

J.E. VALVERDE B.
Facultad de Ingeniería Civil, Escuela Politécnica Nacional Ecuador.

LA MICROZONIFICACION DE LA CIUDAD DE QUITO Y SUS APLICACIONES

SUMARIO:

En 1986 se inicia un proyecto que pretende recopilar la información técnica disponible para caracterizar a los diferentes tipos de suelos superficiales existentes dentro del área urbana de la ciudad. Este estudio se constituye en el primer intento de zonificar los suelos desde el punto de vista ingenieril.

El proyecto se complementa luego con la realización de algunas mediciones de las propiedades dinámicas de los suelos en superficie a través de los ensayos Crosshole y Dowhole.

Los suelos que predominan en la región son de origen volcánico y corresponden a la formación "Cangagua". Están conformados en su mayor parte por arenas, limos y arcillas amorfas.

Para establecer algunas relaciones entre parámetros estáticos y dinámicos se recopila una gran cantidad de datos disponibles en empresas privadas y archivos de la municipalidad.

Estas correlaciones presentadas por algunos autores han sido comprobadas y corregidas con los datos de campo medidos para tal efecto.

en una segunda etapa se utilizan las correlaciones para elaborar los perfiles estratigráficos en secciones transversales escogidas. En base a los perfiles se procede a dividir a la ciudad en 20 zonas. Cada zona con un perfil representativo el mismo que es utilizado para calcular la respuesta dinámica y el efecto de sitio ante un sismo supuesto de alta probabilidad de ocurrencia.

Se realiza un análisis comparativo de los valores de los períodos fundamentales de cada perfil calculados utilizando varios métodos simplificados propuestos en la literatura.

Adicionalmente en la zonificación se consideran otros aspectos tales como: La geología local, la topografía, la planificación urbana de la ciudad, la densidad de quebradas y rellenos, etc.

La zonificación de la ciudad ha servido como información de base para la realización de un Escenario Sísmico para Quito el mismo que está próximo a terminarse.

Proyecto de microzonación del Instituto Geográfico Nacional de España

E. Carreño. Instituto Geográfico Nacional. c/ General Ibañez Ibero, 3, 28003 Madrid, España.

Introducción

La región Ibero- Mogrebí está localizada en la zona de contacto de las placas Euroasiática y Africana constituyendo una zona activa que va desde las Islas Azores hasta Túnez.

Si consideramos sólo la sismicidad hasta 1980, podemos observar en la Figura 1 la distribución de epicentros. (Mezcua *et al.* 1983).

Desde 1884, no ha ocurrido ningún terremoto catastrófico en España, si bien existen descripciones históricas detalladas de seis terremotos destructores, de los que tres han sucedido en los últimos 250 años (Lisboa, 1755; Torre Vieja, 1829 y Andalucía de 1884). (Martínez Solares *et al.* 1979, López Arroyo *et al.* 1980, Rodríguez de la Torre, 1984).

Los principales sismos son los que aparecen referenciados en la Tabla I con una estimación de los daños.

Antecedentes de microzonación en España

El sismo de 25 de diciembre de 1884 es, probablemente el primer terremoto observado en España desde el punto de vista de la microzonación. Este sismo fué estudiado por los más prestigiosos sismólogos de la época.

El área de la zona de daño fué de 120 x 70 km² causando más de 750 víctimas y destruyendo más de 15.000 casas. La máxima intensidad epicentral fué de X (MSK) con una magnitud estimada de 6.5.

Como consecuencia del impacto social, político y económico, se nombró una Comisión Real con el fin de dirigir directamente las tareas de reconstrucción, estableciendo reglas y normas técnicas condicionadas por los criterios de zonación sísmica para la ubicación y reconstrucción de las diferentes ciudades dañadas; especialmente a partir de las lecciones aprendidas obtenidas de las distintas respuestas del suelo, la ausencia de cimientos, la calidad de los materiales usados y la ausencia de trabajadores especializados en la construcción.

Para éste estudio se elaboró el primer cuestionario microsísmico español. La reconstrucción de las ciudades se hizo en función de la estabilidad del suelo, topografía, protección contra vientos huracanados, etc.. Posteriormente se hicieron reglas especiales sobre la relación entre la altura de los edificios y la anchura de las calles, lo que era obligatorio si se quería obtener una subvención.

En la Figura 2 (arriba), podemos ver un viejo barrio en Alhama (Granada) y la nueva situación después del terremoto de 25 de diciembre de 1884. En la misma Figura 2 (abajo) vemos el antiguo y el nuevo mapa de Arenas del Rey donde se puede apreciar la distribución de los barrios y la anchura de las calles.

Estudios recientes de microzonación en España

Como consecuencia de la ausencia de terremotos destructores recientes, los estudios llevados a cabo en España en éste sentido han intentado durante mucho tiempo adecuar las lecciones obtenidas de los terremotos históricos a las condiciones actuales y a las ciudades localizadas en zonas de similares características sismotectónicas.

Desde 1969, España cuenta con un mapa de zonación (Munuera, 1969), que está incluido en la Norma Sismorresistente y que ha sido puesto al día recientemente (Figura 3).

En los últimos años, diferentes autores han realizado investigaciones dirigidas hacia la microzonación (Ibargüen, 1986; Martín, 1989, 1990; I.G.N. y Universidad de Granada, 1989; Muñoz y Udías, 1991; Giner *et al.* 1992). Como ejemplo vemos en la Figura 4 el mapa de la ciudad de Málaga con los lugares con daños en el sismo de 9 de octubre de 1680, mostrando con el tamaño de los círculos el número y categoría de los daños en cada distrito, (Muñoz *et al.* 1988).

Con el fin de investigar los efectos locales de sitio en movimientos débiles y fuertes del suelo, el I.G.N. comenzó en la última década la instalación de una red de acelerógrafos distribuidos sobre regiones de alta actividad sísmica, habiendo instalado hasta este momento 35 equipos digitales.

Como consecuencia de la reciente implementación de la red de acelerógrafos y de la moderada sismicidad del país, el número de registros en aceleración es muy pequeño. La Tabla II resume las principales características de los registros existentes hasta ahora.

También en el sentido de caracterización de los efectos de sitio, se han llevado a cabo experimentos con explosiones en canteras con acelerógrafos del I.G.N. en diferentes tipos de suelo y distancias. En la Figura 5 vemos algunos de éstos resultados, con dos acelerogramas, obtenidos en suelo de labor (abajo) y en roca (arriba).

