

DISTRIBUCION DE INTENSIDADES Y DAÑOS

A. F. Espinosa, Servicio Geológico de los Estados Unidos, Denver, Colorado

J. Egred, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador

M. García-López, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá

E. Crespo, Universidad de Cornell, Ithaca, New York

INTRODUCCION

El terremoto del 5 de Marzo de 1987, fue sentido a las 23:10 (tiempo local), sobre un área de al menos 93.000 km². Este tuvo su origen en la Provincia de Napo, en la región montañosa del NE del Ecuador; el epicentro estuvo localizado aproximadamente a 75 km al NE de Quito. Hubo algunas indicaciones someras de fallamientos superficiales; sin embargo, las condiciones climáticas y lo accidentado del terreno impidieron una positiva identificación de efectos de fallamiento superficial. El sentido del movimiento, determinado por medio de instrumentos sismológicos, es transcurrente con un componente inverso que tiene un rumbo casi N-S. Una solución similar del mecanismo de la fuente fue obtenida en base a un sismo premonitor y dos réplicas ocurridas varios meses después. El oleoducto trans-ecuadoriano, nervio central de la economía ecuatoriana, sufrió un alto grado de daño.

El evento principal fue precedido por un premonitor el 5 de Marzo de 1987, a las 20.54, tiempo local. Este tuvo un foco superficial, una magnitud de ondas de cuerpo (m_b) de 6.1 y una magnitud de ondas superficiales (M_s) de 6.1 (Figura 4.1). El terremoto destructor principal ocurrió a unos 20 km al O del epicentro premonitor. Este tuvo una magnitud de ondas de cuerpo (m_b) de 6.1 y una magnitud de ondas superficiales (M_s) de 6.9. La máxima intensidad Mercalli Modificada (I_0) fue IX en la región mezosísmica inmediata.

Este artículo es un reporte preliminar sobre el área dañada por los terremotos que fue estudiada inmediatamente después de que ocurrió el evento principal. El objetivo fue obtener información donde era accesible, cerca y alrededor de la zona epicentral, cubriendo un radio de aproximadamente 80 km, a fin de delinear la distribución de intensidades, daños en las construcciones tipo adobe, aceleraciones y riesgos geológicos ocasionados por la liberación de energía del terremoto y fenómenos asociados.

RELACION DE DAÑOS EN LOS EDIFICIOS COMPARADOS CON LA PRACTICA CONSTRUCTIVA ACTUAL

Con el fin de evaluar la distribución de las intensidades con datos obtenidos en el campo, es necesario identificar los tipos de construcciones en el área examinada.

Al E de Quito, en la zona mejor conocida como la región oriental, el tipo predominante de construcción es el de estructura de madera. Hay además en esta región una técnica de construcción mixta: por ejemplo, combinación de estructura de madera y ladrillo, madera y

bloque, y en menor cantidad, el reemplazo de ladrillo por adobe. En algunas de las poblaciones importantes, tales como los campos de exploración petrolera, las estructuras son de concreto reforzado, generalmente de no más de cuatro plantas de altura. La mayoría de cubiertas en las poblaciones grandes son de planchas de zinc corrugado; el uso de tejas es muy limitado. Casi todas las estructuras en las áreas rurales y pequeños caseríos son edificios de piedra de una planta. Para esta región oriental del Ecuador, un conteo preliminar de las estructuras con daños substanciales en las poblaciones de Baeza, Lumbaqui, El Chaco, El Reventador, Lago Agrio, y Díaz de Pineda (Figuras 4.2 y 4.3) totaliza 1.976: 818 tuvieron daños irreparables (al menos hasta el 13 de Mayo de 1987)



FIGURA 4.1 Localización epicentral del terremoto del 5 de Marzo de 1987 ($M_s=6.9$) y del premonitor ($M_s=6.1$) que ocurrió 3 horas antes del terremoto principal. Además se muestra la división provincial del Ecuador.

