IX CONGRESO NACIONAL DE ESTUDIANTES DE INGENIERIA CIVIL
27 de Agosto a 01 de Setiembre del 2000, Lima

DESLIZAMIENTOS PRODUCIDOS POR LOS SISMOS DE EL SALVADOR DE ENERO Y FEBRERO DEL 2001

Jorge E. Alva Hurtado, PhD
Profesor Principal
Facultad de Ingeniería Civil
Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú

1.0 INTRODUCCION

La República de El Salvador en Centroamérica (Figura Nº 1) fue afectada por dos sismos devastadores en el período de un mes; el primer sismo ocurrió el 13 de Enero del 2001 y fue un sismo de subducción. Este sismo destruyó 108,000 casas y ocasionó por lo menos 944 víctimas, incluyendo los cientos de residentes enterrados en Las Colinas, Santa Tecla, en Nueva San Salvador. El 13 de Febrero del 2001, ocurrió un sismo continental cerca de San Vicente, al oriente de San Salvador. Por lo menos 315 personas murieron y 41,300 viviendas resultaron destruidas. Los mayores daños se produjeron en San Juan Tepezontes, San Vicente y Cojutepeque. Se desarrollaron numerosos deslizamientos en El Salvador durante los sismos.

El sábado 13 de Enero del 2001, ocurrió un sismo de subducción frente a las costas de El Salvador a 100 Km al suroeste de San Miguel, El Salvador. El sismo ocurrió a las 17:33:29 UTC (11:33 hora local) con una magnitud de Mw=7.6 y una profundidad focal de 39.0 Km. El USGS reportó el epicentro en las coordenadas 12.83° latitud N y 88.79° longitud W. Cerca de 585 muertes fueron causadas por grandes deslizamientos en Nueva San Salvador y Comasagua. Las carreteras y líneas vitales fueron dañadas por muchos deslizamientos. El evento principal se localizó en la placa del Caribe, por encima de la placa de subducción de Cocos, siendo un evento de falla normal. Se sintió desde la ciudad de México hasta Colombia.

El 13 de Febrero del 2001, ocurrió un sismo de origen continental a 30 Km al este de San Salvador, El Salvador. El sismo ocurrió a las 14:22:05 UTC (8:22 hora local) con una magnitud de Mw = 6.6 y una profundidad focal de 13.0 Km. El USGS reportó el epicentro en las coordenadas 13.64° latitud N y 88.94° longitud W. Por lo menos 315 personas murieron, 3,399 resultaron heridas y ocurrieron daños severos, especialmente en los Departamentos de La Paz y San Vicente. Se sintió en El Salvador, Guatemala y Honduras. El sismo fue intraplaca continental, en la corteza de la placa del Caribe.

El 17 de Febrero del 2001 ocurrió otro sismo a las 14:25 hora local, con una magnitud de Mw= 5.1 y una profundidad focal de 5.1 Km. El epicentro de este sismo está ubicado al sur del área metropolitana de San Salvador y pertenece al sistema de fallas locales de El Salvador.

Los terremotos del 13 de Enero y 13 de Febrero del 2001 produjeron un considerable número de víctimas y daños materiales a causa de deslizamientos y derrumbes. La naturaleza del terreno y la topografía abrupta fueron las causantes de los deslizamientos. La Cordillera del Bálsamo, constituida por depósitos volcánicos y topografía muy inclinada ha tenido amplificación sísmica. En esta cordillera se produjeron derrumbes catastróficos como aquel que sepultó Las Colinas. Otro derrumbe importante ocurrió en el Km. 53 de las Curvas de La Leona, parte de la Carretera Panamericana CA-I.

El sismo de subducción del 13 de Enero produjo intensidades máximas de VIII grados en la escala de Mercalli Modificada en la zona costera frente al epicentro, con una intensidad de VII MM grados en San Salvador y San Vicente. El sismo del 13 de Febrero, de origen continental, produjo intensidades máximas de VII-VIII MM grados en San Vicente y alrededores, alcanzando el valor de VI MM grados en San Salvador.

En este artículo se presenta un resumen de la tectónica, sismicidad histórica, estudios de peligro sísmico, deslizamientos inducidos por sismos y registros de aceleraciones en El Salvador, así como conclusiones y recomendaciones para el diseño sísmico de los taludes en San Salvador.

2.0 TECTÓNICA

La superficie de la tierra está formada por placas tectónicas que en su conjunto forman la litósfera, siendo su comportamiento frágil, ya que cuando se llega a su límite elástico se fractura sin deformaciones plásticas. La litósfera se encuentra sobre una capa blanda llamada astenósfera, de características plásticas y en estado de fusión parcial. La tectónica de placas establece que las placas tectónicas se mueven relativamente una respecto a otra, debido a las corrientes de convección del material viscoso de la astenósfera, siendo este proceso la causa principal de generación de terremotos. Cuando una placa tectónica se sumerge debajo de otra se presenta el fenómeno de subducción, generándose terremotos en la zona de interacción de estas placas.

El régimen tectónico de América Central y el Caribe es el resultado de la interacción de cinco placas: la placa del Pacífico, la de Norteamérica, la de Cocos, la de Nazca y la de Sudamérica. Estas placas se muestran en la Figura Nº 2 (Weyl, 1980). La principal fuente sísmica en El Salvador es la zona de subducción, donde la trinchera o la fosa se encuentra a 125 Km de la costa. Ahí la placa de Cocos empieza a sumergirse por debajo de la placa del Caribe (Figura Nº 3, White y Harlow, 1993), alcanzando profundidades de hasta 300 Km por debajo de Centroamérica. Estos

sismos son sentidos en todo el territorio nacional porque se generan a grandes profundidades y pueden alcanzar magnitudes de hasta 8.0 grados en la escala de Richter. (Cepeda y Salazar, 2001). Otra importante fuente generadora de sismos es la que coincide con la ubicación de la cadena volcánica (Stoiber y Carr, 1977). La zona se concentra en los primeros 25 Km de la corteza terrestre y dentro de una faja paralela a la fosa, de unos 20 Km de ancho. En esta zona también se encuentran los volcanes activos del Cuaternario. A diferencia de los sismos de subducción, los sismos de esta zona provocan daños en una zona limitada ya que su foco es superficial y su magnitud reducida. La máxima magnitud de esta zona es de 6.5 en la escala de Richter.

Otras fuentes generadoras de sismos son las que se ubican en el sistema de fallas de Guatemala y la depresión de Honduras, aunque por su lejanía a El Salvador su efecto sísmico es menor.

3.0 SISMICIDAD HISTÓRICA

Desde 1520, El Salvador ha sido afectado por numerosos terremotos, los cuales se listan en la Cronología de los Sismos Destructivos en El Salvador, preparada por Alvarenga et al (2001), del Centro de Investigaciones Geotécnicas del Ministerio de Obras Públicas de la República de El Salvador. La mayor parte de los sismos reportados han afectado la capital, San Salvador.

Los sismos que han causado mayores daños en la historia sísmica de El Salvador son aquellos asociados a fenómenos neotectónicos superficiales (5 a 15 Km.). Estos sismos ocurren asociados a la cadena volcánica y depresión central de El Salvador. Los sismos de la cadena volcánica que forma parte del cinturón de fuego del Pacífico y que corre a lo largo del territorio y las de un sistema de fallas geológicas con una dirección predominante noroeste - sureste dentro de El Salvador se denominan sismos locales. Entre los sismos locales más destructivos se pueden mencionar: el de Jucuapa-Chinameca del 6 de Mayo de 1951; el de San Salvador del 3 de Mayo de 1965; el de San Salvador del 10 Octubre de 1986 y el de San Vicente del 13 Febrero del 2001. Los terremotos locales de la cadena volcánica no alcanzan magnitudes mayores de 6.5, pero son la principal causa de destrucción en El Salvador debido a su coincidencia con las principales concentraciones urbanas.

Los sismos regionales se denominan a los sismos que son producto del proceso de subducción entre las placas tectónicas de Cocos y del Caribe, a los del sistema de fallas geológicas en Guatemala que definen la frontera entre la placa de Norte América y la placa del Caribe y a los del sistema de fallas geológicas con dirección norte – sur, ubicadas en la depresión de Honduras. Los sismos originados en la zona de subducción han sido históricamente menos frecuentes (Harlow et al, 1993). El último sismo regional de gran intensidad fue el del 13 de Enero del 2001, ubicado en el Océano Pacífico. Estos sismos pueden alcanzar magnitudes de 8.0 grados en la escala de Richter.

La Tabla Nº 1 (Salazar y otros,1997), presenta un resumen de los sismos que han causado graves daños en El Salvador en el siglo XX. Se indica la fecha de ocurrencia, ubicación, profundidad, fuente sísmica, magnitud e intensidad sísmica. La Figura Nº 4 muestra la superposición de mapas de isosistas de sismos de foco superficial que han causado graves daños en San Salvador en los siglos XVIII, XIX y XX. También se cuenta con mapas de isosistas de los sismos de subducción del 7 de Septiembre de 1915 y del 19 de Junio de 1982. En estos mapas de isosistas se aprecia que los sismos de subducción se sienten en todo el territorio, aunque con una menor intensidad. Se ha podido recopilar mapas de isosistas de los siguientes sismos salvadoreños: 06 de Mayo de 1951, 03 de Mayo de 1965, 04 de Febrero de 1976, 10 de Octubre de 1986, 13 de Enero del 2001 y 13 de Febrero de 2001.

Aguilar (1986), ha preparado un mapa de Máximas Intensidades Sísmicas Observadas en la República de El Salvador, que se presenta en la Figura Nº. 5 La zona norte de El Salvador ha experimentado valores de intensidades máximas en la escala de Mercalli Modificada de VI grados; mientras que en la zona volcánica central se ha experimentado valores máximos de VIII – IX en la escala de MM. Todo el resto del territorio ha tenido intensidades máximas de VII MM. Los últimos sismos ocurridos desde 1986 han ratificado la distribución propuesta de máximas intensidades observadas para la República de El Salvador.