Se han llevado a cabo también en España medidas de ruido en 1986 y en 19 lugares de la ciudad de Granada y zonas próximas con una estación de referencia. Como resultado se pudo obtener el periodo característico para lugar

a partir del análisis espectral de los registros y la relación entre la profundidad del basamento y la máxima amplitud espectral.

Proyecto de microzonación sísmica de Granada (España)

El I.G.N. comenzó un proyecto de tres años de duración con tres objetivos principales: establecimiento de una metodología de trabajo para las condiciones y referencias españolas, comprobar la aplicación práctica y dar difusión a la metodología.

Entendemos la microzonación sísmica como una caracterización de la región de Granada en áreas geográficas donde esperamos que ocurran ciertos efectos como consecuencia de la ocurrencia de un cierto terremoto, incluyendo efectos de sitio y efectos inducidos.

Para éste proyecto hemos seleccionado dos escalas de trabajo: 1:200.000 para la zona mayor de 20.000 km² y 1:25.000 para un área encerrada dentro de la primera con 262 km². La zona seleccionada incluye la ciudad de Granada (265.000 habitantes) y pequeños pueblos alrededor. (Figura 6)

La selección se hizo en función de las especiales circunstancias de la ciudad tales como el tamaño, riesgo sísmico, información disponible, recientes trabajos e importancia histórica; buena instrumentación en el área, la variedad de tipología estructural y el amplio conocimiento de la sismotectónica como resultado de la reciente elaboración del Mapa Sismotectónico de España (I.G.N., 1992).

El I.G.N. es el responsable oficial de la cartografía nacional y durante los últimos años ha desarrollado un sistema de información geográfica (GIS).

El proyecto tiene dos etapas principales: la primera es la recopilación de datos y la segunda es la representación e interrelación de los mismos. Los pasos a seguir son:

1. Recopilación de datos.

1.1. Datos geológicos y geográficos.

- 1.1.1. Captura de datos geológicos básicos.
- 1.1.2. Selección de datos hidrogeológicos.
- 1.1.3. Características tectónicas del área.
- 1.1.4. Definición de la escala de trabajo.
- 1.1.5. Datos geotécnicos.

1.2. Datos sísmicos.

1.2.1. Definición de las fuentes sísmicas.

1.2.2. Peligrosidad sísmica local.

1.2.2.1. Sismicidad histórica.

1.2.2.2. Sismicidad instrumental.

1.2.2.3. Leyes locales de atenuación.

1.2.2.4. Cálculo del riesgo sísmico.

1.3. Datos geográficos.

1.3.1. Selección del software para GIS.

1.3.2. Depuración y codificación de la información.

1.3.3. Adaptación de la topología al sistema GIS.

1.3.4. Conversión digital, codificación y generación de la topología para información no digital.

1.4. Parámetros del movimiento del suelo.

1.4.1. Estudio de métodos lineales y no lineales de transferencia del suelo.

1.4.2. Determinación de las funciones de transferencia locales.

1.4.3. Acelerogramas para diferentes tipos de suelo.

1.5. Aspectos Socio - Económicos. Vulnerabilidad.

1.5.1. Construcciones especiales.

1.5.2. Clasificación de las construcciones.

1.5.3. Densidad de población.

1.5.4. Enlace con la base digital.

2. Representación e interrelación de los datos.

2.1. Transferencia de la base de datos a los ficheros gráficos.

2.2. Selección e implementación del software para la interrelación de los datos.

2.3. Necesidades del potencial usuario.

Estado actual del proyecto

El proyecto se encuentra en una primera fase. Se han obtenido diversos mapas como resultado de la recopilación de datos:

- Mapa digital con la geología básica para las dos áreas a partir de los datos a escala 1:25.000, de la cartografía geológica oficial así como de datos de la

mapas como resultado de la recopilación de datos:

- Mapa digital con la geología básica para las dos áreas a partir de los datos a escala 1:25.000, de la cartografía geológica oficial así como de datos de la Universidad de Granada. A continuación se procedió a caracterizar la zona con granulometría, densidad, etc. (Figura 7).
- Mapa de sismicidad. Este mapa tiene una dudosa utilidad para el área más pequeña a causa de los límites de error en la localización de los epicentros.
- Mapa de altimetría.
- Hidrología con la estructura de drenaje. (Figura 8).
- Mapa de comunicaciones.
- Mapa con el espesor de la capa seca. (Figura 9).

De forma inmediata se dispondrá de mapa de susceptibilidad a la licuefacción y mapa de pendientes para las dos áreas.

De forma paralela se está trabajando en la preparación de los datos para el cálculo del riesgo sísmico, especialmente la homogeneidad de las zonas sismogénicas mediante un sistema interactivo utilizando software de Intergraph. Igualmente, en colaboración con la universidad de Estrasburgo en Francia, tratamos de reconocer posibles nuevos alineamientos mediante el procesado de imágenes de satélite. (Figura 10).

Referencias

Giner, J., L.Casado, C., Peinado, M.A.,(1992). "Seismic microzonation of Torreveja (Southwest of Spain)", en *Papers: 10 WCEE*, Madrid, Sp.

Ibargüen, J.(1986). "Microzonación sísmica de la huerta de Murcia" en *Papers: I Jornadas del estudio del fenómeno sísmico y su incidencia en la evaluación del territorio*, Murcia.

Instituto Geográfico Nacional. (1992). " Análisis Sismotectónico de la Península Ibérica, Baleares y Canarias". Publicación Técnica nº26.

López Arroyo, A., Martín, A.J. y J., Mezcua (1980). "El terremoto de Andalucía. Influencia en sus efectos de las condiciones del terreno y del tipo de construcción". *El terremoto de Andalucía*, Instituto Geográfico Nacional, Madrid, Sp, pp 5-94.

Martinez Solares, J.M., López Arroyo, A. y J. Mezcua.(1979). "Isoseismal map of the 1755 Lisbon earthquake obtained from Spanish data", *Tectonophysics*, nº 53, pp 301-313.

Mezcua, J. and J.M., Martínez Solares (1983). " Sismicidad del área Iberomogrebí", Instituto Geográfico Nacional. Publ. 203, Madrid, pp300.