Al N, en las provincias de Pichincha, Imbabura y Carchi (Figura 4.1), el tipo predominante de construcción de casas es conocido como tapial, en el cual las viviendas no tienen refuerzos en sus esquinas, y comúnmente no poseen paredes interiores o columnas de refuerzo. El material de construcción más común para paredes es el adobe y bahareque (adobe es una mezcla de barro y paja; bahareque es una mezcla de barro y largas varas de caña de azúcar o algún material similar). Pocos edificios están contruidos de ladrillo y/o bloques. En esta parte del Ecuador, conocida como la Región Interandina (sector N), se acostumbra cubrir los techos con tejas. Las paredes son sumamente gruesas; algunas son aproximadamente de 1 m de espesor y en algunas de las viejas iglesias históricas, ellas son aún más gruesas.

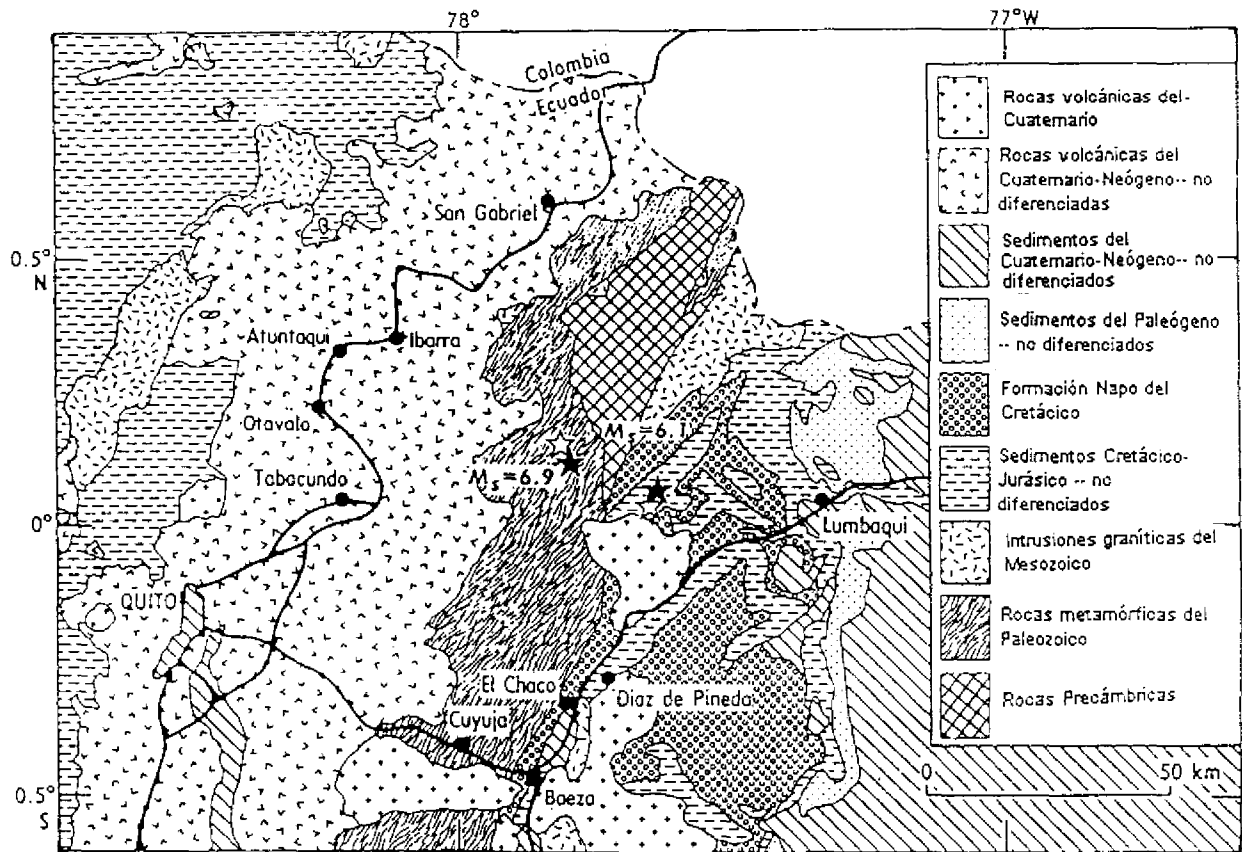


FIGURA 4.2 Mapa que muestra las unidades geológicas más importantes en la región epicentral. Además están indicados los epicentros del evento principal ($M_s=6.9$) y del premonitor ($M_s=6.1$), así como las principales vías de acceso al E y N de Quito.

