

**SISTEMA NACIONAL PARA LA PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE DESASTRES  
SOCIEDAD COLOMBIANA DE INGENIEROS**

**SEMINARIO**

**DESASTRES SISMICOS EN GRANDES CIUDADES  
"Enseñanzas en Mitigación y Operativos de Emergencia"**

**PROYECTO INTEGRAL PARA LA MITIGACION DEL RIESGO SISMICO  
DE CALI**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE  
Hansjürgen Meyer  
Facultad de Ingeniería  
Observatorio Sismológico  
del Sur-Occidente-OSSO  
Director  
Cali-Colombia**

## PROYECTO INTEGRAL PARA LA MITIGACION DEL RIESGO SISMICO DE CALI

Relator: Hansjürgen Meyer<sup>(1)</sup>  
Participantes: Hansjürgen Meyer<sup>(1)</sup>, Andrés A. Velásquez<sup>(1)</sup>, Samir González<sup>(1)</sup>,  
Jorge A. Mejía<sup>(1)</sup>, José A. Jaramillo<sup>(1)</sup>, Gustavo A. Londoño<sup>(1)</sup>,  
Harold Cárdenas<sup>(1)</sup>, Germán Villafañe<sup>(1)</sup>, Miguel Charry<sup>(2)</sup>,  
Hipólito Galvis<sup>(3)</sup>, Oscar Latorre<sup>(4)</sup>, Octavio Mesa<sup>(4)</sup>, Omar Darío  
Cardona<sup>(5)</sup>, Jorge E. Hurtado<sup>(6)</sup>, Julio Kuroiwa<sup>(6)</sup>, José Grases<sup>(6)</sup>

- (1): Universidad del Valle - Facultad de Ingeniería
- (2): Universidad del Valle - Facultad de Arquitectura
- (3): Corporación Autónoma Regional del Cauca - CVC
- (4): Asociación de Ingenieros Estructurales del Valle
- (5): Oficina Nacional de Prevención y Atención de Desastres,  
Presidencia de la República
- (6): UNDRR

### INTRODUCCION

La ciudad de Cali, cuya población se está aproximando a los dos millones, está ubicada en la región de mayor amenaza sísmica de Colombia y necesita medidas específicas y amplias para la mitigación del riesgo.

El siguiente es el relato de un proyecto que aún está en pleno desarrollo y que aspira a abarcar todas las acciones necesarias para reducir el riesgo sísmico en la ciudad de Cali, desde la evaluación de la amenaza hasta el diseño de medidas para reducir la vulnerabilidad de vidas, bienes y servicios. También es el relato de un proyecto de gran cobertura en cuanto a participación y aportes, no hubiera sido posible sin el consenso, la capacidad y los esfuerzos de muchas personas e instituciones.

El término 'integral' se ha entendido entonces en dos sentidos en este proyecto: por un lado, la integración de objetivos que, si bien todos son del amplio tema de la prevención de desastres sísmicos, demandan competencias muy diversas y frecuentemente tienen su marco contractual individual; por otro lado la acción mancomunada de personas y organismos que cubren una amplia gama de funciones y actividades.

El objetivo general de este proyecto es obviamente de carácter social, se cumple a través de objetivos parciales de carácter científico, técnico y administrativo.

Desde sus inicios, en 1983, los alcances de este proyecto se han ampliado sucesivamente. En su primera fase cubría aspectos de amenaza y planes de prevención y contingencia, principalmente. Luego se extendió también a la reducción del riesgo actual.

Desde el primer momento, el trabajo científico y técnico se realizó en interacción con la administración municipal y, desde 1986, con participación directa del 'Comité Operativo de Emergencias'. Muchos de los resultados parciales del proyecto se han aplicado, tales como los planes de contingencia y la delimitación de zonas de riesgo geológico.

Nuestro proyecto se enmarca y explica en la tradición de una ciudad que hace más de 30 años tuvo su primera edificación con diseño sismo-resistente, que hace más de 12 años creó el primer comité operativo de emergencia municipal de Colombia, que hace 21 años realizó su primer mapa geológico urbano y que, en general, no se ha limitado a atender sólo sus problemas evidentes, inmediatos y muy recurrentes.

## LA CIUDAD Y SU ENTORNO

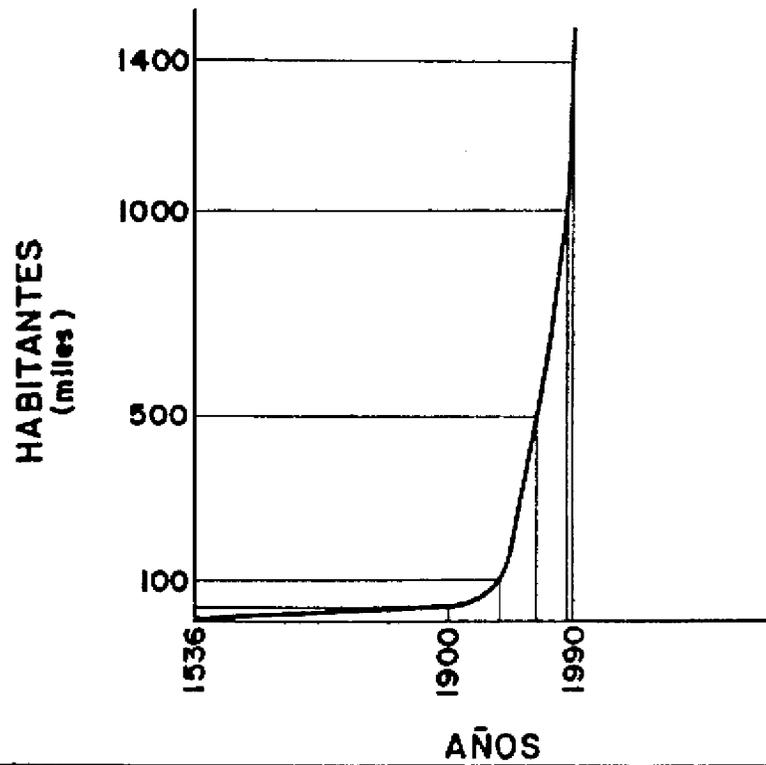
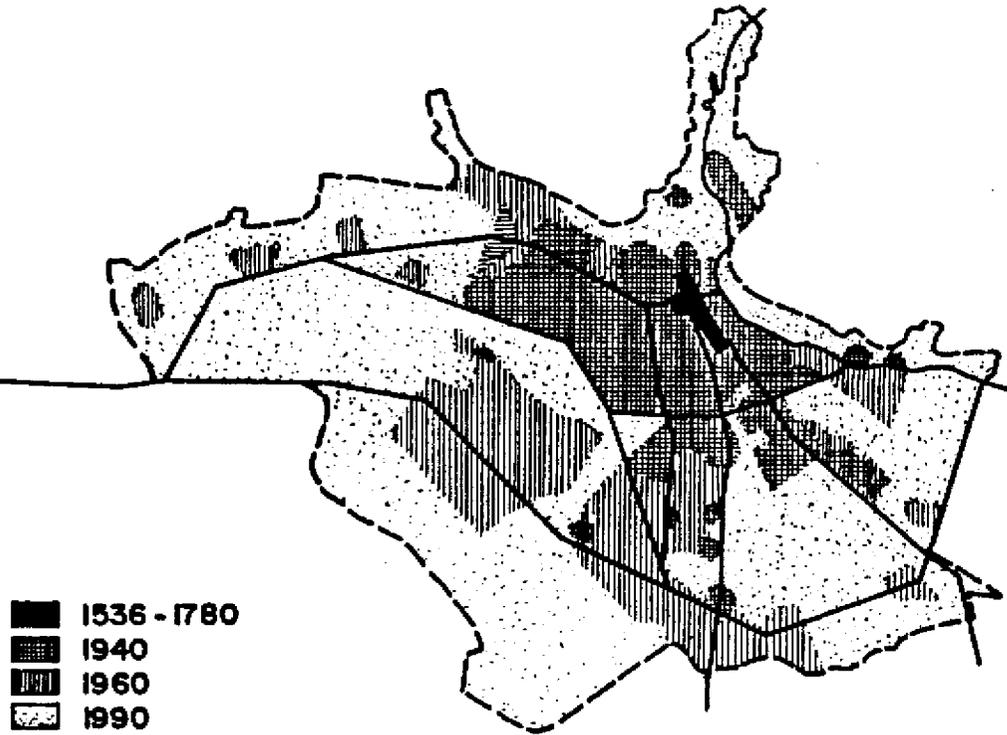
Cali es una ciudad que despertó tarde al desarrollo. Fundada hace 454 años, ha pasado desapercibida la mayor parte de su historia, al lado de otras ciudades del suroccidente de Colombia. Hace poco más de medio siglo, ligado primordialmente al avance de la agroindustria y al cruce de grandes rutas del flujo de viajeros y mercancías, empezó a crecer vertiginosamente, hasta llegar a la ciudad actual, cuyo número de habitantes se está acercando a los dos millones (Fig. 1), con una de las tasas de crecimiento urbano más altas de Latinoamérica. Ha vivido la mayoría de los desastres sísmicos siendo aún una pequeña aldea, y en la memoria colectiva sólo se encuentra uno que otro terremoto asustador y algunos daños menores.

Sin embargo, Cali está ubicada geológicamente en una franja de compresión con todos los fenómenos violentos que le son típicos, aquella generada por la convergencia de las placas tectónicas de Nazca y Suramérica, situación que también se refleja en el mapa de amenaza sísmica del país, el cual señala a todo el occidente como zona de alto riesgo sísmico (García et al., 1984). Las fuentes sísmicas que la pueden afectar son varias y de muy diversas características en cuanto a distancia, profundidad, potenciales magnitudes y recurrencia, desde las fallas locales superficiales, aún poco conocidas en su comportamiento, hasta fuentes con demostrado potencial de magnitudes extremas, a pocos centenares de kilómetros de distancia. Por otro lado, la pronunciada topografía y el clima tropical han estado creando condiciones geológicas superficiales que favorecen la modificación de las ondas sísmicas y la generación de fenómenos de segundo orden (deslizamientos, licuefacción, etc.).

Principalmente en las últimas décadas, la ciudad que a comienzos del presente siglo sólo abarcaba terrenos con suelos firmes, se ha extendido a terrenos que incluyen casi toda la gama de posibilidades en cuanto al comportamiento dinámico y potencial de efectos de segundo orden, desde los muy recientes depósitos de arena en las áreas ribereñas del río Cauca y de sus afluentes, hasta las colinas del W, con extensas áreas rocosas pero también en gran parte laderas inestables por su cobertura con suelos tropicales

La ciudad tuvo sus primeras edificaciones con estructura de concreto reforzado hace menos de 70 años. La construcción en altura empezó a extenderse en los años 50, hoy en día es una mezcla de todos los tipos estructurales, estilos arquitectónicos, materiales de construcción, antigüedades y calidades

# CALI - CRECIMIENTO URBANO



## EVOLUCION DEL PROYECTO

Como características básicas de este proyecto integral, cuyos orígenes están íntimamente ligados con la sensibilización que generaron a todo nivel desastres cercanos como el del N del Valle del Cauca / Antiguo Caldas en 1979 y el de Popayán en 1983, podemos mencionar la progresiva convergencia cooperativa de un gran número de personas, instituciones y organismos, la integración entre sectores técnico-científicos y político-administrativos, el aprovechamiento y orientación de diversos proyectos y actividades a los objetivos de éste, la sucesiva ampliación de los alcances, el énfasis en resultados parciales aplicables y el aprovechamiento óptimo de recursos locales.