Mezcua, J., Rueda, J. and J.M. Martínez Solares (1991)." Seismicity of the Ibero - Magrebian region. En *Seismicity, Seismotectonics and Seismic Risk of the Ibero - Magrebian Region*. Ed. Mezcua, J. y A. Udías. instituto Geográfico Nacional. pp 390.

Munuera, J.M. (1969). " El mapa de zonas sísmicas generalizadas de la Península Ibérica", Instituto Geográfico Nacional, Madrid, pp 50.

Muñoz, D. y A. Udías (1988)." Evaluation of damage and source parameters of the Málaga earthquake of 9 October 1680". En *Historical Seismograms and Earthquakes in the World*. Ed. Lec,W.H.K., Meyers, H. y K Shimazaki. Academic Press, inc. pp.513.

Muñoz, D. y A. Udías (1991) " Space-time distribution of large earthquake and seismic zonation in south Spain", *Procc. IV international conference on seismic zonation*, Stanford.

Rodriguez de la Torre, F. (1984). " Los terremotos alicantinos de 1829", Instituto de Estudios Alicantinos. p322.Alicante

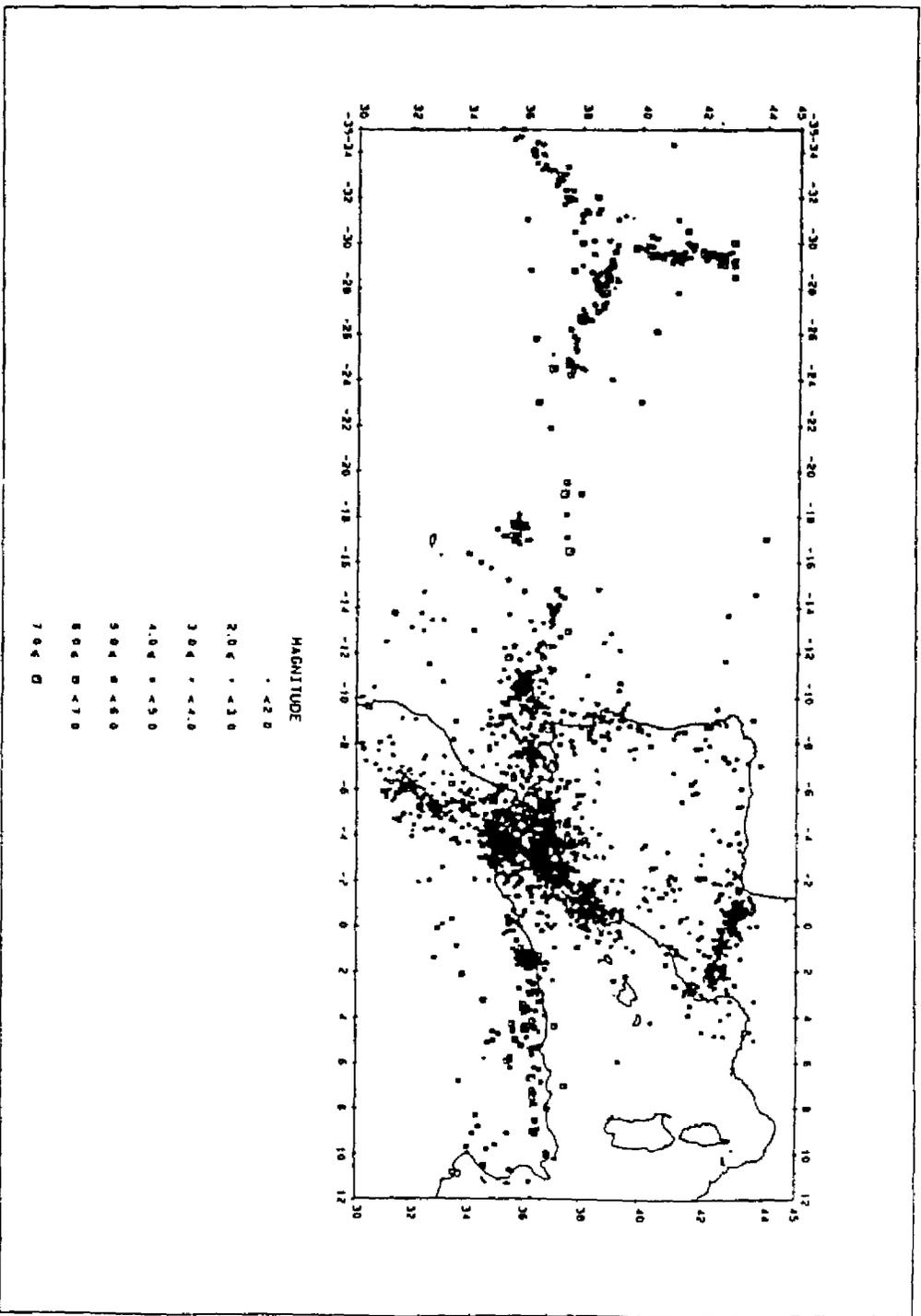


Figura 1. Sismicidad del área Ibero - Mogrebi desde 1920 hasta 1980. (Según Mercua et al. 1993)

