney, J.A., 1993, Late Cenozoic faults of the region surrounding the Eagle Flat study area, northwestern trans-Pecos Texas: Technical report to Texas Low-Level Radioactive Waste Disposal Authority, under Contract IAC(92-93)-0910, 74 p.

Collins, E.W., & Raney, J., 1991, Neotectonic history and geometric segmentation of the Campo Grande fault: A major structure bounding the Hueco basin, trans-Pecos Texas: *Geology*, v. 19, p. 493-496.

Comisión Nacional para el Conocimiento y el Uso de la Biodiversidad CONABIO, Portal de Geoinformación, Sistema Nacional de información sobre la Biodiversidad <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

Cornell, C. A., 1968, Engineering seismic risk analysis. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 58, pag. 1583-1606.

Cox, A., 1973, *Plate Tectonics and Geomagnetic Reversals*. W. H. Freeman and Co., EUA.

Coyan M. M., Arrowsmith J. R., Umhoefer P., Coyan J., Kent G., Driscoll N. & Martínez-Gutiérrez G., 2013, Geometry and Quaternary slip behavior of the San Juan de los Planes and Saltito fault zones, Baja California Sur, Mexico: Characterization of rift-margin normal faults. *Geosphere*; June 2013; v. 9; no. 3; p. 426–443

Cruz-Carrillo M., 2002, Catálogo de las fallas regionales activas en el norte de Baja California, México, *Geos, Unión Geofísica Mexicana*, A. C. Abril, 2002, p. 37-42.

Dávalos-Álvarez O. G., 2006, Evolución Tectónica Cenozoica En La Porción Norte De La Falla De Oaxaca, Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México. pp. 132.

Dávalos-Álvarez, O.G., Nieto-Samaniego, A.F., Alaniz-Álvarez, S.A., Gómez-González, J.M., 2005, Las fases de deformación cenozoica en la región de Huimilpan, Querétaro, y su relación con la sismicidad local: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 22, pp. 129–147.

De Cserna Z. ,1989, An outline of the geology of Mexico, in *The Geology of North America -An Overview*, *Geol. Soc. of Am. ,Boulder Colo.*, edited by A.W. Bally, and A.R. Palmer p.p.2 33-264.

Delgado-Argote L.A. Hurtado-Brito J. C., Avilez-Serrano 2012 P., Gómez-Castillo, G., Factores geológicos y antrópicos de riesgo en Tijuana, Baja California, División de Ciencias de la Tierra, CICESE, Ensenada, Baja California, pp. 342-366.

Delgado, H., - Nieto -Obregon J., Lermo-Samaniego J. F., Silva-Romo G., Mendoza-Rosales C. C., Campos-Enriquez J. O., 1997, La Pera fault system; a major active structure in central Mexico, Eos Trans. AGU, 78(46), Fall Meet. Suppl., F823. pp.21

DeMets, C. & Traylen S., 2000, Motion of the Rivera plate since 10 Ma relative to the Pacific and North American plates and the mantle, Tectonophysics, 318, 1-4, pp. 119-160.

DeMets C., Gordon R. M., Argus D. F., Stein S., 1990, Current plate motions, Geophysical Journal International, 101, pp. 425-478.

Díaz, E. C., & Mooser F., 1972, Formación del graben de Chapala: Mazatlán, Sociedad Geológica Mexicana, Convención Nacional, Resúmenes pp. 144-145.

Diaz-Torres J. J., Fletcher J. M. Spelz-Madero R. M. Martín-Barajas A., Suárez-Vidal F., 2012, Geomorfometría del Escarpe Principal del Golfo de California. Análisis comparativo entre dos segmentos del rift: Sierra San Pedro Mártir y Sierra Juárez, Baja California, México, Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 29, núm. 3, 2012, p. 590-610.

Dixon T., Decaix J., Farina F., Furlog K., Malservisi R., Bennett R., Suárez-Vidal F., Fletcher J., Lee J., 2002, Seismic cycle and rheological effects on estimation of present-day slip rates for the Agua Blanca and San Miguel-Vallecitos faults, northern Baja California, Mexico., Journal Of Geophysical Research, Vol. 107, No. B10, 2226.

Dokka, R.K., & Merriam, R.H. 1982, Late Cenozoic extension of northeastern Baja California, Mexico: Geological Society of America Bulletin, 93, pp. 371-378.

Dorsey, R. J., Umhoefer P. J., Renne P. R., 1994, Rapid subsidence and stacked- Gilbert-type fan deltas, Pliocene Loreto basin, Baja California Sur, Mexico: Sedimentary Geology, v. 98, pp. 181-204.

DuBois, S. M., Smith A. W., Nye N. K., Nowak Jr T. A., 1982, Arizona earthquakes, 1776–1980, State of Arizona, Bureau of Geology and Mineral Technology, Bulletin 193, 456 pp.

Engdahl R. E., & Rinehart W. A., 1988, Seismicity Map of North America: Boulder, Colorado, Geological Society of America, Continent- Scale Map 004, scale 1: 5 000 000.

Esteva, L., & Rosenblueth E., 1964, "Espectros de temblores a distancias moderadas y grandes". Bol. Soc. Mex. Ing. Sis., vol. 2, pp. 1-18.

Faccioli E. & Reséndiz D., 1976, Soil dynamics: behaviour including liquefaction, en Seismic Risk and Engineering Decisions, C. Lomnitz y E. Rosenblueth (comps.), Elsevier Scientific Publish. Co., Países Ba os, pp. 71-139.

Ferrari L., Orozco-Esquivel T., Manea V., Manea M., 2012, The dynamic history of the Trans-Mexican Volcanic Belt and the Mexico subduction zone, *Tectonophysics* 522–523, pp. 122–149.

Ferrari L., Suter M, Aranda-Gómez J. J., Pérez-Venzor J. A., Ortega-Gutiérrez F., Roldán-Quintanar J., Centeno-García E., Calmus T., Bandy B., Delgado-Granados H., Quintero-Legorreta O., Machette M. N., Pearthree P. A., Mayer L., Muller K., Schug D., Hatch M., Dart R. L., Bradley L., 2002, Map and database of quaternary faults and folds in Mexico and its offshore region, International Lithosphere Program Task Group II-2 “Major Active Faults of the World”, USGS, 275 pag. Texto Inédito.

Ferrari, L. & Capra L., 2001, Quaternary normal faulting south of Mexico City and its role in controlling Holocene monogenetic volcanic activity and sector collapse of stratovolcanoes, paper presented at First International Workshop on Effects of Basement Structural and Stratigraphic Heritages on Volcano Behavior and Implications for Human Activities, IGCP Proj. 455, UNESCO-IUGS-IGCP, Milan, Italy, 9 – 10 July

Ferrari, L., & Rosas-Elguera, J., 2000, Late Miocene to Quaternary extension at the northern boundary of the Jalisco Block, western Mexico—The Tepic-Zacoalco Rift revised, *Cenozoic tectonics and volcanism of Mexico: Geological Society of America Special Paper 334*, pp. 41-63.

Ferrari L., 1995, Miocene shearing along the northern boundary of the Jalisco block and the opening of the southern Gulf of California, *Geol. Soc. of Am.*, 23, 8, pp. 751-754.

Ferrari L., Pasquaré G., Venegas S., Castillo D. & Romero F., 1994, Regional tectonics of western Mexico and its implications for the northern boundary of the Jalisco Block: *Geofísica Internacional*, v. 33, pp. 139-151.

Ferrari, L., Garduño V.H., Pasquaré G., and Tibaldi A., 1991, Geology of Los Azufres caldera, Mexico, and its relationship with regional tectonics: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 47, pp. 129-148.

Figueroa, J., 1973, Sismicidad en Chiapas, Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, pp 37.

Figueroa, J., 1963. Historia sísmica y estadística de temblores de la costa occidental de México. *Bol. Bibliogr. Geofís. Oceanogr. Am* 3, pp. 107-134.

Fletcher J.M., Terán O. J., Rockwell T. K., Oskin M. E., Hudnut K. W., Mueller K. J., Spelz R. M., Akciz S. O., Masana E., Faneros G., Fielding E.J., Leprince S., Morelan A E., Stock J., Lynch D. K., Elliot A. J., Gold P., Liu-Zen J., González-Ortega A., Hinojosa-Corona A., González-García J., 2014, Assembly of a large earthquake from a complex fault system: Surface rupture kinematics of the 4 April 2010 El Mayor–Cucapah (Mexico) Mw 7.2 earthquake, *Geosphere*, V. 10, No. 4, pp. 797–827.

Fletcher J.M. & Spelz R.M, 2009, Patterns of Quaternary deformation and rupture propagation associated with an active low-angle normal fault, Laguna Salada, Mexico: Evidence of a rolling hinge?, *Geosphere*, v. 5, no. 4, pp. 385–407.

Fletcher J.M. & Munguia L., 2000, Active continental rifting in southern Baja California, Mexico Implications for plate motion partitioning and the transition to seafloor spreading in the Gulf of California, *Tectonics*, Vol. 19, No. 6, Pages 1107-1123.

Franco, S. I., Kostoglodov V., Larson K. M., Manea V. C., Manea M. & Santiago J. A., 2005, Propagation of the 2001– 2002 silent earthquake and interplate coupling in the Oaxaca subduction zone, Mexico, *Earth Planets Space*, 57, pp. 973– 985.

Frez, J., & Frías-Camacho, V.M., 1998, Mapas anuales de sismicidad para la región fronteriza de ambas Californias: *GEOS*, 18(2), pp. 112-130.

Frez, J., & González, J. J., 1991, Crustal structure and seismotectonics of northern Baja California, in Dauphin, J. P., and Simoneit, B. T., eds., *The Gulf and Peninsular Provinces of the Californias: American Association of Petroleum Geologists Memoir 47*, pp. 261–283.

Gaitán-Morán J., 1986, On neotectonic evidences in the southern peninsular region, Baja California Sur, Mexico: Enschede (Holanda), International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences, M. Sc. thesis, 110 p.

Galván-Ramírez I. N. & Montalvo-Arrieta J. C., 2008, The historical seismicity and prediction of ground motion in northeast Mexico, *Journal of South American Earth Sciences* 25 pp. 37–48.

Ganas, A. & Papoulia, I., 2000, High-resolution, digital mapping of seismic hazard within the Gulf of Evia Rift, central Greece using normal fault segments as line sources. *Natural Hazards*, 22. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 203–223.

García-Acosta, V. & Suárez-Reynoso G., 1996. *Los sismos en la historia de Mexico*, Primera Edición, Fondo de Cultura Económica, Mexico, 718 pp.

García-Mayordomo J., Insua-Arévalo J.M., Martínez-Díaz J.J., Jiménez-Díaz A., Martín-Banda R., Martín-Alfageme S., Álvarez-Gómez J.A., Rodríguez-Peces M., Pérez-López R., Rodríguez-Pascua M.A., Masana E., Perea H., Martín-González F., Giner-Robles J., Nemser E.S., Cabral J., the QAFI Compilers Working Group, 2012, The Quaternary Active Faults Database of Iberia (QAFI v.2.0), *Journal of Iberian Geology*, 38(1): pp. 285-302.

Gastil, R.G., Phillips, R., Allison, E., 1975, Reconnaissance geology of the state of Baja California, *Geological Society of America, Memoir 140*, pag. 170.

Giardini D., Grünthal G., Shedlock K., Zhang P., 1999, Global Seismic Hazard Map, Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP), International Lithosphere Program.

Gilbert, G.K., 1884, A theory of the earthquakes of the Great Basin: American Journal of Science, v. 27, p. 49: American Journal of Science, v. 27, pp. 49-53.

Gómez-González, J.M., León-Loya, R.A., & López-Valdivia. E.N., 2013, Reporte sobre la sismicidad en el Municipio de Peñamiller, Querétaro. Entregado a Protección Civil del Estado de Querétaro. pp. 12.

Gómez-González, J.M., Barboza-Gudiño, R., Luque-Vergara N.A. & Figueroa-Soto. A.G., 2008 Segundo Reporte sobre la sismicidad en los Municipios de Landa de Matamoros y Jalpan de Serra, Querétaro. Entregado a Protección Civil del Estado y al Gobierno Municipalidad de Landa de Matamoros, Qro. pp. 15.

Gonzalez-Ortega, A., Fialko Y., Sandwell D., Nava-Pichardo F.A., Fletcher J., Gonzalez-Garcia J., Lipovsky B., Floyd M., Funning G., 2014, El Mayor-Cucapah (Mw 7.2) earthquake: Early near-field postseismic deformation from InSAR and GPS observations, J. Geophys. Res. Solid Earth, 119, pp. 1482–1497.

Gracia-Marroquín D. A. 2013, Simulación de sistemas gravitacionales ligados extensión-acortamiento en la zona del golfo de México norte, mediante modelos analógicos. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Geociencias, pp. 146.

Gutenberg B., & Richter C.F., 1956, Earthquake magnitude, intensity, energy, and acceleration, Bull. Seism. Soc. Am. 46, pp. 105-145.

Gutenberg B., & Richter C.F., 1952, Intensity of Ground Motion during Strong Earthquakes, Calif. Inst. of Tech., Techn. Report Project NR-081-095. Pp.59

Guzmán-Speziale M., 2010, Beyond the Motagua and Polochic faults: Active strike-slip faulting along the Western North America–Caribbean plate boundary zone, Tectonophysics 496, p. 17-27.

Guzmán-Speziale M. & Meneses Rocha J.J., 2000, The North America-Caribbean plate boundary west of the Motagua-Polochic fault system: a fault jog in Southeastern Mexico, Journal of South American Earth Sciences 13 (2000) pp. 459 468

Hamilton, W., 1971, Recognition on space photographs of structural elements of Baja California, U.S. Geol. Surv. Prof Pap., 718, 26 pp

Hanks, T. & Kanamori, H., 1979, A moment magnitude scale, Journal of Geophysical Research 84: 2348-2350.

Harris, J.M. & Carmichael I, S.E., 1984, Siliceous volcanics around volcán de Tequila, Jalisco, Mexico Geological Society of America Abstract with Programs, v. 16, p. 530.

Hauksson E., Stock J., Hutton k., Yang W, Vidal-Villegas J. A. , Kanamori H., 2011, The 2010 Mw 7.2 El Mayor-Cucapah Earthquake Sequence, Baja California, Mexico and Southernmost California,

USA: Active Seismotectonics along the Mexican Pacific Margin. *Pure Appl. Geophys.* 168, pp. 1255–1277.

Hausback, B.P., 1984, Cenozoic volcanic and tectonic evolution of Baja California Sur, Mexico, in *Geology of the Baja Peninsula*, vol. 39, edited by V.A. Frizzell, pp. 219-236, *Pac. Sect. Soc. Of Econ. Paleontol. and Mineral.*, Los Angeles, Calif.

Henry, C.D., 1998, Basement-controlled transfer zones in areas of low-magnitude extension, eastern Basin and Range province, Trans-Pecos Texas, *Accommodation zones and transfer zones: The regional segmentation of the Basin and Range province: Geological Society of America Special Paper 323*, p. 75-88.

Henry, C.D., Gluck, J.K. & Bockoven, N.T., 1985, *Tectonic map of the Basin and Range Province of Texas and adjacent Mexico: The University of Texas at Austin, Bureau of Economic Geology, Miscellaneous Map 36*, 1 sheet, scale 1:500,000.

Hirabayashi C.K., Rockwell T. K., Wesnousky S. G., Stirling M. W. & Suarez-Vidal F., 1996, A Neotectonic Study of the San Miguel-Vallecitos Fault, Baja California Mexico, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 86, No. 6, pp. 1770-1783.

Hauksson, E., Stock J., Hutton K., Wenzheng Y., Vidal-Villegas J. A., Kanamori H., 2010, The 2010 Mw 7.2 El Mayor-Cucapah earthquake sequence, Baja California, Mexico and southernmost California, USA: Active seismotectonics along the Mexican pacific margin, *Pure Appl. Geophys.*, 168, pp. 1255–1277.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI, 2014, Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0, <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/descarga.aspx>.

Iglesias, A., Singh S. K., Lowry A., Santoyo M., Kostoglodov V., Larson K. M. & Franco-Sánchez S. I., 2004. The silent earthquake of 2002 in the Guerrero seismic gap, Mexico (Mw = 7.6): Inversion of slip on the plate interface and some implications, *Geofís. Int.*, 43, 309– 317

Kanamori, H. 1977, "The energy release in great earthquakes". *J. Geophys. Res.*, vol. 82, pp. 1981-1987.

Kauahikaua, J., Margriter S. & Moore R. B., 1995, GIS-aided volcanic activity hazard analysis for the Hawaii geothermal project environmental impact statement. *Natural Hazards*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 235–257.

