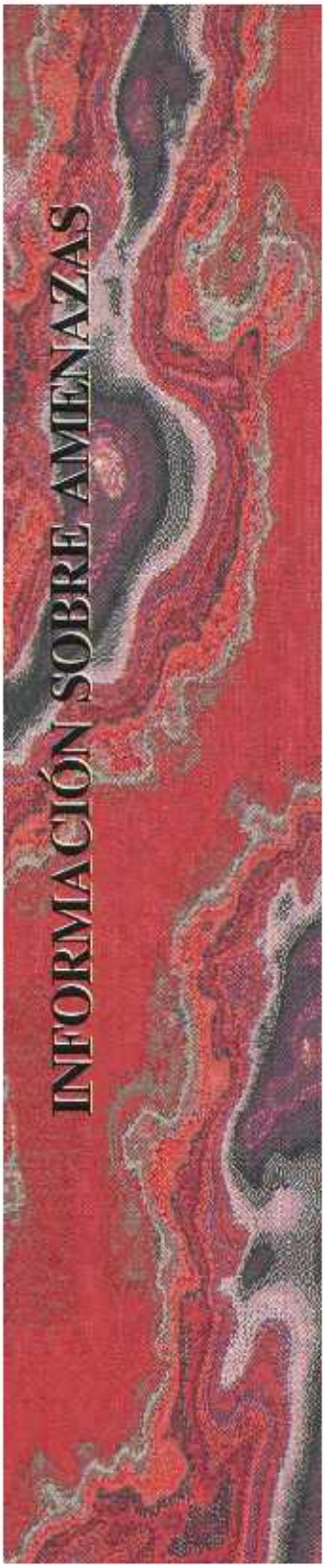



# 20. Macrozonificación de terrenos de Cali

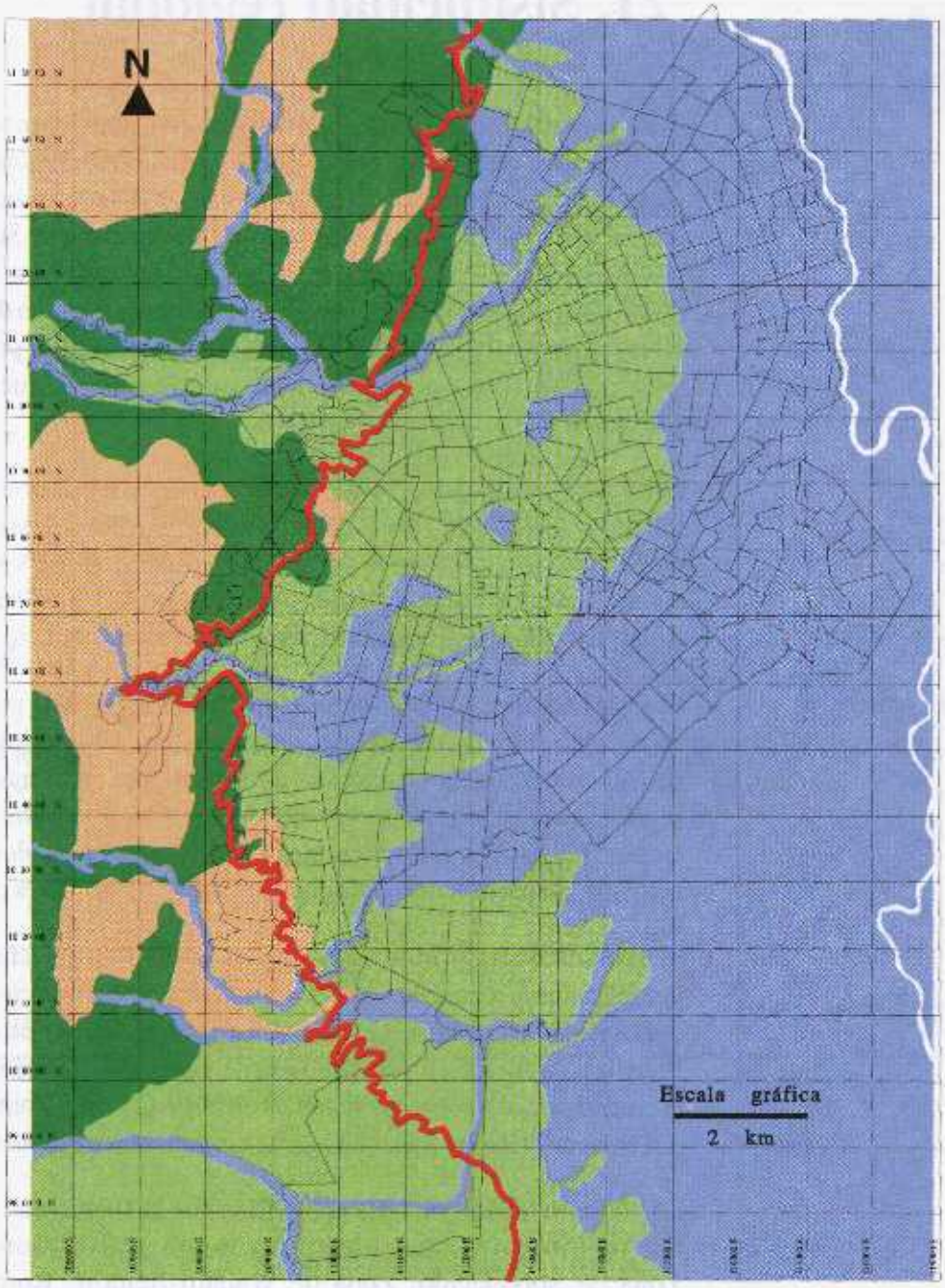
La ciudad se emplazó y desarrolló durante casi 400 años sobre suelos de buenas propiedades geotécnicas, en el denominado Cono de Cali. De hecho, las avenidas torrenciales del río Cali, las inundaciones del Cauca y sus afluentes, y los terremotos fueron hasta hace poco los fenómenos de origen geológico más importantes en la ciudad. Sin embargo, a partir del inicio de la urbanización de sectores del piedemonte, los deslizamientos se han vuelto cada vez más frecuentes.