Si bien en muchos aspectos críticos, como fueron las primeras etapas de instrumentación y asesorías especializadas, se contó con el apoyo de instituciones internacionales y de otros países, en ningún momento faltó el mayor empeño por resolver las necesidades del proyecto con recursos locales.

Este proyecto empezó a tomar forma a finales del año 1983. En aquella época la ciudad adoptó como obligatoria para el territorio municipal - incluso adelantándose a la legislación nacional por un año - la norma sismo-resistente propuesta por la 'Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica', la misma que luego se convertiría en el Código de Construcción Sismo-Resistente - CCCSR-84, el Decreto Ley #1400 de 1984. Simultáneamente el Departamento de Planeación Municipal promovía la realización de un estudio de riesgo sísmico para la ciudad (Meyer, 1984), iniciado en 1985 con participación de la Universidad del Valle (dirección técnica) y de la Corporación Autónoma Regional del Cauca - CVC, y COLCIENCIAS aprobaba a la Universidad del Valle un proyecto para realizar observación e investigación sísmológica en el SW del país (Meyer, 1989). A éste programa se unieron luego, en un convenio de cooperación (1987-1991), el Cuerpo Suizo de Socorro, el Servicio Sísmológico Suizo, la Universidad de Ginebra, la CVC y el servicio geológico nacional, Ingeominas

Otro paso muy importante fué la vinculación del Comité Operativo de Emergencias del Municipio, el cual en 1986 conformó el 'Comité Interinstitucional de Evaluación de Riesgos en Cali - CIERCALI', abriéndose así un nuevo compás en este cuerpo coordinador, hasta entonces centrado en la atención de emergencias y desastres, iniciando la promoción de medidas preventivas para la reducción de desastres como nueva política, cuya primera expresión fué el 'Atlas de Amenazas Naturales y Artificiales para Cali' (Velásquez, 1987) y la elaboración del 'Plan General para la Atención de Emergencias en Cali' (Galarza, 1989).

También fué un avance en la evolución del proyecto, como manifestación de cambios hacia una actitud más preventiva en su política frente a riesgos naturales, que a partir de 1987 el Gobierno Municipal iniciara el apoyo continuado al OSSO, con asignaciones anuales en el presupuesto del Fondo de Vigilancia y Seguridad - VISECALI, en el marco de una nueva política, la 'Seguridad Integral'.

En 1988 la historia del proyecto - hasta entonces dedicado a precisar el conocimiento local y regional de la amenaza y a acciones preventivas en el marco del 'Comité Operativo de Emergencias', tales como la elaboración de un plan general para la prevención y atención de emergencias - verdaderamente se parte en dos, al iniciarse un programa orientado en primera línea a la evaluación y reducción del riesgo sísmico de los elementos existentes y expuestos, ó sea la ciudad actual. Como uno de los temas del programa

'Mitigación de Riesgos en Colombia', éste proyecto, el 'Estudio Piloto de Vulnerabilidad Sísmica para Cali', coordinado por la Oficina Nacional para la Prevención y Atención de Desastres (Presidencia de la República) y UNDRR y cofinanciado por el Gobierno Canadiense (ACDI), no sólo complementa diversas actividades de la evaluación de amenazas y acciones de mitigación, sino que también, y ante todo, se enfoca a estudiar los niveles de riesgo actuales y a diseñar medidas para su control, mediante análisis de vulnerabilidad, elaboración de escenarios de terremotos y el planeamiento del refuerzo de edificaciones. Con estos auspicios y por el carácter piloto de la nueva componente del proyecto, este se vincula directamente con el 'Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres'

Con el proceso descrito se llegó a un conjunto de actividades en las cuales participan e interactúan directamente los más diversos sectores, técnico-científicos, organismos de prevención, organizaciones gremiales, autoridades civiles, los medios de comunicación y por supuesto la comunidad

## ENFOQUE Y METODOLOGIA GENERAL

Evidentemente, la estructura general del proyecto no difiere de lo que es ya habitual en la reducción del riesgo sísmico en grandes ciudades. En el siguiente esquema se pueden apreciar las tres grandes áreas de actividad, relacionadas con el conocimiento del peligro natural como tal, con la evaluación de los elementos expuestos y vulnerables y la determinación del riesgo, y finalmente con el diseño de las diferentes medidas que se deben tomar para lograr la adecuada percepción del riesgo y la conciencia y conocimiento de las medidas individuales y colectivas apropiadas, para reducir la exposición y vulnerabilidad de vidas y bienes y para aumentar el nivel de preparación para la atención de futuros terremotos

### ESTRUCTURA DEL PROYECTO INTEGRAL

#### I) EVALUACION DE LAS AMENAZAS

- a) Evaluación de fuentes sísmicas (instrumental, histórica geológica)
- b) Revisión del catálogo sísmico
- c) Predicción de recurrencias
- d) Relaciones de atenuación
- e) Microzonificación sísmica
- f) Microzonificación de efectos inducidos (deslizamientos, licuación, etc.)
- g) Revisión de los parámetros de diseño

#### II) EVALUACION DE VULNERABILIDAD Y RIESGO

- a) Inventario y clasificación de elementos expuestos
- b) Selección y ajuste de métodos
- c) Evaluación de vulnerabilidades
- d) Elaboración de escenarios
- e) Evaluación del riesgo sísmico

#### III) MITIGACION Y PREPARACION

- a) Elaboración y actualización de planes (prevención, contingencia y emergencia)
- b) Programas de capacitación, educación e información pública
- c) Planeamiento de la reducción de vulnerabilidades (reforzamiento, cambio de uso, etc.)
- d) Planeamiento del desarrollo urbano en función del riesgo

Para muchas de estas acciones se han propuesto diversas técnicas y métodos. La selección de la metodología apropiada se ha hecho en éste proyecto generalmente con base en criterios de disponibilidad de recursos y necesidad de resolución, por ejemplo al favorecer por ahora en la microzonificación las medidas directas en superficie (observación de microvibraciones), en vez de dispendiosas técnicas de evaluación en subsuelo (perforaciones, sondeos, exploración geofísica, modelaje). Sin perder de la mira la finalidad del proyecto integral y manteniendo el rigor, se tuvo desde el principio como primera prioridad obtener resultados parciales aplicables. La secuencialidad y alto nivel de tecnificación, que es normal en los estudios de microzonificación actuales, aquí fueron dejados en segundo plano, ante la necesidad de iniciar las actividades cuanto antes y sin opciones a recursos voluminosos. Se podría decir que parte de la filosofía fué lograr, aún con escasos recursos, algunos avances que pudieran establecer una credibilidad y ayudar a crear opciones a recursos de mayor alcance.

En todo momento se trató de aprovechar al máximo la información disponible en muchos organismos, tales como los datos sobre características demográficas y físicas de la ciudad que ha generado Planeación Municipal, los estudios urbanísticos realizados en la Facultad de Arquitectura de UNIVALLE, el archivo de sondeos y perforaciones de la Corporación Autónoma Regional y de UNIVALLE, los mapas geológicos del Municipio y del Departamento y la información sobre aspectos de vulnerabilidad y riesgo acopiada por el Cuerpo de Bomberos Voluntarios.

En la determinación de prioridades también se consideraron factores como la duración mínima de cada actividad, los recursos necesarios y su mayor ó menor condicionamiento de otras actividades.

Finalmente, siempre se tuvo en cuenta que dentro de esta problemática ninguna medida individual y aislada puede surtir efecto.

## ACTIVIDADES EN CURSO

A continuación se describe, en síntesis, lo que se ha logrado avanzar en las diversas actividades arriba mencionadas y las experiencias generalizables que se han podido hacer.

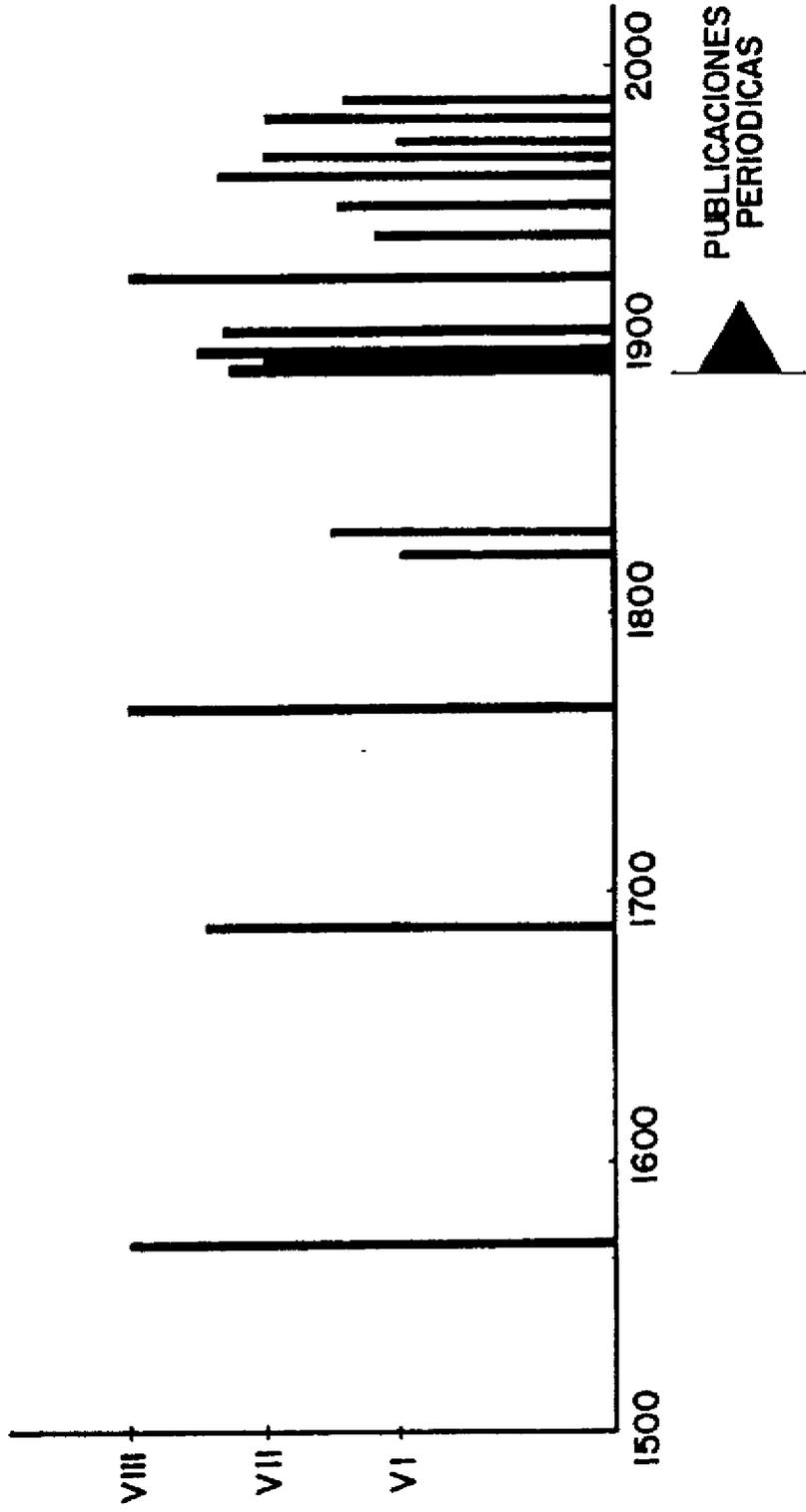
### 1) EVALUACION DE AMENAZAS

La evaluación completa de la amenaza demanda el estudio de las fuentes, es decir de la distribución de la actividad sísmica en el tiempo y en el espacio y sus probables magnitudes máximas, el estudio de la atenuación de la energía sísmica en sus trayectorias al sitio y la evaluación de las modificaciones que sufrirían las vibraciones sísmicas por causa de las condiciones geológicas y topográficas locales del sitio de riesgo. Este último es el que generalmente se denomina 'microzonificación'.