Las poblaciones grandes y las ciudades del Ecuador emplean una gran variedad de tipos de construcción, desde edificios de adobe hasta concreto reforzado y de diferentes alturas. Además, la edad de las estructuras varía grandemente.

Al 13 de Mayo de 1987, el número de viviendas que presentaban daños en la Región Interandina totalizó 12.083; 2.308 estructuras fueron dañadas irreparablemente. Por ejemplo, en el pueblo de Olmedo (Figura 4.3), directamente al O de los epicentros del 5 de Marzo, 1.631 residencias presentaron substanciales daños irreparables.

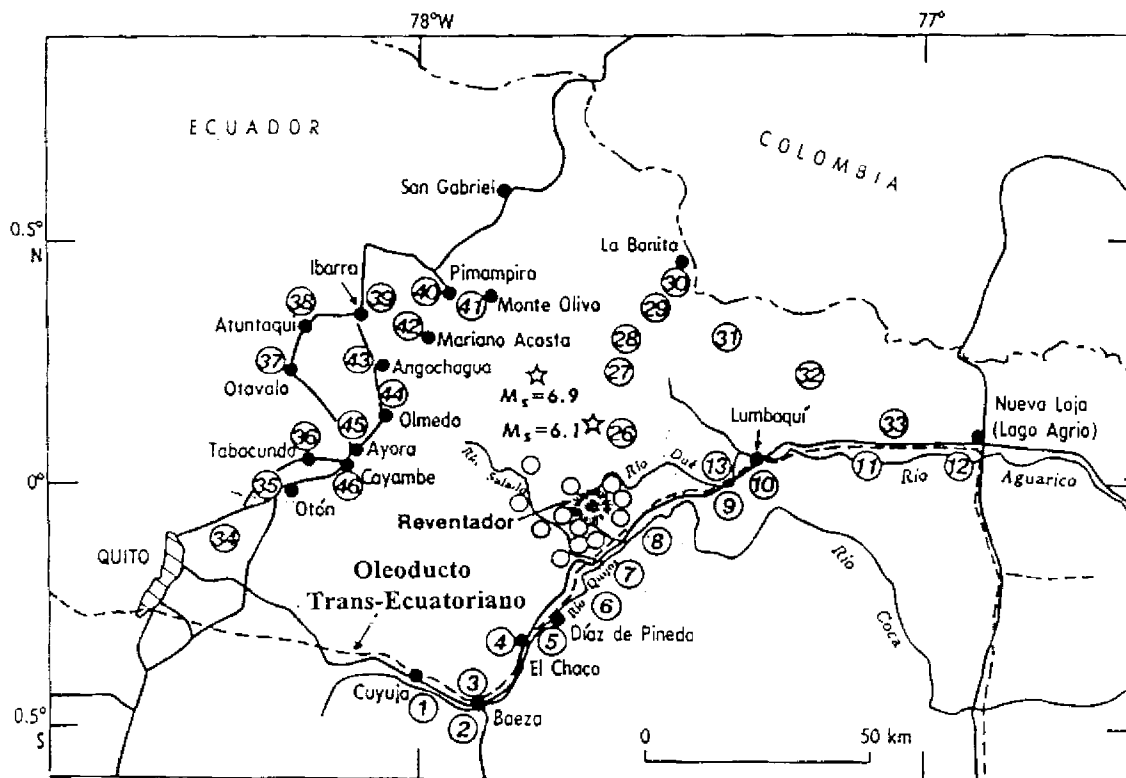


FIGURA 4.3 Mapa de los puntos de control de las intensidades obtenidas en este estudio, tanto alrededor del volcán El Reventador como a lo largo de las principales vías de acceso al N y E de Quito. Además están representadas aquellas áreas en las cuales fueron evaluadas las intensidades por medio de vuelos de reconocimiento en helicóptero. Los números en los cuadrados representan las áreas donde los daños a las viviendas y al medio ambiente fueron documentados usando cámaras de video y fotografías de 35 mm.

