

TEMA 1

MONITOREO Y EVALUACION

DEL

FENOMENO SISMICO

DIAGNOSTICO Y MONITOREO DEL FENOMENO SISMICO

Otto Bohnenberger
Sociedad Geológica de Guatemala

Manolo Barillas-Cruz
Sección de Geología, Ministerio de Energía y Minas

INTRODUCCION

Tomando en cuenta la relación estrecha que existe entre la estructura geológica y la distribución de focos sísmicos, se incluyeron ambos tópicos en el Tema I de este Seminario Taller. Los subtemas de “*Geología*”, “*Amenaza Sísmica*” y “*Sistemas de Vigilancia*”, son atendidas por dos grupos de trabajo diferentes y en consecuencia resulta más práctico presentarlos uno tras otro. En tal forma, el grupo de trabajo de Amenaza Sísmica y Sistemas de Vigilancia presentarán su aportación separadamente al editor, aquí se tratará solamente el tema de Geología.

GEOLOGIA

En mayo de 1978 se organizó un “Simposio Internacional sobre el Terremoto de Guatemala del 4 de febrero de 1976 y el Proceso de Reconstrucción”. Autores de 12 países presentaron 72 ponencias las cuales se publicaron en dos gruesos tomos con un total de 1703 páginas. Esta valiosa documentación quedó como fuente de consulta para futuros estudios.

El presente trabajo evalúa nuestro conocimiento geológico relacionado con la amenaza sísmica, bajo los siguientes temas

- 1. Extractos de los resúmenes de las ponencias más importantes del año 1978.**
- 2. Resumen de las principales conclusiones y recomendaciones formuladas en 1978.**
- 3. Ejemplos de la realidad actual.**
- 4. Incremento del conocimiento geológico.**
- 5. Conclusiones y recomendaciones de las ponencias del presente Seminario Taller.**

1. EXTRACTOS DE RESUMENES DE PONENCIAS DEL AÑO 1978.

Estos extractos fueron hechos por los editores con el único propósito de presentarlos en forma condensada pero sin perder su contenido original.

“Las relaciones entre las Placas Tectónicas en América Central y el Caribe”

Lynn R. Sykes

(Nota. El autor presenta tres “placas tectónicas”: La Placa Caribe, la Placa Cocos y la Placa Norte América. Estos conceptos se ilustran en la Figura 1, adjunta.)

La hipótesis de la Tectónica de Placas provee un concepto para discutir el origen del Terremoto de Guatemala de 1976 y otras actividades sísmicas regionales. La Placa Caribe está rodeada de franjas sísmicas. Varios terremotos destructivos históricos ocurrieron en diferentes lados de la misma.

El Terremoto de Guatemala se originó en el límite noroeste de la Placa Caribe con la Placa de Norte América. Este límite presenta un movimiento lateral izquierdo de la Placa Norte América, tanto en Guatemala como en la Fosa de Caymán. Más al este, en la Fosa de Puerto Rico, la Placa Caribe se mueve al ENE con respecto a la Placa Norte América.

En la costa suroeste de México y Centroamérica hay una zona de alta sismicidad que representa la subducción de la Placa Cocos debajo de las Placas Norte América y Caribe. La unión de las Placas Norte América, Caribe y Cocos podría estar aproximadamente al SW de Guatemala y al SE de México.

La distribución histórica de focos sísmicos se localiza en estrecha relación con la Costa Pacífica de México y Centroamérica. Los volcanes están situados encima de focos sísmicos de aproximadamente 100 km de profundidad. Algunos de los terremotos mayores en la historia de Centroamérica ocurrieron en esta zona sísmica, justo mar adentro del litoral suroeste y adicionalmente, otros temblores se situaron arriba de esta zona de subducción, cerca de la cadena volcánica. La actividad sísmica de la zona volcánica es menor que de la zona de subducción, pero algunos de estos eventos han sido muy destructores para centros de población en Guatemala, Honduras y Nicaragua.

Carr y otros autores han propuesto recientemente la hipótesis de que la litósfera descendiente debajo de Centroamérica, consiste de segmentos individuales con inclinación diferente y cada uno de estos segmentos podría tener una historia tectónica diferente. Así mismo, que cada segmento parece moverse independientemente durante grandes terremotos.

