



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**ESTUDIO DE SISMOS ORIGINADOS POR FUENTES
SISMOGÉNICAS SUPERFICIALES OCURRIDOS EN
GUATEMALA EN EL SIGLO XIX**

Ligia Eleonora del Cid Vargas

Asesorado por el Ing. Alfredo Arce Valenzuela

Guatemala, mayo de 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO DE SISMOS ORIGINADOS POR FUENTES
SISMOGÉNICAS SUPERFICIALES OCURRIDOS EN
GUATEMALA EN EL SIGLO XIX**

TRABAJO DE GRADUACIÓN
PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR:

LIGIA ELEONORA DEL CID VARGAS

ASESORADO POR EL ING. ALFREDO ARCE VALENZUELA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERA CIVIL

GUATEMALA, MAYO DE 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Roberto Mayorga Rouge
EXAMINADOR	Ing. Rabel Ángel Bolaños Escobar
EXAMINADOR	Ing. Roberto Antonio Obiols Gómez
EXAMINADOR	Ing. Hugo Rolando Bosque Morales
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ESTUDIO DE SISMOS ORIGINADOS POR FUENTES SISMOGÉNICAS SUPERFICIALES OCURRIDOS EN GUATEMALA EN EL SIGLO XIX,

tema que me fue asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, el 9 de junio de 2005.

.....

Ligia Eleonora del Cid Vargas

ACTO QUE DEDICO A

DIOS

Por su presencia

MIS HIJOS

LIGIA IRENE, luz iluminadora

JOSÉ MIGUEL, jovialidad maravillosa

JOSUÉ GUILLERMO, justicia gloriosa

MIS PADRES

Por su apoyo y paciencia

MI FAMILIA

En especial a mis hermanos: Mario Renato (†),
Paula Irene y Carlo Emilio, gracias

MIS AMIGOS

Que siempre estuvieron dando fortaleza y apoyo
incondicional

LAS MUJERES

Para que sigan sus sueños

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. PRINCIPIOS Y DEFINICIONES BÁSICAS	1
1.1. Sismología	1
1.1.1. Objetivos de la sismología	2
1.2. Ingeniería sísmica	3
1.2.1. Objetivos de la Ingeniería Sísmica	4
1.3. Ingeniería sismológica	5
1.4. Diferencias entre el sismólogo y el ingeniero sísmico.....	5
2. GEOFÍSICA DE LOS MOVIMIENTOS SÍSMICOS	9
2.1. El movimiento sísmico	9
2.2. Tipos de temblores por su origen	10
2.3. Teoría de la repercusión elástica y teoría de la tectónica de placas	11

2.3.1.	Teoría de la repercusión elástica.....	11
2.3.2.	Teoría de la Tectónica de placas.....	13
2.4.	Ondas sísmicas.....	16
2.4.1.	Ondas corpóreas.....	16
2.4.2.	Ondas superficiales.....	17
2.5.	Tipos de fallas.....	20
2.6.	Características de los parámetros de la fuente.....	22
2.7.	Momento sísmico.....	29
3.	SISMOTECTÓNICA DE LA REGIÓN.....	31
3.1.	Ubicación tectónica.....	31
3.2.	Fuentes sismogénicas en Guatemala.....	33
3.2.1.	Zona de subducción.....	34
3.2.2.	Zona de transcurrencia.....	35
3.2.3.	Zona de fallamientos superficiales o fuentes secundarias.....	36
3.3.	Amenaza sísmica en Guatemala. Sismos destructivos.....	39
4.	ESTUDIO DE EVENTOS SÍSMICOS ORIGINADOS POR FUENTES SUPERFICIALES.....	43
4.1	Selección de sismos a estudiar.....	43
4.2	Catálogo sísmico.....	46

4.3	Escala de intensidades.....	50
4.4	Elaboración de isosistas.....	58
4.4.1.	Actividad sísmica del 1 de abril al 18 de mayo de 1830	58
4.4.2.	Actividad sísmica ocurrida del 14 de abril al 12 de mayo de 1870	65
4.4.3.	Actividad sísmica ocurrida del 2 de agosto al 16 de septiembre de 1874.....	71
4.4.4.	Actividad sísmica ocurrida del 15 al 31 de diciembre de 1885.....	83
4.5.	Características de los eventos sísmicos de fuentes superficiales	92
4.5.1.	Ecuación de atenuación sísmica	95
4.6	Evento sísmico de mayo-junio de 1986.....	96
	CONCLUSIONES.....	101
	RECOMENDACIONES.....	103
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	105
	BIBLIOGRAFÍA.....	109

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	El interés del ingeniero sísmico y del sismólogo	7
2.	Esquema de la energía elástica liberada	12
3.	Cómo se produce un terremoto	13
4.	Tectónica de placas.....	14
5.	Esquema de propagación de ondas	19
6.	Diagrama de tipo de fallas	21
7.	Parámetros de la fuente	24
8.	Mapa tectónico	31
9.	Mapa de sismicidad y zonas sismogénicas en Guatemala	33
10.	Zona de subducción	34
11.	Falla lateral (transcurrencia).....	35
12.	Falla de graben.....	37
13.	Falla de cabalgamiento	38
14.	Amenaza sísmica.....	39
15.	Sección esquemática de las isosistas	55
16.	Actividad sísmica del 1 de abril al 18 de mayo de 1830. Evento principal: 23 de abril	63

17.	Isosistas para el evento principal del 23 de abril de 1830. Actividad sísmica del 1 de abril al 18 de mayo	64
18.	Actividad sísmica del 14 de abril al 12 de mayo de 1870. Evento principal: 3 de mayo	69
19.	Isosistas para el evento principal del 3 de mayo de 1870. Actividad sísmica del 14 de abril al 12 de mayo de 1870.....	70
20.	Actividad sísmica del 2 de agosto al 16 de septiembre de 1874. Evento principal: 3 de septiembre	81
21.	Isosistas para el evento principal 3 de septiembre de 1874. Actividad sísmica del 2 de agosto al 18 de septiembre	82
22.	Actividad sísmica del 15 al 31 de diciembre de 1885. Evento principal: 18 de diciembre.....	90
23.	Isosistas evento principal 18 de diciembre de 1885. Actividad sísmica del 15 al 31 de diciembre	91
24.	Duración de actividad sísmica, año 1830	93
25.	Duración de actividad sísmica, año 1870	93
26.	Duración de actividad sísmica, año 1874	94
27.	Duración de actividad sísmica, año 1885	94
28.	Magnitud de los eventos en el mes de mayo de 1988	98
29.	Ubicación de epicentros, enjambre sísmico de mayo 1988.....	100

TABLAS

I.	Terremotos por año en todo el mundo	28
II.	Características de sismos destructivos que pueden ocurrir en el territorio guatemalteco	41
III.	Valores de intensidad correspondiente a diferentes escalas	52
IV.	Resultados de ecuación de atenuación.....	96
V.	Registro de sismos de mayo de 1988	97

GLOSARIO

Acelerómetro	Es un sismógrafo que sirve para medir las aceleraciones del suelo en función del tiempo. Estos no registran continuamente, pero son disparados por la primera onda del sismo que arriba durante una aceleración fuerte del suelo.
Amplitud de onda	La máxima altura de una onda o profundidad de una garganta.
Atenuación	Descripción de la energía sísmica con la distancia desde la fuente sísmica.
Enjambre	Swarm.- Serie de muchos sismos pequeños en un período corto sin un sismo principal o de magnitud mayor; una serie de sismos en la misma localidad, ninguno de los sismos es de un tamaño considerable.
Epicentro	Epicentre.- Define el punto sobre la superficie de la tierra, directamente por encima del foco o hipocentro de un sismo o terremoto.

Falla	Active fault.- Define a una fractura geológica a lo largo de lo cual se ha producido un desplazamiento de dos bloques adyacentes en tiempos históricos o donde se han localizado focos de terremotos. El desplazamiento puede ser de milímetros a kilómetros.
Foco o hipocentro	Focus, Hypocenter.- Punto en el interior de la Tierra en donde se produce el terremoto o desde el cual se produce la liberación de energía; el punto de ruptura inicial de una falla; puede estar cerca de la superficie o debajo de ella.
Ingeniería sísmica	Earthquake engineering.- La aplicación de los conocimientos de los sismos y las vibraciones del suelo al diseño y la construcción de obras civiles y obras públicas para proporcionar protección a vidas y a recursos en caso de un terremoto.
Intensidad	Intensity: una medida del movimiento del suelo que se obtiene del daño hecho a las estructuras construidas por el hombre, cambios en la superficie de la tierra y reportes de lo que sintió.
Isosista	Isoseismal.- Curva en un mapa mostrando lugares de igual nivel de intensidad.

Magnitud	Magnitude.- La medida del tamaño de un sismo, que se determina tomando el logaritmo común (base 10) del movimiento más grande registrado durante el arribo del tipo de onda sísmica y aplicando una corrección estándar de la distancia al epicentro. Tres tipos comunes de magnitudes son Richter o local (Mi), "P" onda corpórea (mb) y onda de superficie (Ms).
Observación macrosísmica	Macroseismic observation.- Observación de los efectos de los terremotos en el campo, sin hacer uso de instrumentos que registran la vibración del suelo.
Onda P	P - Wave.- Ondas sísmicas en las cuales el movimiento de la partícula se realiza en la misma dirección en la cual se propagan las ondas. Las ondas P son de alta frecuencia y longitud de onda corta.
Onda Rayleigh	Rayleigh Wave.- Onda superficial del suelo sólo en el plano vertical conteniendo la dirección de propagación de la onda. Estas ondas sólo están presentes en terremotos con foco a profundidad superficial y son de baja frecuencia y longitud de onda larga.
Onda S	S- Wave.- Ondas sísmicas en las cuales el movimiento de la partícula está a 90° de la dirección de propagación de las ondas. Las ondas S son de baja frecuencia y longitud de onda larga.

Ondas internas	Body waves.- Nombre colectivo para las ondas P y las ondas S.
Ondas Love	Love waves.- Onda superficial con movimiento sólo horizontal de corte normal a la dirección de propagación. Las ondas Love son de baja frecuencia y longitud de onda larga.
Ondas sísmicas	Seismic Waves.- Ondas elásticas que se propagan dentro de la tierra, generadas por un terremoto o explosión.
Recurrencia	Recurrence.- La relación entre la magnitud y la frecuencia de ocurrencia de los sismos en una región.
Réplicas	Aftershocks.- Terremotos de magnitud pequeña que siguen a un terremoto de magnitud elevada. Algunas series de réplicas duran largo tiempo como la que siguió al terremoto de Alaska de 1964 con más de un año de duración. La frecuencia de réplicas disminuye más o menos rápidamente con el tiempo.
Sismicidad	La ocurrencia de sismos en un espacio de tiempo.
Sismógrafo	Seismograph.- Instrumento que registra los movimientos de la superficie de la Tierra en función del tiempo y que son causados por ondas sísmicas (terremotos).
Sismograma	Seismogram.- Define al registro producido por un sismógrafo; es el registro de las ondas sísmicas.

Sismología	Seismology.- Ciencia que estudia los terremotos, fuentes sísmicas y propagación de ondas sísmicas a través de la Tierra.
Sismómetro	Seismometer.- Componente principal de un sismógrafo, sensor que responde al movimiento del suelo, usualmente como un péndulo suspendido.
Teoría del rebote elástico	La teoría de la generación de sismos, proponiendo que las fallas permanecen inactivas mientras que la energía de tensión lentamente se acumula en las rocas adyacentes, y que repentinamente falla, liberando la energía.
Terremoto	Earthquake.- Movimiento repentino de parte de la corteza terrestre o sacudida producida en la corteza terrestre o manto superior. Un terremoto puede ser causado por el movimiento a lo largo de una falla o por actividad volcánica.
Terremoto superficial	Shallow earthquake.- Terremoto cuyo foco se localiza a una profundidad menor a 60 km. y están asociados directamente a los movimientos relativos de los lados de una falla y a veces pueden ser observadas en superficie.
Zona de Benioff	Benioff zone.- Dícese a una zona estrecha definida por la distribución de los focos de terremotos y que desciende desde la superficie bajo la corteza terrestre con ángulos que varían entre 30° y 80°. Característica propia de los arcos insulares, observada por el sismólogo Hugo Benioff.

Zona de subducción Subduction zone.- Dícese al proceso en el cual una placa tectónica de tipo oceánica desciende hacia el interior de la tierra por debajo de una placa continental.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación se realizó con la finalidad de conocer la actividad sísmica en Guatemala, provocada por fuentes superficiales, y tomar conciencia que estos sismos pueden causar tanto daño como los originados por una falla principal.

En Guatemala, se localizan muchas fallas geológicas y su territorio está fracturado en diferentes direcciones. Las placas que afectan el territorio de Guatemala son la de Norte América, la del Caribe y la de Cocos. En áreas adyacentes a los bordes de estas placas existen fracturas internas provocadas por las presiones que las placas tectónicas ejercen, a estas fracturas les llamamos fallas secundarias.

Con base en la bibliografía consultada, se recopiló información de cuatro eventos que pertenecen al período no instrumental, y son los siguientes:

Actividad sísmica ocurrida del 1 de abril al 18 de mayo de 1830.

Actividad sísmica ocurrida del 14 de abril al 12 de mayo de 1870.

Actividad sísmica ocurrida del 2 de agosto al 16 de septiembre de 1874.

Actividad sísmica ocurrida del 15 al 31 de diciembre de 1885.

Conociendo más sobre los datos macrosísmicos de fallas secundarias en el Siglo XIX, representada en mapas de isosistas, se concluyó que complementando estos resultados con la información instrumental se podrá estudiar los diferentes parámetros del evento sísmico; intensidad epicentral, profundidad focal, distancia epicentral y magnitud; con lo que se puede orientar la información para desarrollar fórmulas o patrones de atenuación de la intensidad macrosísmica para la región de Guatemala y contribuir de alguna manera a solucionar los problemas de la amenaza y el riesgo sísmico.

Luego de analizar los sismos de fuente superficial, los enjambres sísmicos, se puede comprobar que éstos producen daños similares a los que producen sismos con profundidades mayores. Y, estos sismos de origen superficial han causado daños en diferentes oportunidades a las mismas poblaciones.

OBJETIVOS

General

Conocer cuáles serían las consecuencias de la activación de una falla secundaria, y cómo puede afectar a las poblaciones cercanas a la misma, si éstas llegaran a activarse en la actualidad.

Específicos

Profundizar sobre la historia sísmica y la amenaza que representan las fuentes superficiales en Guatemala.

Aplicar conocimientos actuales a sismos históricos de período no instrumental en Guatemala, para conocer cómo afectó el área macrosísmica de la región.

Corroborar que la energía liberada por actividades sísmicas superficiales ($h < 30$ Km.), es pequeña comparada con la que se libera en la zona de subducción, pero constituye una amenaza sísmica en la región.

INTRODUCCIÓN

Guatemala se encuentra en la unión de tres placas tectónicas: Norteamérica, Cocos y Caribe. El movimiento relativo de las placas determina la topografía del país, la distribución de los terremotos y la localización de los volcanes. La mayoría de los sismos que suceden en Guatemala provienen de la zona de subducción, de la zona de transcurrencia y de las fallas superficiales.

El presente trabajo de investigación, se realizó con el fin de conocer más sobre la sismicidad histórica y amenaza sísmica que representan las fallas superficiales en nuestro país.

En el capítulo I se trabajó los principios y definiciones básicas de sismología, la ingeniería sísmica, la ingeniería sismológica, sus objetivos y diferencias.

El capítulo II trata sobre el movimiento sísmico, cuáles son las principales teorías, los diferentes tipos de temblores y fallas, y los parámetros de la fuente sismogénica.

En el capítulo III, que se desarrolló con el fin de conocer la tectónica de Guatemala, se describen las fuentes que producen la actividad sísmica y la amenaza sísmica.

El capítulo IV trata sobre la actividad sísmica originada por fuentes superficiales durante el Siglo XIX; la selección de las diferentes actividades sísmicas a las cuales, con base en la información recopilada, se les fue asignando una intensidad según la escala Mercalli Modificada; la elaboración del mapa de isosistas respectivo para cada actividad sísmica; las características de los eventos sísmicos de fuentes superficiales; y con base en una ecuación de atenuación se pudo corroborar la intensidad asignada y estimar la magnitud del evento.

Los sismos de origen superficial pueden llegar a generar eventos de magnitud media (5 grados Richter) que pueden ser destructores, para los centros poblacionales que se encuentran ubicados cerca o sobre estas fuentes sismogénicas.

Recopilar la información histórica y analizarla será un complemento valioso para la información instrumental que se ha reunido sobre la sismicidad del país. Considerando estas dos informaciones, se podrá desarrollar fórmulas o patrones de atenuación de la intensidad macrosísmica para la región de Guatemala, en lugar de utilizar fórmulas que son aplicadas para otros países o regiones.

1. PRINCIPIOS Y DEFINICIONES BÁSICAS

1.1. Sismología

La palabra sismología viene del griego “seísmos”: agitación, y “logos”: tratado; estudio de los terremotos. La sismología es una ciencia aplicada de la matemática-física. Además, hay otras materias que también juegan un papel importante como la geología y la estadística.

Algunas veces se cree que la sismología se circunscribe únicamente al significado de la palabra, pero incluye el estudio de las ondas sísmicas, el origen de sus parámetros y como determinarlos, estadística y geográfica de los terremotos, mecanismos sísmicos y la estructura interna de la tierra; lo cual se denomina como Sismología Clásica.

Y, los métodos para mejorar las observaciones sismológicas, modelos sismológicos, predicción y generación artificial de sismos, pruebas nucleares y otras explosiones, forman parte de la Sismología Moderna.

Entre las personas que se relacionan estrechamente con la Sismología tenemos: físicos, geofísicos, geólogos, ingenieros y definitivamente a los sismólogos.

Sobre esta base podemos resumir el significado de la Sismología de la siguiente manera:

? La ciencia de los terremotos:

- La física del interior de la tierra: propagación de ondas sísmicas y conclusiones acerca de la constitución interna de la tierra.

? La ciencia de las ondas elásticas sísmicas:

- Su origen: terremotos, explosiones, etc.
- Su propagación a través del interior de la tierra y,
- Su registro, incluyendo la interpretación.¹

La sismología llegó a ser una ciencia independiente en el inicio del siglo XX. Las bases teóricas, especialmente la del rebote elástico y la propagación de las ondas fueron desarrolladas con más antelación.

La sismología es parte de una ciencia más amplia: la geofísica. La geofísica se entiende como física aplicada a la tierra, que incluye la tierra sólida, el mar, la atmósfera y la ionosfera.

La sismología como la geofísica en general trabaja paralelamente con tres fuentes: observaciones de campo, incluyendo registros de fenómenos naturales; investigaciones de laboratorio e investigaciones teóricas-científicas.

1.1.1. Objetivos de la sismología

El objetivo de la sismología es el estudio del interior de la tierra, principalmente los desplazamientos del suelo.

¹ Märcus Bath. **Introduction to Seismology**, (2a. edición; Stuttgart: Birkhäuser Verlag Basel, 1979), p.13

Para alcanzar su objetivo principal, debe combinarse el conocimiento de fenómenos naturales, que algunas veces produce efectos desastrosos; con el recurso tecnológico, para generar información que puedan utilizar otros especialistas para reducir el riesgo al que puedan estar sometidas las personas.

El sismólogo, estudia todos los aspectos de los sismos, sus causas y sus características; también hace uso del registro de las ondas sísmicas para estudiar el interior de la Tierra, como también para ayudar en exploraciones de petróleo y minerales, y detectar explosiones nucleares secretas en lugares lejanos.

1.2. Ingeniería sísmica

La ingeniería sísmica tiene especial interés en los registros de los movimientos más fuertes producidos por un sismo; principalmente, de aquellos cercanos a la falla; estudia las aceleraciones del suelo y el movimiento del suelo en el sitio donde se localizan estructuras de ingeniería, y así, con la base del conocimiento del movimiento real del suelo, puede determinar los efectos del sismo en las estructuras.

Con la evolución de las técnicas de construcción, y la información que ha generado la investigación del comportamiento de los materiales ahora se pueden realizar análisis más precisos de los diferentes sistemas estructurales existentes. Con el apareamiento de las computadoras se pueden realizar análisis numéricos, matriciales, análisis no lineal, análisis de 2do. orden, análisis por elemento finito, análisis dinámico, para conocer la respuesta de un sistema estructural.

En la ingeniería sísmica se necesita un extenso conocimiento de las propiedades de los sismos fuertes, la influencia de las condiciones locales del suelo, y la dinámica de las estructuras; las cuales se ven afectadas al arribar las ondas sísmicas al sitio donde se encuentran construidas.

Entre las personas que se relacionan con la ingeniería sísmica tenemos al ingeniero civil, al ingeniero estructural, al ingeniero de suelos, a los arquitectos y por supuesto a los ingenieros sísmicos.

1.2.1. Objetivos de la Ingeniería Sísmica

La meta de la Ingeniería Sísmica es diseñar estructuras sismo-resistentes, es decir, diseñar los edificios para que no sufran daño ante temblores frecuentes de baja intensidad.

Que el daño no estructural sea limitado y fácilmente reparable y el daño estructural sea mínimo bajo la acción de temblores de intensidad moderada.

Que para temblores excepcionalmente intensos se tenga un nivel aceptable de seguridad contra el colapso, aunque los daños estructurales y no estructurales sean apreciables.

También se persigue que las deformaciones de las edificaciones estén limitadas, para preservar la comodidad y seguridad de los ocupantes, del público en general, y para evitar que se produzca pánico incontrolado durante temblores moderados o severos.

1.3. Ingeniería sismológica

La ingeniería sismológica se dedica a investigaciones para comprender la naturaleza de los movimientos fuertes del suelo, concentrando su atención en la aceleración, más que en la velocidad o desplazamiento del suelo.

La información que genera el sismólogo, se interpreta y se da a conocer al ingeniero sísmico; por lo que se puede decir que el sismólogo es el puente que comunica a la sismología con la ingeniería sísmica.

El interés de la ingeniería sismológica en la aceleración del suelo se debe a que las fuerzas inerciales generadas en una estructura durante un terremoto, son proporcionales a la aceleración del suelo.

1.4. Diferencias entre el sismólogo y el ingeniero sísmico

Algunos de los intereses específicos y que diferencian al ingeniero sísmico del sismólogo se detallan a continuación.

- a. Sismólogo: se interesa en estudiar cualquier sismo no importando si es de baja intensidad, pequeño o grande, o donde quiera que se ubique su lugar de origen.

Ingeniero sísmico: se interesa en estudiar los sismos más fuertes cercanos a la falla.

- b. Sismólogo: su objetivo es conocer cada vez más sobre la constitución interna de la Tierra, la propagación de las ondas sísmicas en el interior y mecanismos focales.

Ingeniero sísmico: su objetivo es conocer el movimiento del suelo en la superficie de la Tierra, depósitos del suelo y roca, donde las estructuras de ingeniería se ubican o serán construidas.

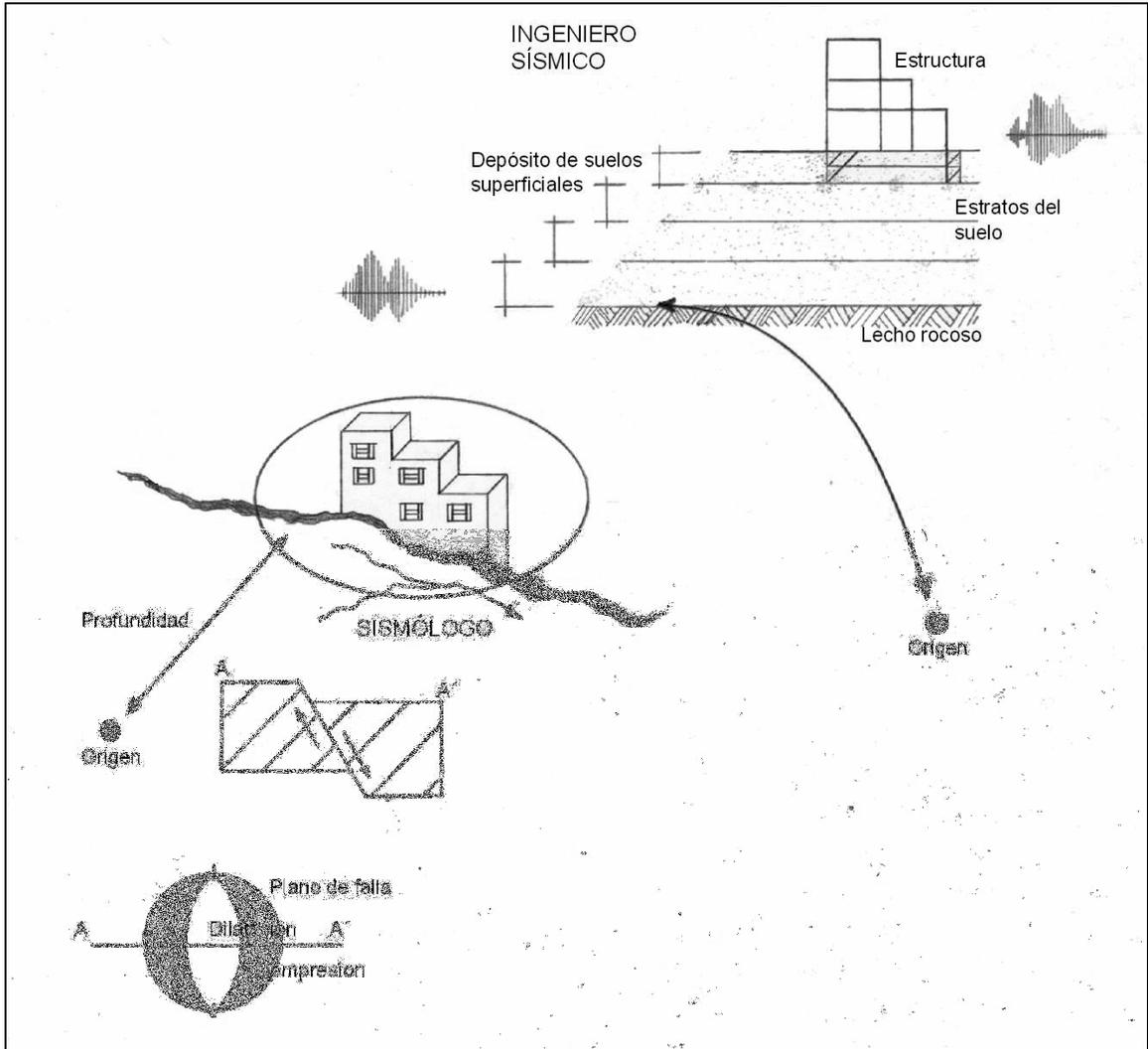
- c. Sismólogo: para sus investigaciones es esencial conocer el tiempo de arribo de las ondas sísmicas.