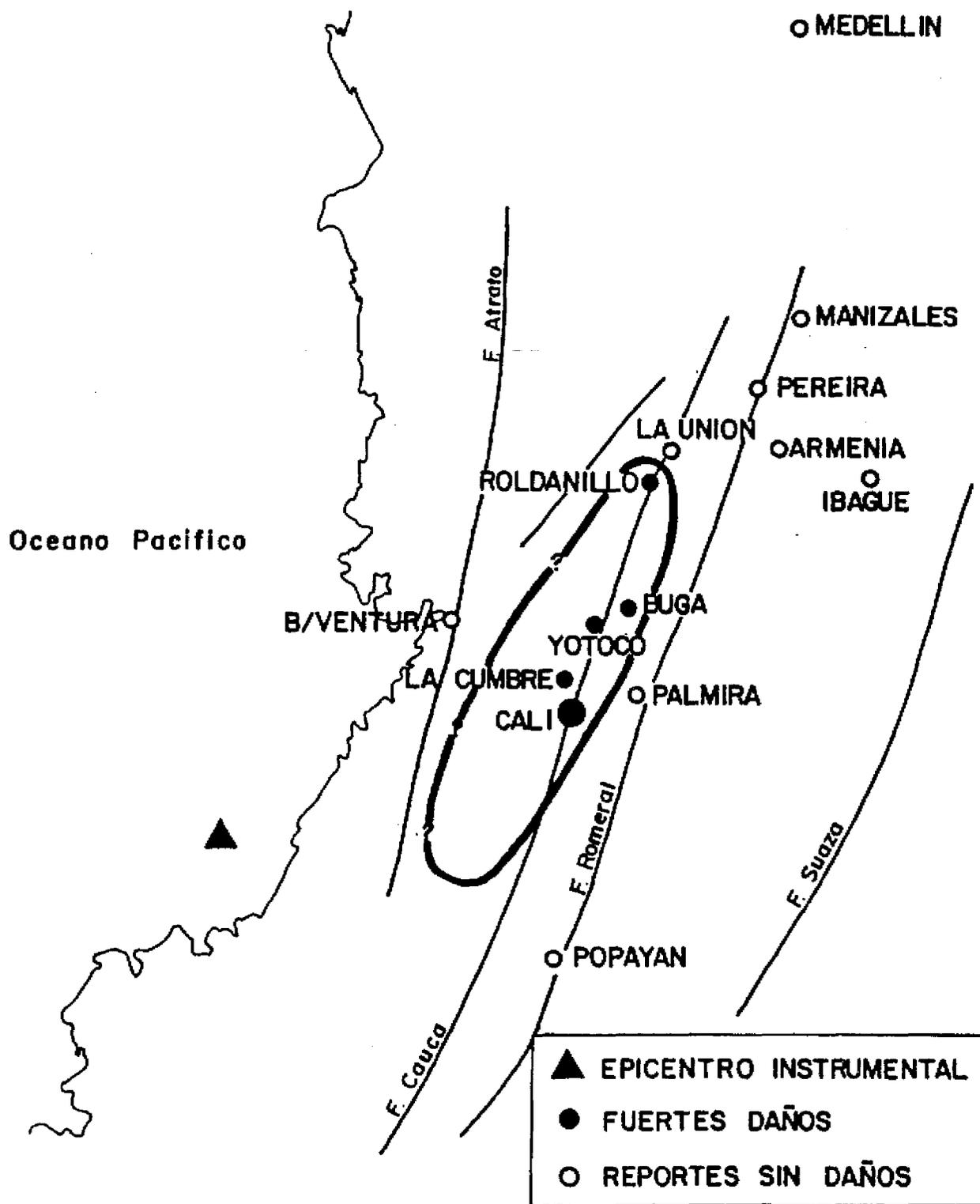
La primera parte, el estudio de las fuentes, conduce en primera instancia a la elaboración del 'catálogo sísmico'. Ante todo por la imposibilidad práctica de determinar el potencial sísmico a partir de sus manifestaciones precursoras, es necesario abarcar en éste catálogo un periodo de tiempo lo más largo posible, con cuya extrapolación se obtiene

# INTENSIDADES

CALI 1.566 - 1.990



# RELOCALIZACION DEL TERREMOTO DE JUNIO DE 1.925



luego la probable recurrencia de los eventos sísmicos. Por ésto se trata de incluir toda la información posible, mediante estudio geológico de fallas, búsqueda de registros históricos y detallada observación y análisis instrumental.

La parte histórica del catálogo que se está complementando tiene todas las deficiencias imaginables y seguirá teniendo muchas. Esta información es poco uniforme y como en cualquier región latinoamericana sólo abarca algo más de cuatro siglos y medio (Fig. 2). Es escasa en los largos períodos de despoblamiento y depresión socioeconómica, los siglos XVII y XVIII, en las épocas de las luchas de liberación y consolidación nacional, así como por la destrucción de muchos archivos y la linealidad que históricamente ha tenido la distribución demográfica en el SW. Aún así ya nos permite concluir que han ocurrido terremotos cuyo efecto sobre la ciudad actual podría ser catastrófico. El primer terremoto lo sufrió la ciudad 23 años después de su fundación; aquel evento sólo dejó en pie las chozas de paja, según el cronista. En 1766 - la ciudad no tenía más de 5.000 habitantes - ocurrió un terremoto que afectó a Cali y poblaciones cercanas. La Corona Española tuvo que intervenir con auxilios para reconstruir siquiera los edificios públicos más importantes.

En 1925 ocurrió un terremoto fuerte que también, después de las evaluaciones históricas realizadas en el OSSO, presenta todas las evidencias macrosísmicas de una fuente superficial y cercana (Fig. 3). Este es un ejemplo de lo que es posible con el método del análisis histórico, aún para épocas en las cuales ya funcionaba la localización instrumental de sismos. El terremoto, que había sido localizado por cálculo epicentral (Catálogo Gutenberg-Richter) en el Océano Pacífico y por el catálogo colombiano (Ramírez, 1974) en el extremo oriente del país, causó muchos daños en Cali y poblaciones vecinas.

Actualmente y también con apoyo del programa 'Mitigación de Riesgos en Colombia' (ONAD/UNDRO/ACDI), un investigador del Observatorio (Velásquez, 1990) está ampliando estos análisis de fuentes históricas al 'Archivo General de Indias' (Sevilla, España).

La evaluación geológica de fallas activas, en otras regiones una componente central de los estudios de amenazas, aquí se ha dejado por ahora en un segundo plano, exceptuando el análisis de aquellas más locales. Estudios anteriores, realizados para la Corporación Autónoma Regional en los sistemas de fallas más importantes del Departamento, no han presentado evidencias de movimientos sísmicos superficiales recientes. Por otro lado, los estudios sismológicos históricos e instrumentales han mostrado que las diversas fuentes sísmicas de profundidad intermedia y sin ruptura superficial son tanto o más amenazantes para la ciudad.

En la Fig. 4 hemos sintetizado sobre un mapa epicentral de la red regional las principales zonas generadoras de terremotos que son importantes para Cali, así como el año de ocurrencia y la intensidad que generaron en la ciudad los sismos mayores en cada una. Se distingue, en el SW (# 1), la franja de subducción del Pacífico, con potencial de magnitudes extremas, como la del terremoto de 1906, la tercera mayor en este siglo a nivel mundial. Su amenaza es de creciente importancia para Cali, donde cada día hay más edificaciones que pueden ser afectadas por las vibraciones fuertes, lentas y prolongadas que aquí generan sus eventos. Hacia el N (# 5) se localiza una vasta región con fuerte actividad sísmica a profundidades entre 80 y 120 km, en la llamada 'zona de Wadati-Benioff'. Esta fuente ha generado en promedio por década un evento con intensidades que pasan de VI en Cali. En el centro (# 4, 6) están las fuentes de sismos superficiales de los