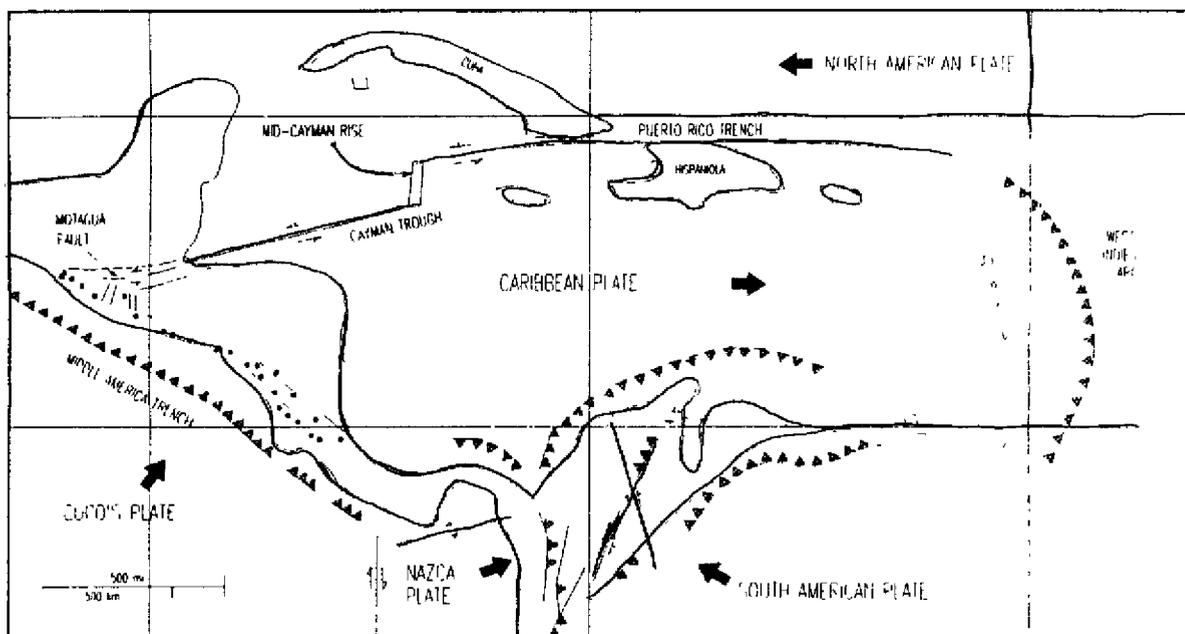


FIGURA 1 Mapa que muestra la falla del Motagua en relación con las fronteras de la Placa del Caribe y los sistemas extensionales de fallas dentro de la Placa del Caribe. Las flechas más grandes indican las direcciones del movimiento relativo de la placa; los puntos negros señalan los principales volcanes del arco de América Central (modificada de *Plafker, 1976*).

“Marco tectónico de la región del Caribe”

Gabriel Dengo

La intensa investigación realizada en la región del Caribe ha permitido definir en gran parte su estructura geológica y en menor grado su historia tectónica. Se ha determinado el arreglo geométrico de las placas tectónicas involucradas y dinámicamente se han establecido los tipos de límites entre ellas así como su movimiento relativo. La zona de falla Polochic-Motagua, límite conservativo al norte y la zona de subducción Mesoamericana, límite destructivo sur-occidental, son los elementos tectónicos de la Placa Caribe que tienen influencia directa en la sismicidad del territorio nacional. Algunas estructuras intraplaca y los centros volcánicos mayores son también fuentes sísmicas importantes.

“Importancia tectónica de los fallamientos de superficie relacionados con el terremoto de Guatemala del 4 de febrero de 1976”

George Plafker

El terremoto que afectó Guatemala en 1976, provocado por movimiento sinistral en la zona de falla del Motagua, originó estructuras secundarias significativas. El desplazamiento horizontal máximo fue de 340 cm, mientras que en la parte occidental de la ciudad de Guatemala, a inmediaciones de Mixco, se

observaron patrones de fracturamiento en dirección NNE-SSW. Este movimiento sinistral confirmó el movimiento relativo de la Placa del Caribe hacia el este, lo cual solo había sido propuesto en base a observaciones geológicas y geofísicas indirectas. Los sismos someros que se originan en los sistemas de fallas del Motagua y los complejos sistemas extensionales del Altiplano, asociados con el vulcanismo, son potencialmente más peligrosos que aquellos originados en la zona de subducción debido a su proximidad a áreas densamente pobladas.

“Tectónica de la Fosa Mesoamericana costas afuera de Guatemala”

J.W. Ladd, et al.

Estudios sísmicos y análisis de núcleos de perforaciones han permitido definir la configuración del talud continental en la Fosa Mesoamericana en las costas de Guatemala, indicando la existencia de horizontes de roca, con buzamiento hacia el continente, que pueden relacionarse con rocas básicas y ultrabásicas con altas velocidades de ondas P y grandes anomalías magnéticas. Batimétricamente, fue definido el Cañón San José, el cual corta perpendicularmente al talud continental a la altura del meridiano 91°O, estructura que se ha relacionado con fallamientos en la misma dirección que también desplazan los patrones de anomalías magnéticas del área. A través del talud se definieron los espesores y velocidades de onda para los horizontes reflectores detectados en las partes alta y baja del mismo, así también se detectaron anomalías magnéticas y gravimétricas positivas. La litología encontrada en los núcleos corresponde a gravas de basalto metamorfozadas no intemperizadas, serpentina y pedernal, las cuales son rocas diferentes a la que se observan en la planicie costera del Pacífico.

“Fallas Cuaternarias a lo largo del límite entre las Placas Caribe y Norteamérica en Centro América”

David P.Schwartz, et al.