Las poblaciones de Cangahua y Ayora (Figura 4.3), justo al N y S de Olmedo, tuvieron daños en 1.300 y 323 viviendas, respectivamente; 570 y 302 de estas residencias presentaron daños irreparables. En las poblaciones de Tabacundo y Cayambe (Figura 4.3), las cuales están al SO de los epicentros, ocurrieron mucho menos daños. Al NO sucedieron los daños per capita más altos en Ibarra, donde aproximadamente 814 residencias fueron afectadas con daños irreparables. Más al N, en San Gabriel (Figura 4.3), los daños decrecieron a 220 estructuras que fueron afectadas con daños irreparables.

La distribución de daños de este terremoto presenta un cuadro bastante uniforme, si, y solo si nosotros estudiamos las mismas clases de estructuras. Similares resultados fueron documentados en el campo por Espinosa et al. (1976b) después del terremoto de Guatemala del 4 de Febrero de 1976. En el evento en Guatemala, el mapeo de la distribución de las estructuras afectadas reflejó el daño sostenido en construcciones de adobe, equivalente a la intensidad VII en la escala MMI. En Guatemala, la distribución de daños de edificios de construcción de adobe parece estar directamente relacionada con la distribución de intensidades (MMI) (Espinosa et al., 1976b). En Ecuador, en el área de fuertes deslizamientos, muchas casas de adobe y estructuras de madera no presentaron daños. Numerosas viviendas esparcidas cerca de los deslizamientos, a lo largo de la carretera principal al E de la región afectada, no fueron dañadas.

DISTRIBUCION DE INTENSIDADES

Los autores visitaron pueblos en áreas de alto, intermedio y bajo daño; y por medio del uso de cuestionarios y una cámara de video, obtuvieron datos que fueron utilizados para evaluar las intensidades MMI en toda la región afectada (Figuras 4.3 y 4.4). En estas figuras, los números dentro de los círculos identifican aquellas áreas donde los daños tanto a las estructuras hechas por el hombre como por el medio ambiente fueron fotografiados y otras áreas donde fueron tomados registros de video por los autores, documentando los efectos posteriores de los terremotos.

Las máximas intensidades MMI están concentradas en el área mezosísmica, alcanzando un $lo = IX$ (Egred, 1988; García-López, 1988). En esta área, sin embargo, la mayoría de los daños pueden ser clasificados como intensidades VII y VIII. El problema encontrado en el proceso de evaluación de intensidades es el de "inconsistencias" en las escalas de intensidad MMI y Medvedev-Sponhauser-Karnik (MSK). Grandes deslizamientos, que fueron abundantes en la región montañosa alta, cerca y alrededor del volcán El Reventador, igual como en otras regiones inestables de los Andes altos (Nieto et al., Capítulo 5 de este informe), sugieren una intensidad mayor de IX. Otro factor que indica altas intensidades ($>IX$) es el fallamiento superficial, ejemplos de los cuales fueron observados en la localidad de Cascabel (cerca del círculo 25, Figura 4.4), próxima a la región epicentral. Otro factor aún, que supone intensidades más altas (X), según la escala de intensidades, son "deslizamientos desde las orillas de los ríos y empinadas pendientes, debido en algunos casos a suelos saturados de agua, arenas perturbadas, y lodos, así como agua rebasada sobre las orillas". Además, "puentes destruidos" implican un grado de intensidad XI, y si bien un puente fue verdaderamente destruido (pero por inundación), estructuras de madera cercanas no presentaron daños. Similares problemas en la inconsistencia inherente en la escala MMI, han sido documentados por varios estudios post-terremotos en Caracas, Venezuela; Lima, Perú; Guatemala; y El Asnam, Algeria (Espinosa, 1969, 1976, 1981; Espinosa y Algermissen, 1972, 1973; Espinosa et. al., 1976a, 1976b).