Esta macrozonificación es el producto de integrar unidades geológicas (Fig. 9) que, *grosso modo*, reunen características similares desde el punto de vista de su estabilidad, grado de alteración y propiedadaes geotécnicas. Sin embargo, debido a que los depósitos aluviales y de la llanura de inundación del río Cauca (en azul) pueden presentar drásticas variaciones en sus propiedades, se representan más detalladamente en la Figura 38.

Los problemas identificados de inestabilidad de vertientes en la ciudad ocurren en todas las unidades geológicas cartografiadas, principalmente asociados a procesos de urbanización sobre pendientes moderadas a fuertes, por cortes (banqueos, terraceos, sobre-empinamiento de taludes), por deforestación de las laderas, por vertimento de desechos de minería, y por escapes de acueductos y sistemas de disposición de aguas servidas.

La cota de 1.000 metros sobre el nivel del mar es indicativa, en primera aproximación y con excepción del extremo Sur de la Figura, del piedemonte a partir del cual las condiciones naturales (pendientes, presencia de rocas meteorizadas), y opciones de recursos (minería, abasto de agua, calidad del ambiente, etc.), imponen restricciones al uso urbanístico del suelo (ver Fig. 37).

Al Oriente, sobre la llanura de inundación del río Cauca, en donde predominan los suelos blandos generados por depósitos geológicamente jóvenes y las madreviejas o meandros abandonados, las propiedades geotécnicas, tales como la capacidad portante y el potencial de asentamientos, el potencial de licuación de suelos por vibraciones sísmicas y los altos costos de urbanización con requerimientos de redes de drenajes con sistemas de bombeo, no hacen recomendables estos terrenos para desarrollos urbanísticos. Allí, como lo contemplaban pasados planes de desarrollo, debería mantenerse la vocación agrosilvopastoril y de protección ecológica (ver también Figuras 24, 38 y 46).




Elaborado a partir del mapa geológico (Alvares & Tenjo, 1971), con adaptaciones según OSSO para Gases de Occidente (1996)

**Figura 20. Macrozonificación de los terrenos de Cali**

# 21. Sismicidad regional

Toda la región andina de Colombia está determinada, en términos de fallas geológicas y de sismos, por el proceso de convergencia de dos grandes placas tectónicas, la de Nazca (oceánica) y la de Suramérica. Entre estas dos, el llamado "Bloque Norandino" (entre la Zona de Subducción frente al Litoral Pacífico y el Piedemonte de la Cordillera Oriental), se ha desarrollado como una microplaca, con movimiento en dirección hacia el NNE. Dentro del esquema de esfuerzos regionales producidos por la fricción entre estas placas, se destacan tres tipos de fuentes sísmicas de importancia para la región de Cali.