El desplazamiento sinistral de la zona de falla del Motagua, causante del terremoto del 76, fue observado y medido en base al movimiento de los niveles de terrazas en el río El Tambor, jurisdicción del municipio de El Júcaro, depto. El Progreso, las cuales mostraron saltos horizontales de hasta 58.3 m y verticales de hasta 2.5 m. Para la zona de falla Chixoy-Polochic se han reconocido trazas activas, también de desplazamiento sinistral, entre Chiantla y el Lago de Izabal, las cuales definen paisajes geomorfológicos similares a los observados en los segmentos activos en la zona del Motagua. La frecuencia y magnitud de los eventos sísmicos entre estas dos zonas también es muy similar. Finalmente, para la zona de falla Jocotán-Chamelecón, no se han observado evidencias que indiquen un movimiento sinistral.

“Fallas de superficie y post-deslizamiento a lo largo de la Falla del Motagua en Guatemala”

R.C. Bucknam, et al.

Los 230 km que comprende la línea de ruptura del sistema de fallas del Motagua presenta estructuras y fenómenos superficiales característicos de las grandes zonas de desplazamiento lateral, como lo son: desplazamiento de cauces de ríos, de manantiales, lomas alargadas o abatidas, abanicos aluviales y formación de lagunas de hundimiento. Además se observaron fracturas “en echelon” y abultamientos por presión, así como diferentes estructuras en suelos húmedos arcillosos y en suelos cohesivos. Para definir los movimientos post-deslizamiento fueron definidos varios puntos de referencia. lo cual permitió demostrar que estos desplazamientos son proporcionales al logaritmo del tiempo transcurrido desde el terremoto, así también de que la tasa de movimientos posteriores son inversamente proporcionales a la magnitud de desplazamiento en un sitio.

“Características friccionales de serpentinita en la zona de falla del Motagua en Guatemala”

Carlos A. Dengo, y John M. Logan

La presencia de grandes mantos de serpentinita a lo largo de la zona de falla del Motagua indica una relación directa con el movimiento transcurrente en esta frontera litosférica. Por otro lado, las particularidades petrológicas de los dos grandes tipos de serpentinita observados (de textura mallada y textura ondeada), así como las variaciones en la presión de confinamiento, resultan ser variables importantes que determinan la respuesta de esta roca ante diferentes magnitudes de esfuerzo, así como los tipos de deslizamiento producidos. Por lo tanto, estas características mecánicas de la serpentinita deben considerarse al analizar las posibles fuentes de mecanismo sísmico en esta zona.

“Geología del cuadrángulo de El Progreso al norte del río Motagua”

Paul J. Roper

Las rocas más antiguas en esta región corresponden al Grupo Chuacús, rocas paleozoicas que en su mayoría son metasedimentos en las facies de esquistos verde y anfibolita. Estratigráficamente, la parte superior del grupo consiste de esquistos de muscovita y cuarcita micácea, mientras que en la base se presenta la Fm. Jones compuesta de micaesquistos y gneiss, incluyendo el miembro superior del mármol San Lorenzo. Sobreyaciendo al Grupo Chuacús se localizan las serpentinitas, relacionadas al sistema de fallas del Motagua, emplazadas durante el Aptiano-Albiano. Cerca del contacto con los mantos de serpentinita las rocas del Grupo Chuacús muestran algunas estructuras secundarias relacionadas con

recristalización y apareamiento de tremolita y granate. En la parte superior de la secuencia litológica se sitúan depósitos piroclásticos con fragmentos líticos de basalto vesicular y obsidiana.

***“Fractura del suelo causada por licuefacción
durante el terremoto del 4 de febrero de 1976 en Guatemala”***

Seena N. Hoose, et al.

El fenómeno de licuefacción, inducido por el evento sísmico del 76, fue un factor que provocó severos daños en el territorio guatemalteco, siendo observado principalmente en ambientes geológicos recientes, como en los deltas de ríos, canales de corrientes y en laderas con suelos húmedos en zonas montañosas. Fueron observadas también grietas y “arenas hirvientes” a inmediaciones de deltas, como en el río Villalobos al desembocar en el lago de Amatitlán, fenómenos que provocaron incluso el desplome total de construcciones aparentemente sismoresistentes. Por otro lado, también fueron observados derrumbes y daños variados en el delta del río Panajachel, en el lago de Atitlán, así como en el valle del río Motagua. Daños similares fueron reportados en algunas regiones de las fronteras repúblicas de Honduras y El Salvador.

***“Licuefacción de suelos: derrumbes del suelo en el área de Amatitlán
durante el terremoto de febrero de 1976”***

K.L. Lee, et al.

Se han reportado daños materiales ocasionados por este fenómeno en regiones altamente sísmicas como Alaska y Japón. En Guatemala, en el área de Amatitlán, también fueron observados algunos deslizamientos de suelos, relacionados con licuefacción, después del terremoto del 76. Las evaluaciones del potencial de licuefacción del suelo incluye tres aspectos principales: estimación del esfuerzo de cizalla relacionado con el evento sísmico principal, estimación de la resistencia al cizallamiento del suelo en estudio y determinación del potencial de licuefacción comparando la resistencia del suelo contra el esfuerzo aplicado. En la zona de Amatitlán se han realizado numerosos ensayos y exploraciones de campo y de laboratorio, así como análisis ingenieriles, con el fin de determinar el potencial de licuefacción de los suelos en esta región.

“Estudio de deslizamientos de taludes de barrancos en la ciudad de Guatemala”

Federico D. Koose S.