Los datos obtenidos a través de cuestionarios y notas de campo, reunidos después del terremoto del 5 de Marzo, han sido clasificados usando la versión abreviada de la escala MMI (Richter, 1958) con las siguientes excepciones: los deslizamientos no están considerados en este informe como indicador de una intensidad X, el "suelo claramente agrietado" y las "cañerías subterráneas rotas" no son considerados como indicadores de intensidad IX; "arena y fango perturbados al igual que salpicaduras de agua sobre las orillas" no son considerados como indicadores de intensidad X; "fisuras anchas en el terreno y puentes destruidos" no son considerados como indicadores de intensidad XI. Espinosa et al. (1976b) han propuesto que estas excepciones y otros efectos de deterioro del suelo se los consideren efectos de segundo orden que no representan la intensidad de un terremoto basada en efectos puramente vibratorios. Una propuesta similar está siendo implementada por el Comité Soviético de Intensidades en la revisión de la escala de intensidades MSK (L. Shebalin, 1986, com. pers.; D. Mayer Rosa, 1988, com. pers.) Otros efectos secundarios como licuefacción del suelo, subsidencia, roturas superficiales, deslizamientos masivos, deslizamientos de rocas, flujos de escombros, y "represamiento" de ríos, fueron observados en el campo en las cercanías del volcán El Reventador y los ríos tributarios de la región. De acuerdo con la escala de intensidades MSK, la clasificación, si se sigue al pie de la letra, sugeriría intensidades mucho más altas que aquellas observadas y asignadas en el campo y basadas en los efectos vibratorios producidos por el terremoto.

La Figura 4.4 presenta la localización del volcán El Reventador y las áreas mencionadas arriba que sufrieron alto daño en el medio ambiente. El número de deslizamientos en esta área alrededor y sobre el volcán fue muy alto, y varios grandes deslizamientos que más probablemente fueron causados por saturación de agua, ocurrieron al E de la región epicentral, sin embargo, muy pocos ocurrieron al N

Las isosistas en la Figura 4.5 muestran una distribución preliminar del terremoto principal del 5 de Marzo de 1987 en el Ecuador. Las isosistas para intensidades VIII, VII y VI siguen el sentido general de un sistema de fallas orientadas N-S. Las intensidades se atenúan sobre una corta distancia, más rápidamente hacia el SO, y más lentamente hacia el S y hacia el NNO. El mapa de isosistas fue planteado sobre un mapa geológico del Ecuador a escala 1:1'000.000 (Baldock, 1982a,b), y no se encontró una correlación fácil entre la geología superficial regional y la distribución de intensidades.