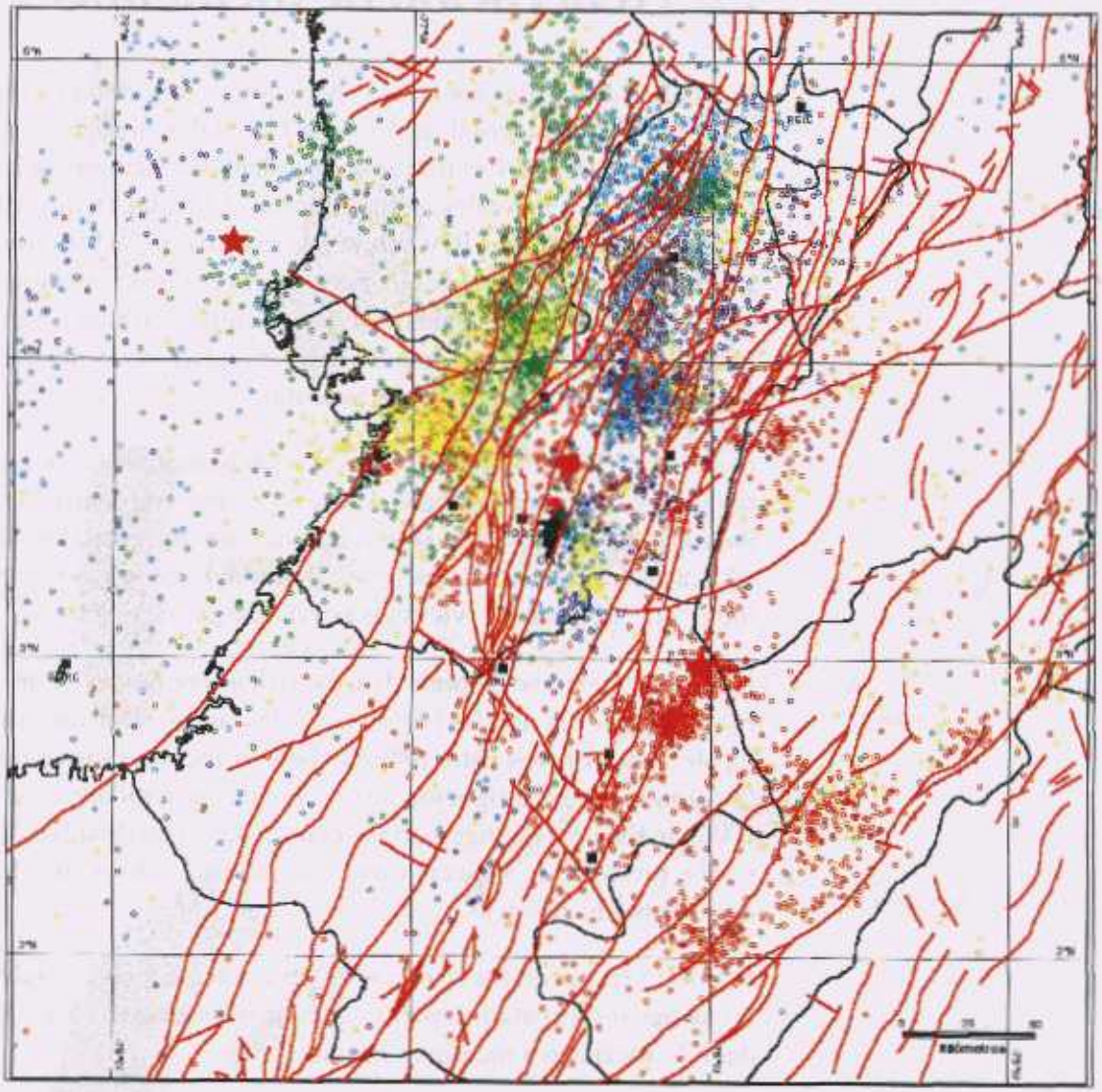
a) La "Zona de Subducción", cuya traza superficial corre a unos 150 - 200 km paralela a la Costa Pacífica. Es la más importante de las fuentes sísmicas en Colombia, en términos de las magnitudes máximas y recurrencias de sismos grandes, con magnitudes mayores de 8.0. Su sismicidad es superficial, hasta profundidades de 40 km aproximadamente.