La presencia de barrancos, con taludes de pendiente alta, es un rasgo geomorfológico muy frecuente en la ciudad de Guatemala. Muchos de los taludes de estos barrancos sufrieron deslizamientos de tierra como consecuencia del terremoto del 76. Analizando las propiedades mecánicas de los suelos, como cohesión y

ángulo de fricción interna de las partículas, se definieron las medidas de seguridad a considerar al realizar construcciones en estos lugares, siendo la distancia mínima entre el borde del barranco y la obra a construir, la que hay que considerar con más cuidado. Alternativamente, estructuras de protección del talud contra la erosión o construcción de obras de menor carga, como calles y avenidas, son medidas que ayudarán a mitigar los daños por deslizamientos.

“Deslizamientos originados por terremotos a partir del terremoto del 4 de febrero de 1976 en Guatemala y sus implicaciones para la reducción de riesgos sísmicos”

Edwin L. Harp, et al.

El análisis de deslizamientos relacionados con el terremoto del 76 indica que estos fueron función de la intensidad de eventos sísmicos, la litología afectada, topografía y orientación de los sistemas regionales de estructuras tectónicas. Se definieron innumerables deslizamientos en los valles del río Pixcayá y Xaltayá, al occidente de la capital guatemalteca, la mayoría de los cuales fueron de menos de 15,000 m³ de material, afectando principalmente los depósitos piroclásticos del Pleistoceno. También se observaron varios derrumbes que funcionaron como presas provocando grandes acumulaciones de agua, lo cual constituye un riesgo potencial de inundaciones fatales. Relacionando la distribución de derrumbes con parámetros como inclinación del terreno y litología puede definirse la susceptibilidad regional de zonas inestables.

“Son desatendidas las advertencias geológicas del terremoto de Guatemala de 1976”

Samuel Bonis

A muchos de los principales peligros originados por el terremoto del 76, como: fallamientos, ruptura del terreno y deslizamientos de tierra les fue conferida poca importancia después de ocurrido el desastre. a pesar de que existen varios sistemas tectónicos en el país capaces de generar eventos sísmicos de gran magnitud, algunos de los cuales tienen influencia directa sobre el valle de la ciudad de Guatemala. Debido a ello, es impostergable definir los códigos y normas de construcción con los cuales se puedan mitigar los efectos destructivos de estos desastres.

“Problemas urbano-geológicos asociados con la zona de fallas de Mixco”

Sally Widhelm Bilodeau

Luego del evento sísmico del 76 se desarrolló un sistema secundario de fallas a lo largo de la falla de Mixco, el cual afectó numerosas construcciones y vías de acceso en los suburbios occidentales de la ciudad de Guatemala. Los daños provocados por este complejo sistema de estructuras incluyen grietas y colapsos

en áreas de desarrollo residencial, comercial e industrial. Los principales aspectos que deben contemplarse con el propósito de reducir los daños en esta zona capitalina incluye la cartografía a detalle de la zona de falla, evaluación de su sismicidad, evaluación del comportamiento de la fracción de suelo ante un evento sísmico, definición de sitios de alto riesgo y finalmente con el diseño de estructuras sismoresistentes.

“Planificación geotécnica de ciudades con riesgo sísmico”

Alberto Martínez Vargas

Los aspectos a considerar en esta planificación son: ubicación y uso adecuado de áreas críticas, protección antes y después de los eventos sísmicos, así como la selección y ubicación de los futuros centros habitacionales e industriales. Es necesario compilar en mapas geotécnicos los aspectos más relevantes de las condiciones topográficas, geológicas, geomorfológicas, tectónicas y sísmicas de la región para aplicarlos en el análisis del régimen hidrogeológico, mecánica de suelos, características sísmicas y dinámicas de suelos con cuya integración se generan los mapas de potencial de riesgo sísmico. Los mapas analizados son los de Lima, Perú, modelo que se considera congruente y similar con las condiciones geológicas y sísmicas de ciudades como Guatemala.

2. LAS PRINCIPALES CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL AÑO 1978.

Presentamos en forma resumida las más importantes conclusiones y recomendaciones del Simposio realizado en el año 1978

Lynn R. Sykes:

Varios de los terremotos más destructores de Centroamérica se originaron en la zona de subducción del litoral Pacífico. Debido a que aún se reconocen segmentos de esta franja sin movilización reciente, esta zona puede originar importantes eventos sísmicos en el futuro

George Plafker:

Tomando en cuenta su proximidad a las áreas densamente pobladas, los futuros focos sísmicos de poca profundidad que se originaran en fallas normales y en asociación al

volcanismo, podrían representar una amenaza sísmica más seria que aquellos focos más numerosos pero más distantes que se generaran en la zona de subducción Pacífica.

R.C. Bucknam, et al:

El monitoreo topográfico de la Falla Motagua demostró movimientos durante dos años, posteriores al evento principal.

Federico Koose S.:

La experiencia de daños a viviendas en la Colonia Lomas del Norte, conduce a la recomendación de ejecutar estudios específicos para clasificar el riesgo sísmico en la proximidad de las laderas de los barrancos de la ciudad de Guatemala.