Ingeniero sísmico: no necesita conocer el tiempo absoluto de arribo de las ondas sísmicas.

Ambos trabajan para mitigar el desastre.

Uno de los intereses en común, es conocer la estimación del tamaño del sismo y la frecuencia de ocurrencia del mismo en el área en estudio.

Figura 1. El interés del ingeniero sísmico y del sismólogo



2. GEOFÍSICA DE LOS MOVIMIENTOS SÍSMICOS

2.1. El movimiento sísmico

Un movimiento siempre puede producir diferentes reacciones en el ser humano como en el resto de las criaturas vivientes. Por ejemplo, Charles Darwin, reflejó sus sentimientos de la siguiente forma a causa del devastador terremoto del 28 de febrero de 1835 en Concepción, Chile: “Un movimiento sísmico dañino destruye en un instante las sociedades más antiguas del mundo, todo aquello que es sólido se ha movido bajo nuestros pies como una costra sobre un fluido, un segundo en el tiempo ha creado en la mente una idea muy fuerte de inseguridad, lo que horas de reflexión no hubieran producido”.²

El profesor Alexander McEddie, Jefe de la División del San Francisco Weather Bureau escribió las siguientes palabras poco después del terremoto de San Francisco de 1906: “Severas agitaciones durando cuarenta segundos. Recuerdo que me llevó un minuto ponerme en posición después de levantarme, previo al golpe más violento”.³

Bernal Díaz del Castillo escribió en relación a los temblores de 1526 “...se sintieron terremotos tan fuertes que las gentes no podían tenerse en pie ...”⁴

² Bruce A. Bolt. *Earthquakes: a primer*. (San Francisco: W. H. Freeman and Company, 1978), p. 19

³ *Ibíd.* p. 21

⁴ José Vassaux P. *Cincuenta años de sismología en Guatemala*, (Guatemala: Observatorio Nacional, 1969), p. 2

Históricamente nuestro conocimiento sobre las causas de terremotos es relativamente nuevo. A mediados del siglo XIX se observó que el daño causado por muchos terremotos se concentraba localmente en un área, lo cual sugería un origen localizable. No fue sino hasta el terremoto de 1906 de San Francisco, que se reconoció que los terremotos eran causados por deslizamiento a lo largo de una falla en la corteza terrestre.

2.2. Tipos de temblores por su origen

Los sismos pueden ser originados por:

- a. Deslizamiento a lo largo de fallas geológicas.
- b. Cambios de fase de las rocas.
- c. Actividad volcánica.
- d. Explosiones.

Suelen llamarse tectónicos los temblores debidos a las dos primeras causas. Por la frecuencia con que ocurren, la energía que liberan y la extensión del área que afectan, son los más importantes en ingeniería sísmica. De estos, los de mayor interés práctico son los generados por deslizamientos en fallas geológicas, ya que producen la mayor parte de los daños en obras civiles.

La actividad volcánica siempre causa movimientos que sólo son perceptibles en la proximidad inmediata del foco, pues la energía liberada en estos fenómenos es relativamente pequeña, no existe propagación de la ruptura durante el proceso como sucede con los sismos producidos por deslizamientos en fallas, y se trata de focos muy superficiales.

2.3. Teoría de la repercusión elástica y teoría de la tectónica de placas

Existen teorías que explican los movimientos sísmicos; entre éstas se encuentran la teoría de la repercusión elástica y la teoría de la tectónica de placas.

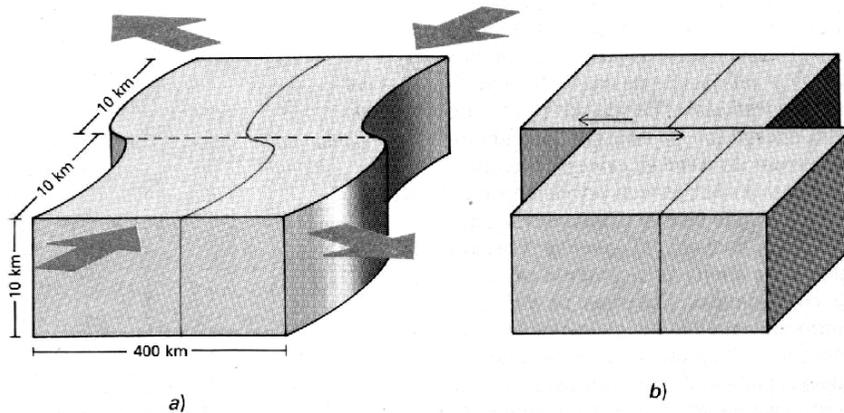
2.3.1. Teoría de la repercusión elástica

De acuerdo a la teoría de repercusión elástica; las rocas son elásticas, y la energía mecánica puede ser almacenada en ellas, tal y como es almacenada en un resorte comprimido. Cuando las dos placas que forman los lados opuestos de una de la falla se mueven relativamente, el movimiento tensiona elásticamente las rocas cercanas a la falla.

Cuando la tensión se incrementa y rebasa el esfuerzo de fricción de la falla, la unión friccionante falla en su punto más débil; es allí el punto de ruptura inicial, foco o hipocentro, el cual puede estar cerca de la superficie, 15 Km. de profundidad, o mucho más profundo, hasta 400 Km.

Desde el hipocentro, la ruptura rápidamente se propaga a lo largo de la superficie la de falla, causando que las rocas de los lados de la falla empiecen a deslizarse una detrás de la otra. Una parte del esfuerzo de fricción que las rocas han ejercido unas a otras antes de la ruptura es repentina y violentamente liberado en cuestión de segundos.

Figura 2. Esquema de la energía elástica liberada



a) Acumulación de energía. b) Fractura y desplazamiento

Fuente: Agustín Udías. Energía de la Tierra. p. 132

La energía elástica almacenada en las rocas, Figura 2, es liberada como calor generado por fricción y como ondas sísmicas. Las ondas sísmicas radiadas desde el hipocentro en todas las direcciones, producen el terremoto. Siendo, el epicentro del terremoto, el punto en la superficie de la tierra sobre el hipocentro.

Aunque los detalles físicos de la teoría de repercusión elástica son todavía inciertos, el modelo conceptual del proceso de fallamiento encaja bien con la hipótesis actual de la tectónica de placas.

La forma en que el suelo es deformado y la naturaleza de las ondas sísmicas que se irradian durante un terremoto, proveen información básica acerca del origen de los sismos: su tamaño y su orientación. Las ondas sísmicas tienen un rango amplio de período y amplitud. Cuando una falla se desliza, el proceso de ruptura tarda generalmente una fracción de segundos, para temblores pequeños, y unos segundos, para los más grandes. Figura 3.

Figura 3. Cómo se produce un terremoto

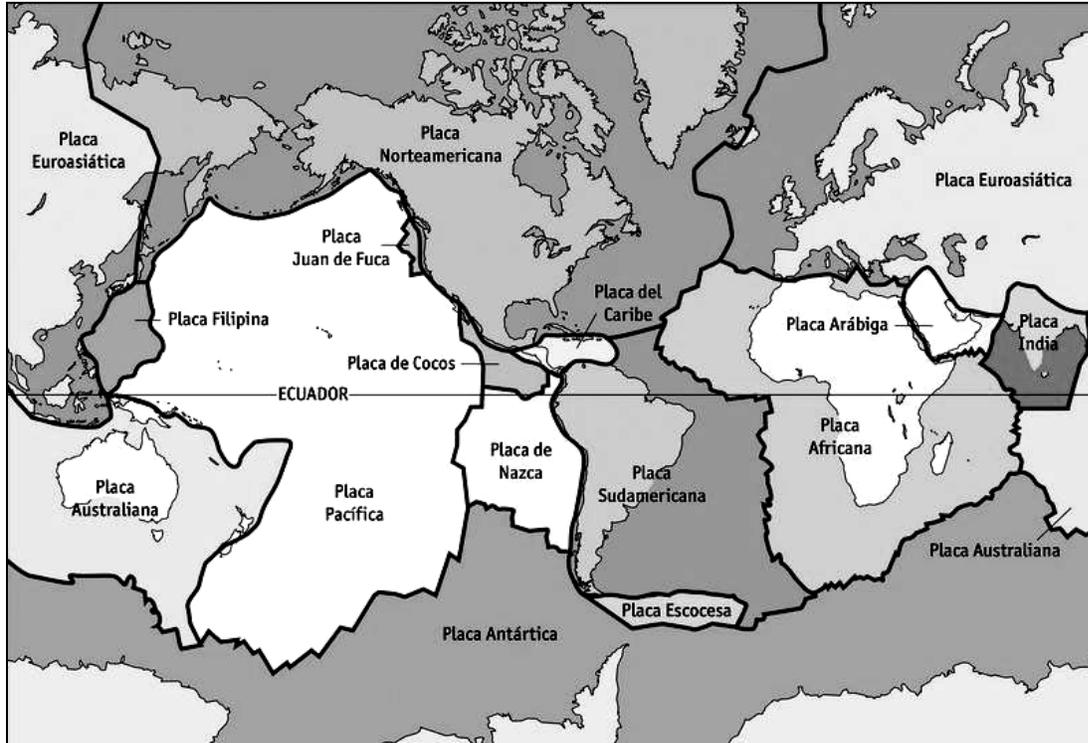


Fuente: Organización rescate Humbolt. <http://www.rescate.com>

2.3.2. Teoría de la Tectónica de placas

La teoría más aceptada a partir de los años 60 consiste en que los temblores de origen tectónico se deben al acomodamiento de las grandes placas en que se encuentra dividida la corteza terrestre al ocurrir movimientos relativos entre ellas (Figura 4). Esta teoría se conoce con el nombre de: teoría de la tectónica de placas o de la deriva continental.

Figura 4. Tectónica de placas



Fuente: Gustavo Tolson. Tectónica

En la teoría de la tectónica de placas, la corteza y el manto superior terrestre se divide en litosfera o capa dura, y astenósfera o capa blanda.

Esta teoría establece que la llamada astenósfera se comporta como una especie de cinta transportadora, sobre la cual se desplazan las placas de la litosfera. La litosfera está formada por la corteza terrestre (continental y oceánica) y una parte del manto superior, que se sitúan por encima de la astenósfera. Ambas capas constituyen una unidad rígida pero frágil que, al descansar sobre material plástico sometido a las denominadas corrientes de convección, se fragmenta en las llamadas placas litosféricas. Estas corrientes son las responsables del movimiento de las citadas placas. “La brusca liberación de energía a partir del deslizamiento genera un terremoto.”⁵

Las placas se desplazan una con relación a otra a velocidades de unos cuantos centímetros por año. En bordes divergentes las placas se separan, se crea nueva corteza oceánica. En bordes convergentes, las placas se acercan una a otra, generalmente una placa se sumerge bajo la otra dentro de la astenósfera, es el proceso que se llama subducción. En borde transformante se produce un desplazamiento horizontal entre las dos placas, paralelamente a sus límites las placas resbalan.

⁵ D. P. McKenzie. “El manto terrestre”. **Investigación y ciencia**. (86):41. 1983.

2.4. Ondas sísmicas

Una piedra tirada al agua envía ondas distribuyéndolas a través de la superficie; de una manera muy similar en la gelatina y otros materiales elásticos un movimiento repentino produce un estremecimiento parecido, propagando el impulso a través del cuerpo elástico en forma de ondas elásticas. De esta manera, las rocas de la Tierra tienen propiedades elásticas que provocan que se deformen y vibren cuando son empujadas o jaladas por las fuerzas que le son aplicadas.

La velocidad de propagación de las ondas sísmicas depende de la temperatura, presión y composición del medio rocoso. Las ondas sísmicas más importantes generadas por una fuente sismogénica son de dos tipos: las ondas corpóreas y las ondas de superficie.

2.4.1. Ondas corpóreas

Estas ondas se propagan a través del interior de la tierra y prácticamente en todas las direcciones; consisten en dos tipos: Ondas “P” o longitudinales y ondas “S” o transversales.

La onda “P”, también se le conoce como onda primaria, es la más rápida de las ondas; la cual viaja a través de las partes líquidas y sólidas de la tierra en las tres direcciones del espacio, como el magma volcánico y las montañas de granito respectivamente. Son ondas de tipo longitudinal, es decir, las partículas rocosas vibran en dirección del avance de la onda. Su movimiento particular es similar al de las ondas del sonido y envuelve a los materiales transmisores comprimiéndolos y dilatándolos. Cuando las ondas emergen de la profundidad de la Tierra a la superficie, una fracción de ellas puede ser transmitida a la atmósfera como ondas de sonido audible por los animales y los humanos. Se producen a partir del hipocentro.

Las ondas “S” se propagan a través del cuerpo rocoso de la Tierra, su movimiento particular es transversal a la dirección en que viajan aplicando esfuerzos de corte a las rocas. Su velocidad siempre es menor a la de las Ondas “P”. También se producen a partir del hipocentro y se propagan tridimensionalmente, pero únicamente a través de medios sólidos.

2.4.2. Ondas superficiales

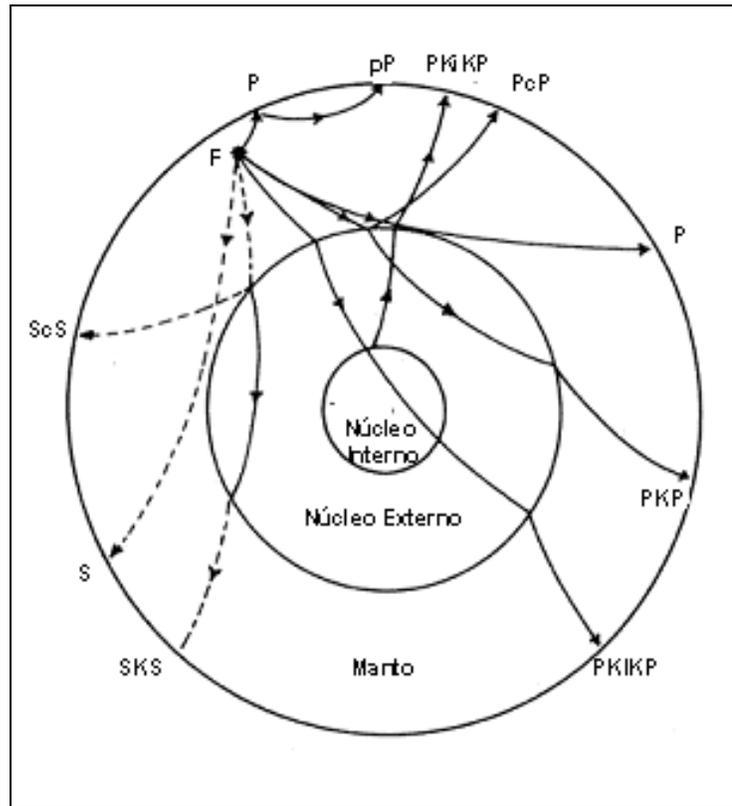
Se propagan a lo largo del límite entre dos capas guiadas por la superficie libre de la tierra, son semejantes a las ondas del agua; también se les llama, Ondas “L” o largas, se propagan a partir el epicentro. Éstas son las verdaderas causantes de los terremotos.

Estas ondas sísmicas de superficie se dividen en dos tipos: ondas Love y ondas Rayleigh, ambas involucran movimientos horizontales, pero únicamente las ondas Rayleigh tienen un desplazamiento horizontal.

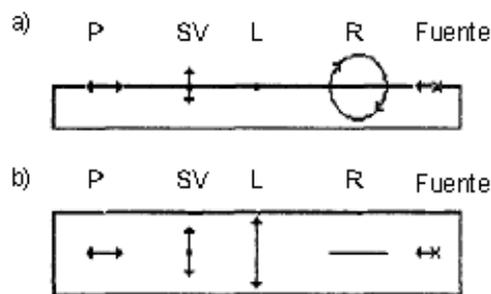
Así como ellas viajan dispersas en grandes sucesiones de ondas, son responsables de la mayor parte del movimiento percibido en terremotos a varios kilómetros del origen mismo.

Debido a su gran velocidad, las primeras ondas en arribar a cualquier punto de la tierra son las ondas "P". El primer impulso de la onda principia en el lugar donde el sismo tiene su origen, el hipocentro y para la localización del origen del sismo en mapas se utiliza el epicentro. Figura 5.

Figura 5. Esquema de propagación de ondas



F ? foco; P ? Onda P; S ? Onda S; R ? Ondas Rayleigh; c ? reflexión en la frontera; K ? transmisión a través del núcleo externo.



Vista lateral. b) Vista superior.

Adaptado de: Márcus Bath. Seismic waves. p.62

La amplitud de las ondas sísmicas puede fluctuar desde micrómetros – millonésimas de metro- a décimas de metro. El valor de deformación del suelo debido a una onda sísmica decrece con la distancia de origen del terremoto; lo que se conoce como efecto de atenuación.

Debido a que el origen del terremoto se encuentra bajo tierra, la radiación sísmica no puede “oírse” primero. Los sismólogos deben deducir la naturaleza del origen de los sismos por procedimientos indirectos de construcción de un modelo teórico, estimado como la señal sísmica podría distorsionarse al irse propagando a través de la tierra hasta llegar al sismógrafo y comparar el sismograma sintético con los sismogramas actuales.

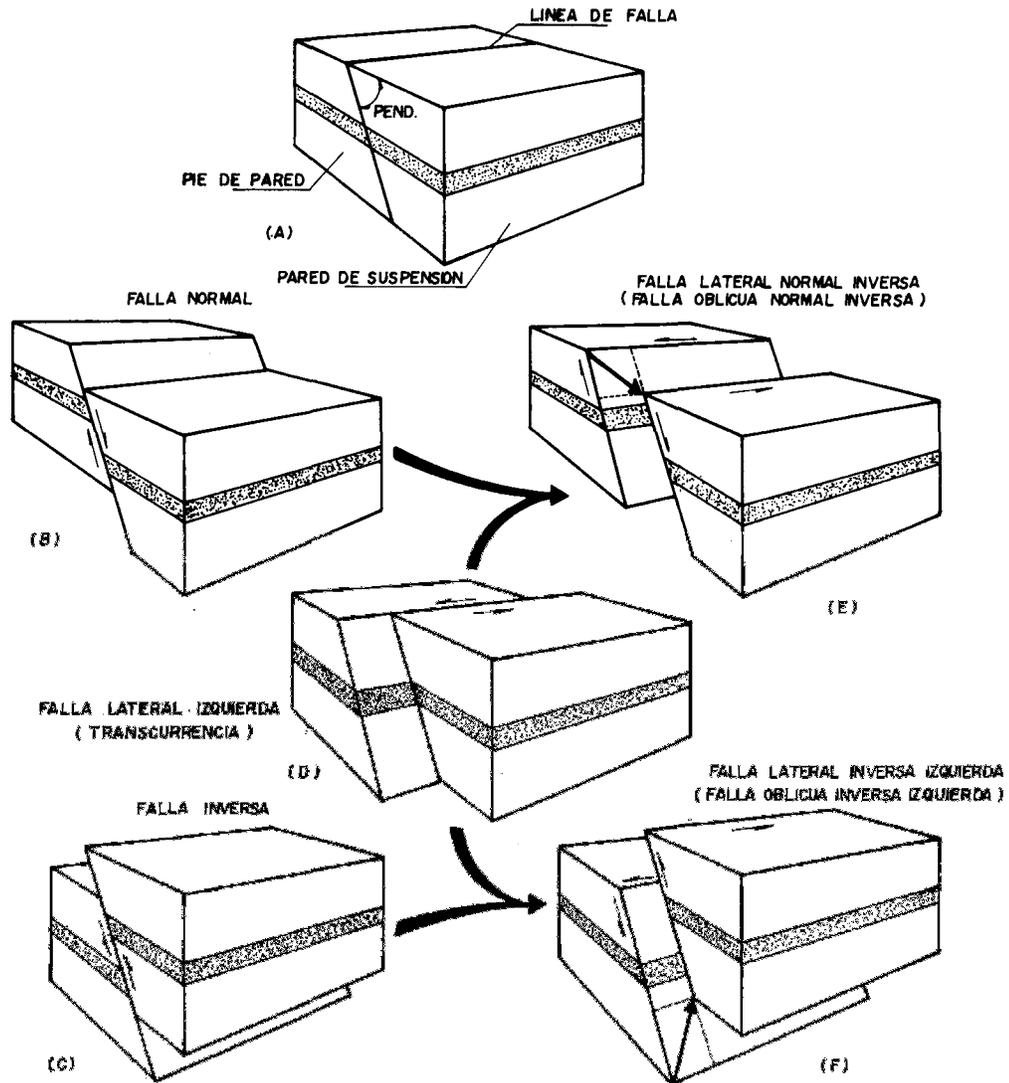
2.5. Tipos de fallas

El desplazamiento de una falla durante un terremoto puede que no sea completamente horizontal, como en el terremoto de 1906 de San Francisco a lo largo de la falla de San Andrés y el de 1976 de Guatemala a lo largo de la falla del Motagua. A menudo ocurren grandes movimientos verticales como fue evidenciado en el terremoto de Dixie Valley en 1954, en el terremoto de San Fernando en 1971 California y en el de Costa Rica en 1991 donde la elevación cambió a lo largo de la falla hasta tres metros en algunos lugares.

La clasificación de las fallas es derecha y depende únicamente en la geometría y dirección del deslizamiento relativo. Varios tipos de fallas se presentan en la Figura 6.⁶ El ángulo de falla es el ángulo que forma la superficie de falla con un plano horizontal, buzamiento –dip- y la inclinación es la dirección de una línea expuesta en la superficie relativa al Norte.

⁶ AAVV. **Geological Hazard**, (Springer, 1975), p. 23

Figura 6. Diagrama de tipo de fallas



Nombre de las componentes. b) Falla normal. c) Falla inversa. d) Falla lateral izquierda (Transcurrencia). e) Falla lateral normal inversa. f) Falla lateral inversa izquierda.

Adaptado de: *Types of Fault.* p. 23

Falla transcurrente: involucra el desplazamiento lateral de las rocas, paralelo a la inclinación. Si uno se para a un lado de la falla y si observa que el movimiento del otro lado es de izquierda a derecha, la falla es lateral derecha. De una manera similar se puede identificar una falla lateral izquierda.

Falla normal: es aquella en que las rocas sobre la superficie de falla se mueven relativamente hacia debajo de la corteza. Su movimiento es en gran parte paralelo al ángulo de falla y por lo tanto, tiene componentes de desplazamiento vertical considerables.

Falla inversa: es aquella en que la corteza sobre la superficie inclinada de la falla se mueve relativamente hacia arriba del bloque debajo de la falla.

2.6. Características de los parámetros de la fuente

La mayoría de los conocimientos sobre terremotos ha venido de la interpretación de los registros de estaciones sismológicas y acelerográficas, tales registros dan información acerca de ciertas características comunes al origen del sismo; por ejemplo, tamaño de la fuente y tipo de movimiento.

Estas características son útiles para aclarar cómo la energía sísmica es liberada y cómo es transmitida en toda el área; también han sido invaluable proporcionando información sobre la estructura y naturaleza del interior de la tierra y el evaluar la similitud de grandes terremotos en ciertas regiones. Tales características, sin embargo, dan poca información acerca de los detalles de los temblores en áreas vecinas que rodean la fuente. Éste es el tipo de información específica que el ingeniero estructural requiere. Por esta razón, los sismólogos están empezando a investigar en detalle los eventos sísmicos. Este tema, importante, puede ser llamado movimientos fuertes del suelo.

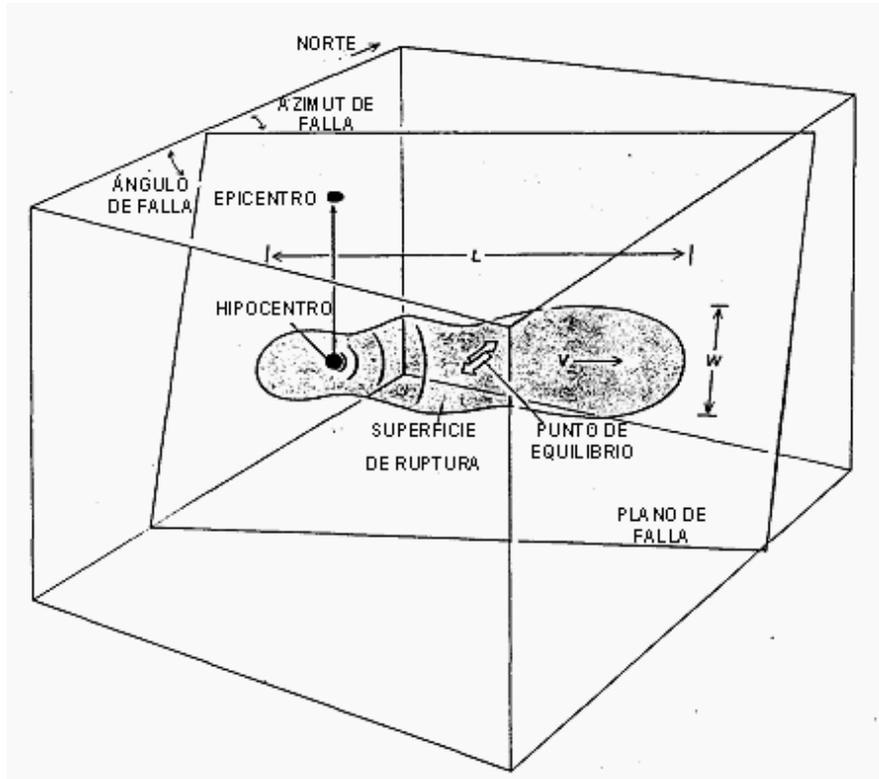
Una fuente sismogénica está definida por los siguientes parámetros:

- a. Latitud y longitud del epicentro, coordenadas del punto en la superficie de la tierra que se proyecta sobre la fuente.
- b. La profundidad de la fuente, o profundidad focal –a la fuente se le llama foco o hipocentro--.
- c. La hora del evento, u hora de origen de las ondas sísmicas, simplemente es llamado tiempo de origen.
- d. Tamaño del evento –magnitud o energía de las ondas sísmicas--.

Los parámetros del inciso “a” al inciso “c” son llamados parámetros cinemáticos para éstos sólo se necesita medir el tiempo de arribo de las ondas sísmicas en varias estaciones sismográficas. Mientras que el parámetro “d” requiere medidas de amplitud y período; por lo que se le llama parámetro dinámico.⁷ Figura 7.

⁷ Märkus Bath. *Op. Cit.* p. 105.

Figura 7. Parámetros de la fuente



Adaptado de: David M. Boore. *The Motion of the Ground in earthquakes.* p.71

Los terremotos ocurren cerca de la superficie y a profundidades de casi 700 Km.; terremotos más profundos aún no han sido registrados. Casi el 75% del promedio anual de la energía sísmica es liberada por terremotos con focos menores de 60 Km. de profundidad; éstos son los terremotos que constituyen una amenaza significativa y son conocidos como terremotos de foco superficial.