4.0 ESTUDIOS DE PELIGRO SÍSMICO

Los estudios de peligro o amenaza sísmica de un país se realizan para determinar la distribución de valores de aceleración máxima en roca para un determinado período de retorno. Los resultados de estos estudios se utilizan en los códigos de diseño sismo - resistente y para determinar los sismos de diseño en las obras de Ingeniería Civil. Los estudios de peligro sísmico son de carácter determinístico y probabilístico. En la revisión efectuada a la literatura recopilada se ha determinado la existencia de cuatro estudios de peligro sísmico probabilístico para la República de El Salvador (Bommer et al, 1996).

Un estudio probabilístico de peligro sísmico involucra la determinación de las fuentes sismogénicas, las cuales se basan en la tectónica, neotectónica, sismicidad histórica y sismicidad instrumental del país y áreas vecinas. Con las zonas o fuentes sismogénicas se realizan estudios estadísticos para determinar la recurrencia sísmica de cada una de las fuentes sismogénicas. Luego se determinan las leyes de atenuación, que pueden ser distintas para cada una de las fuentes sismogénicas, ya sea para sismos de subducción o para sismos continentales. Finalmente se utiliza alguna de las metodologías disponibles para determinar los riesgos anuales de aceleración máxima para distintos puntos en el territorio nacional.

Los estudios revisados fueron realizados por el US Geological Survey (Algermissen et al, 1988); la Universidad de Stanford (Alfaro et al, 1990); la Universidad Autónoma de México (Singh et al, 1993) y NORSAR-CEPREDENAC (Lindholm et al, 1995). La

Figura Nº 6 compara los mapas de peligrosidad sísmica para El Salvador para un período de retorno de 475 años, que equivale a un tiempo de exposición de 50 años con una probabilidad de excedencia del 10%. Se puede apreciar en la figura que existen grandes diferencias en los valores de aceleración máxima para un mismo lugar.

Bommer et al, (1996) indican que las diferencias existentes se deben a la incertidumbre que existe con los datos disponibles en el país y las características de los movimientos fuertes de la región. Se debe indicar además que en la preparación de los mapas no se toman en cuenta las condiciones y efectos locales. Para el caso de San Vicente, por ejemplo los valores para 475 años varían de 0.30g a 1.0g para la aceleración máxima horizontal en terreno firme.

5.0 DESLIZAMIENTOS INDUCIDOS POR SISMOS

Los deslizamientos y derrumbes se producen con los eventos sísmicos. El número de deslizamientos que se producen con los sismos en Centroamérica es mayor en relación con otras partes del mundo. El terremoto de Guatemala por ejemplo se destaca por ser un sismo que desarrolló casi un orden de magnitud mayor de movimientos de masa que otros sismos en el mundo.

El sismo del 10 de Octubre de 1986 en El Salvador también generó centenares de deslizamientos, entre los cuales se destaca el de la colina Santa Marta, que provocó la muerte de 200 personas (Rymer, 1987). Del mismo modo, los eventos del año 2001 generaron numerosas deslizamientos, incluyendo el de Santa Tecla (Konagai et al, 2001).

Rymer y White (1989) han preparado la Figura Nº 7 que presenta las áreas afectadas por deslizamientos durante sismos en El Salvador, sin incluir los eventos del año 2001. En la evaluación se han considerado los factores topográficos, litológicos, precipitaciones e intensidad sísmica. En la figura se ha superpuesto las zonas donde se han producido intensidades sísmicas mayores que VII grados en la escala de Mercalli Modificada.

Las zonas de más alto peligro son la cadena volcánica, la parte noreste de la cordillera de la costa y la parte suroeste del valle interior. Todas estas zonas están cubiertas por cenizas volcánicas y principalmente por la denominada tierra blanca. Un efecto importante en el desarrollo de los deslizamientos por sismos es el contenido de humedad de los taludes al momento de generarse el sismo. Por ejemplo, en la figura indicada el área de deslizamientos correspondiente al sismo de 1986 es hasta cuatro veces mayor que el área de deslizamientos asociados con el sismo de 1965, a pesar de que este último fue de mayor magnitud y afectó la misma zona. El terremoto de 1986 ocurrió en Octubre, al final de la época de lluvias, mientras que el sismo de 1965 ocurrió en Mayo, al principio de la época de invierno (Bommer et al, 1998).

El sismo del 13 de Enero del 2001 generó numerosos deslizamientos en El Salvador, principalmente en sedimentos o productos volcánicos. Entre estos deslizamientos, el deslizamiento de Las Colinas en Santa Tecla fue el más dramático. Una gran cantidad de masa de suelo (200,000 m3) fue removida de la cima de la cordillera del Bálsamo que se encontraba al sur de la Urbanización Las Colinas en Nueva San Salvador (Konagai et al, 2001).

En relación a otros deslizamientos debido al sismo del 13 de Enero de 2001, el USGS indica que son dispersos los deslizamientos y que no son de inmediata preocupación para la gente, pero que han afectado rutas de transporte, en particular la Carretera Panamericana en varias localizaciones. La distribución geográfica de deslizamientos corresponde con la distribución de cenizas volcánicas jóvenes, tobas y depósitos de tepra en taludes empinados.

Las áreas de deslizamientos se encuentran en la región este y norte del lago de Ilopango y algunos cerca del lago de Coatepeque, al este del volcán Santa Ana. La Carretera Panamericana fue bloqueada al oeste de San Salvador, pero el mayor deslizamiento ocurrió al este de Ilopango. Aquí una superficie de juntura de gran inclinación ha servido como plano de deslizamiento y una gran masa de material ha colapsado sobre la carretera. El deslizamiento tiene una profundidad de 150 metros y un ancho de 300 a 400 metros. El sismo del 13 de Febrero también ocasionó deslizamientos adicionales que bloquearon las carreteras en El Salvador.

6.0 REGISTROS DE ACELERACIONES DEL AÑO 2001

En El Salvador existen varias redes de registros de movimientos fuertes a nivel nacional. La red analógica de acelerógrafos tipo SMA-I pertenece al Centro de Investigaciones Geotécnicas del Ministerio de Obras Públicas. Esta red tiene varios instrumentos en San Salvador y en el resto del territorio nacional. La Comisión Ejecutiva del Río Lempa opera tres acelerógrafos tipo SMA-I en la Presa San Lorenzo (15 de Septiembre). Dos acelerógrafos digitales SSA-2 se instalaron en la planta geotérmica de Berlín, en el Departamento de Usulután. Existen tres instrumentos SMA-I en el Hotel Camino Real en San Salvador, los cuales registraron el sismo de 1986 (Shakal et al, 1987). Recientemente se estableció la red digital TALULIN de la UCA (Universidad Centroamericana José Simeón Cañas). En la Figura Nº 8 se presenta las ubicaciones de los acelerógrafos del CIG y la UCA en El Salvador.

6.1 Registros del Sismo del 13 de Enero del 2001

La red acelerográfica del Centro de Investigaciones Geotécnicas del Ministerio de Obras Públicas de El Salvador fue reubicada a finales del año 1995. Esta red consta de 25 acelerógrafos analógicos de tipo SMA-I. Catorce de dichos instrumentos están localizados en el área Metropolitana de San Salvador y el resto en el territorio nacional.

En el sismo del 13 de Enero del 2001 se activaron 9 estaciones acelerográficas que son: Acajutla (CA), Ahuachapán (HA), Ciudadela Don Bosco (DB), Cutuco (CU), Presa 15 de Septiembre (QC), Relaciones Exteriores (RF y RS), San Miguel (SG) y Sensuntepeque (SE). Los registros corregidos, sin corregir y los espectros de respuesta se encuentran disponibles en la página web de Cosmos Virtual Data Center, a la cual se puede accesar de www.db.cosmos-eq.org. También pueden obtenerse estos registros del USGS National Strong Motion Program: nsmp.wr.usgs.gov.

La red del CIG ha registrado aceleraciones horizontales máximas de 0.32g en Relaciones Exteriores (RS) en San Salvador. En la Presa San Lorenzo ó 15 de Septiembre (QC), cercana a las Curvas de La Leona, se registró una aceleración máxima horizontal de 0.19g. Este último instrumento pertenece a la Comisión Ejecutiva del Río Lempa (CEL).

En El Salvador, también existe la red acelerográfica digital de la UCA (Universidad Centroamericana José Simeón Cañas). Esta red consta de 10 acelerógrafos digitales tipo SSA-2 con generadores de códigos de tiempo TCG-2. Estos equipos han registrado los tres sismos de Enero y Febrero del 2001, habiéndose procesado los registros para obtener espectros de respuesta. Existe un reporte escrito sobre los sismos registrados en la red de la UCA (Cepeda y Salazar, 2001). Los registros de los sismos sin corregir pueden obtenerse de la página web de la UCA www.uca.edu.sv

Durante el sismo del 13 de Enero del 2001 funcionaron 9 estaciones de la red de la UCA, no habiendo registrado el acelerógrafo instalado en el Hospital Santa Gertrudis en San Vicente (VI). El mayor valor de aceleración horizontal se registró en la componente norte –sur (1,18g), de la Unidad de Salud de Puerto de La Libertad (LI). Valores de aceleración máxima horizontal cercanas o ligeramente superiores a 0.50g se registraron en las estaciones: Hospital San Rafael, Santa Tecla (TE); Unidad de Salud de Armenia, Sonsonate (AR) y la Unidad de Salud de San Pedro Nonualco, La Paz (NO). Se debe indicar que las distancias epicentrales de las estaciones anteriores varían entre 62 y 108 Km. En las estaciones indicadas el material es suelo, a excepción de la estación US Puerto de La Libertad que es aluvión y el instrumento está ubicado en una cresta dorsal este - oeste.

En la Tabla Nº 2 se presenta la ubicación de las 18 estaciones acelerográficas que registraron el sismo del 13 de Enero de 2001 y que tienen valores corregidos de aceleraciones máximas en las tres componentes de registros.