b) Sismicidad de la "Zona de Wadati-Benioff", la parte profunda del plano de fricción entre las placas que convergen (o sea la continuación de la Zona de Subducción). La sismicidad de esta fuente es la más profunda de la región, hasta más de 100 km. Se concentra en la parte N del Valle del Cauca. En la Figura destaca por sus epicentros en colores verde a azul, principalmente al N del Valle del Cauca. Sus magnitudes pueden ser de 7.0.

c) Sismicidad tipo "intraplaca" . A esta categoría pertenecen fallas como las del sistema Romeral, Cauca y - aunque no *sensu stricto* - la Falla Frontal del Borde Llanero (que separa la placa Suramérica del Bloque Norandino). Este tipo de fuente en principio puede generar los sismos más cercanos a la ciudad de Cali (sobre los sistemas de fallas Cauca y Romeral). Los sismos de Popayán (1983) y Páez (1994) fueron generados por fuentes "intraplaca".

Las fallas o tramos de falla conocidos que la sismicidad registrada por la red regional permiten identificar como activas son las siguientes: Zona de Subducción; Zona de Wadatti-Benioff; Romeral (Cordillera Central); Cauca, (vertiente Oriental de la Cordillera Occidental); Área de Farallones de Cali; Área Buenaventura - Golfo de Tortugas - Anchicayá; Río Magdalena; Santander de Quilichao y Huila. Dos cúmulos de actividad superifcial al N de Cali, no corresponden a sismos, sinó a explosiones de dinamita en canteras.

El mapa es una imagen de la distribución de sismos (la inmensa mayoría sólo detectados instrumentalmente), registrados por la red sismológica del suroccidente, operada por el OSSO en cooperación con la CVC.



**Profundidades (km)**

- 0 a 33
- 33 a 66
- 66 a 99
- 99 a 120
- 120 a 540

Principales fallas geológicas

Estación sismológica

Sismos con daños en Cali en el período de observación (San Juan, nov. 1991; Paéz, jun. 1994; Calima, feb. 1995). Color de acuerdo a la profundidad

Fuente : Catálogo OSSO, 1987 - 1996. Fallas geológicas según Ingeominas (1992)