El calcular la profundidad de un evento sísmico es de gran importancia para la identificación de una fuente natural. Con base en los resultados obtenidos los terremotos se pueden dividir con respecto a su profundidad focal (h) en:

1. Terremotos superficiales h ? 60
2. Terremotos intermedios 60 Km. ? h ? 450 Km.
3. Terremotos profundos h ? 450 Km.

La variación de la profundidad está relacionada con el mecanismo de los terremotos.

La distancia se puede calcular con un buen registro sísmico y se obtiene de la diferencia de tiempo entre las diferentes fases de ondas, comúnmente S-P. La dirección a la fuente es un poco más difícil de determinar exactamente, por lo que se requiere registros de mejor calidad.

La medida más ampliamente conocida de la fuerza de un terremoto es la escala de magnitudes desarrollada en 1930 y en 1940 por Charles F. Richter y Beno Gutenberg del Instituto de Tecnología de California.

La escala se basa idealmente en la noción de que la magnitud determinada deberá ser afectada por la localización de la estación sismológica o la utilización de un sismógrafo en particular.

En general, la magnitud se puede definir de la siguiente manera:

$$M = \log a/T + f(\Delta, h) + C_s + C_r \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

M ? Magnitud

A ? Amplitud del suelo, expresado en micrones; 1 micrón ? 0.001 mm.

T ? Período de la onda en segundos

- ? ? Distancia epicentral en grados
- H ? Profundidad focal en Km.
- Cs ? Corrección de la estación, la cual se corrige para las condiciones especiales de la estación, estructura local y otras.
- Cr ? Corrección regional; difiere según el área sísmica, depende de los mecanismos de terremoto y la propagación de onda.
- F ? La función f ha sido determinada por la combinación de resultados teóricos y prácticos. Ésta difiere según el tipo de onda y los componentes de la misma.

Se pueden diferenciar tres escalas de magnitudes:

- a. La magnitud ML que fue introducida por Richter en 1935, se formuló para ser usada en movimientos locales al sur de California. Fue definida por Richter como el logaritmo máximo de la amplitud registrada por un sismógrafo de torsión Wood-Anderson con constantes específicas cuando el sismógrafo se encuentra a una distancia epicentral de 100 Km. La magnitud para movimientos a otra distancia puede ser calculada conociendo la variación de la amplitud máxima con la distancia.
- b. La magnitud basada en las ondas de superficie Ms, desarrollada por Gutenberg en 1945, logró que fuera aplicable a cualquier distancia epicentral y para cualquier tipo de sismógrafo. Ésta evolución requería un mejor conocimiento de la amplitud de onda con la distancia, y para poderla emplear con diferentes sismógrafos fue necesario utilizar amplitudes del suelo en vez de la amplitud de las señales. La primera generalización fue para las ondas de superficie.

- c. La magnitud “mb” que se basa en las ondas corpóreas y se define de igual forma que la ecuación No. 1. En 1945 Gutenberg extendió la determinación de la magnitud para las ondas corpóreas (P, PP, S) y para cualquier profundidad. Posteriormente la magnitud “m” se llamó “magnitud unificada”.

Después que se ha determinado, por medio de sismogramas, la localización y magnitud de un terremoto; el tipo de información que deberá obtenerse es la geometría de falla: orientación de la falla en la tierra, las dimensiones en el plano de falla que se desliza y la dirección del deslizamiento en el plano de falla; lo cual se le conoce como mecanismo focal y nos permite conocer que parte de la falla se encuentra a compresión y cual a tensión.

Las magnitudes sísmicas tienen diferentes aplicaciones:

- a. Son reconocidas por el público en general, científicos, ingenieros y técnicos como una medida del tamaño relativo de un sismo; las personas correlacionan una magnitud con la severidad del sismo.
- b. Las magnitudes son significativas para la eficacia de los tratados para la prohibición de pruebas nucleares; las investigaciones hechas con las magnitudes han permitido mejorar la forma de diferenciar un sismo debido a una explosión nuclear y uno debido a causas naturales.
- c. Las magnitudes de sismos anteriores son utilizadas en una forma aproximada para estimar que tan grandes pueden ser las aceleraciones del movimiento del suelo en lugares donde se encuentran estructuras importantes. Esta información es utilizada por los ingenieros para diseñar estructuras que soporten tales movimientos fuertes del suelo.

Comúnmente los observatorios sismológicos utilizan dos escalas de magnitudes, la magnitud basada en las ondas de superficie Ms y la magnitud “mb” que se basa en las ondas corpóreas; ambas diferentes a la escala original de Richter; esto se deba a que sismos con focos profundos dan un sismograma diferente al de los sismos con focos superficiales; sin embargo, la cantidad de energía liberada en cada evento puede ser la misma.

Tabla I. Terremotos por año en todo el mundo

MAGNITUD (Ms)	NÚMERO DE EVENTOS PROMEDIO MAYORES QUE Ms
8	2
7	20
6	100
5	3,000
4	15,000
5	Más de 100,000

Liberación de energía: se necesitan 30 sismos de magnitud 6 para liberar la energía que libera 1 de magnitud 7; y 900 de magnitud 5 para liberar la misma energía.⁸

⁸ Ing. Arce Valenzuela, Alfredo. Investigaciones personales. 1986

2.7. Momento sísmico

Los sismos son el resultado de la liberación repentina de la energía almacenada previamente en las rocas de la Tierra. Con base en la medida de la energía producida por las ondas sísmicas a causa del rompimiento repentino de las rocas, se estima que cada año el total de energía liberada por los sismos a través del mundo está entre 10^{25} y 10^{26} ergios. Con base en el estudio de sismogramas de diferentes estaciones, se ha llegado a encontrar que la energía liberada de las ondas sísmicas de un sismo con magnitud de 5.5 en la escala de Richter, llega a tener una energía de casi 10^{19} ergios.

Una nueva forma de medir el tamaño de un sismo se conoce como momento sísmico, es una medida física del tamaño del origen de un terremoto.

El momento sísmico, M_0 , mide la energía sísmica emitida por toda la falla y/o por una sola parte de ella, por lo que ésta es la medida fundamental de la magnitud de un terremoto. El momento sísmico es más que una escala convencional con la que se pueden clasificar los terremotos de acuerdo a su magnitud y es igual al producto de tres factores:

- ? El deslizamiento promedio de una falla, D .
 - ? El área de ruptura, S .
 - ? La rigidez de los materiales que fallan, μ .
- $$M_0 = \mu DS \quad (\text{ecuación 2})$$

El momento sísmico puede relacionarse con la magnitud M_s de la siguiente manera:

$$M_s = [\text{Log}(M_0) - 16.1]/1.5 \quad (\text{ecuación 3})$$

Al tener independientemente el área de ruptura y la rigidez del material, se determina el deslizamiento promedio de la falla. La correlación entre el deslizamiento promedio de una falla y el esfuerzo promedio del sismo, proporcionan criterios útiles para el diseño de estructuras tales como carreteras y tuberías que deben cruzar zonas de fallas activas.

El total del deslizamiento acumulado de una serie de sismos en un período de tiempo también permite estimar la velocidad a la cual el borde de las placas tectónicas se mueve una con respecto a la otra.

En general, la mayoría de los movimientos de tierra destructivos tienen longitudes de onda menores a las fuerzas de la falla de un terremoto. Por lo tanto, los movimientos del suelo están fuertemente influenciados por detalles del proceso de ruptura, tal como la velocidad a la cual viaja la ruptura sobre la superficie de la falla, el esfuerzo de fricción de la misma y la caída de la tensión a través de la falla.

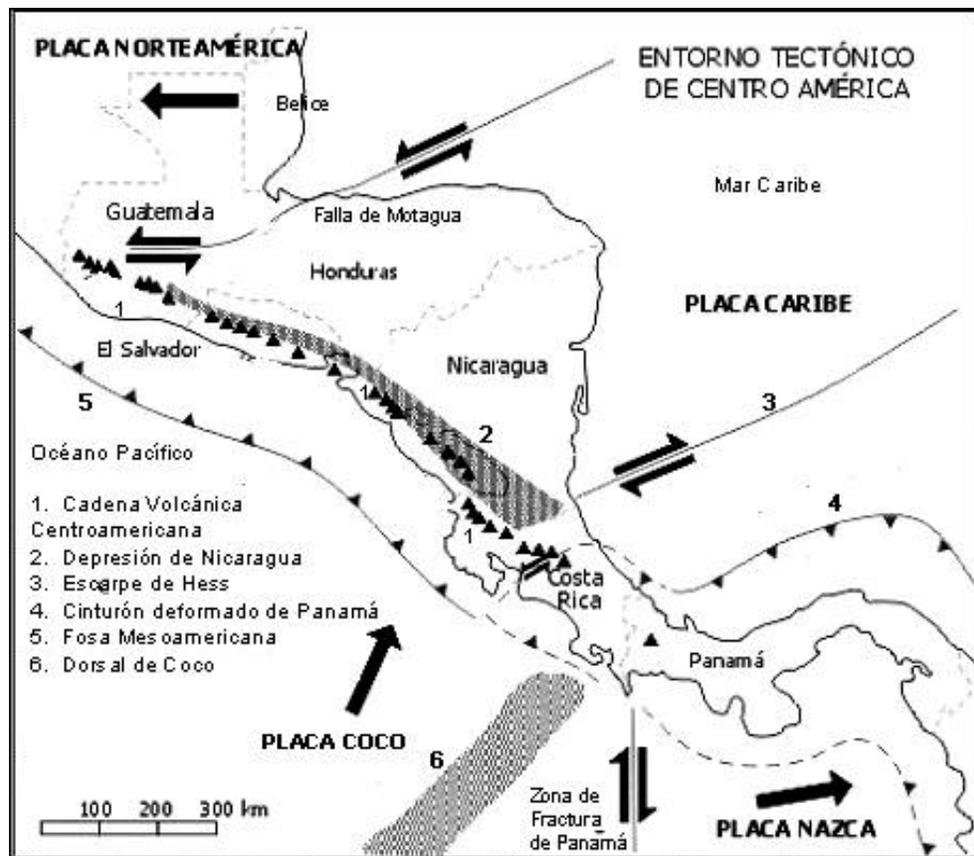
Las medidas que existen han sido el principal recurso para estimar la fuerza del movimiento del suelo. Los pocos registros cercanos a la falla han tenido una influencia desproporcionada en el diseño para la ingeniería sísmica, aún esta influencia puede no ser representativa de los movimientos de futuros terremotos.

3. SISMOTECTÓNICA DE LA REGIÓN

3.1. Ubicación tectónica

Guatemala se encuentra ubicada en una zona de alta sismicidad, ya que el territorio nacional se encuentra repartido en tres placas tectónicas: Norteamérica, Caribe y Cocos. Los movimientos relativos entre éstas determinan los principales rasgos topográficos del país; la distribución de los terremotos y la localización de volcanes. Figura 8.

Figura 8. Mapa tectónico



Fuente: Belén Benito. Metodología para estudio de amenaza sísmica en Guatemala.

La sismicidad máxima ocurre en la zona ubicada entre la Latitud 14°00´ - 16°00´ N y Longitud 88°50´ - 92°00´ W. Esto es evidenciado por la actividad tectónica, incluyendo niveles muy altos de actividad sísmica y tectónica.

El movimiento relativo promedio de las placas es:

- a. Cocos-Caribe: 7.47 cm/año, azimut 25.3°
- b. Norte América-Caribe: 2.08 cm/año, azimut 252.4° ó 1.7 cm/año⁹
- c. Cocos-Norte América: 9.01 cm/año, azimut 350.0°

Por consiguiente, la actividad sísmica a lo largo del límite entre la placa de Cocos y del Caribe es mucho más frecuente que la actividad entre la placa de Norte América y del Caribe.¹⁰

Debido a la interacción de las tres placas tectónicas, la superficie del país está altamente fracturada con fallas pequeñas y medianas como el Graben del Valle de Guatemala, Graben de Ipala; fallas conocidas tras el arco volcánico que pueden producir sismos locales muy intensos.

De acuerdo con la interpretación moderna de la tectónica de placas, Guatemala está fracturada por fallas principales que separan la placa de Norte América y la del Caribe. La Falla de Motagua, Falla de Polochic, Falla de Jocotán y otras subparalelas al sistema de Fallas del Motagua son el límite de la falla de transurrencia.

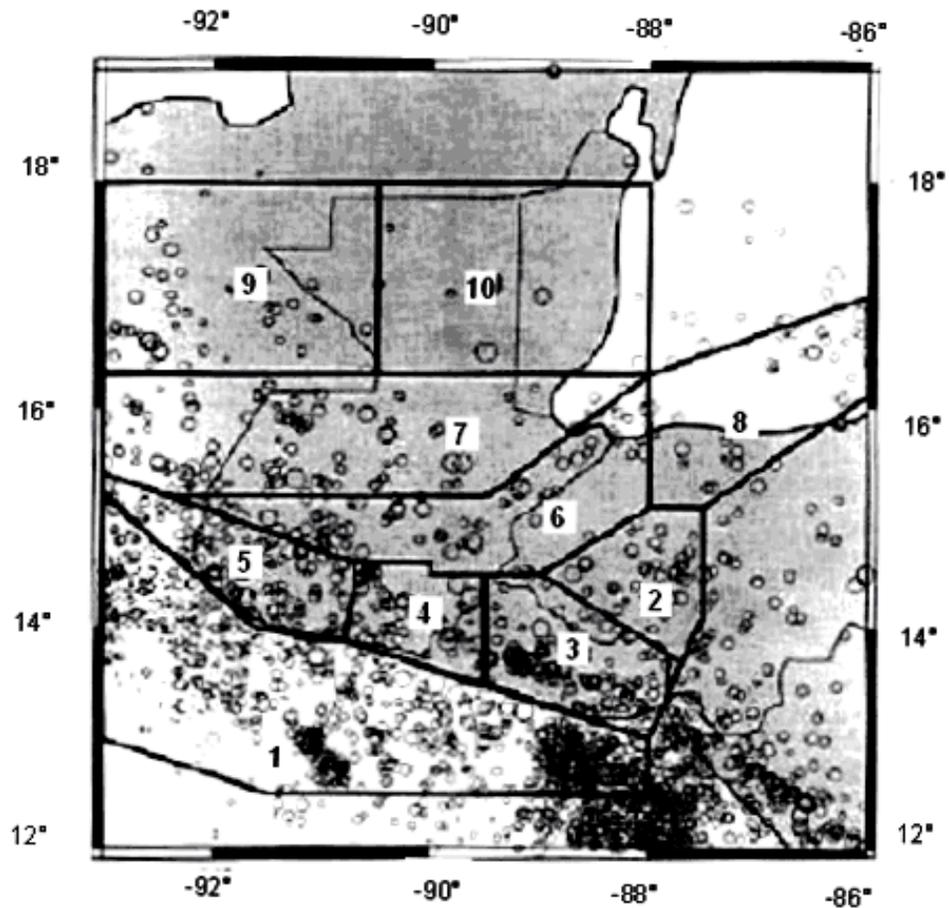
⁹ E. Barrier. "Restricciones al movimiento de las placas de Norteamérica y del Caribe a través de medidas de GPS a lo largo del sistema de falla Motagua-Polochic en Guatemala", *Ingeniería*, ():15. 2004

¹⁰ George Plafker. *The Guatemala Earthquake and Caribbean Plate Tectonics*. U. S. Geological Survey, Menlo Park, Calif.

3.2. Fuentes sismogénicas en Guatemala

La mayoría de los sismos que ocurren en Guatemala provienen de:

Figura 9. Mapa de sismicidad y zonas sismogénicas en Guatemala



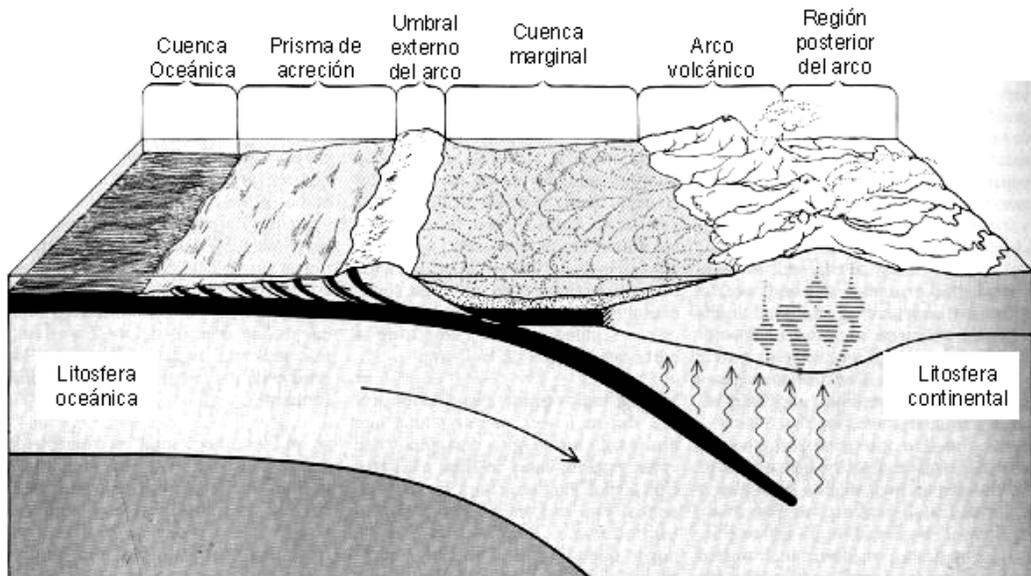
Fuente: Mapa de epicentros y zonas sismogénicas definidas por Ligorria (1995) en Guatemala.

Cadena volcánica: zonas 3, 4 y 5. Sistema de fallas Agustín-Polochic-Motagua: zonas 6, 7 y 8. Subducción superficial: zona 1. Subducción intermedia-profunda: Zonas 11 y 12. Cuenca de Petén: zonas 9 y 10. Depresión de Honduras: zona 2.

3.2.1. Zona de subducción

Esta zona es el producto del choque o roce de los segmentos de la corteza de la placa de Cocos y del Caribe; la primera se sumerge bajo la segunda a lo largo de la costa del Pacífico de México y Centro América, lo que da lugar a la formación de la cadena volcánica y a grandes catástrofes sísmicas. Al contacto de las dos placas mencionadas se le conoce como “Zona Benioff”. (Zona 1 ver Figura 9)

Figura 10. Zona de subducción



Fuente: Clark Burchfiel. **La corteza continental.** p. 84

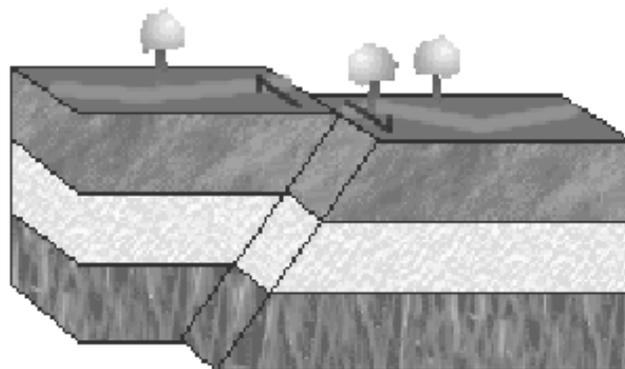
En esta zona se generan sismos con más frecuencia. Con base en los registros históricos se ha llegado a conocer que ha causado la destrucción de importantes ciudades. Afecta especialmente toda la costa sur y la ciudad de Guatemala. Figura 10.

Entre los principales eventos sísmicos que se pueden atribuir a la zona de Subducción tenemos: 29 de julio de 1773; 18 de abril de 1902, $M=7.5$; 6 de agosto de 1942, $M_s=7.9$; 23 de octubre de 1959, $M_s=7.2$; y el 24 de octubre de 1975.

3.2.2. Zona de transcurrencia

Esta zona se crea por el desplazamiento lateral de la Placa del Caribe con respecto al extremo sur de la placa de Norte América. En la zona de Transcurrencia se encuentran las siguientes fallas: Falla del Chixoy-Polochic, Falla del Motagua, Falla de Jocotán y Falla de San Agustín; las cuales poseen un mecanismo tectónico similar a de la falla de San Andrés, California. (Zona 6, 7, 8, ver Figura 10)

Figura 11. Falla lateral (transcurrencia)



El terreno se desplaza lateralmente

Fuente: <http://www.rescate.com>

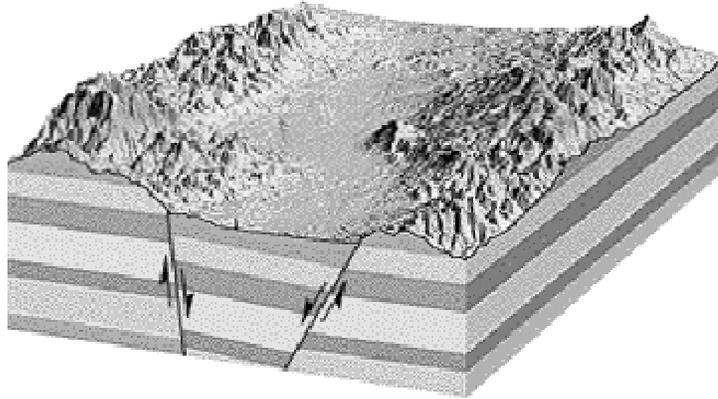
3.2.3. Zona de fallamientos superficiales o fuentes secundarias

Se encuentra comúnmente en el arco volcánico, estas fallas generan una serie de sismos de magnitud pequeña o moderada que localmente causan serios daños debido a que tienen foco superficial, profundidad menor que 30 Km. y sus epicentros coinciden con centros de población; como la de Pochuta, Mixco, Petapa, Santa Rosa y Jalpatagua. Son peligrosas, ya que la mayoría de los asentamientos humanos se encuentran muy cerca o sobre ellas. Ubicado principalmente en Zonas 6 y 7, también en zonas 4 y 5, ver Figura 10):

Los sismos que ocurren en la zona de fallamientos superficiales o fuentes secundarias se dividen en tres grandes subgrupos:

- a. Graben y estructuras con fallamiento de tipo normal detrás del arco volcánico; por ejemplo: falla de Jalpatagua, la cual puede seguirse por varias decenas de kilómetros.

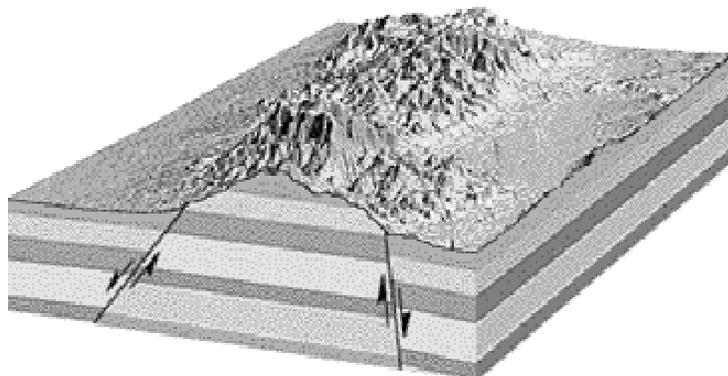
Figura 12. Falla de graben



Fuente: <http://www.cnice.mecd.es>

- b. Graben y estructuras con fallamiento de tipo normal, perpendicular al arco volcánico; por ejemplo: Graben del Valle de Guatemala con las fallas de Mixco, Villa Nueva, Pinula y Palencia; los Graben de Ipala y Chiquimula. Figura 12.
- c. Fallamientos activos de cabalgamiento en Chiapas y Huehuetenango; fallamientos activos diversos en la Zona de Ixcán. Figura 13.

Figura 13. **Falla de cabalgamiento**



Fuente: <http://www.cnice.mecd.es>

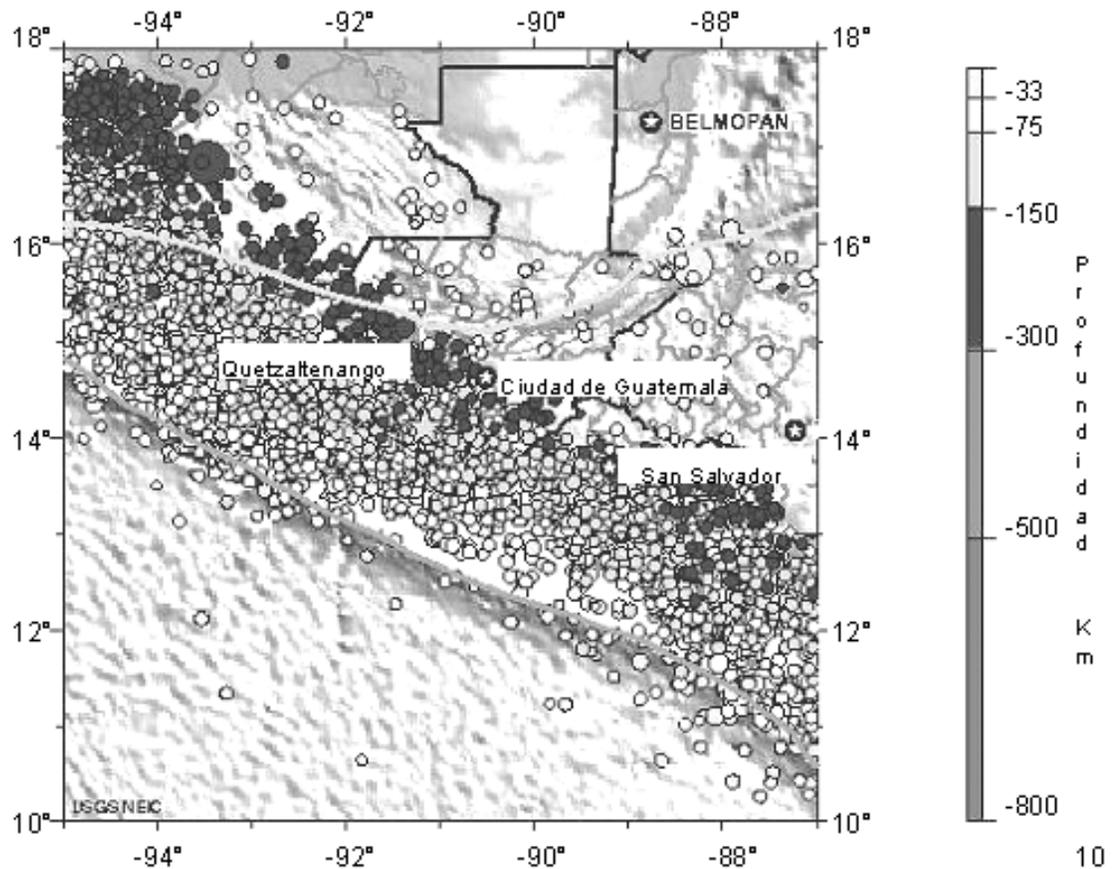
Entre los principales eventos que pueden ser adjudicados a esta zona de fallamientos superficiales o fuentes secundarias durante el Siglo XX tenemos:

FECHA	UBICACIÓN	MAGNITUD
9 de marzo 1913	Cuilapa, Santa Rosa	6.4
25 de diciembre 1917 al 3 de enero de 1918	Amatitlán y Guatemala	6.0
10 de junio de 1830	Cuilapa, Santa Rosa	5.5
20 de febrero de 1959	Ixcán, Quiché	-
1979	San Juan Tecuaco, Santa Rosa	-
29 de septiembre de 1982	Chanmá	4.8
1º de febrero de 1986	Ixchiguán	6.2
13 de mayo al 9 de junio de 1988	El Frutal, Guatemala	-
Octubre de 1988	Chimachoy, Chimaltenango	-
22 de enero de 1991	Guatemala	.
18 de septiembre de 1991	San Miguel Pochuta	5.3

3.3. Amenaza sísmica en Guatemala. Sismos destructivos

La compleja situación tectónica de Guatemala y el área de América Central, como se ilustra en el Figura 14, implica una amenaza sísmica y volcánica. En esa región pueden ocurrir cuatro tipos de sismos destructivos.