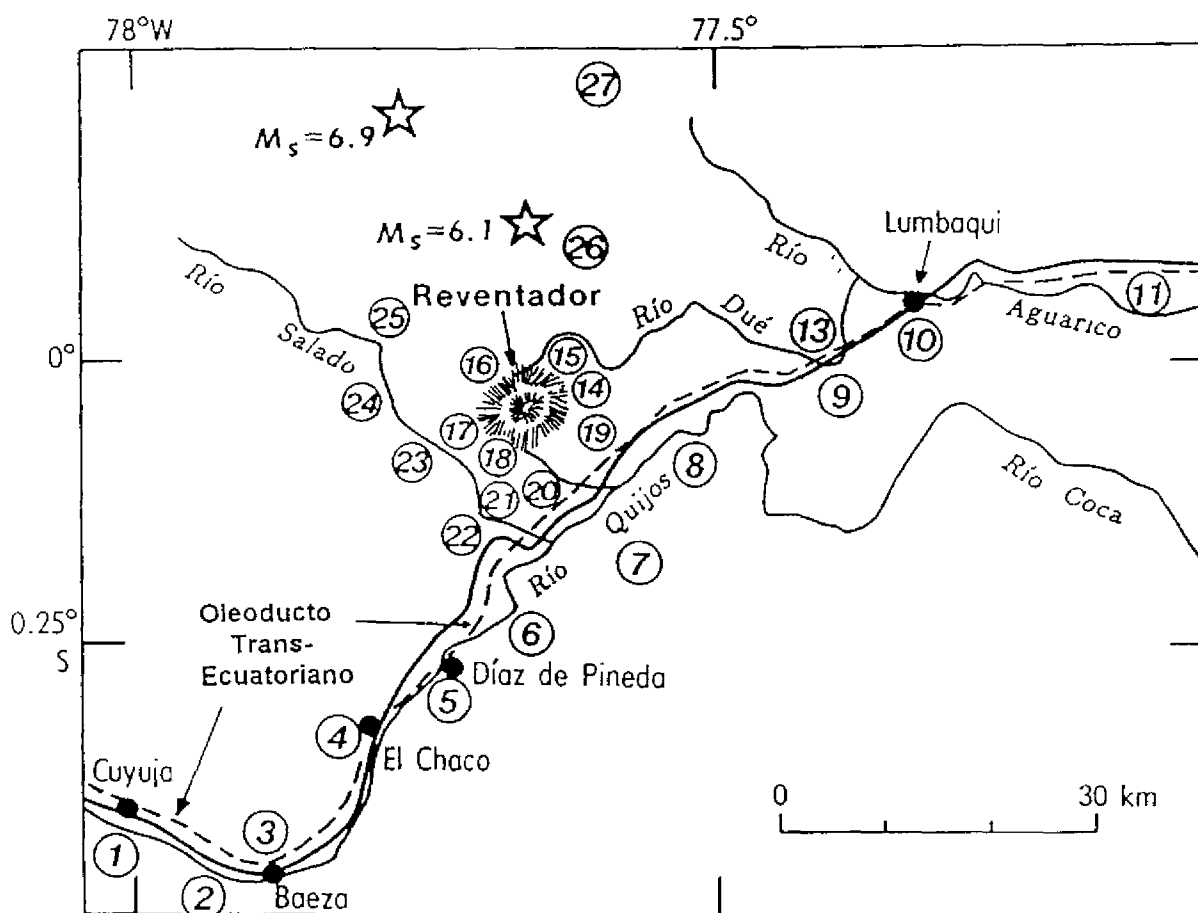


FIGURA 4.4 Distribución de los puntos de control de intensidades alrededor del volcán El Reventador y en la región alrededor de los ríos Salado, Quijos y parte del Aguarico. Se explicó la presencia de los números en los cuadrados en la Figura 4.3.