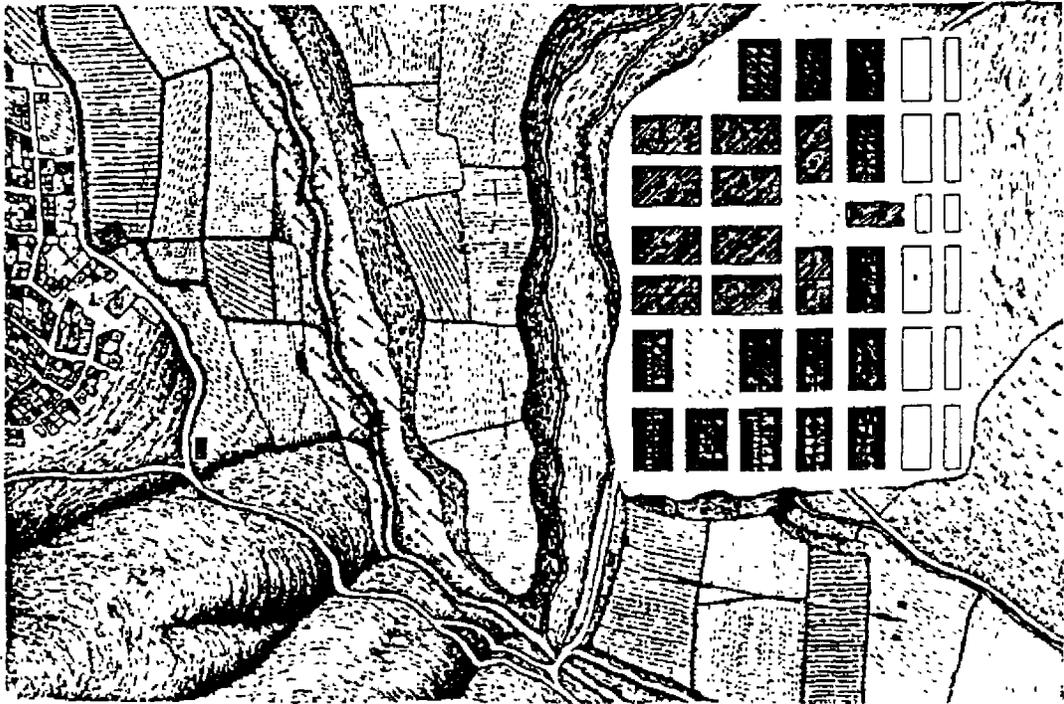
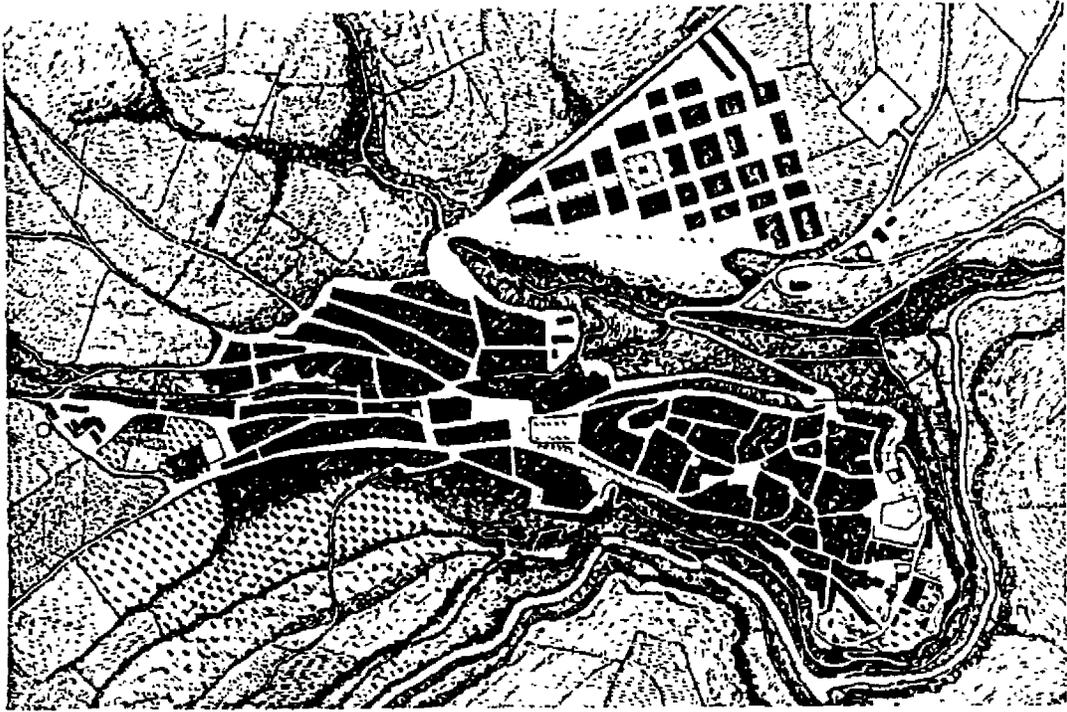


Figura 2 Antigua y nueva ubicación de Alhama de Granada (arriba) y de Arenas del Rey (abajo)

