

Gráfico 20E

INDICADORES DE AMENAZA POR LOCALIDAD

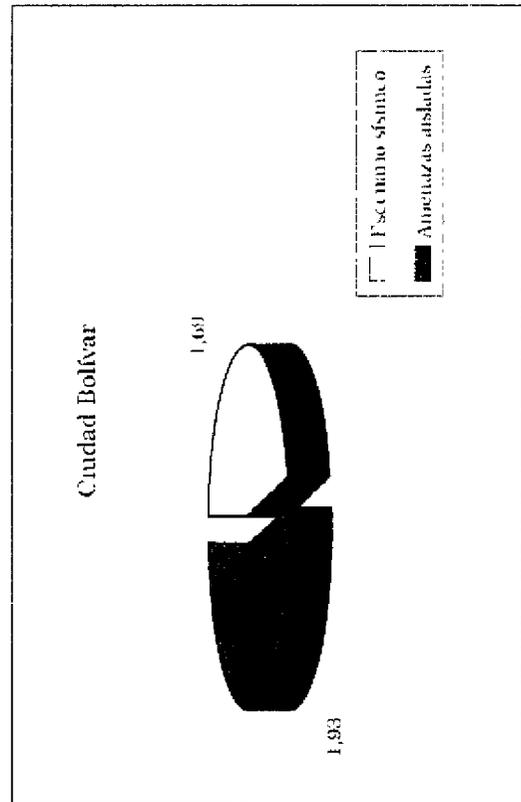
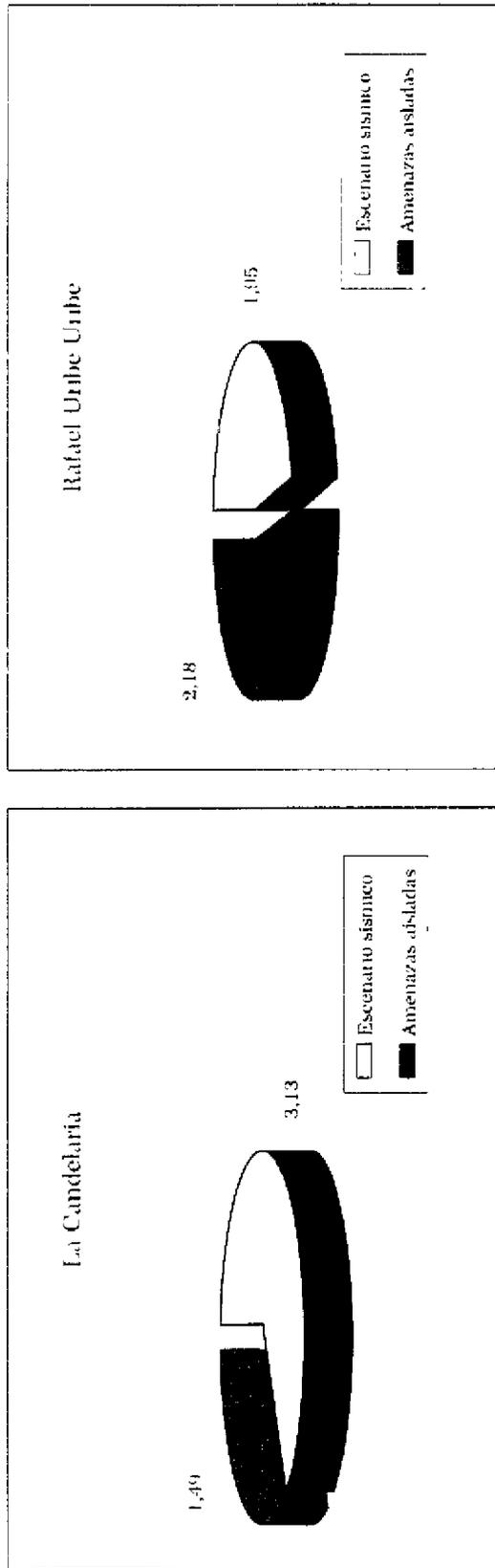