6 N

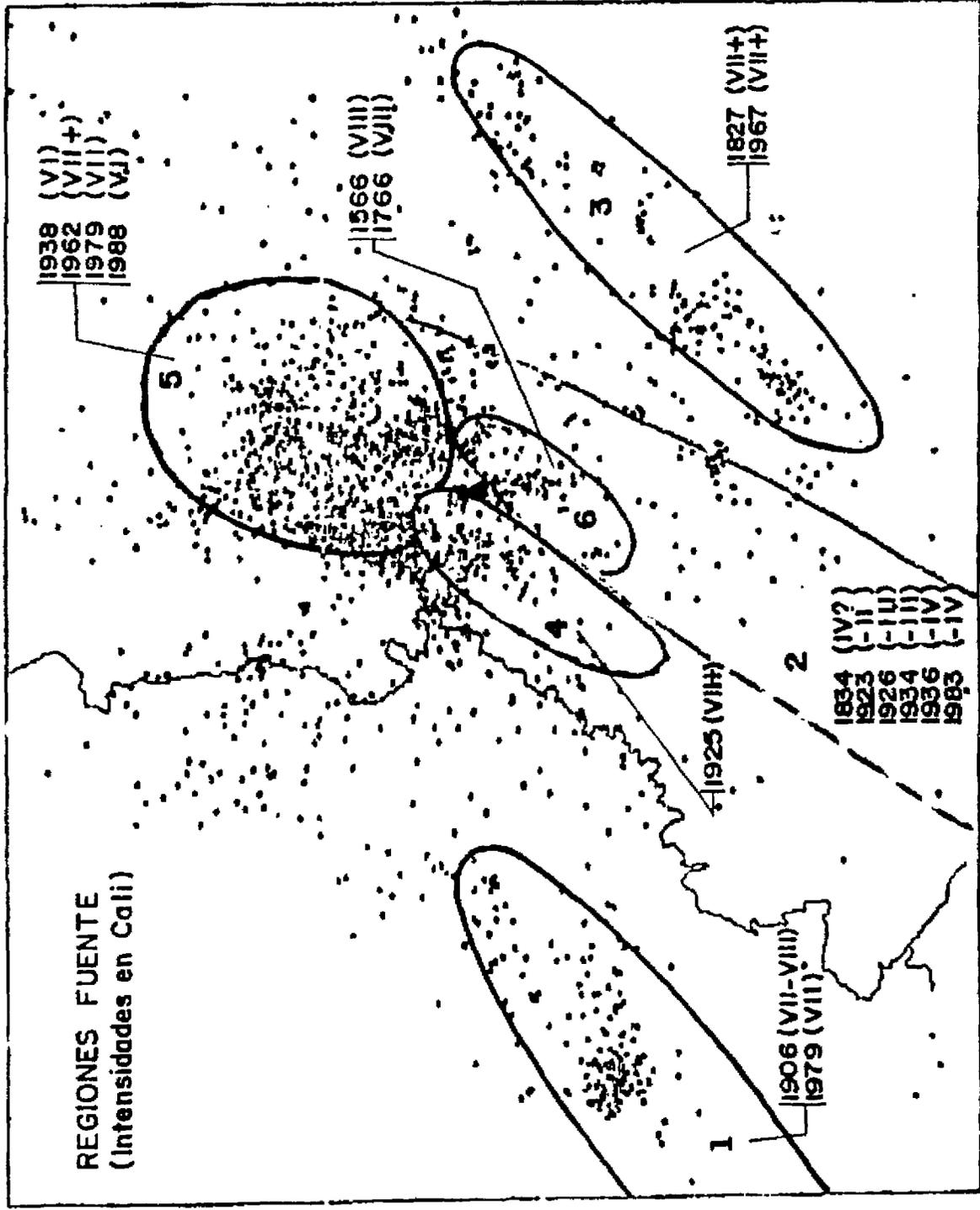
5 N

4 N

3 N

2 N

1 N



80 W 79 W 78 W 77 W 76 W 75 W 74 W

sistemas de falla Cauca y Romeral, este último fué causa, por ejemplo, del sismo que semidestruyó a la cercana ciudad de Popayán en 1983 y cuyo potencial para Cali han revelado hasta ahora sobre todo los estudios históricos. En el SE de la región se localizan otras de las fuentes de gran peligro sísmico (# 2, 3), las fallas continentales entre las cordilleras Central y Oriental.

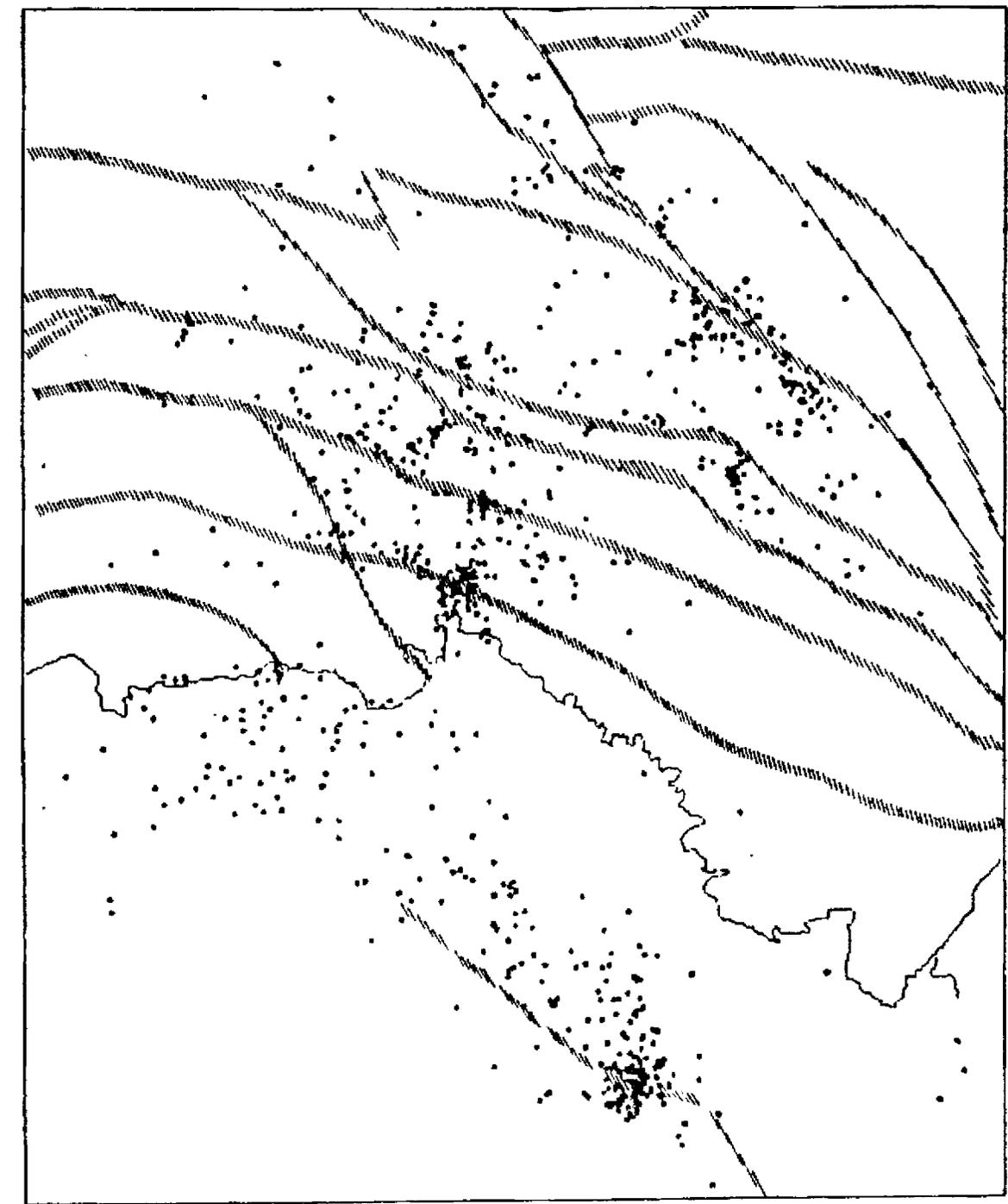
La sismología instrumental local y regional se inició en 1987 con participación de varios proyectos e instituciones. Actualmente los datos de esta red regional, cuyo propósito es el estudio detallado de la región de mayor amenaza sísmica del país y que ya cuenta con 10 estaciones (Deptos Valle del Cauca, Cauca y Nariño), se reciben por telemetría y se procesan automáticamente en Cali, en el Observatorio Sismológico del Sur-Occidente (UNIVALLE). Vale anotar que en este momento unas 2/3 partes del equipamiento de esta red ya son recursos financiados con fondos colombianos y que una gran parte de la instrumentación ha sido ensamblada y fabricada localmente.

Después de sólo tres años de observación, la cartografía hipocentral, y ante todo los eventos superficiales (Fig 5), ya muestra mucho mayor diferenciación que lo conocido a través del catálogo instrumental global de los últimos 80 años. Actualmente se están dando los primeros pasos de la correlación sismotectónica, evidentemente en una región de alta complejidad, como demuestra el mapa (Fig. 6) con los epicentros de los sismos más superficiales registrados en los últimos dos años y las trazas de fallas, principalmente de los dos grandes sistemas continentales que cruzan el territorio vallecaucano, el de Romeral al E y el sistema Cauca al W. Este último afecta directamente el territorio de la ciudad.

La atenuación de las ondas sísmicas en sus trayectorias entre sus fuentes y el sitio, otro de los factores importantes para la estimación de los movimientos sísmicos esperables, no ha sido objeto de este estudio, por las costosas y prolongadas observaciones que demanda. En primera aproximación se estima que es mayor en sentido E-W, en razón de la estructura geológica regional y a partir de análisis de efectos de terremotos históricos.

Mucha información importante para los fines de este proyecto se ha logrado mediante acopio, cruce y reinterpretación de la información existente. Un ejemplo de nuevas relaciones que se han encontrado de esta manera es el mapa de prezonificación de los suelos municipales (Fig 7) en términos de los 'coeficientes de sitio', aquel parámetro del CCCSR-84 mediante el cual se tiene en cuenta de manera simplificada la modificación de la forma e intensidad de las vibraciones en superficie como consecuencia de la estructura y propiedades mecánicas de los suelos. Con este mapa se da una primera visión integral de la ciudad en cuanto al comportamiento dinámico de sus suelos, constituyéndose así en herramienta útil para constructores y urbanistas.

Una de las componentes locales de la amenaza sísmica más importantes, en un mundo urbanizado con una gama de tipologías estructurales cada día más amplia y variada, es el período de vibración dominante de los diversos terrenos, tal como quedó demostrado dramáticamente por ejemplo en México 1985 y en San Francisco, durante el terremoto de Loma Prieta. Para evaluar este parámetro, hemos iniciado la aplicación del método de la medición de microvibraciones ambientales, el cual conduce muy directa y rápidamente a una primera cuantificación del comportamiento de los suelos, en un rango de períodos entre 1 y 0.2 segundos. Este procedimiento, originado en el Japón, es hoy de amplia aplicación a nivel mundial en la microzonificación (Rodríguez & Singh, 1988).