**Figura 21. Sismicidad regional**

# 22. Generación de tormentas

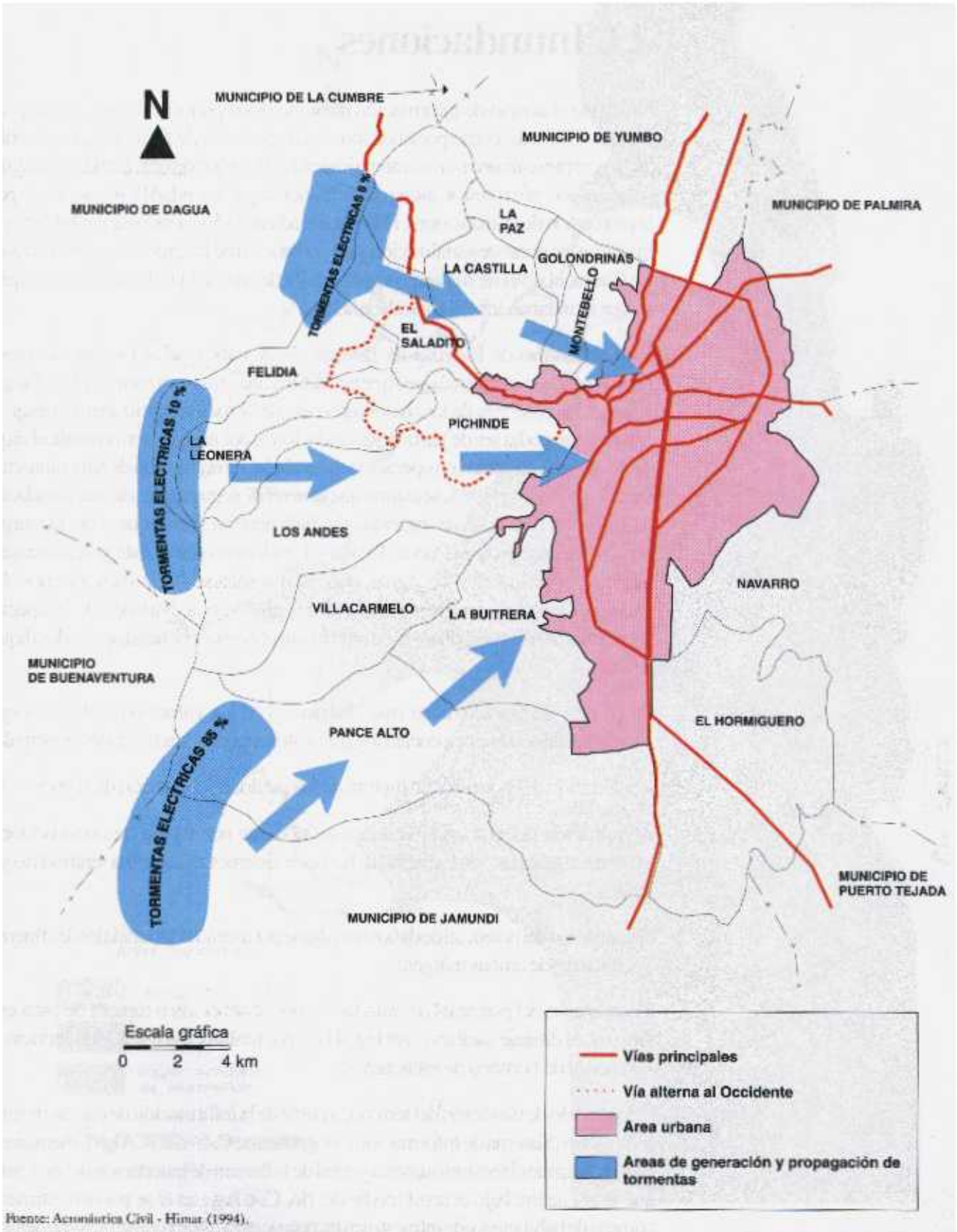
Ilustra las principales zonas de generación de tormentas eléctricas, sobre la Cordillera Occidental, el 85% de las cuales provienen del SW (los Farallones de Cali). Las tormentas pueden estar acompañadas de lluvias torrenciales y vendavales, como aquellas ocurridas en julio de 1984 y de 1986 y en octubre de 1989, causando severos impactos en áreas rurales y urbanas. Las lluvias asociadas, según registros de estaciones operadas por la CVC, produjeron máximos de precipitación superiores a 100 mm, como consecuencia de las cuales hubo inundaciones y deslizamientos en las cuencas de los ríos Cali y Aguacatal.

Este tipo de fenómenos afecta de diversas maneras a la ciudad: apagones por sobrevoltajes en las redes de energía, daños en equipamento urbano, industrial y doméstico, interrupciones en operaciones aéreas y de telecomunicaciones, inundaciones, avenidas torrenciales y deslizamientos inducidos, ocasionales víctimas por descargas de eléctricas.

Debido a que no se dispone de estadísticas conocidas ni de sistemas de monitoreo de los niveles ceráunicos (descargas eléctricas atmosféricas) locales y regionales, estos temas deben ser incorporados o reforzados en las agendas de investigación institucionales de entidades como EPSA, la CVC, la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad del Valle y el sector productivo, especialmente la industria de protecciones contra descargas atmosféricas.

Por deficiencias en los sistemas de observación y registro de tormentas, no se han representado aquellas que, provenientes del Sur, del Oriente y del NE, alcanzan a incidir en la ciudad.

El mapa fué preparado por expertos del Servicio Meteorológico del HIMAT (hoy IDEAM), adscritos al Departamento Administrativo de Aeronaútica Civil del Aeropuerto Alfonso Bonilla Aragón.




Fuente: Aeronáutica Civil - Himat (1994).