Gráfico 21

INDICADORES DE COMPONENTES DE AMENAZA POR LOCALIDAD

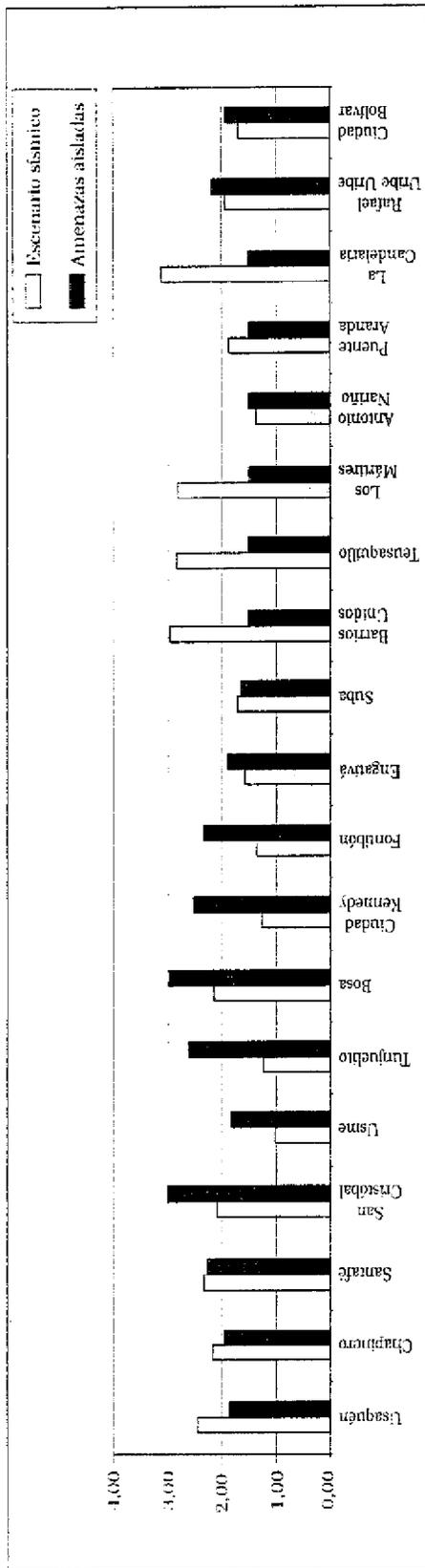


Gráfico 22

INDICADORES DE AMENAZA POR LOCALIDAD

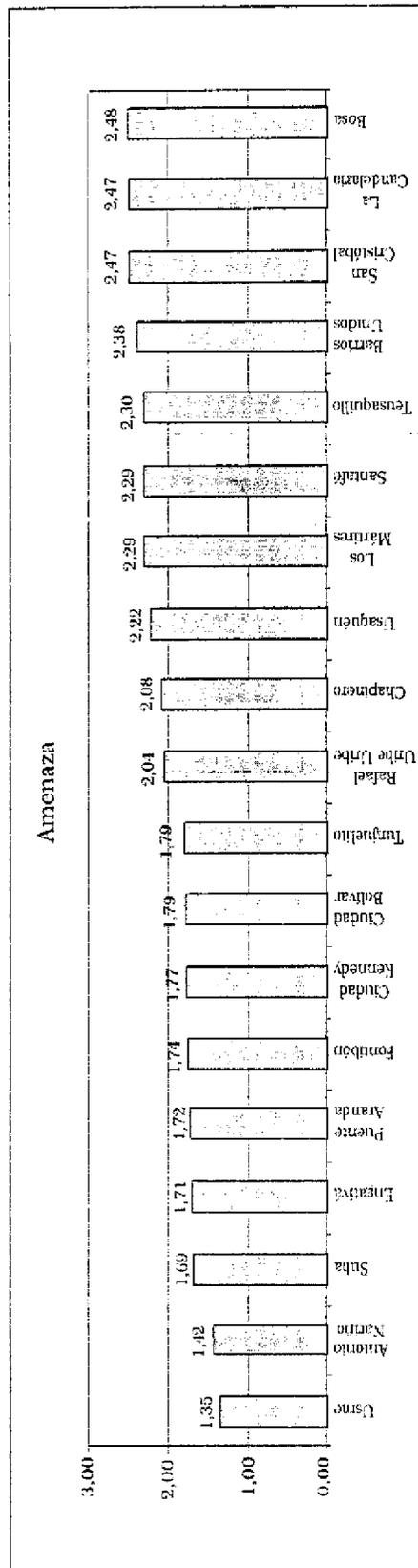


Gráfico 23  
 ESCENARIO SÍSMICO POR LOCALIDADES

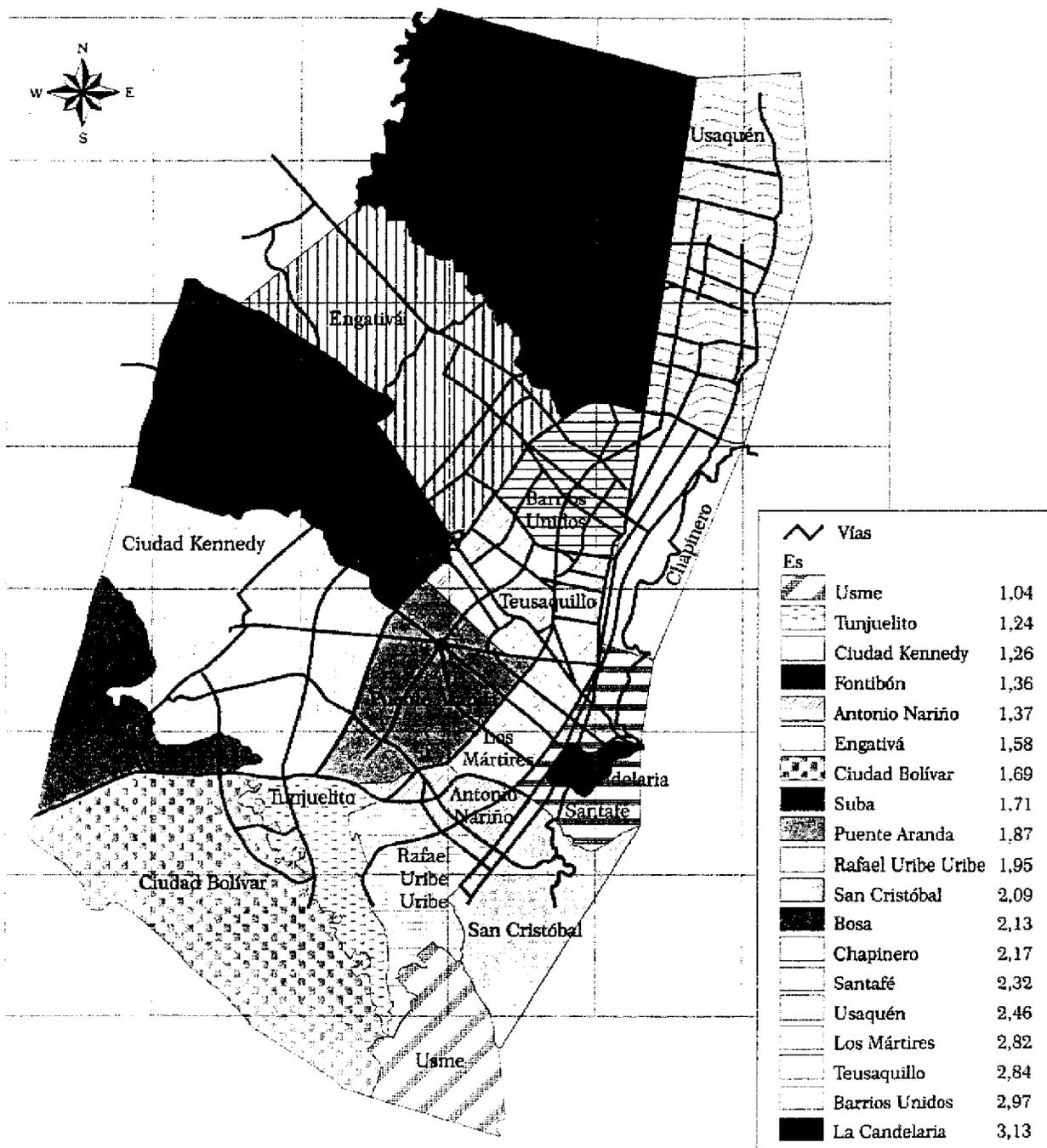


Gráfico 24

AMENAZAS AISLADAS POR LOCALIDADES

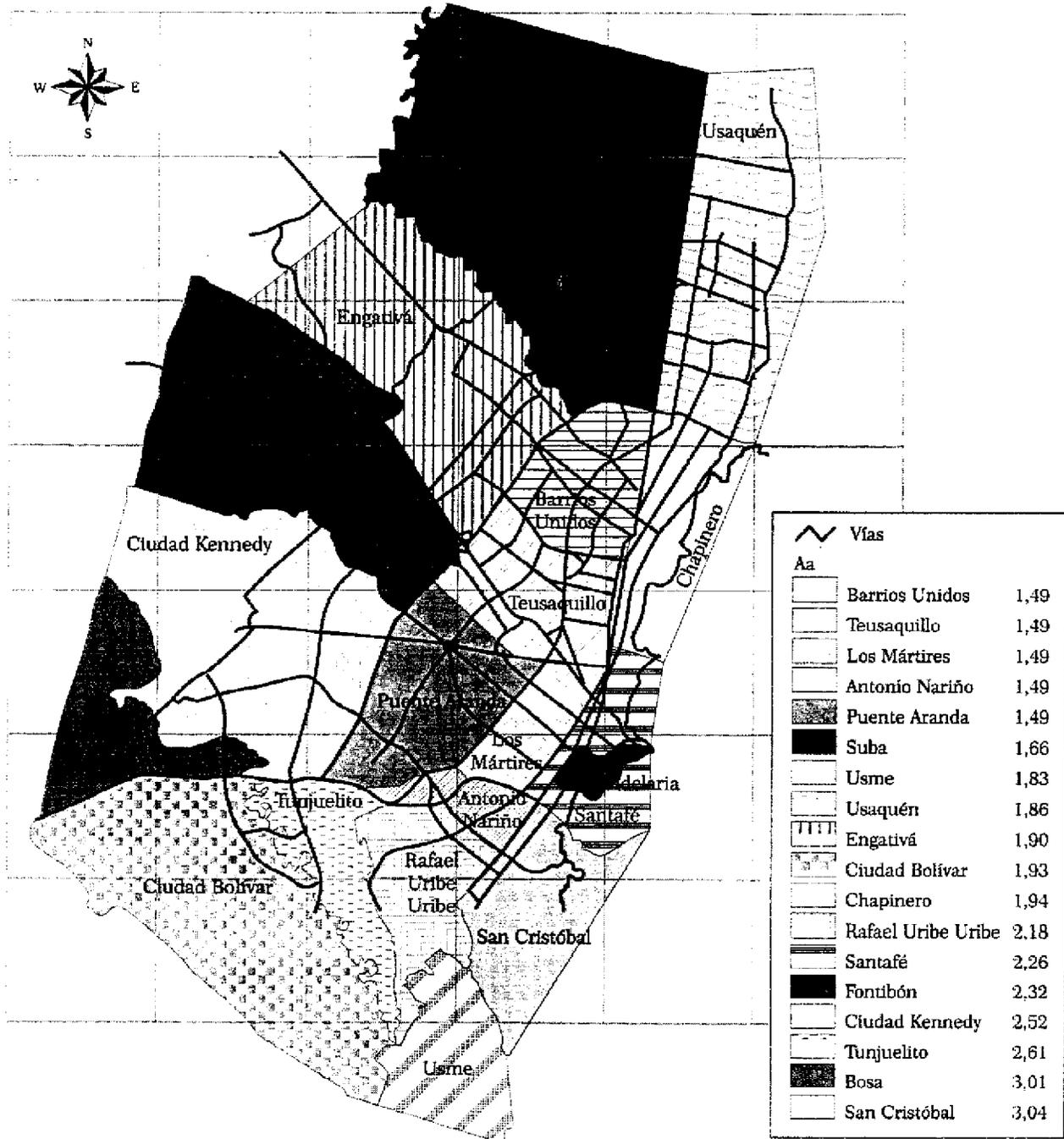


Gráfico 25  