Figura 14. Amenaza sísmica



Adaptado de: USGS National Earthquake Information Center. Guatemala.
http://neic.usgs.gov/neis_bulletin:neic_wuad_h.html

1. Sismos con magnitud: Pequeños a grandes, $5 < M_s < 7.8$; estos sismos tienen focos muy superficiales, con profundidades menores de 30 Km.; pueden ocurrir entre cualquiera de los sistemas de fallas transcurrentes como la del Motagua, Polochic y Jocotán, y entre las placas del Caribe y Norte América. (Zona 6, 7, 8, Figura 9).
2. Sismos con magnitud: $7 < M_s < 8.5$; estos sismos tienen profundidades que se encuentran entre el rango de profundidad superficial a intermedia, menores de 300 Km. a lo largo de la zona de subducción entre las placas del Caribe y Cocos.
3. Sismos con magnitud $5 < M_s < 7$; estos son sismos con foco muy superficial en el sistema de fallas de extensión dentro de la placa del Caribe, de las zonas de separación a lo largo del arco volcánico, y en la parte norte y sur de los graben entre la falla del Motagua y el arco volcánico. (Zona 3, 4, 5 y 6, ver Figura 9).
4. Sismos con magnitud $M_s < 6$; estos son sismos de un tamaño pequeño a moderado con focos de profundidades superficiales o intermedias, menores de 180 Km., y enjambres relacionados con la actividad volcánica dentro del arco volcánico.¹¹ (Zonas 3, 4, 5, ver Figura 9)

¹¹ George Plafker. *Op. Cit.*

Tabla II. Características de sismos destructivos que pueden ocurrir en el territorio guatemalteco

MAGNITUD	FOCO	TIPO DE FALLA
5 < MS < 7.8	< 30 Km.	Transcurrencia
7 < MS < 8.5	< 300 Km.	Subducción
5 < MS < 6.5	Superficial	Secundaria

4. ESTUDIO DE EVENTOS SÍSMICOS ORIGINADOS POR FUENTES SUPERFICIALES

4.1 Selección de sismos a estudiar

“Según Dewey y Suárez, 1991 los terremotos más destructivos para Centro América han sido los que se producen a una profundidad moderada-superficial ($M \approx 5-6.35$)”¹², y los eventos que se seleccionaron para este estudio están dentro de este rango.

Los sismos seleccionados para este estudio ocurrieron en Guatemala en el Siglo XIX y se encuentran dentro de la zona de fallamientos superficiales o fuentes secundarias. Estas fallas generan una serie de sismos de magnitud moderada y tienen un foco epicentral menor a 30 Km. y además, muchos asentamientos humanos se encuentran localizados cerca o sobre este tipo de fallas.

¹² Kaye M. Shedlock. “ Seismic Hazard Map of North and Central America and Central America and the Caribbean”. U. S. Geological Survey, Golden, CO, U.S.A.
<http://www.seismo.ethz.ch/gshap/northam/report.html>

Para recopilar información referente a los sismos estudiados se visitó diferentes instituciones como: la Hemeroteca, Biblioteca de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Biblioteca del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos, Biblioteca de la Universidad del Valle de Guatemala, Instituto de Geografía e Historia, Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología –INSIVUMEH-; donde se consultaron libros de textos, periódicos, revistas, boletines y reportes, además se consultó información electrónica vía Internet.

Los diferentes períodos de actividad sísmica que se estudiaron contienen la fecha del evento, el nombre de los poblados que reportaron algún tipo de daño, la descripción de los efectos y daños tal y como se encontró anotada en la bibliografía consultada; la intensidad, en negrilla, que se le asignó tiene como base la escala Mercalli Modificada, la cual es utilizada por el INSIVUMEH y la referencia que se indica es la fuente bibliográfica de donde se obtuvo la información.

La selección de los eventos sísmicos que se estudiaron se basó en la información encontrada; que se puede verificar entre las diferentes fuentes bibliográficas consultadas; estos períodos de actividad sísmica fueron los más relevantes del Siglo XIX que generara una fuente superficial.

La actividad sísmica estudiada pertenece al período de registros no instrumental de Guatemala, o sea que tienen como base la percepción humana tanto física como visual.

Entre la bibliografía consultada se encuentra:

- ? Catálogo de temblores y terremotos de Guatemala, de Lawrence H. Feldman, año 1977;

- ? Registro cronológico de terremotos dañinos en Guatemala de 1526 a 1976, The Guatemalan earthquake of February 4, 1976, de William Spence;
- ? Diario de Centro América, Volcanes, terremotos y erupciones; Terremoto del 3 de septiembre; del 23 de enero de 1930;
- ? Terremoto del 3 de Septiembre. Volcán de Fuego, La Sociedad Económica, de 1874;
- ? Conmociones terrestres en la América Central, Fenómenos sismológicos, 1469-1930.
- ? Cincuenta años de sismología en Guatemala, José Vassaux P.

Los sismos de foco superficial actúan sobre áreas reducidas, pero sus efectos son considerables. Las actividades sísmicas que se seleccionaron pertenecen a los enjambres sísmicos; en esta actividad sísmica casi no se presenta un evento único importante, ya que los sismos que suceden son de similar magnitud y relativamente pequeños. El enjambre principia con sismos menores, y se van incrementando en número y en magnitud hasta que el máximo es alcanzado, y luego el fenómeno desaparece gradualmente; normalmente se concentran en pequeñas áreas y en un período de tiempo corto.

Los eventos sísmicos que se seleccionaron para el presente estudio pertenecen al período no instrumental y son los siguientes:

- ? Actividad sísmica ocurrida del 1 de abril al 18 de mayo de 1830.
- ? Actividad sísmica ocurrida del 14 de abril al 12 de mayo de 1870.
- ? Actividad sísmica ocurrida del 2 de agosto al 16 de septiembre de 1874.
- ? Actividad sísmica ocurrida del 15 al 31 de diciembre de 1885.

4.2 Catálogo sísmico

“Un catálogo sísmico, se constituye hoy en día, como una base de datos válida para realizar estudios en sismología. En esta base de datos la información es más consistente cuando los parámetros que caracterizan a los sismos son calculados en las mismas condiciones: métodos, algoritmos, tipos de registros, etc. Es así como se constituye un catálogo homogéneo.”¹³

La elaboración de los catálogos y recopilación de los mismos es útil para poder estudiar los períodos de recurrencia, los cuales permiten analizar y aprender sobre la actividad sísmica de una región y así calcular el tiempo estimado en que entrarían en actividad las diferentes fallas. Para Centro América, “...El catálogo histórico para la región comienza en 1516, el registro instrumental de terremotos comenzó en 1882, pero el despliegue de redes de sismógrafos nacionales en los países de América Central ocurrió en 1970 (Rojas et al., 1993).”¹⁴

Escritos históricos testifican que el hombre ha estado interesado por la amenaza sísmica.

El catálogo más antiguo pertenece a la civilización china, tan remoto como la dinastía Shang, hace más de 3,000 años.

¹³ “Catálogo sísmico del Perú”. <http://khatati.gob.pe/cns/bds/catálogo/presentacion.htm>

¹⁴ Kaye M. Shedlock. *Op. Cit.*

La medida más ampliamente utilizada para expresar la severidad de un sismo es la intensidad sísmica. La intensidad es una medida del daño al trabajo humano, a la superficie del suelo y a la reacción del hombre a la agitación. Como las evaluaciones de intensidad de terremotos no dependen de instrumentos, con los efectos observados en la zona mezosísmica, se puede asignar intensidades a sismos históricos. De esta manera, los registros históricos pasan a ser de suma importancia en las estimaciones de riesgo sísmico.

“La información histórica comprende un período de aproximadamente quinientos (500) años para Guatemala y se encuentra resumida en aproximadamente doce (12) catálogos (Molina y Vinagran, 1990)”¹⁵. Entre los catálogos históricos tenemos:

- ? A Catalogue, Guatemala temblores y terremotos. Submitted for publication in Spanish to the Academia Geografía e Historia de Guatemala, Lawrence H. Feldman.
- ? Conmociones terrestres en la América Central, Fenómenos sismológicos, de Víctor Miguel Díaz.; abarca de los años 1469 – 1930.
- ? Catalogo del siglo XIV a XIX de Wilfredo Rojas Q. (1993)

Entre los catálogos sísmicos instrumentales que se han elaborado en Guatemala tenemos:

- ? INSIVUMEH Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.
El catálogo instrumental se inició a partir de 1977 a la fecha. El formato digital se inició en el año 1992 con NORAD-CEPRENAC

¹⁵ Empresa Propietaria de la Red , EPR. “Estudio Geotectónico y clasificación de suelos en la línea de Transmisión SIEPAC”, octubre, 2004.
<http://www.eprsiepac.com/documentos/Guatemala/Documento%20final%207-8.pdf>

- ? INDE Instituto Nacional de Electrificación.
El registro de datos que manejó el INDE fue principalmente para los proyectos hidroeléctricos Chixoy, Chulac y Sálala durante el período de 1979 a 1983

Los cuales recopilan información como la fecha del sismo, hora, localización del epicentro, latitud y longitud; magnitud; profundidad; nombre de la localidad donde se registró el evento y descripción de los daños provocados según sea el tipo de catálogo a elaborar. En la actualidad se encuentran funcionando 11 estaciones para la red sismológica del INSIVUMEH; de estas 11 estaciones 3 fueron dañadas por la tormenta Stan en octubre del 2005.

Entre los catálogos más completos en el ámbito mundial se encuentran:

- ? Japón La asociación para la prevención de desastres sísmicos, es una organización que se fundó en 1991. Association for Earthquake Disaster Prevention.
<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp>
- ? México Base Mexicana de Datos de Sismos Fuertes.
Esta inicia su recopilación en 1960, la información es accesible por medio de CD-R y catálogos impresos.
- ? América del Sur El catálogo SISRA de Hipocentros e Intensidades Sísmicas. Del Centro Regional de Sismología para América del Sur. Este catálogo puede ser consultado vía Internet, dirección: <http://www.ceresis.org>
Para consultar este catálogo se debe tener presente que las intensidades observadas correspondientes a localidades que se encuentran en el área de interés no necesariamente tienen que haber sido generadas por sismos con epicentro dentro de dicha área. El reporte de la consulta debe identificar dichos sismos - coordenadas y magnitud.
- ? Centro América CEPREDENAC, Coordinación para la prevención de desastres nacionales.

La información que contienen estos sismos puede ser consultada vía Internet ingresando a la página de la entidad. Para consultar, los catálogos hay que especificar los límites geográficos y de tiempo; así como un rango de magnitud y profundidad; la mayoría de los catálogos trabajan $M > 2.0$; y el rango de latitud y longitud es limitado por la región que cubre cada catálogo.

4.3 Escala de intensidades

A fin de expresar los efectos sísmicos, las así llamadas observaciones macrosísmicas en una forma cuantitativa fueron introducidas escalas de intensidad a principios de 1870. De esta manera, De Rossi en Italia propuso entre 1874 y 1878 la primera escala de intensidad más comúnmente utilizada. En 1881 Forel en Suiza propuso una escala similar, y poco tiempo después unieron sus esfuerzos en la escala Rossi-Forel. Esta escala tiene 10 grados, después fue modificada y modernizada. Expresando las observaciones en una medida de intensidad, se tendió la base para la combinación de todas las observaciones para un sismo dado en un mapa de isosistas, la distribución geográfica de la intensidad. Tales mapas permiten algunas conclusiones acerca de la profundidad de la fuente, foco de un sismo. Si superficialmente la intensidad decrece rápidamente su valor máximo, entonces esto indica un foco poco profundo, superficial; mientras la intensidad decrezca lentamente sugerirá un foco profundo. Mientras que si la intensidad decrece solo lentamente esto sugerirá un foco con una profundidad mucho mayor. Sobre la de estos principios se concluyó en 1880, que algunos sismos al Este del Mar Mediterráneo con áreas especialmente grandes también tienen profundidades focales en exceso normales.

La intensidad no es un parámetro de la fuente, pero será conveniente tratar este concepto en conexión inmediata con la magnitud.

Tenemos que diferenciar claramente entre la magnitud y la intensidad de un sismo. La magnitud es calculada con base en registros instrumentales, mientras que la intensidad está basada en los efectos directos de un movimiento en edificios, topografía, etc.; por ejemplo: los llamados efectos macrosísmicos. Mientras que la magnitud tiene un cierto valor de definición para cada sismo; como hemos visto, la intensidad varía con la posición del punto de observación, la intensidad es mucho mayor dentro del área del epicentro, y comúnmente de aquí decrece en todas las direcciones. Como regla, la intensidad es expresada en alguna escala, actualmente, se usa en general, una escala de 12 grados.

La primera escala de intensidad utilizada comúnmente (Rossi-Forel) tenía 10 grados. Sin embargo, ésta no permitía una claridad suficiente entre la distinción de los sismos más fuertes (grado 10), ésta fue reemplazada por una escala de 12 grados. Ésta es aún referida comúnmente de uno a varios de estos nombres: Mercalli, Cancani, Seiberg. Fue revisada por Wood y Newmann en Estados Unidos en 1931 y fue entonces llamada “Escala Mercalli Modificada”, o simplemente “Escala MM”. Otra revisión fue realizada por Richter, quien llamó al resultado “Escala Mercalli Modificada, 1956”. La modificación más reciente es llamada escala MSK, después de los sismólogos Medwedev, Sponhever y Kárnik.

Tabla III. Valores de intensidad correspondiente a diferentes escalas

MMI 1956 MSK 1964 (1)	Japonesa 1959 (2)	Rossi-Forel 1874
I	0	I
II	1	II
III	2	III
IV	2.3	V – VI
V	3	VII
VI	4	VIII
VII	4.5	IX
VIII	5	X
IX	6	X
X	6	X
XI	7	X
XII	7	X

- (1) Valores de intensidad de acuerdo a MSK 1964 concordando con aquellos de la Escala Mercalli-Cancani-Seiber (1917), la Escala Mercalli Modificada (1931) y la Escala Soviética (1952).
- (2) Los siete grados de la Escala Japonesa son también utilizados regularmente en comunicaciones internacionales del Japón. Debe de observarse que ésta es una escala de intensidad y no una escala de magnitud.

Con el fin de determinar que intensidades han prevalecido en diferentes lugares durante un sismo, es necesario, frecuentemente, enviar un experto para investigar el área epicentral; además, se utilizan cuestionarios que son entregados al público en general. Cuando toda la información de los efectos de un sismo ha sido acumulada y los efectos expresados en intensidades, el resultado es expresado en un mapa de isosistas.

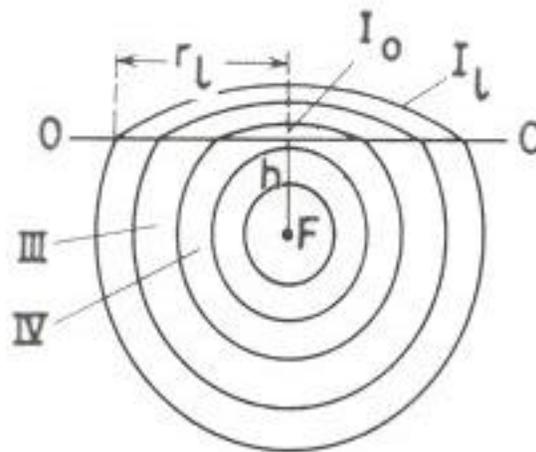
Las isosistas son definidas comúnmente como curvas que demarcan áreas con diferentes intensidades una de otra. El mapa de isosistas es un complemento valioso para los registros instrumentales, y son de especial importancia en la ingeniería sísmológica. Para la construcción de un mapa de isosistas de observaciones macro sísmicas se requiere: a) una actitud crítica hacia las observaciones; b) un buen conocimiento de las observaciones psicológicas; c) un buen conocimiento acerca de las condiciones geológicas y d) un conocimiento del tipo de la construcción utilizada en área.

Como regla general, la intensidad es mayor en tierra suelta que en mantos rocosos; algunas observaciones, que parecen indicar cierto comportamiento, el cual puede depender de las diferentes condiciones del suelo.

Por medio de un mapa de isosistas, es posible calcular las características cuantitativas de un terremoto, la posición del epicentro, la profundidad del hipocentro y la energía liberada. Con base en las observaciones macrosísmicas, el epicentro es el punto central donde la intensidad máxima ha sido observada.

Comúnmente, los epicentros que son determinados sobre la base de observaciones macrosísmicas no concuerdan exactamente con los determinados instrumentalmente; lo cual depende, en general, de la no-homogeneidad en estructuras geológicas. Además, un epicentro determinado instrumentalmente generalmente se localiza en el punto donde inicia la fractura. En un sistema de fallas extenso este punto puede desviarse considerablemente del área de mayor intensidad. Para una fuente localizada a cierta profundidad, la disminución de la intensidad fuera del centro es evidentemente mucho más lenta que para una fuente en o cerca de la superficie. Esto da la posibilidad de estimar la profundidad focal en proporción a la disminución de la intensidad en la superficie del área central; y con base en esta profundidad se puede estimar la energía liberada. La energía liberada puede ser formulada como una función con dos de las tres variables: la intensidad máxima (I_0), el promedio de radio del área macrosísmica (r_l) y la profundidad del hipocentro (h); solo una de estas cantidades no es suficiente para definir la energía liberada de una manera clara (Figura 15). Es natural que un sismo a cierta profundidad y con cierta área macrosísmicas tenga cierta energía. Por ejemplo, sólo la intensidad máxima no es suficiente para definir la energía, porque para una intensidad máxima dada, la energía liberada tiene que ser mucho mayor y la profundidad de la fuente está localizada.

Figura 15. Sección esquemática de las isosistas



F ? foco; I₀ ? intensidad máxima; h ? profundidad focal;
r_l ? promedio de radio macro sísmico; I_l ? intensidad correspondiente.
$$I_0 - I = 3 \log \left\{ \frac{r + h^2}{h^2} \right\}$$

Adaptado de: Märcus Bath. *Source Parameters and Their Determination*. P.126

Escala Mercalli Modificada:

Grado, Descripción

- I. No es sentido.
- II. Sentido sólo por pocas personas en reposo, especialmente en los pisos superiores; objetos suspendidos pueden oscilar.
- III. Sentido en el interior de las edificaciones, especialmente en pisos superiores, pero muchos pueden no reconocerlo como temblor; vibración similar a la producida por el paso de un vehículo liviano, objetos suspendidos oscilan.
- IV. Objetos suspendidos oscilan visiblemente; vibración semejante a la producida por el paso de un vehículo pesado; vehículos estacionados se bambolean; cristalería y vidrios suenan; puertas y paredes de madera crujen.

- V. Sentido aún en el interior de los edificios; permite estimar la dirección de las ondas; personas dormidas se despiertan; el contenido líquido de recipientes y tanques es perturbado y se puede derramar; objetos inestables son desplazados; las puertas giran y se abren o cierran; relojes de péndulo se paran.
- VI. Sentido por todas las personas; muchos sufren pánico y corren hacia el exterior; se tiene dificultad en caminar establemente; vidrios y vajilla se quiebran; vidrios y objetos son lanzados de los anaqueles y estantes; los muebles son desplazados o volcados; el revoque y enlucido de mortero de baja calidad y mampostería tipo D se fisuran; las campanas pequeñas tañen.
- VII. Se tiene dificultad en mantenerse parado; percibido por los conductores de vehículos en marcha; muebles se rompen; daños y colapso de mampostería tipo D; algunas grietas en mampostería tipo C; las chimeneas se fracturan a nivel del techo, caída de revoque de mortero, las tejas cornisas y parapetos sin anclajes, algunas grietas en mampostería de calidad media, campanas grandes tañen, ondas en embalses y depósitos de agua.
- VIII. La conducción de vehículos se dificulta; daños de consideración y colapso parcial de mampostería tipo C, algún daño a mampostería tipo B; ningún daño a mampostería tipo A, caída de revoque de mortero y algunas paredes de mampostería, caída de chimeneas de fábricas, monumentos y tanques elevados, algunas ramas de árboles se quiebran, cambio en el flujo o temperatura de pozos de agua, grietas en terreno húmedo y en taludes inclinados.

- IX. Pánico general, construcciones de mampostería tipo D totalmente destruidas, daño severo y aún colapso de mampostería tipo C, daño de consideración en mampostería tipo B, daños a fundaciones, daños y colapso de estructuras aporticadas; daños de embalses y depósitos de agua, ruptura de tubería enterrada, grietas significativas visibles en el terreno.
- X. La mayoría de las construcciones de mampostería y a base de pórticos destruidas; algunas construcciones de madera de buena calidad dañadas, puentes destruidos, daño severo a represas, diques y terraplenes, grandes deslizamientos de tierra, el agua se rebalsa en los bordes de los ríos, lagos y embalses, rieles de ferrocarril deformados ligeramente.
- XI. Rieles de ferrocarril deformados severamente, ruptura de tuberías enterradas.
- XII. Destrucción total; grandes masas de roca son desplazadas; las líneas de visión óptica son distorsionadas; objetos lanzados al aire.

Definición de tipos de mampostería

Tipo, Descripción

A, Buena calidad de ejecución, mortero y diseño; reforzada y confinada empleando varillas de acero, diseñada para resistir cargas laterales de sismo.

B, Buena calidad de ejecución, reforzada, pero no diseñada específicamente para resistir cargas laterales de sismo.

C, Calidad de ejecución media, sin refuerzo y no diseñada para resistir cargas laterales.

D, Materiales de baja resistencia, tal como adobe, baja calidad de ejecución, débil para resistir cargas laterales.

4.4 Elaboración de isosistas

La elaboración de isosistas para los cuatro eventos sísmicos del Siglo XIX permiten identificar el área epicentral, la forma en que fue disminuyendo la intensidad del evento y las localidades que fueron dañadas por los sismos; es importante hacer notar que estas localidades fueron dañadas por sismos similares en el pasado siglo XX.

Sobre la base de la escala Mercalli Modificada se asignó una intensidad a la información obtenida, las poblaciones que se mencionaban fueron localizadas en un mapa y luego se trazaron las líneas isosistas.

Como se mencionó en el inciso 4.1 los eventos que fueron seleccionados para la elaboración de su respectivo mapa de isosistas son los siguientes:

4.4.1. Actividad sísmica del 1 de abril al 18 de mayo de 1830

Se reportan daños en las siguientes localidades: Antigua Guatemala, Villa Hermosa, Guatemala, Amatitlán, Petapa, Santa Inés, inmediaciones del Volcán de Pacaya y en el municipio de Palín.

Entre la serie de sismos ocurridos dentro de este evento se reportó que el más fuerte fue sentido el 23 de abril, a las nueve menos cuarto de la noche.

En Guatemala se reportaron agrietamiento de techos abovedados de iglesias y daños en sus torres.

Amatitlán, Petapa y Santa Inés quedaron en ruina, se abrieron grietas, cambio en niveles de algunos ríos. En Amatitlán las calles ofrecen escombros, las casas de adobe y teja no quedaron habitables.

En Palín reportan frecuentes sismos desde el primero de abril.

Según bibliografía encontrada este fue un enjambre similar al de 1773; dicha bibliografía se encuentra anota como pie de página en la descripción de daños generados por la actividad sísmica.

Con base a las isosistas se pudo estimar que la magnitud del evento principal es de:

Magnitud asignada: $m_b = 5.3$

**DESCRIPCIÓN DE DAÑOS GENERADOS POR LA ACTIVIDAD SÍSMICA
OCURRIDA DEL 1 DE ABRIL 18 DE MAYO DE 1830**

Nota: La redacción y ortografía es copia literal de los documentos consultados.

<p>FECHA: 21 de abril de 1830 (23 de abril en Dunlop 1847:291) en Feldman</p>	<p>LOCALIZACIÓN: Amatitlán, Chiquimulilla, Escuintla, Ciudad de Guatemala, Las Vacas, San Jacinto (Chimaltenango), Palín, San Miguel Petapa, Pinula, Villa Nueva, Volcán de Pacaya, San Pablo Zacapa</p>	<p>INTENSIDAD ASIGNADA MM</p>
<p>DESCRIPCIÓN: “En 1830, el mismo inocente (Volcan Pacaya) destruyó la Ciudad de Amatitlan (VI) y arruinó las iglesias de San Francisco, Santa Teresa, Santa Clara y Recolección de la Nueva Guatemala (V), las que después fueron reparadas. Esta vez, los terremotos dilataron sesenta y cuatro días y dieron en tierra con varios pueblos pequeños, con Escuintla (V) y con Chiquimulilla (Jacinto 1885:2). A las nueve menos cuarto del 23 de abril de 1830, un movimiento agudo de un terremoto fue sentido en la capital de Guatemala, e indicaba ser el más severo desde 1773. Todos los habitantes abandonaron sus casas y pasaron la noche en los swuares y calles; y los funcionarios gubernamentales y varios de los habitantes huyeron hacia Jocotenango, una villa a dos leguas de distancia. Los daños infligidos por el terremoto no fueron, sin embargo, tan grandes como se supuso en un principio. Muy pocas casas fueron derribadas, siendo el daño principal la demolición de las torres y agrietamiento del techo abovedado de la iglesia de San Francisco, y algunos daños hechos a las iglesia de Santa Teresa y de la Recolección (Dunlop 1847:291). Desde el terremoto que arruino a la Antigua Guatemala, quedo descombrada completamente nuestra iglesia. Se construyo otra provisional con paredes de bajareque que ha servido por mas de cuarenta años y de consiguintes podridos los horcones que la han los tenia este a punto de venir a tierra tanto mas que la repetición de los temblores apresuran su total destrucción... (Suy 1830).</p>		<p>VARIAS INTENSIDADES</p> <p align="center">V</p> <p align="center">V</p>

Continuación:

...Que desde el dia primero de Abril del corriente año hasta la fecha, se halla este vecindarios ?Palin? agitado de los mas frecuentes terremotos, por cuya causa, la iglesia que se habia descombrado para repararla, el cabildo la casa parroquial y las de un sin número de habitantes, ha sufrido y sufren todo el estrago que es consiguiente a tan terrible calamidad quedando de todo inutilizadas, y el pueblo sugeto a una hermita para celebrar los divinos oficios (Amado 1830).