Ki-Dong K., Saro L., Hyun-Joo O., Jong-Kuk C., Joong-Sun W., 2006, Assessment of ground subsidence hazard near an abandoned underground coal mine using GIS, *Environ Geol*, 50, pp. 1183–1191.

La verdad Multimedia S.A., 2014, *La Cartografía actual: topografía, ortofotos e imágenes de satélites*. www.atlasdemurcia.com/index.php/secciones/3/cartografia-actual-topografica-ortofotos-satelite/1/

Lacan, P., 2013, Paleosismología, caracterización de fallas sismogénicas y segmentación estructural en el Graben de Acambay (México), Seminario Institucional del CICESE, Ensenada, México.

Lacan P. & Ortuño M., 2012, Active Tectonics of the Pyrenees: A review, *Journal of Iberian Geology* 38 (1) 2012: pag. 9-30

Langridge R. M., Weldon II R. J., Moya J. C. & Suárez G., 2000, Paleoseismology of the 1912 Acambay earthquake and the Acambay-Tixmadejé fault, Trans-Mexican Volcanic Belt, *Journal Of Geophysical Research*, Vol. 105, No. B2, Pag. 3019-3037.

Langridge R. M., Persaud, M., Zúñiga, F.R., Aguirre-Díaz G.J., Villamor, P., y Lacan, P., 2013 Preliminary paleoseismic results from the Pastores fault and its role in the seismic hazard of the Acambay graben, Trans-Mexican Volcanic Belt, Mexico, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 30, núm. 3, pp. 463-481.

Legg, M.R. Wong O., Suarez V., 1991, Geologic structure and Tectonics of the Inner Continental Bordeland of the Northern Baja California, en Dauphin, J. P., y Simoneit, B., (eds.), *The Gulf and Peninsular Province of the Californias*, AAPG Memoir, 47, pp. 145- 196.

León-Loyola 2014, Estado y clasificación de la microsismicidad en la parte central de la sierra madre oriental, Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Geociencias, Tesis de Maestría, pp. 114.

León-Loya, R. A., 2010, Estudio de sismicidad en la Sierra Gorda de Querétaro y sus implicaciones tectónicas, Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Nuevo León.

León-Soto G., Ni J. M., Grand S. P., Sandvol E., Valenzuela R., Guzmán-Speziale M., Gómez-González J.M. Domínguez-Reyes T., 2009, Mantle floor in the Rivera-Cocos subduction zone. *Geophysics Journal International*.

Leone F. & Lesales T. 2009, The interest of cartography for a better perception and management of volcanic risk: From scientific to social representations The case of Mt. Pelée volcano, Martinique (Lesser Antilles), *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 186, pp. 186–194.

López-Loera, H., Urrutia-Fucugauchi J., Alva-Valdivia L., 2011, Estudio aeromagnético del complejo volcánico de Colima, occidente de México – implicaciones tectónicas y estructurales, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, Vol. 28, núm. 3, pp. 349-370.

López-Valdivia, E. N. 2014, Aplicación de métodos geofísicos en el estudio de la estructura cortical superficial en el municipio de Landa de Matamoros, Querétaro, Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Geociencias.

Macías, E., 2007, Estilos estructurales en el golfo de México frente a la costa de Tamaulipas Resúmenes Simposio AMGP Delegación Tampico Evaluación de Plays: Hábitat de Hidrocarburos 8-9 Noviembre, 2007, Tampico, Tampico.

Maloney S. J., 2009, Late Quaternary faulting history of the Northern El Carrizal Fault, Baja California Sur, México., Tesis de Maestría, Northern Arizona University, pp 208.

Mancini F., Ceppi C. & Ritrovato G., 2010, GIS and statistical analysis for landslide susceptibility mapping in the Daunia area, Italy, *Nat. Hazards Earth System Sciences*, 10, pp. 1851–1864.

Manea V., Manea M., Kostoglodov V., Currie C. A., & Sewell G., 2004. Thermal structure, coupling and metamorphism in the Mexican subduction zone beneath Guerrero, *Geophys. J. Int.*, 158, 775–784

Martínez López M.R., 2011, Estudio Sísmico De La Estructura Corticalen El Bloque De Jalisco A Partir De Registros Locales Del Proyecto MARS, Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Geociencias, Tesis de Maestría, pp. 136.

Martínez-Reyes, J., & Nieto-Samaniego A.F., 1991 (1990), Efectos geológicos de la tectónica reciente en la parte central de México: Universidad Nacional de México, Instituto de Geología Revista, v. 9, no. 1, p. 33-50.

Mason D. B., 1996, Earthquake magnitude potential of the intermountain seismic belt, USA, from surface-parameter scaling of late Quaternary faults, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 86, pp. 1487–1506.

Mc Calpin, J.P., 2009, *Paleoseismology*, 2nd Edition, Academic Press Inc., 848 p., California.

McKenzie, D. & Parker, R. 1967, The North Pacific, an example of tectonics on a sphere. *Nature*, vol. 216, pp. 1276-1280.

Mena-Hernández U., & Pérez-Rocha L.E., 2008, Manual de Diseño de Obras Civiles Diseño por Sismo, Gerencia de Ingeniería Civil, Instituto de Investigaciones Eléctricas, Comisión Federal de Electricidad, CFE, pp. 745.

Mendoza-Ponce A. R., 2012, Estudio De La Estabilidad Del Valor B Para Regiones Sismotectónicas De México, Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, pp 127.

Michael E. O., Arrowsmith J. R., Hinojosa-Corona A., Elliott A. J., Fletcher J. M., Fielding , Gold P. G., Gonzalez-Garcia J. J., Hudnut K. W., Liu-Zeng J., Teran J.O., 2012, Near-Field Deformation from the El Mayor–Cucapah Earthquake Revealed by Differential LIDAR, *Science*, Vol 335, pp. 702-705.

Michaud F., Calmus T., Sosson M., Royer J., Bourgois J., Chabert A., Bigot-Cormier F., Bandy B., Mortera-Gutiérrez C., Dymont J., 2005, La zona de falla Tosco-Abrejos: un sistema lateral derecho activo entre la placa Pacífico y la península de Baja California. *Boletín De La Sociedad Geológica Mexicana Volumen Conmemorativo Del Centenario Grandes Fronteras Tectónicas De México Tomo LVII, Núm. 1*, pp. 53-63.

Michaud F., Quintero, O., Calmus, T., Bourgois, J., and Barrier, E., 1993, La dépression de Amatlàn de Cañas (Ouest du Mexique)—Distension néogène dans la zone nord du Bloc Jalisco: Paris, *Compte Rendue Academie des Sciences du Paris*, v. 312, no. II, p. 251-258.

Minster, J. B. & Jordan, T. H., 1978, Present-day plate motions, *Journal of Geophysical Research*, 83, pp. 5331-5354.

Morán-Zenteno, Cerca M., Keppie J. D., 2007, The Cenozoic tectonic and magmatic evolution of southwestern Mexico: Advances and problem of interpretation, *Geology of Mexico, Celebrating the Centenary of the Geological Society of Mexico. Spec. Pap. Geol. Soc. Am.*, 422, 71–91.

Moore G., Marone C., Carmichael I, S.E. and Renne P., 1994, Basaltic volcanism and extension near the intersection of the Sierra Madre volcanic province and the Mexican Volcanic Belt: *Geological Society of America Bulletin*, v. 106, p. 383-394.

Movarec, D. 1983, Study of the Concordia Fault System near Jericó, Chiapas, México, University of Texas, Arlington, Tesis de Maestría, pp. 148.

Mueller, K.J., & Rockwell, T.K., 1995, Late Quaternary activity of the Laguna Salada fault in northern Baja California, Mexico: *Geological Society of America Bulletin*, v. 107, pp. 8–18.

Mueller, K., & Rockwell, T., 1991, Late quaternary structural evolution of the western margin of the sierra Cucapa, Northern Baja California, in: J.P. Dauphin and B.R.T. Simoneit, editors, *The Gulf and Peninsular Province of the Californias*, American Association of Petroleum Geologists, Memoir 47, p. 249-260.

Munguia-Orozco, L., 1995, El temblor de La Paz, Baja California Sur, del 30 de junio de 1995: Ensenada, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, 12 páginas.

Munguia L. & Brune J., 1984, Local magnitude and sediment amplification observations from earthquakes in Northern Baja California-Southern California region, *Bull. Seism. Soc. Amer.*, vol. 74, pp. 107-119.

Nakata, J.K., Wentworth, C.M., and Machette, M.N., 1982, Quaternary fault map of the Basin and Range and Rio Grande rift provinces, western United States: U.S.G.S. Open-File Report 82-579, 2 maps, 1:2,500,000 scale.

Nava, A., 1998. *Terremotos. Tercera Edición. Fondo de Cultura Económica. La ciencia desde México.* México, pp. 34 - 157.

Natali, S. G., & M. L. Sbar, 1982. Seismicity in the epicentral region of the 1887 northeastern Sonora earthquake, Mexico, *Bull. Seism. Soc. Am.* 72, pp. 181–196.

Neteler M. & Mitasova H., 2008, *Open Source Gis a GRASS Gis Approach*, Third Edition, Springer Science+Business Media, LLC, pp 406.

Nieto-Samaniego, A. F., 2006, Latest Cretaceous to Miocene deformation events in the eastern Sierra Madre del Sur, Mexico, inferred from the geometry and age of major structures, *Geol. Soc. Am. Bull.*, 118, 238– 252.

Nieto-Samaniego, A. F., Alaniz-Álvarez S. A., Camprubí Cano A., 2005, La Mesa Central de México: estratigrafía, estructura y evolución tectónica cenozoica. Boletín De La Sociedad Geológica Mexicana Volumen Conmemorativo Del Centenario Temas Selectos De La Geología Mexicana Tomo LVII, Núm. 3, pp. 285-318

Nixon, G.T., Demant A., Armstrong R.L., and Harakal J. E., 1987, K-Ar and geologic data bearing on the age and evolution of the Trans-Mexican Volcanic Belt, *Geofís Int.*, Vol. 26, pp. 109-158.

Norini G., Capra L., Borselli L., Zuñiga R., Sarocchi D., 2010, Large scale landslides triggered by Quaternary tectonics in the Acambay graben, Mexico: Earth Surface processes and Landforms.

Norini G., GropPELLI G., Lagmay A. M. F., Capra L., 2006, Recent left-oblique slip faulting in the central eastern Trans-Mexican Volcanic Belt: Seismic hazard and geodynamic implications, *Tectonics*, Vol. 25, TC 4012, pp. 21

Noyola-Medrano, M.C., 1995, Estudio comparativo de la geología y morfología de algunos conos cineríticos en los campos volcánicos de Camargo, Chihuahua y San Quintín, B.C.: San Luis Potosí, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ingeniería, Tesis Profesional, 99 p.

Ortega-Gutiérrez, F., Mitre-Salazar, L.M., Roldán-Quintana, J., Aranda-Gómez, J.J., Morán-Centeno, D., Alaniz-Alvarez, S.A., & Nieto-Samaniego, A.F., 1992, Carta geológica de la República Mexicana: Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, Distrito Federal, scale 1:2,000,000.

Ortega-Gutiérrez, F., Mitre-Salazar, L. M., Alaniz-Álvarez, S. A., Roldán-Quintana, J., Aranda-Gómez, J.J., y Morán-Zenteno, D. J., Geologic Provinces of Mexico, a new proposal and bases for their modern definition: Convención Evol. Geol. México y Primer Congreso Mex. Mineralogía, Pachuca Hidalgo. Memoria pp. 143-144.

Ortuño M., Zúñiga F.R., Aguirre G., Carreon D., Cerca M., Roverato M., 2012, Holocene earthquakes recorded at the tip of the pastores fault system (central Mexico), 3rd INQUA-IGCP-567 International Workshop on Active Tectonics, Paleoseismology and Archaeoseismology, Morelia, Mexico.

Oviedo-Padrón E.G., 2008, Tectónica De La Sierra Cuesta El Infierno, Chihuahua Y Su Relación Con El Levantamiento De Plomosas, Tesis de Maestría, Centro De Geociencias, Posgrado En Ciencias De La Tierra. Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 117

Oviedo-Padrón, E.G., Aranda-Gómez J. J., Chávez-Caballero G., Molina-Garza R. S., Iriondo A., González-Becerra P. C., Cervantes-Corona J.A., Solorio-Munguia J. G., 2010, Tectónica de la Sierra Cuesta El Infierno y su posible relación con fallas reactivadas cerca del levantamiento de Plomosas, Chihuahua, México: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 27, núm. 3, p. 389-411.

Pacheco, J.F., Mortera-Gutiérrez C.A., Delgado H., Singh S.K., Valenzuela R.W., Shapiro N.M., Santoyo M.A., Hurtado A., Barrón R., Gutiérrez-Moguel E., Tectonic significance of an earthquake

sequence in the Zacoalco half-graben, Jalisco, Mexico, *Journal of South American Earth Sciences*, 12 pp. 557-565.

Pacheco, J.F. & Sykes, L.R., 1992, Seismic moment catalog of large, shallow earthquakes, 1900–1989, *Bulletin of the Seismological Society of America* 82, pp. 1306–1349.

Padilla-Sánchez R., 2013, Tectonic Map of Mexico 2013, División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Distrito Federal, escala 1:2,000,000.

Pardo, M., & G. Suárez, 1995, Shape of the subducted Rivera and Cocos plates in southern Mexico: Seismic and tectonic implications, *J. Geophys. Res.*, 100, 12,357– 12,373.

Pareschi, M.T., 2002, Evaluation of volcanic fallout impact from Vesuvius using GIS. In: Briggs, D.J., *et al.* (Ed.), *GIS for Emergency Preparedness and Health Risk Reduction*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 101–114.

Pareschi, M.T., Cavarra L., Favalli M., Giannini F., Meriggi A., GIS and volcanic risk management, *Natural Hazards*, 21, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 361–379.

Pasquaré, G., Ferrari, L., Garduño, V.H., Tibaldi, A., and Vezzoli, L., 1991, Geologic map of the central sector of the Mexican Volcanic Belt, states of Guanajuato and Michoacán, Mexico: Geological Society of America, Map and Chart Series MCH072.

Perez-Campos X., Kim Y. H., Husker A., Davis P. M., Clayton R. W., Iglesias A., Pacheco J. F., Singh S. K., Manea V. C., Gurnis M., 2008, Horizontal subduction and truncation of the Cocos Plate beneath central Mexico, *Geophys. Res. Lett.*, 35.

Plattner, C., Malservisi, R., Dixon, T.H., LaFemina, P., Sella, G.F., Fletcher, J., Suarez-Vidal, F., 2007, New constraints on relative motion between the Pacific Plate and Baja California microplate (Mexico) from GPS measurements: *Geophysical Journal International*, 170, pp. 1373-1380.

Ramírez-Herrera M. T., 1998, Geomorphic Assessment of Active Tectonic in the Acambay Graben, Mexican Volcanic Belt, *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol 23, pp. 317-332.

Reyes, A, Brune J., Barker T., Canales L., Madrid J., Rebollar J., Munguia L., 1975, A microearthquake survey of the San Miguel fault zone, Baja California, Mexico, *Geophys. Res. Lett.*, 2, pp. 56– 59.

Reiter L., 1990, *Earthquake Hazard Analysis, Issues and Insights*, Columbia University Press, New York.

Richter, C., 1935, An instrumental Earthquake magnitude scale, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 25, 1-52.

Robin, C., 1982, Mexico, in *Andesites Orogenic Andesites, and Related Rocks*, edited by R.S. Thorpe, , John Wiley, New York pp. 137-147

Rockwell, K. T., 1987, Late Quaternary rates Agua Blanca and borderland faults: Final Technical Report USGS, contract No. 14-08-0001-22012, 122 pp.

Rosas-Elguera, J. Ferrari, L., Garduño, V.H, Urrutia-Fucugauchi, J.,1996, Continental boundaries of the Jalisco block and the their influence in the Pliocene-Quaternary kinematics of western Mexico, *Geology*, 24, 10, pp. 921-924.

Rosas-Elguera, J. & Urrutia-Fucugauchi J., 1998, Tectonic Control of the Volcano-Sedimentary Sequence of the Chapala Graben, Western Mexico, *International Geology Review*, 40, pp. 350-362.

Szabo B.J, Hausback B. P., Smith J.T., 1990, Relative inactivity during the last 140,000 years of a portion of the La Paz fault, southern Baja California Sur, Mexico: *Environ. Geol. Water Sci.*, v. 2, pp. 119-122.

Salvi S., Quattrocchi F., Brunori C. A., Doumaz M. A., Billi A., Buongiorno F., Funicello R., Guerra M., Mele G., Pizzino L., Salvini F., 1999. A multidisciplinary approach to earthquake research: implementation of a geochemical geographical information system for the Gargano site, southern Italy. *Natural Hazards*, 20. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 255–278.