AMENAZA POR LOCALIDADES

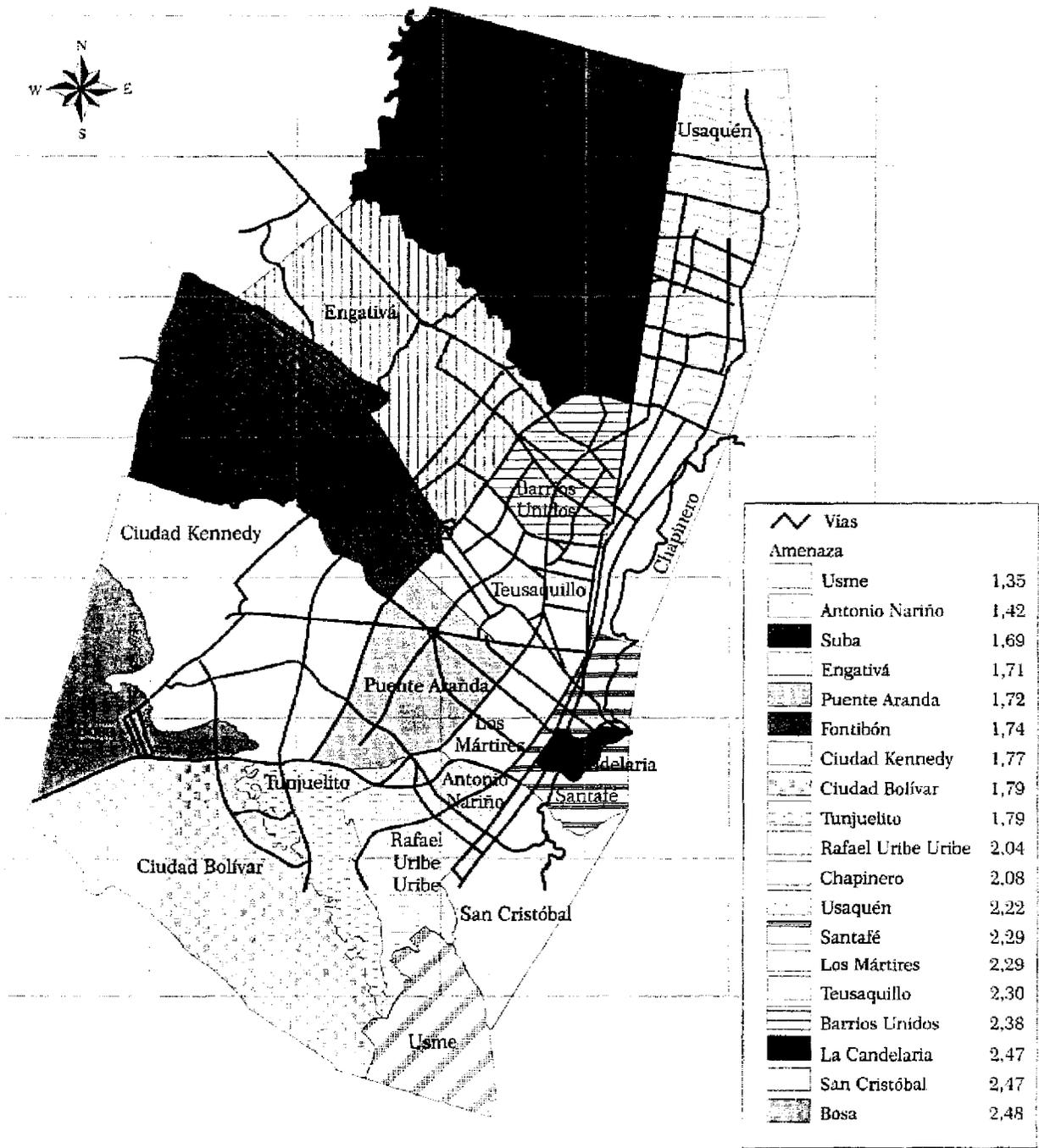


Gráfico 26A  
INDICADORES DE VULNERABILIDAD POR LOCALIDAD

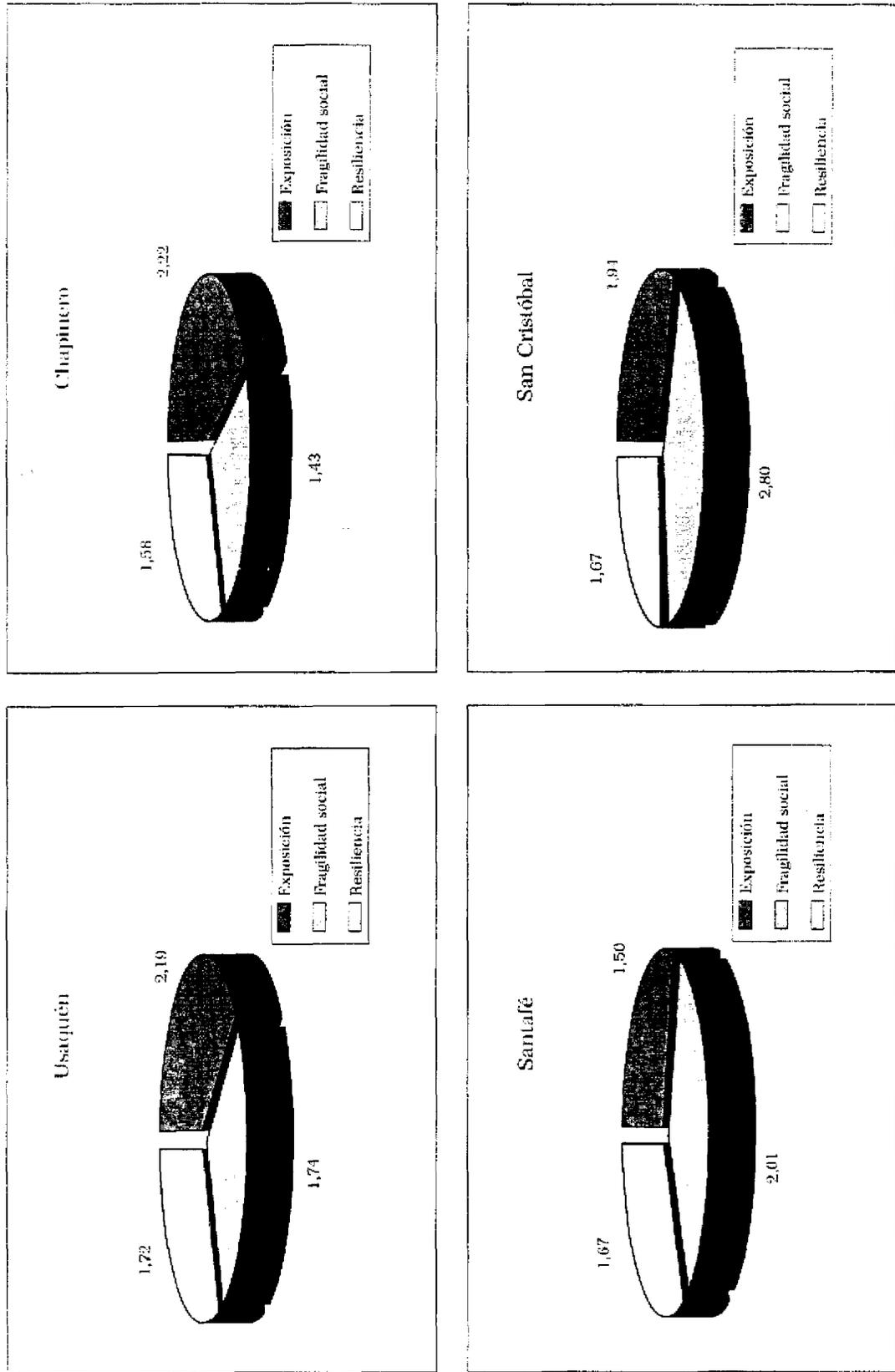


Gráfico 26B

INDICADORES DE VULNERABILIDAD POR LOCALIDAD

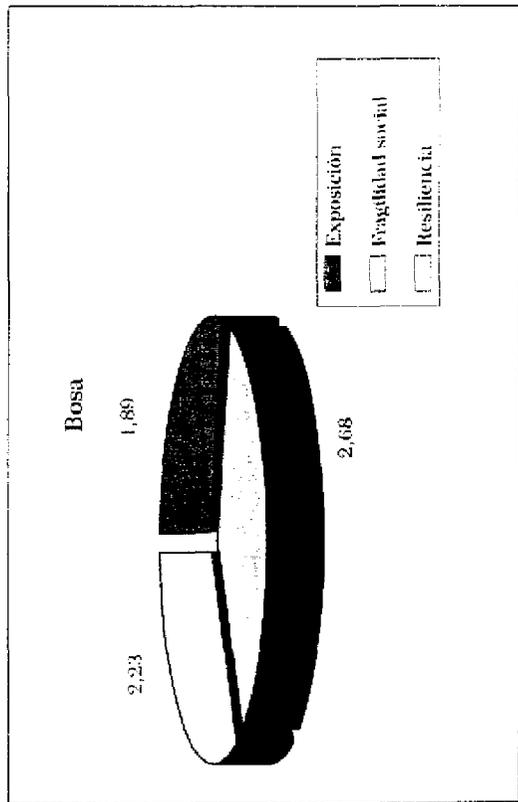
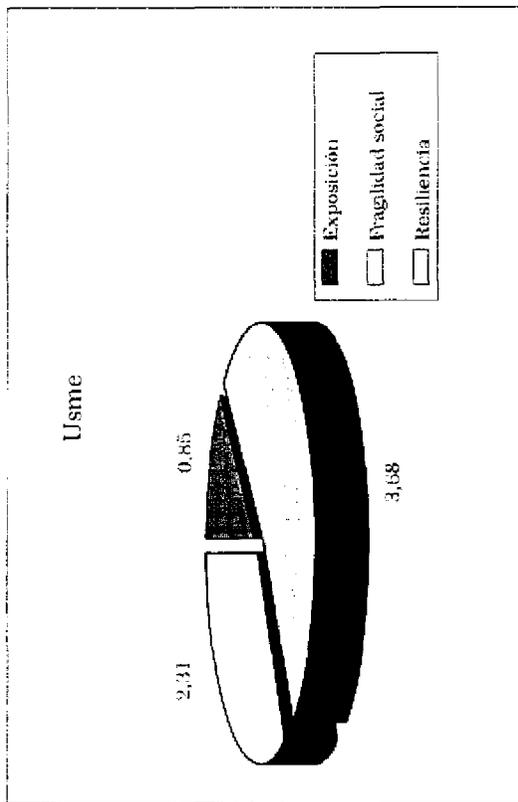
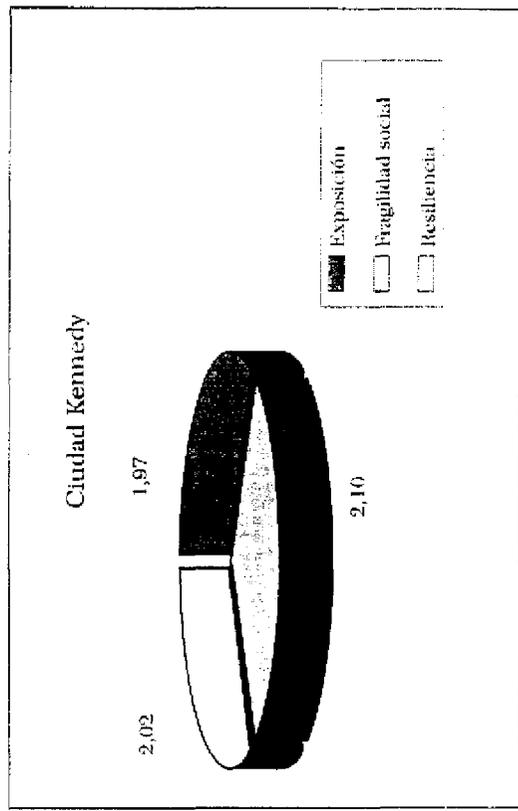
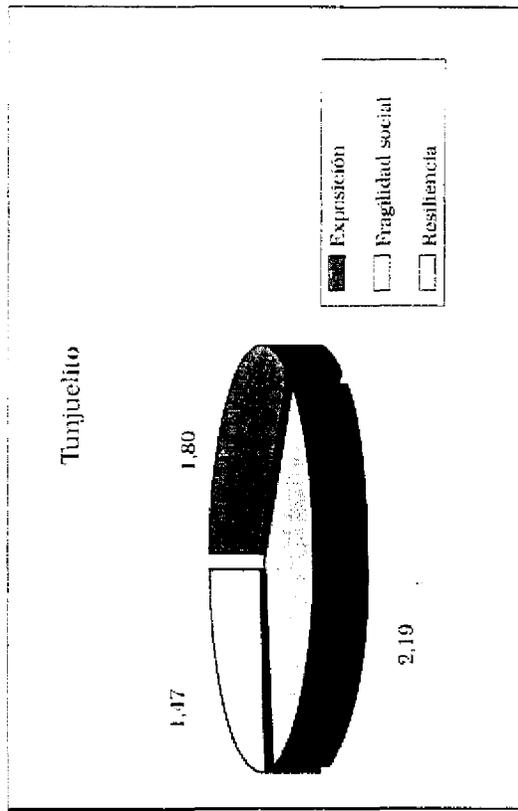