6.2 Registros del Sismo del 13 de Febrero del 2001

Para el sismo del 13 de Febrero del 2001 tan solo se cuenta con los registros de las estaciones acelerográficas digitales de la UCA. En este sismo si se registró en la estación del Hospital Santa Gertrudis en San Vicente (VI); sin embargo no se registró en la estación de la Unidad de Salud de San Pedro Nonualco en La Paz (NO). Los resultados de las aceleraciones máximas medidas en este sismo se muestran en la Tabla Nº 3. El mayor valor de aceleración horizontal se registró en la componente

norte-sur (0.43g) del Hospital Santa Gertrudis en San Vicente (VI). En la estación Hospital Santa Teresa en Zacatecoluca (ZA) se registró un valor de 0.41g en la componente norte-sur y en la estación de la Unidad de Salud de Tonacatepeque en San Salvador (TO), se registró en la componente este-oeste una aceleración horizontal máxima de 0.31g. En todas las estaciones inidicadas existe material de suelo.

En las Figuras Nº 9, 10, 11 y 12 se presentan los valores de las aceleraciones máximas obtenidas en los acelerógrafos para los sismos del 13 de Enero y 13 de Febrero del 2001, tanto las componentes horizontales como las componentes verticales.

7.0 CONCLUSIONES

1) La mayoría de las muertes y pérdidas en ambos terremotos pueden distribuirse a los deslizamientos inducidos por los sismos y el colapso de viviendas mal construidas en areas rurales.

2) La ocurrencia de los sismos en temporada seca disminuyó el número de deslizamientos. Existe el temor que al iniciarse la temporada de lluvias se desarrollan mas desplazamientos

3) Se requieren evaluaciones del potencial de ocurrencia de deslizamientos y un control estricto del uso del suelo para evitar el daño de deslizamientos a las edificaciones.

4) Las edificaciones de albañilería se comportaron bien durante los sismos, las edificaciones de adobe y bahareque (quincha), predominantes en areas rurales se comportaron mal. Se requiere implementar medidas simples y económicas para mitigar los daños por sismos.

5) La abundante información acelerográfica durante los sismos del 2001 permite obtener parámetros de diseño sísmico para estructuras y taludes en El Salvador.

REFERENCIAS

- Aguilar C.E.(1986), “Geología. Geografía de El Salvador”, Dirección de Publicaciones, Miniterio de Cultura y Comunicaciones, San Salvador.

- Alfaro C.S., Kiremidjian A.S. y White R.A. (1990), “Seismic Zoning and Ground Motion Parameters for El Salvador”, Report Nº 93, The John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford University, California.

- Algermissen S.T., Hansen S.L. y Thenhaus P.C. (1988), “Seismic Hazard Evaluation of San Salvador El Salvador”, Report for the U.S. Agency for International Development, 21 pp.

- Alvarenga E.R., Hernández D.A. y Hernández D.A. (2001), “ Cronología de Sismos Destructivos en El Salvador”. Página web del CIG www.geotecnico.com

- Bommer J., Hernández D.A., Navarrete J.A. y Salazar W.M. (1996), “Seismic Hazard Assessments for El Salvador”, Geofísica Internacional, Vol 35, pp 227-244.

- Bommer J.J., Salazar W. y Samayoa R. (1998), “Riesgo Sísmico en la Región Metropolitana de San Salvador”, PRISMA, Documento de Trabajo.

- Bommer J.J., Udías A., Cepeda J.M., Hasbun J.C., Salazar W.M., Suarez A., Ambraseys N.N., Buforn E., Cortina J., Madariaga R., Méndez P., Mezcua J. y Papastamatiou D. (1997), “A New Digital Acelerograph Network for El Salvador”, Seismological Research Letters, Vol 68, Nº3, pp 426-437.

- Cepeda J. M. y Salazar W.M. (2001). “Los Terremotos de Enero y Febrero. Resultados y Análisis en Base a la Red de Acelerógrafos de la UCA”, Los Terremotos en El Salvador, Estudios Centroamericanos, Año LVI, 627-628, Enero-Febrero, Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas”, El Salvador.

- Harlow D.H., White R.A., Rymer M.J. y Alvarez S. (1993), “The San Salvador Earthquake of 10 October 1986 and Its Historical Context”, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol 83, Nº 4, pp 1143-1154.

- Konagai K., Johansson J., Mayorca P. Yamamoto T., Miyajima M., Uzuoka R. Pulido N., Durán F., Sassa K. y Fukuoka H. (2001), “ Typical Features of Las Colinas Landslide Caused by the January 13, 2001 El Salvador Earthquake”, EQUTAP Workshop, Lima, Perú, July 16-20.

- Lindholm C., Rojas W., Bungum H., Dahle A., Camacho E., Cowan H. y Laporte M. (1995), “New Regional Seismic Zonation For Central America”, Proceedings, Fifth International Conference on Seismic Zonation, Nice, Vol. 1, pp 437-444.

- Rymer M.J. (1987), “The San Salvador Earthquake of October 10, 1986-Geological Aspects”, Earthquake Spectra, Vol.3, No.3, pp. 435-463.

- Rymer M.J. y White R.A. (1989), “Hazards in El Salvador from Earthquake –Induced Landslides”, Brabb y Harrod Eds., Landslides: Extent and Economic Significance, Balkema, Rotherdam, pp 105-109.

- Salazar W.M., Ambraseys N.N. y Bommer J.J. (1997), “Compilación de un Catálogo Sísmico para El Salvador y Zonas Aledañas”, Seminario sobre Evaluación y Mitigación del Riesgo Sísmico en el Area Centroamericana, UCA, San Salvador, pp 67-76.

- Shakal A.F., Huang M. y Linares R. (1987), “The San Salvador Earthquake of October 10, 1986- Processed Strong Motion Data”, Earthquake Spectra, Vol.3, No.3, pp. 465-481.

- Singh S.K., Gutierrez C., Arboleda J. y Ordaz M.(1993), “Peligro Sísmico en el Salvador”, Universidad Autónoma de Mexico.

- Stoiber R. y Carr M. (1977), “Geological Setting Destructives Earthquakes in Central America”, Geological Society of America Bolletin, Vol. 88, pp 151-156.

- Weyl R. (1980), “ Geology of Central America”, Gebrüder Borntraeger, Berlin

- White R.A. y Harlow D.H. (1993), “Destructive Upper-Crustal Earthquakes of Central America Since 1900”, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 83, Nº4, pp 1115-1142.

Tabla Nº 1 Lista de Sismos Destructores para el siglo XX en El Salvador

Fecha	Hora (UTC)*	Latitud N (°)	Longitud O (°)	Profundidad (Km)	Magnitud Ms	Intensidad Máxima MM	Fuente Sísmica
19 de Julio de 1912	--	13.87	89.57	10	5.9	VII	Cadena volcánica
7 de Septiembre de 1915	01:20	13.90	89.60	60	7.7	IX	Subducción
8 de Junio de 1917	00:51	13.82	89.31	10	6.7	VIII	Cadena volcánica
8 de Junio de 1917	02:54	13.77	89.50	10	5.4	VIII	Cadena volcánica
28 de Abril de 1919	06:15	13.69	89.19	10	5.9	VII-VIII	Cadena volcánica
21 de Mayo de 1932	10:10	12.80	88.00	150	7.1	VIII	Subducción
20 de Diciembre de 1936	02:43	13.72	88.93	10	6.1	VII-VIII	Cadena volcánica
25 de Diciembre de 1937	23:50	13.93	89.76	10	5.9	VIII	Cadena volcánica
6 de Mayo de 1951	23:03	13.52	88.40	10	5.9	VIII+	Cadena volcánica
6 de Mayo de 1951	23:08	13.52	88.40	10	6.0	VIII	Cadena volcánica
3 de Mayo de 1965	10:01	13.70	89.17	15	6.3	VIII	Cadena volcánica
19 de Junio de 1982	06:21	13.30	89.40	80	7.3	VII	Subducción
10 de Octubre de 1986	17:49	13.67	89.16	10	5.4	VIII-IX	Cadena volcánica

Fuente: Salazar y otros (1997). La latitud y la longitud se refiere al epicentro. Los datos de intensidad máxima fueron obtenidos a partir del estudio de Grases (1974), Alvarez (1982), Harlow y otros (1993) * UTC: es el tiempo Universal Coordinado, es la hora del Meridiano de Greenwich.

TABLA Nº 2

SISMO DEL 13 DE ENERO DE 2001

UBICACIÓN DE ESTACIONES ACELEROGRAFICAS Y ACELERACIONES MAXIMAS

Estación	Agencia	Coordenadas		Aceleraciones Máximas %g		
		Latitud N (°)	Longitud O (°)	E-W	N-S	UP
Hospital Sta. Teresa, Zacatecoluca, La Paz ZA (51.2 Km.)*	UCA	13.517	-88.869	-0.29	0.26	-0.28
US San Pedro Nonualco, La Paz NO (61.8 Km.)	UCA	13.602	-88.927	0.50	0.56	0.46
Presa 15 de Septiembre QC (63.9Km.)	CIG	13.616	-88.550	-0.19	0.15	0.12
San Miguel MG (70.0 Km.)	CIG	13.475	-88.183	0.12	0.14	-0.09
US Panchimalco, San Salvador PA (74.5 Km.)	UCA	13.614	-89.179	0.15	0.19	0.10
US Puerto de La Libertad, La Libertad LI (75.0 Km.)	UCA	13.486	-89.327	0.59	1.18	0.65
Hospital San Bartolo, San Salvador BA (79.1 Km.)	UCA	13.704	-89.106	0.19	-0.16	0.18
Colegio Externado San José, San Salvador EX (84.8 Km.)	UCA	13.707	-89.207	-0.29	0.30	-0.15
Hospital San Rafael, Sta. Tecla, La Libertad TE (86.0 Km.)	UCA	13.671	-89.279	-0.49	-0.50	0.24
US Tonacatepeque, San Salvador TO (87.0 Km.)	UCA	13.778	-89.114	0.30	-0.22	0.24
Sensuntepeque, Cabañas SE (90.5 Km.)	CIG	13.867	-88.663	-0.06	0.08	-0.06
Ciudadela Don Bosco, San Salvador DB (92.4 Km.)	CIG	13.733	-89.150	-0.25	-0.22	0.16
Relaciones Exteriores, San Salvador RF (95.6 Km.)	CIG	13.692	-89.250	0.21	0.21	0.19
Relaciones Exteriores, San Salvador RS (95.6 Km.)	CIG	13.692	-89.250	0.32	-0.30	0.33
Cutuco, La Unión CU (96.6 Km.)	CIG	13.333	-87.817	0.08	-0.08	0.06
US Armenia, Sonsonate AR (108.0 Km.)	UCA	13.744	-89.501	0.45	-0.62	-0.22
CEPA Acajutla CA (139.4 Km.)	CIG	13.567	-89.833	-0.11	0.10	0.05
Ahuachapán HA (157.4 Km.)	CIG	13.925	-89.805	-0.21	-0.15	0.12