V

Villa de Escuintla ...desde el ano de 830 ese que los temblores arruinaron su hermoso templo (Mijanyos et al 1841).

V

...Amatitlan, Petapa y San Ynes son los pueblos que han padecido un aruina completa. Palin ha quedado ihero, en Villa Hermosa solo ha caido algunos tapiales malhechos y de poca costo. En los tres primeros las iglesias y todos los edificios han quedado interamente inutilizados á la reserva de los ranchos de paja... En Amatitlan de todas las casas de adobe y teja no ha quedadan una sola habitable. La calles no ofrecen sino montones de escombros.

VI

...El vecindario de este pueblo y lo mismo de Petapa y Sta. Ines, se han refugiando en los campos de bajo de los arboles por fortuna solo un niño y un viejo han prerecinto en esta horrible catastrofe. El primera del sueto y el seguida por que imprudentemente después de algunas teblores auvió á un tabanco de donde de precipito ambas desgracias se ha experimentado en Amatitlan.

En este pueblo las casa que se han venido á plomo son muy raras, pero todas se han desentejado y muchas se hallan en un estado irremediable...

En el suelo de Santa Ynes y Petapa se han abierto grietas en todas direcciones, al nivel del rio algunos citas grietas ó hendiduras han escupido agua... (Rodriquez 1830)

VI

Damos parte V.E. como a las cuatro de la manana arreciaron los temblores haciendo los maiones estragos, hasta echan a tierra la iglesia, conventos, casa consistora i algunas casas, particulares (Santa Inés Petapa)... (Carrillo 1830).

VI

Continuación:

En el campanario de San Juan existen cinco campanas a disposición de esa Intendencia, las que desde los temblores del año de 30, están sin uso, ni destino ninguno [en la municipalidad de El Rosario de las Vacas] (Solórzano 1832).

...Se comenzaban a [terremoto] cobrar en ellos estos últimos días ... hoy a las cuatro de la mañana ha causado una ruina total en este pueblo [Amatitlán] (Yrugaray 1830).

VI

Investigadores fueron enviados al Volcán Pacaya para reportar posibles evidencias en conexión entre las erupciones en estas montañas y los sismos. En esta virtud nos [cuatro individuos] al denominarlo volcán, acercándonos lo más posible como igualmente al cerro, examinamos con escrupulosidad aquellos lugares y nada vimos más que partes de cerros derribados y otros amenazados por sus rajaduras, a causa de los temblores que son allí tanto o más fuertes que los que afligen a esta capital y sus cercanías. Vimos también una grieta de la parte oriental del cerro Pelado, que por lo bien delimitada que estaba nos causó novedad; y llegando a ella encontramos que el terreno dividido estaba una parte más baja que la otra, de suerte que o una parte de aquel lugar bajó o la otra subió... (Coelho 1830).¹⁶

“Enjambre, similar al de 1773, destruyó muchos edificios en Antigua. Réplica mayor el 23 de abril.”¹⁷

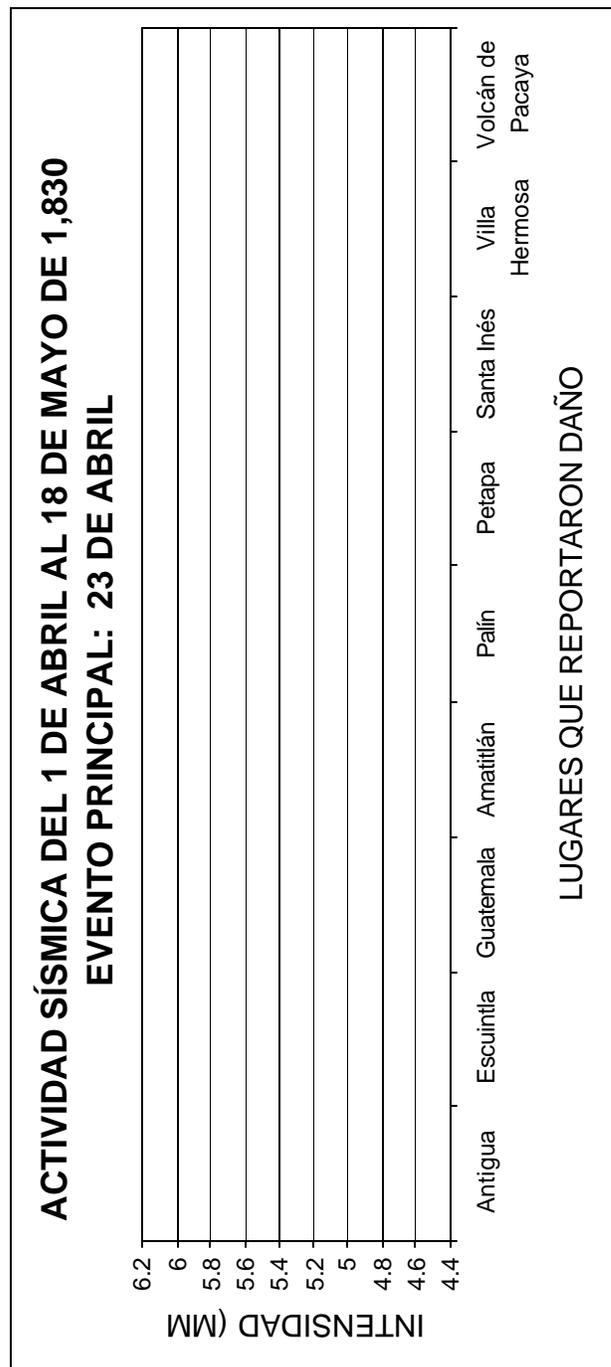
“Del 1 de abril al 18 de mayo hubo en Guatemala más de 120 temblores”¹⁸

¹⁶ Lawrence H. Feldman. **Guatemalan temblores y terremotos, a catalogue**. Submitted for publication in Spanish to the Academia Geografía e Historia de Guatemala. (Guatemala. 1 de marzo de 1988), pp. 17-19

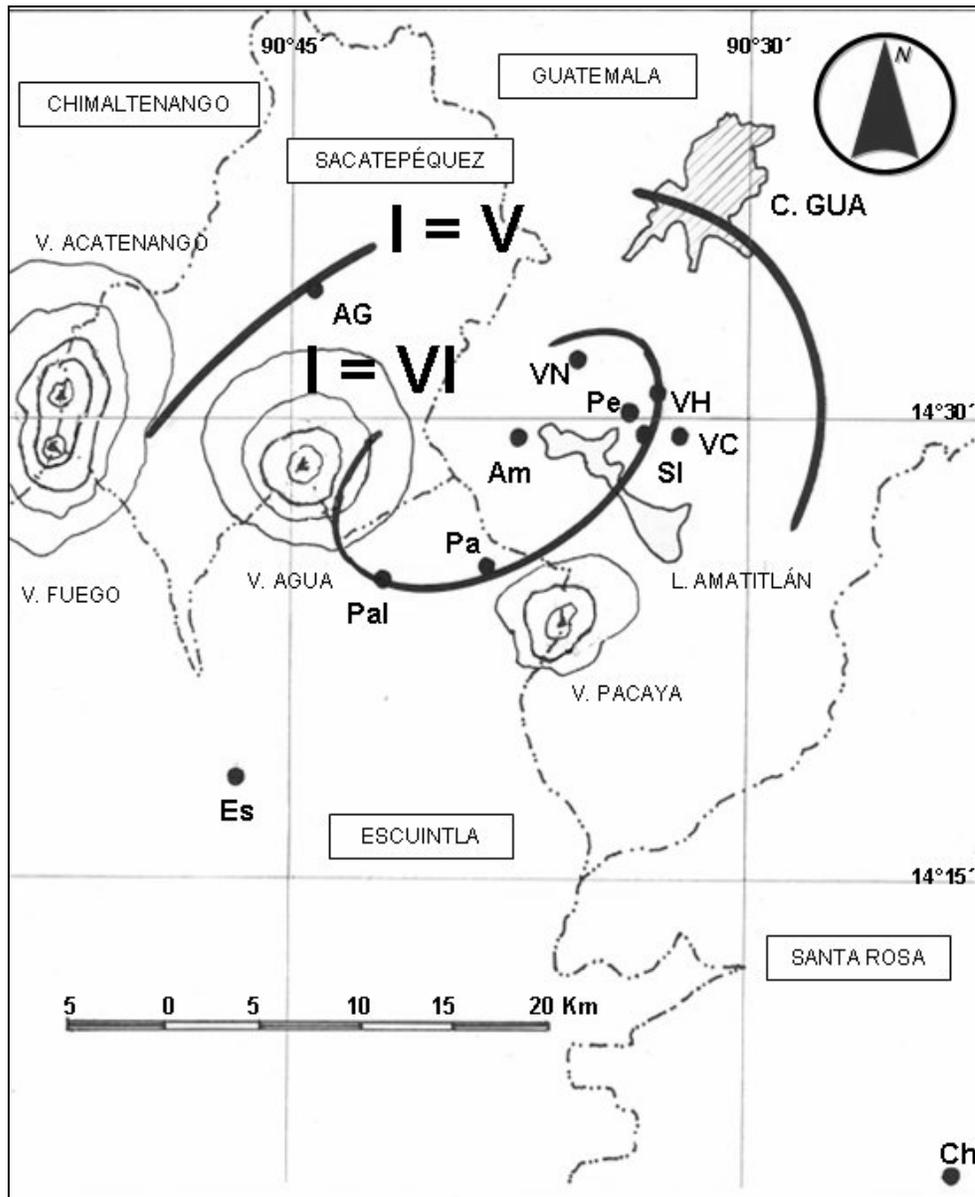
¹⁷ William Spence and Waverly Pearson. "A preliminary report. Chronological Historical Record of Damaging Earthquakes in Guatemala, 1526-1976. **Tectonic Setting and Seismicity**. The Guatemalan earthquake of February 4, 1976". **Geological Survey**, (1002): 88. 1976.

¹⁸ Victor Miguel Díaz. *Conmociones terrestres en la América Central, Fenómenos sísmológicos 1469-1930*. Guatemala, Tipografía "El Santuario". P.176

Figura 16. Actividad sísmica del 1 de abril al 18 de mayo de 1830. Evento principal: 23 de abril



**Figura 17. Isosistas para el evento principal del 23 de abril de 1830.
Actividad sísmica del 1 de abril al 18 de mayo**



Nomenclatura: AG: Antigua Guatemala, Am: Amatitlán, C.GUA: Ciudad de Guatemala, Ch: Chiquimulilla, Es: Escuintla, Pa: San Vicente Pacaya, Pal: Palín, Pe: San Miguel Petapa, Sl: Santa Inés, VC: Villa Canales, VH: Villa Hermosa, VN: Villa Nueva

Magnitud asignada: mb = 5.3

4.4.2. Actividad sísmica ocurrida del 14 de abril al 12 de mayo de 1870

Reportando daño principalmente las siguientes localidades: Mataquescuintla, San Rafael, Casillas, Santa Rosa, Chiquimulilla, Taxisco, Los Esclavos, Cuilapa y en cerros Ixhuatán, Moyuta y Volcán Tecuamburro.

En Cuilapa se reporta la ruina del pueblo, la fachada de la iglesia se calló, y se desentejó el techo. Las casas de adobe y teja se arruinaron; las cercas de piedra se cayeron. Hubo caminos obstruidos por árboles y peñas caídas.

Los temblores se empezaron a sentir desde el 14 de abril, duraban entre quince a veintes segundos, interrumpidos por pocos minutos; sucedían día y noche.

En Taxisco, creció el río.

En los datos recopilados se menciona que el 12 de mayo volvió a temblar.

Con base en las isosistas se pudo estimar que la magnitud del evento principal es de:

Magnitud asignada: $m_b = 4.5$

**DESCRIPCIÓN DE DAÑOS GENERADOS POR LA ACTIVIDAD SÍSMICA
OCURRIDA DEL 14 DE ABRIL AL 12 DE MAYO DE 1870**

Nota: La redacción y ortografía es copia literal de los documentos consultados.

<p>FECHA: del 14 de abril al 3 de mayo, 12 de mayo de 1870</p>	<p>LOCALIZACIÓN: Ixhuatán, Los Esclavos, Moyuta, Taxisco, Las Casillas, Mataquescuintla (muy poco daño), San Rafael (muy poco daño), Santa Rosa, la mayor parte de lo que ahora se conoce como el departamento de Santa Rosa sufrió grandes daños.</p>	<p>INTENSIDAD ASIGNADA (MM)</p>
<p><u>DESCRIPCIÓN:</u></p>		
<p>“...En mi comunicación del 13 de corriente, que el parte circunstanciado lo daría oportunamente, no queria hacerlo sin haber reunido todos los datos conducentes á la ruina que este pueblo [Cuilapa] ha sufrido en estos dias aciagos; y deseaba tambien que los temblores de tierra hubiesen cesado para ver hasta donde podian extenderse las desgracias pero ni la ruina puede todavia calcularse ni los temblores dejan de sucederse noche y día. Hoy es el dia que menos se ha sentido, y sin embargo ha habido cuatro sacudimientos desde las seis de la mañana de las cuatro de la tarde, que es la hora en que escribo... Los temblores comenzaron á sentirse desde el dia 14 de Abril, sin faltar ni un solo dia, con interrupcion de muy pocas horas, hasta el 3 de mayo en que despues de un fuerte sacudimiento a las cuatro y media de la mañana, dejó de temblor de tres dias y al cuanto volvieron a repetirse hasta el dia 12 del corriente mas ... á eso de las tres de la tarde, un nuevo y terrible sacudieron de Sud-Este a Nor-Este procedido de con retumbo echo por tierra la portada de la iglesia, el mojinete de la capilla, los arcos de la sacristía y toda la techumbre que se desentejó. ...Todas las casas de teja de los particulares se arruinaron y algunas cayeron desde sus corrientos, principalmente las de adobes. Puede asegurar á U. que solo los ranchos de paja y bajareque han cruiedad habitables. ...Las cercas de piedra y de zanjas cayeron dejando desombrierias...</p>		<p>VI</p>

Continuación:

Los cerros de Izguatan, Esclavos y los dos los que comprenden la campaña de Cuajiniquilapa han sufrido sacudimientos extraordinarios. ...Los que arruinaron a esta población fueron de una duración como de quince a veinte segundos, interrumpidos, próximos pocos minutos, se ha creído por unos que el foco de los temblores está en el Tecuamburro y por otros que el Moyuta, y esta creencia no carece de razón, porque en las inmediaciones de esos volcanes se ha efectuado una verdadera catástrofe, que la echado por tierra los grandes árboles y las peñas... Los caminos se han obstruido, principalmente el de Chiquimulilla, desde... "Laguna Verde" hasta al paso de Sinacatan, en donde no puede pasarse ni a pie. El camino de Tecuamburro, por la Concepción se ha cegado completamente (Galván 1870).

VI

Han continuado recibiendo en el Ministerio de Gobernación informes del Corregidor de Santa Rosa, relativos a los perjuicios causados en varios puntos de aquel departamento, por los terremotos. En el pueblo de Taxisco creció el río que pasa al lado de la población y que nace de la Sierra en cuyo extremo oriental está situado el cerro de Tecuamburro. El río en su creciente llevaba mucho lodo azufrado y cantidad de piedras, y habiéndose desviado un tanto de su curso, amenazó destruir la población;... Los temblores aunque continúan, son más ligeros, notándose esa disminución de los sacudimientos y retumbos desde que creció dicho río y otros que salió del cerro en sus inmediaciones... (Anonymous 1980 a:3)

VI

... Me hizo concebir el resultado de la visita departamental que practiqué el año próximo anterior, ...una triste relación de los funestos estragos que los terremotos causaron en el departamento de mi mando...

En efecto, con excepción de esta cabecera, Mataquesuinta (IV), San Rafael (IV) y Las Casillas (V), que muy poco sufrieron aquellos sacudimientos de tierra, las demás poblaciones se hallan completamente arruinadas. Sus templos, edificios públicos y particulares, han sido destruidos; y como la causa de aquellas ruinas aun no ha desaparecido, pues continúan los temblores, todos temen sus efectos, y para prevenirlos, edifican sus iglesias y casa de bajareque, cubierta de paja o palma...

**VARIAS
INTENSIDADES**

Continuación:

En Cuajiniquilapa, se ha dado principio a la reconstrucción de la iglesia parroquial ...tambien se advierte gran movimiento para reparar sus casas arruinadas por los temblores... (Arrivillaga 1871.5)¹⁹

VI

“14 de Abril. En esta fecha comienza una nueva serie de temblores aislados que duran varios días hasta fines de este mes.”²⁰

“Del 14 al 30 hubo diariamente temblores en Guatemala, siguiendo en el mes de mayo.”²¹

¹⁹ Lawrence H. Feldman *Op. Cit.* p. 28-29

²⁰ José Vassaux P. *Op. Cit.* p. 93

²¹ Víctor Miguel Díaz. *Op. Cit.* p.187

Figura 18. Actividad sísmica del 14 de abril al 12 de mayo de 1870.
 Evento principal: 3 de mayo

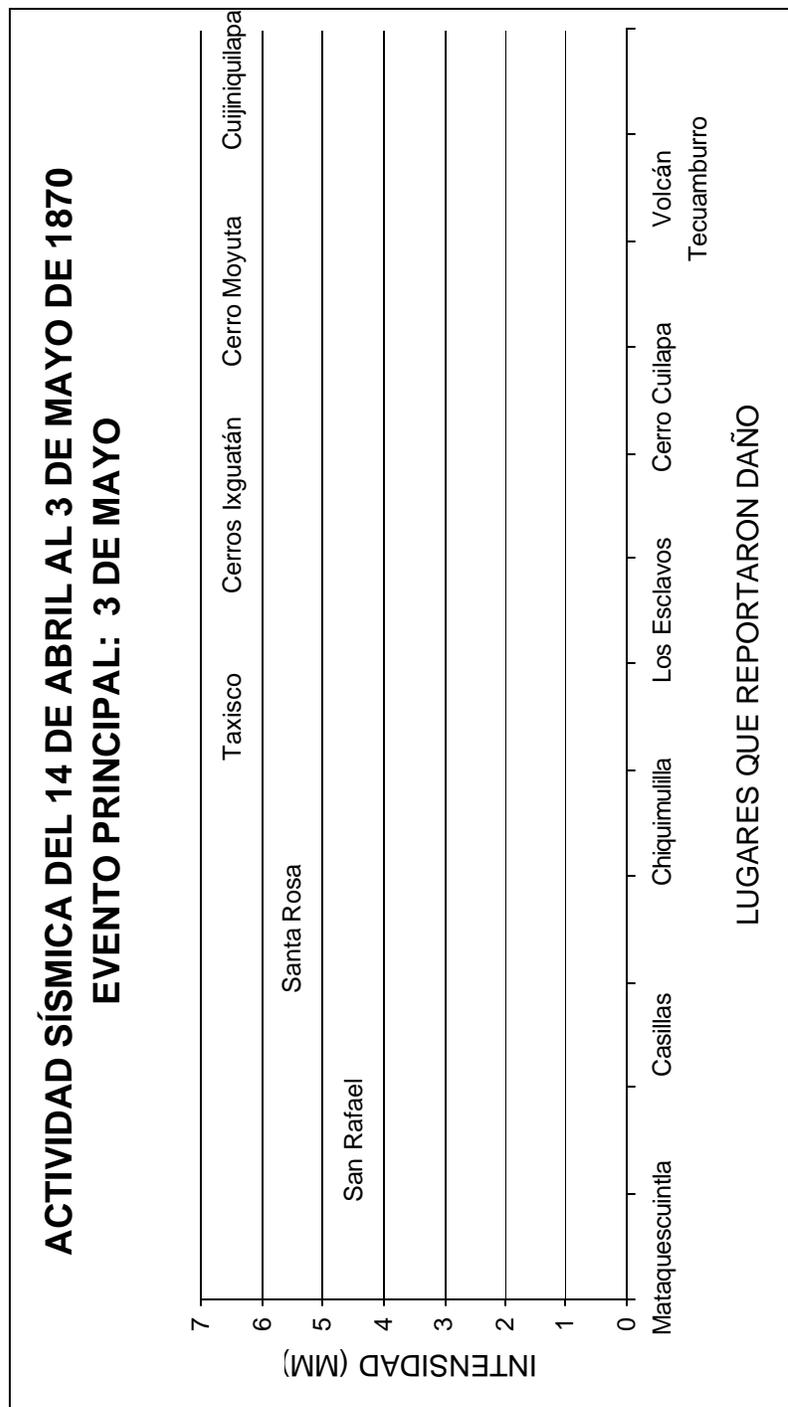
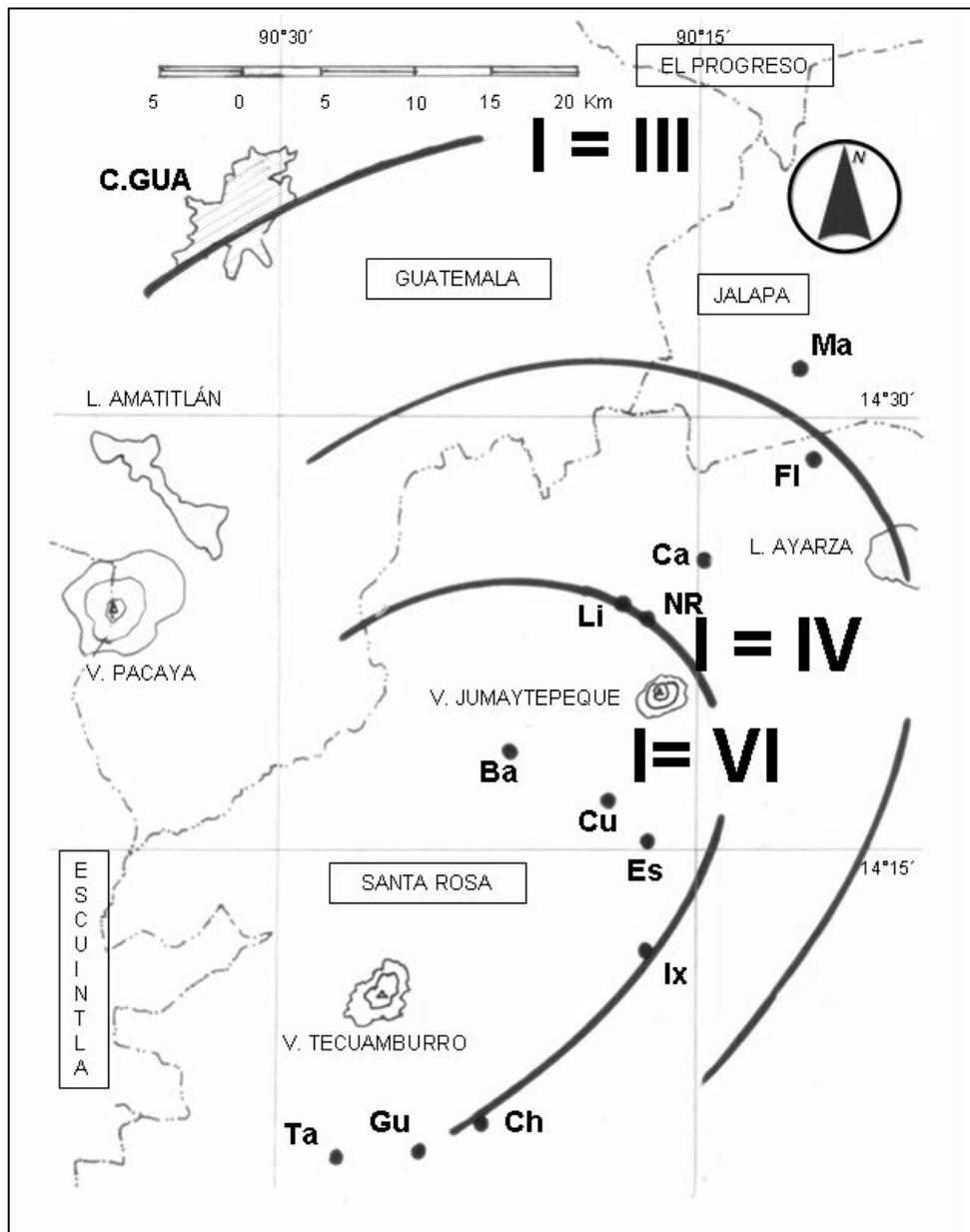


Figura 19. Isosistas para el evento principal del 3 de mayo de 1870.

Actividad sísmica del 14 de abril al 12 de mayo de 1870



Nomenclatura: Ba: Barberena, C. GUA: Ciudad de Guatemala, Ca: Casillas, Cu: Cuilapa, Ch: Chiquimulilla; Es: Escuintla, FI: San Rafael las Flores, Gu: Guazacapán, Ix: Santa María Ixhuateán, Li: Santa Rosa de Lima, Ma: Mataquesuintla, NR: Nueva Santa Rosa Ta: Taxisco

Magnitud asignada: $m_b = 4.5$

4.4.3. Actividad sísmica ocurrida del 2 de agosto al 16 de septiembre de 1874

Estos lugares reportaron el siguiente tipo de daño: la Ciudad Capital, Escuintla, Antigua Guatemala, Balanyá, Parramos, Acatenango, Alotenango, Ciudad Vieja, El Tejar, Patzún, San Antonio Aguas Calientes, Zaragoza, Chimaltenango Dueñas, Itzapa y Patzicía.

En Dueñas, Itzapa, Parramos, Chimaltenango, Zaragoza y Patzicía los temblores provocaron grandes estragos, las poblaciones quedaron arruinadas, la gente optó por huir de sus casas. En Antigua Guatemala casa y paredes se caen. En Itzapa los habitantes huyen por los repetidos sacudimientos de tierra.

Se salieron de su curso el río Blanco y el río Guacalate. En Patzún, la iglesia presentó hendiduras y desnivel de paredes.

Los temblores se empezaron a sentir desde el primer domingo de agosto, siendo con mayor intensidad el jueves 3, con bastante regularidad, más o menos cada cuarto de hora; para el 16 de septiembre lo continuo de los temblores había destruido Acatenango. Se produjeron oscilaciones horizontales y verticales acompañadas de ruidos subterráneos. En los datos recopilados se menciona que los temblores se llegaron a sentir hasta el mes de enero de 1875.