6 N

5 N

4 N

3 N

2 N

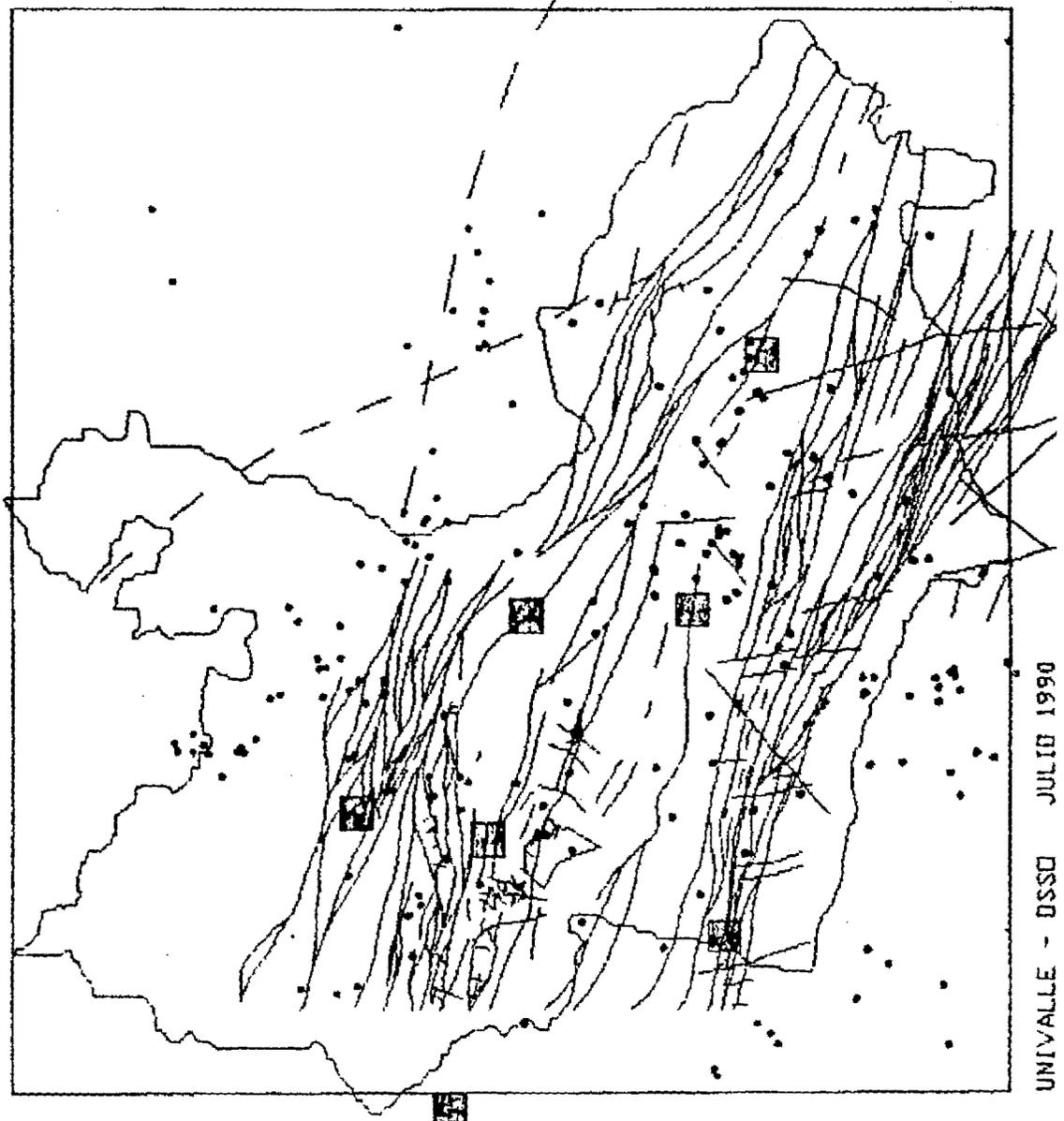
1 N

80 W 79 W 78 W 77 W 76 W 75 W 74 W

5 N

4 N

3 N



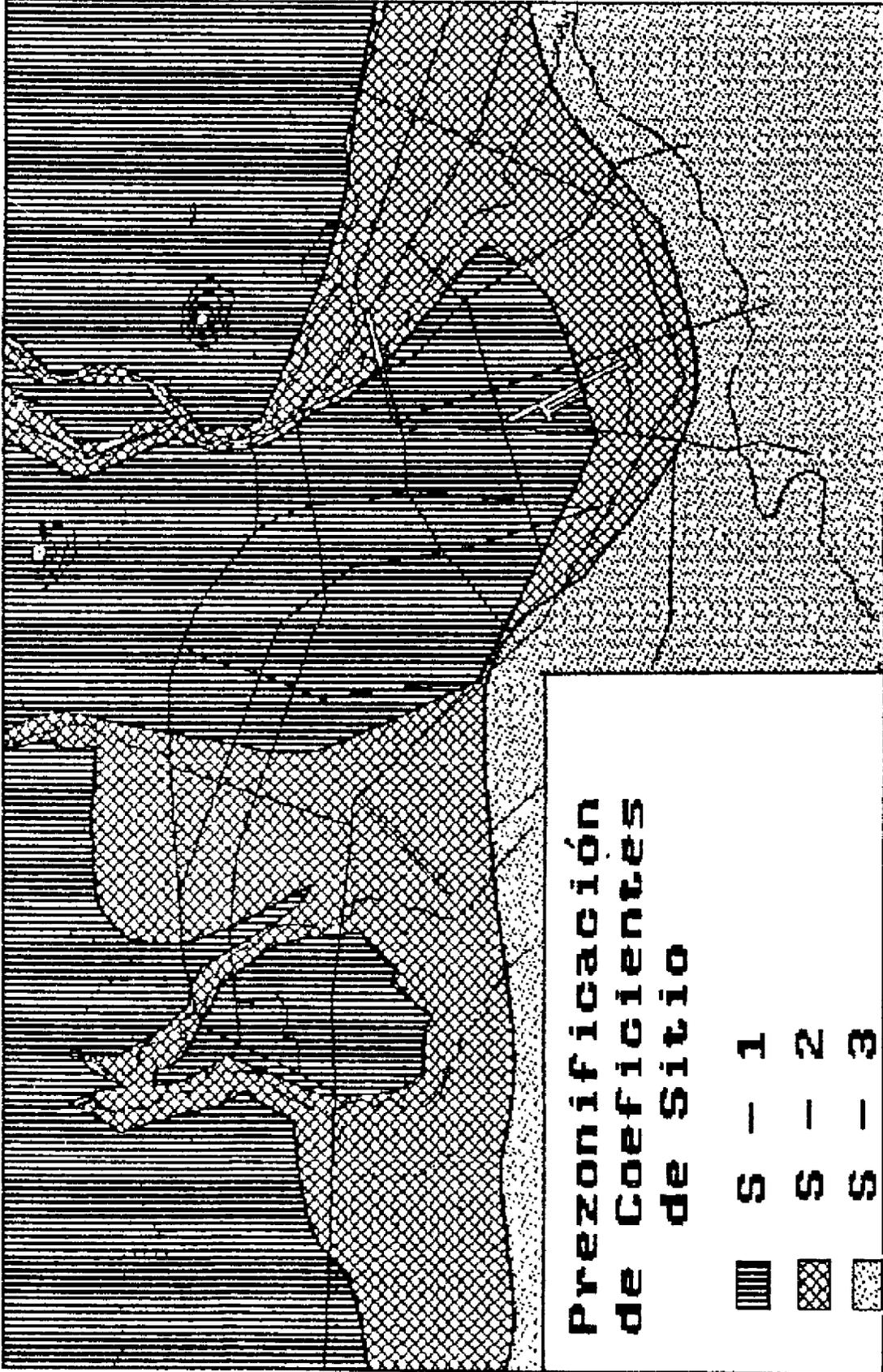
UNIVALLE - DSSO JULIO 1990

77 W

76 W

- SISMOTECTONICA -  
 DEPTO. VALLE DEL CAUCA

TECTONICA ( 1 : 100.000 )  
 Ingeominas / BGS



**Prezonificación  
de Coeficientes  
de Sitio**

-  S - 1
-  S - 2
-  S - 3

Como ejemplo de los resultados obtenidos hasta ahora con este método (Fig. 8), se han superpuesto tres espectros, dos correspondientes a movimientos fuertes, calculados (Córdoba & Gómez, 1987) a partir de datos del único acelerógrafo que hasta ahora ha funcionado en Cali y generados por dos terremotos de mediana magnitud a unos 140 km, así como un espectro de microvibraciones, medidos en el mismo sitio. Evidentemente, los periodos dominantes coinciden alrededor de  $0.4^{\circ}$  (2.5 Hz). Este valor corresponde a periodos identificados con suelos del tipo  $S_2$  del Código, ó sea medianamente consolidados.

Con las anteriores actividades, la prezonificación de coeficientes de sitio y la evaluación de los periodos dominantes a partir de microvibraciones, se inició en este proyecto lo que estrictamente se puede denominar como 'microzonificación', ó sea la delimitación de áreas en las cuales las propiedades mecánicas y la estructura del suelo modifican la forma espectral de la señal de manera uniforme, amplificándola significativamente en el peor caso.

Más adelante se procederá también a la evaluación de los 'factores de amplificación' de los terrenos urbanos, mediante análisis de las señales que generan en los diferentes tipos de suelo urbano los sismos locales y regionales, relativamente frecuentes. Vale anotar que con el mismo sistema instrumental y de procesamiento que se ha integrado y elaborado en el OSSO para estos dos tipos de evaluación, también se podrán hacer los estudios del comportamiento dinámico de edificaciones y estructuras, una parte de las actividades del análisis de vulnerabilidad.

Para la prezonificación de efectos inducidos ó de segundo orden, principalmente deslizamientos y licuefacción (Fig. 9), se aplicaron por ahora criterios simplificados, históricos, topográficos, geológicos y geotécnicos, incluyendo la información de sondeos disponible. Para iniciar la delimitación de las áreas con potencial de licuefacción (depósitos de arenas no consolidadas saturadas de agua), se han considerado hasta ahora su ubicación (llanuras de inundación) y topografía, la litología y espesor de las capas, así como datos de los niveles freáticos (Fig. 10), para lo cual también se evaluó información existente, los archivos de sondeos y perforaciones.

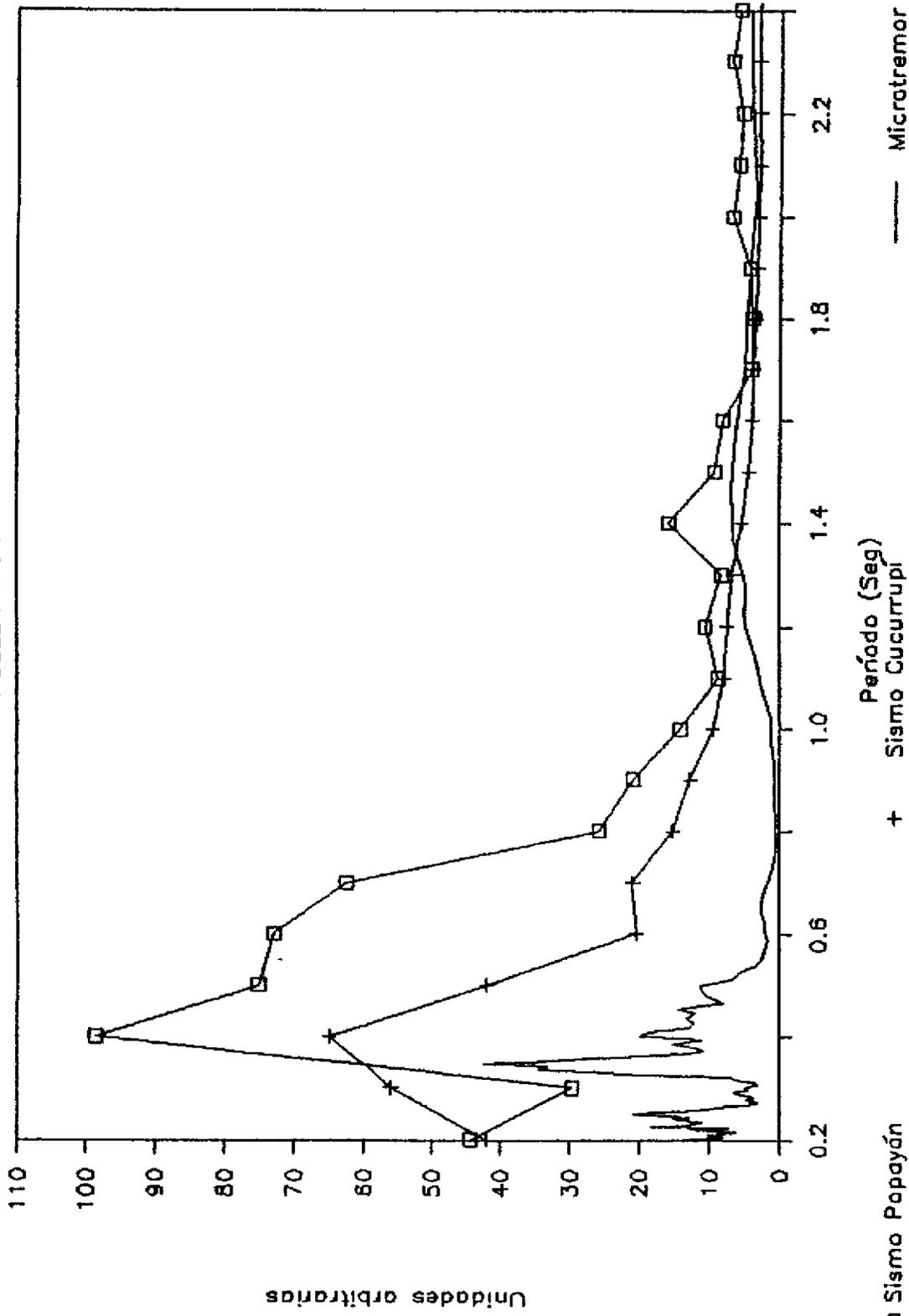
## II) EVALUACION DE VULNERABILIDAD Y RIESGO

Sin esperar las modificaciones que probablemente resultarán de los estudios de amenaza que se acaban de describir, se iniciaron actividades conducentes a la evaluación de la vulnerabilidad y del riesgo de los elementos expuestos, por ahora con base en los parámetros de amenaza regionales que prescribe el CCCSR-84 (García et al., 1984).