Gráfico 20C  
INDICADORES DE VULNERABILIDAD POR LOCALIDAD

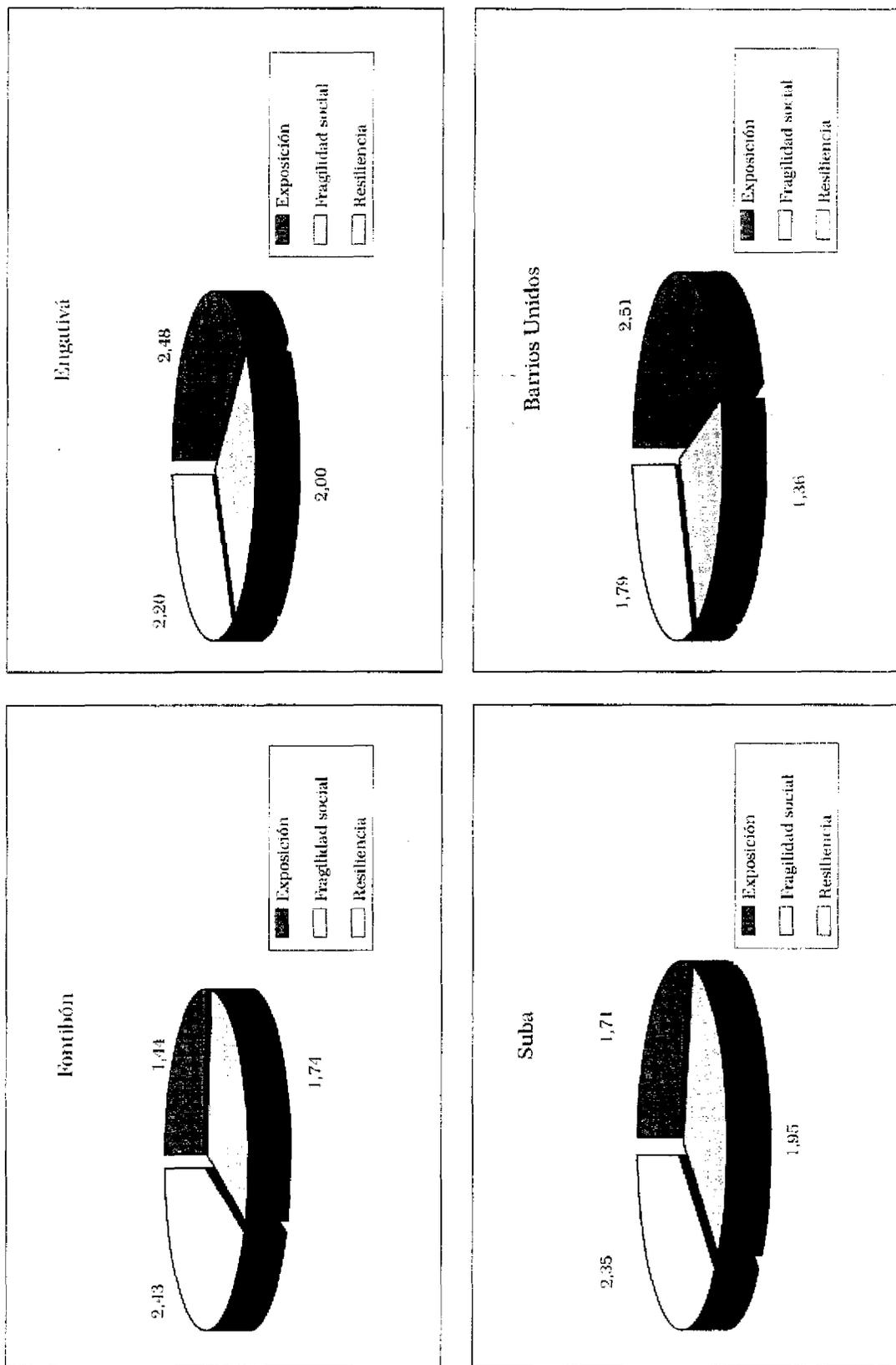


Gráfico 26D

INDICADORES DE VULNERABILIDAD POR LOCALIDAD

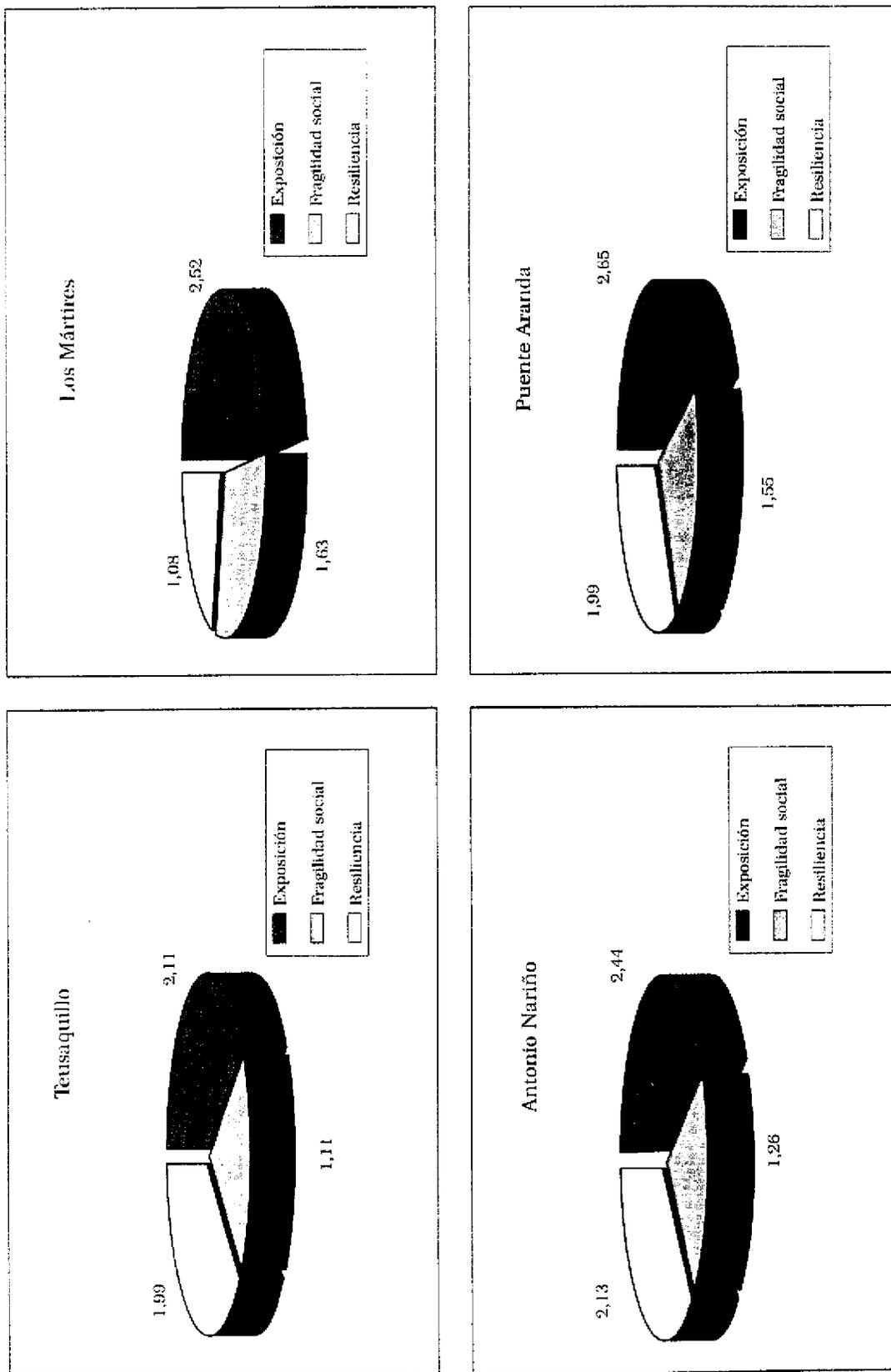


Gráfico 26E

INDICADORES DE VULNERABILIDAD POR LOCALIDAD

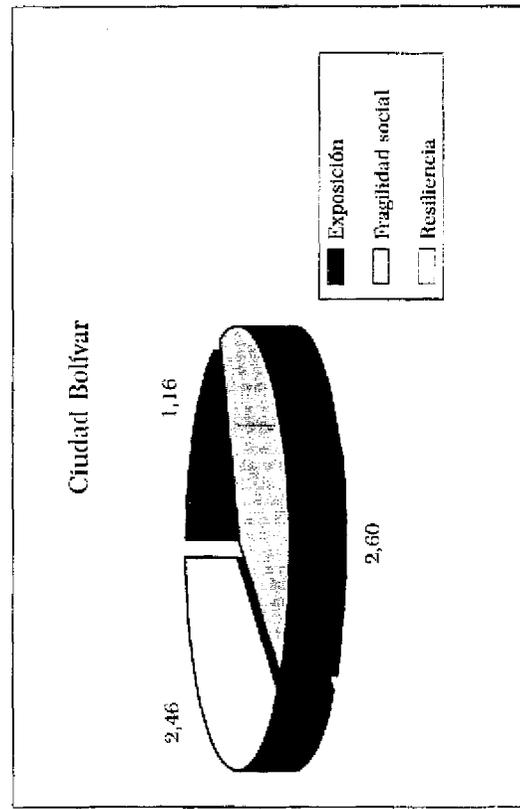
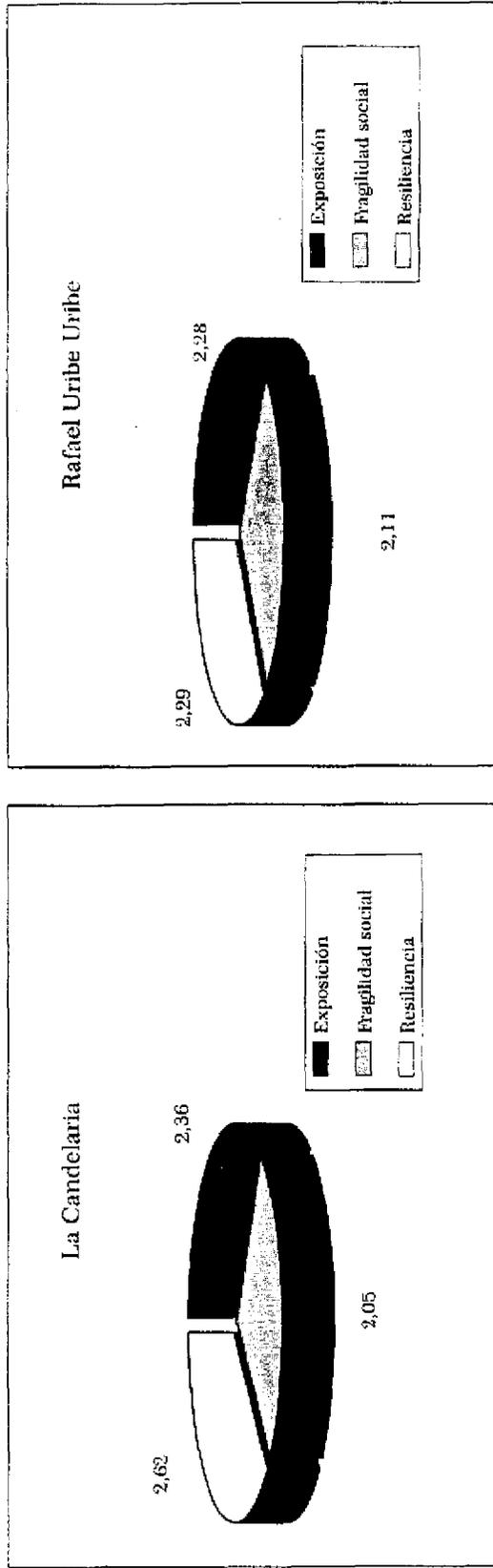