Edwin L. Harp, et al:

Las sacudidas durante el terremoto del año 1976 causaron una gran cantidad de derrumbes y deslizamientos en laderas empinadas. Se puede ejecutar un mapeo regional de susceptibilidad para derrumbes usando parámetros simples como inclinación de la ladera y litología. Este mapeo sería una contribución a la formación de mapas de riesgo sísmico.

Samuel Bonis:

Se señalan como temas críticos relacionados con la amenaza sísmica los siguientes. Cómo y donde construir respecto a las fallas activas y fisuras? Cual es la distancia al borde del barranco para construir seguro? Cuales son los riesgos de construcciones en el escarpe de falla oriental del Valle de Guatemala? Estas interrogantes merecen investigaciones para encontrar soluciones factibles.

Sally Widhelm Bilodeau:

Un programa de evaluación de la amenaza sísmica de la Zona de Falla de Mixco debe incluir:

- 1. Mapeo detallado de la Zona de Falla para determinar donde es probable que ocurran futuras fracturas de la tierra.*
- 2. Evaluación de la sismicidad de la Zona de Falla para estimar los terremotos máximo probables y periodos de recurrencia.*
- 3. Evaluación de la respuesta potencial del suelo a temblores sísmicos.*

4. *Localización probable de efectos secundarios del suelo, como deslizamientos, licuefacción de sedimentos y hundimientos por compactación.*
5. *Compilación de un mapa de zonificación sísmica ilustrando los efectos potenciales de un terremoto en la Zona de Falla Mixco.*

Cuando se disponga de estos datos se podrán mitigar las amenazas sísmicas mediante el planeamiento del uso del suelo.

Alberto Martínez Vargas:

Partiendo de las experiencias en la ciudad de Lima, Perú, recomienda el uso de las disciplinas geotécnicas para la confección de un Mapa de Potencial de Riesgo Sísmico. Este permite la planificación integral urbana ya sea en nuevas obras de desarrollo urbano o en zonas de reconstrucción después de un desastre.

3. EJEMPLOS DE REALIDAD ACTUAL.

Durante los veinte años transcurridos después del terremoto de 1976, sabemos que en las grandes obras de ingeniería se ejecutaron los estudios necesarios para disminuir el riesgo sísmico, tanto en el escrutinio de las cimentaciones, como en el diseño estructural. También en algunas pocas obras civiles particulares, en la zona metropolitana, se hicieron investigaciones geotécnicas especiales del suelo.

Sin embargo, tanto en la construcción de vivienda como en el planeamiento de muchos de los nuevos desarrollos urbanos, no se han atendido las conclusiones y recomendaciones del Simposio del año 1978, para aplicar medidas que tiendan a mitigar el riesgo sísmico. Los asentamientos humanos no controlados por ningún reglamento, han poblado de nuevo, hasta en mayor escala, muchas laderas de barrancos y numerosas obras se han construido en proximidad inmediata al borde de los mismos. Todas estas construcciones, por su ubicación, están expuestas a mayores riesgos sísmicos.

Es evidente que el olvido de lo que pasó en febrero de 1976 es un factor dominante en la actitud humana y esta conclusión fue la principal motivación para organizar el presente Seminario Taller.

4. INCREMENTO DEL CONOCIMIENTO GEOLOGICO.

En veinte años ha crecido el conocimiento geológico general en la República de Guatemala y se han publicado numerosos trabajos geológicos y geofísicos relacionados con la amenaza sísmica. Al final de esta nota se presentan las referencias bibliográficas, y estas incluyen solamente aquellos artículos dados a conocer después del Simposio de 1978. Pero por su importancia se ha incluido en dicha bibliografía un listado de los mapas geológicos a escala 1:50000 publicados por el Instituto Geográfico Militar desde 1966. Cualquier estudio que se haga para elaborar en el futuro mapas temáticos relacionados con la amenaza sísmica podrá aprovechar esta valiosa información existente.

Finalmente, hay que señalar que no solamente ha aumentado nuestro conocimiento geológico general, sino que también se ha incrementado nuestro potencial para ejecutar estudios específicos. Hoy día hay disponibilidad en Guatemala de mayor número de profesionales de las Ciencias de la Tierra, lo cual permite ejecutar estudios con mayor facilidad, de lo que era posible en el año 1976.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE LAS PONENCIAS DEL PRESENTE SEMINARIO TALLER.

Posible unión de las fallas de Polochic y Motagua en el occidente de Guatemala

Carlos A. Dengo y Gabriel Dengo

La incógnita no resuelta hasta la fecha de la extensión occidental de la Falla Motagua encuentra una respuesta por medio de una unión de la misma con la Falla Polochic. Esto constituye un novedoso enfoque para los futuros estudios de focos sísmicos.

La Geología en un Programa Nacional de Prevención y Mitigación

José L. Escribá M., Roberto A. Gómez D., Lewis González L.