La ciudad moderna no ha sufrido desastres sísmicos de magnitud cuyos efectos permitieran el análisis de la vulnerabilidad por métodos empíricos. Sin embargo, para establecer el nivel de pérdidas probables en aquellos eventos sísmicos, relativamente más frecuentes, que generan intensidades del orden de VI y VII, hemos hecho análisis macrosísmicos de terremotos de esas características que ocurrieron en los últimos 30 años. Aparte de daños debidos a singularidades en una u otra edificación, sólo han resaltado como más o menos generalizados los efectos en edificaciones de gran

# ESPECTROS UNIVALLE

ACELERACION



volumen, estructura deficiente y poca densidad de muros, como iglesias antiguas, fracturamiento de muros en bloques de vivienda de 4 y 5 pisos, caída de fachadas sin amarre y enchapados, y daños en líneas vitales aéreas, éstos últimos debidos principalmente al efecto de 'péndulo invertido' de transformadores en postes.

Nuestra evaluación de vulnerabilidad ha estado centrada en métodos 'teóricos' (Cardona, 1989), con previo análisis, selección, ensayo y eventual ajuste de metodologías, entre las muchas que se han propuesto y practicado en diversos países. Evidentemente, la mayor dificultad en comparación con el diseño de edificaciones sismo-resistentes, más de logística que de método pero por supuesto de consecuencias sobre este último, es que la evaluación de vulnerabilidad debe ser hecha sobre un 'universo' grande, ó sea el volumen de edificaciones de la ciudad, incluyendo factores de riesgo como la densidad de edificaciones y habitantes, así como la zonificación de usos, entendiendo como éstos la industria, la vivienda, el comercio, la administración y los servicios, y la estratificación socio-económica.

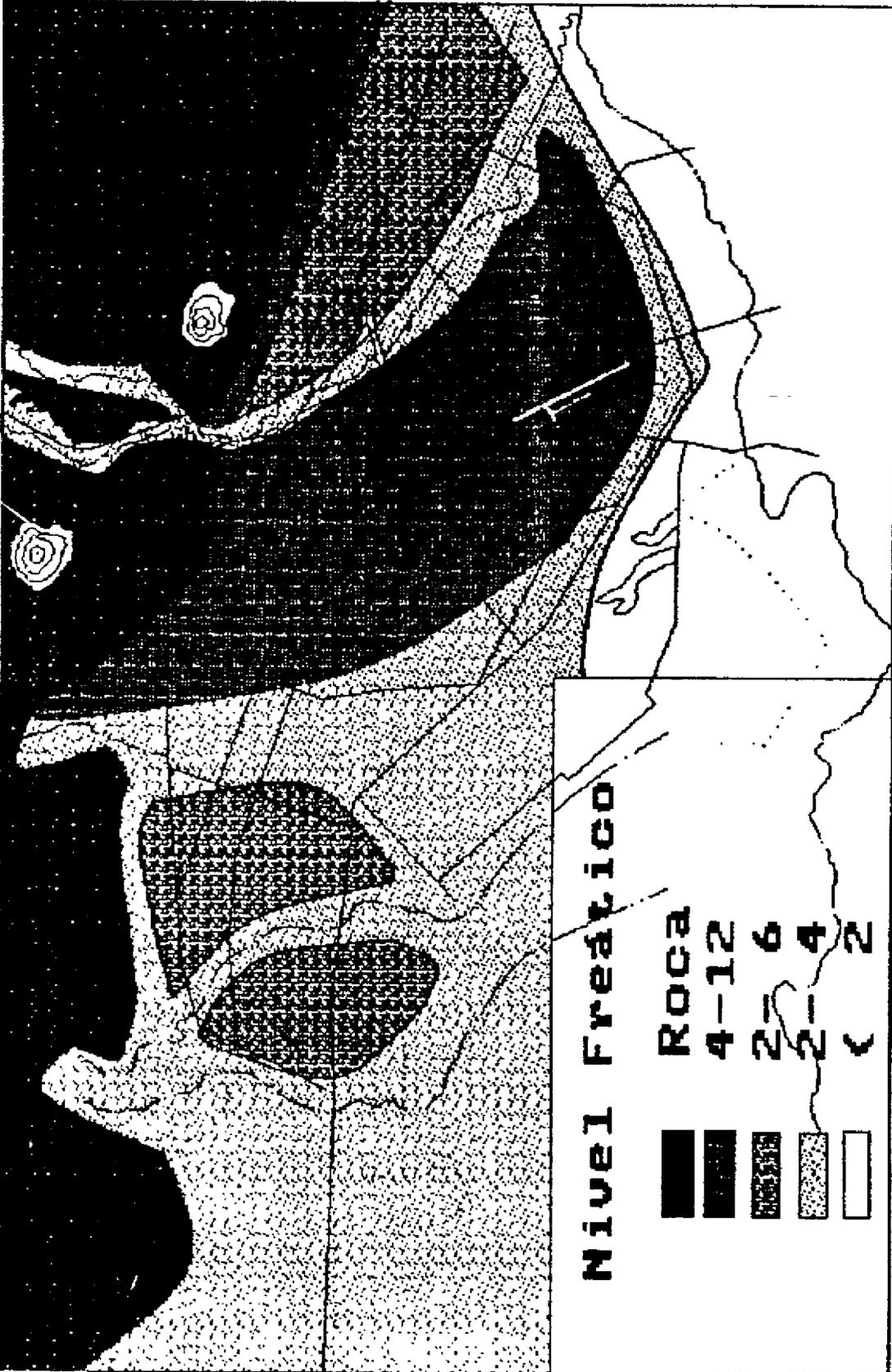
Para poder manejar esta gran cantidad de información, necesariamente la evaluación debe incluir métodos probabilísticos, recurriendo para el muestreo a la identificación de tipologías de edificaciones, caracterizadas cada una por la mayor similitud posible entre sus propiedades relevantes, tales como el tipo de estructura, materiales, densidad de muros, altura y forma. De esta tipificación se excluyen sólo aquellos elementos que son de un nivel de riesgo aceptable muy bajo, tales como hospitales, colegios, escenarios masivos, plantas telefónicas y eléctricas, ó muy singulares en su comportamiento dinámico, como por ejemplo edificaciones antiguas ó instalaciones industriales.

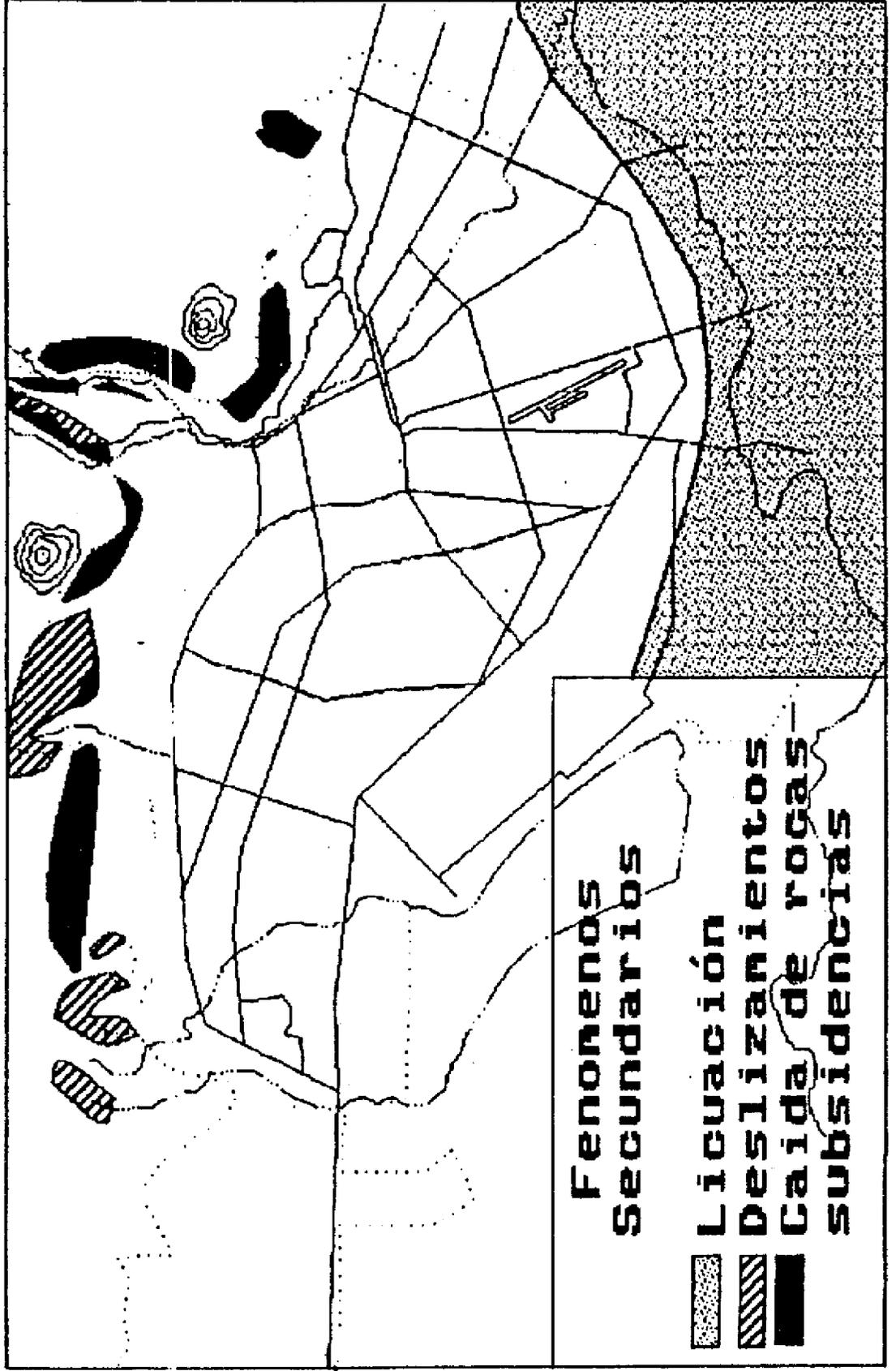
Para realizar éste muestreo se ha estado utilizando principalmente el acopio de datos, inventarios y análisis de tipologías urbanas realizados la Facultad de Arquitectura de la Universidad del Valle (Mosquera et.al, 1984) y Planeación Municipal (DAPM, 1988), que han permitido delinear con bastante resolución las coberturas de los diversos tipos arquitectónicos y estructurales y otros parámetros de la vulnerabilidad (Fig 11 y 12). Se ha podido ver, por ejemplo, que hasta los años sesenta fueron la norma casas de 1 y 2 pisos con alta densidad de muros, pero sin confinamiento. Sólo a partir de los terremotos más recientes y de la imposición del CCCSR, aún cuando esta norma no cubre obligatoriamente éstas edificaciones menores, se ha estado imponiendo la construcción de casas con estructuras reforzadas.