Seager, W.R., & Mack, G.H., 1994, *Geology of East Potrillo Mountains and vicinity*, Doña Ana County, New Mexico: New Mexico Bureau of Mines and Mineral Resources Bulletin 113, 28 p.

Servicio Geológico Mexicano SGM, 2007, Carta Geológica de la República Mexicana, escala 1:2000000.

Servicio Geológico Mexicano SGM, 2007, Texto Explicativo Carta Geológica de la República Mexicana, escala 1:2000000.

Singh, S. K., & M. Pardo, 1993. Geometry of the Benioff zone and state of stress in the overriding plate in central Mexico, *Geophys. Res. Lett.*, 20, 1483– 1486.

Simkin T., Tilling R.I., Vogt P.R., Kirby S.H., Kimberly P., Stewart D.B., 2006, *This Dynamic Planet, Word map Volcanoes, Earthquakes, Impact Craters, and Plate Tectonics*, U.S. Geological Survey, Smithsonian Institution.

Stein S. & Wysession M., 2003, *An introduction to Seismology, Earthquakes, and Earth Structure*, Primera publicación por Blackwell, pp 498.

Shor, Jr. G.G. & Roberts, E., 1958, San Miguel, Baja California Norte earthquakes of February 1956: *Seismological Society of America Bulletin*, v. 48, p. 101-116.

Spelz R.M., Fletcher J.M., Owen L.A., Caffee M.C., 2008, Quaternary alluvial-fan development, climate and morphologic dating of fault scarps in Laguna Salada, Baja California, Mexico, *Geomorphology* 102, pp. 578–594.

Stirling M., Goded T., Berryman K., Litchfield N., 2013, Selection of Earthquake Scaling Relationships for Seismic-Hazard Analysis, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 103, No. 6, pp. 1–19.

Stirling, M. W., Gerstenberger M. C., Litchfield N. J., McVerry G. H., Smith W. D., Pettinga J., Barnes P., 2008, Seismic hazard of the Canterbury region, New Zealand: New earthquake source model and methodology, Bull. New Zeal. Natl. Soc. Earthq. Eng. 41, pp. 51–67.

Stock, J. M., 1993, Tectónica de placas y la evolución del Bloque de Jalisco, México, GEOS, UGM Vol. 13, pp. 3-9.

Stock, J. M., & Hodges, K.V., 1989, Pre-Pliocene extension around the Gulf of California and the transfer of Baja California to the Pacific plate: Tectonics, 8(1), pp. 99-115.

Suárez-Vidal F., 2008, Shape and Dimensions of the Cerro Prieto Pull- Apart Basin, Mexicali, Baja California, Mexico, Based on the Regional Seismic Record and Surface Structures, International Geology Review, 50:7, pp. 636-649.

Suárez-Vidal, F., 1993, Marco estructural de la Falla Agua Blanca, Baja California, México. En: Delgado-Argote, L. A. y Martín-Barajas, A., Editores, Contribuciones a la Tectónica del Occidente de México, Unión Geofísica Mexicana, Monografía No. 1, pp. 24-39

Suárez-Vidal, F., *et al.*, 1991, Framework of recent and active faulting in northern Baja California. En: Paul Dauphin and Bernard Simoneit, Editors, The Gulf and Peninsular Province of the Californias. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 47, pp. 285-300.

Suárez, G., Garcia-Acosta, V., Gaulon, R., 1994. Active crustal deformation in the Jalisco block, Mexico: evidence for a great historical earthquake in the 16th century. Tectonophysics 234, pp. 117-127.

Suárez, G., & Singh S. K., 1986, Tectonic interpretation of the Trans-Mexican Volcanic Belt-Discussion, Tectonophysics, 127, 155-160.

Sullivan W., 1974, Continents in Motion. McGraw-Hill Book Co., EUA

Suñé-Puchol I., 2014, Estudio Neotectónico del Volcán Temascalcingo y de la actividad paleosísmica de la falla San Mateo (Graben de Acambay, Cinturón Volcánico Mexicano), Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Geociencias, Tesis de Maestría. p. 93.

Suter M., 2015, Rupture of the Pitáycachi Fault in the 1887 Mw 7.5 Sonora, Mexico earthquake (southern Basin-and-Range Province): Rupture kinematics and epicenter inferred from rupture branching patterns, J. Geophys. Res. Solid Earth. pp 25.

Suter M., 2008, Structural Configuration of the Otates Fault (Southern Basin and Range Province) and Its Rupture in the 3 May 1887 MW 7.5 Sonora, Mexico, Earthquake, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 98, No. 6, pp. 2879–2893.

Suter M. & Contreras J., 2002, Active Tectonics of Northeastern Sonora, Mexico (Southern Basin and Range Province) and the 3 May 1887 Mw 7.4 Earthquake, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 92, No. 2, pag. 581–589.

Suter M., López-Martínez M., Quintero-Legorreta O., Carrillo-Martínez M., 2001, Quaternary intra-arc extension in the central Trans-Mexican volcanic belt, *Geological Society of America Bulletin* 2001, 113, no. 6 pag. 693-703.

Suter, M., 2001, The historical seismicity of northeastern Sonora and northwestern Chihuahua (28–32° N, 106–111° W), *J. S. Am. Earth Sci.* 14, pp. 521–532

Suter, M., Quintero O., López M., Aguirre G., Farrar E., 1995, The Acambay graben—Active intra-arc extension in the Trans-Mexican volcanic belt, *Mexico: Tectonics*, v. 14, no. 6, p. 1245-1262.

Suter M., Carrillo M., López M., Farrar E., 1995, The Aljibes half-graben—Active extension at the boundary between the southern Basin and Range province and the Trans-Mexican volcanic belt, *Mexico: Geological Society of America Bulletin*, v. 107, no. 6, p. 627-641.

Suter, M., Quintero O., Johnson C. A., 1992, Active faults and state of stress in the central part of the Trans-Mexican volcanic belt, 1—The Venta de Bravo fault: *Journal of Geophysical Research*, v. 97, pp. 11,983-11,994.

Swanson, E. R., 1989, A new type of maar volcano from the State of Durango—the El Jagüey-La Breña complex reinterpreted: *Universidad Nacional Autónoma de México, Revista del Instituto de Geología*, 8, pp. 243-248.

Tucker, B. & King J., 1984, Dependence of sedimentfilled valley response on input amplitude and valley properties, *Bull. Seism. Soc. Amér.*, vol. 74, pp. 153-165.

Twiss R. J. & Mores E. M., 1992, *Structural Geology*, Cuarta edición, Editorial W.H. Freeman and Company, pp. 532.

Umhoefer, P. J., Mayer, L., Dorsey, R. J., 2002, Evolution of the margin of the Gulf of California near Loreto, Baja California Peninsula, Mexico: *Geological Society of America Bulletin*, v. 114, pp. 849 – 868.

Urbina F. & Camacho H., 1913, *Zona Megaseísmica Acambay-Tixmadeje, estado de México*. Instituto Geológico de México, Secretaría de Fomento.

U.S. Geological Survey and New Mexico Bureau of Mines and Mineral Resources, 2014, Quaternary fault and fold database for the United States, acesado en 2014 del USGS web site: <http://earthquake.usgs.gov/hazards/qfaults/>.

Velázquez M., 2013, Las Proyecciones Cartográficas. <http://carto1mexico-velazquez.blogspot.mx/2013/03/los-metodos-de-representacion.html>

Villamor, P., Berryman R. K. R., Webb T., Stirling M., McGinty P., Downes G., Harris J., Litchfield N., 2001, Waikato Seismic Loads: Revision of Seismic Source Characterisation, GNS Client Report 2001/59.

Wallace, T. C., & Pearthree P. A., 1989, Recent earthquakes in northern Sonora, Arizona Geology 19, no. 3, pp. 6–7.

Wallace, T. C., Domitrovic A. M. & Pearthree P. A., 1988, Southern Arizona earthquake update, Arizona Geology 18, no. 4, 6–7.

Wei S., Fielding E., Leprince S., Sladen A., Avouac J., Helmberger D., Hauksson E., Chu R., Simons M., Hudnut K., Herring T., Briggs R., 2011, Superficial simplicity of the 2010 El Mayor–Cucapah earthquake of Baja California in Mexico, Natural Geoscience, Vol 4, pp. 615–618.

Wells, D.L., & Coopersmith, K.J., 1994, New empirical relationships among magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture area and surface displacement. Bulletin Seismological Society of America 84: pp. 974-1002.

Wesnousky, S. G., 2008, Displacement and geometrical characteristics of earthquake surface ruptures: Issues and implications for seismichazard analysis and the process of earthquake rupture, Bulletin Seismological Society of America 98, no. 4, pp. 1609–1632.

Wilson J.T., 1976, Continents Adrift and Continental Aground, W. H. Freeman, San Francisco

Yamamoto, J., 1993, Actividad microsísmica en el área de Canatlán, Durango, y su relación con la geología regional: Geofísica Internacional, V. 32, núm. 3, pp. 501-510.

Yamamoto J., & Mota R., 1988, La secuencia de temblores del valle de Toluca, México, de agosto 1980, Geofís. Int., 27, pp. 279 – 298.

Zúñiga, F.R. Pacheco, .F., Guzmán-Speziale, M., Aguirre-Díaz, G.J. Espíndola, V.H., Nava, E.2003, The Sanfandila earthquake sequence of 1998, Querétaro, México: activation of an undocumented fault in the northern edge of central Trans-Mexican Volcanic Belt: Tectonophysics, v. 361, pp. 229–238.

Zúñiga F.R., Suárez G., Ordaz M., y García-Acosta V., 1997. Proyecto: Peligro Sísmico en Latinoamérica y el Caribe, Instituto Panamericano de Geografía e Historia, proyecto 89-0190.

Apéndice Base de Datos

Fallas Tipo A

Nombre de la Falla: Pitáycachi

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: N-S

Echado Promedio: 74°

Dirección promedio del Echado: W

Longitud (km): 43.8

Evidencia de la actividad: Sismos Históricos

Último Evento Sísmico: 1887

Magnitud del evento: 7.4

Desplazamiento Máximo del evento (cm): 487

Taza de deslizamiento: 0.015

Intervalo de Recurrencia (miles de años): 27

Referencia: Suter M. & Contreras J., 2002, Active Tectonics of Northeastern Sonora, Mexico (Southern Basin and Range Province) and the 3 May 1887 Mw 7.4 Earthquake, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 92, No. 2, pag. 581–589.

Observaciones 1: Sismos: 3 de Mayo 1887, Mw 7.4; 26 de Mayo 1907, MI 5.2

Observaciones 2: Microsismicidad: parte norte y sur de la falla

Observaciones 3: La falla corta Ignimbritas de la SMO y depósitos aluviales.

Nombre de la Falla: Teras

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: N-S

Echado Promedio: 74°

Dirección promedio del Echado: W

Longitud (km): 20.7

Evidencia de la actividad: Sismos Históricos

Último Evento Sísmico: 1887

Magnitud del evento: 7.4

Desplazamiento Máximo del evento (cm): 184

Taza de deslizamiento: 0.007

Intervalo de Recurrencia (miles de años): 26

Referencia: Suter M. & Contreras J., 2002, Active Tectonics of Northeastern Sonora, Mexico (Southern Basin and Range Province) and the 3 May 1887 Mw 7.4 Earthquake, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 92, No. 2, pag. 581–589.

Observaciones 1: Sismos: 3 de Mayo 1887, Mw 7.4; 26 de Mayo 1907, MI 5.2

Observaciones 2: Microsismicidad: parte norte la falla

Observaciones 3: La falla corta Ignimbritas de la SMO

Nombre de la Falla: Otates

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: N-S

Echado Promedio: 74°

Dirección promedio del Echado: W

Longitud (km): 18.9

Evidencia de la actividad: Sismos Históricos

Último Evento Sísmico: 1887

Magnitud del evento: 7.4

Desplazamiento Máximo del evento (cm): 220

Taza de deslizamiento: 0.006

Intervalo de Recurrencia (miles de años): 26

Referencia: Suter M. & Contreras J., 2002, Active Tectonics of Northeastern Sonora, Mexico (Southern Basin and Range Province) and the 3 May 1887 Mw 7.4 Earthquake, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 92, No. 2, pag. 581–589.

Observaciones 1: Sismos: 3 de Mayo 1887, Mw 7.4; 26 de Mayo 1907, MI 5.2

Observaciones 2: Eventos sísmicos al sur de la falla (área Granados).

Observaciones 3: La falla corta Ignimbritas de la SMO.

Nombre de la Falla: Pastores Este

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: E-W

Echado Promedio: 45-70°

Dirección promedio del Echado: N

Longitud (km): 33

Evidencia de la actividad: Paleosismología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.03

Intervalo de Recurrencia (miles de años): 12.5

Referencia: Langridge R. M., *et al.*, 2013 Preliminary paleoseismic results from the Pastores fault and its role in the seismic hazard of the Acambay graben, Trans-Mexican Volcanic Belt, Mexico, Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 30, núm. 3 pag. 463-481.

Observaciones 1: 3 paleoeventos: a) 12.2 a 12.6 ka, b) 23.9 a 34.6 ka, c) 31.5 a 41 ka

Observaciones 2: Despla. Max 50 cm Despla. prom. 30 cm. Magnitud Max 6.8

Observaciones 3: El graben Acambay es cortado por el sist, Fallas Taxco San Miguel de Allende

Nombre de la Falla: Pastores Oeste

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: E-W

Echado Promedio: 45-70°

Dirección promedio del Echado: N

Longitud (km): 10.8

Evidencia de la actividad: Paleosismología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.12

Intervalo de Recurrencia (miles de años): 12.5

Referencia: Ortuño M., et al., 2012, Holocene earthquakes recorded at the tip of the pastores fault system (central Mexico), 3rd INQUA-IGCP-567 International Workshop on Active Tectonics, Paleoseismology and Archaeoseismology, Morelia, Mexico.

Observaciones 1: 3 paleoeventos en los últimos 3.7 ka, posiblemente 5 paleoeventos.

Observaciones 2: La falla desplaza principalmente secuencias fluvio-lacustres y coluviales intercalados con depósitos de ignimbritas

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento máxima varía de 0.10 a 0.15 mm/yr

Nombre de la Falla: Acambay-Tixmadejé

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: E-W

Echado Promedio: 80°

Dirección promedio del Echado: S

Longitud (km): 42

Evidencia de la actividad: Sismos Históricos, Paleosismología

Último Evento Sísmico: 1912

Magnitud del evento: 6.9

Desplazamiento Máximo del evento (cm): 50

Taza de deslizamiento: 0.17

Intervalo de Recurrencia (miles de años): 3.6

Referencia: Suter M. & Contreras J., 2002, Active Tectonics of Northeastern Sonora, Mexico (Southern Basin and Range Province) and the 3 May 1887 Mw 7.4 Earthquake, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 92, No. 2, pag. 581–589.

Observaciones 1: Sismos: 19 de Noviembre 1912, MB 6.9

Observaciones 2: 4 paleoeventos: a) 1912, b) 5.5 ka, c) 7.9 a 10.25 ka, d) 10.25 a 11.57 ka.

Observaciones 3: La falla cuenta con una componente lateral izquierda.

Nombre de la Falla: Venta de Bravo

Tipo de Falla: Normal, Lateral Izquierda

Rumbo Promedio: W-E

Echado Promedio: 54°, 70°-80°

Dirección promedio del Echado: N

Longitud (km): 38.12

Evidencia de la actividad: Sismos Históricos, Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico: 1979

Magnitud del evento: 5.3

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Suter, M., *et al.*, 1992, Active faults and state of stress in the central part of the Trans-Mexican volcanic belt, 1—The Venta de Bravo fault: Journal of Geophysical Research, v. 97, p. 11,983-11,994.

Observaciones 1: Sismos: 1734-1735, 1853-1854, 1979; evento más importante 22 de febrero 1979, MB 5.3.

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 110 m. presenta multieventos y facetas triangulares.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce, se infiere que sea <0.2 mm/año.

Nombre de la Falla: San Mateo

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: E-W

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: S

Longitud (km): 13.32

Evidencia de la actividad: Paleosismología, Geomorfología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.055

Intervalo de Recurrencia (miles de años): 12

Referencia: Suñé-Puchol I., 2014, Estudio Neotectónico del Volcán Temascalcingo y de la actividad paleosísmica de la falla San Mateo (Graben de Acambay, Cinturón Volcánico Mexicano), Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Geociencias, Tesis de Maestría. p. 93.

Observaciones 1: La falla se localiza en la parte central de Graben de Acambay.