*Distancia Epicentral

TABLA Nº 3

SISMO DEL 13 DE FEBRERO DE 2001

UBICACIÓN DE ESTACIONES ACELEROGRAFICAS Y ACELERACIONES MAXIMAS

Estación	Agencia	Coordenadas		Aceleraciones Máximas %g		
		Latitud N (°)	Longitud O (°)	E-W	N-S	UP
Hospital San Bartolo, San Salvador BA (10.9 Km.)*	UCA	13.704	-89.106	0.16	-0.11	-0.14
US Panchimalco, San Salvador PA (11.9 Km).	UCA	13.614	-89.179	-0.10	-0.18	-0.06
Colegio Externado San José, San Salvador EX (18.2 Km.)	UCA	13.707	-89.207	-0.11	-0.12	-0.06
US Tonacatepeque, San Salvador TO (19.0 Km.)	UCA	13.778	-89.114	0.36	0.26	0.23
Hospital San Rafael, Santa Tecla, La Libertad TE (23.6 Km.)	UCA	13.671	-89.279	0.04	-0.04	0.02
Hospital Sta. Teresa, Zacatecoluca, La Paz ZA (24.1 Km.)	UCA	13.517	-88.869	-0.29	0.41	-0.28
Hospital Sta. Gertrudis, San Vicente VI (30.9 Km.)	UCA	13.642	-88.784	-0.22	0.43	0.24
US Puerto de La Libertad, La Libertad LI (31.2 Km.)	UCA	13.486	-89.327	0.11	0.09	-0.03
US Armenia, Sonsonate AR (48.9 Km.)	UCA	13.744	-89.501	0.03	-0.04	-0.05

* Distancia epicentral

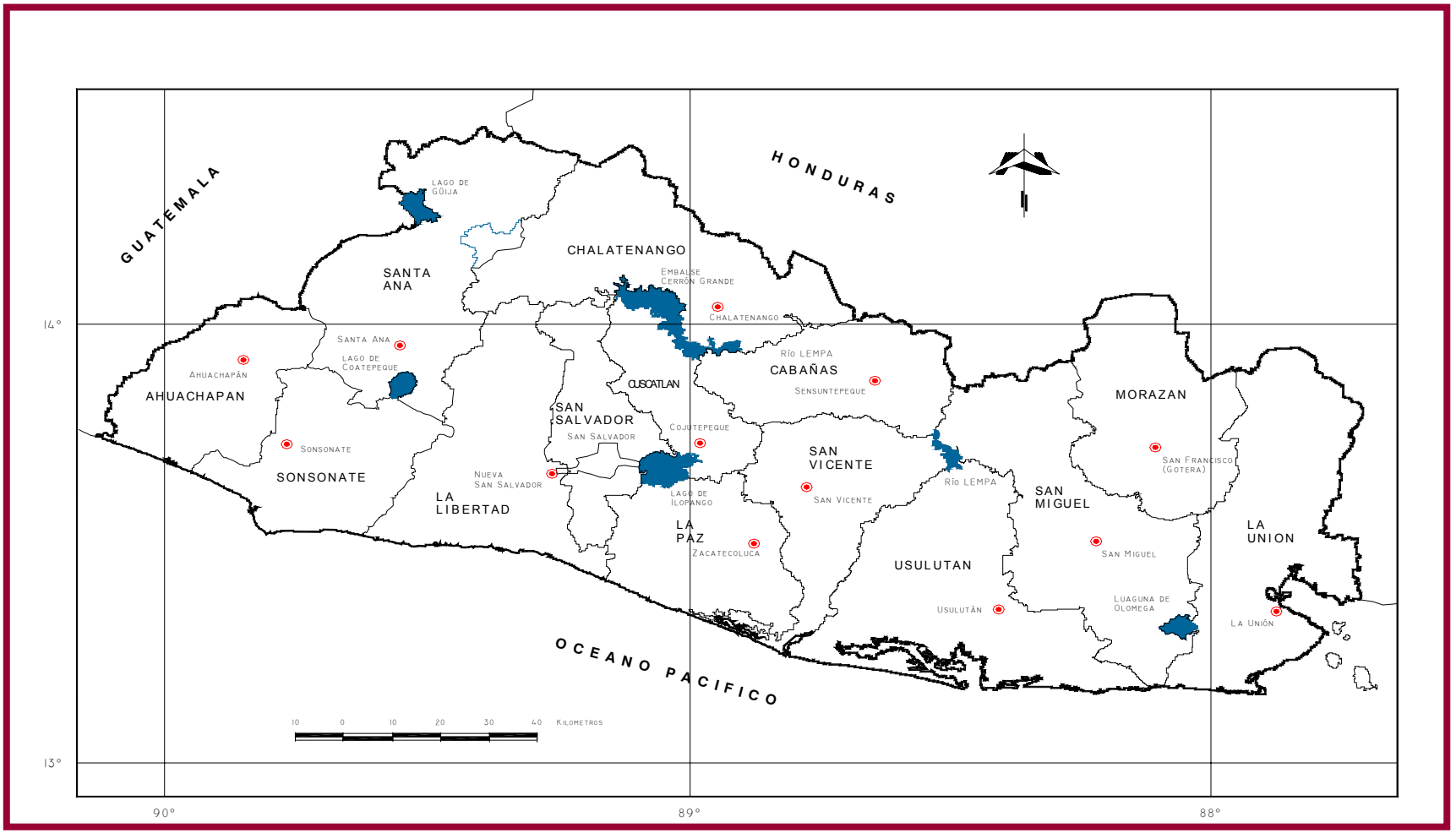

FIGURA Nº 1: MAPA DE LA REPUBLICA DE EL SALVADOR, CENTROAMERICA

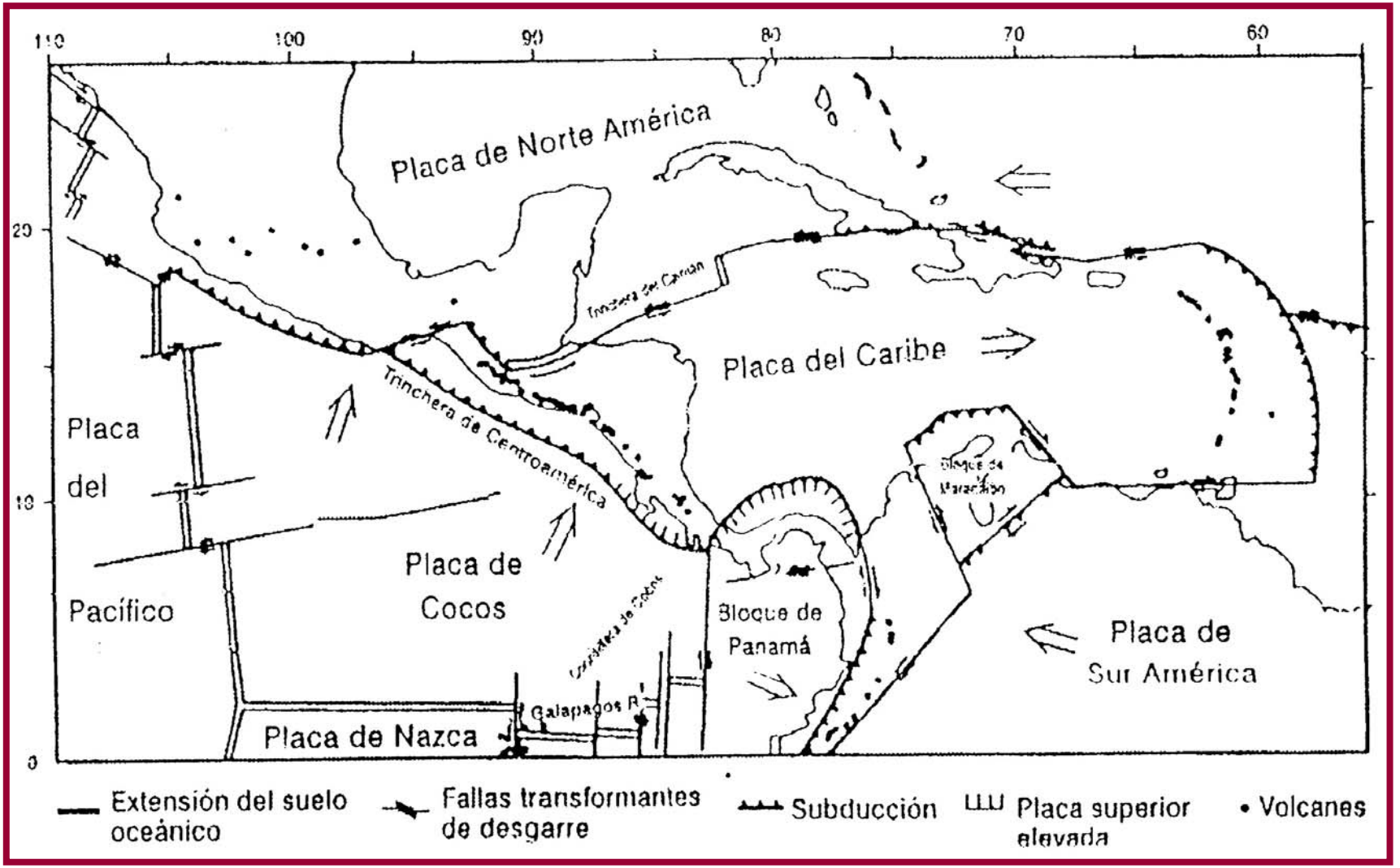

FIGURA Nº 2: MAPA TECTONICO DE PLACAS PARA LA REGION CENTROAMERICANA (Weyl, 1980)