Para el diseño y ejecución exitosa de un programa de mitigación y prevención de desastres es necesario confeccionar el Mapa Generalizado de Riesgo Geológico por terremotos o actividad volcánica. Se muestra una metodología para tal fin y se señala la

utilización de los Sistemas de Información Geográfica en esta tarea. Esta documentación debería constituirse en herramienta fundamental en un proceso de decisiones, hacia un uso racional de nuestro territorio

Estado del aspecto geológico en el diagnóstico de la prevención de desastres por terremotos en Guatemala

Samuel B. Bonis

En el pasado se ha desatendido la atención del aspecto geológico en la prevención de desastres por terremotos. Es necesario emprender estudios por los profesionales de las Ciencias de la Tierra para mitigar los efectos de un futuro terremoto y es urgente que los investigadores disponibles en Guatemala reciban el apoyo necesario para trabajar.

Revisión del sistema de fallas en la región metropolitana de Guatemala

Otto Bohnenberger

La gran cantidad de fallas geológicas en el área metropolitana de Guatemala representa amenazas potenciales durante un terremoto. Para evaluar esa amenaza se recomienda la confección de Mapas de Riesgo (a escalas grandes) por instituciones públicas. Los mismos sirven para la planificación urbana y para orientar la toma de decisiones en acciones después de un terremoto

SISTEMAS DE VIGILANCIA

Implementación de la técnica VAN en Guatemala

Juan Carlos Villagrán de León

La técnica VAN, desarrollada en Grecia, parece ser una técnica prometedora en relación a la predicción de terremotos de gran magnitud. Se basa en una red de estaciones que miden señales electrostáticas, voltajes, que se generan horas, días o semanas antes del terremoto. Dicha técnica se implementará en Guatemala con el apoyo del INSIVUMEH a partir de 1996, con el objetivo de determinar su aplicabilidad.

BIBLIOGRAFIA

MAPA GEOLOGICO DE GUATEMALA A ESCALA 1:50000, IGM, Guatemala.

- Alotenango; N. Skilton, E. Schwieg, R.K. Vesell, 1983.
- Amatitlán, A.A Eggers, 1975.
- Cerro Montecristo; B. Burkart, 1966.
- Chanmagua; B. Burkart, 1966.
- Chiantla; D.N. Blount, 1968.
- Chimaltenango; A.J. Koch, H. McLean, 1977.
- Chiquimula, R.E. Clemons, 1966.
- Ciudad de Guatemala; A.J. Koch, H. McLean, 1977.
- Cobán, S. Paulsen, 1976.
- Cubulco; G. van den Boom, A. Müller, H. Nicolaus, 1981.
- Cuilapa; Dartmouth College, 1980.
- Cuilco; D.E. Bradford, E.M. Collins, W.G. Siesser, 1968.
- Escuintla; B.E. Hunter, N.W. Quearry, J.J. Heberger, L.W. Tharpe, 1984.
- Esquipulas, B Burkart, 1966.
- Huehuetenango; E.M. Collins, W.L. Josey, W.E. Stevens, 1981.
- Jocotán; D.C. Crane, 1966.
- Nebaj; W.L. Josey, D.F. McRee, J.M. Wesson, 1975.
- Nueva Santa Rosa; Dartmouth College, 1980.
- La Democracia; T.H. Anderson, A. Boyd, G.H. Davis, 1967.
- Los Amates, P D Muller, 1985.
- Los Pajales; A. Müller, H J. Nicolaus, 1979.
- Río Hondo; W E Newcomb, 1978.
- Sacapulas; D.R Forth, 1975
- San Agustín Acasaguastlán; E. Bosc, 1979.
- San José Pinula; Dartmouth College, 1975.
- San Juan Sacatepequez; A.W. Rithchie, 1981
- San Miguel Acatán, B. Burkart, R E. Clemons, 1976.

San Sebastián, Huehuetenango; T.H. Anderson, 1972.
Sanarate; D.P. Lawrence, 1980.
Santa Bárbara; W.L. Josey, S.E. Kesler, R.K. Stoessell, 1972.
Tactic; H.J. Nicolaus, A. Muller, 1979.
Timushán; D.C. Crane, 1966.
Tiritibol; S. Paulsen, 1976.
Todos Santos Cuchumatán, B. Burkart, R.E. Clemons, 1976
Tucurú; S. Paulsen, 1980.
Zacapa; D.P. Schwartz, 1978.

ARTICULOS.

T.H. Anderson. Geology along the Cuilco-Polochic fault zone in western Guatemala, Carib. Geol. Conf., Abs. Prog., Cartagena, 1983.

T.H. Anderson, R.J. Erdlac Jr., M.A. Sandstrom, Post Cretaceous strike-slip offset along the Chixoy-Polochic fault zone, Guatemala, GSA Abs. Prog., 1980.

Anónimo, Seminar on the protection of monuments in seismic areas, Nature Resour., 1980.

J. Aubouin, J. Azéma, et al., The Middle America Trench in the geological framework of Central America, DSDP 67, 1982.

J. Aubouin, J. Bourgois, R. von Huene, J. Azéma, La marge pacifique de Guatemala, un modele de marge extensive en domaine convergent, C.R. Acad. Sci., Paris, 1982.

J. Aubouin, J.F. Stephan, V. Renard, J. Roump, P. Lonsdale, Subduction of the Cocos Plate in the Mid American Trench, Nature 294, 1981.