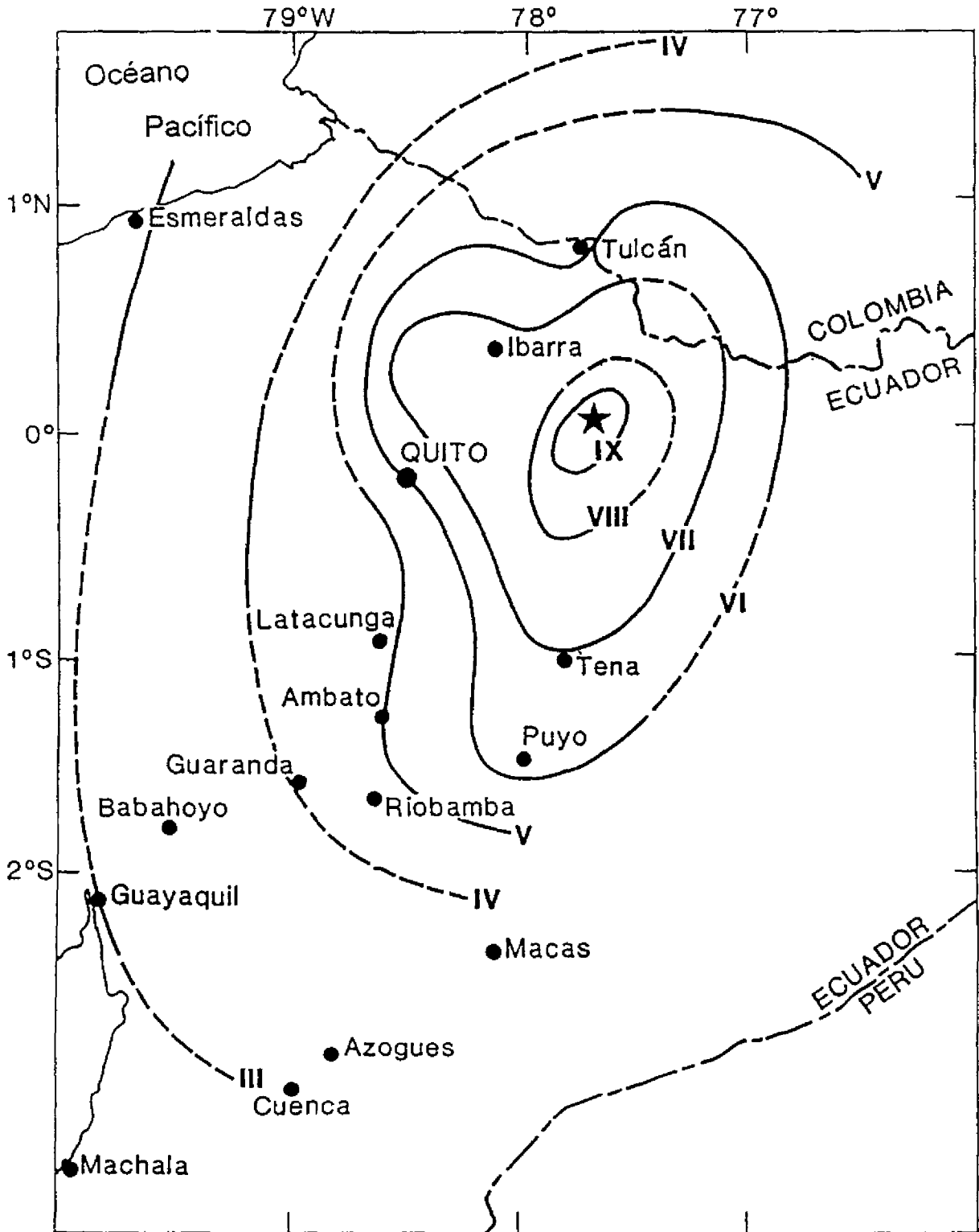


FIGURA 4.5 Distribución de Intensidades en el Ecuador por el terremoto del 5 de Marzo de 1987. La estrella en negro indica el epicentro. Las líneas entrecortadas indican la extensión de las isosistas aproximadas o su continuación. Además presenta la localización de ciudades importantes del Ecuador.

La solución del mecanismo focal obtenida por Espinosa et al. (Figura 3.5 y 3.6) para el evento principal, tiene un rumbo para los planos de falla A y B de 261° y 6° , respectivamente. Las isosistas VII y VI muestran un lóbulo al NO que puede indicar un efecto debido a una fuente en movimiento en el área cercana. No hay suficiente resolución de datos de intensidades en esa región, por inaccesibilidad en esta época, para establecer o inferir la dirección de la máxima energía liberada en estos azimuts. La intensidad de la sacudida para MMI = VII tiene un certero componente direccional, sugiriendo una ruptura unilateral desde el E hacia el O. Como se señaló anteriormente, el pueblo de Olmedo (Figura 4.3) presenta mayores daños en su infraestructura, que otros municipios al N y S de Olmedo.

Otros factores que pueden intervenir en el patrón de distribución de intensidades presentado en la Figura 4.5, son los efectos de amplificación sísmica, amplificación topográfica de la onda sísmica, influencia de las condiciones superficiales del suelo y profundidad del nivel freático. Además, las técnicas de construcción en esta parte del país son muy variadas y en las áreas montañosas los asentamientos poblacionales son pequeños y dispersos.

REFERENCIAS

- Baldock, J. N. 1982a. *Geology of Ecuador-Explanatory Bulletin of the National Geological Map of the Republic of Ecuador* Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos, Dirección General de Geología y Minas, Quito, 54
- Baldock, J. N. 1982b. *Mapa Geológico del Ecuador*. Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos, Dirección General de Geología y Minas, Quito, escala 1:1,000,000.
- Egred, J. 1988. *Terremoto de la Provincia del Napo, Marzo 5, 1987*. Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 56
- Espinosa, A. F. 1969. *Ground amplification of short-period seismic waves at two sites near Bakersfield, California* *Earthquake Notes* 40.3-20
- Espinosa, A. F. 1981. *The Guatemalan Earthquake of February 4, 1976*. U.S. Geological Survey Professional Paper 1002, 90.
- Espinosa, A. F. 1981. *The Algerian earthquake of October 10, 1980-A preliminary report* *Earthquake Information Bulletin* 13.23-33.
- Espinosa, A. F. y S. T. Algermissen. 1972. *A Study of Soil Amplification Factors in Earthquake Damage Area, Caracas, Venezuela*. Environmental Research Laboratories TR-280-ESL-31, 201.
- Espinosa, A. F. y S. T. Algermissen. 1973. *Ground amplification studies in the Caracas Valley and the northern coastal area of Venezuela*. *Proceedings of the Fifth World Conference on Earthquake Engineering, Rome 2*: 106.
- Espinosa, A. F., R. Husid, S. T. Algermissen y J. de las Casas. 1976a. *The Lima earthquake of October 3, 1974, intensity distribution*. *Bulletin of the Seismological Society of America* 67: 1429-1440.
- Espinosa, A. F., R. Husid y A. Quesada. 1976b. *Intensity distribution and source parameters from field observations of the February 4, 1976, Guatemalan earthquake*, in *The Guatemalan Earthquake of February 4, 1976, a Preliminary Report*, A. F. Espinosa, ed. U.S. Geological Survey Professional Paper 1002, 52-66.
- García-Lopez, M. 1988. *Evaluación de los problemas de inestabilidad del terreno causados por los sismos del 5 de Marzo de 1987* Bogotá Universidad Nacional de Colombia, 41.
- Richter, C.F. 1958. *Elementary Seismology*. San Francisco Freeman, 768