Observaciones 2: Se reconocen 3 eventos paleosismológicos: Holooceno (4.2-2.1 ka), Holooceno-Pleistoceno (17.4-4.5 y 30.3-26.6 ka).

Observaciones 3: Esta falla no fue activada durante el sismo de Acambay de 1912.

Nombre de la Falla: S.F. Tenango (Sección A y B)

Tipo de Falla: Lateral Izquierda, Normal

Rumbo Promedio: E-W

Echado Promedio: 35

Dirección promedio del Echado: N

Longitud (km): 29.63 sección A y 29.63 sección B

Evidencia de la actividad: Paleosismología, Sismología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.4

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Norini G., et al., 2006, Recent left-oblique slip faulting in the central eastern Trans-Mexican Volcanic Belt: Seismic hazard and geodynamic implications, Tectonics, Vol. 25, TC 4012, pp. 21

Observaciones 1: (A) La falla pasa por un flanco del Volcán Nevado de Toluca, corta depósitos vulcanoclasticos y lacustres; (B) La falla presenta microsismicidad en la parte central norte de la falla.

Observaciones 2: Los estratos que corta la falla tienen fechamientos de 6.045 ka y 10.585.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento varía de 0.3 a 0.5 mm/yr.

Nombre de la Falla: Amargosa (Sección A, B y C)

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NW-SE

Echado Promedio: 70

Dirección promedio del Echado: NE

Longitud (km): 55.89 sección A, 6.06 sección B y 2.74 sección C

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.75

Intervalo de Recurrencia (miles de años): 30

Referencia: Collins, E.W., & Raney, J.A., 1993, Late Cenozoic faults of the region surrounding the Eagle Flat study area, northwestern trans-Pecos Texas: Technical report to Texas Low-Level Radioactive Waste Disposal Authority, under Contract IAC(92-93)-0910, 74 p.

Observaciones 1: El último paleoevento registrado se estima <1.5 ka, corresponde a depósitos calcáreos.

Observaciones 2: La tasa de deslizamiento se calcula de edad del depósito (250-500 ka) y el desplazamiento máximo de cada evento (1 a 2 m); (0.05 a 0.1 mm/años).

Observaciones 3: EL intervalo de recurrencia varía de 20 a 40 ka. La Echado varía de 65° a 80°

Nombre de la Falla: San Miguel

Tipo de Falla: Lateral Derecha

Rumbo Promedio: NW-SE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado:

Longitud (km): 52.28

Evidencia de la actividad: Sismos Históricos, Medición con GPS

Último Evento Sísmico: 1956

Magnitud del evento: 6.5

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 1

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Cruz-Carrillo M., 2002, Catálogo de las fallas regionales activas en el norte de Baja California, México, Geos, Unión Geofísica Mexicana, A. C. Abril, 2002, p. 37-42.

Observaciones 1: Se asocian sismos a esta falla en 1954 (ML=6 y 6.3) y 1965 (ML entre 6.3 y 6.8).

Observaciones 2: Falla escalonada de pendientes bajas, corta los abanicos aluviales, su actividad inicia en el Mioceno.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento varía de acuerdo al método para estimarla de 0.3 a 4 mm/año.

Nombre de la Falla: Calabazas

Tipo de Falla: Lateral Derecha

Rumbo Promedio: NW-SE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado:

Longitud (km): 31.302

Evidencia de la actividad: Sismología, Geomorfología.

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 1

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Cruz-Carrillo M., 2002, Catálogo de las fallas regionales activas en el norte de Baja California, México, Geos, Unión Geofísica Mexicana, A. C. Abril, 2002, p. 37-42.

Observaciones 1: La falla no se encuentra muy estudiada, sin embargo se asocia al sistema Vallecitos San Miguel.

Observaciones 2: Cuenta con expresiones geomorfológicas como escarpes, escalones y crecimiento en los depósitos aluviales.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce, se maneja la de la Falla San Miguel.

Nombre de la Falla: Vallecitos

Tipo de Falla: Lateral Derecha

Rumbo Promedio: NW-SE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado:

Longitud (km): 81.807

Evidencia de la actividad: Sismología, Geomorfología.

Último Evento Sísmico: 1949

Magnitud del evento: 5.7

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 1

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Cruz-Carrillo M., 2002, Catálogo de las fallas regionales activas en el norte de Baja California, México, Geos, Unión Geofísica Mexicana, A. C. Abril, 2002, p. 37-42.

Observaciones 1: A esta falla no se le asocian sismos de magnitud cercana a 6 o microsismicidad, posiblemente el sismo de 1949.

Observaciones 2: Cuenta con expresiones geomorfológicas como escarpes, escalones.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento varía de acuerdo al método para estimarla de 0.3 a 4 mm/años.

Nombre de la Falla: Tres Hermanas (Sección A y B)

Tipo de Falla: Lateral Derecha

Rumbo Promedio: NW-SE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado:

Longitud (km): 59.274 sección A y 28.083 sección B.

Evidencia de la actividad: Sismología, Geomorfología.

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 1

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Cruz-Carrillo M., 2002, Catálogo de las fallas regionales activas en el norte de Baja California, México, Geos, Unión Geofísica Mexicana, A. C. Abril, 2002, p. 37-42.

Observaciones 1: La falla no se encuentra muy estudiada, sin embargo se asocia al sistema Vallecitos San Miguel.

Observaciones 2: La ubicación de la falla se determina por escarpes de falla, fotografías aéreas y alineamientos de sismos.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce, se maneja la de la Falla San Miguel.

Nombre de la Falla: Agua Blanca

Tipo de Falla: Lateral Derecha

Rumbo Promedio: WNW-ESE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado:

Longitud (km): 103.119

Evidencia de la actividad: Sismología, Geomorfología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 4

Intervalo de Recurrencia (miles de años): 0.2

Referencia: Cruz-Carrillo M., 2002, Catálogo de las fallas regionales activas en el norte de Baja California, México, Geos, Unión Geofísica Mexicana, A. C. Abril, 2002, p. 37-42.

Observaciones 1: La falla activa más antigua de Baja California (Mesozoico Tardío). Desplazamiento lateral de 22 km (mínimo).

Observaciones 2: Corta y desplaza abanicos aluviales, forma cañadas, cañones, valles en escalón, en la parte norte de la falla se pueden apreciar facetas triangulares.

Observaciones 3: El intervalo de recurrencia varía de 175 a 200 años para sismos de magnitud mayor a 6.

Nombre de la Falla: Maximitos

Tipo de Falla: Lateral Derecha

Rumbo Promedio: NW-SE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado:

Longitud (km): 34.41

Evidencia de la actividad: Sismología, Geomorfología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 4

Intervalo de Recurrencia (miles de años): 0.2

Referencia: Cruz-Carrillo M., 2002, Catálogo de las fallas regionales activas en el norte de Baja California, México, Geos, Unión Geofísica Mexicana, A. C. Abril, 2002, p. 37-42.

Observaciones 1: La falla corresponde a una ramificación de la falla Agua Blanca.

Observaciones 2: Corta y desplaza abanicos aluviales, forma cañadas, cañones, valles en escalón, en la parte norte de la falla se pueden apreciar facetas triangulares.

Observaciones 3: El intervalo de recurrencia varía de 175 a 200 años para sismos de magnitud mayor a 6.

Nombre de la Falla: Bahía Soledad

Tipo de Falla: Lateral Derecha

Rumbo Promedio: W-E

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado:

Longitud (km): 15.207

Evidencia de la actividad: Sismología, Geomorfología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 4

Intervalo de Recurrencia (miles de años): 0.2

Referencia: Cruz-Carrillo M., 2002, Catálogo de las fallas regionales activas en el norte de Baja California, México, Geos, Unión Geofísica Mexicana, A. C. Abril, 2002, p. 37-42.

Observaciones 1: La falla corresponde a una ramificación de la falla Agua Blanca.

Observaciones 2: Corta y desplaza abanicos aluviales, forma cañadas, cañones, valles en escalón, en la parte norte de la falla se pueden apreciar facetas triangulares.

Observaciones 3: El intervalo de recurrencia varía de 175 a 200 años para sismos de magnitud mayor a 6.

Nombre de la Falla: Imperial

Tipo de Falla: Lateral Derecha

Rumbo Promedio: NW-SE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado:

Longitud (km): 65.49

Evidencia de la actividad: Sismología

Último Evento Sísmico: 1940

Magnitud del evento: 7.1

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 40

Intervalo de Recurrencia (miles de años): 0.7

Referencia: Cruz-Carrillo M., 2002, Catálogo de las fallas regionales activas en el norte de Baja California, México, Geos, Unión Geofísica Mexicana, A. C. Abril, 2002, p. 37-42.

Observaciones 1: Sismos: 15 octubre 1979, Mw 6.4; 18 mayo 1940, Mw 6.9. Límite de Placas

Observaciones 2: No tiene buena expresión geomorfológica, forma el límite norte de la zona de dispersión de Cerro Prieto. Microsismicidad escasa.

Observaciones 3: El intervalo de recurrencia es inferido para sismo de magnitud igual o mayor de 6.9.

Nombre de la Falla: Cerro Prieto

Tipo de Falla: Lateral Derecha

Rumbo Promedio: NW-SE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado:

Longitud (km): 108.336

Evidencia de la actividad: Sismología, Sismos Históricos, Geofísica

Último Evento Sísmico: 1934

Magnitud del evento: 7.1

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 50

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Cruz-Carrillo M., 2002, Catálogo de las fallas regionales activas en el norte de Baja California, México, Geos, Unión Geofísica Mexicana, A. C. Abril, 2002, p. 37-42.

Observaciones 1: Sismos Históricos: 1852, 1875, 1891. Sismos: 1934 M=7.1, 1966 ML=6.3, 1980 Ms=6.1. Límite de Placas.

Observaciones 2: No tiene buena expresión geomorfológica al norte, forma el límite sur de la zona de dispersión de Cerro Prieto. Microsismicidad escasa.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se estima cuando menos de 50 mm/años.

Nombre de la Falla: Laguna Salada

Tipo de Falla: Normal, Lateral Derecha

Rumbo Promedio: NW-SE

Echado Promedio: 60

Dirección promedio del Echado: SW

Longitud (km): 41.514

Evidencia de la actividad: Sismología, Sismos Históricos

Último Evento Sísmico: 1982

Magnitud del evento: 6.7

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 1

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Cruz-Carrillo M., 2002, Catálogo de las fallas regionales activas en el norte de Baja California, México, Geos, Unión Geofísica Mexicana, A. C. Abril, 2002, p. 37-42.

Observaciones 1: Sismos: 1892 M=6.7, 1934 M=6.5.

Observaciones 2: La falla tiene una velocidad de desplazamiento vertical de 1 mm/año y 0.7 mm/año en el sentido horizontal.

Observaciones 3: Corresponde a la parte NW del Sistema de Fallas Laguna Salda.

Nombre de la Falla: Cañón Rojo

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NE-SW

Echado Promedio: 60

Dirección promedio del Echado: NW

Longitud (km): 2.997

Evidencia de la actividad: Sismología, Geomorfología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 1

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Cruz-Carrillo M., 2002, Catálogo de las fallas regionales activas en el norte de Baja California, México, Geos, Unión Geofísica Mexicana, A. C. Abril, 2002, p. 37-42.

Observaciones 1: Corresponde a la parte NW del Sistema de Fallas Laguna Salada.

Observaciones 2: La expresión geomorfológica de la falla se representada mediante escarpes y abanicos aluviales desplazados.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento es menor a 1 mm/año.

Nombre de la Falla: Chupamirtos

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NW-SE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: SW

Longitud (km): 21.534

Evidencia de la actividad: Sismología, Geomorfología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 1

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Cruz-Carrillo M., 2002, Catálogo de las fallas regionales activas en el norte de Baja California, México, Geos, Unión Geofísica Mexicana, A. C. Abril, 2002, p. 37-42.

Observaciones 1: Corresponde a la parte SW del Sistema de Fallas Laguna Salada.

Observaciones 2: La expresión geomorfológica de la falla es representada mediante escarpes y abanicos aluviales desplazados.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento es menor a 1 mm/año.

Nombre de la Falla: Cañada David

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NW-SE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: SW

Longitud (km): 55.38

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología,

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento:

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Spelz R.M. *et al.*, 2008, Quaternary alluvial-fan development, climate and morphologic dating of fault scarps in Laguna Salada, Baja California, Mexico, *Geomorphology* 102, pp. 578–594

Observaciones 1: Corresponde a una falla de despegue (falla de bajo ángulo) del Mioceno.

Observaciones 2: La falla se conforma de varios escarpes de falla, cortando los abanicos aluviales Q1 (más joven) a Q8 (más antiguo).

Observaciones 3: Se realizó datación de nucleídos terrestres cosmogénéticos de ^{10}Be para Q4 15.2 Ka. Y Q7 204 ka.

Nombre de la Falla: Cucapá

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NW-SE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: NE

Longitud (km): 21.867

Evidencia de la actividad: Sismología, Geomorfología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 1

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Cruz-Carrillo M., 2002, Catálogo de las fallas regionales activas en el norte de Baja California, México, Geos, Unión Geofísica Mexicana, A. C. Abril, 2002, p. 37-42.

Observaciones 1: Corresponde a la parte E del Sistema de Fallas Laguna Salada.

Observaciones 2: La expresión geomorfológica de la falla es representada mediante escarpes y abanicos aluviales desplazados.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento es menor a 1 mm/año.

Nombre de la Falla: Pescaderos

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NW-SE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: NE

Longitud (km): 23.976

Evidencia de la actividad: Sismología, Geomorfología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 1

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Cruz-Carrillo M., 2002, Catálogo de las fallas regionales activas en el norte de Baja California, México, Geos, Unión Geofísica Mexicana, A. C. Abril, 2002, p. 37-42.

Observaciones 1: Corresponde a la parte E del Sistema de Fallas Laguna Salada.

Observaciones 2: La expresión geomorfológica de la falla es representada mediante escarpes y abanicos aluviales desplazados.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento es menor a 1 mm/año.

Nombre de la Falla: Borregos

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NNW-SSE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: SW

Longitud (km): 37.96

Evidencia de la actividad: Sismología, Geomorfología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 1

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Cruz-Carrillo M., 2002, Catálogo de las fallas regionales activas en el norte de Baja California, México, Geos, Unión Geofísica Mexicana, A. C. Abril, 2002, p. 37-42.

Observaciones 1: Corresponde a la parte SE del Sistema de Fallas Laguna Salada.

Observaciones 2: La expresión geomorfológica de la falla es representada mediante escarpes y abanicos aluviales desplazados.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento es menor a 1 mm/año.

Nombre de la Falla: El Mayor-Cucapah

Tipo de Falla: Normal, Lateral Derecha

Rumbo Promedio: NW-SE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: NE

Longitud (km): 123.43

Evidencia de la actividad: Sismología, Medición de GPS

Último Evento Sísmico: 2010

Magnitud del evento: 7.2

Desplazamiento Máximo del evento (cm): 630

Taza de deslizamiento: 1

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Gonzalez-Ortega, A., *et al.*, 2014, El Mayor-Cucapah (Mw 7.2) earthquake: Early near-field postseismic deformation from InSAR and GPS observations, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 119, p. 1482–1497.

Observaciones 1: El sismo provoca ruptura en las fallas Pescadores y Borregos con comportamiento lateral derecho y oblicuo respectivamente.

Observaciones 2: En la parte sur el sismo activa la falla de despegue (bajo ángulo) Paso Inferior y Paso superior.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento que se maneja corresponde a la del Sistema de Fallas Laguna Salada.

Nombre de la Falla: S.F. Sierra Juárez (Sección A y B)

Tipo de Falla: Normal, Lateral Derecha

Rumbo Promedio: NWW-SSE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: ENE

Longitud (km): 43.06 para la sección A y 33.85 para la sección B

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Sismología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento:

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Diaz-Torres J., *et al.*, 2012, Geomorfometría del Escarpe Principal del Golfo de California. Análisis comparativo entre dos segmentos del rift: Sierra San Pedro Mártir y Sierra Juárez, Baja California, México, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 29, núm. 3, 2012, p. 590-610.

Observaciones 1: El S.F. es controlado por la falla de despegue Cañada David, son fallas antitéticas a la falla de despegue.

Observaciones 2: Corresponde al segmento norte de rift del Escarpe Principal del Golfo de California. Se ubica dentro del bloque de Techo de la falla Cañada David.

Observaciones 3: Yuxtapone sedimentos del Pleistoceno con rocas metamórficas del paleozoico. Presenta Microsismicidad en la parte central.