J. Aubouin, J.F. Stephan, J. Roump, V. Renard, The Middle America Trench as an example of a subduction zone, Tectonophysic 86, 1982.

J. Aubouin, R. von Huene, et al., Leg 84 of the Deep Sea Drilling Project, subduction without accretion: Middle America Trench of Guatemala, Nature 297, 1982.

J. Aubouin, R. von Huene, et al., Initial Reports, DSDP 67, U.S. Govt. Printing Office, Washington, 1982.

J. Aubouin, R. von Huene, et al., Sites 494-500 Middle America Trench: DSDP 67, 1982.

J. Azéma, J. Tournon, The Guatemala Margin, the Nicoya Complex, and the origin of the Caribbean Plate: DSDP 67, 1982

M. Baltuck, Intersection of a Strike-slip and subducting plate boundary, Guatemala and the Middle America Trench, Abs., EOS 64, 1983

- F. Bates, C. Killian, Changes in housing in Guatemala following the 1976 earthquake, with special reference to eastern structures and how they are perceived by disaster victims: *Disasters*, 1982.
- D.M. Best, Spatial and temporal relationships of earthquake activity in the Circum-Caribbean and adjacent regions: PhD Thesis, Univ. of North Carolina, Chapel Hill, 1977.
- S.W. Bilodeau, The characteristics of ground breakage associated with an active normal fault, Mixco to Guatemala City, *GSA Abs. Prog.*, 1979.
- S. Bonis, S.M. Bonis, N.R. Bonis, *Bibliografía de la Geología de Guatemala 1966-1983*, Cirma, Guatemala, 1990.
- R.C. Bucknam, Documentation for alignment arrays, Motagua fault, Guatemala, USGS Open-File Report 78-888, Washington, 1978.
- B. Burkart, Offset across the Polochic fault of Guatemala and Chiapas, Mexico: *Geology* 6, 1978
- B. Burkart, Pre-strike slip positions of Polochic fault blocks as determined from geomorphic evidence in Guatemala, *AAPG Bull.* 63, 1979.
- B. Burkart, Plate tectonics significance of the Polochic fault and reconstruction of northern Central America prior to measured displacement, *GSA Abs. Prog.*, 1980.
- B. Burkart, G. Moreno, North American-Caribbean plate boundary in southern Chiapas, Mexico: further evidence of Neogene activity: *Carib. Geol. Conf.*, Cartagena, 1983.
- K. Burke, J. Greppi, A.M. Sengor, Tectonic style of the northern boundary of the Caribbean plate, *EOS* 59, 1978.
- M.J. Carr, Volcanic activity and great earthquakes at convergent plate margins, *Science* 197, 1977.
- M.J. Carr, Nests of intermediate depth (70-160 km) earthquakes adjacent to active volcanoes during 1963-1982: *Jour. Volc. Geotherm. Res.*, 1983.
- J.E. Case, T.L. Holcombe, Geologic-tectonic map of the Caribbean region: USGS Misc. Invest. Map I-1100, 1:2,500,000, 1980.
- D.E. Chavez, K.F. Priestly, Crustal structure of the Guatemalan volcanic arc: *Earthquake notes*, SSA, 1978.
- L. Cluff, K. Coppersmith, P. Knuepfer, Assessing degrees of fault activity for seismic microzonation: Third Intl. earthquake microzonation conference, Seattle, 1982.
- P.E. Damon, P.J. Coney, Rate of movement of northern Central America along the coast of Mexico during the last 90 M.A., *GSA Abs. Prog.*, 1983.
- B.W. Dean, C.L. Drake, Focal mechanism solutions and tectonics of the Middle America arc. *Jour. Geol.* 86, 1978.
- B.C. Deaton, Relationship of the Colotenango conglomerate of Guatemala to the motion of the Polochic fault during the Tertiary: MS Thesis, Univ. Texas at Arlington, 1982