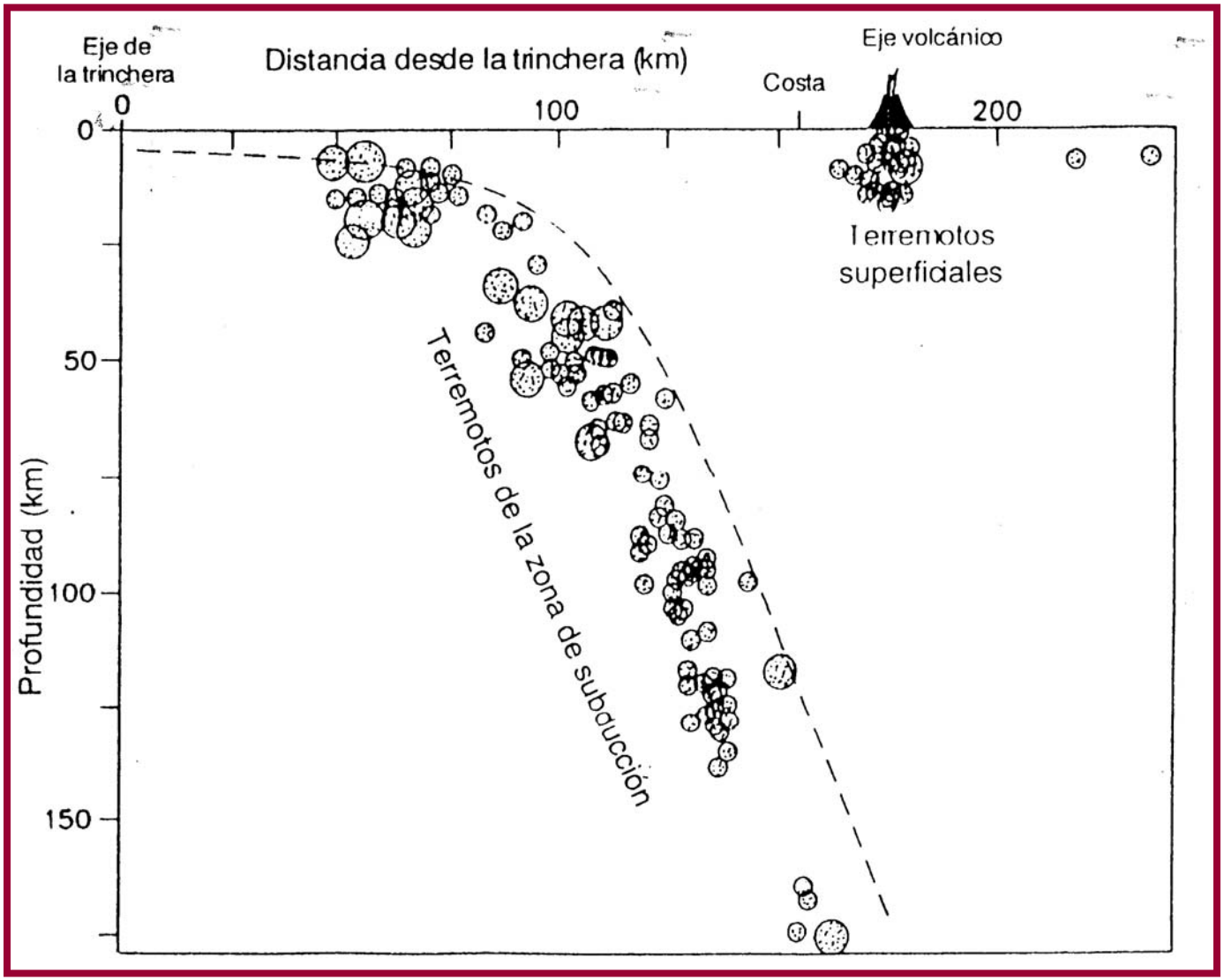

FIGURA. Nº 3: CORTE TRANSVERSAL PARA SISMOS DE SUBDUCCION Y CONTINENTALES EN EL SALVADOR (White y Harlow, 1993)

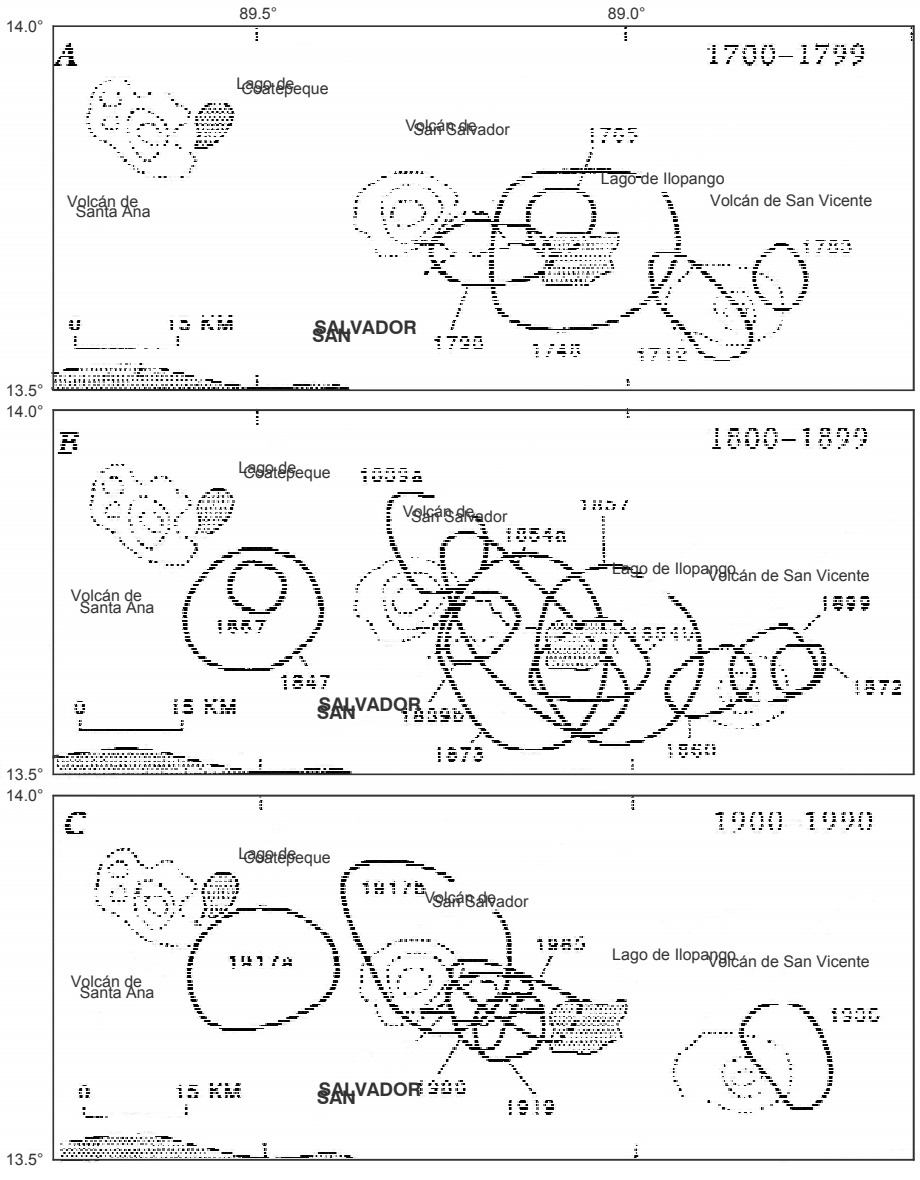

FIGURA Nº 4: MAPAS DE ISOSISTAS CON MM>VII DE SISMOS CONTINENTALES EN EL SALVADOR (Harlow et al, 1993)