Nombre de la Falla: San Pedro Mártir

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NWW-SSE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: ENE

Longitud (km): 110.55

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Sismología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento:

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Diaz-Torres J., *et al.*, 2012, Geomorfometría del Escarpe Principal del Golfo de California. Análisis comparativo entre dos segmentos del rift: Sierra San Pedro Mártir y Sierra Juárez, Baja California, México, Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 29, núm. 3, 2012, p. 590-610.

Observaciones 1: El escarpe de la sierra San Pedro Mártir corresponde al bloque de piso de la falla del mismo nombre.

Observaciones 2: Corresponde al segmento norte de rift del Escarpe Principal del Golfo de California (Sur de la Sierra Juárez).

Observaciones 3: El basculamiento de los estratos volcánicos, sugiriendo que la falla es lísitrica a profundidad. Presenta Microsismicidad en la parte Norte.

Fallas Tipo B

Nombre de la Falla: San Juan de los Planes

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NNE-SSW

Echado Promedio: 65°- 80°

Dirección promedio del Echado: E, SE

Longitud (km): 41.67

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.63

Intervalo de Recurrencia (miles de años): 7

Referencia: Coyan, M. M. *et al.*, 2013, Geometry and Quaternary slip behavior of the San Juan de los Planes and Saltito fault zones, Baja California Sur, Mexico: Characterization of rift-margin normal faults. *Geosphere*; June 2013; v. 9; no. 3; p. 426–443.

Observaciones 1: La evidencias de campo sugieren que es una falla joven que ha reactivado una antigua zona de falla.

Observaciones 2: Durante el Cuaternario la falla posiblemente ha producido sismos de Magnitud 7.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se maneja <1 mm/año, intervalo de recurrencia varía de 2 a 12 k.a.

Nombre de la Falla: Saltito

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NW-SE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: NE

Longitud (km): 16.51

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.8

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Coyan, M. M. *et al.*, 2013, Geometry and Quaternary slip behavior of the San Juan de los Planes and Saltito fault zones, Baja California Sur, Mexico: Characterization of rift-margin normal faults. *Geosphere*; June 2013; v. 9; no. 3; p. 426–443.

Observaciones 1: La falla presenta una mayor actividad en la parte Noroeste de la falla, (mar adentro 8 km), mientras que la parte continental corresponde a la terminación de la falla.

Observaciones 2: El escarpe encontrado mar adentro tiene una edad estimada de 10 a 12 k.a.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento varía de 0.8 a 0.95 mm/años, correspondiente a la parte Noroeste (mar adentro).

Nombre de la Falla: El Carrizal

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NW-SE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: NE

Longitud (km): 100.51

Evidencia de la actividad: Paleosismología, Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.25

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Maloney S. J., 2009, Late Quaternary faulting history of the Northern El Carrizal Fault, Baja California Sur, México., Tesis de Maestría, Northern Arizona University, pp 208.

Observaciones 1: Es límite oeste del sistema del Margen del Golfo. La falla presenta una mayor actividad hacia la parte norte de la falla (pudo haber generado eventos de magnitud 6.7- 6.9).

Observaciones 2: El más reciente evento ocurrió antes de los 20 k.a. y después de los 6.02 k.a.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento varía de 0.1 a 0.4 mm/años, obtenidos de datos paleosismológicos.

Nombre de la Falla: La Gata

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: N-S

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: W

Longitud (km): 28.83

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.63

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Coyan, M. M. *et al.*, 2013, Geometry and Quaternary slip behavior of the San Juan de los Planes and Saltito fault zones, Baja California Sur, Mexico: Characterization of rift-margin normal faults. *Geosphere*; June 2013; v. 9; no. 3; p. 426–443.

Observaciones 1: La falla es límite occidental del valle San Juan de los Planes, estudios de gravimetría indican profundidades máximas del basamento de 1 a 1.5 km.

Observaciones 2: La profundidad de basamento indica mayor desplazamiento en el Sis. La Gata que en la falla San Juan de los Planes.

Observaciones 3: La tasa de desplazamiento se cree mayor a la de la falla San Juan de los Planes.

Nombre de la Falla: San José del Cabo

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: N-S

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: E

Longitud (km): 101.89

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.65

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Coyan, M. M. *et al.*, 2013, Geometry and Quaternary slip behavior of the San Juan de los Planes and Saltito fault zones, Baja California Sur, Mexico: Characterization of rift-margin normal faults. *Geosphere*; June 2013; v. 9; no. 3; p. 426–443.

Observaciones 1: La falla corresponde a la falla más al sur de la península de Baja California, corta sedimentos de la cuenca de San José del Cabo.

Observaciones 2: Estudios gravimétricos indican una profundidad del basamento de 1.6-2.7 km.

Observaciones 3: El promedio de la tasa de desplazamiento varía de 0.4 a 0.7 mm/año.

Nombre de la Falla: Montañas Indio Oeste

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: N-S

Echado Promedio: 70

Dirección promedio del Echado: W, SW

Longitud (km): 49.613

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años): 60

Referencia: Collins, E.W., & Raney, J.A., 1993, Late Cenozoic faults of the region surrounding the Eagle Flat study area, northwestern trans-Pecos Texas: Technical report to Texas Low-Level Radioactive Waste Disposal Authority, under Contract IAC(92-93)-0910, 74 p.

Observaciones 1: El último paleoevento registrado se estima pleistoceno (130 ka) sin embargo se cree que existe rotura en el Holoceno.

Observaciones 2: El intervalo de recurrencia es el promediado de 40-80 ka.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce, se infiere que sea <0.2 mm/año.

Nombre de la Falla: Loreto

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: N-S

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: E, NE

Longitud (km): 35.17

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.06

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Dorsey, R. J., *et al.*, 1994, Rapid subsidence and stacked- Gilbert-type fan deltas, Pliocene Loreto basin, Baja California Sur, Mexico: *Sedimentary Geology*, v. 98, p. 181-204.

Observaciones 1: La parte norte de la falla es la que presenta desplazamientos recientes. El último paleoevento corresponde al pleistoceno tardío (<15 ka).

Observaciones 2: La falla presenta varios periodos de reactivación y estilos de deformación, es de alto ángulo.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se obtiene del desplazamiento medido (30 m) y la edad del depósito (0.5 Ma).

Fallas Tipo C

Nombre de la Falla: Pajacuarán

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: W-E

Echado Promedio: 60

Dirección promedio del Echado: N

Longitud (km): 21.93

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Díaz, E. C., & Mooser F., 1972, Formación del graben de Chapala: Mazatlán, Sociedad Geológica Mexicana, Convención Nacional, Resúmenes pp. 144-145.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<130 ka), correspondiente a depósitos coluviales.

Observaciones 2: El relieve máximo de la falla es de 200m.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año.

Nombre de la Falla: SN Tunguitiro y Zipiajo

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: W-E

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: N

Longitud (km): 8.43

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Suter, M., *et al.*, 1995, The Acambay graben—Active intra-arc extension in the Trans-Mexican volcanic belt, Mexico: Tectonics, v. 14, no. 6, p. 1245-1262.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<750 ka), correspondiente con conos cineríticos.

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 50 m. presenta multieventos.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN Reservoirio El Tablón

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: W-E

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: N

Longitud (km): 7.32

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Suter, M., *et al.*, 1995, The Acambay graben—Active intra-arc extension in the Trans-Mexican volcanic belt, Mexico: Tectonics, v. 14, no. 6, p. 1245-1262.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<1.6 Ma), correspondiente a domos dacíticos y riolíticos.

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 50 m. presenta multieventos.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN El Cuatro y Volcán Cerro las Ventanas

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: W-E

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: N

Longitud (km): 23.89

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Pasquarè, G., *et al.*, 1991, Geologic map of the central sector of the Mexican Volcanic Belt, states of Guanajuato and Michoacán, Mexico: Geological Society of America, Map and Chart Series MCH072.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<0.83 Ma), correspondiente a lavas del Volcán Cerro Las Ventanas.

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 200 m. presenta multieventos.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN Cerro las Huertas y Barranca el Terreno

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: WSW-ENE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: NW

Longitud (km): 7.06

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Pasquarè, G., *et al.*, 1991, Geologic map of the central sector of the Mexican Volcanic Belt, states of Guanajuato and Michoacán, Mexico: Geological Society of America, Map and Chart Series MCH072.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<1.6 Ma), correspondiente a lavas andesíticas.

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 60 m. presenta multieventos.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/yr (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN Huaniqueo de Morales y Cerro La Leonera

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: WSW-ENE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: NW

Longitud (km): 6.9

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Pasquarè, G., *et al.*, 1991, Geologic map of the central sector of the Mexican Volcanic Belt, states of Guanajuato and Michoacán, Mexico: Geological Society of America, Map and Chart Series MCH072.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<0.75 Ma), correspondiente al Basalto Laguna de Cuitzeo.

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 120 m. presenta multieventos.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN Reservoirio El Casco

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: WSW-ENE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: NW

Longitud (km): 6.08

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Ortega-Gutiérrez, F. *et al.*, 1992, Carta geológica de la República Mexicana: Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, Distrito Federal, escala 1:2,000,000.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<1.6 Ma).

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 50 m.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/años (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN Huaniqueo de Morales y Cerro La Encinera

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: W-E

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: N

Longitud (km): 4.13

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Ortega-Gutiérrez, F. *et al.*, 1992, Carta geológica de la República Mexicana: Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, Distrito Federal, escala 1:2,000,000.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<1.6 Ma), correspondiente a basaltos de Laguna de Cuitzeo.

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 50 m.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN San Pedro Puruátiro y Chucándiro (Sección A y Sección B)

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: WSW-ENE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: NW

Longitud (km): 14.56 sección A y 9.6 sección B

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Suter, M., *et al.*, 1995, The Acambay graben—Active intra-arc extension in the Trans-Mexican volcanic belt, Mexico: Tectonics, v. 14, no. 6, p. 1245-1262.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<750 ka), correspondiente con conos cineríticos.

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 100 m. presenta multieventos.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/años (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN El Santo y San Sebastián (Sección A, B, C, D y E)

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: WSW-ENE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: NW

Longitud (km): 8.89 sección A, 2.37 sección B, 2.88 sección C, 8.57 sección D, 8.61 sección E.

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Suter, M., *et al.*, 1995, The Acambay graben—Active intra-arc extension in the Trans-Mexican volcanic belt, Mexico: Tectonics, v. 14, no. 6, p. 1245-1262.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<750 ka), correspondiente con cineríticos.

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 100 m. presenta multieventos.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/años (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN Cerro Quinceo

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: W-E, WSW-ENE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: N

Longitud (km): 8.61

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Suter, M., *et al.*, 1995, The Acambay graben—Active intra-arc extension in the Trans-Mexican volcanic belt, Mexico: Tectonics, v. 14, no. 6, p. 1245-1262.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<750 ka), correspondiente a basaltos del volcán Quinceo.

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 80 m. presenta multieventos.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento <1 mm/año, se obtiene de la edad del basalto (0.57 Ma) y la altura del escarpe (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN La Quemada y Río Grande

Tipo de Falla: Normal, Lateral Izquierda

Rumbo Promedio: WSW-ENE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: NW

Longitud (km): 2.29

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Pasquaré, G., *et al.*, 1991, Geologic map of the central sector of the Mexican Volcanic Belt, states of Guanajuato and Michoacán, Mexico: Geological Society of America, Map and Chart Series MCH072.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<750 ka), correspondiente a flujos de lava basáltica del volcán Quinceo.

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 100 m. presenta multieventos.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN Río Chiquito

Tipo de Falla: Normal, Lateral Izquierda

Rumbo Promedio: WSW-ENE

Echado Promedio: 65

Dirección promedio del Echado: NW

Longitud (km): 2.92

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Pasquaré, G., *et al.*, 1991, Geologic map of the central sector of the Mexican Volcanic Belt, states of Guanajuato and Michoacán, Mexico: Geological Society of America, Map and Chart Series MCH072.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<1.6 Ma), correspondiente a depósitos de lago.

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 25 m. presenta multieventos.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: Cointzio (Sección A y Sección B)

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: W-E

Echado Promedio: 77

Dirección promedio del Echado: WSW-ENE sección A y W-W sección B

Longitud (km): 4.94 sección A y 8.01 sección B

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 1

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Martínez-Reyes, J., & Nieto-Samaniego A.F., 1991 (1990), Efectos geológicos de la tectónica reciente en la parte central de México: Universidad Nacional de México, Instituto de Geología Revista, v. 9, no. 1, p. 33-50.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<0.87 Ma), correspondiente a lavas del Cerro el Águila.

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 100 m. presenta multieventos.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento <1 mm/año, se obtiene de la edad del basalto (0.87 Ma) y la altura del escarpe.

Nombre de la Falla: Morelia

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: W-E

Echado Promedio: 77

Dirección promedio del Echado: N

Longitud (km): 12.82

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Ferrari, L., *et al.*, 1991, Geology of Los Azufres caldera, Mexico, and its relationship with regional tectonics: Journal of Volcanology and Geothermal Research, v. 47, p. 129-148.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<1.6 Ma), correspondiente a rocas volcánicas. Presenta componente lateral izq.

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 180 m. presenta multieventos.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año. La Echado varía de 59 a 84 grados.

Nombre de la Falla: SN Miguel Hidalgo y El Venado

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: WSW-ENE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: NW

Longitud (km): 10.06

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Suter, M., *et al.*, 1995, The Acambay graben—Active intra-arc extension in the Trans-Mexican volcanic belt, Mexico: Tectonics, v. 14, no. 6, p. 1245-1262.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<0.87 Ma), correspondiente a depósitos superficiales.

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 120 m. presenta multieventos. La falla presenta componente lateral izq.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN Cerro Palo Dulce y Chehuayito

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: W-E

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: N

Longitud (km): 5.82

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Pasquarè, G., *et al.*, 1991, Geologic map of the central sector of the Mexican Volcanic Belt, states of Guanajuato and Michoacán, Mexico: Geological Society of America, Map and Chart Series MCH072.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<0.87 Ma), correspondiente a los Basaltos Cuitzeo.

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 120 m. presenta multieventos.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN El Cerro y Rancho Seco

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: W-E

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: N

Longitud (km): 4.99

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Pasquarè, G., *et al.*, 1991, Geologic map of the central sector of the Mexican Volcanic Belt, states of Guanajuato and Michoacán, Mexico: Geological Society of America, Map and Chart Series MCH072.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<1.6 Ma), correspondiente conos de lava andesítica

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 80 m. presenta multieventos.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN Cerro Blanco y Carretera Federal 43

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: WSW-ENE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: N

Longitud (km): 7.89

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Pasquarè, G., *et al.*, 1991, Geologic map of the central sector of the Mexican Volcanic Belt, states of Guanajuato and Michoacán, Mexico: Geological Society of America, Map and Chart Series MCH072.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<0.75 Ma), correspondiente a conos cineríticos.

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 60 m. presenta multieventos.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN Pamaseo y las Peñas (Sección A y Sección B)

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: WSW-ENE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: N

Longitud (km): 2.69 sección A y 4.22 sección B

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Ortega-Gutiérrez, F. *et al.*, 1992, Carta geológica de la República Mexicana: Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, Distrito Federal, escala 1:2,000,000.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<0.75 Ma), correspondiente a conos cineríticos.

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 100 m. presenta multieventos.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN Aragón y Moral

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: WSW-ENE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: NW

Longitud (km): 7.38

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Pasquarè, G., *et al.*, 1991, Geologic map of the central sector of the Mexican Volcanic Belt, states of Guanajuato and Michoacán, Mexico: Geological Society of America, Map and Chart Series MCH072.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<1.6 Ma), correspondiente conos de lava andesítica.

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 70 m. presenta multieventos.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN Cerro El Varal y Cerécuaro

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: WSW-ENE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: N

Longitud (km): 5.93

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Pasquarè, G., *et al.*, 1991, Geologic map of the central sector of the Mexican Volcanic Belt, states of Guanajuato and Michoacán, Mexico: Geological Society of America, Map and Chart Series MCH072.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<1.6 Ma), correspondiente conos de lava andesítica.

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 40 m. presenta multieventos.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN Rincón Don Pedro y Arroyo Colorado

Tipo de Falla: Normal, Lateral Izquierda

Rumbo Promedio: WSW-ENE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: SE

Longitud (km): 7.96

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Pasquarè, G., *et al.*, 1991, Geologic map of the central sector of the Mexican Volcanic Belt, states of Guanajuato and Michoacán, Mexico: Geological Society of America, Map and Chart Series MCH072.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<1.6 Ma), correspondiente conos de lava andesítica.

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 80 m. presenta multieventos.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN El Comal y La Joyita

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: WSW-ENE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: S

Longitud (km): 12.53

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Pasquarè, G., *et al.*, 1991, Geologic map of the central sector of the Mexican Volcanic Belt, states of Guanajuato and Michoacán, Mexico: Geological Society of America, Map and Chart Series MCH072.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<1.6 Ma), correspondiente conos de lava andesítica.