Considerando que el 90% de la población vive en casas de 1 y 2 pisos y que en éste tipo de edificaciones las estadísticas muestran el mayor número de víctimas (Grases, 1985), el estudio se ha concentrado en la primera fase ahí, el mayor conjunto de riesgo.

Para la evaluación de esta muestra (González, 1990) se ha aplicado un procedimiento que toma en cuenta si la edificación tiene confinamiento, calcula su coeficiente sísmico resistente a partir de la longitud de muros en cada dirección, su resistencia al cortante y el peso promedio de las viviendas, y finalmente determina la demanda de ductilidad comparando este coeficiente sísmico resistente con el coeficiente sísmico exigido por el espectro de sitio, en el CCCSR-84. La estimación de las pérdidas probables se realiza utilizando como referencia una capacidad de ductilidad.

El análisis sistemático de edificios altos, muchos de los cuales fueron diseñados con aplicación del CCCSR-84, se ha dejado como un objetivo posterior, considerando que





actualmente solo albergan una pequeña parte de la población y que en su mayor parte se localizan sobre suelos relativamente duros. Sólo se ha realizado una evaluación de menor refinamiento, cualitativa, en la cual se juzgan los elementos más notorios que pueden conformar una 'patología' (Fig. 13), tales como asimetrías, pisos débiles, columnas recortadas, losas no aligeradas, deterioro de la estructura y ductilidad disponible (González, 1990)

Como parte de la evaluación de vulnerabilidad y específicamente del potencial de peligros y riesgos de segundo orden, también se inició el levantamiento y análisis de elementos como depósitos de materiales inflamables y explosivos, lo cual ha sido posible, entre otros, por la valiosa información que está disponible a través de las más de 40.000 inspecciones técnicas que realiza anualmente el Cuerpo de Bomberos Voluntarios.

### III) MITIGACIÓN Y PREPARACION

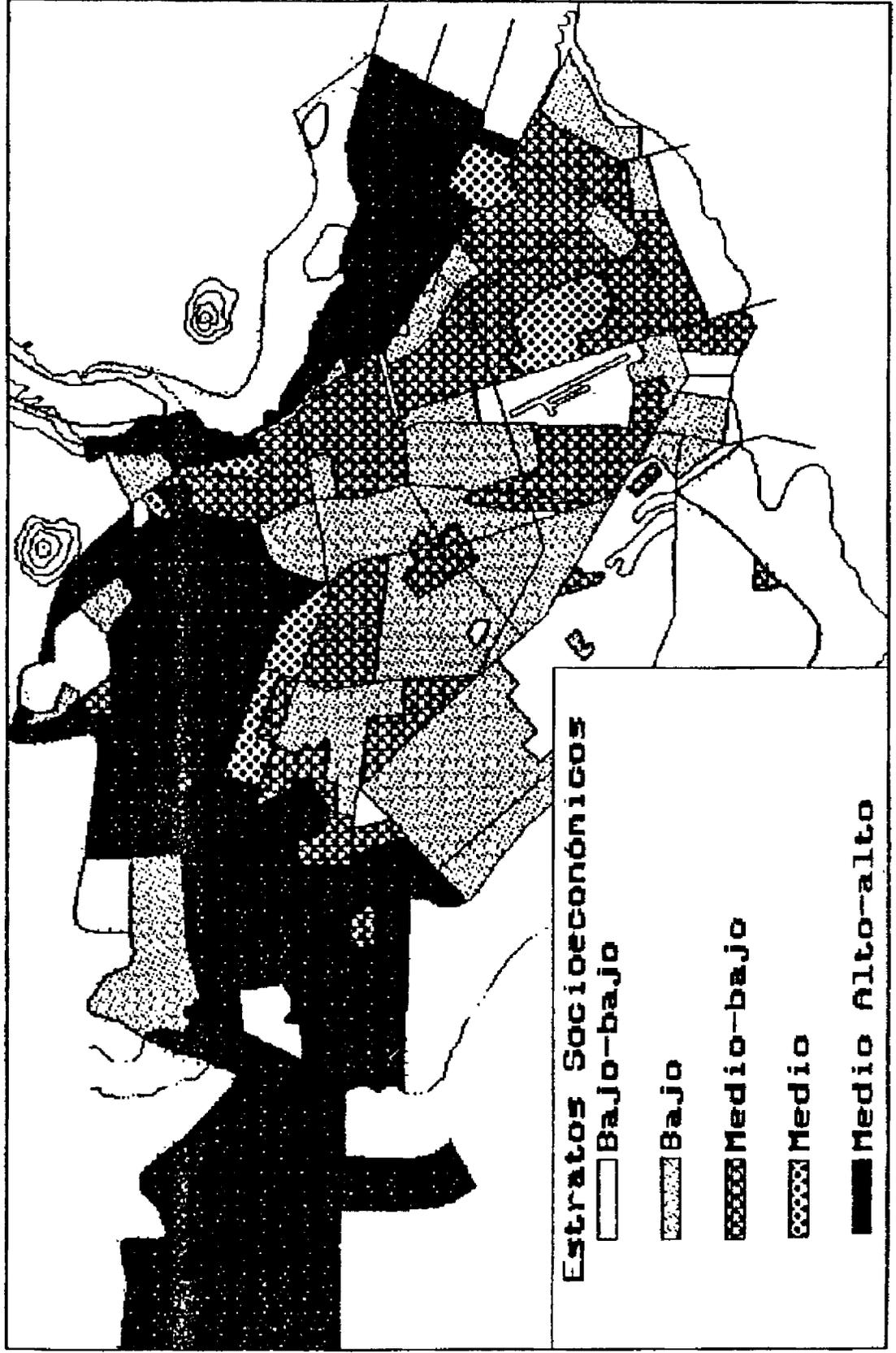
El proyecto integral también ha avanzado en lo relativo al diseño y realización de las medidas para controlar el riesgo sísmico y mejorar la preparación para atender los efectos de futuros terremotos. En la primera fase del proyecto se elaboró el 'Plan General para la Atención de Emergencias' (Galarza et al., 1989), ahora convertido en uno de los instrumentos para ejecutar políticas de seguridad en el nuevo plan de desarrollo del Municipio (Lozano & González, 1990). No obstante su nombre, el Plan también contiene, bien diferenciada, información sobre los diversos tipos de amenazas en Cali, los efectos que pueden causar y las medidas de control necesarias (Fig. 14). El Fondo de Vigilancia y Seguridad del Municipio adoptó el concepto de la 'Seguridad Integral', dedicando ahora parte de sus recursos a la prevención de los riesgos naturales.

En los últimos años está aumentando progresivamente la cantidad de eventos de formación, entrenamiento y divulgación dedicados a la prevención de desastres. Centenares de líderes comunales - a finales de 1990 serán más de 1990 - han recibido su diploma de 'prevencionista', en cursos organizados por la Cruz Roja y VISECALI, con la participación de instructores de las instituciones miembros del COE.

La respuesta de los medios de comunicación - la correa de transmisión absolutamente imprescindible, ya que la prevención de desastres sísmicos no es asunto que puedan resolver unos cuantos técnicos y administradores - ha sido excelente. Para decirlo en unos términos muy simples, se está llegando a un nivel en el cual el término 'prevención' es tan llamativo y frecuente como la palabra 'desastre'

Recientemente se han realizado algunas obras de reforzamiento sísmico en la ciudad, a nivel institucional y empresarial. Algunas son producto de las actividades del proyecto, con la intervención de la vulnerabilidad debida a usos en el Hospital Universitario del Valle. Otras, como el reciente refuerzo del Aeropuerto Palmaseca, construido en 1970, pueden ser fruto de la conscientización general sobre el problema sísmico.

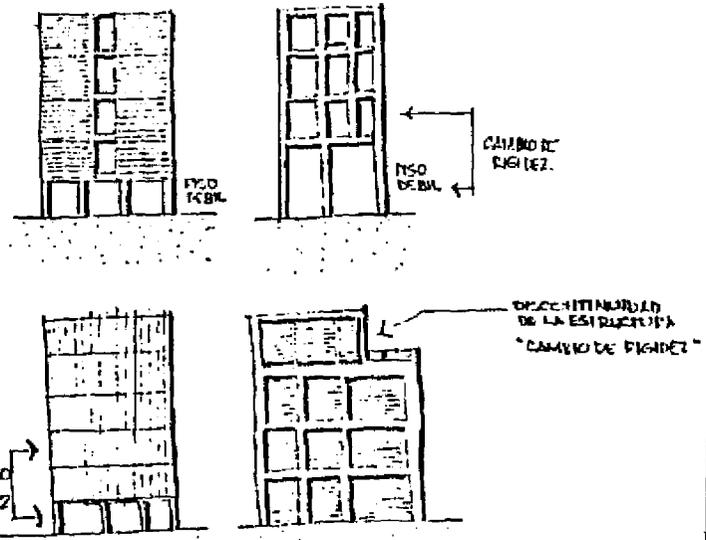
El plan de desarrollo más reciente de Cali, para los años 1990 hasta 2004, es el primero que incluye como objetivo la prevención de desastres y declara las amenazas y riesgos naturales como factor que debe ser tenido en cuenta en el crecimiento de la ciudad (Lozano & González, 1990)



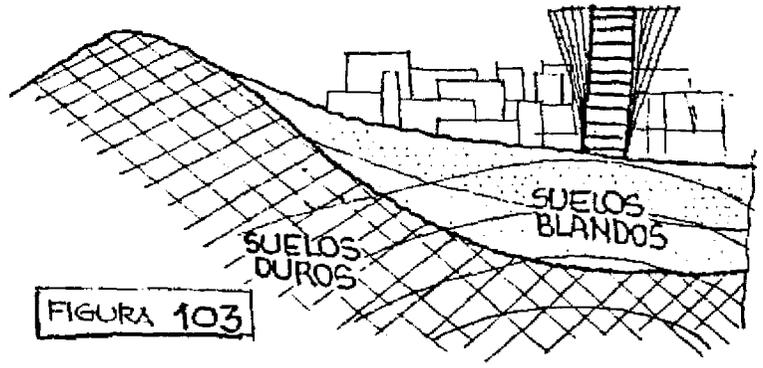


**MUESTREO PARA ANALISIS DE VULNERABILIDAD**

-  Vivienda uni y bifamiliar consolidada
-  Unidades residenciales de 4 y 5 pisos
-  Vivienda informal



PROBLEMAS EN EDIFICIOS DE CONCRETO .....