A) 1700 - 1799
B) 1800 - 1899
C) 1900 - 1990

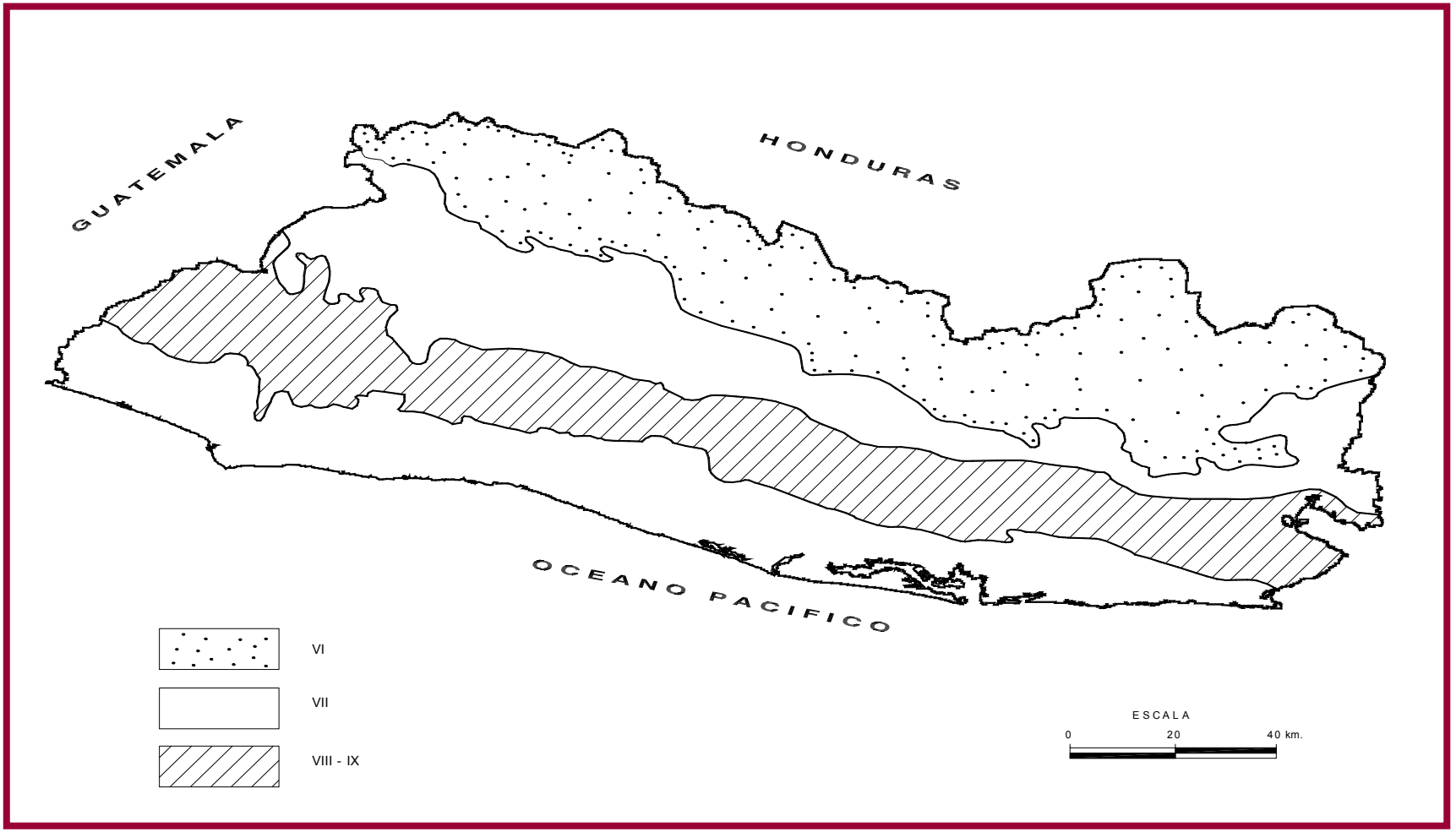

FIGURA Nº 5: MAXIMAS INTENSIDADES SISMICAS EN LA ESCALA DE MERCALLI MODIFICADA EN EL SALVADOR (Aguilar, 1986)

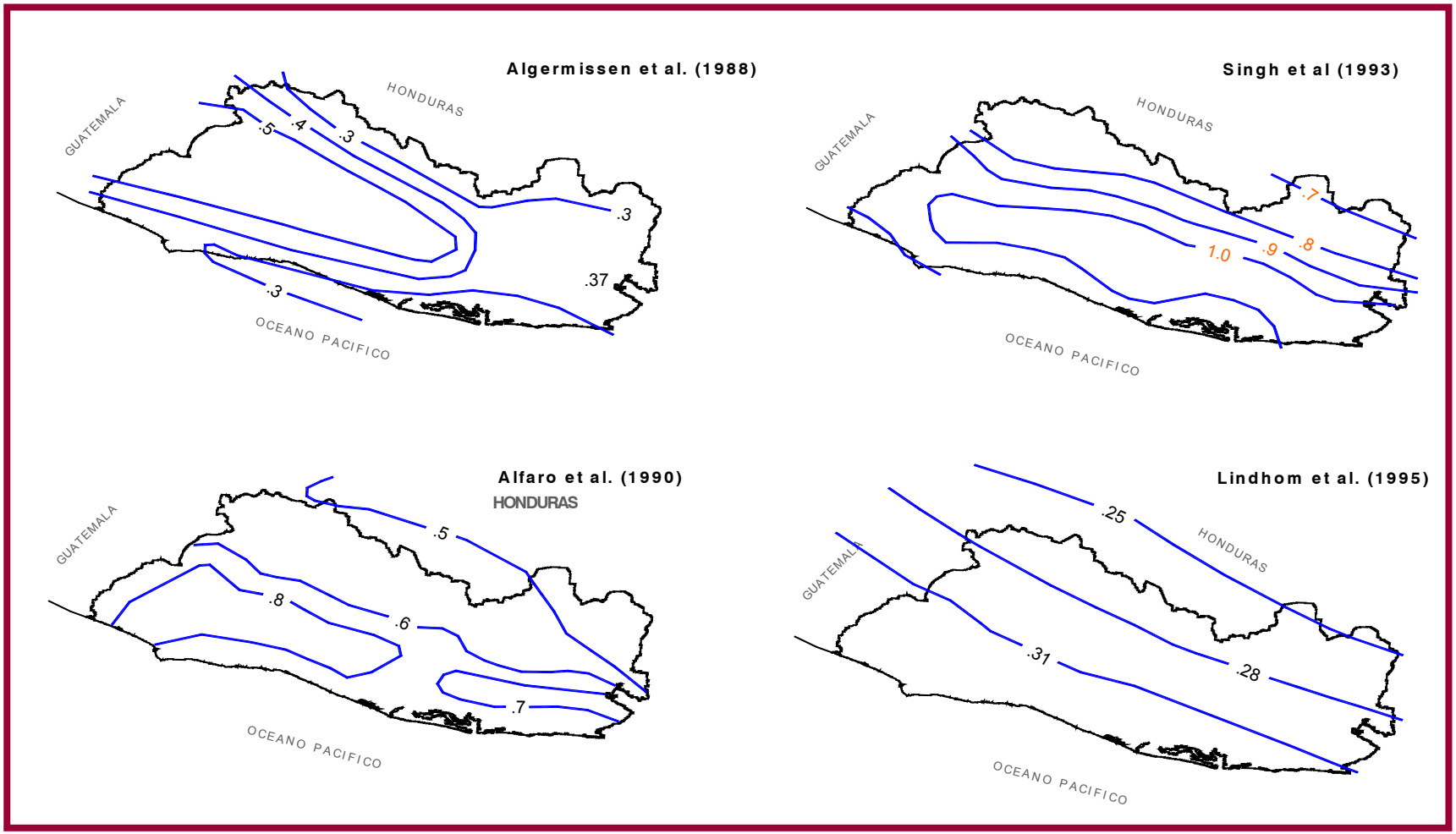

FIGURA Nº 6: MAPA DE PELIGROSIDAD SISMICA DE ACELERACIONES MAXIMAS PARA PERIODOS DE RETORNO DE 475 AÑOS EN EL SALVADOR (Bommer et al, 1996)