Gráfico 27

INDICADORES DE COMPONENTES DE VULNERABILIDAD POR LOCALIDAD

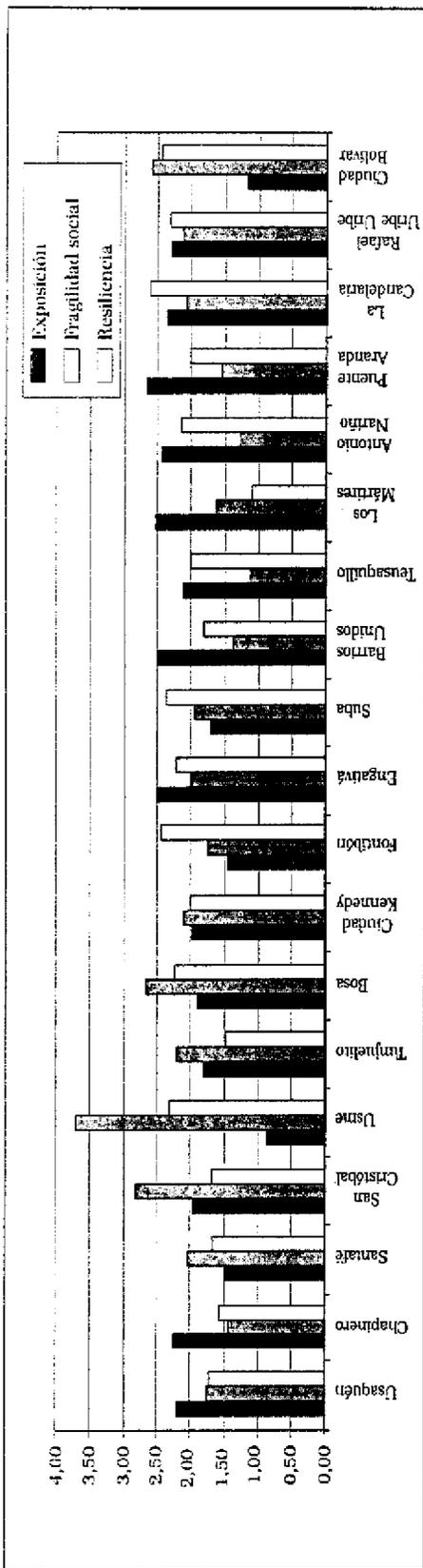


Gráfico 28

INDICADORES DE VULNERABILIDAD POR LOCALIDAD

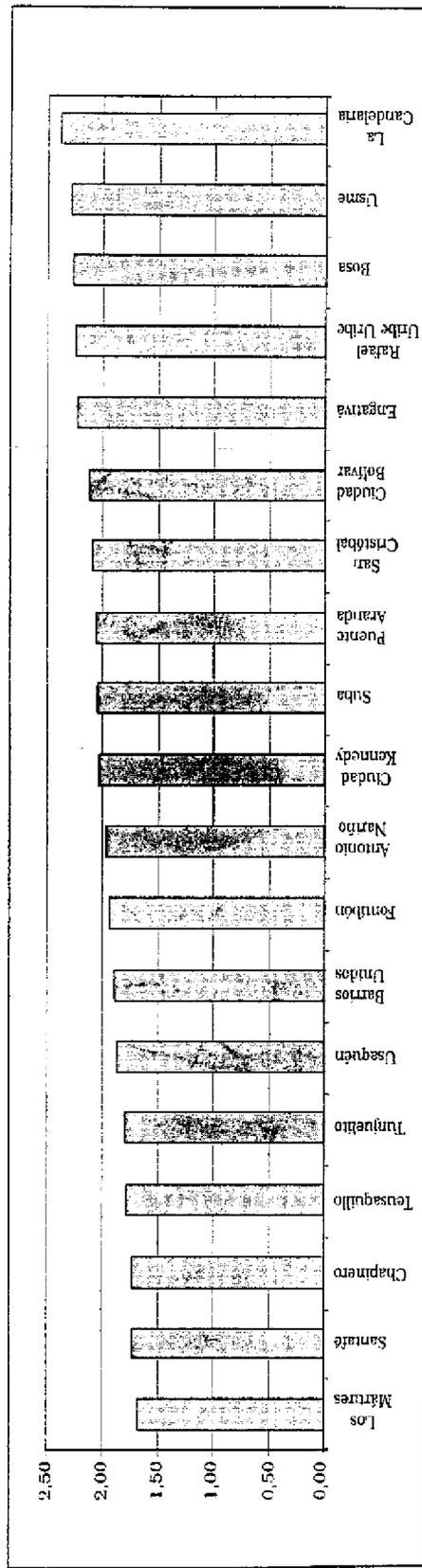


Gráfico 29  
EXPOSICIÓN POR LOCALIDAD

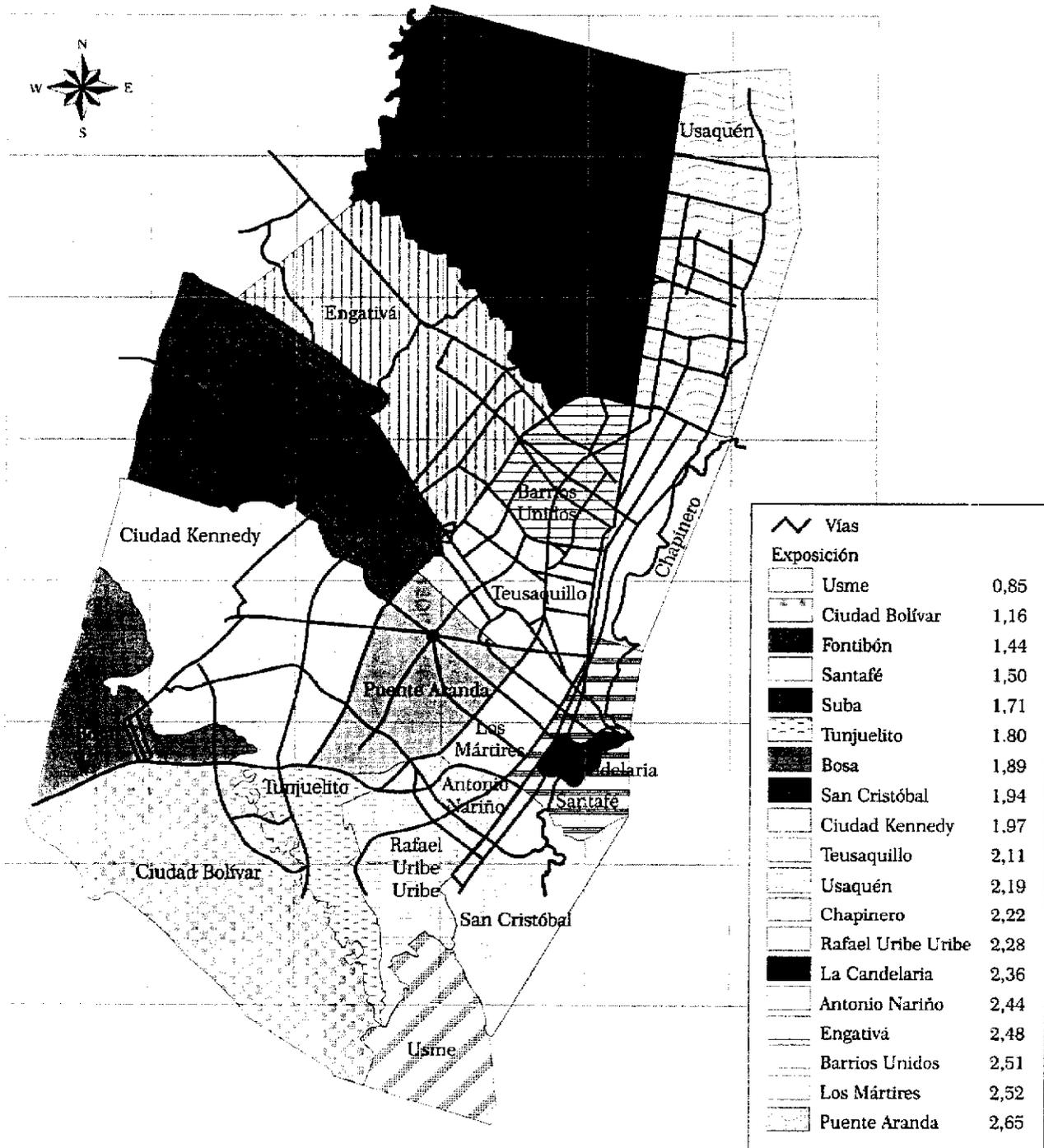


Gráfico 30  
FRAGILIDAD SOCIAL POR LOCALIDAD

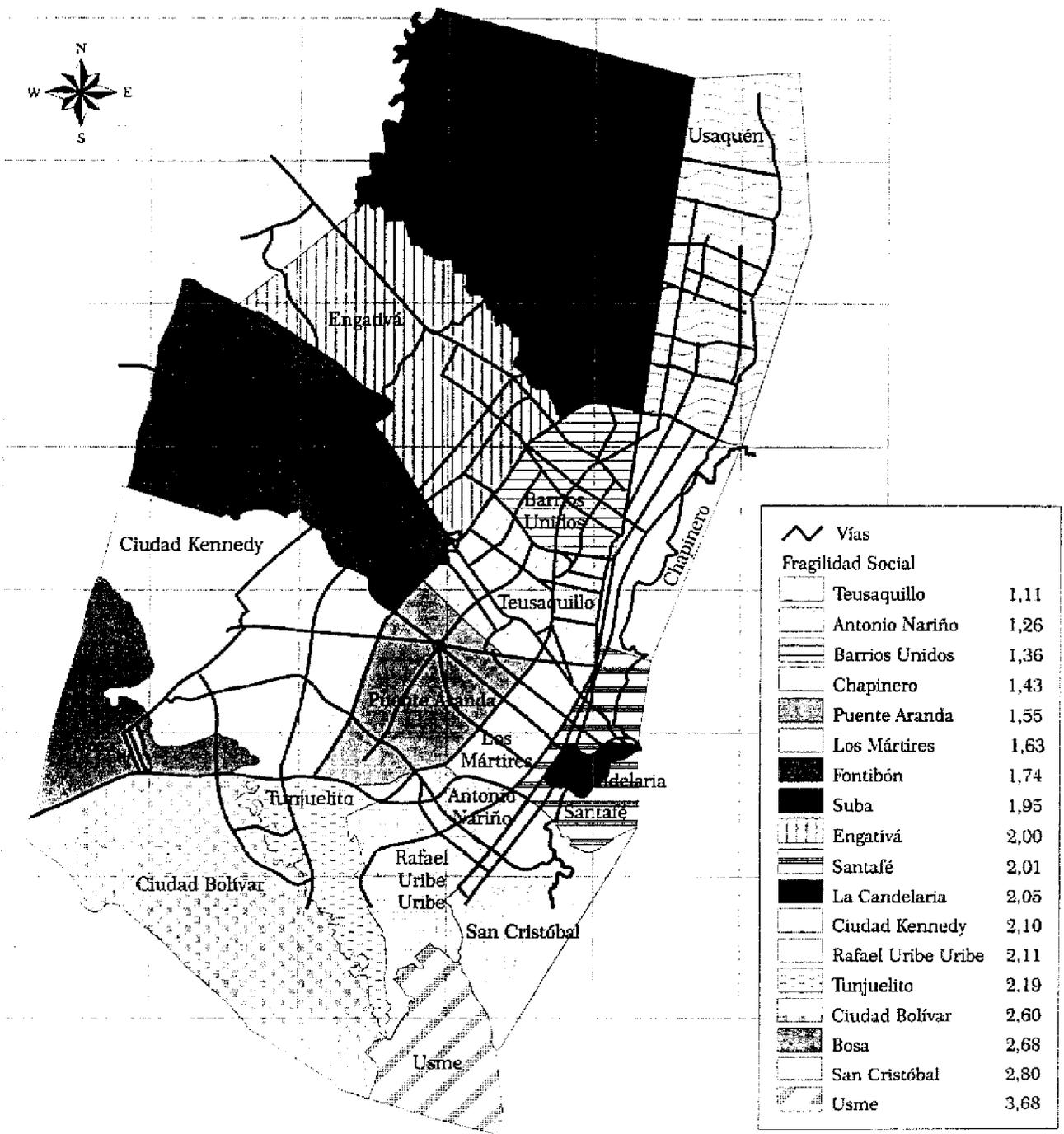


Gráfico 31  
RESILIENCIA (FALTA DE) POR LOCALIDAD

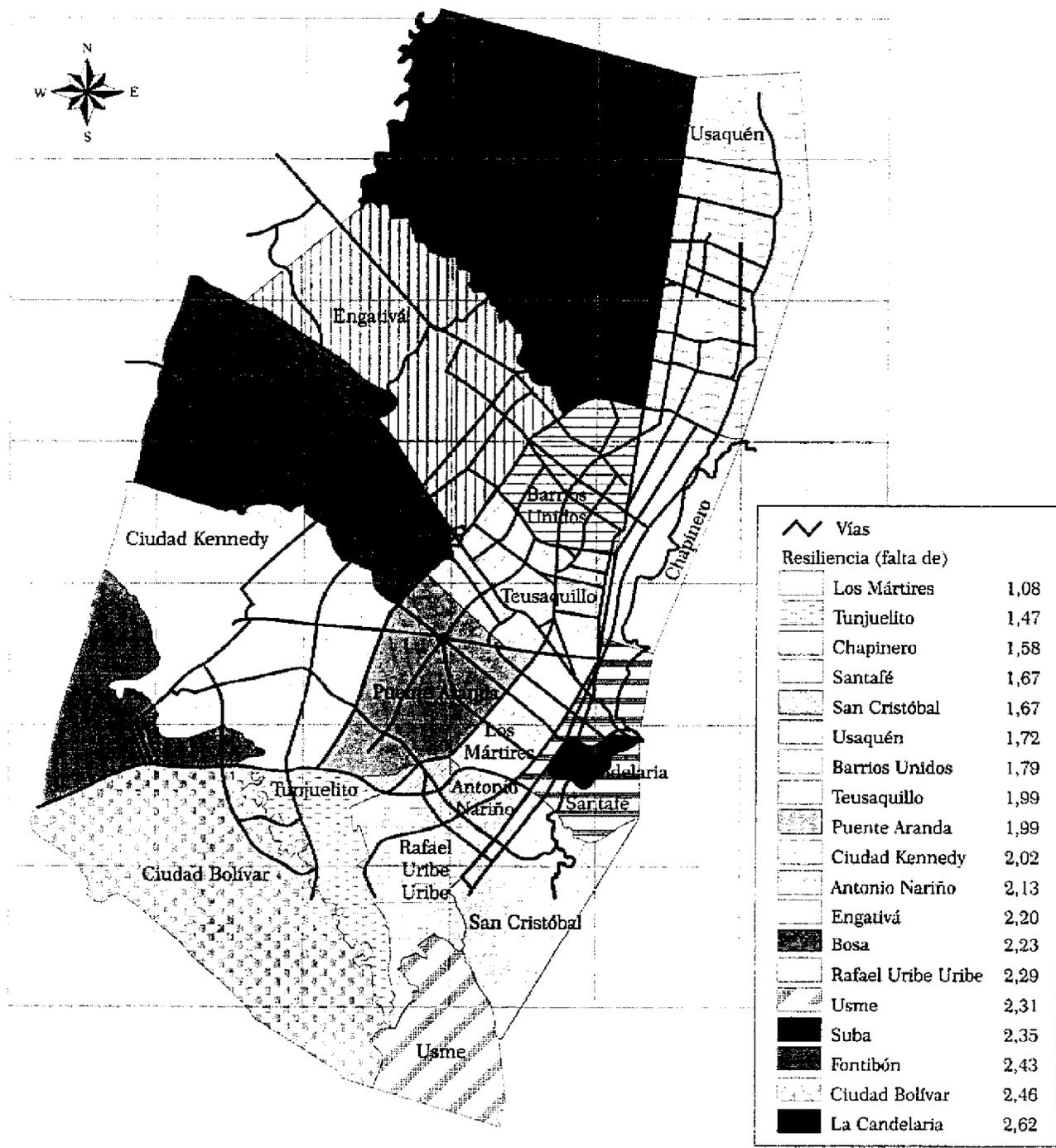


Gráfico 32  
 VULNERABILIDAD POR LOCALIDAD

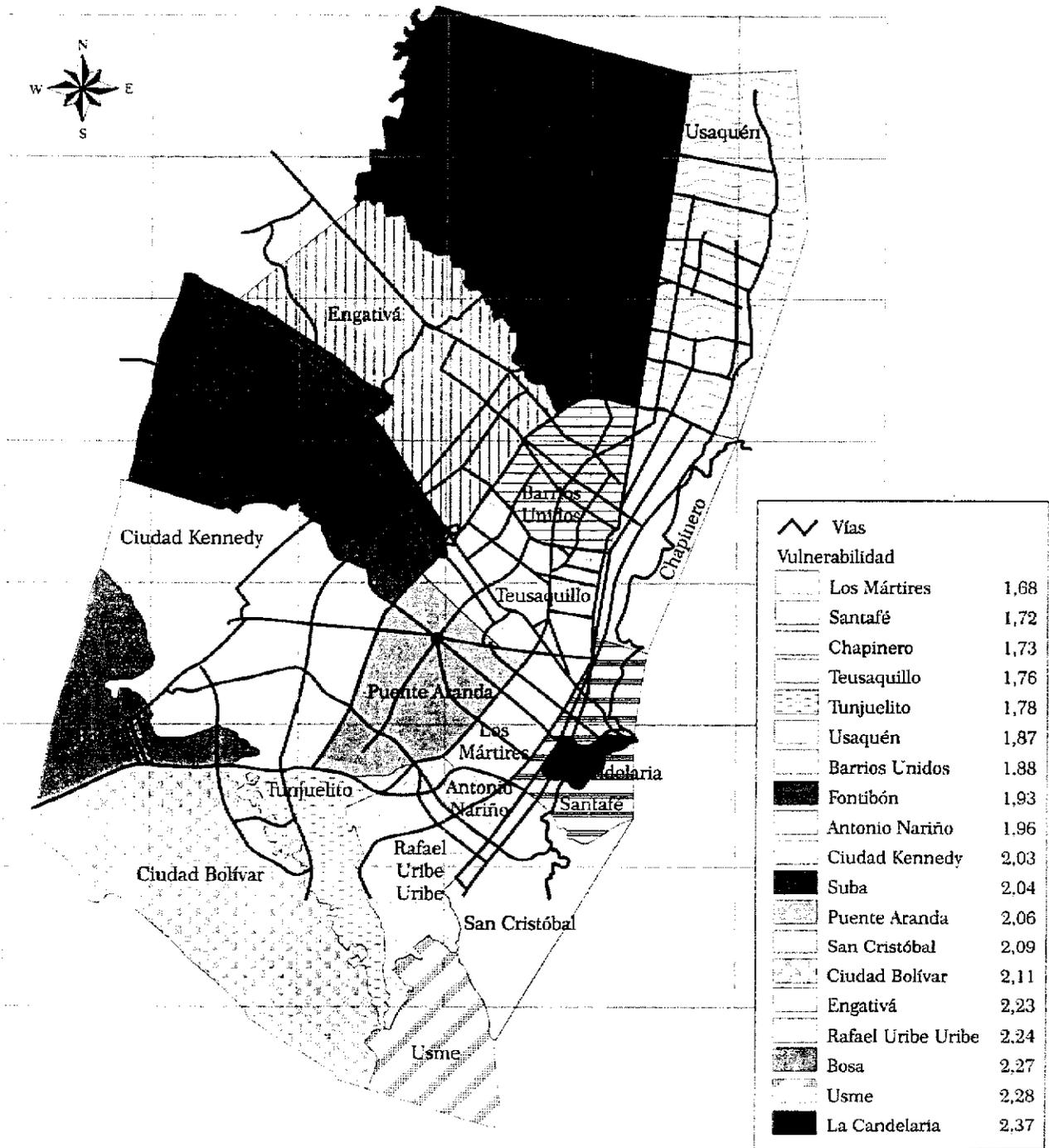


Gráfico 33

INDICADORES DE COMPONENTES DE ÍNDICE DE RIESGO POR LOCALIDAD

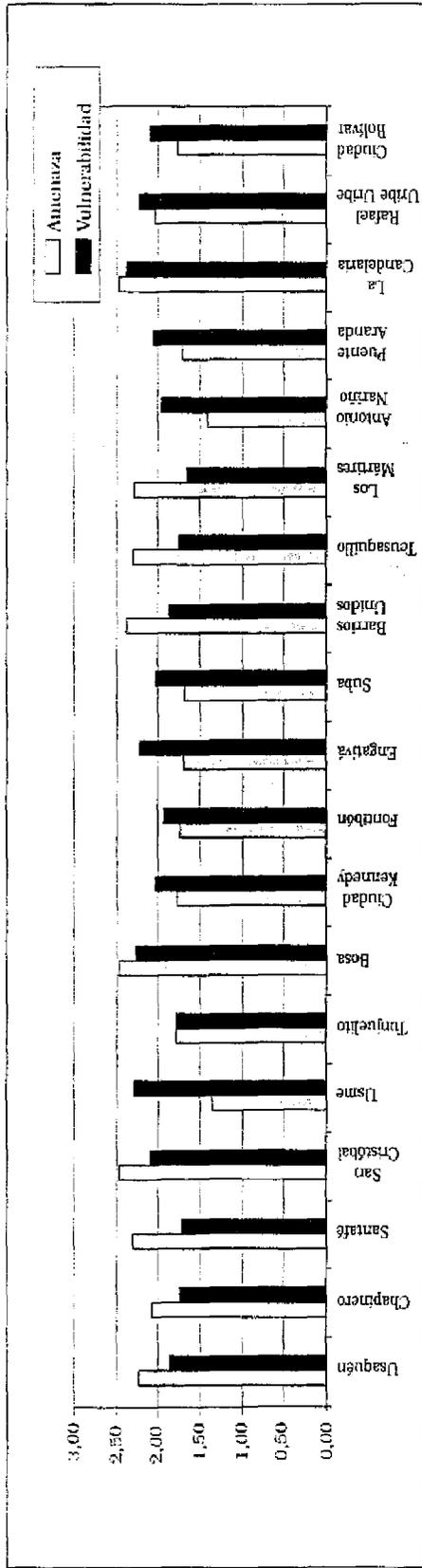


Gráfico 34

INDICADORES DE ÍNDICE DE RIESGO POR LOCALIDAD

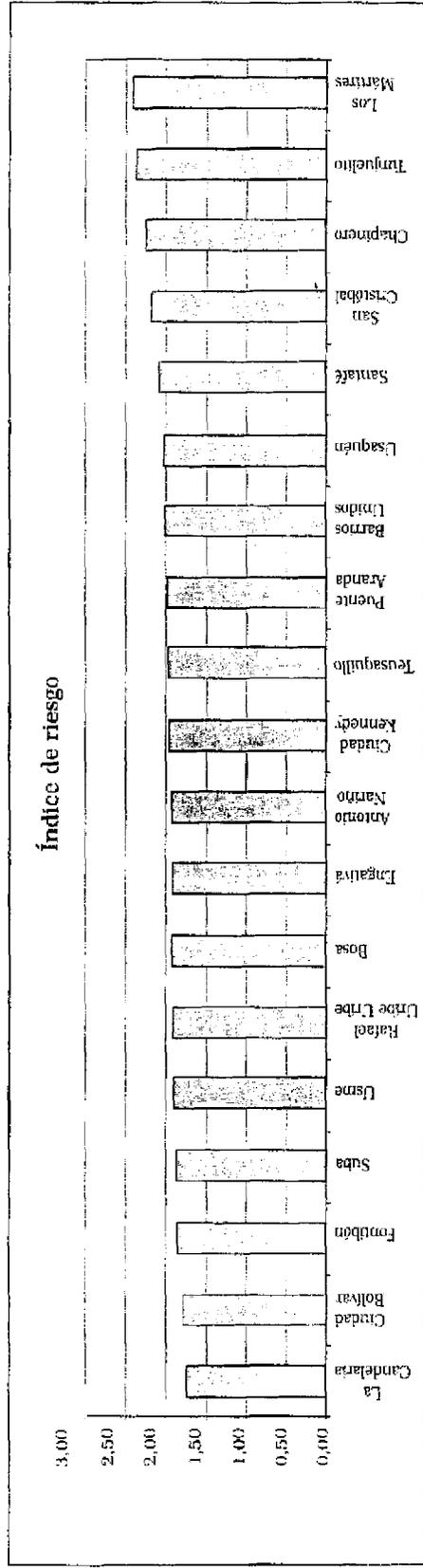
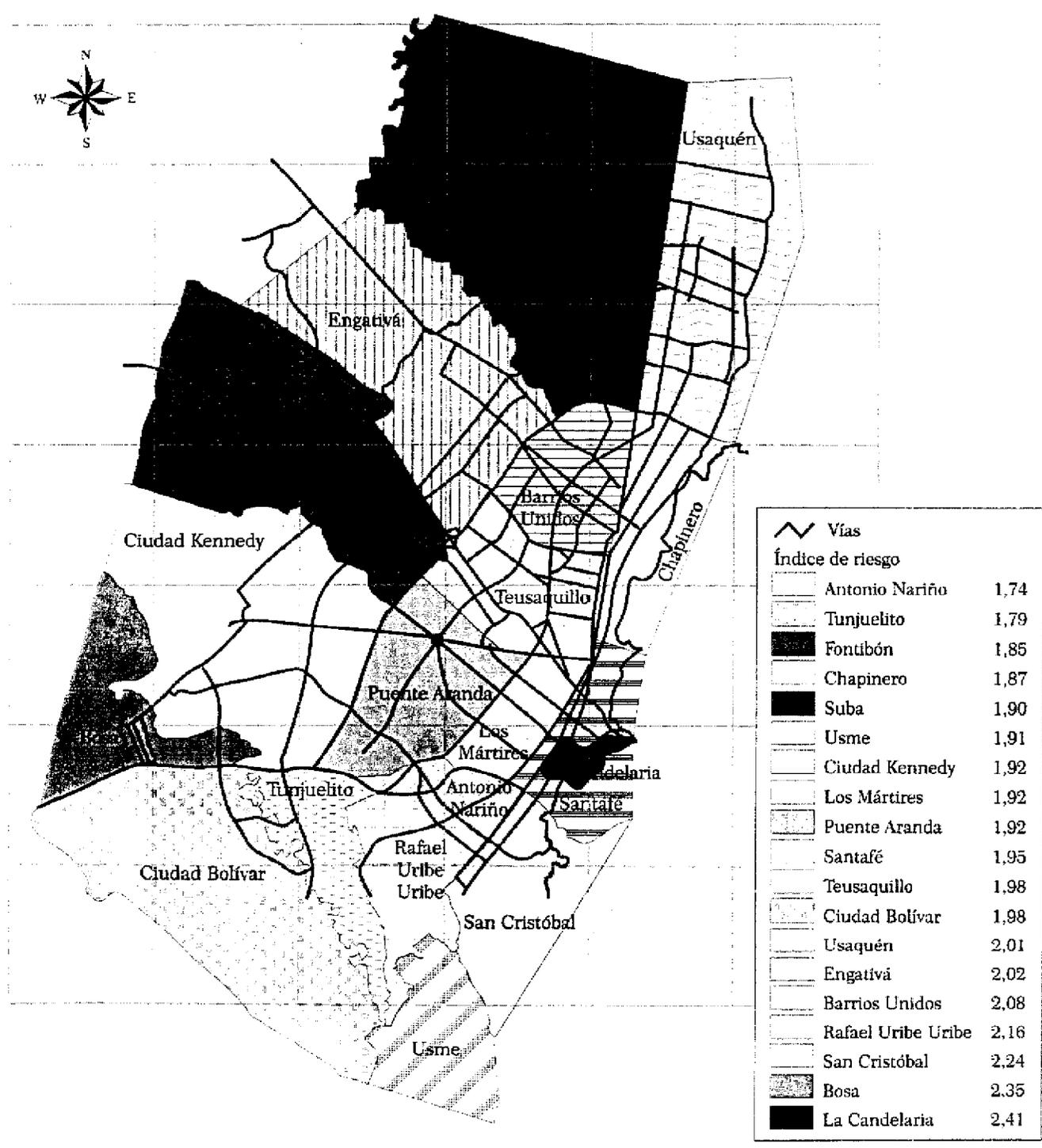


Gráfico 35

ÍNDICE DE RIESGO POR LOCALIDAD



## **ANEXO 4**

---

### **AMENAZA GEOTÉCNICA EN EL ORIENTE DE SANTA FE DE BOGOTÁ**

## INTRODUCCIÓN

**D**urante el último trimestre de 1997, la Universidad de los Andes desarrolló un estudio encaminado a la identificación de diferentes tipos de amenazas naturales en la ciudad de Bogotá; este proyecto fue desarrollado para el Fondo Financiero Distrital de Salud, entidad que está interesada en la planificación de la atención médica durante situaciones de emergencia y desastres naturales.

Entre las diferentes amenazas para la ciudad se encuentran aquellas que están relacionadas con deslizamientos y zonas geotécnicamente inestables.

El presente informe está encaminado, entonces, a los siguientes objetivos:

1. Recopilar y analizar la información existente sobre amenazas geotécnicas al oriente de Santa Fe de Bogotá.
2. Complementar y mejorar esta información.
3. Identificar las zonas que presentan el mayor grado de amenaza.

## ANTECEDENTES

Las condiciones geotécnicas de inestabilidad en los cerros orientales de Santa Fe de Bogotá han sido ya analizadas por la Universidad de los Andes en dos estudios anteriores, a saber:

1. *Estudio físico para el ordenamiento urbano en los cerros orientales de Bogotá*, 1991. Centro de Planificación y Urbanismo CPU (U. de los Andes), para la Alcaldía de Santa Fe de Bogotá.
2. *Proyecto de microzonificación sísmica de Santa Fe de Bogotá*, llevado a cabo durante el año 1996.

Estos dos estudios permitieron establecer una zonificación de los diferentes grados de inestabilidad geotécnica existente para el sector en cuestión.

Con el fin de enmarcar adecuadamente el presente trabajo, en el siguiente capítulo se resumen los aspectos más relevantes que fueron considerados en los dos estudios anteriores.