Sobre la base del mapa de isosistas se pudo estimar que la magnitud del evento principal es de:

Magnitud asignada: $m_b = 5.5$

**DESCRIPCIÓN DE DAÑOS GENERADOS POR LA ACTIVIDAD SÍSMICA
OCURRIDA DEL 2 DE AGOSTO AL 16 DE SEPTIEMBRE DE 1874. (La
actividad sísmica se sintió hasta el 6 de enero de 1875)**

Nota: La redacción y ortografía es copia literal de los documentos consultados.

<p>FECHA: 3 de septiembre de 1874 al 6 de enero de 1875</p>	<p>LOCALIZACIÓN: Acatenango, Antigua, Itzapa, San Antonio Agua Calientes, Chimaltenango, Dueñas, Ciudad de Guatemala, Parramos, Patzicía, Zaragoza, Chimachoy, Patzún, Escuintla, Balanyá, Amatitlán, Tecpán, Tejar, Jocotenengo, Alotenango, Ciudad Vieja</p>	<p>INTENSIDAD ASIGNADA (MM)</p>
<p><u>DESCRIPCIÓN:</u> “Destrucción de Patzicia {VII}. Ruinas en Chimaltenango {VII}. Antigua y pueblos vecinos {VI}. (Guatemala).”²² “El jueves 3 del corriente mes, á 9 y ½ de la noche, se sintió en esta Capital un fuerte temblor de tierra, en la dirección de SE á NO, que causó gran alarma en lado el vecindario. En seguida se sintieron otros temblores mucho mas fuerte, pero sucediéndose son bastante regularidad, cada cuarto de hora {IV}. Otros temblores eran violentos y trepidatorios. Como cuatro ó cinco días antes se había sabido en esta Ciudad que muchos temblores habían alarmado á la Antigua Guatemala; se supo desde luego que el temblor de las 9 y ½ debía haber hecho estragos en la antigua ciudad ...En efecto, por desgracia, esas suposiciones no eran erróneas.{VI}</p>		<p>VARIAS INTENSIDADES</p> <p>VARIAS INTENSIDADES</p>

²² “Volcanes, terremotos y erupciones”. **Diario de Centro América**. 23 de enero de 1930. p. 3

<p>Continuación:</p> <p>El viernes por la mañana circuló la noticia de un gran desastre y no tardamos en saber que el terremoto había hecho grandes estragos en una gran parte de La Antigua, pero en mayor escala en Dueñas, Itzapa, Parramos, Chimaltenango, Villa de Zaragoza y Patzicia. ²³</p> <p>“Antigua {VI}, Chimaltenango y Patzicia {VII} fueron destruidas y 200 personas murieron.”²⁴</p> <p>“...Á los cinco minutos de haber pasado el gran temblor de tierra, salieran de madre el Rio Blanco y el Rio Guacalate y formaran grandes avenidas, que en un momento, llenaron barrancos con un espeso lodo; árboles caídos de la montaña causaron espantosas desgracias. ...Muchas rancherías que se encontraban en el paso de los torrentes, fueron destruidas sin que fuese posible salvar á los infelices habitantes. Las avenidas acabaron con muchas sementaras, llevándose plantas, cercos, animales y lo peor, muchas victimas humanas.”²⁵</p> <p>“En el cafetal del Señor Don Norberto Zinza, situado cerca de Dueñas, sabemos por datos fidedignos y circunstanciados que la creciente repentina del río Blanco que ordinariamente tiene un escaso caudal de agua, enterró completamente un caserío de arrendantes y mozos de la finca, situada en una hondonada, que ha quedado sepultadas las habitaciones con la mayor parte de los infelices que las ocupaban bajo de un espeso lodo, y que en el día aquella hondonada se halla del todo terraplenada al nivel del cafetal. – Ahí perecieron cuarenta y siete personas. En Itzapa sucedió otro tanto.</p>	<p style="text-align: center;">VII</p> <p style="text-align: center;">VARIAS INTENSIDADES</p> <p style="text-align: center;">VII</p>
---	---

²³ “Terremoto del 3 de Septiembre. Volcán de Fuego”. **La Sociedad Económica**, 3(50). 1874

²⁴ William Spence and Waverly Pearson. *Op. Cit.* p. 88

²⁵ Lawrence H. Feldman. *Op. Cit.* pp. 30-31

Continuación:

Según parece la gran cantidad de tierra que acarrearán los ricos producirá cambios notables en la topografía de toda la comarca que se extiende al pie del volcán de fuego; en la dirección del Noroeste, varios barrancos se llenaron y quizás se abrirán otros: pues se habla de una hacienda que se ha hundido en las entrañas de la tierra.

Nos faltan detalles, nos falta un reconocimiento formal de todos los puntos donde se ha hecho sentir en toda su intensidad el terremoto del 3 de Septiembre: los temblores no han cesado aún, no se ha notado ninguna erupción y como sucede siempre en semejantes casos, no se puede dar fe a todas las relaciones exageradas que enjendra el terror.

Pasan de trescientas las víctimas del terremoto, y las pérdidas materiales son considerables. En Antigua Guatemala las casas han sufrido bastante, pero relativamente el número de las víctimas no ha sido muy grande [de treinta a cuarenta].²⁶

“...Pocos días antes del terremoto cayeron grandes cantidades de agua y la ante-víspera tuvimos un temporal que duró casi veinte horas sin cesar.

Dios quiera que el volcán de Fuego haga alguna erupción fuerte del lado del Sur, y que ese fenómeno nos preserve de nuevos y aterradores temblores de tierra como el de la inolvidable noche del 3 de septiembre.

VI

²⁶ “Terremoto del 3 de Septiembre. Volcán de Fuego”. *Op. Cit*,

Continuación:

Hoy hace 21 años que la Ciudad de la Antigua Guatemala, sufrió los últimos temblores de tierra que destruyeron infinidad de casas particulares, causando muchos daños á los edificios públicos y gran pérdida de viviendas. Desde las primeras horas de la noche se comenzaron á sentir ligeros sacudimientos, siendo lo más fuertes, el primero á las 9, y el segundo á las 3 de la mañana, produciendo terribles sacudimientos y oscilaciones horizontales y verticales acompañadas de un espantoso ruido subterráneo bastante prolongado. Todo los habitantes de aquella pacífica ciudad permanecieron en esa noche memorable, llenos de aflicción, en las calles, pues en sus casas no creyeron encontrar seguridad para conservar la vida. La noche fué lluviosa, oscura y fría...

En todo el resto de la noche, se sintieron muchos temblores más ó menos fuertes. ...Esta [Antigua], {VI} como también las poblaciones de Dueñas, que fue arruinada completamente, El Tejar, Parramos, parte del pueblo de Itzapa quedó convertido en un monton de escombros, siendo además arrasada por un corriente impetuosa que arruino las aldeas de Balanya {VI}, Zaragoza{VII}, y Patzicía {VII}. De Dueñas para la Antigua se vió por el camino carretero en la mañana del 4 de Septiembre huir de aquella población devastada á infinidad de habitantes, conduciendo a sus familias a pie...

... Esa lava ó corriente salió de las alturas del "Cerro del Tigre", alta montaña en comunicación con el Volcán de Fuego (Anonymous 1895 b).

Senor Manuel Dardón manifiesta que no prestando la debida seguridad las carceles de la Antigua Guatemala a consecuencia de los terremotos, el Sr. Presidente ordenó...

El Sr. Manuel Dardón informa que la Corte Suprema, ha dictado el acuerdo considerando que con motivo de los terremotos que ha sufrido varios poblaciones de los Deptos. Sacatepequez, Chimaltenango y Escuintla, se ha mandado levantar una suscripción, para socorrer a las personas pobres. (Dardon 1874).

**VARIAS
INTENSIDADES**

<p>Continuación:</p> <p>El Sr. José Nájera, informa que el pueblo el día de ayer [16 de Septiembre], que ya hubo paso para Acatenango, me constituí en el y pude observar que por motivo de los continuos temblores estan del todo destruida aquella población (Nájera 1874 a).</p> <p>El Sr. José Nájera, informa que el pueblo de Itzapa es completamente destruido y sus habitantes huyen de él, temerosos de una inundación y agobiados por los repetidos sacudimientos de tierra (Nájera 1874 b).</p> <p>El Sr. J. M. Barrundia, envía la solicitud del gobernador de San Antonio Aguas Calientes en la que acogiéndose a la protección del S. Gobierno por haberse arruneado sus intereses con motivo del cataclismo (Barrundia 1874).</p> <p>...Consecuencia de los terremotos subidos en la noche del día tres del corriente la iglesia de esta Villa [Patzun] quedo en si arruinar pues sus paredes quedaron con hendiduras de consideracion y desniveladas. El techo del todo descubierto siendo muy poca las texa que no de quebro en igual estado que ellan las boredas que componer la sacristía juntamente con la casa parroquial siendo lo mas sensible...(Guevara 1874).</p> <p>...Como no ignorará el 3 del corriente a las 9 de la noche, el terremoto que hubo, redjo á escombros el pueblo de Patzicia, habiendo quedado completamente destruidos la iglesia parroquial, la del calvario, la casa conventual, el cabildo y en una palabra todas las habitaciones fabricadas sobre paredes, no quejando mas que las fabricadas sobre hencones...</p> <p>Olvidaba manifestarle que los pueblos de Ytzapa y Parramos casi perecieron {VII}, quidando casi arruinados Acatenango {VI} y la Villa de Zaragoza {VII}, lugares a donde no he podido ir por tener este atender á las necesidades de esta parroquia ...(Alvarado 1874).</p>	<p style="text-align: center;">VI</p> <p style="text-align: center;">VII</p> <p style="text-align: center;">VII</p> <p style="text-align: center;">VI</p> <p style="text-align: center;">VII</p> <p style="text-align: center;">VARIAS INTENSIDADES</p>
--	--

<p>Continuación:</p> <p>...Que el 3 del corriente a las 9 horas 20 minutos de la noche sufrimes el terrible terremoto del que supongo tendrá ya noticia.</p> <p>El Convento e Yglesia de Dueñas acabó completamente en la mañana del 4 consumó la reserva de dicha iglesia y hoy 6, sin embargo de ser domingo, no me ha sido posible celebrar el divino sacrificio... (Barbes 1874).</p> <p>...Tres á la nueve de la noche hubo lugar el terrible temblor que arruino completamente este pueblo [Itzapa], no quedando ni iglesia ni casas ni donde poder vivir ... (Garcia 1874).</p> <p>Parte telegráfico de D. Camilo Álvarez, de Escuintla, fecha 4 del corriente: “El cabildo, cuartel, campanario de la iglesia, jefatura y algunas casa particulares han sufrido algo: sigue temblando poco,” (Anonymous 1874 b).</p> <p>En comunicación fecha 4 del corriente, el Jefe Político de Chimaltenango D. José Nájera dice: A las 9 y 20 minutos de la noche se sintió un fuerte terremoto: con pocas excepciones todas las casas están en estado de ruina incluso la Jefatura Política, habiéndose desplomado como 30 hasta la fecha: se sacó á los presos de la cárcel para su seguridad... se construyó un techo provisional en la plaza para asilarlos... de las cuales dos murieron y dos están graves (Anonymous 1874 b).</p> <p>Partes telegráficos del Señor Barrundia: Antigua, Septiembre 4 de 1874. –Al Ministro de Gobernación.-- A las nueve y media de la noche, un terremoto destruyó algunas casas, causando como veinte pérdidas de vidas: los temblores han continuado y se supone que el volcan de fuego los causa. –Los pueblos vecinos han sufrido bastante... (Anonymous 1874b)</p>	<p>VII</p> <p>VII</p> <p>V</p> <p>VII</p> <p>VI</p>
--	---

Continuar:

Antigua, Setiembre 4 a las 2 y media de la tarde. –Las consecuencias del terremoto de anoche son graves; muchas casas y paredes caídas; muertos aquí 14, en Dueñas 5, en Jocotenango 5, en San Pedro 1; golpeados muchos. Dueñas arruinado del todo; {VII}; Alotenango y Ciudad Vieja bastante maltratados {VI}. Sigue temblando. Se oyen retumbos especialmente en Dueñas, el movimiento es constante {VII} (Anonymous 1874b)

“Antigua, Septiembre, 6 de 1874. – Recibido a las 9 y 22 minutos de la mañana. Al Sr. Ministro de Gobernación. –El Sr. Presidente acompañado del Sr. Ministro de la Guerra, pasó ayer a Chimaltenango, de donde aun no ha regresado. Tan luego como lo verifique tendré el gusto de comunicar {a U. lo que hay ocurrido en aquel Departamento. De ayer tarde para ahora no ha habido temblores.- Carlos Murga.” (Anonymous 1874b).

Parte telegráfica del Sr. Ministro Samayoa al Sr. Ministro de Gobernación: “Antigua, Setiembre 4, diez de la noche. –El Jeneral Presidente ha recorrido toda la Ciudad: hasta ahora veintiséis víctimas, la mayor parte mujeres que se albergaban en edificios arruinados {VI}. En Patzicía estragos mayores; asegúrese que las víctimas pasan de cien; aguardamos la vuelta de correos mandados al Jefe Político de Chimaltenango para avisar lo que haya de cierto{VII}.” (Anonymous 1874b)

Un fatal accidente, anexo al terremoto de la noche de 3 de Setiembre próximo anterior, ha llenado de horrible espanto á los desgraciados habitantes de las poblaciones ciutaudas al ... del “Volcan de Fuego”.

Los avenidas que en diversas direcciones se prdujeron casi instantáneamente después del referido temblor, han producido desastres y temores que contribuyen, aun mas á la peor de las ruinas, la “desolación”... “hicieron reventar uno de los cerros que forman sus dependencias, por cuyas abereturas ha salido y salen hoy de su seno, enormes cantidades de lodo...

**VARIAS
INTENSIDADES**

**VARIAS
INTENSIDADES**

<p>Continuación:</p> <p>...La avenida de Acatenango y la Itzapa ... que pasa por la orilla sur del pueblecito de San Antonio Nejapa.</p> <p>...La segunda pricipia en la parte mas alta y empinada del Chimachoy para venir engrosándose por la sima que hemos dicho que pasa por Itzapa; de aquí sigue al E y se dirige á los pueblecito de San Lorenzo, San Luis, Pastores, etc. Uniéndose antes con la que viene de Parramos...</p> <p>En ambos e untos ningun agujero, ninguna abertura, ninguna grieta, se observa que comuniquen con el interior de los cerros, ni menos que viersa agua.</p> <p>Las avenidas de que hablamos, fueron compuestos, como aún puede observarse, de lodo formado por arcilla arenosa, tierra vegetal, madera en cantidad (roble, ciprés, etc.), y el agua de los rios cuyo cause ocuparon. ... Obsérvase, en efecto, el Cocayá por su lado occidental completamente desnudo...</p> <p>Las lluvias tan abundantes de aquellas alturas, desde tres ó cuatro dias antes, hasta la noche de 3 de Septiembre... Guatemala, Octubre 10 de 1874 (Chenes 1874).</p> <p>EVALUACIÓN: Díaz (1980:142) indica que los sismos de Dueñas fueron sentidos desde el 3 de septiembre, todos lo dias, hasta el 6 de enero de 1875.”²⁷</p> <p>“La noche del 3 de septiembre fue para el vecindario de la Antigua Guatemala de grandes sobresaltos. Por que mas o menos a las 9 ½ de la noche sobrevino un temblor trepidatorio que causo graves daños a muchas casas, derrumbando multitud de paredes en mal estado; las gentes buscaron salvación en los patios y plazuelas públicas, sufrieron menuda lluvia durante mas de 40 minutos.</p> <p>Los temblores no cesaron aunque no tan fuertes como el primero.</p> <p>Pereció una familia humilde al desplomarse los fragmentos del calicanto del templo y convento de Santa Clara.</p>	
---	--

²⁷ Lawrence H. Feldman. *Op. Cit.* pp. 31-34

Continuación:

Las casas del pueblo de Dueñas, lo mismo que la iglesia se derrumbaron, y el agua y el lodo que salió del Cerro Chimachoy hiba arroyando cuanto a su paso encontraba; el pueblo de Parramos, el de Itzapa y el de Patzicía, quedaron destruidos y muchos de sus moradores muertos.

El rio El Portal se creció llevando las aguas lodosas y azufradas animales, muebles grandes y piedras que a la fuerza de la corriente empujaba rumbo a Ciudad Vieja.

Los movimientos terráqueos se prolongaron hasta el 6 de enero de 1875.

Murieron en aquel entonces 116 personas y sufrieron golpes muchísimos campesinos.²⁸

“18 de septiembre. A las 21 horas, 30 minutos se sintió en la Antigua un fuerte temblor (“trepidación”), habiendo causado algunos daños en la Ciudad, incluyendo los pueblos de Dueñas, Itzapa, Parramos alcanzando también a Patzicía. Estos sismos se prolongaron hasta el mes de Enero de 1875.”²⁹

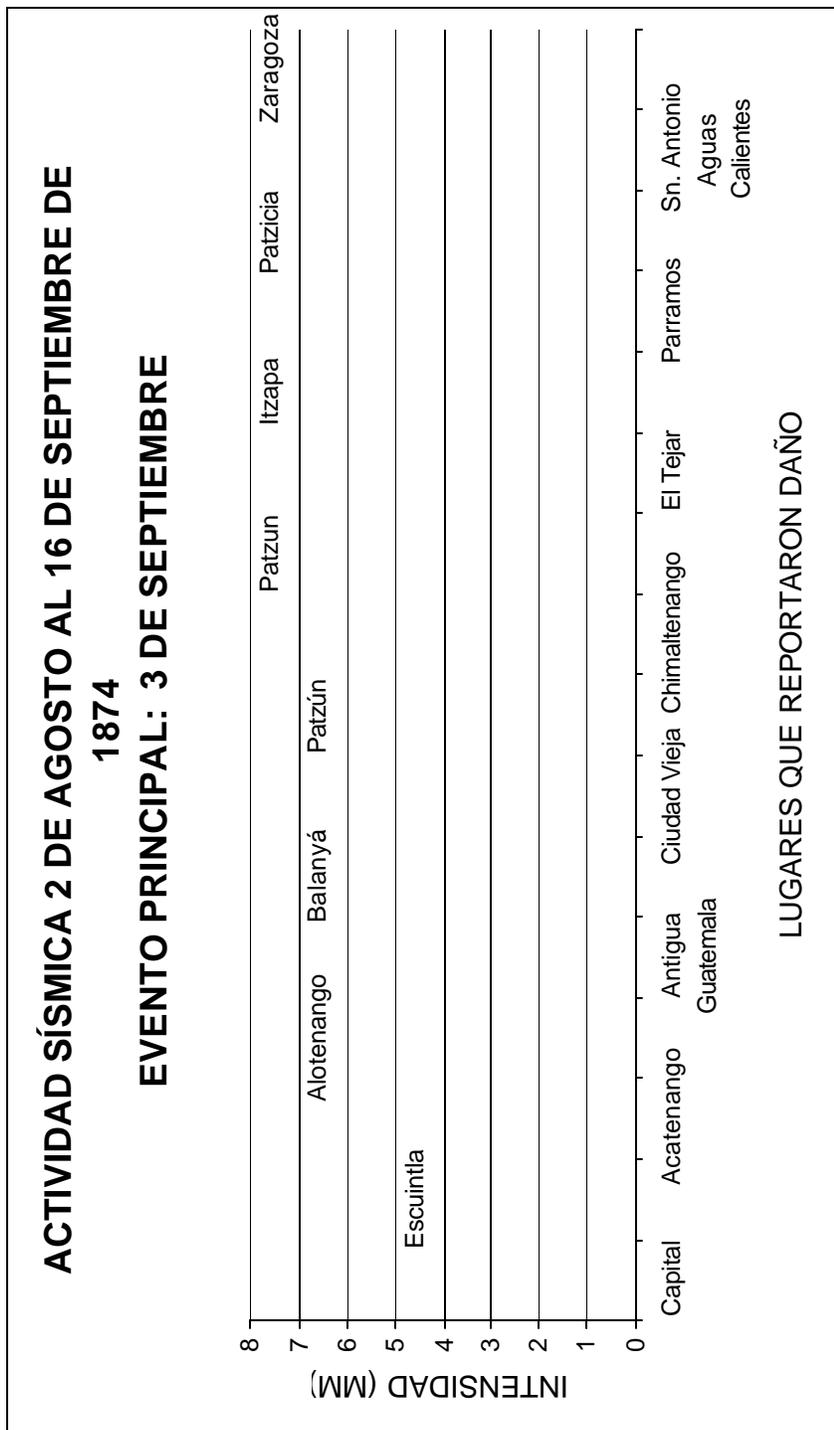
“Desde el primer domingo de agosto de 1874 comenzó a temblar en la Antigua Guatemala. Se esperaba alguna novedad por los retumbos que con frecuencia ocánse, lo mismo que por las constantes vibraciones de los terrenos cercanos al Cerro del Tigre o Chimachoy.”³⁰

²⁸ Víctor Miguel Díaz. *Op. Cit.*

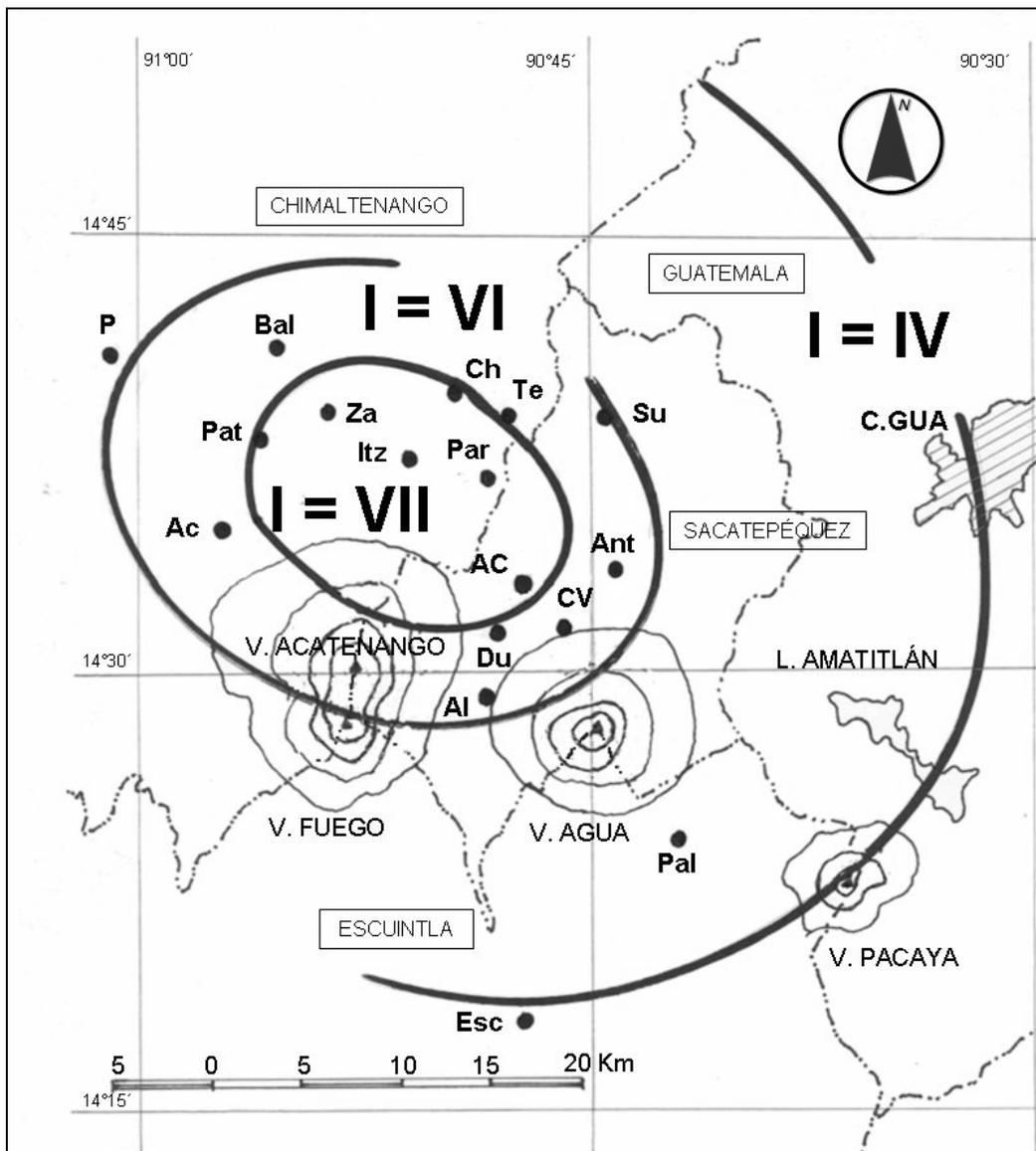
²⁹ José Vassaux P. *Op. Cit.* p. 93

³⁰ Víctor Miguel Díaz. *Op. Cit.*

Figura 20. Actividad sísmica del 2 de agosto al 16 de septiembre de 1874. Evento principal: 3 de septiembre



**Figura 21. Isosistas para el evento principal 3 de septiembre de 1874.
Actividad sísmica del 2 de agosto al 18 de septiembre**



Nomenclatura: AC: San Antonio Aguas Calientes, Ac: Acatenango, Al: Alotenango, Ant: Antigua Guatemala, Bal: Balanyá, C.GUA: Ciudad de Guatemala, CV: Ciudad Vieja, Ch: Chimaltenango, Du: Dueñas, Esc: Escuintla, Itz: San Andrés Itzapa, P. Patzún, Pal: Palín, Par: Parramos, Pat: Patzicía, Su: Sumpango, T: El Tejar, Zar: Zaragoza

Magnitud asignada: mb = 5.5

4.4.4. Actividad sísmica ocurrida del 15 al 31 de diciembre de 1885

Reportaron daños en: Antigua Guatemala, la Ciudad Capital, San Vicente Pacaya, Patzicía, Santa Inés, San Miguel Petapa, Amatitlán y Villa Nueva.

En Amatitlán fuertes movimientos de tierra pusieron en alarma a todas las familias; durante un día llegaron a sentirse hasta 331 temblores. Casas y edificios dañados, algunas casas quedaron en pie; los edificios de varios ingenios sufrieron daños. Los trastos de porcelana y vidrio fueron de pérdida en farmacias, fondas y tiendas. La cantidad de sismos provocó hundimientos de techos y paredes. Aparecen nuevos nacimientos de aguas termales.

En la Ciudad de Guatemala, se sintió un ligero sacudimiento el día 17, pero para el día 18 estos movimientos continuaron.

En Santa Inés, San Miguel Petapa y Villanueva han sufrido perjuicios; la población entró en temor por la cantidad de sismos.