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 50 m. presenta multieventos.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN El Aguacate y Volcán Blanco

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: WSW-ENE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: S

Longitud (km): 6.95

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Pasquarè, G., *et al.*, 1991, Geologic map of the central sector of the Mexican Volcanic Belt, states of Guanajuato and Michoacán, Mexico: Geological Society of America, Map and Chart Series MCH072.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<1.6 Ma), correspondiente conos de lava andesítica.

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 50 m. presenta multieventos.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN La Tinaja del Coyote y Leona

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: WSW-ENE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: N

Longitud (km): 4.59

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Suter, M., *et al.*, 1995, The Acambay graben—Active intra-arc extension in the Trans-Mexican volcanic belt, Mexico: Tectonics, v. 14, no. 6, p. 1245-1262.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<750 ka), correspondiente a conos cineríticos.

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 50 m. presenta multieventos.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN Cerro Ceja de Palomas y Los Nietos

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: W-E

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: N

Longitud (km): 2.53

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Pasquarè, G., *et al.*, 1991, Geologic map of the central sector of the Mexican Volcanic Belt, states of Guanajuato and Michoacán, Mexico: Geological Society of America, Map and Chart Series MCH072.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<1.6 Ma), correspondiente conos de lava andesítica.

Observaciones 2: El escarpe de la falla presenta multieventos.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN Pusandero y Las Canas (sección A y Sección B)

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: WSW-ENE sección A y W-E sección B

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: N

Longitud (km): 11.01 sección A y 4.37 sección B

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Pasquarè, G., *et al.*, 1991, Geologic map of the central sector of the Mexican Volcanic Belt, states of Guanajuato and Michoacán, Mexico: Geological Society of America, Map and Chart Series MCH072.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<0.75 Ma), correspondiente a conos cineríticos.

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 50 m. presenta multieventos.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN Arroyo la Mora y Obrajuelo

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: W-E

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: N

Longitud (km): 4.75

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Pasquarè, G., *et al.*, 1991, Geologic map of the central sector of the Mexican Volcanic Belt, states of Guanajuato and Michoacán, Mexico: Geological Society of America, Map and Chart Series MCH072.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<1.6 Ma), correspondiente conos de lava y chicos volcanes escudo.

Observaciones 2: El escarpe de la falla presenta multieventos.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN Cutero y Cerro La Tortuga (sección A y Sección B)

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: W-E

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: N

Longitud (km): 9.97 sección A y 6.13 sección B

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Pasquarè, G., *et al.*, 1991, Geologic map of the central sector of the Mexican Volcanic Belt, states of Guanajuato and Michoacán, Mexico: Geological Society of America, Map and Chart Series MCH072.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<1.6 Ma), correspondiente conos de lava andesítica.

Observaciones 2: El escarpe de la falla presenta multieventos.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN Puerto Las Cabras y San Francisco Rancho Viejo

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: WSW-ENE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: S

Longitud (km): 12.57

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Suter, M., *et al.*, 1992, Active faults and state of stress in the central part of the Trans-Mexican volcanic belt, 1—The Venta de Bravo fault: Journal of Geophysical Research, v. 97, p. 11,983-11,994.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<1.6 Ma), correspondiente a conos andesíticos.

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 450 m. presenta multieventos y facetas triangulares.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN Andacutín y Santa Clara

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: W-E

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: S

Longitud (km): 9.35

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Pasquarè, G., *et al.*, 1991, Geologic map of the central sector of the Mexican Volcanic Belt, states of Guanajuato and Michoacán, Mexico: Geological Society of America, Map and Chart Series MCH072.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<750 ka), correspondiente a depósitos de lago.

Observaciones 2: El escarpe de la falla presenta multieventos.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN Bordo de Enmedio y Chumbacua

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: W-E

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: S

Longitud (km): 3.47

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Pasquarè, G., *et al.*, 1991, Geologic map of the central sector of the Mexican Volcanic Belt, states of Guanajuato and Michoacán, Mexico: Geological Society of America, Map and Chart Series MCH072.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<0.87 Ma), correspondiente a los Basaltos Cuitzeo

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 40 m. presenta multieventos.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN Tzintzimeo y San Nicolás

Tipo de Falla: Normal, Lateral Izquierda

Rumbo Promedio: W-E

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: S

Longitud (km): 17.26

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 1

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Pasquarè, G., *et al.*, 1991, Geologic map of the central sector of the Mexican Volcanic Belt, states of Guanajuato and Michoacán, Mexico: Geological Society of America, Map and Chart Series MCH072.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<750 ka), correspondiente a depósitos de lago.

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 120 m. presenta multieventos.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento (<1 mm/año) se estima de la altura máxima del escarpe y la edad de los depósitos de lago.

Nombre de la Falla: SN Balneario Atzimba

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: W-E

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: N

Longitud (km): 4.33

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Pasquarè, G., *et al.*, 1991, Geologic map of the central sector of the Mexican Volcanic Belt, states of Guanajuato and Michoacán, Mexico: Geological Society of America, Map and Chart Series MCH072.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (probablemente <750 ka), correspondiente a depósitos piroclásticos de caída.

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 60 m. presenta multieventos.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN Queréndaro y Volcán Cerro Mozo

Tipo de Falla: Normal, Lateral Izquierda

Rumbo Promedio: W-E, SW-NE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: NW

Longitud (km): 19.85

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 1

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Pasquarè, G., *et al.*, 1991, Geologic map of the central sector of the Mexican Volcanic Belt, states of Guanajuato and Michoacán, Mexico: Geological Society of America, Map and Chart Series MCH072.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<0.8 Ma), correspondiente a depósitos de lago.

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 25 m. presenta multieventos.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento (<1 mm/yr) se estima del desp. max. y la edad de un cono cinerítico cortado por la falla.

Nombre de la Falla: SN Taimeo el Chico y cerro Zacatán

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: W-E

Echado Promedio: 75

Dirección promedio del Echado: N

Longitud (km): 5.96

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Ortega-Gutiérrez, F. *et al.*, 1992, Carta geológica de la República Mexicana: Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, Distrito Federal, escala 1:2,000,000.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<1.6 Ma), correspondiente a domos riolíticos.

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 200 m. presenta multieventos.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN Presa Laguna Larga y Cerro Pizcuaro

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: W-E

Echado Promedio: 75

Dirección promedio del Echado: S

Longitud (km): 6.3

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Pasquaré, G., *et al.*, 1991, Geologic map of the central sector of the Mexican Volcanic Belt, states of Guanajuato and Michoacán, Mexico: Geological Society of America, Map and Chart Series MCH072.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<330 ka), correspondiente a domos Dacíticos

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 25 m. presenta multieventos.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN Laguna Larga

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: W-E

Echado Promedio: 45

Dirección promedio del Echado: N

Longitud (km): 10.49

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 1

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Ferrari, L., *et al.*, 1991, Geology of Los Azufres caldera, Mexico, and its relationship with regional tectonics: Journal of Volcanology and Geothermal Research, v. 47, p. 129-148.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<330 ka), correspondiente a domos Dacíticos

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 120 m. presenta multieventos.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento (<1 mm/año) se estima del desp. max. y la edad del volcán San Andrés cortado por la falla.

Nombre de la Falla: SN Los Tejamaniles y Mesa Guadalupe

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: W-E

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: N

Longitud (km): 4.91

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Ferrari, L., *et al.*, 1991, Geology of Los Azufres caldera, Mexico, and its relationship with regional tectonics: Journal of Volcanology and Geothermal Research, v. 47, p. 129-148.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<0.84 Ma), correspondiente a domos Riolíticos

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 120 m. presenta multieventos.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN Puriatzícuaro y Santa Rita

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: W-E

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: S

Longitud (km): 4.58

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Pasquaré, G., *et al.*, 1991, Geologic map of the central sector of the Mexican Volcanic Belt, states of Guanajuato and Michoacán, Mexico: Geological Society of America, Map and Chart Series MCH072.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<1.6 Ma), correspondiente a conos de lava

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 50 m. presenta multieventos.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: Aljibes Mediograbén A, B, C, D y E

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: W-E

Echado Promedio: A 45, B 65, C 70, D 75
Dirección promedio del Echado: S
Longitud (km): A 12.51, B 17.75, C 12.57, D 10.7 y E 14.91
Evidencia de la actividad: Sismología, Geomorfología, Geología
Último Evento Sísmico:
Magnitud del evento:
Desplazamiento Máximo del evento (cm):
Taza de deslizamiento: 0.7
Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Suter M., *et al.*, 1995, The Aljibes half-graben—Active extension at the boundary between the southern Basin and Range province and the Trans-Mexican volcanic belt, Mexico: Geological Society of America Bulletin, v. 107, no. 6, p. 627-641.

Observaciones 1: La sismicidad regional superficial muestra sismos alineados subparalelos a las fallas del semigraben.

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 120 m. presenta multieventos. La falla es lístrica.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se estima a partir de un desplazamiento vertical de 240 m y una edad 7.1 Ma

Nombre de la Falla: SN Cerro el Fraile

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: W-E

Echado Promedio: 80

Dirección promedio del Echado: S

Longitud (km): 6.82

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Suter M., *et al.*, 1995, The Aljibes half-graben—Active extension at the boundary between the southern Basin and Range province and the Trans-Mexican volcanic belt, Mexico: Geological Society of America Bulletin, v. 107, no. 6, p. 627-641.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<1.6 Ma)

Observaciones 2: Esta falla forma la falla maestra norte del graben el Mezquital. La Echado varía de 74 a 86 grados.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN Reservorio Debohdé

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: W-E

Echado Promedio: 65

Dirección promedio del Echado: N

Longitud (km): 10.76

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Suter M., *et al.*, 1995, The Aljibes half-graben—Active extension at the boundary between the southern Basin and Range province and the Trans-Mexican volcanic belt, Mexico: Geological Society of America Bulletin, v. 107, no. 6, p. 627-641.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<1.6 Ma)

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 500 m. La Echado varía de 50 a 76 grados.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN Cerro Guadril

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: W-E

Echado Promedio: 70

Dirección promedio del Echado: N

Longitud (km): 9.44

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Suter M., *et al.*, 1995, The Aljibes half-graben—Active extension at the boundary between the southern Basin and Range province and the Trans-Mexican volcanic belt, Mexico: Geological Society of America Bulletin, v. 107, no. 6, p. 627-641.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<1.6 Ma). Presenta una componente lateral izquierda.

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 400 m. La Echado varía de 62 a 77 grados

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: Ixtapa (Sección A y B)

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NNE-SSW

Echado Promedio: 70

Dirección promedio del Echado: W

Longitud (km): 12.82 sección A, 6.51 sección B

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Ferrari, L., *et al.*, 1994, Regional tectonics of western Mexico and its implications for the northern boundary of the Jalisco Block: Geofísica Internacional, v. 33, p. 139-151.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<1.6 Ma), la falla se divide en dos secciones.

Observaciones 2: La falla es de alto ángulo, la Echada varía de 60 a 80 grados.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: Amatlán de las Cañas

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: E-W, NW-SE

Echado Promedio: 60

Dirección promedio del Echado: S, SW

Longitud (km): 44.02

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Tasa de deslizamiento: 0.75

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Ferrari, L., *et al.*, 1994, Regional tectonics of western Mexico and its implications for the northern boundary of the Jalisco Block: *Geofísica Internacional*, v. 33, p. 139-151.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<1.6 Ma), correspondiente a lavas rotadas 12 grados.

Observaciones 2: Relieves verticales hasta de 1200 m. Facetas triangulares en el escape de falla.

Observaciones 3: La falla tiene comportamiento lístrico al norte, cuenta con una pequeña componente lateral derecha.

Nombre de la Falla: Tepuzhuacán

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NW-SE

Echado Promedio: 60

Dirección promedio del Echado: NE

Longitud (km): 8.35

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Tasa de deslizamiento: 0.64

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Ferrari, L., *et al.*, 1994, Regional tectonics of western Mexico and its implications for the northern boundary of the Jalisco Block: *Geofísica Internacional*, v. 33, p. 139-151.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<0.64 Ma), correspondiente a lavas basálticas del Cerro Rosario.

Observaciones 2: El escarpe de la falla tiene 50 m. de altura.

Observaciones 3: La falla es una falla secundaria antitética de la falla Amatlán de las Cañas.

Nombre de la Falla: Tepehuaje

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: SW-NE

Echado Promedio: 79

Dirección promedio del Echado: NW

Longitud (km): 7.81

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología, Sismos Históricos

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Moore G., *et al.*, 1994. Basaltic volcanism and extension near the intersection of the Sierra Madre volcanic province and the Mexican Volcanic Belt: Geological Society of America Bulletin, v. 106, p. 383-394.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<1.6 Ma). La falla se asocia al sismo histórico de San Cristóbal de 1875.

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 100 m.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año.

Nombre de la Falla: Santa Rosa Cinco Minas (Sección A, B y C)

Tipo de Falla: Normal, Lateral Derecha

Rumbo Promedio: NW-SE

Echado Promedio: 70

Dirección promedio del Echado: SW

Longitud (km): 14.88 sección A, 17.86 sección B y 22.05 sección C

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.45

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Ferrari, L., & Rosas-Elguera, J., 2000, Late Miocene to Quaternary extension at the northern boundary of the Jalisco Block, western Mexico—The Tepic-Zacoalco Rift revised, Cenozoic tectonics and volcanism of Mexico: Geological Society of America Special Paper 334, p. 41-63.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<1.6 Ma).

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 200 m. La Echado varía de 60 a 80 grados.

Observaciones 3: Considerando datos de Nieto *et al.* (1985) la tasa de deslizamientos es <0.2 mm/año.

Nombre de la Falla: Z.F. Plan de Barrancas (Hostotipaquillo A, B, C, D, E, F, G, H, I y J)

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: WNW-ESE

Echado Promedio: 65

Dirección promedio del Echado: NE

Longitud (km): A 2.94, B 6.58, C 8.34, D 6.63, E 3.42, F 3.12, G 2.24, H 3.91, I 5.55 y J 2.22

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Michaud F., *et al.*, 1993, La dépression de Amatlan de Cañas (Ouest du Mexique)—Distension néogène dans la zone nord du Bloc Jalisco: Paris, Compte Rendue Academie des Sciences du Paris, v. 312, no. II, p. 251-258.

Observaciones 1: Forma fallas rectilíneas con escarpes de altura máxima de 100 m El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<1.6 Ma), correspondiente a flujos de lava riolítica.

Observaciones 2: Forma fallas rectilineas con escarpes de altura máxima de 100 m.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año.

Nombre de la Falla: Z.F. Plan de Barrancas (Magdalena-Tequila A, B, C, D, E, F, G, H)

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NW-SE

Echado Promedio: 65

Dirección promedio del Echado: NE

Longitud (km): A 1.78, B 5.52, C 2.5, D 4.91, E 3.67, F 1.75, G 6.3, H 5.65

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Harris, J.M. & Carmichael I, S.E., 1984, Siliceous volcanics around volcán de Tequila, Jalisco, Mexico Geological Society of America Abstract with Programs, v. 16, p. 530.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<0.21 Ma), correspondiente a lavas andesíticas del volcán Tequila.

Observaciones 2: Forma fallas rectilineas con escarpes de altura máxima de 50 m.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año.

Nombre de la Falla: Ameca

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: WNW-ESE

Echado Promedio: 70

Dirección promedio del Echado: S

Longitud (km): 22.99

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Ferrari, L., *et al.*, 1994, Regional tectonics of western Mexico and its implications for the northern boundary of the Jalisco Block: Geofisica Internacional, v. 33, p. 139-151.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<1.6 Ma), correspondiente a depósitos lacustres.

Observaciones 2: La Echado de la falla varía de 50 a 82 grados, el escarpe de la falla máximo es de 220 m.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año.

Nombre de la Falla: Techaluta

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NE-SW

Echado Promedio: 70

Dirección promedio del Echado: SE

Longitud (km): 19.25

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.55

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Michaud F., *et al.*, 1993, La dépression de Amatlàn de Cañas (Ouest du Mexique)—Distension nèogène dans la zone nord du Bloc Jalisco: Paris, Compte Rendue Academie des Sciences du Paris, v. 312, no. II, p. 251-258.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<1.6 Ma), existe la posibilidad de un evento asociado a esta falla (1568).

Observaciones 2: El relieve máximo de la falla es de 1500 m, el escarpe presenta facetas triangulares.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se calculó a partir de un relieve vertical de 2.5 km con desplazamientos desde 4.5 Ma.