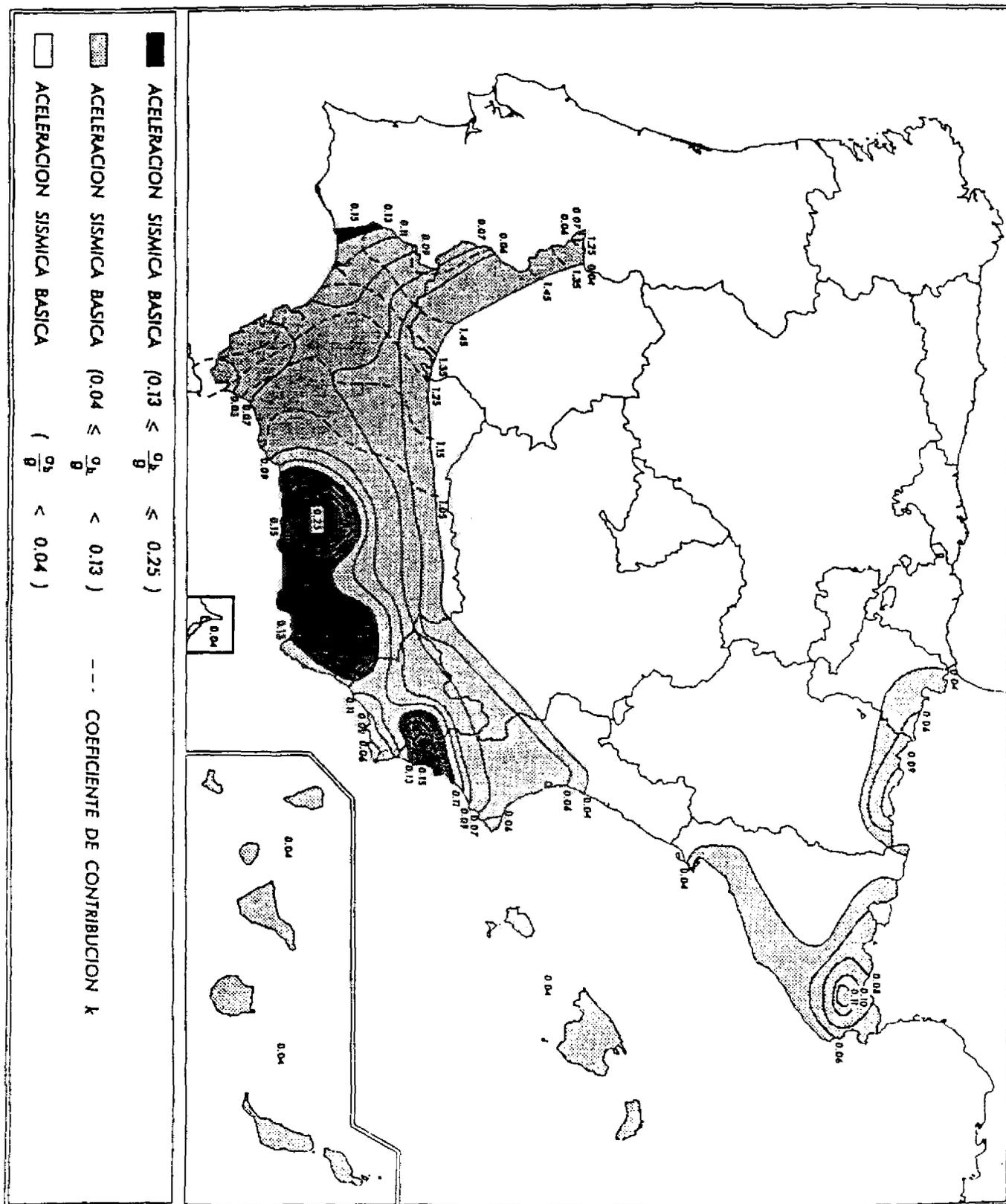


Figura 3. Mapa de peligrosidad para la Norma Sismorresistente española.

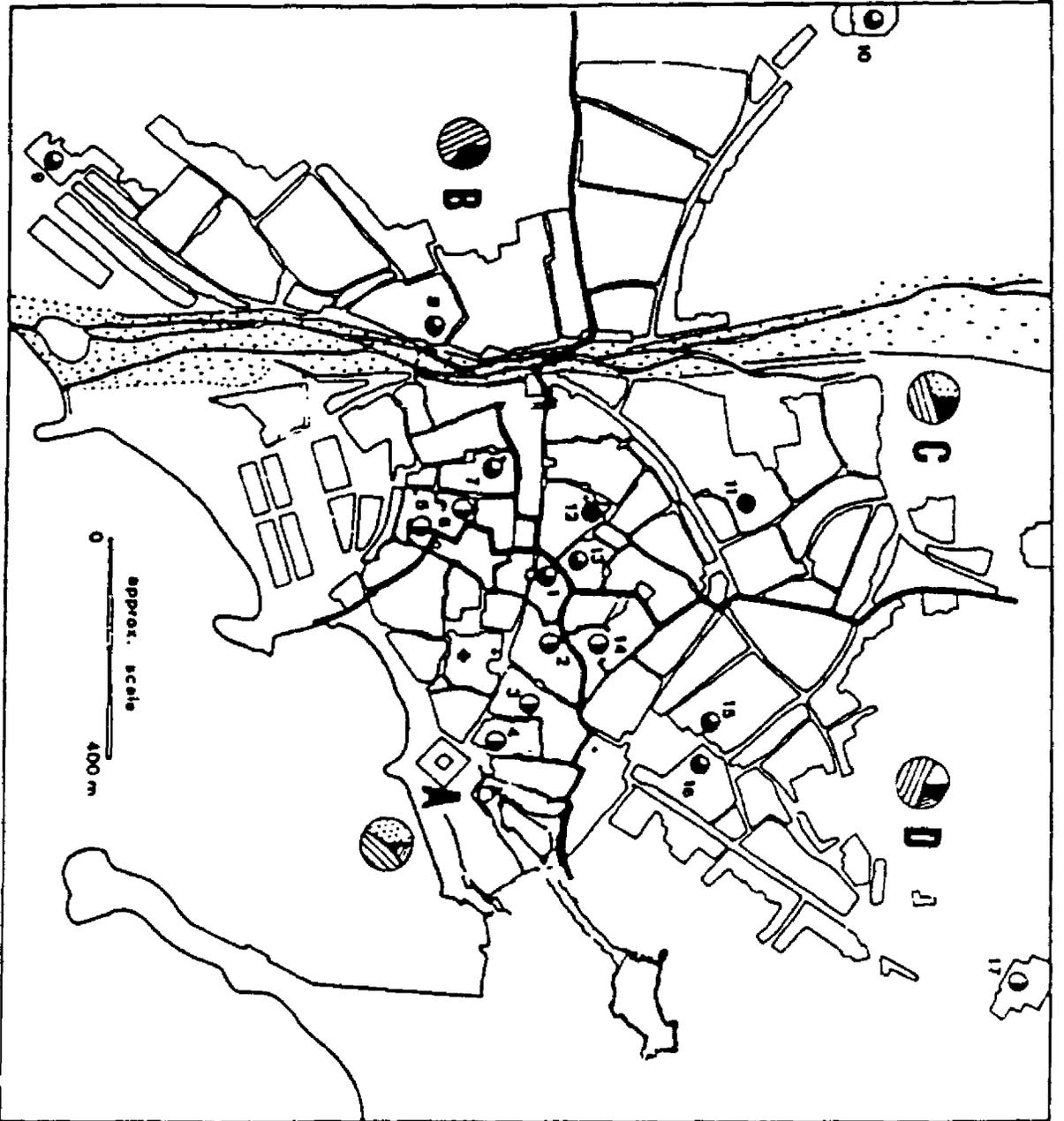


Figura 4. Mapa de zonación de la ciudad de Málaga para el sismo de 9 de octubre de 1680. (Según Muñoz et al. 1991).