**Figura 22. Generación de tormentas**

# 23. Inundaciones

Mediante el acopio de información de archivos de prensa y de memorias (p. ej., Sarasti, 1983), así como por tradición oral de personas de 50 o más años de edad, el mapa representa una primera aproximación a la evolución de la inundabilidad, que por otro lado es expresión indirecta de las obras que la ciudad ha desarrollado para la protección de inundaciones. Hasta la década de 1950 cuando surgió la CVC y se iniciaron las obras de canalización y de contención de las crecientes periódicas del río Cauca, el nivel de sus aguas se encargaba de represar las de sus afluentes que a su vez inundaban los terrenos aledaños.

Para el Distrito de Riego o de Drenaje de Aguablanca, al Oriente, se previó inicialmente un jarillón (dique) que permitiera una inundación en 10 años. De esta manera, las cosechas de los suelos agrícolas de la zona minimizaban el riesgo de pérdida que podía ser de hasta dos inundaciones por año. Posteriormente el dique se elevó y con la entrada en operación del embalse de regulación de Salvajina, cuyo llenado se inició en 1985, se estima que el nivel de seguridad es de una inundación en 100 años. Este nivel de seguridad también tiene en cuenta que sobre la margen derecha (municipios de Puerto Tejada y Candelaria) sólo existe parcialmente el jarillón y, por lo tanto, las aguas pueden desplazarse hacia esos terrenos. Sin embargo, teniendo en cuenta que existen planes y actividades de ocupación urbanística, lo más probable es que en el futuro el río esté contenido entre dos diques continuos.

Escenarios de inundabilidad más realistas, y de las vulnerabilidades y riesgos asociados, deben tener en cuenta los siguientes aspectos y actividades principales:

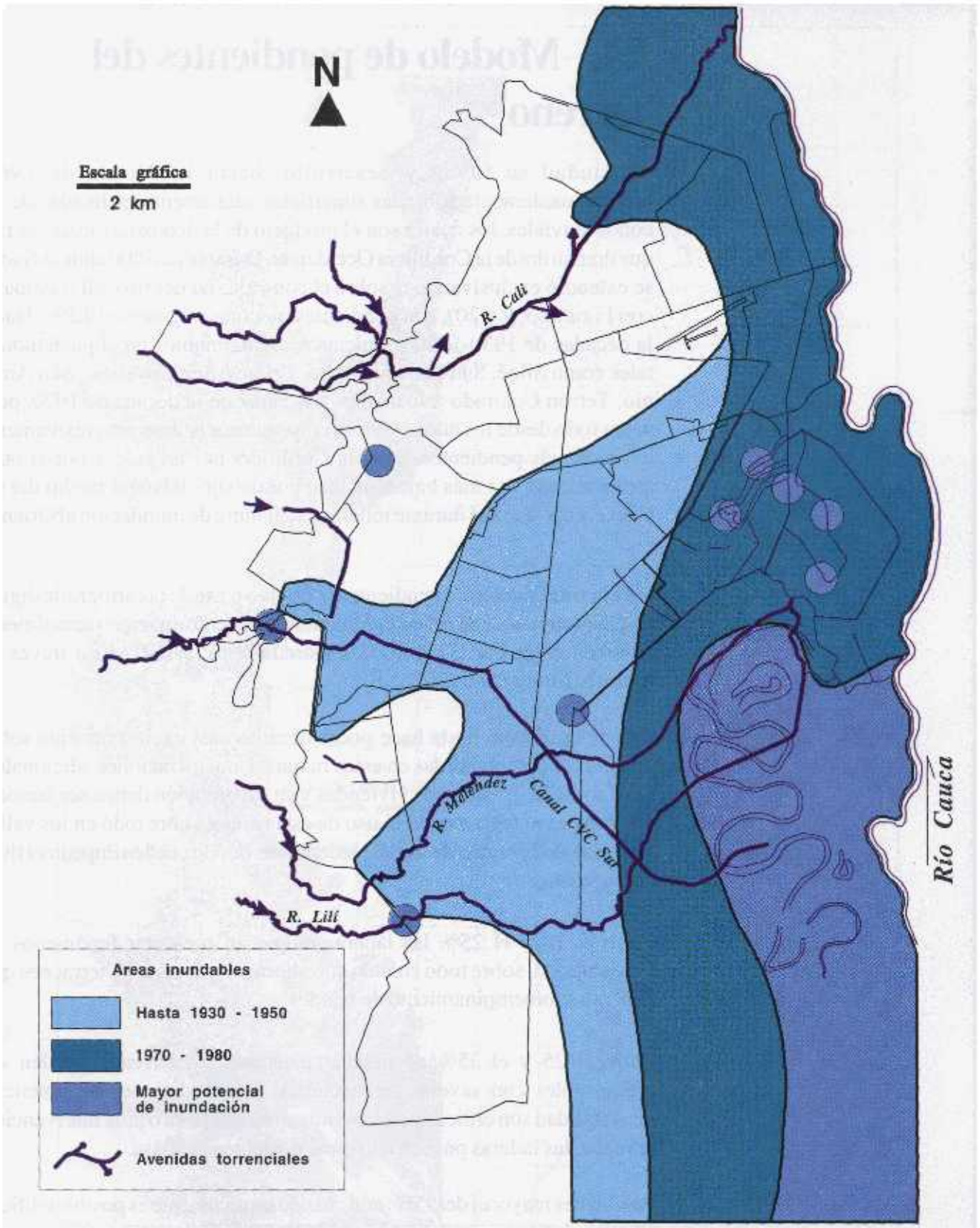
• Evaluación del potencial de ruptura de los jarillones por acción de sismos.