La solución del mecanismo focal obtenida por Espinosa et al. (Figura 3.5 y 3.6) para el evento principal, tiene un rumbo para los planos de falla A y B de 261° y 6° , respectivamente. Las isosistas VII y VI muestran un lóbulo al NO que puede indicar un efecto debido a una fuente en movimiento en el área cercana. No hay suficiente resolución de datos de intensidades en esa región, por inaccesibilidad en esta época, para establecer o inferir la dirección de la máxima energía liberada en estos azimuts. La intensidad de la sacudida para MMI = VII tiene un certero componente direccional, sugiriendo una ruptura unilateral desde el E hacia el O. Como se señaló anteriormente, el pueblo de Olmedo (Figura 4.3) presenta mayores daños en su infraestructura, que otros municipios al N y S de Olmedo.

Otros factores que pueden intervenir en el patrón de distribución de intensidades presentado en la Figura 4.5, son los efectos de amplificación sísmica, amplificación topográfica de la onda sísmica, influencia de las condiciones superficiales del suelo y profundidad del nivel freático. Además, las técnicas de construcción en esta parte del país son muy variadas y en las áreas montañosas los asentamientos poblacionales son pequeños y dispersos.

REFERENCIAS

- Baldock, J. N. 1982a. *Geology of Ecuador-Explanatory Bulletin of the National Geological Map of the Republic of Ecuador*. Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos, Dirección General de Geología y Minas, Quito, 54.
- Baldock, J. N. 1982b. *Mapa Geológico del Ecuador*. Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos, Dirección General de Geología y Minas. Quito. escala 1:1,000,000
- Egred, J. 1988. *Terremoto de la Provincia del Napo, Marzo 5, 1987*. Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 56.
- Espinosa, A. F. 1969. *Ground amplification of short-period seismic waves at two sites near Bakersfield, California*. *Earthquake Notes* 40.3-20
- Espinosa, A. F. 1981. *The Guatemalan Earthquake of February 4, 1976*. U.S. Geological Survey Professional Paper 1002, 90.
- Espinosa, A. F. 1981. *The Algerian earthquake of October 10, 1980-A preliminary report*. *Earthquake Information Bulletin* 13 23-33
- Espinosa, A. F. y S. T. Algermissen. 1972. *A Study of Soil Amplification Factors in Earthquake Damage Area, Caracas, Venezuela*. *Environmental Research Laboratories TR-280-ESL-31*, 201
- Espinosa, A. F. y S. T. Algermissen. 1973. *Ground amplification studies in the Caracas Valley and the northern coastal area of Venezuela*. *Proceedings of the Fifth World Conference on Earthquake Engineering, Rome 2*: 106.
- Espinosa, A. F., R. Husid, S. T. Algermissen y J. de las Casas. 1976a. *The Lima earthquake of October 3, 1974, intensity distribution*. *Bulletin of the Seismological Society of America* 67: 1429-1440.
- Espinosa, A. F., R. Husid y A. Quesada. 1976b. *Intensity distribution and source parameters from field observations of the February 4, 1976, Guatemalan earthquake*, in *The Guatemalan Earthquake of February 4, 1976, a Preliminary Report*, A. F. Espinosa, ed. U.S. Geological Survey Professional Paper 1002, 52-66.
- García-Lopez, M. 1988. *Evaluación de los problemas de inestabilidad del terreno causados por los sismos del 5 de Marzo de 1987*. Bogotá. Universidad Nacional de Colombia, 41.
- Richter, C.F. 1958. *Elementary Seismology*. San Francisco. Freeman, 768.