Nombre de la Falla: San Marcos

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NW-SE

Echado Promedio: 70

Dirección promedio del Echado: SW

Longitud (km): 21.01

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.4

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Ferrari, L., & Rosas-Elguera, J., 2000, Late Miocene to Quaternary extension at the northern boundary of the Jalisco Block, western Mexico—The Tepic-Zacoalco Rift revised, Cenozoic tectonics and volcanism of Mexico: Geological Society of America Special Paper 334, p. 41-63.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<1.6 Ma), correspondiente a rocas volcánicas y depósitos lacustres.

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 750 m. La Echado varía de 60 a 82 grados.

Observaciones 3: Falla lítrica de despegue que limita la parte este del medio graben Zacoalco. Posible sismo asociado en 1568.

Nombre de la Falla: Atotonilco-Zocoalco

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NNW-SSE

Echado Promedio: 75

Dirección promedio del Echado: NE

Longitud (km): 19.7

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología, Sismos Históricos

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Ferrari, L., & Rosas-Elguera, J., 2000, Late Miocene to Quaternary extension at the northern boundary of the Jalisco Block, western Mexico—The Tepic-Zacoalco Rift revised, Cenozoic tectonics and volcanism of Mexico: Geological Society of America Special Paper 334, p. 41-63.

Observaciones 1: El último evento registrado corresponde al sismo Histórico de 1568, reportes indican que destruyó la Villa de Zacoalco

Observaciones 2: Presenta escarpes verticales, que se intuye que son producto de la deformación cosísmica del sismo.

Observaciones 3: La falla forma el límite oeste del graben Villa Corona.

Nombre de la Falla: Z.F. Villa Corona (Villa Corona)

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NW-SE

Echado Promedio: 65

Dirección promedio del Echado: SW

Longitud (km): 9.8

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.15

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Allan, J. F., 1986, Geology of the Colima and Zacoalco grabens, SW Mexico—Late Cenozoic rifting in the Mexican Volcanic Belt: Geological Society of America Bulletin, v. 97, p. 473-485.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<0.65 Ma), correspondiente a Ignimbritas Acatlán.

Observaciones 2: Forma fallas rectilíneas con escarpes de altura máxima de 100 m.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se calculó a partir del escarpe de 100 m con desplazamientos desde 0.65 Ma.

Nombre de la Falla: Z.F. Villa Corona (Sierra de Ahuisculco)

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NW-SE

Echado Promedio: 65

Dirección promedio del Echado: SW

Longitud (km): 15.8

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.3

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Allan, J. F., 1986, Geology of the Colima and Zacoalco grabens, SW Mexico—Late Cenozoic rifting in the Mexican Volcanic Belt: Geological Society of America Bulletin, v. 97, p. 473-485.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<0.65 Ma), correspondiente a Ignimbritas Acatlán.

Observaciones 2: Forma fallas rectilíneas con escarpes de altura máxima de 200 m.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se calculó a partir del escarpe de 200 m con desplazamientos desde 0.65 Ma.

Nombre de la Falla: Z.F. Villa Corona (Buenavista)

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: WNW-ESE

Echado Promedio: 65

Dirección promedio del Echado: SW, S

Longitud (km): 10.56

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.23

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Ferrari, L., & Rosas-Elguera, J., 2000, Late Miocene to Quaternary extension at the northern boundary of the Jalisco Block, western Mexico—The Tepic-Zacoalco Rift revised, Cenozoic tectonics and volcanism of Mexico: Geological Society of America Special Paper 334, p. 41-63.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<0.65 Ma), correspondiente a Ignimbritas Acatlán.

Observaciones 2: Forma fallas rectilíneas con escarpes de altura máxima de 250 m.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se calculó a partir del escarpe de 250 m con desplazamientos desde 0.65 Ma.

Nombre de la Falla: Z.F. Villa Corona (El Timbal A, B, C, D, E, F, G)

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NW-SE

Echado Promedio: 70

Dirección promedio del Echado: SW, S

Longitud (km): A 2.64, B 3.2, C 5.66, D 7.46, E 2.33, F 8.42, G 4.56

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.15

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Ferrari, L., & Rosas-Elguera, J., 2000, Late Miocene to Quaternary extension at the northern boundary of the Jalisco Block, western Mexico—The Tepic-Zacoalco Rift revised, Cenozoic tectonics and volcanism of Mexico: Geological Society of America Special Paper 334, p. 41-63..

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<0.65 Ma), correspondiente a Ignimbritas Acatlán.

Observaciones 2: Forma fallas rectilíneas con escarpes de altura máxima de 100 m.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se calculó a partir del escarpe de 100 m con desplazamientos desde 0.65 Ma.

Nombre de la Falla: Z.F. Zacoalco (Sección A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z)

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NW-SE

Echado Promedio: 65

Dirección promedio del Echado: SW

Longitud (km): A 3.84, B 4.02, C 3.72, D 3.99, E 4.26, F 4.62, G 5.27, H 6.88, I 3.22, J 6.15, K 7.1, L 7.95, M 4.86, N 12.13, O 15.84, P 6.73, Q 10.9, R 9.01, S 7.1, T 3.25, U 12.96, V 6.67, W 6.62, X 3.01, Y 2.3, Z 2.09.

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología, Microsismología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Ferrari, L., & Rosas-Elguera, J., 2000, Late Miocene to Quaternary extension at the northern boundary of the Jalisco Block, western Mexico—The Tepic-Zacoalco Rift revised, Cenozoic tectonics and volcanism of Mexico: Geological Society of America Special Paper 334, p. 41-63.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<1.6 Ma), correspondiente a rocas volcánicas.

Observaciones 2: Posiblemente sismo histórico en 1568, en 1990 se detectó Microsismisidad en el área.

Observaciones 3: La zona de falla se localiza dentro del semigraben Zacoalco. La Echado varía de 50 a 80 grados.

Nombre de la Falla: SN Cerro Parapeto y Rancho El Alamito

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NW-SE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: SW

Longitud (km): 1.61.

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología,

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Noyola-Medrano, M.C., 1995, Estudio comparativo de la geología y morfología de algunos conos cineríticos en los campos volcánicos de Camargo, Chihuahua y San Quintín, B.C.: San Luis Potosí, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ingeniería, Tesis Profesional, 99 p.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<1.8 Ma), correspondiente a conos cineríticos.

Observaciones 2: La falla se presenta dentro del Campo Volcánico de Camargo. La falla es el límite NW del campo.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN Falla en campo Volcánico Camargo

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NW-SE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: SW

Longitud (km): 2.1

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología,

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Noyola-Medrano, M.C., 1995, Estudio comparativo de la geología y morfología de algunos conos cineríticos en los campos volcánicos de Camargo, Chihuahua y San Quintín, B.C.: San Luis Potosí, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ingeniería, Tesis Professional, 99 p.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<1.8 Ma), correspondiente a conos cineríticos.

Observaciones 2: La falla se presenta dentro del Campo Volcánico de Camargo. La falla es el límite NW del campo.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN Lagunetas y Rancho las Pampas

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NNW-SSE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: SW

Longitud (km): 19.99

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología,

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Noyola-Medrano, M.C., 1995, Estudio comparativo de la geología y morfología de algunos conos cineríticos en los campos volcánicos de Camargo, Chihuahua y San Quintín, B.C.: San Luis Potosí, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ingeniería, Tesis Professional, 99 p.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<1.8 Ma), correspondiente a conos cineríticos.

Observaciones 2: La falla se presenta dentro del Campo Volcánico de Camargo.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: El Milagro (Sección A, B, C, D)

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NNW-SSE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: NE

Longitud (km): A 24.4, B 3.77, C 2.29, D 1.35

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología,

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Noyola-Medrano, M.C., 1995, Estudio comparativo de la geología y morfología de algunos conos cineríticos en los campos volcánicos de Camargo, Chihuahua y San Quintín, B.C.: San Luis Potosí, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ingeniería, Tesis Professional, 99 p.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<1.8 Ma), correspondiente a conos cineríticos.

Observaciones 2: La falla se presenta dentro del Campo Volcánico de Camargo. La falla un límite tectónico del campo.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año.

Nombre de la Falla: SN Cerro Lamojino y Laguna El Flaco

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NW-SE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: NE

Longitud (km): 17.43

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología,

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Noyola-Medrano, M.C., 1995, Estudio comparativo de la geología y morfología de algunos conos cineríticos en los campos volcánicos de Camargo, Chihuahua y San Quintín, B.C.: San Luis Potosí, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ingeniería, Tesis Professional, 99 p.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<1.8 Ma), correspondiente a conos cineríticos.

Observaciones 2: La falla se presenta dentro del Campo Volcánico de Camargo. La superficie de la falla es lístrica.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: San Francisco (Sección A y B)

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: A NW-SE, B NNW-SSE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: NE

Longitud (km): A 16.47, B 26.63

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología,

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Noyola-Medrano, M.C., 1995, Estudio comparativo de la geología y morfología de algunos conos cineríticos en los campos volcánicos de Camargo, Chihuahua y San Quintín, B.C.: San Luis Potosí, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ingeniería, Tesis Professional, 99 p.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<1.8 Ma), correspondiente a conos cineríticos.

Observaciones 2: La falla se presenta dentro del Campo Volcánico de Camargo. La superficie de la falla es lístrica.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: El Carretón

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NNW-SSE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: SW

Longitud (km): 21.8

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología,

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Noyola-Medrano, M.C., 1995, Estudio comparativo de la geología y morfología de algunos conos cineríticos en los campos volcánicos de Camargo, Chihuahua y San Quintín, B.C.: San Luis Potosí, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ingeniería, Tesis Professional, 99 p.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<1.8 Ma), correspondiente a conos cineríticos. Escarpe máximo 100 m.

Observaciones 2: La falla se presenta dentro del Campo Volcánico de Camargo. La falla es el límite central este del campo.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN Sierra El Diablo

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NW-SE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: NE

Longitud (km): 23.79

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología,

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Noyola-Medrano, M.C., 1995, Estudio comparativo de la geología y morfología de algunos conos cineríticos en los campos volcánicos de Camargo, Chihuahua y San Quintín, B.C.: San Luis Potosí, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ingeniería, Tesis Profesional, 99 p.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<1.8 Ma), correspondiente a conos cineríticos.

Observaciones 2: La falla se presenta dentro del Campo Volcánico de Camargo. La falla es el límite central sur del campo.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN Sierra El Diablo

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NW-SE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: SW

Longitud (km): 26.15

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología,

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Aranda-Gómez, J.J. & Henry, C.D., 1992, Fallamiento cuaternario cerca de la ciudad de Durango—Naturaleza del período de deformación más joven relacionado a extensión multiepisódica en el noroeste de México: GEOS, v. 12, no. 5, p. 53-54.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<0.29 Ma), correspondiente a flujos de lava.

Observaciones 2: La superficie de la falla es probablemente lístrica.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN Mesa la Góngora y Maar La Breña

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NW-SE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: SW

Longitud (km): 5.26

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología,

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Aranda-Gómez, J.J. & Henry, C.D., 1992, Fallamiento cuaternario cerca de la ciudad de Durango—Naturaleza del período de deformación más joven relacionado a extensión multiepisódica en el noroeste de México: GEOS, v. 12, no. 5, p. 53-54.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<0.29 Ma), correspondiente a flujos de lava.

Observaciones 2: La máxima altura del escarpe de falla es de 10-15 m.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN Cerro Las Tunas y Cerro Las Escobas

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NW-SE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: SW

Longitud (km): 3.08

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología,

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Yamamoto, J., 1993, Actividad microsísmica en el área de Canatlán, Durango, y su relación con la geología regional: Geofísica Internacional, V. 32, núm. 3, p. 501-510.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<0.29 Ma), correspondiente a flujos de lava.

Observaciones 2: La superficie de la falla es probablemente lístrica.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN San Buenaventura y Juan Antonio Domínguez

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NW-SE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: SW

Longitud (km): 14.34

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología,

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Aranda-Gómez, J.J. & Henry, C.D., 1992, Fallamiento cuaternario cerca de la ciudad de Durango—Naturaleza del período de deformación más joven relacionado a extensión multiepisdica en el noroeste de México: GEOS, v. 12, no. 5, p. 53-54.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<0.29 Ma), correspondiente a flujos de lava.

Observaciones 2: La máxima altura del escarpe de falla es de 20 m.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN Monte Redondo y San Rafael (Sección A, B y C)

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NW-SE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: SW

Longitud (km): A 3.04, B 5.57, C 7.27

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología,

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Yamamoto, J., 1993, Actividad microsísmica en el área de Canatlán, Durango, y su relación con la geología regional: Geofísica Internacional, V. 32, núm. 3, p. 501-510.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<0.29 Ma), correspondiente a flujos de lava.

Observaciones 2: La superficie de la falla es probablemente lítrica, la falla se encuentra dividida en 3 secciones.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN Cerro Cerro Ojo de Venado y Cerro Venado

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NW-SE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: SW

Longitud (km): 3.09

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología,

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Yamamoto, J., 1993, Actividad microsísmica en el área de Canatlán, Durango, y su relación con la geología regional: Geofísica Internacional, V. 32, núm. 3, p. 501-510.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<0.29 Ma), correspondiente a flujos de lava.

Observaciones 2: Ambos extremos de la falla se encuentran cubiertos por depósitos volcánicos.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN Cerro Ojo de Venado y Cerro Peñoncito

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NW-SE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: NE

Longitud (km): 7.11

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología,

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Yamamoto, J., 1993, Actividad microsísmica en el área de Canatlán, Durango, y su relación con la geología regional: Geofísica Internacional, V. 32, núm. 3, p. 501-510.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<0.29 Ma), correspondiente a flujos de lava.

Observaciones 2: La falla se localiza en un área con varias fallas normales en arreglo de echelon.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN Cerro Las Minas y Cerro la Chicharronera

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NW-SE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: NE

Longitud (km): 4.14

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología,

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Yamamoto, J., 1993, Actividad microsísmica en el área de Canatlán, Durango, y su relación con la geología regional: Geofísica Internacional, V. 32, núm. 3, p. 501-510.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<0.29 Ma), correspondiente a flujos de lava.

Observaciones 2: La falla termina en arreglo de echelon, con componente lateral izquierda al sur de la falla.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN La Sanjuanera y Los Baluartes

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NW-SE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: SW

Longitud (km): 8.72

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología,

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Aranda-Gómez, J.J. & Henry, C.D., 1992, Fallamiento cuaternario cerca de la ciudad de Durango—Naturaleza del período de deformación más joven relacionado a extensión multiepisódica en el noroeste de México: GEOS, v. 12, no. 5, p. 53-54.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<0.29 Ma), correspondiente a flujos de lava.

Observaciones 2: La superficie de la falla es probablemente lístrica.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN Cerro el Obispo y San Diego

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NW-SE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: SW

Longitud (km): 5.71

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología,

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Aranda-Gómez, J.J. & Henry, C.D., 1992, Fallamiento cuaternario cerca de la ciudad de Durango—Naturaleza del período de deformación más joven relacionado a extensión multiepisódica en el noroeste de México: GEOS, v. 12, no. 5, p. 53-54.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<0.29 Ma), correspondiente a flujos de lava.

Observaciones 2: La máxima altura del escarpe de falla es de 20 m.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN Cerro San Diego y San Diego del Ojo

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NW-SE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: SW

Longitud (km): 5.4

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología,

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Yamamoto, J., 1993, Actividad microsísmica en el área de Canatlán, Durango, y su relación con la geología regional: Geofísica Internacional, V. 32, núm. 3, p. 501-510.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<0.29 Ma), correspondiente a flujos de lava.

Observaciones 2: La falla termina en arreglo de echelon al sur, presenta un desplazamiento vertical de 10 m.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN Río Casas Grandes

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: WNW-ESE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: SW

Longitud (km): 6.06

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología,

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Nakata, J.K., *et al.*, 1982, Quaternary fault map of the Basin and Range and Rio Grande rift provinces, western United States: U.S.G.S. Open-File Report 82-579, 2 maps, 1:2,500,000 scale.

Observaciones 1: Traza de la falla se colocó en el extremo sur de la Sierra Alta, cerca de la ruptura de pendiente del Cerro La Cueva.

Observaciones 2: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año.

Observaciones 3: Las siglas SN significa sin nombre.

Nombre de la Falla: SN Cerro La Rosina y el Fresal

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NNW-SSE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: NNE

Longitud (km): 11.89

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología,

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Nakata, J.K., *et al.*, 1982, Quaternary fault map of the Basin and Range and Rio Grande rift provinces, western United States: U.S.G.S. Open-File Report 82-579, 2 maps, 1:2,500,000 scale.

Observaciones 1: La falla corre a lo largo del margen occidental de la depresión topográfica que ocupa Laguna Guzmán y Laguna El Fresnal.

Observaciones 2: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año.

Observaciones 3: Las siglas SN significa sin nombre.