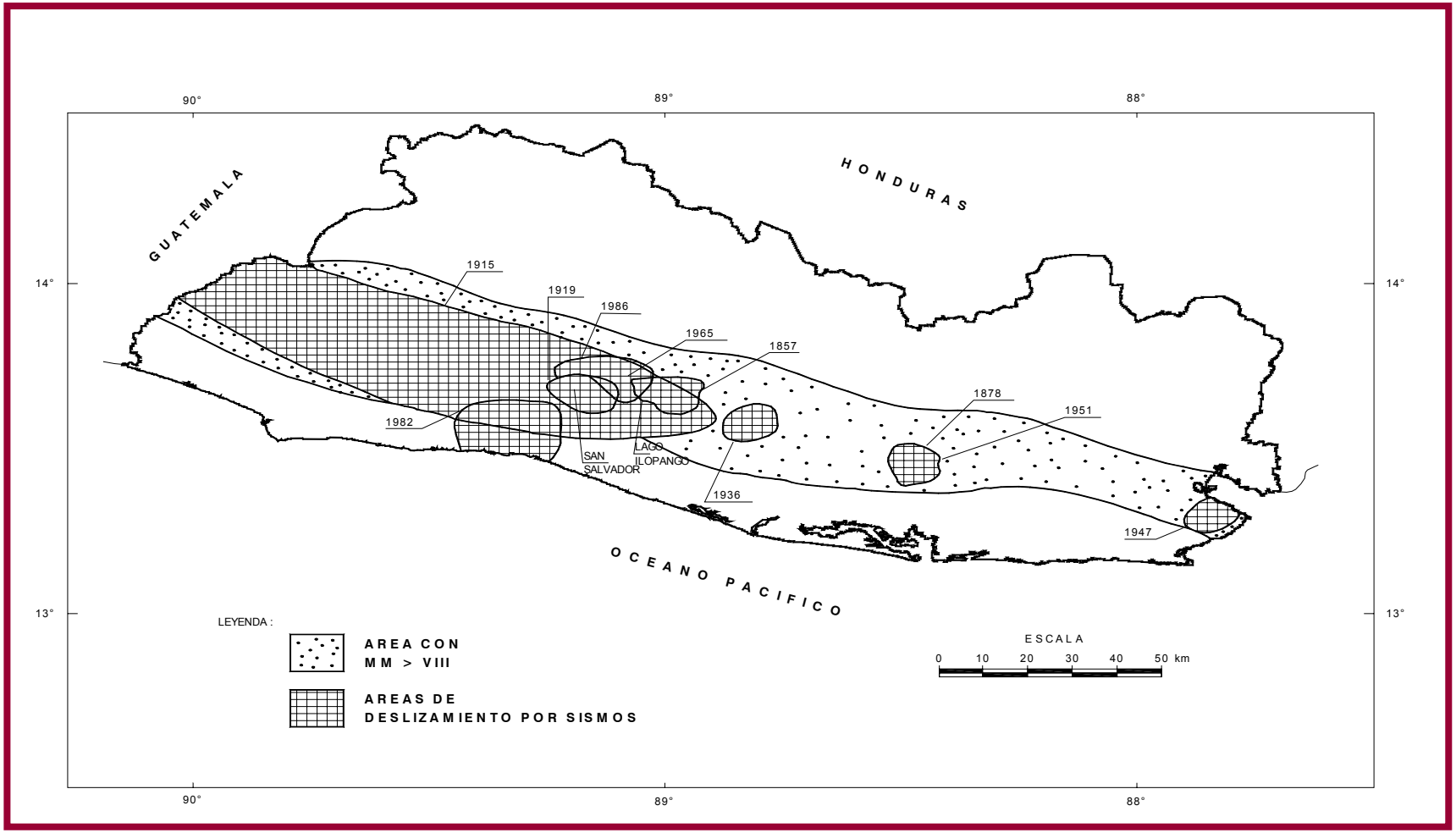

FIGURA Nº 7: ZONAS AFECTADAS POR DESLIZAMIENTOS DURANTE SISMOS EN EL SALVADOR (Rymer y White,

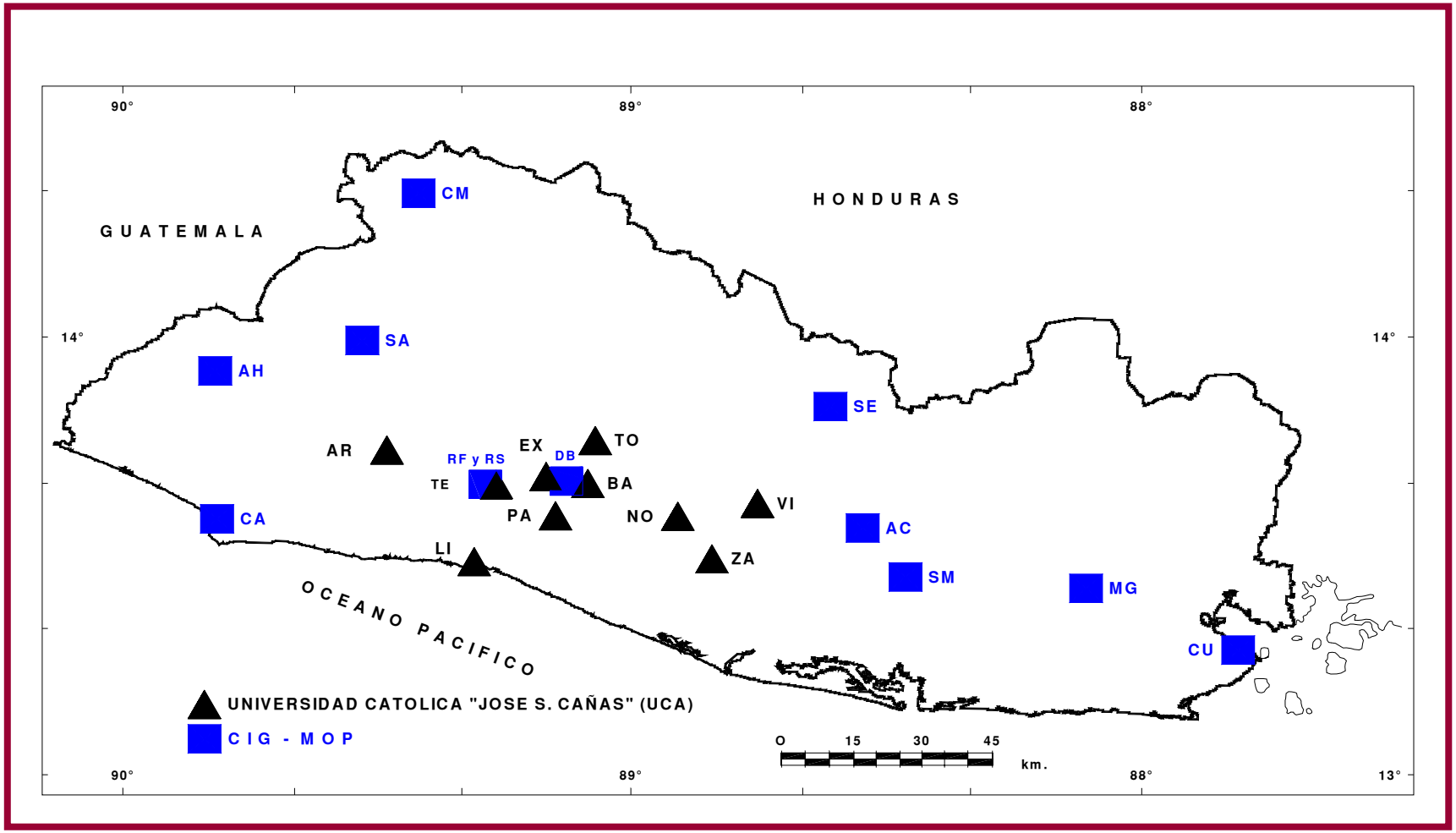

FIGURA. Nº 8: UBICACIÓN DE LA RED ACELEROGRAFICA DIGITAL DE UCA Y LA RED ANALOGICA DEL CIG - MOP

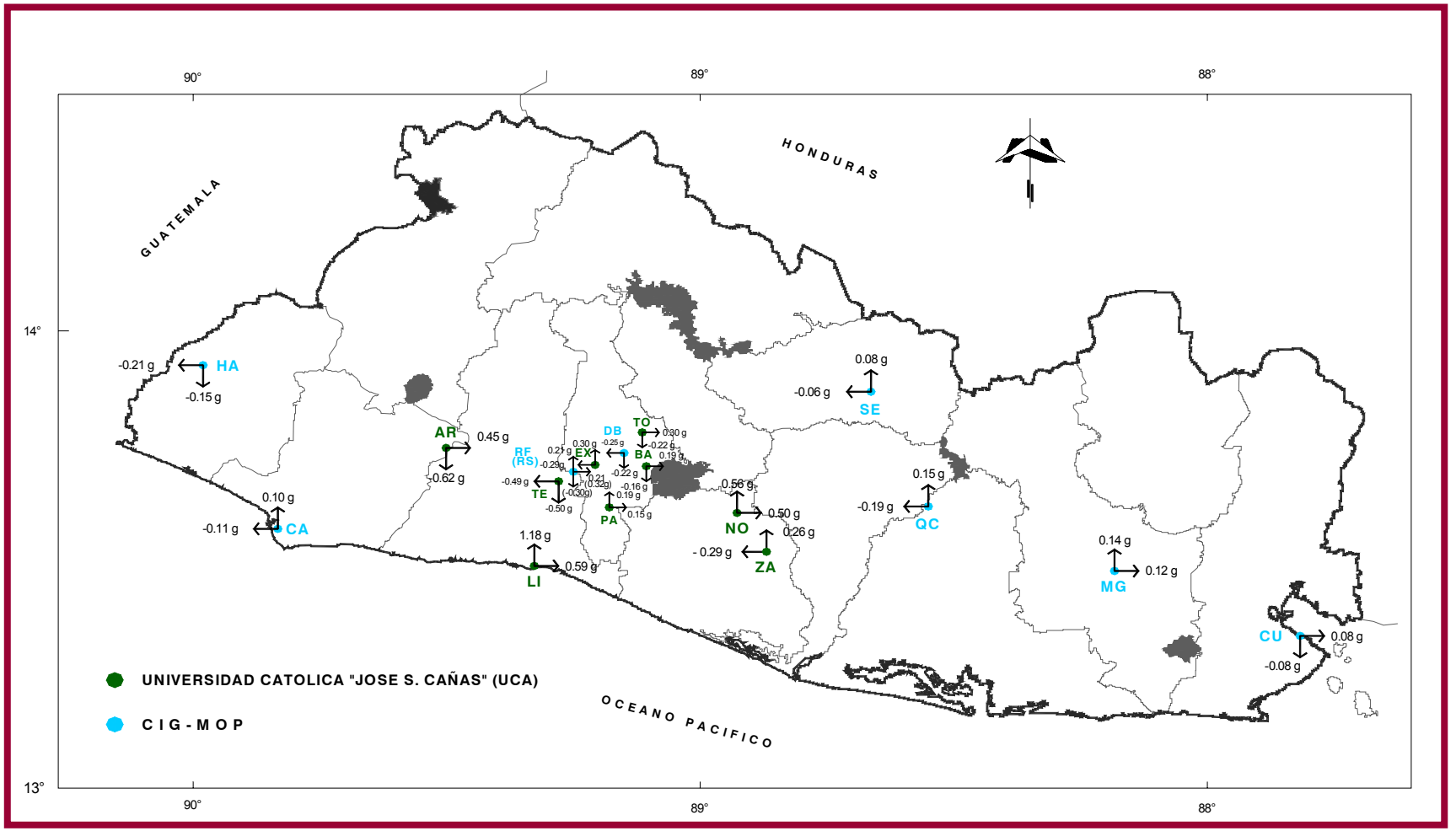

FIGURA Nº 9: ACELERACIONES MAXIMAS DE COMPONENTES HORIZONTALES DEL SISMO DEL 13 DE ENERO DEL 2001