FASE I

EVENTO	TERRAMOTO	PREVENCIÓN	INST. RESPONSABLE
MANIFESTACIONES AJUERTO EN LA MAGNITUD DE DANOS Y NUMERO DE VICTIMAS Y DAMNIFICADOS		Inventario de edificios y elementos de infraestructura urbana Mapa de microzonificación sísmica Clasificación de edificios y edificios de vulnerabilidad Evaluación del riesgo inspección a distintas clases de edificación y de la infraestructura urbana Evaluación del riesgo de contaminación y de los edificios estructurales como Deslizamientos Licuación de suelos Escape de gases Ruptura de redes de agua potable y alcantarillado Suspensión de energía Suspensión del transporte público y privado Suspensión de comunicaciones	Funeraria Municipal UNIVALLE, OSSO Planificación Municipal UNIVALLE, OSSO Planificación Municipal UNIVALLE, OSSO Bomberos Voluntarios UNIVALLE, OSSO Bomberos Voluntarios EMCALI, alcueducto y alcantarillado Tránsito Municipal, DATT EMCALI - Telefonos TELECOM

FASE II

EVENTO	CONSECUENCIAS	CONTROL DE IMPACTO	INST. RESPONSABLE
SUSPENSIÓN DE COMUNICACIONES, DANOS REDES ACUEDUCTO, ENERGIA, ALCANTARILLADO	DESPLAZAMIENTOS RUPTURA Y CAIDA DE PUENTES CON REPRESENTAMIENTOS	Recuperación de redes telefónicas y radiocomunicación, redes energía, alcueducto y alcantarillado (Ver desastres)	EMCALI, telefonos alcueducto, energía alcantarillado TELECOM Empresas privadas mantenimiento
VICTIMAS	HERIDOS, LESIONADOS CONGESTION EN LOS SERVICIOS DE SALUD DAMNIFICADOS	(Ver desastres) (Ver representación a Instituciones) Reconocimiento aéreo de ríos y quebradas Evaluación, rescate identificación y clasificación según tarjeta internacional Primeros auxilios Remisión a instituciones de salud Cambio instalación y administración de albergues temporales Dotación básica personal	EMAVI Parque Aéreo del Pacífico Defensa Civil Cruz Roja Bomberos Voluntarios Policia Metropolitana Policia Militar Cruz Roja Defensa Civil Bomberos Voluntarios Cruz Roja Defensa Civil Policia Metropolitana Cruz Roja Defensa Civil VISECALI

Hace un año, también por primera vez, una ordenanza municipal prohibió, previo concepto técnico del Observatorio Sismológico, el poblamiento de una colina que en el curso de éste estudio había sido reconocida como área con potencial de deslizamiento.

Recientemente el Observatorio fué solicitado para asesorar al nuevo Plan Vial Municipal, el primero de la ciudad que considerara en su diseño las amenazas naturales. Esta nueva actividad en el proyecto integral será un gran paso hacia la mitigación del riesgo sísmico a escala de planificación urbana. La realidad histórica de la ciudad moderna ha demostrado que es la extensión de la red vial urbana, además de la cobertura de servicios públicos y la construcción de equipamiento colectivo como universidades y escenarios masivos, lo que realmente fomenta y dirige el desarrollo urbano desde el nivel político-administrativo.

Un proyecto como este generalmente también tiene resultados intangibles. Un ejemplo muy perceptible de esto y quizás el más importante de los resultados hasta ahora, porque es la base para toda acción mitigadora, es un progresivo y amplio cambio de mentalidad de lo que podríamos llamar una actitud fatalista ó negligente por ignorancia técnica ó, en su expresión más positiva y responsable, como actitud 'socorrista', hacia una mentalidad que comprende claramente las posibilidades, ventajas y por ende también la necesidad de reducir los probables efectos de amenazas por medio de medidas anticipadas.

## CONCLUSIONES

Aun cuando falta mucho para poder pensar en una culminación de este proyecto, creemos que es válido y útil tratar de deducir algunas conclusiones, no sólo para orientar su continuación, sino también para beneficio de otros propósitos y proyectos similares, en otras ciudades de nuestro medio.

Un resultado general importante es la progresiva convergencia e imbricación entre la labor técnico-científica, la visión y voluntad político-administrativa y la aceptación comunitaria. Sin ésta, la más avanzada evaluación de amenaza y riesgo no lograría su finalidad.

La mitigación del riesgo sísmico urbano es un complejo juego entre variables técnico-científicas, legales, administrativas, de mercado, de manejo de información, etc. Quien pretenda hacer una contribución técnica debe ser consciente del objetivo social de su trabajo y traducir permanentemente sus propósitos, medios y resultados y a la vez tratar de entender el sistema político-administrativo, gremial y comunitario del que espera que asimile esa nueva información, una condición que además esta relacionada con las múltiples alternativas que generalmente se tienen para realizar los objetivos específicos en el campo de la prevención.

Uno de los factores importantes para la orientación y avances han sido las oportunidades de trabajo interdisciplinario que sólo ofrece el medio universitario. Relaciones como aquella entre investigadores activos en la Ingeniería Civil, Arquitectura Urbana y Ciencias de la Tierra han enriquecido la visión, los conceptos y los modelos que maneja el proyecto y, por supuesto, también sus resultados.

Si bien es innegable que un proyecto de mitigación de riesgo sísmico urbano más o menos completo demanda generalmente grandes inversiones sobre periodos bastante largos, y éste solo hecho probablemente en muchas ocasiones ha frenado buenos

propósitos y capacidades, una de las experiencias alentadoras de este programa ha sido que el primer paso se puede dar con la voluntad y con la información disponible en cualquier ciudad, por decirlo de manera simple, con 'papel y lápiz', y que después de los primeros resultados el apoyo mayor no se hará esperar.

## AGRADECIMIENTOS

Todos los participantes y de manera especial el Observatorio Sismológico de la Universidad del Valle expresan su sincera gratitud a todas las personas, instituciones y organismos que han dado su confianza y apoyo a este proyecto: COLCIENCIAS, la Alcaldía de Santiago de Cali, a través del Fondo de Vigilancia y Seguridad y del Depto. de Planeación Municipal, el Comité Operativo de Emergencias, la Corporación Autónoma Regional del Cauca - CVC, la Oficina Nacional para la Prevención y Atención de Desastres de la Presidencia de la República, la Oficina del Coordinador de las Naciones Unidas para la Atención y Mitigación de Desastres - UNDRO, el Cuerpo Suizo de Socorro, el Servicio Sismológico Suizo (Escuela Politécnica Federal - Zürich), la Universidad de Ginebra, la Agencia Canadiense para la Cooperación Internacional, la 'Office of Foreign Disaster Assistance' (USAID) y la Fundación 'Partners of the Americas', la Fundación Carvajal, y la Fundación para la Educación Superior - FES. Reconocemos el entusiasmo y la dedicación de los estudiantes de Ingeniería Civil y de Arquitectura de la Universidad del Valle como uno de los mayores estímulos en este proyecto. Para los participantes del proyecto será inolvidable la primera reunión de coordinación de la segunda fase del proyecto presidida por Dr. Michel Fournier d'Albe (q.e.p.d.) de larga y trascendente trayectoria en el fomento de las Ciencias de la Tierra y de la prevención de desastres desde las Naciones Unidas.

## BIBLIOGRAFIA

- Cardona, O.D. (1989). "Enfoque metodológico para la evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo sísmico". Memorias, II Congreso Internacional sobre Desastres. La Habana, Cuba.
- Córdoba, S., H. Gómez (1987). "Acelerogramas, espectros de respuesta y variaciones temporales de las frecuencias de vibración de sismos colombianos". Trabajo de Grado en Ingeniería Civil (dir. G. García Moreno), Universidad Nacional de Colombia - Facultad de Minas, Medellín.
- Departamento Administrativo de Planeación Municipal (1988). "Plan de Desarrollo del Municipio de Cali - Cali y sus barrios, áreas, población y vivienda". Subdirección de Informática y Sistematización, Cali.
- Galarza, M.T., A. Velásquez, P. Fernández de G., B. Lenis, A.L. Merchán, A. Morcillo, N. Carrera (1989). "Plan General para la Atención de Emergencias en Cali" edit. H. Meyer y A. Velásquez. Comité Operativo de Emergencias del Municipio de Cali, Fondo FES Emergencia Ciudadana.
- García, L.E. (1984). "Estudio General de Riesgo Sísmico de Colombia". Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica - AIS, Bogotá.
- González, S. (1990). "Estudio Piloto de Vulnerabilidad Sísmica para Cali". Informe final de actividades presentado a ONAD/UNDRO/ACDI UNIVALLE - Observatorio Sismológico, Cali.
- Grases, J. (1990). "Evaluación de los efectos económicos de los terremotos - Metodología y resultados" Informe Proyecto SISRA, vol. 13, A/B, Centro Regional de Sismología para América del Sur - CERESIS, Lima.
- Lermo, J., M. Rodríguez, S.K. Singh (1988). "Natural Period of Sites in the Valley of Mexico from Microtremor Measurements and Strong Motion Data", Earthquake Spectra, vol. 4, no. 4, p. 805.
- Lozano, M.A., A. González (1990). "La prevención y atención de desastres en el plan de desarrollo de Cali". Departamento Administrativo de Planeación Municipal Cali.
- Meyer, H. (1984). "Estudio de Riesgo Sísmico para el Municipio de Cali - Primera Etapa, Propuesta Técnica". UNIVALLE, Cali.
- Meyer, H. (1989). "Sistema Regional de Observación e Investigación Sismológica para el Suroccidente Colombiano". Informe final presentado a COLCIENCIAS UNIVALLE - Observatorio Sismológico, Cali.
- Mosquera, G. et al. (1983). "Morfología, Desarrollo y Autoconstrucción en Cali, Diagnóstico Preliminar" UNIVALLE - Facultad de Arquitectura, Publicación "Investigaciones No. 4", Universidad de Medellín e Institute of Housing Studies (IHS), 1984 Holanda.
- Ramírez, J.E. (1974). "Terremotos en Colombia" Instituto Geofísico de los Andes Colombianos e Instituto Geográfico "Agustín Codazzi", Bogotá.
- Velásquez, A. (1987). "Atlas de amenazas naturales y artificiales de Cali" Comisión Integral de Evaluación de Riesgos de Cali - CIERCALI, Comité Operativo de Emergencias UNIVALLE - Observatorio Sismológico, Cali.
- Velásquez, A. (1990). "Estudios históricos de eventos incluido examen del Archivo General de Indias en Sevilla, España". Proyecto presentado al "Programa de Mitigación de Riesgos en Colombia" UNIVALLE - Observatorio Sismológico.