Sobre la base de la gráfica de isosistas se pudo estimar que la magnitud del evento principal es de:

Magnitud asignada: $m_b = 5$

**DESCRIPCIÓN DE DAÑOS GENERADOS POR LA ACTIVIDAD SÍSMICA
OCURRIDA DEL 15 AL 31 DE DICIEMBRE DE 1885**

Nota: La redacción y ortografía son copia literal de los documentos consultados.

FECHA: 18/31 de diciembre de 1885	LOCALIZACIÓN: Amatitlán, Ciudad de Guatemala, Patzicía, San Miguel Petapa, San Vicente Pacaya, Santa Inés, Villa Nueva	INTENSIDAD ASIGNADA (MM)
DESCRIPCIÓN: “Amatitlán destruida (intensidad = IX, Rossi-Forel). Grietas en el suelo; nuevos nacimientos de aguas termales a las orillas del lago Amatitlán. Muchos sismos premonitores y réplicas en enero de 1886. El volcán de Pacaya aumento su nivel de actividad.” ³¹		VI
“Diciembre 19 de 1885. Dia muy amargo, Amatitlan en ruina, se cuenta por todo el dia 331 temblores, muchas casas y edificios públicos averillados, un infeliz mozo quebrado de una pierna y siguen algunos sacudimientos ya muy pequeños (Valenzuela 1885 a:1)		VI
Como á eso de la una de la mañana, hubo un ligero sacudimiento de tierra en esta ciudad [ciudad de Guatemala] (Anonymous 1885 d:2).		V
...Ayer á las once y media, A.M. comenzaron á sentirse los temblores en número de trece desde aquella hora con sus intervalos hasta los doce y media de la noche. Hoy á las doce y media muy seguidos hubo dos. De los 15, tres fueron fuertes, pero no ocurrió novedad por ser todas las casas del vecindario [Patzicia], de Vajareque (Solares 1885:2)		IV
Le he ofrecido algo para el Diario, y cumplo refiriéndole lo que ha pasado en esta Ciudad con motivo de los temblores de ayer, y hoy.		

³¹ William Spence and Waverly Pearson. *Op. Cit.* p. 89

Continuación:

A las 5 de la mañana, me disponía a salir hacia Los Altos para cumplir mis obligaciones; pero á las cinco y media comenzaron fuertes movimientos de tierra que pusieron en alarma á todas las familias que justamente esperaban un desastre.

Los movimientos se repitieron más ó menos fuertes y prolongados hasta TRESCIENTAS VEINTISIETE VECES en el día, y hacia las 6 de la tarde, hubo uno extraordinario oscilatorio, y jiratorio que produjo casi una ruina en toda esta Ciudad. Después, siguieron los movimientos hasta las 6 de la mañana en número de CIENTO VEINTIUNO, causando nuevos hundimientos de techos y paredes, al extremo de que ahora que son las 10 de la mañana y se han repetido otros VEINTITRÉS temblores, apenas quedan siete ú ocho casa habitables sin peligro, y las demás, completamente deterioradas y que deben reconstruirse.

VI

El cuartel, la Carcel, la Casa Parroquial, y la Iglesia principal á pesar de ser edificios de construcciones formidables, han quedado casi inútiles necesitando de grandes reparaciones.

VI

Los Ingenios de La Unión, el Puente, San Pedro, La Avenida y otros, han sufrido grandes ruinas en sus edificios, de manera que si los temblores siguen como es muy probable, porque no cesan las detonaciones y los movimientos, creo que todo el Valle se convertirá en montones de escombros.

VI

La clase pobre está padeciendo mucho y hay multitud de familias miserables sin hogar y que viven bajo toldos como yo, que con mis hijos, sobrinos y esposa tenemos uno en el sitio vecino para salvarnos del peligro.

VI

En las farmacias, fondas y tiendas, han ocurrido grandes pérdidas por la destrucción de trastos de porelana y vidrio, y los estragos se han estendido á todos los caserios, pues se han derrumbado hasta ranchos.

VI

Parece que los terremotos proceden de cierto volcán que denominan los Duraznos que ahora hace sus primeras ensayos (Valenzuela 1885b).

Continuación:

En la Ciudad de Guatemala, el día de 17 de este mes... como á las siete y media de la mañana se sintió un ligero estremecimiento del suelo que fue el preludio de otros que en todo el resto del día se siguieron. La gente de negocios, la gente ocupada tal vez ninguno de estos pequeños temblores sintió y como suele haber en nuestro suelo de cuando en cuando algunas ligeras sacudidas nadie puso atención en llos. El día dieziocho sacudidas continuaron y como á las cinco y media de la tarde de ese día el meneoon fue tan fuerte y tan largo que empezamos a fijarnos y a entrar en cuidado {V}. Pocas horas después recibimos una carta de Villanueva en que nos anunciaban que en aquella población habian pasado un día cruel á causa de los frecuentes y fuertes temblores que allí hasta esa hora habian sentido {VI}, en cuyo número se calculaban en 145...

VARIAS INTENSIDADES

Los temblores de 18 han sido bastantes frecuentes para nosotros; en Amatitlán se sufrió considerablemente pues muchas casas se vinieron abajo y principalmente las oficinas de los trapiche y del beneficio de café, han quedado casi totalmente destruidas. ...Suben las perdidas ... murieron algunas gentes especialmente muchachos. Los temblores se sintieron á muchas leguas de distancia y como siguieron y han seguido repitiéndose pues aun hoy á las 7 y media de la mañana sentimos aquí un lijero sacudimiento, tienen ea las gentes de aquellos lugares sumidas en la mayor consternación, (Saravia 1885:1)

VI

... Tales son las proezas del volcan de "Pacaya", en pocos dias ha destruido casi por completo las poblaciones de Amatitlán, y San Vicente, ha causado perjuicios a las de Santa Inés, San Miguel Petapa, y a Villanueva, poniendo a los habitantes de todo el Departamento en un estado de temor...

Hoy hace ocho días principiaron los temblores, el primer día se sintieron 131 y ha continuado en disminución, hasta hoy que se han sentido seis, diciembre 22 de 1885 (Simón 1885).

En toda la noche del 19, ocurrieron mas de cien temblores, pero del 20 á hoy, han calmado al extremo de que anoche, sólo se sintieron cuatro ligeros movimientos.

Continuación:

Por noticias venidas ayer se sabe que el Cerro Negro que forma parte del Volcan de Pacalla, ha hecho una erupción por las grandes grietas formadas por los terremotos, y que se ha abierto un nuevo crater que arroja humo en abundancia y materias incandescentes. Si la noticia es cierta y la ratifica la comisión exploradora que mandó la Jefatura Política debe renacer la confianza, porque no habra peligro de nuevos desastres (Jacinto 1885:2)

A las ocho de la mañana se sintió hoy en esta Ciudad un ligero temblor de tierra, oscilatorio; ojalá en pueblo de Amatitlán no hay sufrido otros desastres con ese temblor (Anonymous 1885e).

III

Desde las 3 y ½ A.M. han sentídose 23 sacudimientos bastante notables; el último que acaba de pasar, fue demasiado fuerte y en el momento en que escribo han sentídose continuos 3 sacudimientos más. La que haya en el resto del dia se lo participaré.

Continúan los temblores seguidos y fuertes. Levamos más de 60. A ver en qué paramos.

Nos amenaza ruina. Temblores continuos y muy fuertes.

Los temblores continúan fuertes y seguidos, varios edificios han comenzado a sufrir averias (Anonymous 1885 f:a)

De ayer [en Antigua] á las 5 A.M. a la misma hora de hoy se han sentido en ésta cerca de cien temblores, siendo de éstos como veinte bastante fuertes. No ha habido ninguna desgracia (Anonymous 1885g:3).

V

En la noche hubo más de 90 temblores; en este momento que escribo ésta temblando. Todos los edificios públicos y casa particulares han sufrido mucho (El Corresponsal 1885c).

...Ayer en el dia contamos entre suaves y un poco fuertes más de sesenta. Anoche hubo como 50, y entre ellos 4 más fuertes. Aguardá vamos por momentos la repetición del grande de 18. – El Pánico es grande y todo el mundo duerme en plazas y patios, esperando que esto quede sin vertido en escombros, puesto que los temblores no cesa. –en este momento las 7 A.M. hemos sentido un gran temblor. Amatitlan, Diciembre 21 de 1885.

Continuación:

Ayer á las 10 A.M., en tren espreso del Ferro-carril, el Señor General Presidente con su gabinete, varios Generales y otras muchas personas, se dignó visitar esta ciudad, para reconocer por si, mismo los desastres que han causado los temblores ... Mandó habia pocos y pequeños sacudimientos, pero en la noche se sintieron desde las 11 hasta hoy como a las 5 P.M. muchos y repetidos temblores más ó ménos grandes precedidos que esto escrito sentimos un temblor más fuerte que todos los de anoche ... Los edificios que han quedado parados, con las averias que tienen, poc necesitan para derrumbarse atendido á que en cada movimiento van sufriendo mas (Anonymous 1885h:1).

Los presos por delitos graves fueron trasladados de Amatitlán á las cárceles de la Capital, y los de delitos leves se han ocupado en limpiar las calles obstuidas por el terremoto.

El 18 hubo 327 temblores el dia: á las 6 de la tarde hubo uno de oscilacion y giratorio que causó casi competa ruina. Hasta las 6 de la mañana hubo 121 temblores el siguiente dia, causando la ruina de techos y paredes. Á las 10 de la mañana del 19 apenas quedaban 8 casa habitables. Pues las otras estaban casi completamente deterioradas.

El cuartel, la cárcel, la casa parroquial, la casa parroquial, la iglesia principal, es completa ruina. Varios ingenios entre ellos La Union, El Puente, San Pedro y la Avenida han sido muy perjudicados.

Las gentes consternadas, sin hogar, duermen en toldos, en patios, calles y plazas. La clase pobre padeció mucho. Un infeliz mozo se quebró una pierna con una pared que le cayó encima. En las farmacias, fondas y tiendas ha habido mucha pérdida (Anonymous 1885i:1).

VI

Continuación:

Dec. 18.-At Amatitlan, Guatemala, a place of about 5,000 inhabitants, situated twenty-four miles south of the city of Guatemala, slight but frequent earthquakes occurred, continuing all day from 2hr. to 17hr. 22 min. when a heavy shock was felt. At 17hr. 35 min. the heaviest and most destructive shock (IX) came, the air was filled with the dust from the fallen adobe houses. One hundred an thirty-one shocks were felt the first day, principally from east to west, eighty-one of which occurred between 16 hr. and 17 hr. 36 min. The second day was nearly bad, and the shocks continued from some days subsequent. A government commission, consisting of Professor Rockshtroh and Mr. Walker, visited the place and reported the total destruction of the village of San Vicente Pacaya and an increase in the amount and temperature of the water emitted by the hot springs about Lake Amatitlan, but no increased activity in the volcano of Pacaya (Rockwood 1886:16)

Dic. 18. En Amatitlán, Guatemala, un lugar de casi 5,000 habitantes, localizado a veinticuatro millas al sur de la ciudad de Guatemala, ocurrieron suaves pero frecuentes sismos, continuando todo el día desde las 2 hr. A las 17 hr. 22 min. Cuando un fuerte movimiento se sintió. A las 17 hr. 35 min. Vino el movimiento más fuerte y destructivo (IX), tirando al suelo muchas paredes y casas ya agrietadas por los primeros movimientos, las lanzadas al suelo y el aire se lleno con el polvo de las casas de adobe caídas. Ciento treinta y uno de los cuales sucedieron entre las 16 hr. Y 17 hr. 36 min. El segundo día fue casi tan malo, y el movimiento continuó por algunos días. Una comisión del gobierno, conformada por el profesor Rockshtroh y el Sr. Walker, visitaron el lugar y reportaron la destrucción total de la villa de San Vicente Pacaya y un aumento en la cantidad y temperatura del agua emanada en los nacimientos de aguas termales cerca del Lago de Amatitlán, pero no el incremento de la actividad en el volcán de Pacaya (Rockwood 1886:16).

El 31 de Diciembre se desplomaron seis casas más: en algunos lugares hay grandes grietas. Los temblores de Amatitlán se han sentido también en la Capital (Anonymous 1886 a:2).

V

EVALUACIÓN:

Una replica del sismo anterior. Probablemente otro de los menores, entre estos y el evento anterior, también fue asentido en la parte sur del Valle de Guatemala.³²

³² Lawrence H. Feldman. *Op. Cit.* pp. 39-42

Figura 22. Actividad sísmica del 15 al 31 de diciembre de 1885. Evento principal: 18 de diciembre

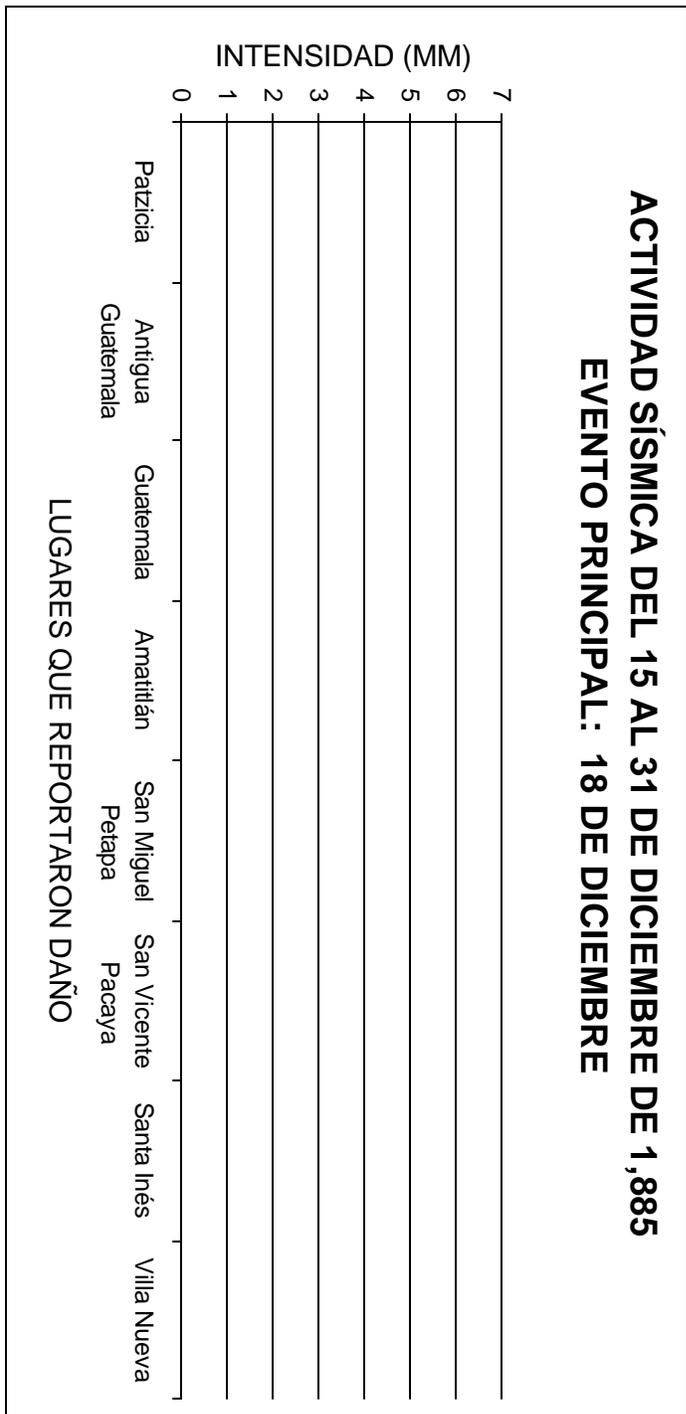
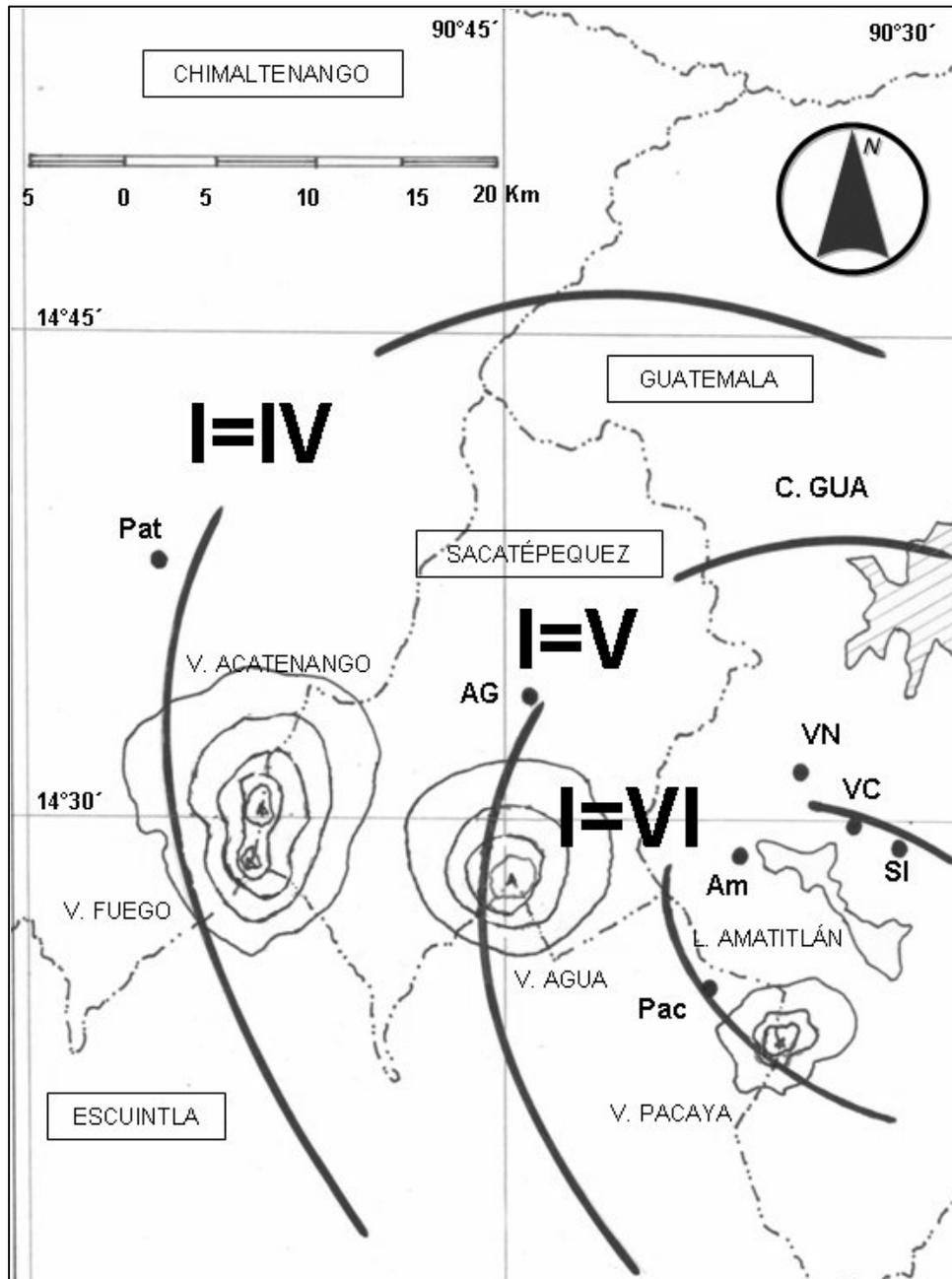


Figura 23. Isosistas evento principal 18 de diciembre de 1885. Actividad sísmica del 15 al 31 de diciembre



Nomenclatura: AG: Antigua Guatemala, Am: Amatitlán, C.GUA: Ciudad de Guatemala, Pac: San Vicente Pacaya, Pat: Patzicía, SI: Santa Inés Petapa, VC: Villa Canales, VN: Villa Nueva

Magnitud asignada: Mb = 5

Como se puede observar en los mapas de isosistas, y en las gráficas de intensidad la población de Amatitlán fue afectada severamente en tres de los cuatro periodos de sismicidad seleccionados; el 23 de abril de 1830, el 3 de septiembre de 1874 y el 18 de diciembre de 1885.

4.5. Características de los eventos sísmicos de fuentes superficiales

La actividad sísmica superficial tiene comúnmente una profundidad $h \approx 30$ Km. y se localiza cerca del arco volcánico como es el caso de los eventos de 1830, 1874 y 1885; y el evento de 1870 se localizó dentro del arco montañoso.

En el enjambre, no se puede definir un único evento principal, pues tienen una magnitud similar y generalmente pequeña; inicia con unos sismos, luego su número se incrementa hasta alcanzar el máximo y luego desaparece gradualmente; la actividad sísmica puede durar de unos días a meses y sus efectos están comúnmente limitados a una pequeña área; la mayoría de los sismos no son perceptibles por los vecinos del lugar, sólo una fracción de los mismos es sentido por la población. Esta característica la ejemplifican los eventos descritos en los incisos 4.4.1, 4.4.2, 4.4.3 y 4.4.4.

Aunque entre las características de un enjambre se menciona que no tienen un único evento principal, se seleccionó el día en que se detectó mayor daño en las poblaciones y el número de sismos fue mayor.

A continuación se gráfica el período de duración de cada uno de los eventos estudiados donde se puede apreciar que los sismos sensibles fueron por un período mayor de un mes para cada uno.

En la gráfica se indica la fecha cuando se inició la actividad sísmica, cuando se considera que sucedió el sismo principal, la fecha en que finalizó la actividad sísmica y la duración en días del evento estudiado.

Figura 24. Duración de actividad sísmica, año 1830

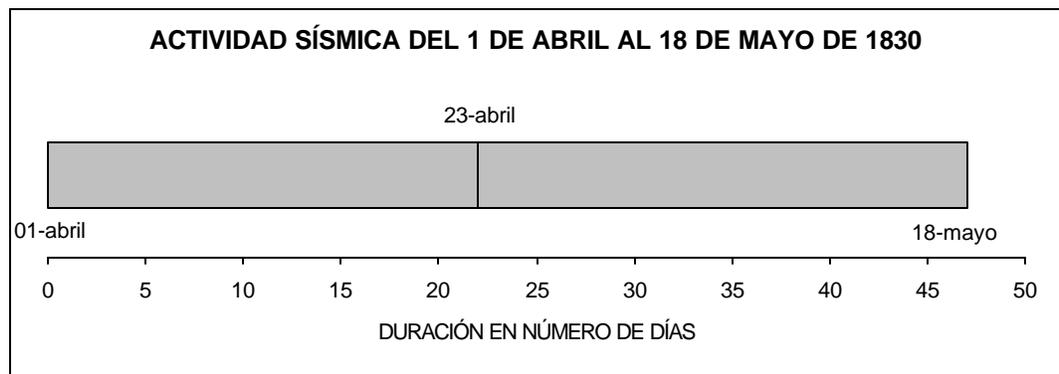


Figura 25. Duración de actividad sísmica, año 1870

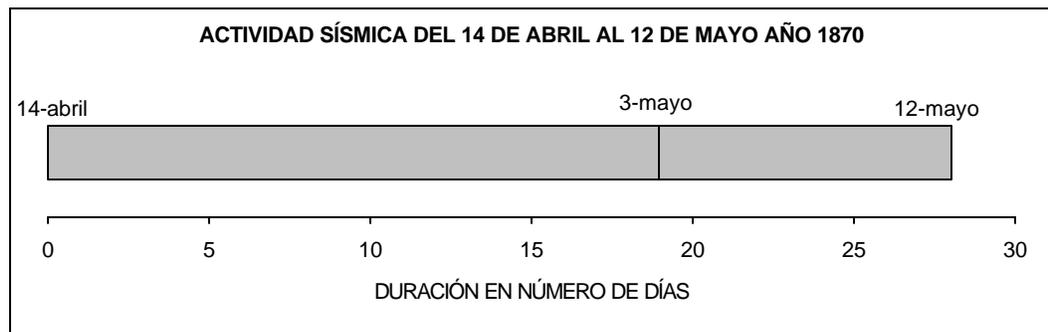


Figura 26. Duración de actividad sísmica, año 1874

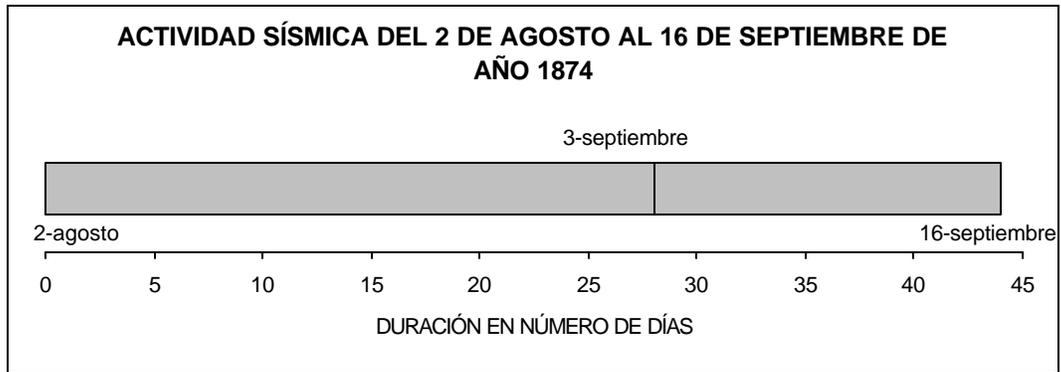
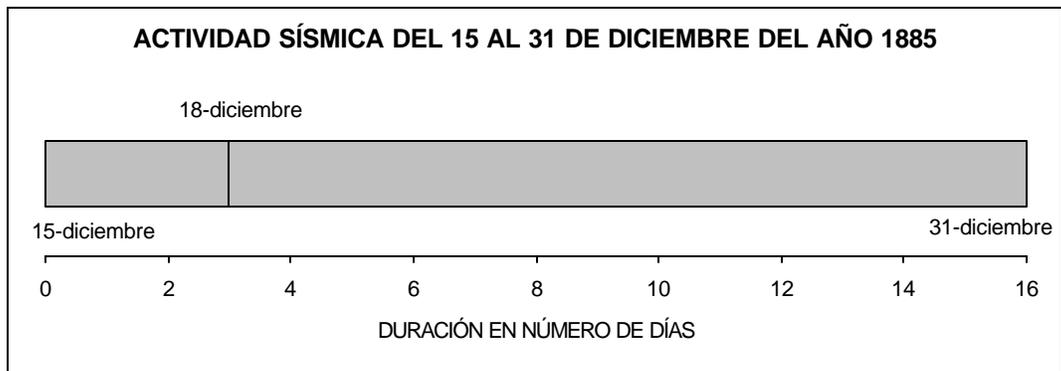


Figura 27. Duración de actividad sísmica, año 1885



Los temblores en cada uno de los eventos fueron sentidos todos los días.