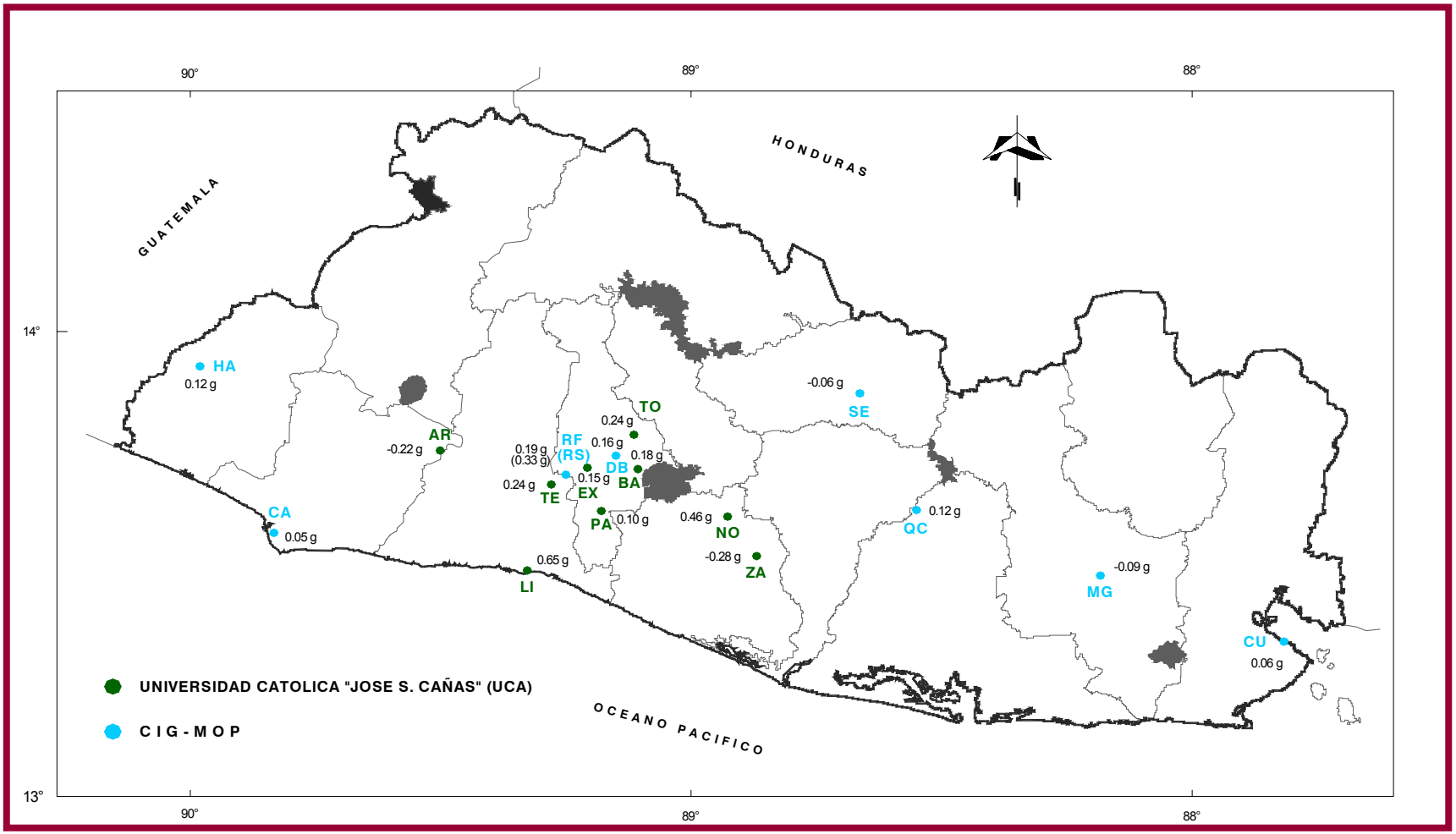

FIGURA Nº 10: ACELERACIONES MAXIMAS DE COMPONENTE VERTICAL DEL SISMO DEL 13 DE ENERO DEL 2001

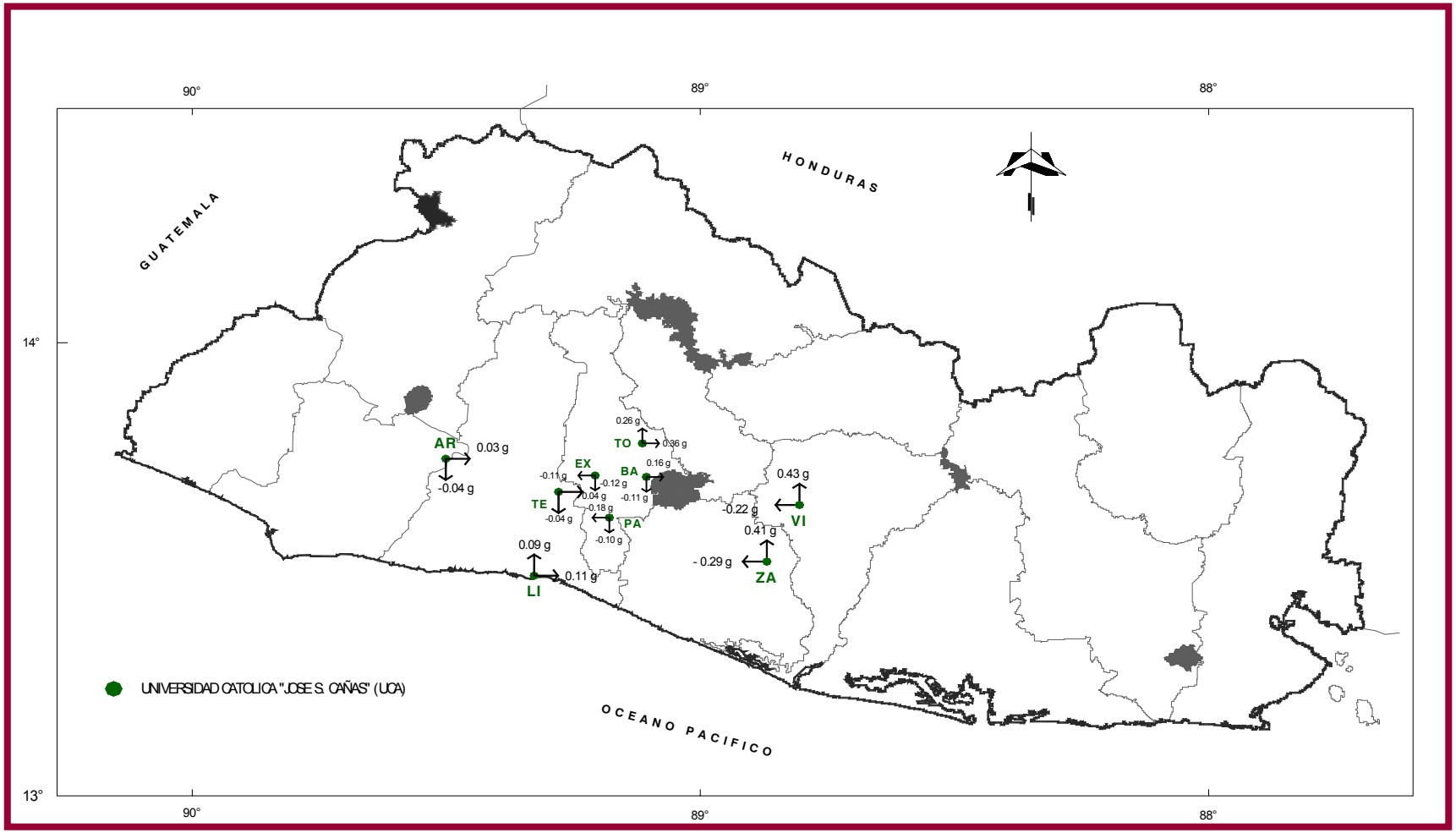

FIGURA Nº 11: ACELERACIONES MAXIMAS DE COMPONENTES HORIZONTALES DEL SISMO DEL 13 DE FEBRERO DEL 2001

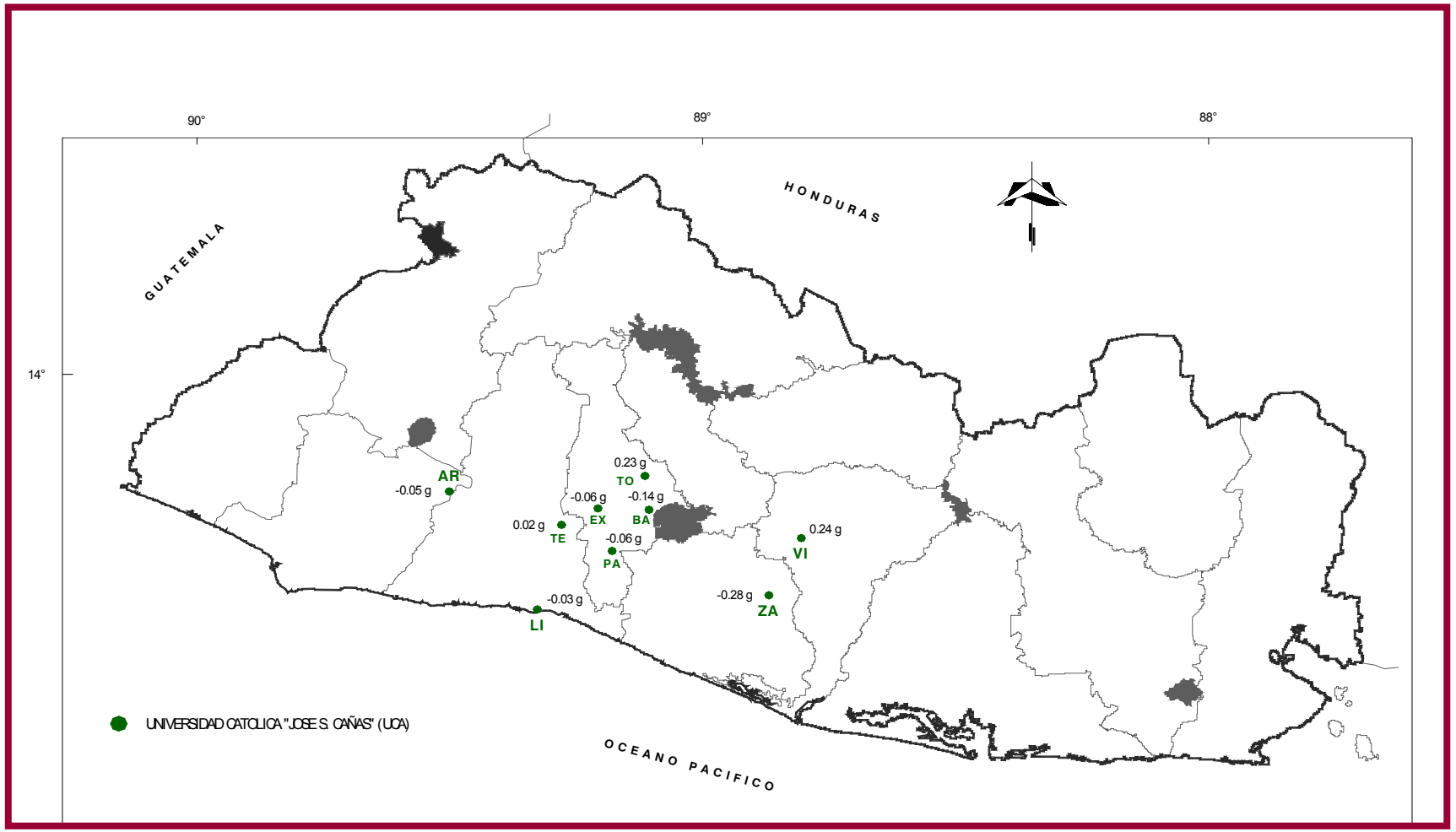

FIGURA Nº 12: ACELERACIONES MAXIMAS DE COMPONENTE VERTICAL DEL SISMO DEL 13 DE FEBRERO DEL 2001