## AMENAZA GEOTÉCNICA EN EL ORIENTE DE SANTA FE DE BOGOTÁ

### CONTEXTO GEOLÓGICO

Dado que las características geológicas de la ciudad han sido ya bien descritas en los estudios de 1991 y 1996, se presenta aquí únicamente un contexto geológico general que permite ubicar rápidamente los problemas de inestabilidad. Los cerros orientales están constituidos por rocas de tipo sedimentario, y recubiertas parcialmente por depósitos recientes del cuaternario; las rocas mencionadas pertenecen a edades del cretáceo y del terciario. La columna estratigráfica generalizada es la siguiente:

FORMACION	TIPO DE ROCA DEPOSITO
Depósitos recientes	Depósitos de coluvión, aluvión y glaciares
La Regadera	Areniscas
Bogotá	Arcillolitas
Cacho	Areniscas
Guaduas	Arcillolitas
Guadalupe	Areniscas

Algunas formaciones suprayacentes a La Regadera no afectan el sector en estudio, por lo cual no se mencionan aquí.

Para cada una de las diferentes formaciones, en función del tipo de roca o depósito, existen diferentes mecanismos de inestabilidad geotécnica. Estos mecanismos se describen en el próximo numeral.

### FORMAS DE INESTABILIDAD GEOTÉCNICA

Los diferentes tipos de deslizamiento, identificados en los estudios anteriores se resumen sintéticamente en el cuadro 11; su descripción es la siguiente:

#### FLUJOS DE LODO EN ROCAS ARCILLOSAS

La masa que se desliza es muy alargada, pero de poca profundidad, presentan longitudes de varias centenas de metros y profundidades entre dos y cinco metros.

El deslizamiento ocurre a través del contacto *-superficie de falla-*, entre la roca meteorizada y la roca sana, y es causado por el reblandecimiento de material arcilloso en el contacto, por acción del agua infiltrada.

#### FALLA PLANAR EN ARENISCAS

Cuando el buzamiento de los estratos es desfavorable a la estabilidad, o sea, buzando hacia afuera del talud, la masa de roca se desliza a lo largo del plano de

estratificación. Se presenta cuando el buzamiento de estratos es superior al ángulo de fricción interna del plano de estrato

#### CAÍDA DE BLOQUES Y CUÑAS EN ARENISCA

Cuando la roca presenta sistemas de fluidos de fracturas *-diaclasas-*, se forman bloques de cuñas individuales y aislados de roca; estos bloques se forman por la intersección de las diferentes diaclasas y planos de estrato.

Cada bloque cae, entonces, aisladamente del talud, por diferentes efectos tales como empuje del agua en las diaclasas o por pérdida de soporte causado por erosión.

#### FALLA CIRCULAR EN COLUVIONES

Estos depósitos, constituidos por bloques de roca en matriz limo-arcillosa, pueden presentar espesores hasta de 20 y 30 m. Se comportan, entonces, como un depósito cohesivo homogéneo, cuyo espesor permite el desarrollo de una superficie de falla de forma circular y relativamente profunda.

Para la ocurrencia de este tipo de falla se requiere que haya acumulación sustancial de agua en el depósito, lo cual reblandece la matriz limo-arcillosa del coluvión.