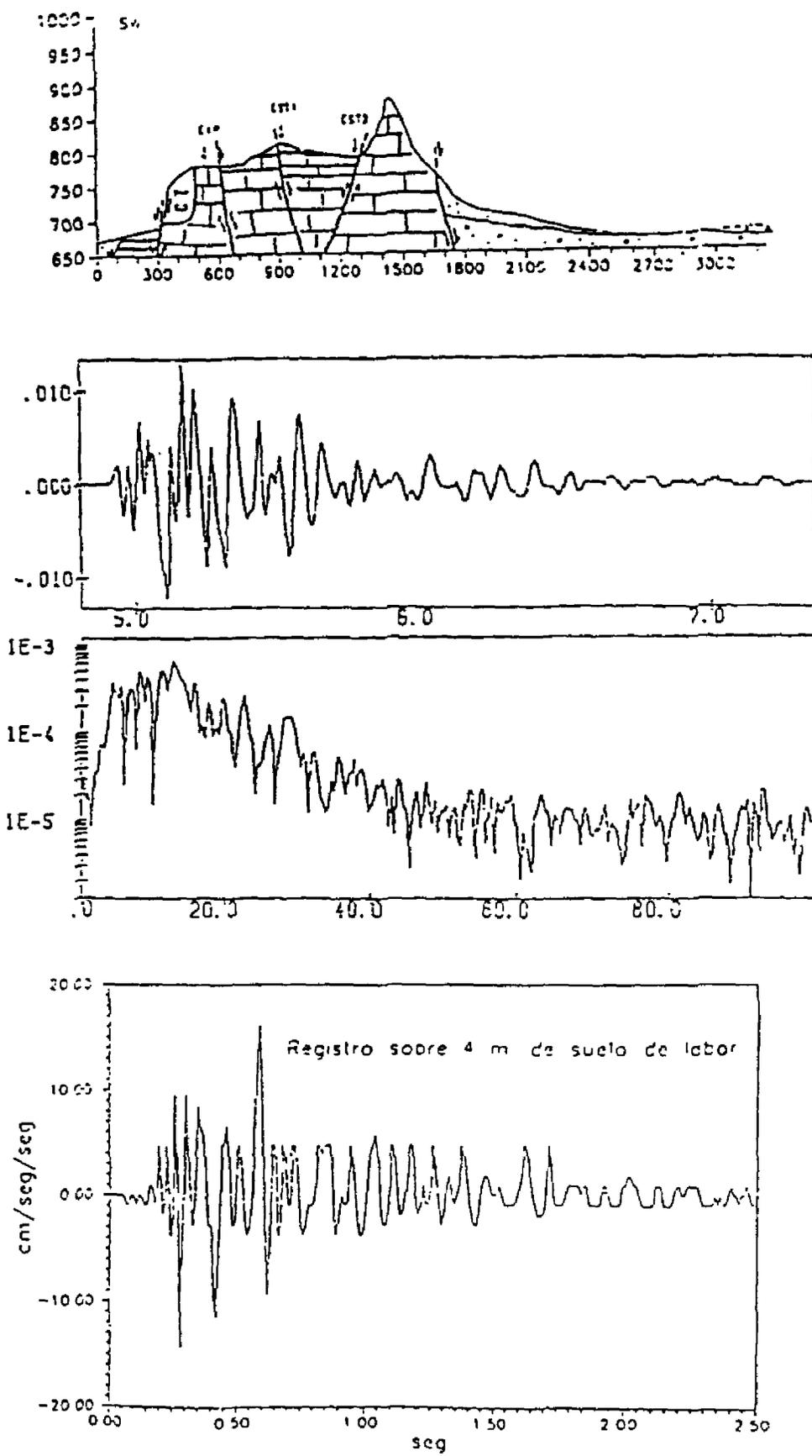


Figura 5. Resultados del experimento realizado en las canteras de Atarfe (Granada) en 1992.

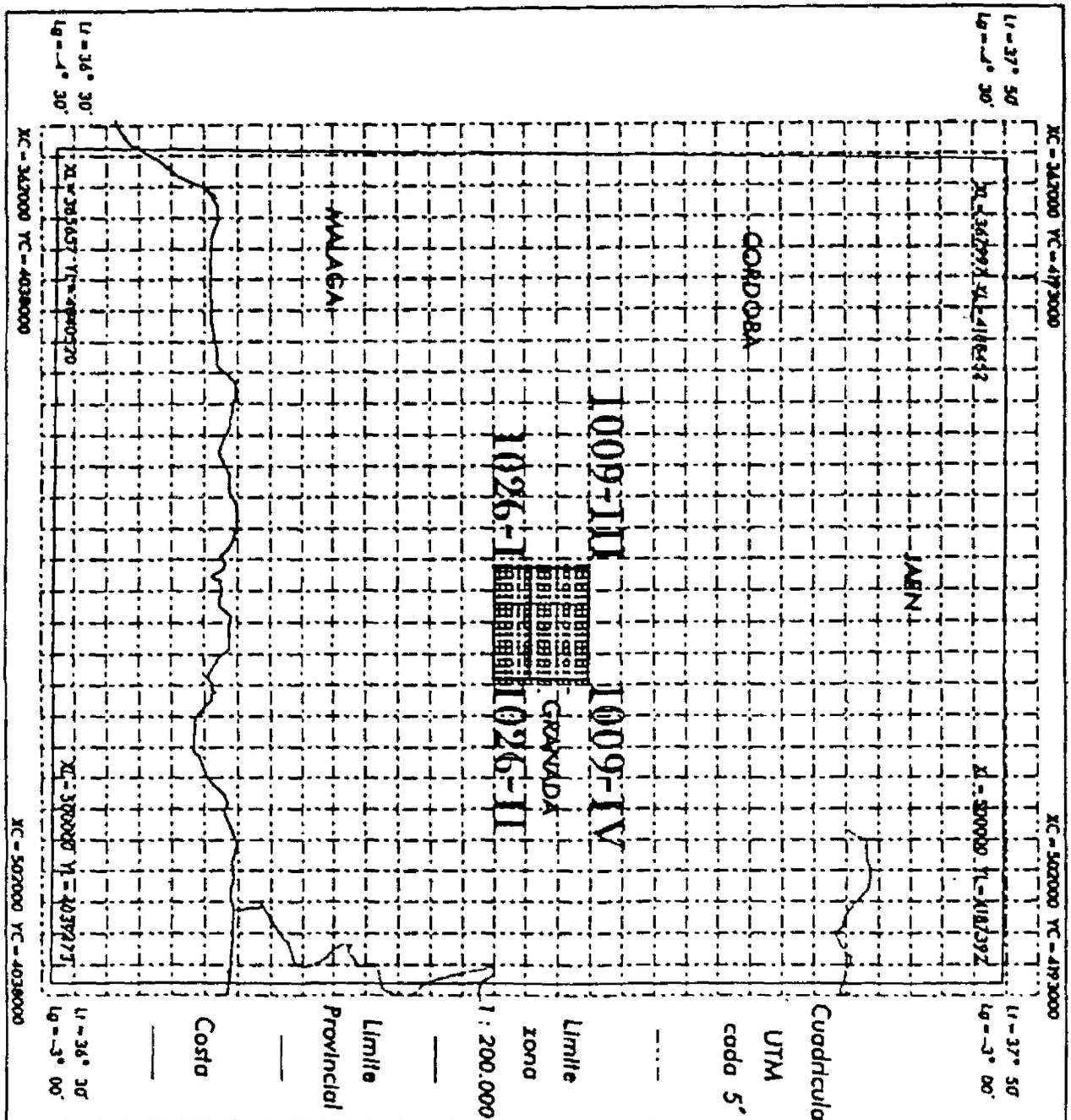


Figura 6. Zonas seleccionadas para el proyecto de microzonación del I.G.N. en Granada.