• Evaluación del potencial de daños en el dique por acción de construcciones existentes (tuberías, vías, viviendas, barrios existentes en la berma -entre el río y el jarillón !-).

• Evaluación del potencial de daños en el dique por avenidas torrenciales de afluentes al Cauca desde ambas márgenes.

• Evaluación del potencial de inundación por obstrucción o ruptura de canales y tuberías de drenaje sanitario (ver Fig. 41), o por malfunción o salida de servicio de estaciones de bombeo de estas aguas.

• Un modelo de elevación del terreno, a partir de la información de curvas de nivel cada metro (Sistema de Información Geográfica de Cali - SIGCALI-), mediante el cual se delimite el territorio urbano y rural de la llanura de inundación del río Cauca que se encuentra bajo el nivel medio del río. Con base en él se pueden estimar el número de habitantes y de infraestructura potencialmente expuesto a esta amenaza.




Adaptado de Velásquez y Meyer (1994)

**Figura 23. Inundaciones**

# 24. Modelo de pendientes del terreno

La ciudad se fundó y desarrolló, hasta la década de 1960, predominantemente sobre las superficies suavemente inclinadas de los conos aluviales, los cuales son el producto de la depositación de los ríos que drenan desde la Cordillera Occidental. Durante casi 400 años la ciudad se extendió exclusivamente sobre el cono aluvial del río Cali (comparar con Figuras 3, 9 y 20), con pendientes menores o iguales al 12% . Hacia la décadas de 1930-1940 se iniciaron asentamientos en el piedemonte, tales como Siloé, San Fernando Alto, Tejares, San Cayetano, San Antonio, Terrón Colorado y Juanambú. A partir de la década de 1970, pero sobre todo desde los años 1980, se empezaron a ocupar progresivamente terrenos más pendientes sobre la Cordillera por un lado y por el otro, terrenos cada vez más bajos, incluso por debajo del nivel medio del río Cauca, en lo que fué durante milenios su llanura de inundación al Oriente.