#### FALLA TRASLACIONAL DE COLUVIONES

Los coluviones son depósitos de edad geológica muy joven, de tal forma que se han acumulado progresivamente encima de las rocas preexistentes más antiguas *-cretáceo y terciario-*. El plano de contacto entre la roca y el coluvión representa, entonces, una superficie de debilidad, de tal forma que el depósito coluvial puede deslizarse a lo largo de dicho plano de contacto.

El deslizamiento puede ocurrir cuando se presenta acumulación de agua *-presión de poros, reblandecimiento-* en el contacto; puede ocurrir también cuando el coluvión pierde soporte lateral por efecto de erosión o excavación.

Cuadro 11

#### INESTABILIDAD GEOTÉCNICA EN EL ORIENTE DE SANTA FE DE BOGOTÁ

TIPO DE ROCA O DEPOSITO	FORMACIONES	INESTABILIDAD GEOTÉCNICA	OBSERVACIONES
Arcillolitas	Guaduas y Bogotá	Flujos de lodo	Superficies muy alargadas, a baja profundidad (2m - 5m)
Areniscas	Guadalupe Cacho La Regadera	1. Falla planar por buzamiento desfavorable 2. Caída individual de bloques y cuñas de roca	Requiere buzamientos superiores al ángulo de fricción interna Ocurre en rocas fracturadas
Coluviones	Cuaternario	1. Falla circular (para gran espesor) 2. Traslacional en el contacto, con roca infravaciente	Se desarrolla por acción del agua (reblandecimiento) Por acción del agua o pérdida de soporte (excavación, erosión)

## ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA - ESTUDIOS DE 1991 Y 1996

Los dos estudios ya mencionados llegaron a una zonificación geotécnica de los cerros orientales de Santa Fe de Bogotá, utilizando diferentes metodologías de trabajo en la siguiente forma:

### ESTUDIO DE ORDENAMIENTO URBANO - 1991

Este trabajo incluyó las siguientes etapas:

1. Fotointerpretación geológica y geomorfológica.
2. Verificación de campo de esta fotointerpretación.
3. Mapa geológico y geomorfológico, en escala 1:10.000.
4. Visitas de campo para identificar condiciones geotécnicas y formas de inestabilidad.
5. Análisis general de las condiciones de estabilidad en cada zona.
6. Mapa de riesgo geotécnico, en escala 1:10.000.

### MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE SANTA FE DE BOGOTÁ - 1996

Este trabajo tomó como base de partida el mapa geológico (escala 1:10.000) de 1991.

Con el fin de identificar en forma más precisa el riesgo de falla de taludes en condiciones sísmicas, se llevaron a cabo estudios adicionales, así:

1. Ejecución de apiques exploratorios en las diferentes zonas geotécnicas, incluyendo toma de muestras.
2. Ensayos de laboratorio de clasificación y resistencia al corte.
3. Cálculo de estabilidad de taludes.
4. Con base en los resultados de estas tres etapas se elaboró el mapa de riesgo por falla de taludes en condiciones sísmicas.