Figura 7. Mapa digital de geología básica del área de Granada.

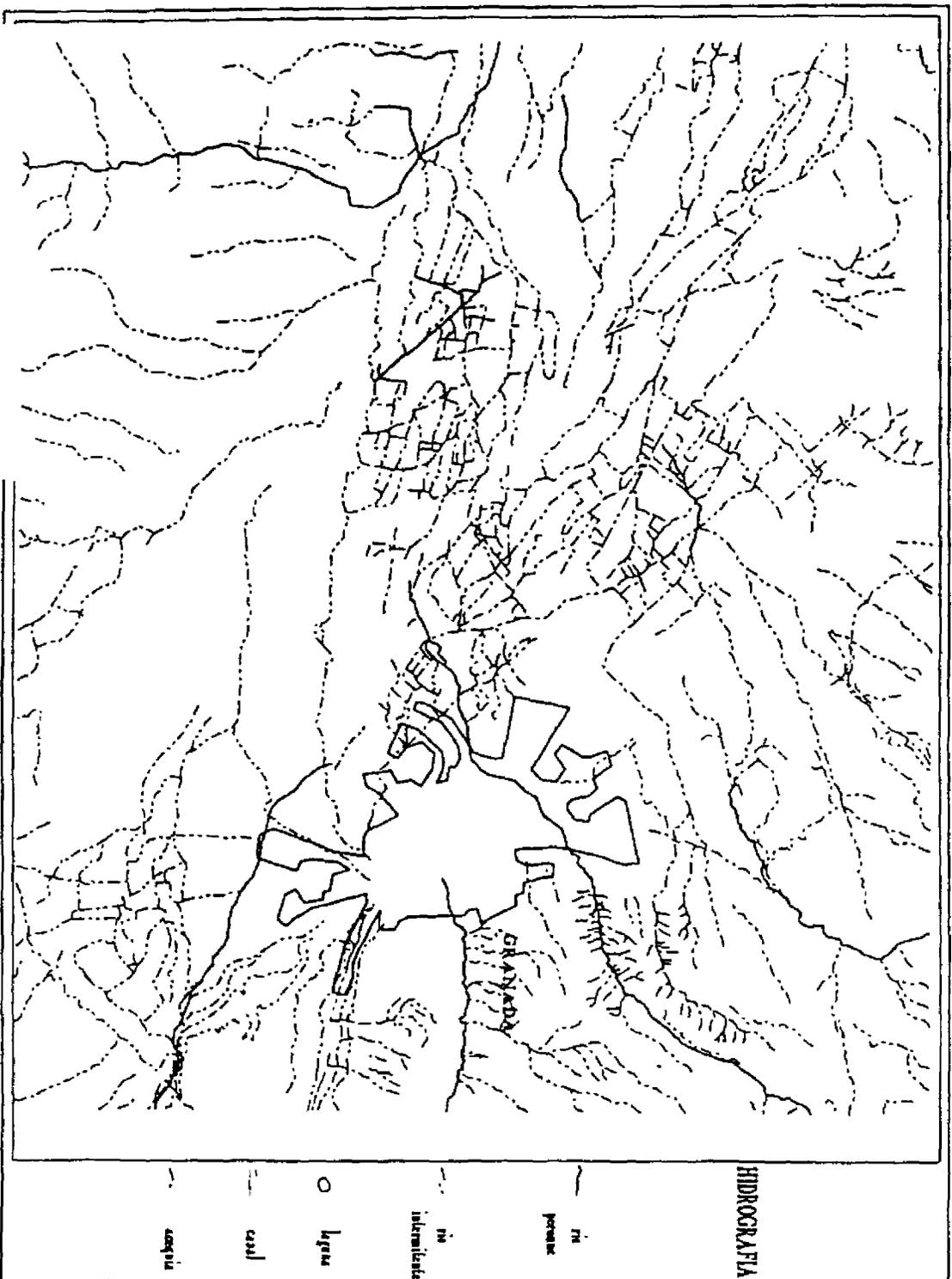


Figura 8. Hidrología con drenaje para el área de Granada.



Figura 9. Espesores de la capa seca para el área de Granada. Los valores más oscuros representan niveles freáticos más próximos a la superficie.