4.5.1. Ecuación de atenuación sísmica

La ecuación de atenuación sísmica es una expresión semi empírica que relaciona: magnitud, distancia e intensidad sísmica, entendiéndose éstas como la aceleración, velocidad, desplazamiento e intensidad del evento sísmico. Las leyes de atenuación se basan en:

A una misma distancia, R se espera tener la misma intensidad sísmica (aceleración, velocidad, desplazamientos e intensidad propiamente dicha).

La intensidad sísmica disminuye conforme la distancia aumenta y viceversa.

Como se indicó, la ecuación de atenuación es una expresión empírica, en este trabajo de investigación se utilizó para verificar que las intensidades asignadas fueran congruentes con las isosistas dibujadas. La ecuación utilizada fue:

$$I_0 = (2.3m_b - 6.8) 1.1 \times 10^{-0.06x} e^{-0.001x} \quad (33), \text{ donde:}$$

I_0 ? Intensidad

(x) ? distancia epicentral en Km.

m_b ? magnitud volumétrica

³³ Augusto Antonio Gómez y Elkin de Jesús Salcedo. "Leyes de atenuación de la intensidad macrosísmica en Colombia. Primer simposio colombiano de sismología". **Avances de la Sismología en los últimos veinte años**. Bogotá, 2002. www.minasupm.es

Esta ecuación representa la atenuación de la intensidad macrosísmica para sismos con profundidades menores a 60 Km.; profundidad que abarca a los sismos con origen en una falla superficial con profundidad, $h \leq 30$ Km., y está en función de la distancia epicentral (x), la magnitud volumétrica $4.5 \leq (mb) \leq 5.5$.

Los resultados que se obtuvieron al aplicar esta ecuación a los diferentes eventos graficados son los siguientes:

Tabla IV. Resultados de ecuación de atenuación

AÑO	Distancia X (Km.)	Magnitud (mb)	Intensidad (I_0)
1830	16	5.5	5
1870	40	4.5	3
1874	30	5.5	5
1885	25	55.0	4

4.6 Evento sísmico de mayo-junio de 1986

Este inciso permite visualizar los registros instrumentales que se manejan actualmente para un enjambre.

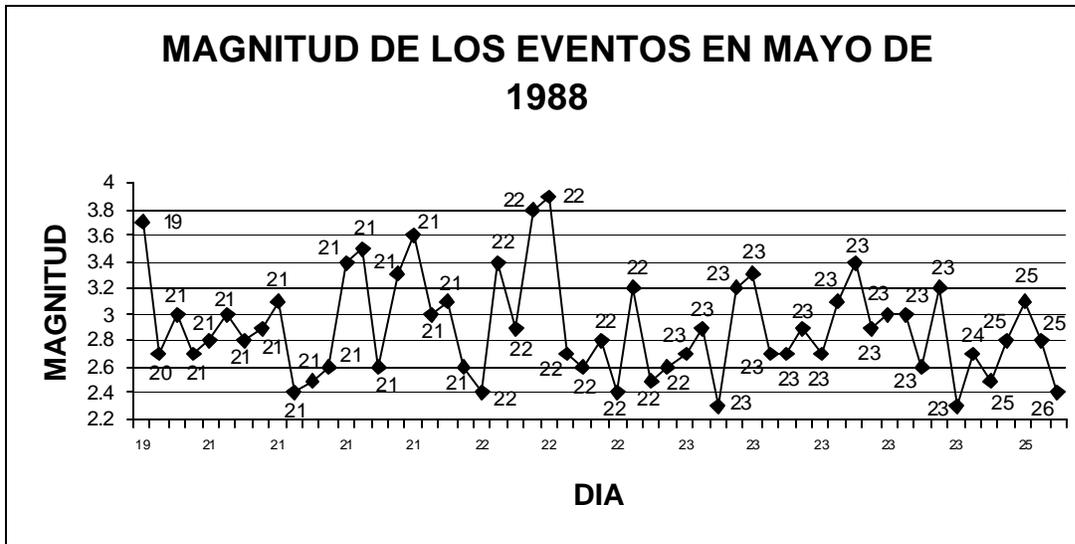
En el año 1,988 se pudo registrar por el INSIVUMEH un enjambre sísmico similar a los estudiados en el presente trabajo. Los datos recopilados son los siguientes:

Tabla V. Registro de sismos de mayo de 1988

No.	MES	DIA	HR.	MIN.	SEG.	LAT.	LONG.	PROF	MAG.
1	5	19	22	28	25.35	14°34.37'	90°34.47'	3.4	3.7
2	5	20	13	26	40.98	14°34.43'	90°33.12'	10.9	2.7
3	5	21	7	11	59.93	14°33.32'	90°33.47'	6.9	3.0
4	5	21	7	36	46.35	14°31.45'	90°35.52'	6.3	2.7
5	5	21	10	24	16.64	14°32.40'	90°34.82'	6.3	2.8
6	5	21	11	22	8.14	14°29.47'	90°37.50'	4.9	3.0
7	5	21	11	26	39.01	14°35.80	90°32.82	5.9	2.8
8	5	21	12	38	45.61	14°33.55	90°33.49	12.4	2.9
9	5	21	13	12	54.83	14°33.01	90°32.67	4.9	3.1
10	5	21	14	1	31.59	14°33.82	90°33.97	9.1	2.4
11	5	21	14	12	53.24	14°33.90	90°32.81	10.8	2.5
12	5	21	14	25	48.09	14°33.86	90°33.34	5.0	2.6
13	5	21	14	48	42.52	14°34.58	90°33.85	5.0	3.4
14	5	21	15	15	40.62	14°34.50	90°34.18	6.2	3.5
15	5	21	16	16	11.16	14°34.38	90°34.28	6.3	2.6
16	5	21	16	20	33.76	14°34.23	90°34.56	7.6	3.3
17	5	21	18	21	7.02	14°35.27	90°34.17	9.5	3.6
18	5	21	18	31	47.4	14°35.27	90°34.40	9.0	3.0
19	5	21	22	4	55.63	14°33.53	90°34.70	8.2	3.1
20	5	21	23	0	9.98	14°33.91	90°33.07	12.7	2.6
21	5	22	2	43	36.25	14°33.50	90°33.38	12.0	2.4
22	5	22	7	12	39.88	14°33.50	90°34.05	7.9	3.4
23	5	22	7	13	59.46	14°32.97	90°32.34	5.7	2.9
24	5	22	19	42	6.19	14°33.94	90°34.15	10.4	3.8
25	5	22	19	44	48.58	14°34.06	90°33.64	5.7	3.9
26	5	22	19	48	4.04	14°35.27	90°30.57	13.7	2.7
27	5	22	22	8	17.54	14°33.38	90°34.15	8.1	2.6
28	5	22	22	9	15.33	14°34.22	90°33.49	11.5	2.8
29	5	22	22	35	6.13	14°31.61	90°34.69	5.0	2.4
30	5	22	22	50	38.81	14°33.64	90°33.54	8.3	3.2
31	5	22	23	41	14.12	14°33.14	90°34.02	10.4	2.5
32	5	22	23	46	34.48	14°34.71	90°33.41	10.8	2.6
33	5	23	0	0	12.84	14°32.93	90°33.96	8.2	2.7
34	5	23	0	58	17.54	14°30.40	90°31.46	7.1	2.9
35	5	23	1	16	15.33	14°32.03	90°34.13	9.1	2.3
36	5	23	1	33	6.13	14°33.09	90°33.40	7.7	3.2
37	5	23	2	10	14.12	14°30.98	90°34.89	10.2	3.3
38	5	23	2	12	50.47	14°32.88	90°32.07	13.5	2.7
39	5	23	3	13	12.3	14°31.06	90°34.91	4.4	2.7

No.	MES	DIA	HR.	MIN.	SEG.	LAT.	LONG.	PROF	MAG.
40	5	23	5	43	19.37	14°30.73	90°34.41	8.5	2.9
41	5	23	6	14	26.44	14°31.55	90°34.81	4.5	2.7
42	5	23	6	38	37.68	14°32.17	90°34.38	7.6	3.1
43	5	23	9	5	3.06	14°30.27	90°35.47	7.8	3.4
44	5	23	9	11	9.33	14°32.61	90°33.30	5.9	2.9
45	5	23	15	1	16.41	14°32.40	90°33.16	6.3	3.0
46	5	23	17	21	28.69	14°33.41	90°33.43	7.6	3.0
47	5	23	17	35	52.86	14°32.17	90°33.12	12.0	2.6
48	5	23	21	52	37.17	14°33.72	90°32.99	7.0	3.2
49	5	23	21	54	33.42	14°36.54	90°32.10	1.4	2.3
50	5	24	4	18	48.34	14°33.02	90°32.07	8.8	2.7
51	5	25	1	30	5.08	14°34.23	90°32.93	7.7	2.5
52	5	25	15	17	10.73	14°32.97	90°33.87	7.7	2.8
53	5	25	22	19	37.51	14°32.84	90°33.69	11.6	3.1
54	5	25	23	45	21.37	14°32.92	90°33.06	8.7	2.8
55	5	26	3	0	9.73	14°32.42	90°33.91	8.4	2.4
56	6	6	1	55	59.72	14°33.16	90°35.08	15.6	3.2

Figura 28. Magnitud de los eventos en el mes de mayo de 1988

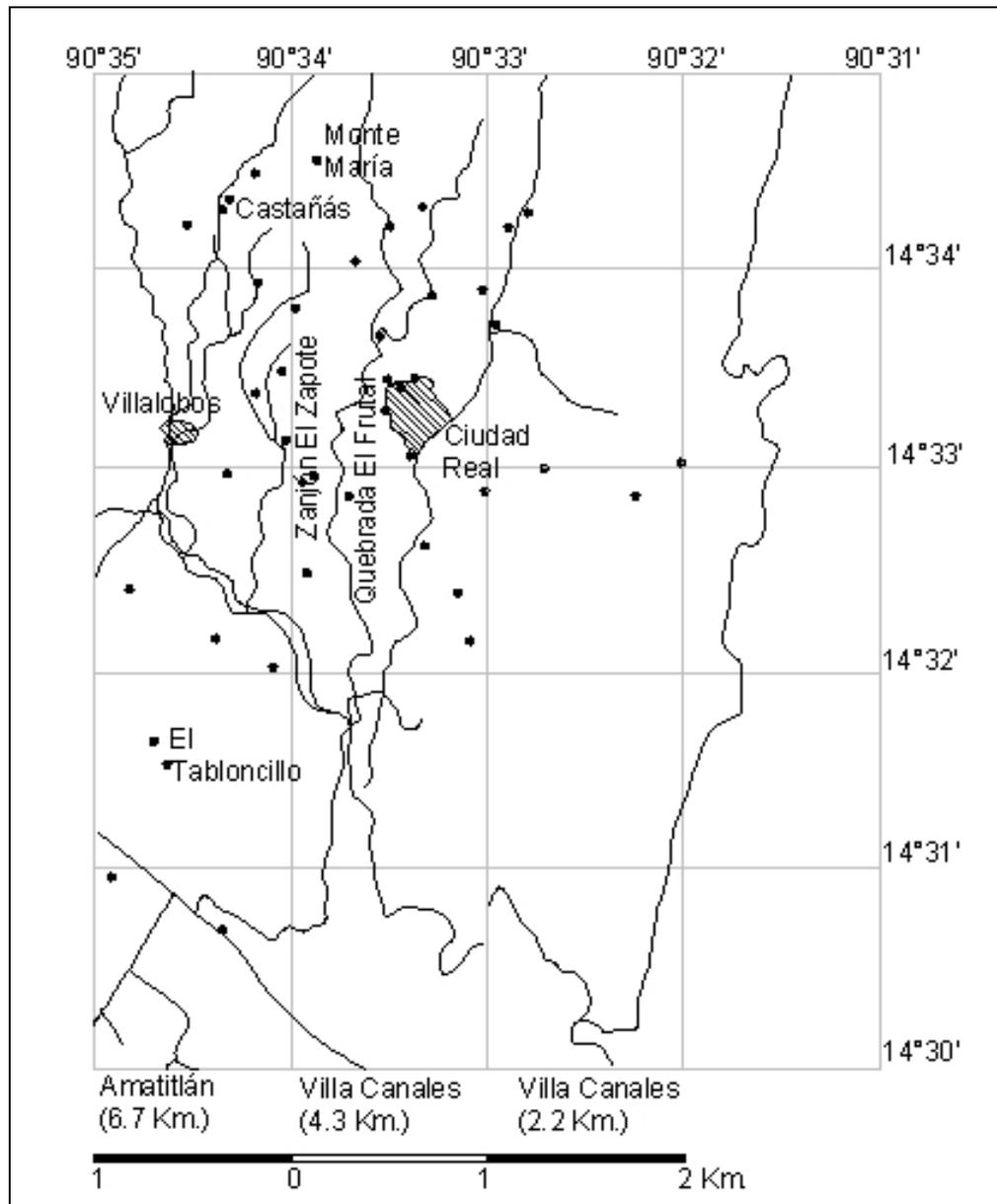


Este enjambre de actividad sísmica que ocurrió al Sur de la Ciudad de Guatemala, “entre el 13 de mayo y el 9 de junio de 1,988 se registraron aproximadamente 2, microsismos..., con profundidades menores de 15km.³⁴ ; actividad sísmica que fue ‘provocada por las fallas de El Frutal y Zacatal’³⁵. Entre el 19 y 27 de mayo se llegaron a registrar más de 60 sismos que oscilaron entre mb ? 2.3 – 3.9; la energía acumulada que se liberó por esta actividad fue de 375x10¹³ ergios aproximadamente.

³⁴ MOLINA CRUZ, José Enrique. **Dos casos de sismicidad superficial en Centroamérica: El enjambre de mayo de 1,988 en el graben de la ciudad de Guatemala. El terremoto de San Salvador, El Salvador, del 10 de octubre de 1,986.** (México: mayo de 1,992) p. 10

³⁵ Falla del Motagua origina temblores. Prensa Libre, 31 de mayo de 1,988

Figura 29. Ubicación de epicentros, enjambre sísmico de mayo 1988.



CONCLUSIONES

1. Los daños que pueden llegar a producir los sismos superficiales son de consideración y más aún cuando sus epicentros se localizan cerca de asentamientos humanos, lo cual coloca en riesgo a sus habitantes si la infraestructura existente no cumple con los requerimientos constructivos necesarios.
2. Los terremotos con una fuente superficial constituyen una amenaza significativa por el grado de destrucción que llegan a provocar. A una distancia epicentral de una falla superficial, $h \approx 30$ Km., puede liberar energía correspondiente a un sismo de magnitud, $M \approx 5$, lo cual se considera potencialmente destructiva, en comparación con un foco profundo, $h \approx 200$ Km. que libera mayor energía correspondiente a un sismo de $M \approx 8-9$.
3. Con base en los mapas de isosistas, y en las gráficas de intensidad, podemos observar que la población de Amatlán fue afectada severamente en tres de los cuatro eventos seleccionados, en los años 1830, en 1874 y en 1885, por lo que estos sismos se pueden considerar recurrentes, poniendo en riesgo a las poblaciones aledañas.
4. El número de sismos por día puede ser considerable en cantidad, lo que también provoca la degradación de rigidez y resistencia de los materiales constructivos, lo cual lleva al daño estructural de la infraestructura existente provocando así un colapso parcial o total de la misma.

5. El período de registros no instrumental deberá ser estudiado, utilizando los datos macrosísmicos de los eventos históricos, y con los resultados obtener relaciones y fórmulas que ayuden a solucionar el problema de amenaza y riesgo sísmico de nuestro país.

6. Estudiando el área macrosísmica es posible evaluar ciertos parámetros como: intensidad epicentral, el epicentro, la profundidad focal, la magnitud y la distancia epicentral, y compararlos con los datos obtenidos instrumentalmente, y complementarlos entre sí.

RECOMENDACIONES

1. Mantener un registro constante de información sísmica en las áreas afectadas, en especial en cuanto a magnitud, localización y frecuencia de los eventos.
2. Que se analicen en forma similar otros eventos sísmicos del período no instrumental, y estudiar sus resultados para poder estimar un período de recurrencia sísmico.
3. Tomar en consideración la cantidad de poblaciones dañadas en el Siglo XIX por sismos de fallas superficial, ya que en la actualidad tanto estas poblaciones como otras, han aumentado en tamaño poblacional y de infraestructura.
4. Poner especial atención en el área epicentral y vecinas de las poblaciones de Amatitlán, esto con base en que tres eventos de los cuatro estudiados mencionan daños de consideración, y fue donde se estimó que la magnitud del evento sísmico fue de $5 \leq m_b \leq 5.5$.
5. Con base en los datos macrosísmicos, desarrollar las ecuaciones de atenuación para la intensidad sísmica para nuestro país.

6. Que el resultado de esta investigación pueda complementar un trabajo de vulnerabilidad, para poder guiar y facilitar los esfuerzos del gobierno, ingenieros sísmicos, planificadores para crear medidas de prevención prácticas para reducir el riesgo sísmico en estas regiones del país.
7. En las regiones estudiadas debe construirse infraestructura que resista sismos de la magnitud de los sismos históricos aquí estudiados, ya que éstos volverán a ocurrir en la misma región con similar magnitud.
8. Mantener informados a los habitantes que se encuentran cerca de las áreas epicentrales, sobre la amenaza y riesgo sísmico a que se encuentra expuesto y el peligro que constituye vivir en esa zona.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Märcus Bath. **Introduction to Seismology**, (2a. edición; Stuttgart: Birkhäuser Verlag Basel, 1979), p.13
2. Bruce A. Bolt. **Earthquakes: a primer**. (San Francisco: W. H. Freeman and Company, 1978), p. 19
3. Ibíd. p. 21
4. José Vassaux P. **Cincuenta años de sismología en Guatemala**, (Guatemala: Observatorio Nacional, 1969), p. 2
5. D. P. McKenzie. “El manto terrestre”. **Investigación y ciencia**. (86):41. 1983.
6. **AAVV. Geological Hazard**, (Springer, 1975), p. 23
7. Märcus Bath. Op. Cit. p. 105.
8. Ing. Arce Valenzuela, Alfredo. Investigaciones personales. 1986
9. E. Barrier. “Restricciones al movimiento de las placas de Norteamérica y del Caribe a través de medidas de GPS a lo largo del sistema de falla Motagua-Polochic en Guatemala”, **Ingeniería**, ():15. 2004
10. George Plafker. The Guatemala Earthquake and Caribbean Plate Tectonics. **U. S. Geological Survey**, (9):2. 1977
11. Belén Benito y otros. “Metodología para estudio de amenaza sísmica en Guatemala. Aplicación al diseño sismorresistente”. http://redgeomatica.rediris.es/sismo/html/pdf/pub_010.pdf. P.10
12. George Plafker. Op. Cit.

13. Kaye M. Shedlock. " Seismic Hazard Map of North and Central America and Central America and the Caribbean". U. S. Geological Survey, Golden, CO, U.S.A.
<http://www.seismo.ethz.ch/gshap/northam/report.html>
14. "Catálogo sísmico del Perú".
<http://khatati.gp.gob.pe/cns/bds/catálogo/presentacion.htm>
15. **Kaye M.** Shedlock. Op. Cit.
16. Empresa Propietaria de la Red , EPR. "Estudio Geotectónico y clasificación de suelos en la línea de Transmisión SIEPAC", octubre, 2004.
<http://www.eprsiepac.com/documentos/Guatemala/Documento%20final%207-8.pdf>
17. Lawrence H. Feldman. **Guatemalan temblores y terremotos, a catalogue.** Submitted for publication in Spanish to the Academia Geografía e Historia de Guatemala. (Guatemala. 1 de marzo de 1988), pp. 17-19
18. William Spence and Waverly Pearson. "A preliminary report. Chronological Historical Record of Damaging Earthquakes in Guatemala, 1526-1976. **Tectonic Setting and Seismicity.** The Guatemalan earthquake of February 4, 1976". Geological Survey, (1002): 88. 1976.
19. José Vassaux P. Op. Cit. 88
20. Víctor Miguel Díaz. Conmociones terrestres en la América Central, Fenómenos sismológicos 1469-1930. Guatemala, Tipografía "El Santuario. P.176
21. Lawrence H. Feldman Op. Cit. p. 28-29
22. José Vassaux P. Op. Cit. p. 93
23. Víctor Miguel Díaz. Op. Cit. p.187
24. "Volcanes, terremotos y erupciones". **Diario de Centro América.** 23 de enero de 1930. p. 3

25. "Terremoto del 3 de Septiembre. Volcán de Fuego". **La Sociedad Económica**, 3(50). 1874
26. William Spence and Waverly Pearson. Op. Cit. p. 88
27. Lawrence H. Feldman. Op. Cit. pp. 30-31
28. "Terremoto del 3 de Septiembre. Volcán de Fuego". Op. Cit,
29. Lawrence H. Feldman. Op. Cit. pp. 31-34
30. Víctor Miguel Díaz. Op. Cit.
31. José Vassaux P. Op. Cit. p. 93
32. Víctor Miguel Díaz. Op. Cit.
33. William Spence and Waverly Pearson. Op. Cit. p. 89
34. Lawrence H. Feldman. Op. Cit. pp. 39-42
35. Augusto Antonio Gómez y Elkin de Jesús Salcedo. "Leyes de atenuación de la intensidad macrosísmica en Colombia. Primer simposio colombiano de sismología". **Avances de la Sismología en los últimos veinte años**. Bogotá, 2002. www.minasupm.es

BIBLIOGRAFÍA

1. “A cincuenta años de los terremotos de 1917 y 1918”. Anales de la Sociedad de Geografía e Historia de Guatemala, Tomo XLI, enero a marzo de 1968.
2. “A propósito de los sismos”. La Hora Dominical, Guatemala, 19 de septiembre de 1948. p. 2.
3. Aplicación en Red para Casos de Emergencia (ARCE). Glosario Arce Borrador 02, 19/09/2001
http://www.dei.inf.uc3m.es/arce/glosario/glosararce_a.htm
4. Arce Valenzuela, Alfredo. “Construcciones sismo-resistentes en Japón”. Prensa libre, Suplemento Construcción, Guatemala, 3 de noviembre de 1989.
5. Benito, Belén y otros. Metodología para estudios de amenaza sísmica en Guatemala aplicación al diseño sismorresistente.
<http://redgeometrica.redires.es/sismo/html/pdf/pub 10f>
6. Blanco Ávila, Adolfo. “Nuestra tierra temperamental e inquieta”. Guatemala: Diario El Gráfico, La Revista, 29 de mayo de 1989.
7. Blume, John A., Emil C. W. Wang, Roger E. Scholl, Haresch C. Shah. “Earthquake Damage Prediction. A Technological Assessment”. The John A. Blume Earthquake Engineering Center, Standfor University, reportee 17, octubre de 1975.
8. Butler, Rob. Dynamic earth. October 2001. web authoring: Clare Gordon
<http://earth.leeds.ac.uk/dynamicearth/plates/seisglobal/index.htm>
9. Cabanas, L., y otros. Banco de datos de movimiento fuerte del suelo MFS. Apli-caciones. EUIT Topografía –UPM. 1997-98.
http://redgoematica.rediris.es/sismo/html/pdf/pub_016.pdf
10. Centro Nacional de Sismología. Glosario de términos
<http://khatati.igp.gob.pe/cns/glos.htm>

11. Centro Sismológico de América Central (CASC). Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica. <http://.cepredeac.org/08:cnc/casc/intro.htm>
12. Clugh, Ray W. y Penzien, Joshp. Dynamics of structures. McGraw-Hill, 1975, pag.62
13. "Crónica de Guatemala". La Sociedad Económica. 15 de julio de 1870, tomo 2 No. 1.
14. Coordinadora nacional para la reducción de desastres, CONRED, Guatemala, Centro América. <http://www.conred.org/sobredesastres/durante.php>
15. Dinámica estructural simplificada. México. <http://www.dinafacil.com/aceleyespe.html>
16. Espinosa, A. F. The Guatemala Earthquake of February r, 1976. A preliminary report. U. S. Geological Survey. Professional 1976. Papel 1002.
17. Experiencias derivadas de los sismo de septiembre de 1985. Fundación ICA, a.c. Noriega Editores Editorial Limusa. México, 1988
18. "Furia sísmica ocasiona luto y dolor". Panorama, 7 de octubre de 1991 año 2, núm. 94, p. 28.
19. Geodesia, GPS, y terremotos. Instituto Geodésico del Perú/U. Miami. CNDG <http://www.igp.gob.pe/cndg/geodesy.html>
20. González Cano, Marcelino. Uspantán. Una lección para el próximo desastre. Centro de Estudios Urbanos y Regionales. Universidad de San Carlos de Guatemala, marzo de 1986.
21. Grases. J. Sismicidad asociada a la cadena volcánica centroamericana. Universidad Central de Venezuela, Caracas. 1975.
22. Guendel, F. Aplicaciones del método de la brecha sísmica para la zona central de Costa Rica. América Central. Revista Geofísica, Instituto Panamericano de Geografía e Historia. Julio-diciembre de 1982. No. 17.
23. Houdson, Donald E. Earthquake Engineering. Ground Motion Measurements. Prentice-Hall, Inc. 1970.

24. Kerimedjian. Anne S., Hareh C. Shah, Lester Lubertkin. "Seismic Hazard Mapping for Guatemala". The John A. Blume Earthquake Engineering Center, Department of Civil Engineering, Stanford University, Report No. 26, mayo de 1977.
25. Kransnopoloski, Yuri. "Cómo pronosticar los sismos". Sputnik, Selecciones de la prensa soviética, noviembre de 1987.
26. Master list of historic (pre 1840) earthquakes and Volcanic Eruptions in Central America. 1o. de marzo de 1988.
27. Melgar Chávez, Oscar Alfredo. Análisis del origen de los sismos en Guatemala. Tesis, Guatemala, agosto de 1986.
28. Molina Cruz, José Enrique. Dos casos de sismicidad superficial en Centroamérica. Tesis Maestro en sismología y física del interior de la tierra. México, UNAM, Instituto de Geofísica, 1992. 96pp.
29. Molnar, P. y L. R. Sykes. Tectonics of the Caribbean and Middle America regions from Focal Mechanisms and Seismicity. Bulletin of the Geological Society of America, 1969, vol. 80.
30. Monzón Despang, Héctor. Sobre la sismicidad en Guatemala y las perspectivas futuras. Programa de actualización profesional, Colegio de Arquitectos de Guatemala, mayo de 1986.
31. Peraldo H., Giovanni y Montero P., Walter. Sismología histórica de América Central. Instituto Panamericano de Geografía e Historia, México, 1999. Pub. no. 513 pp 194-291.
32. WEBER, Manfred. Seismic Accelerometers. Metra mess-und Frequenztechnik Radebeul.
http://www.mmf.de/seisic_accelerometers.htm
33. White, Randal A. Catalogue of historic Seismicity in the vicinity of the Chixoy-Polochic and Motagua faults, Guatemala. U. S. Geological survey. Open-File Reporte 84-88. Menlo Park, California. USA