Nombre de la Falla: SN Sierra El Malpaís

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: WNW-ESE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: SW

Longitud (km): 20.91

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología,

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Nakata, J.K., *et al.*, 1982, Quaternary fault map of the Basin and Range and Rio Grande rift provinces, western United States: U.S.G.S. Open-File Report 82-579, 2 maps, 1:2,500,000 scale.

Observaciones 1: Traza de la falla se colocó en el extremo sur de la Sierra de El Malpaís.

Observaciones 2: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año.

Observaciones 3: Las siglas SN significa sin nombre.

Nombre de la Falla: SN Sierra El Malpaís

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: WNW-ESE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: SW

Longitud (km): 20.91

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología,

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Nakata, J.K., *et al.*, 1982, Quaternary fault map of the Basin and Range and Rio Grande rift provinces, western United States: U.S.G.S. Open-File Report 82-579, 2 maps, 1:2,500,000 scale.

Observaciones 1: Traza de la falla se colocó en el extremo sur de la Sierra de El Malpaís.

Observaciones 2: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año.

Observaciones 3: Las siglas SN significa sin nombre.

Nombre de la Falla: SN El Barreal y Ahumada

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NW-SE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: NE

Longitud (km): 50.41

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología,

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Nakata, J.K., *et al.*, 1982, Quaternary fault map of the Basin and Range and Rio Grande rift provinces, western United States: U.S.G.S. Open-File Report 82-579, 2 maps, 1:2,500,000 scale.

Observaciones 1: La falla se colocó cerca de la ruptura de la pendiente de la Sierra La Nariz y Cerros Bayos.

Observaciones 2: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año.

Observaciones 3: Las siglas SN significa sin nombre.

Nombre de la Falla: Sierra El Camello (parte Sur)

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: N-S, N-SW

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: W, SW

Longitud (km): 167.943

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología,

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Nakata, J.K., *et al.*, 1982, Quaternary fault map of the Basin and Range and Rio Grande rift provinces, western United States: U.S.G.S. Open-File Report 82-579, 2 maps, 1:2,500,000 scale.

Observaciones 1: El escarpe de la falla es en parte debido a fallamiento en el pleistoceno.

Observaciones 2: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año.

Observaciones 3: La falla muestra ser de alto ángulo en secciones.

Nombre de la Falla: Robledo Oeste (parte sur)

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NNW-SSE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: SW, W

Longitud (km): 35.853

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología,

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Mack, G.H., *et al.*, 1993, Magnetostratigraphy of the Plio-Pleistocene Camp Rice and Palomas formations in the Rio Grande rift of southern New Mexico: American Journal of Science, v. 293, p. 49-77.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<1.6 Ma), correspondiente a basaltos.

Observaciones 2: La falla muestra ser de alto ángulo.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año.

Nombre de la Falla: SN Abanicos de la Zona de falla Monte Riley

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NNW-SSE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: NE

Longitud (km): 18.19

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología,

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Mack, G.H., *et al.*, 1993, Magnetostratigraphy of the Plio-Pleistocene Camp Rice and Palomas formations in the Rio Grande rift of southern New Mexico: American Journal of Science, v. 293, p. 49-77.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<1.6 Ma), correspondiente a basaltos.

Observaciones 2: La falla es la parte oeste de un graben.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN= Sin nombre).

Nombre de la Falla: Zona de Falla Monte Riley (parte sur) sección A y B

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NNW-SSE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: SW

Longitud (km): A 19.869 y B 20.313

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología,

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Seager, W.R., & Mack, G.H., 1994, Geology of East Potrillo Mountains and vicinity, Doña Ana County, New Mexico: New Mexico Bureau of Mines and Mineral Resources Bulletin 113, 28 p.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<1.6 Ma), correspondiente a basaltos.

Observaciones 2: La falla se divide en dos secciones, muestra ser de alto ángulo.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN= Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN Cuenca Mesilla

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NW-SE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: NE

Longitud (km): 38.38

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología,

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Seager, Nakata, J.K., *et al.*, 1982, Quaternary fault map of the Basin and Range and Rio Grande rift provinces, western United States: U.S.G.S. Open-File Report 82-579, 2 maps, 1:2,500,000 scale

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno 1.6 Ma.

Observaciones 2: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año.

Observaciones 3: Las siglas SN significa sin nombre.

Nombre de la Falla: Montañas Este Franklin (parte sur)

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: N-S

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: E

Longitud (km): 25.197

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología,

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Collins, E. *et al.*, 1996, Map and data for Quaternary faults in west Texas and adjacent parts of Mexico: U.S. Geological Survey Open-File Report 96-002, 74 p., 1 plate (1:500,000 scale).

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno 130 Ka.

Observaciones 2: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año.

Observaciones 3: Se cree que la falla se activó en el pleistoceno (10-130 ka).

Nombre de la Falla: Sierra El Presidio (parte Suroeste)

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NW-SE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: SW

Longitud (km): 31.16

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología,

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Collins, E. *et al.*, 1996, Map and data for Quaternary faults in west Texas and adjacent parts of Mexico: U.S. Geological Survey Open-File Report 96-002, 74 p., 1 plate (1:500,000 scale).

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno 1.6 Ma.

Observaciones 2: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año.

Observaciones 3: Junto con la falla Sierra El Presidio (parte Noreste) forman un estrecho horst.

Nombre de la Falla: Sierra el Presidio (parte Noreste)

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NW-SE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: NE

Longitud (km): 19.56

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología,

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Collins, E. *et al.*, 1996, Map and data for Quaternary faults in west Texas and adjacent parts of Mexico: U.S. Geological Survey Open-File Report 96-002, 74 p., 1 plate (1:500,000 scale).

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno 1.6 Ma.

Observaciones 2: La falla forma un estrecho graben entre la sierra Guadalupe y Sierra el Presidio.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año.

Nombre de la Falla: Sierra de Guadalupe (parte suroeste)

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NW-SE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: SW

Longitud (km): 15.2

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología,

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Collins, E. *et al.*, 1996, Map and data for Quaternary faults in west Texas and adjacent parts of Mexico: U.S. Geological Survey Open-File Report 96-002, 74 p., 1 plate (1:500,000 scale).

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<1.6 Ma).

Observaciones 2: La falla forma un estrecho graben entre la sierra Guadalupe y Sierra el Presidio.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año.

Nombre de la Falla: Caballo (sección sur)

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NW-SE

Echado Promedio: 75

Dirección promedio del Echado: SW

Longitud (km): 5.15

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología,

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Collins, E.W., & Raney, J.A., 1993, Late Cenozoic faults of the region surrounding the Eagle Flat study area, northwestern trans-Pecos Texas: Technical report to Texas Low-Level Radioactive Waste Disposal Authority, under Contract IAC(92-93)-0910, 74 p

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<1.6 Ma), correspondiente a sedimentos.

Observaciones 2: El Echado de la falla varía de 70 a 80 grados observado en afloramientos fallados.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año.

Nombre de la Falla: SN Sierra Los Pilares

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: N-S

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: W

Longitud (km): 7.24

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología,

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Henry, C.D., *et al.*, 1985, Tectonic map of the Basin and Range Province of Texas and adjacent Mexico: The University of Texas at Austin, Bureau of Economic Geology, Miscellaneous Map 36, 1 sheet, scale 1:500,000.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<1.6 Ma).

Observaciones 2: La expresión superficial de la falla puede ser sutil o se encuentra erosionada.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN Margen Oeste de Presido Bolson (sección A y B)

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: A N-S, B NW-SE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: E

Longitud (km): A 44.65, B 48.19

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología,

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Henry, C.D., 1998, Basement-controlled transfer zones in areas of low-magnitude extension, eastern Basin and Range province, Trans-Pecos Texas, Accommodation zones and transfer zones: The regional segmentation of the Basin and Range province: Geological Society of America Special Paper 323, p. 75-88.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<1.6 Ma).

Observaciones 2: La última sedimentación del graben es de 5 Ma al presente indicativo de episodios de fallamiento.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: SN Oeste de la Sierra El Peguis

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NNW-SSE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: SW

Longitud (km): 21.54

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología,

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Henry, C.D., 1998, Basement-controlled transfer zones in areas of low-magnitude extension, eastern Basin and Range province, Trans-Pecos Texas, Accommodation zones and transfer zones: The regional segmentation of the Basin and Range province: Geological Society of America Special Paper 323, p. 75-88.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<1.6 Ma).

Observaciones 2: La última sedimentación del graben es de 5 Ma al presente indicativo de episodios de fallamiento.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año (SN=Sin nombre).

Nombre de la Falla: Mesa Tascotal

Tipo de Falla: Normal, Lateral Derecha

Rumbo Promedio: W-E

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: N

Longitud (km): 18.76

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología,

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Henry, C.D., *et al.*, 1985, Tectonic map of the Basin and Range Province of Texas and adjacent Mexico: The University of Texas at Austin, Bureau of Economic Geology, Miscellaneous Map 36, 1 sheet, scale 1:500,000.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<1.6 Ma).

Observaciones 2: El escarpe de falla muestra desplazamientos en rocas cretácicas y terciarias, los desplazamientos del cuaternario son difíciles de identificar.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año.

Nombre de la Falla: Z.F. Bedford-Latijas

Tipo de Falla: Lateral Derecha, Normal

Rumbo Promedio: NW-SE

Echado Promedio: 82

Dirección promedio del Echado: NE

Longitud (km): 13.61

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología,

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Henry, C.D., *et al.*, 1985, Tectonic map of the Basin and Range Province of Texas and adjacent Mexico: The University of Texas at Austin, Bureau of Economic Geology, Miscellaneous Map 36, 1 sheet, scale 1:500,000.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<1.6 Ma). La Zona de Falla corresponde a la parte sur de la Z. F. Red Bolson.

Observaciones 2: La zona de falla es en forma de Echelon, de alto ángulo (varía de 75 a 90 grados), en la parte oeste y central es un complejo graben.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año.

Nombre de la Falla: Z.F. Redford Bolson (Sección A, B, C, D, E, F)

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NW-SE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: NE

Longitud (km): A 37.24, B 6.14, C 6.64, D 2.53, E 2.85, F 10

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología,

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Henry, C.D., 1998, Basement-controlled transfer zones in areas of low-magnitude extension, eastern Basin and Range province, Trans-Pecos Texas, Accommodation zones and transfer zones: The regional segmentation of the Basin and Range province: Geological Society of America Special Paper 323, p. 75-88.

Observaciones 1: El último paleoevento corresponde al pleistoceno (<1.6 Ma).

Observaciones 2: La última sedimentación del graben es de 5 Ma. al presente indicativo de episodios de fallamiento.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce se infiere el valor <0.2 mm/año.

Nombre de la Falla: Concordia

Tipo de Falla: Lateral Izquierda

Rumbo Promedio: NW-SE

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado:

Longitud (km): 101.67

Evidencia de la actividad: Sismos Históricos, Sismología

Último Evento Sísmico: 1902

Magnitud del evento: 7.8

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento:

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Guzmán-Speziale M., 2010, Beyond the Motagua and Polochic faults: Active strike-slip faulting along the Western North America–Caribbean plate boundary zone, Tectonophysics 496, p. 17-27.

Observaciones 1: Eventos sísmicos: 1902 M=7.8. Desde 1964 no existe evidencia de sismo M>4.5.

Observaciones 2: 2 Periodos de actividad: fase extensional en triásico Tardío-Jurásico temprano; fallamiento Inverso Cretácico tardío-Eoceno temprano.

Observaciones 3: La falla es parte de la deformación del límite de placas Norteamericana y Caribe, al norte del sistema de fallas Polochic-Motagua.

Nombre de la Falla: SN Juanacatlán y El Calvario

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: ENE-WSW

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: N

Longitud (km): 8.39

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Suter, M., *et al.*, 1995, The Acambay graben—Active intra-arc extension in the Trans-Mexican volcanic belt, Mexico: Tectonics, v. 14, no. 6, p. 1245-1262.

Observaciones 1: La falla se localiza dentro del Graben de Acambay, El último paleoevento registrado se estima <1.6 Ma

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 110 m. presenta multieventos.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce, se infiere que sea <0.2 mm/año.

Nombre de la Falla: SN Sur de Tlacotepec

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: W-E

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: N

Longitud (km): 12.41

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Suter, M., *et al.*, 1992, Active faults and state of stress in the central part of the Trans-Mexican volcanic belt, 1—The Venta de Bravo fault: Journal of Geophysical Research, v. 97, p. 11,983-11,994

Observaciones 1: La falla se localiza dentro del Graben de Acambay, El último paleoevento registrado se estima <1.6 Ma

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 110 m. presenta multieventos.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce, se infiere que sea <0.2 mm/año. (SN= Sin Nombre).

Nombre de la Falla: SN Carretera Maravatio-El Oro y el Jagüey

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: W-E

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: N

Longitud (km): 5.61

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Suter, M., *et al.*, 1992, Active faults and state of stress in the central part of the Trans-Mexican volcanic belt, 1—The Venta de Bravo fault: Journal of Geophysical Research, v. 97, p. 11,983-11,994

Observaciones 1: La falla se localiza dentro del Graben de Acambay, El último paleoevento registrado se estima <1.6 Ma

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 100 m. presenta multieventos.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce, se infiere que sea <0.2 mm/año. (SN= Sin Nombre).

Nombre de la Falla: SN Zaragoza y Santiago

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: W-E

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: N

Longitud (km): 4.17

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Suter, M., *et al.*, 1995, The Acambay graben—Active intra-arc extension in the Trans-Mexican volcanic belt, Mexico: Tectonics, v. 14, no. 6, p. 1245-1262.

Observaciones 1: La falla se localiza dentro del Graben de Acambay, El último paleoevento registrado se estima <1.6 Ma

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 50 m. presenta multieventos.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce, se infiere que sea <0.2 mm/año. (SN= Sin Nombre).

Nombre de la Falla: SN Cerro El Pelon y Cerro EL Zorrillo

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: W-E

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: N

Longitud (km): 6.61

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Suter, M., *et al.*, 1995, The Acambay graben—Active intra-arc extension in the Trans-Mexican volcanic belt, Mexico: Tectonics, v. 14, no. 6, p. 1245-1262.

Observaciones 1: La falla se localiza dentro del Graben de Acambay, El último paleoevento registrado se estima <750 ka

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 50 m. presenta multieventos.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce, se infiere que sea <0.2 mm/año. (SN= Sin Nombre).

Nombre de la Falla: SN Cerro EL Zorrillo y Volcán Altamirano

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: W-E

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: N

Longitud (km): 9.8

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Suter, M., *et al.*, 1995, The Acambay graben—Active intra-arc extension in the Trans-Mexican volcanic belt, Mexico: Tectonics, v. 14, no. 6, p. 1245-1262.

Observaciones 1: La falla se localiza dentro del Graben de Acambay, El último paleoevento registrado se estima <1.6 Ma

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 50 m. presenta multieventos.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce, se infiere que sea <0.2 mm/año. (SN= Sin Nombre).

Nombre de la Falla: Epitacio Huerta

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: NW-SE, W-E

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: SW

Longitud (km): 22.51

Evidencia de la actividad: Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Aguirre-Díaz, G., 1993a, The Amealco caldera, Querétaro, Mexico: Geology, geochronology, geochemistry, and comparison with other silicic centers of the Mexican volcanic belt: Austin, University of Texas at Austin, Tesis de Doctorado.

Observaciones 1: La falla se localiza dentro del Graben de Acambay, El último paleoevento registrado se estima <1.6 Ma

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 50 m. presenta multieventos.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce, se infiere que sea <0.2 mm/año.

Nombre de la Falla: SN San Pedro el Alto (Sección A y B)

Tipo de Falla: Normal

Rumbo Promedio: W-E

Echado Promedio:

Dirección promedio del Echado: N

Longitud (km): 5.88 sección A y 4.58 sección B

Evidencia de la actividad: Sismos Históricos, Geomorfología, Geología

Último Evento Sísmico:

Magnitud del evento:

Desplazamiento Máximo del evento (cm):

Taza de deslizamiento: 0.2

Intervalo de Recurrencia (miles de años):

Referencia: Suter, M., *et al.*, 1995, The Acambay graben—Active intra-arc extension in the Trans-Mexican volcanic belt, Mexico: *Tectonics*, v. 14, no. 6, p. 1245-1262.

Observaciones 1: La falla se localiza dentro del Graben de Acambay, El último paleoevento registrado se estima <1.6 Ma

Observaciones 2: El escarpe de la falla con una altura máxima de 110 m. presenta multieventos. La rutura de la falla es producto del sismo de 1912.

Observaciones 3: La tasa de deslizamiento se desconoce, se infiere que sea <0.2 mm/año.