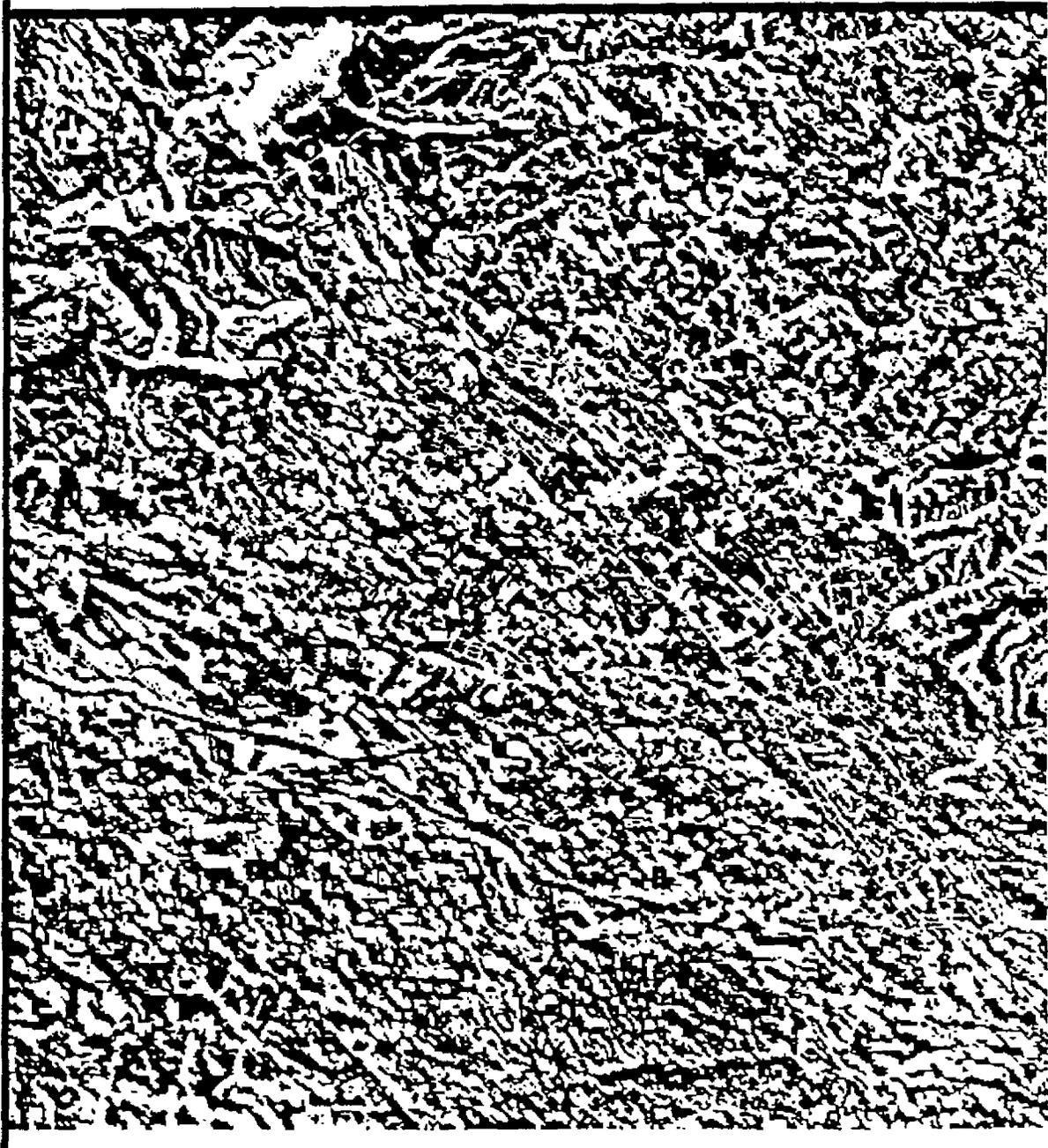


Figura 10. Imagen de satélite tratada, para determinación de alineamientos y fallas del área de Granada.

TABLA I

TERREMOTOS MAS IMPORTANTES EN ESPAÑA

FECHA	LOCALIZACIÓN	EFFECTOS
1396	Tabernes (Valencia)	Destrucción de la ciudad.
1428	Olot (Gerona)	Destrucción de la ciudad.
1504	Carmona (Sevilla)	Muchos edificios caídos.
1518	Vera (Almería)	Destrucción de la ciudad. Hubo de ser reedificada.
1522	Almería	La mayor parte de los edificios sufrieron daños graves y muchos destruidos.
1645	Alcoy (Alicante)	Muchos edificios destruidos. Varios pueblos con daños graves
1680	Malaga	70 muertos. 20% Casas destruidas 30% Casas inhabitables 30% Casas daños graves
1748	Enguera (Valencia)	Muchas casas destruidas. El resto inhabitable.
1755	SW Cabo S. Vicente	Tsunami. 2000 muertos en España Sentido en Europa occidental.
1804	Daliás (Almería)	300 muertos. Numerosos pueblos afectados.
1829	Torre Vieja (Alican)	389 muertos. Torre Vieja destruida.
1884	Arenas del Rey	900 muertos. 4400 casas destruidas. 13000 casas dañadas

TABLA 11

No.	Marc	Record	Level	Compon.
5	Kinematics SMA-2	analog.	0	3
11	Ofiteco ACD-3	digit.	0	3
10	Kinematics SSA-1	digit.	0	3
2	Kinematics SSA-2	digit.	-1	3
1	Kinematics SSA-2	digit.	4	3
22	Kinematics SSA-2	digit.	0	3

Sismo	Registro	Max.acel.s/c. (cm/s ²)	Max.acel.c.	Dist. epic. (km)	Mag. Int.	Nivel
24.VI.84	Anal.	35.0		38	5.0 IV-V	suelo
20.XII.89	Digit.	60.0		17	4.8 VI	suelo
7.XI.90	An+Dig.		15.6	17	4.0 V	
21.III.93	Digit.		5.4	5	2.9 no sent.	4
20.V.93	Digit.		23.9	4	3.0 III	suelo

**AMENAZA SISMICA EN GUATEMALA:
ESTADO DEL CONOCIMIENTO**

E. Molina

**Sección Sismología, INSIVUMEH
Guatemala, octubre 1993.**

RESUMEN:

Las características de la sismicidad y los rasgos tectónicos en la región permiten distinguir tres zonas o fuentes sísmicas en Guatemala: los grandes fallamientos del norte, que definen el límite entre las placas de Norteamérica y Caribe; la zona de subducción entre las placas de Cocos y Caribe a todo lo largo de la costa sur; y la fuente asociada a los fallamientos menores a lo largo del arco volcánico del cuaternario producto de la subducción. Cada una de estas fuentes ha generado sismos destructores.

La necesidad de responder a las exigencias de la construcción y planificación urbana ha motivado los estudios de evaluación de amenaza sísmica, a la fecha existen tres trabajos al respecto, uno de carácter regional (Graces, 1975) y dos a escala nacional (Kiremidjian et. al., 1977 y Monzón, 1984). Estos estudios constituyen la base de la macrozonificación sísmica para el país.

En lo que a microzonificación se refiere, existen dos intentos para reconocer las condiciones locales (escala 1:50,000) en el Valle de la Ciudad de Guatemala. En uno se hace una clasificación de suelos en base al espesor y tipo de los depósitos de relleno (H. Monzón y E. Molina, 1988), el otro modela la amenaza por deslizamientos tomando en cuenta la topografía, geología, clima y fenómenos de disparo (como temblores) (Sección de Hidrología Aplicada, INSIVUMEH, 1992).

El futuro de los estudios sobre amenaza sísmica y microzonificación dependerán de lo que se haga dentro de los proyectos que están en marcha. Estos son: "Reducción de Desastres Naturales en América Central", financiado por los gobiernos de Suecia y Noruega; y el de "Normas de Construcción", el cual está siendo impulsado por el INSIVUMEH.