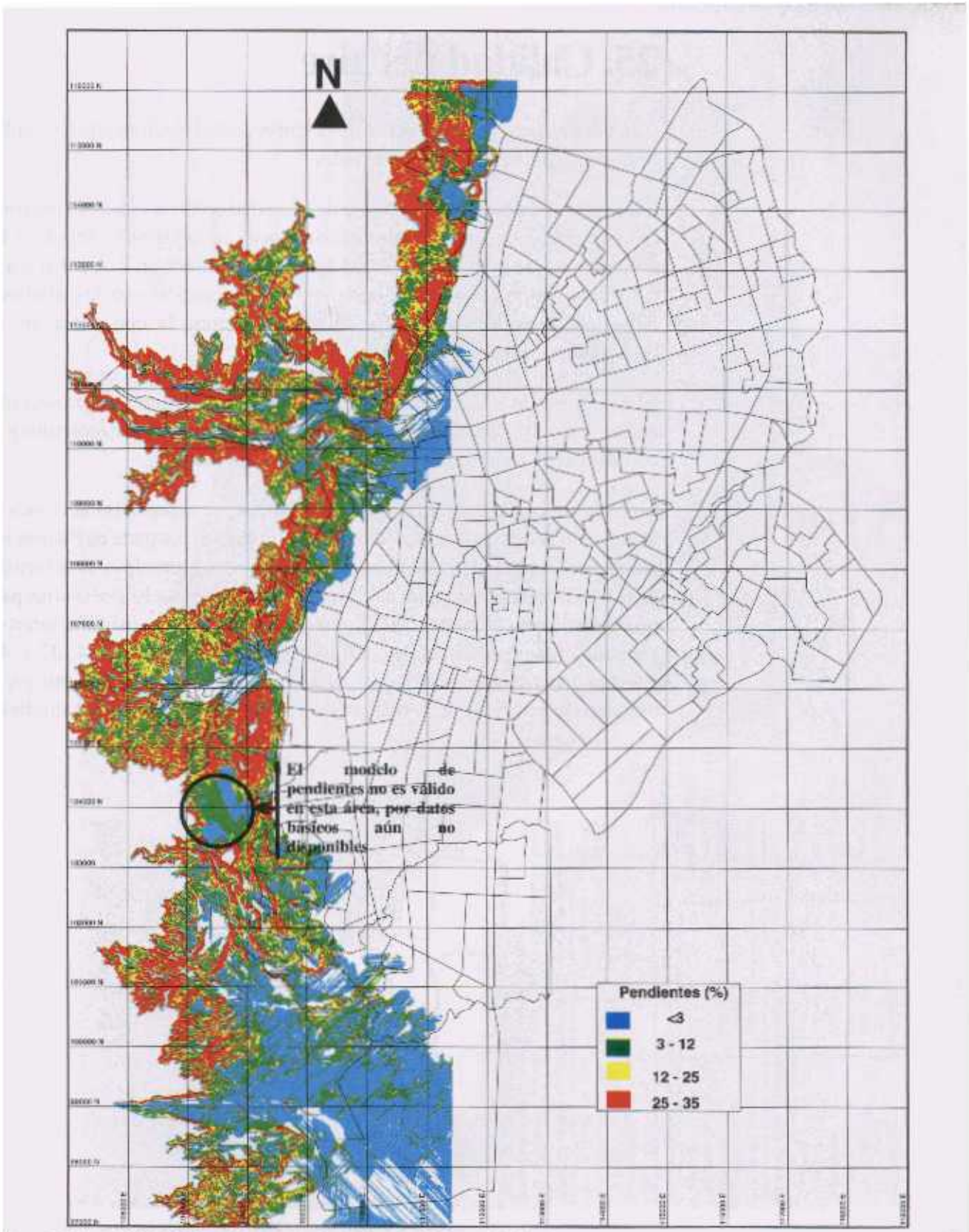
Para la zonificación de pendientes se obtuvo parte de la cartografía digital de Cali (curvas de nivel cada 5 metros). Esta información parcialmente ilustrada en la Fig. 37, fué suministrada por el SIGCALI a través de Catastro Municipal.

Cali se desarrolló hasta hace pocas décadas casi exclusivamente sobre pendientes comprendidas en estos rangos. Consideraciones adicionales, tales como la densidad de viviendas y su distribución deben ser factores adicionales al reglamentar el uso de estas áreas, sobre todo en los valles transversales y en cercanías del piedemonte, donde pueden impedir el flujo de los vientos.

Entre el 12 y el 25% las laderas empiezan presentar fenómenos de inestabilidad, sobre todo cuando son alteradas por cortes y terraceos que generan sobreempinamiento de taludes.

Entre el 25 y el 35% de pendiente natural los terrenos pueden ser urbanizables con severas restricciones: las condiciones de potencial inestabilidad son críticas y aún en situaciones de poca o nula intervención humana, las laderas pueden sufrir movimientos de masa.

Pendientes mayores del 35%: aún cuando técnicamente es posible edificar en ellas, los terrenos deberían ser dedicados exclusivamente a usos de protección y conservación.




Fuente: OSSO para DAPM (1995), con base en curvas de nivel cortesía de Catastro Municipal.

**Figura 24 . Modelo de pendientes del terreno**