- C.A. Dengo, Structural analysis of the Polochic fault zone in western Guatemala: PhD Thesis, Texas A&M Univ., 1982.
- C.A. Dengo, J.M. Logan, Superimposed deformation environments along the Polochic fault zone in western Guatemala, Central America: GSA Abs Prog., 1981.
- C.A. Dengo, J.M. Logan, Implications of the mechanical and frictional behavior of serpentinite to seismogenic faulting: Jour. Geophys. Res. **86**, 1981.
- G. Dengo, Tectónica del cinturón plegado de Chiapas y Guatemala, Carib. Geol Conf. 10, Cartagena, 1983.
- G. Dengo, Geodynamics of Central America, *in* Geodynamics of the Eastern Pacific region, Caribbean and Scotia Arcs: Geodynamics Series Vol. 9, Amer. Geoph. Union, 1983.
- R.J. Erdlac Jr., A study of the Chixoy-Polochic fault and its nature in western Guatemala: MS Thesis, Univ. Pittsburg, 1979.
- R.J. Erdlac Jr., T.H. Anderson, The Chixoy-Polochic fault in western Guatemala: GSA Abs. Prog., 1979.
- R.J. Erdlac, T.H. Anderson, The Chixoy-Polochic fault and its associated fractures in western Guatemala: GSA Bull. **93**, 1982.
- C. Gerlach, Seismisch aktive Zonen an Plattengrenzen in Zentral-amerika: Einsatzmöglichkeiten der Erdfernerkundung bei Lokalisierung und Abgrenzung am Beispiel der Störungssysteme in Guatemala: Berlin Geowiss. Abh., Reihe A, 19, 1980.
- R. Glass, Earthquake injuries related to housing in a Guatemala village: Science **197**, 1977.
- J.G. Grase, Introducción al estudio sobre los sismos destructores del Caribe. Interciencia **2**, 4, 1977.
- D.H. Harlow, R.A. White, Preliminary catalog of seismicity prior to the Guatemala earthquake of February 4, 1976 from the area between Guatemala City and Lake Atitlan: USGS Open-File Report **80-60**, 1980.
- E. Harp, R.C. Wilson, G. Wiczorek, Landslides from the February 4, 1976, Guatemala earthquake: USGS Prof. Paper, 1204-A, 1981.
- Jung Joon Kim, A crustal section of northern Central America as inferred from wide angle reflections from shallow earthquakes: PhD Thesis, Univ. Texas at Dallas, 1981.
- J.W. Ladd, G. Westbrook, S. Lewis, Subduction tectonics in forearcs; Guatemala vs Barbados; Yearbook Lamont-Doherty Geological Observatory of Columbia University, New York, 1982.
- C.J. Langer, G.A. Bollinger, Secondary faulting near the terminus of a seismogenic strike-slip fault: aftershocks of the 1976 Guatemala earthquake, SSA Bull **69**, 1979.

- M. Lisowski, W. Thatcher, S.C. Savage, Geodetic determination of horizontal deformation associated with the Guatemala earthquake of February 4, 1976, EOS 59, 1978.
- K. McNally, J. Minster, Nonuniform seismic slip rates along the Middle America Trench: Jour., Geophys. Res. 86, 1981.
- S.R. McNutt, D.H. Harlow, Seismicity at Fuego, Pacaya, Izalco, and San Cristobal Volcanoes, Central America, 1973-1974: Bull. Volc. 46, 1983.
- O.R. Menendez, Seismic risk analysis in Guatemala: Intl. Inst. Seism. Earthquake Eng. 18, Japan, 1982.
- P.D. Müller, La Pita Complex: implications for Cretaceous subduction along the Central Motagua valley, Guatemala: GSA Abs. Prog., 1981.
- P. Rebillard, T. Nixon, T. Farr, Geologic observation of the northern boundary of the Caribbean plate across Central America as seen by SEASAT and SIR-A: Proc. Intl Symp. Comm. VII, Intl. Soc. Photogr., Remote Sensing, Toulouse, 1982.
- W. Rinehart, R. Ganse, et al., Seismicity of Middle America (Map), National Geophysical Data Center, NOAA, Boulder, Col., 1982.
- D.P. Schwartz, F.H. Swan, Quaternary faulting and deformations along the eastern Chixoy-Polochic Fault Zone, Guatemala: GSA Abs. Prog., 1979.
- H.B. Seed, I. Arango, et al., Earthquake induced liquefaction near Lake Amatitlan, Guatemala: Jour. Geotech. Eng. Div., Am. Soc. Civil Eng. 107, GT4, 1981.
- H.B. Seed, I.M. Idriss, I. Arango, Evaluation of liquefaction potential using field performance data: Jour. Geotech. Div., Am. Soc. Civil Eng 109, 1983
- H.B. Seed, K.L. Lee, Evaluation of liquefaction potential of sand deposits based on observations of performance in previous earthquakes, Peinzein J., Natl. Sci. Found., Washington, D.C., 1977.
- J.F. Sutter, Late Cretaceous collisional tectonic along the Motagua fault zone, Guatemala: GSA Abs. Prog., 1979
- L.R. Sykes, W.R. McCann, A.L. Kafka, Motion of the Caribbean plate during the last 7 million years and implications for earlier Cenozoic movements: Jour Geophys. Res. 87, 1982
- J. Vivo Escoto, Los sismos de Guatemala en febrero y marzo de 1976 y su relación con la morfología estructural de América Central Anuario de Geogr. UNAM, México, 1978.
- R.A. White, D.H. Harlow, Preliminary catalog of aftershocks of the Guatemala earthquake of February 4, 1976 from the area between Guatemala city and Lake Atitlan (February-June 1976): USGS Open-File Report 79-864, 1979
- R.A. White, D.H. Harlow, Preliminary catalog of seismicity from south-central Guatemala, July 1 through December 31, 1976: USGS Open-File Report 80-83, 1980

R.A. White, D.H. Harlow, E. Sanchez, A 9-month long earthquake swarm in southeastern Guatemala, EOS 62, 1981.

R.A. White E. Sanchez, I. Cifuentes, D.H. Harlow, Preliminary report to the government of Guatemala on the ongoing earthquake swarm in the Department of Santa Rosa, Guatemala: SGS Open-File Report 80-900, 1980.

R.L. Wunderman, Amatitlan, an active resurgent caldera immediately south of Guatemala City, Guatemala: MS Thesis, Michigan Technol. Univ., 1982.