Este mapa fue elaborado en escala 1:10.000, pero para efectos de facilidad práctica se ha presentado en escala 1:50.000.

El estudio de 1991 (CPU) identificó las zonas de mayor amenaza geotécnica de los cerros, las cuales corresponden a las siguientes condiciones:

- a. Presencia de flujos de lodo ya ocurridos en el pasado, los cuales representan un grave peligro para urbanizaciones que se construyan en este tipo de terrenos.
- b. Zonas con afloramiento de areniscas que presenten un buzamiento desfavorable a la estabilidad –falla planar–.

Los sitios más críticos corresponden a:

1. Explotaciones de cantera –arena, piedra, recebo– en las cuales se realiza una explotación antitécnica y sin ningún control de estabilidad geotécnica.
2. Ejecución de excavaciones con alineamiento desfavorable a la estabilidad, para construcción de obras civiles tales como vías y edificaciones.

Debido a que los volúmenes de roca susceptibles de deslizarse, en las condiciones descritas, pueden ser muy grandes, la ocurrencia de esta forma de falla representa seria amenaza.

1. Presencia de escarpes altos con caída individual de bloques y cuñas de roca; obviamente los volúmenes de roca que se deslizan son mucho menores, pero la altura de caída incrementa fuertemente el potencial de daño a las personas y edificaciones.
2. Sectores con explotación de material arcilloso para elaboración de ladrillos, en los así llamados chircales; se realiza aquí una explotación antitécnica que favorece el agrietamiento de la roca, su reblandecimiento y finalmente la ocurrencia de flujos de lodo.

Corresponde principalmente a las arcillolitas de la formación Bogotá y en menor escala de la formación Guaduas.

1. Zonas con presencia de coluviones que presenten las siguientes condiciones:
  - a. Acumulación de agua.
  - b. Afloramiento en superficie del contacto entre el coluvión y la roca infrayacente.
  - c. Ejecución de excavaciones (vías, edificaciones) que hagan aflorar en superficie el contacto coluvión-roca.

El *Estudio de microzonificación sísmica de Santa Fe de Bogotá* (1996) mostrado en el gráfico 1 de este anexo estableció seis diferentes categorías de amenaza por deslizamiento de laderas naturales bajo condición sísmica, en la siguiente forma:

1. Amenaza muy alta:

Corresponde a los sitios donde ya ocurrieron en el pasado deslizamientos de tipo flujo de lodo, asociados a las formaciones Guaduas y Bogotá, representando así deslizamientos antiguos que fácilmente pueden reactivarse.

2. Amenaza alta:

Corresponde a todas las franjas de terreno constituidas por arcillolita en las cuales la pendiente topográfica sea superior a los 15°.

Aunque hoy en día estas franjas se presentan estables, la evolución de condiciones de agua en el tiempo las torna potencialmente inestables; la fuerte pendiente topográfica facilita el potencial de deslizamiento.

3. Amenaza moderada:

Se presenta también en los terrenos conformados por arcillolita, pero ya con una pendiente topográfica inferior a los 15°. Esta condición de menor pendiente topográfica disminuye el grado de amenaza por deslizamiento.

4. Amenaza leve:

Se presenta en los depósitos coluviales cuya pendiente topográfica sea superior a los 15°.

Debido a que no se han identificado aún acumulaciones importantes de agua, los depósitos coluviales significan una menor amenaza geotécnica que las arcillolitas.

5. Amenaza baja:

Se ubica en los depósitos coluviales con pendiente inferior a 15°.

6. Amenaza muy baja:

Se localiza en los depósitos de coluvión cuyo contacto con la roca no aflora en superficie, debido a que dicho contacto se profundiza por debajo de la zona plana de la ciudad de Santa Fe de Bogotá.

Los anteriores criterios de zonificación (1991-1997) fueron entonces analizados para la identificación de amenazas en el presente proyecto del Fondo Financiero Distrital de

Salud, pero toda esta información disponible fue complementada en la forma que se describe a continuación.

## TRABAJOS COMPLEMENTARIOS

Los estudios de 1991 y 1996 tuvieron cada uno, en su momento, determinados objetivos específicos, a saber:

1. Estudio del CPU (1991): establecer planes de ordenamiento físico y urbano en los cerros orientales de Santa Fe de Bogotá.

2. Microzonificación sísmica (1996): identificar zonas de amenaza geotécnica bajo movimiento sísmico, para las laderas naturales no intervenidas por el ser humano, de tal forma que no se consideró el aspecto antrópico como parte de los alcances del estudio.

Este estudio de microzonificación, de nivel cuantitativo, hizo, por tanto, énfasis en los aspectos de comportamiento mecánico del terreno y sus propiedades de resistencia, así como en los factores de seguridad al deslizamiento en las laderas naturales no intervenidas por el ser humano, a escala regional.

El presente trabajo está ya más orientado hacia la atención médica en momentos de emergencia y posee, por tanto, un mayor componente social; para efectos de planificación de atención de emergencias pueden tener importancia situaciones de amenaza en escala localizada, las cuales no fueron consideradas en 1996.

Por estas consideraciones se pensó que resultaba adecuado en el presente trabajo complementar la información de estudios anteriores mediante la adquisición de algunos datos adicionales relacionados con las características individuales de cada localidad, en lo referente al uso de la tierra, calidad de la construcción de viviendas, manejo de aguas en cada localidad y otros aspectos no considerados en 1996. Estos datos adicionales están relacionados en gran medida con la vulnerabilidad.

De esta manera se llevaron a cabo visitas de reconocimiento de campo en las localidades del oriente de la ciudad, con el fin de recolectar en cada caso la información complementaria en lo referente a los datos adicionales ya mencionados.

El trabajo ejecutado se describe a continuación.

## RECONOCIMIENTOS DE CAMPO

La información requerida fue recolectada para cada localidad utilizando formatos previamente elaborados, en los cuales se consignaron sistemáticamente los datos pertinentes. El cuadro 13 de este anexo de ilustra el tipo de formato utilizado.

Las diferentes casillas de este formato representan información en la definición de amenazas y vulnerabilidad geotécnica debido a las siguientes razones:

1. Tipo y calidad de construcción: para los barrios con malas especificaciones constructivas -baja calidad de construcción- se han identificado frecuentemente en Santa Fe de Bogotá problemas relacionados con la rotura de tuberías y alcantarillados (de mala

calidad), lo cual favorece un rápido humedecimiento del terreno y los consecuentes fenómenos de inestabilidad geotécnica.

Estos barrios presentan además bajo grado de arborización, con lo cual se favorece también el humedecimiento por infiltración.

2. Uso del barrio: está principalmente relacionado con la presencia de canteras de explotación de materiales, y también de chircales, que presentan usualmente explotación antitécnica y facilitan la ocurrencia de deslizamientos.

3. Aspecto general: complementa la imagen relativa a la calidad de construcción.

4. Manejo de aguas: se ha mencionado ya varias veces en este informe la enorme influencia del agua en los diferentes fenómenos de inestabilidad identificados para Santa Fe de Bogotá. La idoneidad que se le dé al manejo de aguas en cada localidad representa, por tanto, una reducción o un aumento en la vulnerabilidad geotécnica, según el caso. Este punto se refiere, entonces, a aspectos tales como:

- a. Los barrios de estratos más altos, con una mejor construcción, incluyen generalmente diferentes sistemas de manejo de aguas tales como canales urbanos de recolección de lluvias, bajadas de recolección de escorrentía y tuberías de drenaje en los taludes.
- b. Por el contrario, barrios de estratos bajos, tienen un manejo de aguas deficiente, y aún inexistente.
- c. Barrios de muy pobre calidad constructiva poseen frecuentemente calles que no están pavimentadas ni poseen el sistema de drenaje usual en una calle pavimentada, por lo cual se facilita la acción desestabilizadora del agua.

5. Arborización o reforestación: la presencia de una adecuada vegetalización representa una considerable reducción en la vulnerabilidad ante deslizamientos.

Nuevamente, los barrios de estratos más altos llevan la ventaja, dado que sus ocupantes se preocupan notoriamente del embellecimiento del sector mediante arborización y prados.

6. Pendiente del terreno: se comentó ya en el acápite «Zonificación geotécnica - Estudios 1991 y 1996» la importancia fundamental que resultó tener la pendiente topográfica del terreno en el proceso de zonificación.

La segunda columna del formato -condiciones geotécnicas- corresponde a la información geológica y geotécnica básica que se debe tener en cuenta en los estudios anteriores.

Para esta segunda columna cabe destacar la importancia de la casilla denominada *Zonas inestables*, dado que la ocurrencia previa de deslizamientos en un sector determinado significa una mayor probabilidad de ocurrencia de nuevos deslizamientos en un futuro; esto quiere decir que una zona con historia previa de inestabilidad determina en gran medida la asignación de una categoría de mayor amenaza geotécnica, comparativamente con otros sectores que no posean historia de inestabilidad y que tendrán entonces menor amenaza.

## SITIOS DE RECONOCIMIENTO

Los sitios de reconocimiento de campo fueron seleccionados de acuerdo con los siguientes criterios:

Cuadro 12

## CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS RECORRIDOS

LOCALIDAD	NO. DE SITIOS OBSERVADOS	GEOLOGÍA	INESTABILIDAD OBSERVADA
1 Usaquén	7	Areniscas parcialmente cubiertas de coluvión	Canteras: caída de bloques Escarpes: riesgo de caída Erosión
2 Chapinero	8	Arenisca al norte Arcillolitas al sur Hay recubrimiento de coluvión	Escarpes: riesgo de caídas Al sur abundantes flujos, local zonas húmedas
3. Santafé y Candelaria	3	Arcillolitas y coluviones	Flujos antiguos y flujos con tratamiento de estabilización. Erosión
4 San Cristobal	11	Arcillolitas y coluviones	Flujos potenciales y flujos con tratamiento de estabilización.

1. Fueron seleccionados sitios que se consideraron representativos de las diferentes formas de inestabilidad ya caracterizados en los estudios anteriores.
2. Se trabajó en sectores con fácil acceso hacia la carretera circunvalar.
3. Se procuró obtener información a lo largo de algunas secciones de trabajo con orientación oriente-occidente, para observar variación de condiciones en esta dirección; la variación en dirección norte-sur se obtiene también debido a que se trabajó a todo lo largo de la circunvalar.
4. Se cubrió toda la franja de los cerros orientales, desde la calle 187 (norte) hasta el barrio Juan Rey (calle 70 sur).
5. Se observaron principalmente sitios que presentaban afloramiento de roca o suelo, y también con historia previa de inestabilidad.

A continuación se resumen, para cada localidad, las características generales de los recorridos efectuados:

## CONDICIONES ENCONTRADAS EN EL RECONOCIMIENTO DE CAMPO

Para facilitar el análisis de la información recolectada se elaboró el cuadro 12, el cual registra en forma condensada y sintética la información más relevante para cada sitio, en lo referente a la caracterización de las amenazas.

Durante los recorridos también observaciones generales, anotadas en libreta de campo que complementan los datos registrados en formatos.

A partir de toda esta información de campo se llegó a la caracterización de una serie de condiciones relevantes en la amenaza y vulnerabilidad geotécnica, las cuales para cada localidad son las siguientes: