

ANDREW MASKREY
Editor

NAVEGANDO ENTRE BRUMAS

LA APLICACIÓN DE LOS **SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA** AL ANÁLISIS DE RIESGO EN AMÉRICA LATINA

LA RED

Red de Estudios Sociales en Prevención de
Desastres en América Latina

1998

El presente libro ofrece una sistematización de experiencias de aplicación de los SIG al análisis de riesgos en América Latina y un análisis de los problemas conceptuales y metodológicos que deberían enfrentarse en su diseño e implementación. No pretende ofrecer recetas, pero si busca resaltar las cuestiones claves que deberían tomarse en cuenta en las aplicaciones SIG para el análisis de riesgos y las posibles estrategias de diseño e implementación que podrían explorarse. El uso de *inteligencia* en el diseño de modelos espaciales-temporales y desarrollo de aplicaciones a diferentes niveles de resolución como estrategias para reducir la complejidad y la incertidumbre; el uso de métodos participativos de generación de datos y de análisis de riesgos; la aplicación de métodos y técnicas para la gestión de errores y estrategias de implementación de los SIG a corto plazo, basadas en sistemas de bajo costo y ofreciendo funcionalidades muy específicas, son sólo algunas de las recomendaciones que se postulan aquí.

El objetivo central de su publicación, por parte de la Red de Estudios Sociales en América Latina: LA RED, es que los investigadores, diseñadores y usuarios comprometidos adopten una actitud crítica y analítica hacia el desarrollo de aplicaciones de SIG para el análisis de riesgos, mejorando la calidad de las mismas. La primera parte de este libro ofrece una sistematización y análisis comparativas sobre la aplicación de los SIG al análisis de riesgos en América Latina, en base a la literatura disponible. La segunda parte del libro ofrece una selección de estudios de casos presentados en un Taller sobre la Aplicación de SIG al Análisis de Riesgos, organizado por la Red de Estudios Sociales en América Latina: LA RED, en el marco de su V Reunión General llevada a cabo en Lima, Perú, en octubre de 1994.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 7: ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS NATURALES Y REGLAMENTACIÓN URBANA EN QUITO, ECUADOR.....	4
ING. MARÍA AUGUSTA FERNÁNDEZ	4
1. INTRODUCCIÓN	4
2. DESCRIPCIÓN DE LA APLICACIÓN	5
3. MODELOS CONCEPTUALES	18
4. DISPONIBILIDAD DE DATOS.....	23
5. BASE DE DATOS	24
6. SISTEMA UTILIZADO	26

CAPÍTULO 7: ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS NATURALES Y REGLAMENTACIÓN URBANA EN QUITO, ECUADOR

Ing. María Augusta Fernández

1. INTRODUCCIÓN

La zonificación de amenazas naturales en Quito, que posteriormente sirvió de insumo para la nueva reglamentación urbana, formó parte de un proyecto de largo plazo denominado "Atlas Informatizado de Quito".

El Atlas Informatizado de Quito (AIQ) fue un proyecto que incorporó permanentemente una visión global de la problemática urbana. Fue concebido, desde su inicio, como una respuesta a las necesidades propias de los habitantes de la ciudad para comprender el espacio de reproducción social, económico y ambiental. Fue creado para sistematizar la lectura de la realidad local de la ciudadanía y su gobierno municipal; por lo tanto, los grupos de decisión fueron partícipes del desarrollo.

Esta es una de las primeras experiencias de América Latina en el uso de la tecnología SIG como instrumento de trabajo. Del largo proceso seguido, aprendimos que sin un trabajo previo de selección, generación y validación de datos y de una alta capacidad de análisis del grupo, los SIG constituidos por un paquete complejo de software y su complemento de hardware no tendrían utilidad.

Como todos los proyectos que culminan exitosamente, hubo muchos problemas reales de implementación, que han quedado tras de bastidores. Aquí haré referencia sólo a aquellos directamente relacionados con el tema que nos ocupa.

Después de siete años, se alcanzaron todos los objetivos. Los resultados fueron: la creación, en el municipio de Quito, de la unidad municipal denominada "Sistema Urbano de Información Municipal" (SUIM), que *utiliza* permanentemente las herramientas científicas y técnicas desarrolladas en el proyecto; personal de las cuatro instituciones participantes, capacitado a profundidad en las bondades y limitaciones de la tecnología SIG; y un atlas de más de 400 mapas, en los que se analizan los problemas de la ciudad y se explica la metodología empleada en cada estudio.

2. DESCRIPCIÓN DE LA APLICACIÓN

2.1. Propósito de la aplicación

La planificación, como instrumento que pretende organizar, ordenar y regular las actividades, el espacio y el territorio, ha dado lugar a una serie de documentos de planificación sobre el territorio, que en Quito se han denominado Plan Regulador, Plan Director, etc. En la mayoría de los casos, estos documentos han quedado para enriquecer las estanterías de las bibliotecas, sin llegar a ser verdaderos instrumentos de gestión.

Quito y sus organismos de control y de gestión deberían disponer de información actualizada que permitiera comprender periódicamente el funcionamiento de la ciudad. El proyecto "Atlas Informatizado de Quito" fue creado para aportar los elementos que permitieran a la Municipalidad hacer un diagnóstico permanente de la ciudad, partiendo de la realidad de fines de los años ochenta; y dotar a la ciudad de una herramienta metodológica para actualizar periódicamente sus datos.

La municipalidad describió del siguiente modo los problemas a los que el proyecto estaría orientado:

- Presión anárquica creciente sobre el suelo urbano consolidado y la ampliación del perímetro urbano.
- Acelerado proceso de especulación del suelo urbano que provoca la incorporación indeseable de áreas periféricas.
- Desarrollo horizontal excesivo y, por lo tanto, incremento de costos de implementación de las infraestructuras de servicios y transporte.
- Saturación del centro histórico, produciendo su deterioro, lo que contrasta con una subocupación de otras partes del suelo urbano.
- La aparición y consolidación de barrios periféricos en áreas con muchas dificultades para dotarlas de servicios.
- Acentuación del proceso de segregación social y espacial, debido al acceso selectivo, a los equipamientos y servicios.
- Desarrollo intensivo de programas de vivienda, del Estado y de las mutualistas, sin articulación neta con las zonas de empleo, ni con la disponibilidad de recursos de los grupos que más necesitan vivienda.
- Conflictos en el uso del sistema vial y del transporte.
- Repartición desequilibrada de las actividades secundarias y terciarias.
- La acentuación del papel de centro político-administrativo en los sectores de Mariscal Sucre (anteriormente de vivienda) y del parque La Carolina.

- Destrucción y transformación de los elementos naturales de protección ecológica.
- Una solución consistía en plantear al proyecto Atlas Informatizado de Quito como un Sistema de Información Geográfica a nivel de planificación, con los siguientes objetivos a alcanzar:
 - Una base de datos que contenga toda la información que el Municipio necesita para responder las preguntas más acuciantes de la ciudad.
 - Metodologías de captura, tratamiento y actualización de datos, que permitan mantener la base de datos, a bajo costo.
 - Iniciar en el municipio de Quito un Observatorio Urbano Permanente que administre la herramienta SIG, para que sirva de soporte oportuno a la toma de decisiones.
 - Un atlas-libro que contenga el análisis crítico, científico y técnico de la situación actual de la ciudad, que sirviera, a la vez, como ejemplo de uso de la herramienta SIG.

Personal entrenado en Sistemas de Información Geográfica, para asegurar el uso y el crecimiento de la herramienta SIG a largo plazo.

Los problemas a los que la municipalidad dio prioridad, y a los que el proyecto estaba orientado a responder, fueron enfocados en seis grandes grupos temáticos¹. Parte del tema primero fue el de los riesgos por amenazas naturales y la ocupación del espacio.

2.2. Ubicación y extensión de la región

El distrito metropolitano de Quito tiene una extensión aproximada de 4,033 km², y su población es de 1'409,845². Quito, consolidado, se extiende sobre 19,000 hectáreas, aproximadamente, con una población de 1'100.847³ habitantes, distribuidos en unas 12.000⁴ manzanas. El 11% de la población del Ecuador se concentra en el distrito metropolitano de Quito, situación ligada a su condición de capital de la república, que lo mantiene como uno de los dos polos de desarrollo del país, junto con Guayaquil⁵. Este

¹ Los grupos temáticos del proyecto son:

- Fenómeno urbano y limitaciones geográficas Quito y su área metropolitana Riesgos naturales y ocupación del espacio

- Articulación estructural: demografía y **socioeconomía** Características demográficas Actividades

- Sistemas, jerarquías, funcionamiento y disfuncionamiento Ubicación de los equipamientos y servicios colectivos Redes e infraestructura

- Desigualdades y dinámicas **intraurbanas**

Dinámicas de uso del suelo y tipología del **habitat** Dinámicas del mercado del suelo y de las propiedades de barrios

- Organización espacial y segregación social **Centralidad** urbana y organización del espacio

- Casos a manera de ejemplos

² Población del Cantón Quito según el censo de 1990.

³ Población del área urbana según el censo de 1990.

⁴ Dato dado por el Sistema Urbano de Información del municipio de Quito, a 1994.

⁵ Para el censo de 1992, el gran Guayaquil concentraba el 15.7% de la población nacional.

fenómeno de concentración genera problemas a nivel interno de la ciudad y de su periferia inmediata, totalmente dependiente.

2.3. Las amenazas

El primer gran tema enfocado fue el del emplazamiento físico de la ciudad. La atención al tema se dio debido a que los problemas planteados por la municipalidad eran consecuencia del desconocimiento del espacio físico en el que se asienta la ciudad y, por lo tanto, de una gestión urbana inadecuada.

La Cordillera de Los Andes es el marco sobre el que se asienta la ciudad, a 2,850 metros sobre el nivel del mar (ver mapa 1⁶).

A continuación, se presenta una breve descripción de los fenómenos más relevantes del entorno quiteño que constituyen amenazas naturales para la urbe.

*Volcanes*⁷ (mapa 2⁸)

En el Ecuador, numerosos volcanes cerca de áreas habitadas han erupcionado durante los últimos quinientos años. Quito es una de las ciudades más amenazadas. El distrito metropolitano está amenazado por doce volcanes activos, de los cuales el Pichincha, Pululahua y Cotopaxi son los de mayor peligrosidad. Históricamente, estos volcanes destruyeron parcialmente la ciudad y el área metropolitana. Los productos más comunes de las emisiones eruptivas son: flujos de lava densa, domos, flujos piroclásticos, productos de proyección aérea (cenizas, bombas), flujos de lodo (lahares).

- *Volcán Pichincha*: de 4,794 m.s.n.m.⁹. La última erupción destructiva ocurrió en 1660. La recurrencia eruptiva del volcán está entre 350 y 500 años. Permanentemente se presentan explosiones freáticas, que cambian las dimensiones del cráter central, que han provocado la muerte de excursionistas e investigadores. Ocasionalmente, se registran cambios en la química de los gases de las fumarolas e incremento de la actividad microsísmica. La caldera está colapsada en su lado oeste, esto es, en la dirección opuesta a la ciudad; por lo tanto, la lava no la afectaría. Capas de 25 cm de acumulación de cenizas y fragmentos pequeños de pómez y roca serían suficientes para causar graves daños. Más peligrosos podrían resultar los flujos de lodo secundarios que se formarían al caer las fuertes lluvias sobre la ceniza acumulada en los flancos del volcán, que al ser movilizadas se concentrarían en las quebradas, ya

⁶ Fuente: Atlas [infográfico](#) de Quito, 1992

⁷ Los datos sobre [vulcanismo](#) han sido obtenidos del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, de la Corporación de Investigación [Geológico-Minera](#) del Ecuador y del Atlas [Informatizado](#) de Quito.

⁸ Fuente: Atlas [infográfico](#) de Quito, 1992

⁹ [msnm](#): metros sobre el nivel del mar

sustituidas por alcantarillas, desbordando los flujos hacia las calles y áreas construidas¹⁰.

- *Volcán Cotopaxi*: de 6,000 m.s.n.m., con casquete de hielo desde los 4,800 m.s.n.m.. Este es uno de los volcanes más peligrosos del Ecuador, ha tenido unas 35 erupciones desde 1534¹¹. La última erupción destructiva ocurrió en 1877. La recurrencia eruptiva del volcán es de 100 años, con erupciones menores en períodos de 30 años. Sus erupciones han causado la desaparición de grandes poblaciones, y actualmente el gran Quito metropolitano se encuentra en las áreas de impacto de los lanares y las cenizas.

- *Volcán Pululahua*: de 2,800 m.s.n.m., tiene una caldera de 5 km en forma de herradura abierta hacia el lado opuesto de la ciudad. Su última erupción ocurrió hace 2,325 años¹². Se ha calculado una recurrencia de 2.000 años para este volcán. En una futura erupción, las poblaciones de San Antonio de Pichincha, Calacalí, Pomasqui y el norte de Quito podrían ser afectadas por acumulaciones de material piroclástico. Debido a lo árido de la zona, los flujos de lodo no serían muy voluminosos. Sin embargo, los flujos piroclásticos podrían causar el represamiento de los ríos, que al romperse inundarían las zonas aguas abajo.

*Hidrometeorología y Morfodinámica*¹³ (mapa 3¹⁴)

Dentro del límite urbano de Quito se contabilizan alrededor de 85 quebradas; el 80% de los cauces naturales ha sido reemplazado por alcantarillas y rellenos.

Las inundaciones que se presentan en varios sitios de la ciudad traducen directamente la insuficiencia de la red de drenaje cuando se producen fuertes precipitaciones. Las aguas que exceden la capacidad de las alcantarillas toman las calles en pendiente y se acumulan algún tiempo en transversales y en zonas bajas; alcanzan 30 a 60 cms de altura. La extensión varía en algunas manzanas de barrios en pendientes débiles. Se registraron 226 eventos desde 1900 a 1988; generalmente ligados con el trazado de las quebradas, actualmente rellenas. Los daños son poco importantes: plantas bajas mojadas, algunas viviendas precarias dañadas o a veces destruidas, desgaste acelerado de las calzadas; en todos los casos, paralizan la circulación.

Los aluviones son menos frecuentes -70 registrados desde 1900 a 1988-, pero más destructores que las inundaciones. Se depositan capas de 30 a 60 cm de espesor, piedras, bloques, troncos de árbol. La extensión varía de algunos centenares de metros

¹⁰ Von Hillebrandt Q, 1991.

¹¹ Von Hillebrandt C, 1991, cita a Hall, 1977.

¹² Von Hillebrandt Q, 1991, cita a Hall, 1977.

¹³ 13 Datos provenientes del Atlas informatizado de Quito.

¹⁴ Fuente: Atlas informatizado de Quito, 1992.

hasta 4 km. Los daños más frecuentes son destrucción parcial de viviendas, vehículos y red vial, taponamiento de la red de alcantarillado en superficies importantes y, a veces, pérdida de vidas humanas. Son accidentes de la periferia de la ciudad, ligados al trazado de las quebradas. Los flujos corresponden en casi todos los casos a aluviones ligados a violentos aguaceros muy localizados de recurrencia decenal o mayor.

Los hundimientos de calzada, debido a rupturas de alcantarillas defectuosas, ubicadas en material de relleno de antiguas quebradas -36 eventos desde 1900 a 1988-, son accidentes espectaculares y marcan de manera particular la memoria colectiva. Su mecanismo está ligado a la erosión subterránea: al producirse una precipitación, bajo la presión alcanzada por las aguas en los sectores de fuerte pendiente, la ruptura de un colector de alcantarilla produce un flujo paralelo al colector en materiales poco compactos de relleno de una quebrada. Este flujo prosigue con un lento trabajo de erosión y cava progresivamente la superficie bajo la calzada; durante un cierto tiempo, ésta resiste gracias al apisonamiento de las capas superficiales. La bóveda cede bruscamente, a veces bajo el peso de un vehículo, y abre en las avenidas hondonadas espectaculares (derrumbos subterráneos), que pueden alcanzar 20 m de profundidad e igual ancho, en 150 m de largo.

CUADRO 1

ACCIDENTES MORFOCLIMÁTICOS REGISTRADOS (1900-1988)

Zona construida	Número de accidentes			
	Antes de 1900	De 1900 a 1947	De 1947 a 1988	Total ¹⁵
Inundaciones	89	82	62	163
Aluviones	24	18	31	70
Derrumbes	56	21	38	114
Hundimiento	21	6	9	36
Total	190	127	140	383

Fuente: Atlas Informatizado de Quito, 1992.

Los derrumbes son accidentes frecuentes -114 inventariados de 1900 a 1988-, muy puntuales, que afectan a barrios construidos en pendientes fuertes. Los derrumbes llevan a su paso viviendas o encierran aquellas que se encuentran hacia abajo. Están ligados al debilitamiento de la cohesión de las cenizas volcánicas que forman el suelo sobre el que se asienta la ciudad. Este debilitamiento se da, generalmente, por la saturación de humedad en los taludes. No se trata de lodo, sino de masas de tierra húmeda al borde de taludes mal apuntalados y mal drenados, que al colapsar recorren pequeñas distancias. Son los accidentes que producen más muertes.

Capacidad portante de los suelos de Quito

¹⁵ Sin doble conteo por zona de crecimiento, aunque en la misma se hubieren presentado dos o más eventos. Se tomó el evento inicial.

Si bien el suelo no es una amenaza en sí, el mal uso que se dé a su capacidad de soporte puede convertirlo en amenaza¹⁶. El mapa de Geotécnica y Posibilidades de Construcción (mapa 4¹⁷) no aporta ninguna revelación particular capaz de obviar los respectivos estudios in situ sobre las cualidades de constructibilidad del suelo donde se va a edificar, pero permite comprender el espacio físico según sus características geotécnicas y aptitudes mecánicas para soportar una construcción. Las conclusiones se reflejan en el cuadro 2.

CUADRO 2
CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS Y APTITUDES MECÁNICAS
PARA LA CONSTRUCCIÓN

Zona	Problemática	Recomendaciones
Muy favorable	Buenas condiciones del suelo para construcción. Ausencia de niveles freáticos en las cotas de cimentación.	Maquinaria simple. Posible mejoramiento del suelo.
Favorable	Problemas que limitan el grado de constructibilidad. Regulares características del suelo para construcción: capacidad portante y Resistencia al corte de 0.8 a 1.4 kg/cm ² , índice de liquidez entre 0 y 1 y pendientes de hasta 40%. Ausencia de niveles freáticos en las cotas de cimentación.	Maquinaria simple. Reemplazo o mejoramiento del suelo. Limitadas obras de protección. Estudios geológicos y geotécnicos.
Desfavorable	Características similares a las de la zona anterior pero con los siguientes problemas: fallas, niveles freáticos en las cotas habituales de cimentación y pendientes de hasta 70%. Sondeos mecánicos, geofísicos.	Maquinaria pesada. Reemplazo o mejoramiento del suelo, construcción de taludes y de muros de contención.
Muy desfavorable	Problemas geomorfológicos y desfavorable geotécnicos insuperables o en ciertos casos superables a un costo elevado, pendientes muy	Maquinaria pesada. Construcción de taludes, muros y retenedores. Estudios mecánicos

¹⁶ Fuentes generadoras de estímulos, como son las tectónicas, hacen que el comportamiento de los suelos en condiciones dinámicas cambie. Aquí se hace referencia a las limitaciones de los suelos, sin que intervengan estímulos externos.

¹⁷ Fuente: Atlas infográfico de Quito, 1992.

	inestables, fallas, túneles y rellenos. Suelos con capacidad portante y resistencia al corte, bajos y con alto índice de plasticidad.	y geofísicos detallados.
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------

Sismicidad (mapa 5¹⁸)

Los terremotos en Quito están asociados con la tectónica de placas, la sismicidad local y el volcanismo activo.

El último terremoto que afectó Quito ocurrió el 6 de marzo de 1987. A pesar de que el terremoto ocasionó aproximadamente 1,000 muertes y US \$700 millones de pérdidas fuera de Quito, los daños resultaron menores en la ciudad.

Sin embargo, en los 250 años anteriores Quito ha sido sacudida por varios terremotos muy fuertes. Cuatro produjeron movimientos de tierra que impedían a la gente mantenerse en pie. Estos cuatro terremotos ocurrieron en 1755, 1797, 1859 y 1868, cuando en Quito apenas vivían unas 45,000 personas, en una superficie menor a los 4 km². Desde entonces Quito ha crecido más de 25 veces en población y aproximadamente unas 70 veces en área. Los esfuerzos por acomodar este crecimiento han dado lugar a una proliferación de edificaciones pobremente construidas, y la ocupación de zonas peligrosas. El diseño y la construcción sismorresistente no son comunes, y no se hace un seguimiento estricto de la aplicación del código de la construcción; además de no ser adecuado para la ciudad. Existen estructuras en sitios inestables, como las quebradas rellenas de materiales poco compactos. Laderas de fuertes pendientes, anteriormente inhabitadas, ahora están densamente ocupadas.

Por estos cambios recientes y dramáticos, los eventos anteriores no pueden servir como elementos para evaluar el impacto del siguiente terremoto destructivo en el Quito moderno. Todo el suelo de la ciudad está comprometido, aunque el comportamiento de los suelos varíe según las características de cada fuente sísmica. Un gran terremoto en la actualidad afectaría no solamente a gran parte de la población urbana, sino también a los diferentes tipos de construcción, sean éstas de media o gran altura.

2.4. Las vulnerabilidades

Las amenazas forman parte de la cotidianidad quiteña. Pero estas amenazas incrementan su peligrosidad por las vulnerabilidades que las acompañan.

Vulnerabilidades físicas

- Volcanes

Los productos que con mayor probabilidad pueden afectar al gran Quito son las cenizas y las coladas de lodo o lahares.

¹⁸ Fuente: The Quito, Ecuador, [Earthquake Risk Management Project](#).

El primer punto vulnerable es la localización. Aquellos barrios asentados junto a redes de drenaje natural o modificado, o sobre los abanicos o conos de deyección del volcán, serían afectados por el arrastre de material lodoso que los destruiría. Estas áreas de impacto están ocupadas por barrios de diverso nivel económico. Existe una competencia, por la ocupación de las zonas cercanas a las redes de drenaje de los volcanes, entre las grandes inmobiliarias que promueven barrios residenciales de lujo, de una parte, y de otra, las familias desposeídas que encuentran en estos grandes espacios "desocupados", aparentemente, una alternativa a su déficit habitacional. Ante estos dos grandes grupos, la municipalidad intenta defender dichos espacios como áreas de protección ecológica.

Las obras de mitigación, como techos contruados para resistir columnas de cenizas de 15 y 25 cm de espesor, control de caudales y manejo de escorrentía, son prerrogativa de las edificaciones de los grupos pudientes. Aun enfrentando un desastre, su saldo tanto social como económico sería de todas maneras a favor.

Los grupos sociales cuyo único patrimonio se encuentra en los lugares afectados, pierden su vivienda precaria, el espacio que ocupaban, la fuente de trabajo, su salud. Para ellos, es realmente el desastre. Para los que no pueden cambiar de ubicación, en Quito, no hay alternativa.

- Hidrometeorología y Morfodinámica

Como en el caso anterior, las inundaciones, los aluviones, los derrumbes, los hundimientos, son eventos que no respetan estatus económico ni social en la comunidad quiteña; están asociados, sobre todo, a las profundas transformaciones de que ha sido objeto el drenaje natural de la cubeta de Quito. Pero sí es evidente que el impacto de estos eventos es más frecuente (ver mapa 3) en aquellas áreas donde los poderes locales han invertido menos o no han invertido en obras de control y manejo de laderas y drenajes, por ser tierras de menor plusvalía, donde se ubican los mas desposeídos.

La municipalidad exige un retiro de 10 metros desde la orilla de los cauces de las quebradas, por ser áreas inestables y sujetas al impacto de los aluviones. Los bordes de los cauces altos, que permanecen abiertos, son ocupados por viviendas precarias que se sitúan allí con la seguridad de que, al ser tierra municipal, no serán desplazadas, poniendo en último plano la posibilidad de colapso de los muros naturales que encauzan las aguas de las montañas. A la vez, las actividades humanas que desarrollan, sin las obras técnicas necesarias, hacen que estas áreas se conviertan también en amenazas para los habitantes aguas abajo.

Cuando las quebradas son rellenadas, los espacios que deben quedar como áreas verdes, de acuerdo al Reglamento Urbano, son utilizados por personas o inmobiliarias inescrupulosas que no toman en cuenta el hecho de que, en eventos excepcionales, el exceso del material arrastrado en los aluviones tiende a retomar su cauce original, socava el relleno o rompe la tubería para encauzar el agua, provocando, en no pocos casos, la pérdida de vidas, y el colapso de casas, infraestructuras y otros bienes materiales.

- Capacidad portante de los suelos

Las zonas de baja capacidad portante están relacionadas con los rellenos de quebradas; otras se ubican al sur de la ciudad y en los abanicos aluviales. Las áreas al sur de la ciudad han sido sujetas recientemente a presiones de ocupación. Su nivel freático cercano a la superficie les permitía mantenerse en la producción agrícola y como ejidales¹⁹. La ocupación de suelos de baja capacidad portante ha sido estimulada por la municipalidad, mediante un proyecto específico de vivienda popular y de un proyecto del Banco de la Vivienda. La respuesta natural de la población de no ocupar estos suelos, ha sido cambiada por la oferta gubernamental de vivienda. Esta vulnerabilidad es reciente. Si la cimentación en áreas cenagosas y de poca capacidad portante no es la adecuada, el tiempo va a provocar su deterioro y posible colapso. Sólo nos queda esperar.

- Sismicidad

La solución tecnológica difundida es la construcción sismorresistente, de acuerdo al Código de la Construcción. Pero aquí se dan dos vertientes del problema: la primera es la validez del código y la segunda quiénes lo aplican. Debates permanentes, sin visos de solución, se entablan en torno al Código de la Construcción, que rige en Quito y gran parte del país. El Código vigente es el resultante del conjunto de modificaciones que ha pasado el Código, copiado de Los Angeles del año 1974. La falta de información del comportamiento de los suelos y de las edificaciones por las carencias de instrumentación, y la carencia de liderazgo y coordinación del sector de la construcción para enfrentar este tema, no han permitido, hasta la actualidad, dar una respuesta a este viejo problema.

Independientemente de la calidad del Código de la Construcción, cabe resaltar que más del 50% de la construcción de viviendas en Quito se desarrolla dentro del mercado informal. Sería muy difícil tratar de precisar cuántas de las edificaciones han sido construidas siguiendo normas sismorresistentes.

Las áreas de mayor vulnerabilidad coinciden con las edificaciones de adobe, que en su gran mayoría son vetustas, localizadas en el centro histórico. Las generadas por autoconstrucción, que en Quito se desarrollan sin tecnologías apropiadas, y aun las de concreto, sin estructuras sismorresistentes, están dispersas en toda la ciudad, con concentración en los barrios del anillo periférico, donde se ubican los grupos sociales menos favorecidos.

*Vulnerabilidades de contexto*²⁰

Un denominador común es la debilidad de los grupos sociales menos favorecidos para resistir situaciones de crisis, a las que están expuestos con más frecuencia que los grupos sociales que viven con márgenes de seguridad más amplios.

¹⁹ Áreas de uso comunitario para pastoreo, actividad común en las familias de las áreas periurbanas, o para recreación familiar.

²⁰ Ver 3.1. Modelos conceptuales de riesgo en este documento

Tratar de explicar las vulnerabilidades con visión holística no es posible por ahora; nos remitiría a escribir tratados sobre la problemática global que enfrenta nuestra sociedad. Pero el inicio sí es identificable: puede estar en nuestra negación cultural, que parte del desconocimiento y, por ende, del rechazo a identificarnos como somos. Los modelos de desarrollo implantados están tan lejanos de las mayorías "auténticamente locales" que, antes de iniciar el proceso, ya están expulsadas del sistema.

Voy a detenerme sólo en puntos vulnerables relevantes, dentro de las grandes similitudes que nos marcan en América Latina.

- Educación

La educación es el punto más importante, porque ésta potencia la vulnerabilidad ante cualquier amenaza cuando no se sabe cómo actuar, cómo estar protegido o cómo prevenir cualquier acción que la tome dinámica.

Si la educación formal tradicional no llega a las mayorías, a los grupos marginados, ¿cómo democratizar el conocimiento sobre amenazas naturales? El porcentaje de analfabetismo es de 7%, esto se refiere a las personas que no saben leer ni escribir; pero, en nuestra sociedad, el analfabetismo está presente en grandes grupos de población aunque sepan leer y escribir. El acceso a la educación no está limitado sólo por la disponibilidad de escuelas y profesores, sino también por lo que para las familias de escasos recursos son prioridades vitales, como la generación de ingresos. Otro elemento potenciador del analfabetismo es la calidad de educación que se da en las escuelas, formación que desorienta por los patrones de conducción que asumen los profesores y que conduce a admirar "afuerismos", ignorando los valores locales, despertando expectativas que nunca se alcanzan y creando resentimientos sociales.

Mientras la educación sea patrimonio de unos pocos, la ignorancia seguirá haciendo la diferencia entre la vida y la muerte. Existen algunas iniciativas de capacitación. La incorporación de la "preparación frente a desastres" dentro del currículo de estudios de la educación formal es un proyecto en desarrollo entre el Ministerio de Educación y la Defensa Civil. Cursos de educación para adultos y programas de preparación para emergencias son ofrecidos por agencias de cooperación. Los programas de educación en el tema de prevención y atención de desastres son esporádicos y llegan a grupos seleccionados. Falta mucho para llegar a una democratización de este tema, no sólo en Quito, sino en el todo el país.

- Instituciones

Las instituciones públicas y privadas juegan también un papel importante en el debilitamiento de la sociedad quiteña. En lo que se refiere a aquellas organizaciones de control, el problema es de "ida y vuelta": reglamentación de comportamientos que no forman parte de la cotidianidad, y cotidianidad no reglamentada. Son capas que se mueven paralelas, y no llegan a fusionarse. Esta es una clara manifestación del desconocimiento que tenemos de nosotros mismos, de quiénes somos, y que, con la globalización que vivimos hoy, se va haciendo cada vez más difícil alcanzar.

Palabra desgastada es la "coordinación", no por el uso aplicado que se le ha dado sino por la falta de credibilidad que proyecta. Caso típico es la incomunicación entre los organismos de apoyo al desarrollo y las entidades reguladoras, empezando por los poderes nacionales, cuyos modelos de comportamiento se reflejan también a nivel local. Nada se puede decir del grupo dirigente del sector privado productivo, que está muy lejos de alcanzar la madurez necesaria para comprender que el contacto con la sociedad no es sólo para sustraerle su fuerza de trabajo y sus recursos. En nuestra cultura, basada en la desconfianza, está muy arraigado el instinto de atesorar la información, como si el éxito estuviera en almacenarla. Todavía los quiteños no hemos comprendido que el poder no está en quién tiene la información, sino en quién la sabe usar.

Problemas multisectoriales, multidisciplinarios, interinstitucionales son los retos que asumen sólo los "valientes", y por cierto esta especie tiene pocos ejemplares en nuestro enclave andino.

- Patrimonio cultural

Quito, Patrimonio de la Humanidad, guarda en su seno unas 200 hectáreas de edificaciones que datan de 1534 y sirven de regocijo a los turistas que visitan la ciudad y pueden encontrar, en el paisaje urbano, capítulos de la historia de la conquista que aún siguen vivientes. Casonas vetustas, iglesias monumentales son el orgullo de los quiteños.

Pero poco se dice del costo que este monumento implica para la quiteñidad. Las mayores inversiones del gobierno local están dedicadas al mantenimiento del centro histórico, por lo cual los limitados recursos, que podrían estar a disposición de un número mayor de la población, están comprometidos en la preservación y rescate de nuestra historia.

Al ser edificaciones vetustas, con restricciones para ser modificadas, los propietarios han sido sujetos de un desestímulo de inversión. La rentabilidad más simple se la alcanzaba arrendando cada cuarto como espacio para una o más familias. Estos lugares se convirtieron en espacios ideales de hacinamiento, donde llegan los migrantes sin recursos en búsqueda de la riqueza que en su lugar de origen no encontraron. Ésta es la primera estación en la gran ciudad. Con el tiempo, los migrantes que "progresan" se trasladan hacia los cinturones de miseria que rodean la ciudad.

En la actualidad, el municipio está adquiriendo algunas de las edificaciones para convertirlas en lugares que presten servicios a la comunidad.

Existen programas de rescate social de las familias que viven en tugurios. El alcalde de Quito del período 1992-1996 trasladó su residencia hacia el pleno centro de la ciudad, como muestra de lo que podría hacerse con nuestro patrimonio. Como he repetido en este documento, los resultados sólo se verán en el largo plazo.

- Jerarquización socioeconómica en el espacio geográfico (ver mapa 6²¹)

La presentación de las vulnerabilidades de la ciudad no sería comprensible si no hacemos un recorrido socioespacial por ella. Quito se caracteriza, desde la colonia, por conjuntos socioespaciales relativamente homogéneos, pero fuertemente contrastados. Destacan del resto de la ciudad los barrios que gozan de excelentes condiciones y se imponen por su verticalidad o sus jardines. Se distribuyen en barrios casi exclusivamente residenciales o en barrios esencialmente de negocios, que alojan a la mayoría de casas matrices de grandes empresas comerciales o de servicios. Se impone, de manera casi imperiosa, el núcleo de negocios situado en la parte centro-norte de Quito, provocando una rápida mutación del espacio urbano que abarca.

Así, la Quito "rica" no se ha implantado en el norte por casualidad, ni como consecuencia de una lenta segregación socioespacial. Es más bien el resultado de una serie de factores selectivos de los cuales el más influyente ha sido, al parecer, una voluntad planificadora nacida en 1940 y constantemente afirmada por el municipio. Si el norte ha sido privilegiado, hay que tener en cuenta las ventajas del sitio, la disponibilidad de terrenos municipales urbanizables, los proyectos de centro de gobierno y aeropuerto.

En contraste, el sur ha presentado al mismo tiempo una triple desventaja: un sector industrial que agrede al ambiente; el refuerzo programado de la implantación de barrios obreros sin los servicios adecuados, y el obstáculo del Panecillo, que lo separaba, y aún lo separa relativamente, del centro de Quito. El sur fue designado para los grupos de medios a bajos recursos. Pasando el umbral del Panecillo, el plan de 1945 preveía establecer un polo de desarrollo urbano. Este vio iniciarse su ejecución al ampliarse los barrios antiguos de La Magdalena, Santa Ana y Villa Flora. El conjunto, así renovado fue construido con el afán de separar las viviendas del sector comercial; asegurando, de ese modo, condiciones de vida satisfactorias a personas de ingresos modestos. Actualmente, son barrios residenciales convertidos en centros comerciales.

Resguardado por el Panecillo, el centro histórico alberga a una población de bajos recursos. Comparte esta característica con sus prolongaciones geográficas inmediatas, presentando una continuidad morfológica muy cercana hacia el sur y oeste de la ciudad. Como se explicó anteriormente, su condición de "Patrimonio de la Humanidad" la ha marcado, deteniéndola no sólo en el espacio y en el tiempo, sino en el crecimiento social y económico. En los espacios medios de la ciudad, se encuentran barrios reservados para las clases medias. Es el caso de La Floresta, La Vicentina, Mariscal Sucre, el Dorado, La Alameda y Larrea, entre el centro de negocios y el centro histórico. Fueron los barrios nuevos de inicios de siglo, y acogieron al principio a la población que ocupaba antiguamente el centro histórico. Sin embargo, progresivamente, sus primeros ocupantes vieron disminuir sus ingresos y optaron por permanecer en esos barrios, que perdían valor, o emigrar más hacia el norte, siendo reemplazados por residentes menos afortunados. Son barrios muy integrados a la ciudad, próximos a los lugares de actividades terciarias.

²¹ Fuente: Atlas infográfico de Quito, 1992

En los extremos norte y sur de Quito encontramos espacios fácilmente urbanizables, que con seguridad serán ocupados a mediano plazo por poblaciones de ingresos aceptables, incluso elevados. En cambio, en los límites oeste y este de la ciudad, en pendientes no equipadas, poco propicias a una urbanización integrada, los espacios están poblados por habitantes de ingresos extremadamente bajos; serán, aún por largo tiempo, barrios separados, abandonados, expuestos a la ocupación desordenada, y socialmente marginados.

2.5. Síntesis de amenazas y vulnerabilidades (ver mapa 7)

La visión globalizada de las amenazas sobre el espacio construido de Quito nos reveló, con gran evidencia, que ningún lugar de Quito está completamente al resguardo de pérdidas por el impacto de amenazas naturales. El barrio que parece estar sometido a todos los riesgos con una intensidad máxima, es el de Tarqui, implantado en el sur, en las pendientes del Pichincha, entre los 2,850 y 2940 m.s.n.m. Este barrio se presenta como expuesto a todos los peligros naturales, y cabe preguntarse cómo se permitió su edificación.

Hay que anotar que los espacios más empinados están a merced de las perturbaciones morfoclimáticas, que constituyen verdaderos riesgos anunciados por las pobres condiciones de habitat que ahí existen. Los accidentes morfodinámicos son los más frecuentes.

Las áreas construidas que podrían sufrir del volcanismo parecen más extensas. Corresponden a todas las pendientes bajas del Pichincha, vulnerables a los flujos de lodo y a las lluvias de cenizas. Los barrios cercanos al aeropuerto y al centro de negocios de la ciudad se verían paralizados, temporalmente, por el impacto de los productos volcánicos citados. Pero el mismo volcán, justamente el relieve del segundo conjunto del macizo, protege a la ciudad de las lavas.

Los riesgos sísmicos son los que afectarían a la totalidad de la ciudad. Al parecer, son las partes bajas, de suelos limo-arenosos, las más amenazadas; así como aquellos correspondientes a conos de deyección, por los que hay más que temer. Aquí, la diferencia del impacto está marcada por el tipo de construcción más que por su localización espacial. El peligro potencial es menor en los lugares no construidos; lo cual es evidente, ya que el riesgo se incrementa en función de la vulnerabilidad. Pero esto también significa que las lotizaciones que se están iniciando van a cambiar la clasificación de estos lugares hacia el grupo de los de mayor riesgo. Parte de las instalaciones de salud, sobre todo los tres hospitales más importantes de la ciudad, están localizadas en los sectores de riesgos medianos o elevados, y podrían, por lo tanto, ser ineficaces en caso de un desastre. Los problemas de circulación en el centro histórico de Quito y el difícil acceso a los barrios, tanto por calles muy empinadas como por escalinatas y callejones en el caso de San Juan, El Tejar, San Roque y La Tola, amplificarían sin duda los efectos catastróficos de un sismo de fuerte magnitud.

3. MODELOS CONCEPTUALES

3.1. Modelo conceptual de riesgo

Al trabajar con la herramienta tecnológica SIG, las interpretaciones de las realidades tuvieron que ser traducidas a modelos matemáticos, unos con más y otros con menos fuentes de información. En esta parte se realizará una sintética descripción metodológica del trabajo.

La caracterización del riesgo (ver mapa 7), para efectos de la aplicación a la que hacemos referencia fue tratada como:

$$R = Sf(ViAi)$$

R = riesgo

A = Amenaza

V = vulnerabilidad social (densidad de población, tipología del habitat, modos de composición urbana)

El riesgo fue planteado como la sumatoria de cada función entre amenaza natural y vulnerabilidad social. Nótese que no se cuantificaron las pérdidas y que el riesgo quedó identificado, sobre todo, por la localización de los daños probables que podría sufrir, en una escala bastante general.

Esta primera aproximación de la función entre las amenazas y la vulnerabilidad dio como resultado, a despecho del título utilizado²², una caracterización global de vulnerabilidades a las amenazas naturales. Resultado válido para la toma de decisiones relacionadas con el ordenamiento urbano, pero aún insuficiente para caracterizar integralmente el riesgo.

Esta experiencia, los últimos años de reflexión sobre el tema, y las herramientas utilizadas en este proyecto nos han llevado a repensar los enfoques anteriores. La aproximación conceptual aplicada fue adecuada para el momento en que se desarrolló, pero actualmente podemos mejorar la aproximación en el modelamiento para el cálculo automatizado, utilizando el mismo sistema de información geográfico que construimos, calculando de este modo:

$$Riesgo = Vc * Sfuncion(Ai, Vi)$$

En el que:

Riesgo²³= Probabilidad de exceder un valor específico de daños sociales, ambientales y económicos en un lugar y en un tiempo determinados.

Ai = Amenaza²⁴ que es un factor externo (al sujeto o sistema social en referencia) de riesgo representado por la potencial ocurrencia de un fenómeno natural o generado por

²² Que no fue la **cuantificación** del riesgo

²³ Definición propuesta por **USAID** en base a las **definiciones propuestas** por las Naciones Unidas

²⁴ Idem a 17.

el hombre, que puede manifestarse en un lugar específico con una intensidad y duración determinadas.

V_i^{25} = Factor interno de riesgo de un sujeto u objeto expuesto a una amenaza que corresponde a su disposición intrínseca a ser dañado.

V_c = Vulnerabilidad contextual general del sistema. V_e es una función particular a cada sistema analizado. V_e es la expresión para incorporar la vulnerabilidad que se encuentra implícita en la sociedades y que maximiza o minimiza el riesgo, sea este aceptable o no; cuyo valor resultante tendría que ser introducido como factor de ponderación.

Hemos encontrado que para alcanzar realmente el cálculo del riesgo, en el caso de Quito, debemos previamente definir la función de vulnerabilidad contextual, para lo que existen datos en el SIG de Quito. Debemos igualmente cuantificar los costos de reposición de los elementos amenazados, información que hay que generar.

3.2. Los elementos incorporados en el modelo

Peligros volcánicos

Para modelar esta amenaza, se tomó la definición de la UNESCO, que define el peligro volcánico como la probabilidad de que una zona sea amenazada por un evento eruptivo durante un período.

Se tomaron los mapas de peligro volcánico existente para los volcanes Cotopaxi, Pululahua y Pichincha. La caracterización fue definida por los vulcanólogos que desarrollaron cada uno de los mapas²⁶. Los elementos más relevantes en el modelamiento fueron:

Modelos digitales de terreno para definir el avance y depósito de los productos: en el Quito consolidado, se trabajó con alturas cada 100 metros (esquinas de las manzanas); en el área metropolitana se trabajó con curvas de nivel cada 40 metros.

Red de drenaje: la red de drenaje constituye un canal para las coladas de lodo o lahares, lavas; los canaliza, definiendo áreas de menor o mayor impacto. En el área construida, fue necesario reconstruir la red de drenaje original (escala 1:15,000). Se tomó en cuenta las dimensiones de las cuencas de recepción, sus pendientes, la cobertura vegetal, así como los accidentes climáticos históricos (escalas 1:15,000 y 1:50,000).

Vientos: para caracterizar la dirección predominante de las cenizas, se tomó la media de vientos predominantes, en base a las series disponibles de hace veinte años. Se identificaron siete estaciones en el Quito consolidado, que sirvieron para verificar las

²⁵ Idem a 17.

²⁶ Consultar bibliografía del Atlas [Infográfico](#) de Quito.

zonificaciones propuestas por los vulcanólogos. Los 25 cm de espesor de ceniza, que se tomó como máximo, fueron obtenidos de las simulaciones realizadas en la Corporación de Investigación Geológico-Minera del Ecuador, quienes estudiaron al detalle las erupciones identificadas en tiempos geológicos, con sistemas sofisticados de datación y análisis.

La herramienta SIG fue utilizada para unir los mapas de peligros previamente elaborados y verificar los resultados con la sobreposición al modelo digital de terreno, a la red original de drenaje y al comportamiento de los vientos preponderantes.

Estabilidad geomorfológica

La metodología se basó en superposición de variables. Se trabajó con dos tipos de información:

Información estática: se efectuaron verificaciones en los mapas geológico, litológico, de suelos e hidrogeológico. Información dinámica, en la que los datos utilizables experimentan variaciones continuas en el tiempo, dependiendo en mayor o menor grado de la variable tratada: uso del suelo, cobertura vegetal, modificaciones al drenaje y las pendientes.

La información fue simplificada en función de la escala del documento base 1:50,000. Dada la escala, sólo se alcanza una precisión global, sabiendo que no se han tomado en cuenta numerosas características de detalle, sin que ello afecte a la comprensión de los aspectos de estabilidad geomorfológica que se deseaba exponer. Se utilizaron operaciones de superposición, la misma que genera pequeñas unidades, que fueron agrupadas en rangos con características homogéneas: estable, relativamente estable, relativamente inestable e inestable.

Morfodinámica histórica

La periodicidad de ocurrencia y la localización de las zonas más afectadas por procesos morfodinámicos no eran conocidas. Se realizó un estudio histórico a partir del diario de mayor circulación, desde el año 1900. El estudio reveló que 317 eventos fueron lo suficientemente dañinos como para ser tomados en cuenta, de un total de 567 registrados en 87 años (más de cinco por año).

Los límites del estudio son de dos órdenes: el estado cambiante de la red de alcantarillado, independientemente del clima, y las nuevas áreas de la periferia ligadas al crecimiento de la ciudad. Estas hacen aparecer nuevas zonas sensibles, eventualmente no identificadas por el análisis histórico. De todas maneras, este estudio es una buena base para la comprensión del comportamiento del entorno urbano.

Las dificultades del trabajo de identificación geográfica, realizado en fichas-resumen, presentaron ciertas obstáculos: vaga localización por los periodistas y áreas afectadas que pueden ser resultado de más de un foco de accidente. Las inundaciones, aluviones y hundimientos de calzada fueron representados en un mapa principal. Los derrumbes,

que no responden a una lógica directamente ligada a la intensidad de las lluvias, fueron objeto de una cartografía por separado.

Las potencialidades estadísticas del SIG fueron utilizadas para la sistematización de la información. La localización se utilizó para la representación de cada accidente por separado, así como para dar visiones resumidas. Esta información fue utilizada para la caracterización de los peligros morfoclimáticos y también como fuente para la caracterización del peligro volcánico.

Constructibilidad

Se trabajó con las normas metodológicas propuestas por la UNESCO. Se consiguieron 840 sondeos de poca profundidad (hasta 16 metros) y 150 pozos de profundidad (hasta 180 m). La geomorfología se trabajó en fotografías 1:60,000 y 1:20,000, y se incorporó la información obtenida del estudio sobre estabilidad geomorfológica. La morfometría se trabajó sobre cartas 1:1,000; la información topográfica fue muy densa (4 puntos por manzana).

Se obtuvo la primera aproximación del mapa geotécnico como resultado de la integración de parámetros básicos: topografía, geología, hidrogeología, climatología, mecánica de suelos, cobertura vegetal. La zonificación final corresponde a comportamientos similares según características geotécnicas: textura de las rocas, consistencia de los suelos, tipos de suelos de superficie, capacidad de soporte, resistencia al corte y compresibilidad.

Este mapa constituye una representación simple, orientada al mayor número posible de usuarios.

La herramienta SIG fue utilizada para generar la totalidad de este mapa, ya que aquí se utilizaron como insumos los resultados de otras investigaciones. Las operaciones empleadas fueron las típicas de las álgebras espaciales (unión, intersección, sobreposición).

Caracterización sísmica

Existieron muchas limitaciones en la zonificación sísmica por el poco desarrollo de investigaciones sobre la amenaza sísmica en Quito, en el tiempo de ejecución del proyecto. La zonificación sísmica no fue tratada con el detalle con que se trabajaron las otras amenazas descritas.

Por ser prioritario dar una visión global de las vulnerabilidades a amenazas naturales, se aceptó trabajar con limitaciones, por la falta de datos suficientes²⁷.

²⁷ En 1994 se terminó el proyecto "Terremoto Quito" que aportó información sobre el comportamiento de los suelos y de las edificaciones en tres escenarios sísmicos diferentes. Información está disponible en el [SUIM](#) de Quito. Revisar Bibliografía.

La zonificación sísmica fue el resultado de la simulación del comportamiento de las edificaciones del terremoto de 1987²⁸, sobre la zonificación de suelos de profundidad²⁹ y las fallas activas y lineamientos inferidos.

Síntesis de riesgos (mapa 7)

Las fuentes que se utilizaron fueron:

- AIQ, Estabilidad geomorfológica
- AIQ, Peligros volcánicos
- AIQ, Riesgo morfoclimático histórico
- AIQ, Constructibilidad
- AIQ, Densidades de población AIQ, Tipología del habitat
- AIQ, Modos de composición urbana
- AIQ, Encuesta: Daños ocasionados por el sismo del 5 de marzo de 1987

Se adoptaron tres caracterizaciones:

- La vulnerabilidad debida a las amenazas morfodinámicas.
- La vulnerabilidad debida a las amenazas volcánicas.
- La vulnerabilidad del habitat en caso de sismo.

Cada amenaza fue cruzada con información sobre densidad de población, tipología del habitat y modos de composición urbana.

Cada tipo de riesgo, según su causa y su intensidad previsible, fue trasladado a la división administrativa por sectores municipales. Posteriormente, se reunieron en un mapa de síntesis que permite, con una sola mirada, apreciar las partes del espacio sometidas a los riesgos de mayor amplitud y las consideradas como relativamente alejadas.

Se optó por una representación simple, donde las manchas de colores identifican a cada vulnerabilidad; las tramas caracterizan la intensidad del daño probable.

3.3. Las entidades espaciales utilizadas

La información de la base de datos se generó en tres unidades básicas de información: los sectores y zonas censales, las manzanas y los predios.

Los sectores y zonas censales constituyen unidades homogéneas en población, que permiten realizar lecturas agregadas (de manzanas y/o predios) en la ciudad, y fundamentalmente en las áreas suburbanas.

²⁸ Terremoto de 6.5 en la escala de **Ritcher**, con epicentro a unos 80 km al norte de Quito, con intensidades IV y V en la ciudad.

²⁹ Basamento se encuentra aproximadamente a 200 metros de profundidad

La manzana es la unidad espacial para el manejo exhaustivo de datos en las áreas urbanas, donde existe la cartografía básica, al igual que la información.

El predio es la unidad espacial mínima mediante la cual se compiló la información y se realizó aplicaciones de detalle, utilizado en el centro histórico de Quito.

3.4. Datos referenciales

Para dar referencia a la información se utilizaron las vías principales de la ciudad, los sectores municipales, los accidentes geográficos y de infraestructura relevantes como el Panecillo y el aeropuerto. Para el área metropolitana se usaron las carreteras y la localización de las poblaciones.

3.5. Georreferencias

Cada país tiene un meridiano referencial sobre el que se trabaja la cartografía. Para el caso del Ecuador, se tomó el meridiano 810, para las áreas 1:50.000. Para ajustar con las áreas 1:2,000, se generó un meridiano arbitrario que pasa por el centro de la ciudad. Este ajuste requirió de un desarrollo matemático adicional.

4. DISPONIBILIDAD DE DATOS

4.1. Datos

Gran cantidad de datos fueron encontrados en entidades públicas y privadas. La forma de adquisición dependió de la política de cada institución. Algunos datos fueron comprados, otros fueron conseguidos por intercambio de información, otros fueron donados, y algunos fueron entregados bajo convenios, en los que el proyecto se comprometía a entregar coberturas de la información actualizada.

Parte de los datos obtenidos fueron entregados en formatos digitales, específicamente los censos de población y vivienda, las imágenes de satélite y las encuestas municipales. Los otros datos tuvieron que cambiarse a formato digital.

Como punto central de la base se constituyó, y así se ha mantenido, el censo de población y el de vivienda, el mismo que es cargado al sistema, sin reemplazar al anterior, para mantener los datos en la dimensión de temporalidad que se requiere para hacer proyecciones.

La forma en que se captura conceptualmente un dato, y la disponibilidad del mismo, definen los formatos en los que se va a conseguir o generar el dato. La calidad de los datos fue y sigue siendo muy variada. El mayor tiempo se empleó en validar la información. Los métodos para validar dependen de cada dato tratado. De este trabajo, se desecharon muchas fuentes por no tener bases comparativas sobre las cuales construir los modelos.

4.2. Escalas

Los datos disponibles se encontraban en diversas escalas, de 1:1,000 hasta 1:50.000.

4.3. Temporalidad

La referencia temporal depende de cada dato. La vida media de la información está condicionada por muchos factores. Al inicio se planteó tanto la forma de leer el dato en la realidad (condiciones de tiempo y de espacio) como su modo de mantenimiento, parámetros que permitieron la forma de existir y mantenerse dentro del sistema. Para mantener las bases de datos, no las vemos "como un todo global", sino como el conjunto homogéneo de diversidades que son tratadas según sus ciclos de vida diferentes.

4.4. Proyección

Para el caso del proyecto, la proyección utilizada fue la Transversa de Mercator, toda la información está en la misma proyección. Para el caso del ajuste entre los modelos del Quito consolidado y del área metropolitana, los ajustes se realizaron sobre el modo de proyección.

En la tecnología SIG, los cambios de proyección son sencillos, a condición de que los puntos que georreferencian cada atributo sean localizados con las precisiones aceptables que van a demandar las transformaciones que se piensa realizar con vista al futuro.

4.5. Volumen y costo de datos

La información del SUIM está contenida aproximadamente en un Gigabyte. La información que tiene interés para el cálculo de riesgos es la mayoría de la información que se encuentra en las bases. El punto crítico no es la capacidad de almacenamiento, sino la capacidad de tratamiento de la información. Por los volúmenes que se requería manejar, se trabajó con un sistema potente al nivel de estación de trabajo.

Los costos de la información fueron relativamente bajos, ya que las entidades participantes fueron todas del sector público. Los costos se incrementaron con los datos que el proyecto tuvo que generar por sí mismo.

5. BASE DE DATOS

5.1. Cómo se generó

La base de datos se apoyó en el desarrollo de cinco actividades básicas:

recopilación, preparación, automatización, integración y actualización de la información. La recopilación: se basó en la identificación de fuentes confiables, selección y levantamiento de información gráfica, estadística y satelitaria.

La preparación: consistió en la elaboración de mapas base de acuerdo a las unidades de gestión de información, definidas en el alcance de cada uno de los temas, operación realizada tanto con la cartografía básica como con la cartografía temática, y la codificación de todos los atributos espaciales y estadísticos que conforman la base de datos.

Automatización de la base de datos: la información cartográfica fue ingresada en una computadora ("digitalizada") en su totalidad. El estado del arte de los barreadores (scanners) no estaba suficientemente desarrollado para la aplicación referida, por lo tanto, la "digitalización" fue la opción más económica, rápida y segura en la captura de datos. La información de imágenes de satélite fue incorporada a la base en el formato digital original.

Los censos de población y vivienda, y los censos realizados por el municipio de Quito fueron adquiridos en formato digital.

Integración de la base de datos: constituye un proceso de confrontación entre los datos, gráficos y alfanuméricos en el ambiente relacional de la base de datos, así como su validación para garantizar el nivel de confiabilidad de los datos almacenados.

Actualización: cada tema desarrollado incluyó métodos de actualización de los datos requeridos. Parte fundamental en el concepto de actualización se basa en el censo de población y vivienda para los datos alfanuméricos y en las coberturas de suelo provista por las imágenes de satélite.

5.2. Estructura

La base de datos es relacional, y la localización es el atributo común de los objetos que la componen, los cuales conservan su implantación espacial mediante coordenadas geográficas.

La base de datos se estructuró a partir de datos espaciales, integrados como polígonos, segmentos y puntos, y estadísticas representadas en modo alfa-numérico, lo que hace factible la comparación, superposición y combinación, utilizando diferentes tipos de información, a partir de lo cual es posible elaborar mapas y sus respectivos análisis estadísticos.

5.3. Escalas de trabajo

Con la introducción de nuevas tecnologías de manejo de datos espaciales, la importancia de la escala ha sido reemplazada por la precisión del dato en sí mismo. Para ilustrar: la escala más grande fue 1:1,000 en las áreas urbanas consolidadas, lo que representa información con error máximo de 50 cm; la "digitalización" se realizó a

1:2,000, conservándose la precisión de la escala 1:1,000. El tema de la precisión es particular a cada dato y al uso que se le va a dar.

5.4. Tipos de operaciones espaciales

Las operaciones son complejas, en función de la pregunta realizada al sistema. Se basan en encadenamientos de operaciones simples. La salida de una operación sirve de entrada para la siguiente. Se trabajó reagrupando los datos y siguiendo el principio relacional. Se utilizaron todas las operaciones clásicas (restricción, proyección, unión, y sus derivados). Los datos fueron consultados directamente sobre la pantalla. Los cálculos acerca de los atributos descriptivos se realizaron mediante cálculos numéricos, lógicos, estadísticos, de agregación, combinación, cálculos de superficie, distancia, aproximación y otros. Nuevos atributos se crearon por intervalo, por normalización, reagrupamiento, etc.

5.5. Ubicación institucional de la información

El sistema de información geográfica se encuentra en la Unidad del municipio de Quito denominada "Sistema Urbano de Información" (SUIM). El SUIM presta sus servicios a todos los interesados en planificación y ordenamiento del territorio, a organismos públicos y privados, etc.

Los usuarios que proporcionan datos al SUIM conservan los derechos de propiedad intelectual sobre los mismos, y adquieren derecho de utilización del SUIM para el desarrollo de sus aplicaciones.

6. SISTEMA UTILIZADO

6.1. Hardware

La configuración que se utilizó en el desarrollo continúa siendo la misma. En la actualidad, se ha ampliado la capacidad de los equipos.

La configuración básica fue:

una estación de "digitalización" constituida por un microcomputador, una mesa digitalizadora, una impresora matricial.

una estación de tratamiento constituida por una estación de trabajo SUN, plotter, impresora a color, impresora blanco y negro, periféricos de almacenamiento en cassette, discos y disquetes.

6.2. Paquete de software

El programa utilizado en el proyecto, y actualmente en el SUIM, es el Sistema de Información Geográfica SAVANE, llevado a cabo por el Instituto Francés de

Investigación para el Desarrollo en Cooperación ORSTOM, el cual cubre todas las fases de implantación y operatividad de la base de datos, bajo ambiente UNIX. El software hace posible la automatización gráfica ("digitalización"), el manejo relacional de datos localizados y varias posibilidades de tratamientos y representaciones cartográficas, como se explicó anteriormente.

Para el tratamiento de imágenes de satélite se dispone del software PLANETE, cuyos resultados son recuperados por SAVANE como un atributo más de la base de datos.

El tratamiento estadístico se opera a través del software SAS, que es manejado en forma transparente dentro de SAVANE.

BIBLIOGRAFÍA

Censo V de Población y IV de Vivienda, 1990, Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, Quito.

FERNANDEZ M.A., 1990, *El medio físico de Quito: sus limitaciones e incidencia en la adaptación del hombre del Crecimiento de Quito y Guayaquil: estructuración, segregación y dinámica del espacio urbano*. Estudios de Geografía Vol.3. Corporación Editora Nacional-Colegio de Geógrafos del Ecuador, Quito, 6-20 pp.

GODARD H., 1988, *Quito-Guayaquil: Evolución y consolidación en ocho barrios populares*, Centro de Investigaciones CIUDAD, Quito, 205 pp.

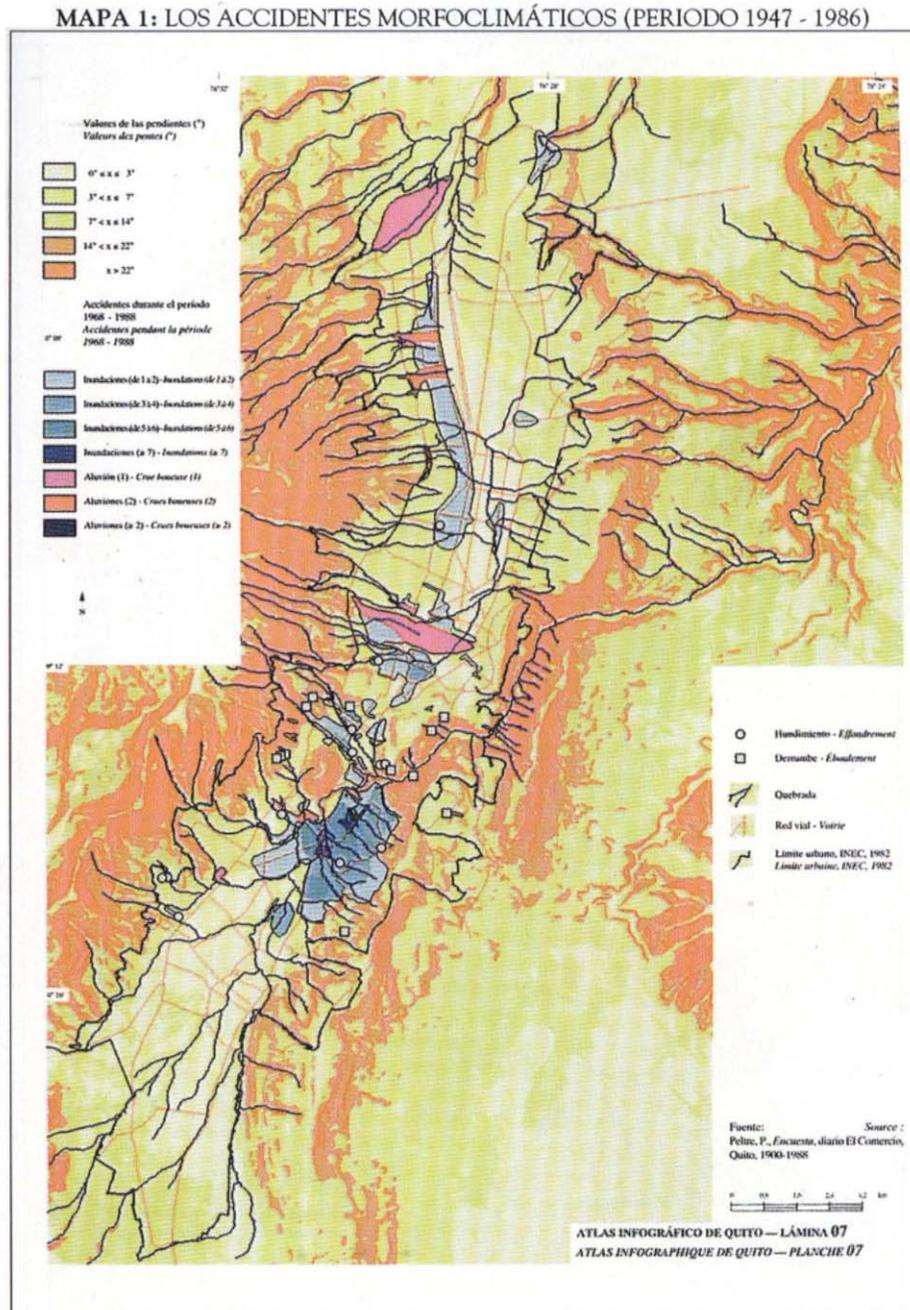
GODARD H., 1988, *Crecimiento urbano y dinámica de los barrios de El espacio urbano en el Ecuador: Red urbana, región y crecimiento*, III Tomo de Geografía Básica del Ecuador, Centro Ecuatoriano de Investigación Geográfica, IPGH-ORSTOM-IGM, Quito, 197-227 pp.

VON HILLEBRANDT C., 1991, *Evaluación de los peligros volcánicos y su mitigación en la República del Ecuador de El paisaje volcánico de la sierra ecuatoriana: geomorfología, fenómenos volcánicos y recursos asociados*. Estudios de Geografía Vol.4, Corporación Editora Nacional- Colegio de Geógrafos del Ecuador, Quito, 39-54 pp.

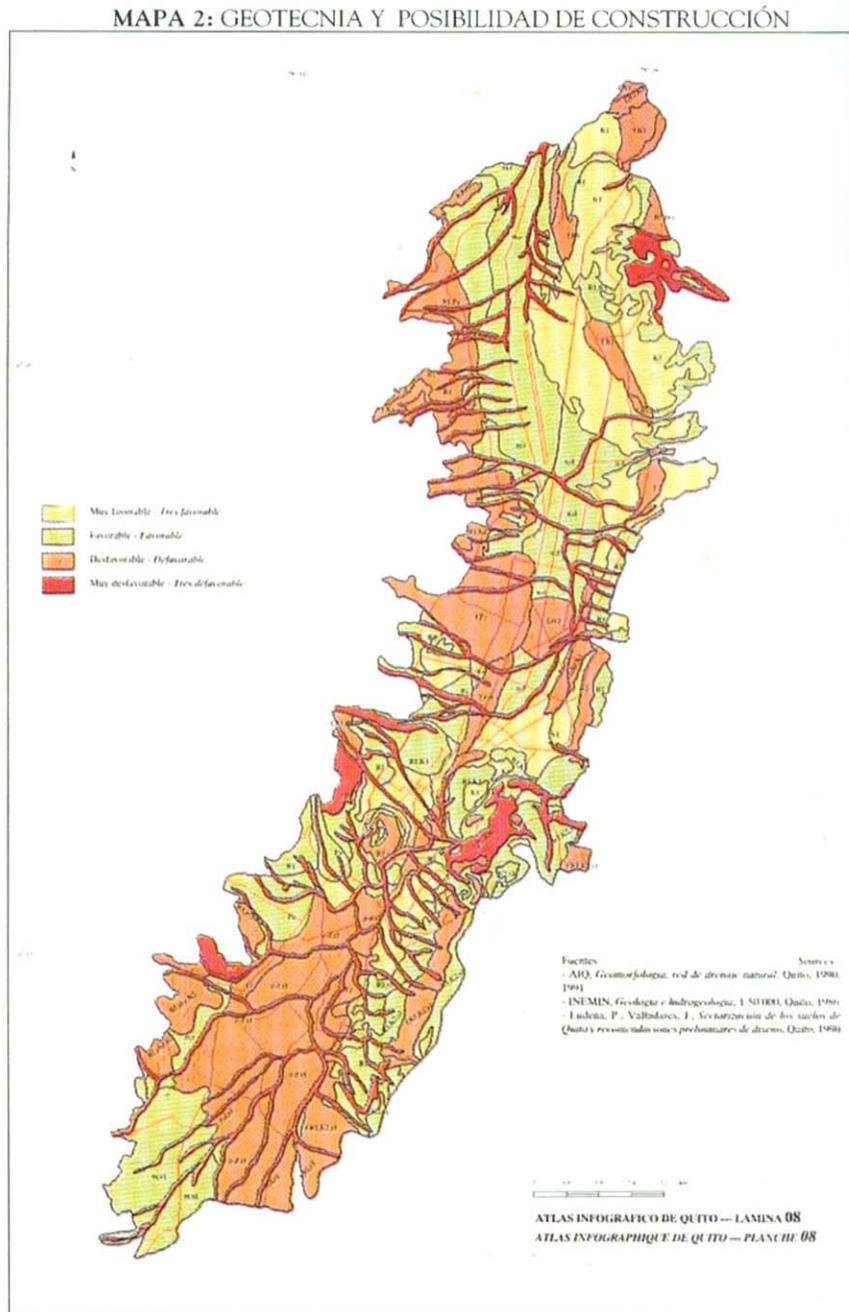
Varios autores, 1992, Atlas Infográfico de Quito, IPGH-IGM-IMQ-ORSTOM, Quito, 187 mapas, 370 pp.

Varios autores, 1994, *The Quito, Ecuador, Earthquake Risk Management Project*, Oyo Pacific - Politécnica Nacional - Municipio de Quito, San Francisco, 15 pp.

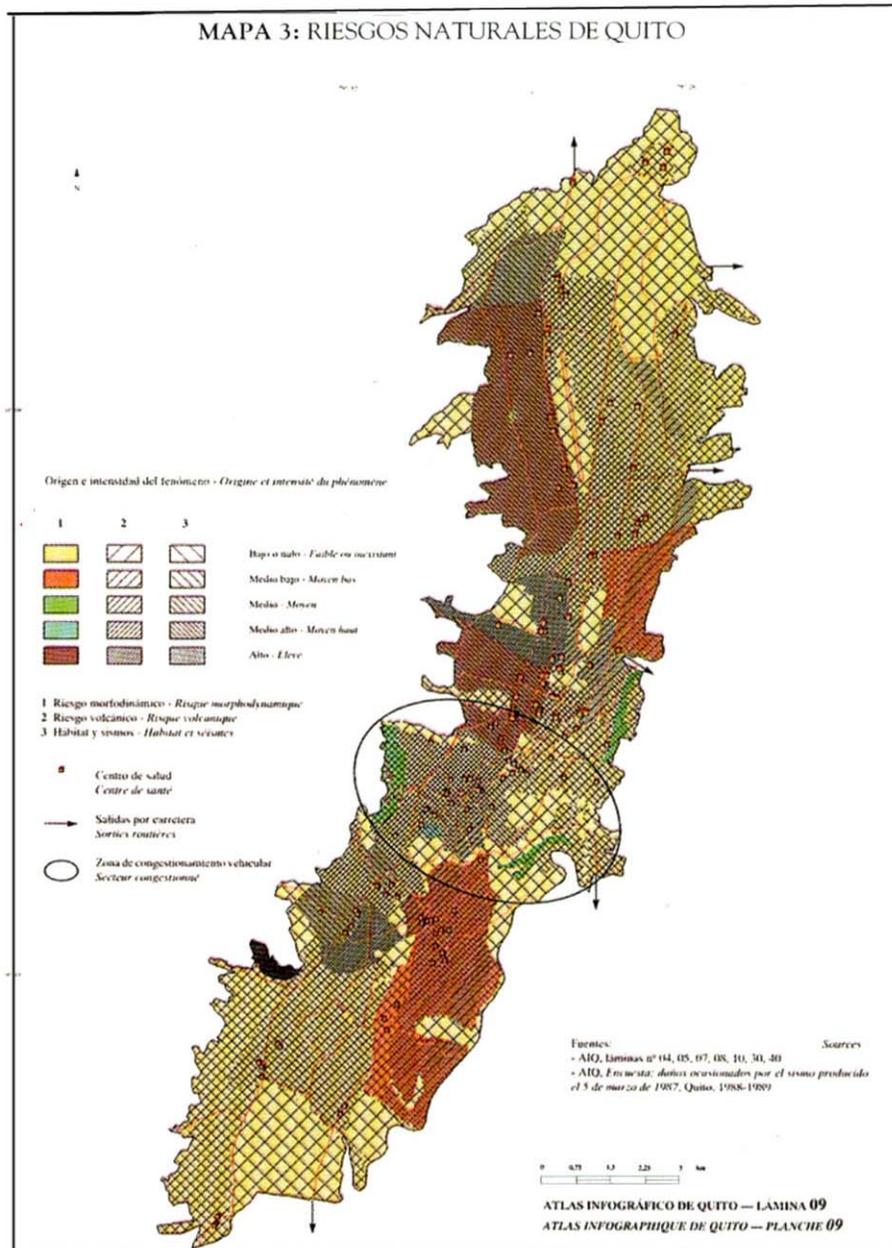
MAPA 1: LOS ACCIDENTES MORFOCLIMÁTICOS (PERIODO 1947-1996)



MAPA 2: GEOTECNIA Y POSIBILIDAD DE RECONSTRUCCION

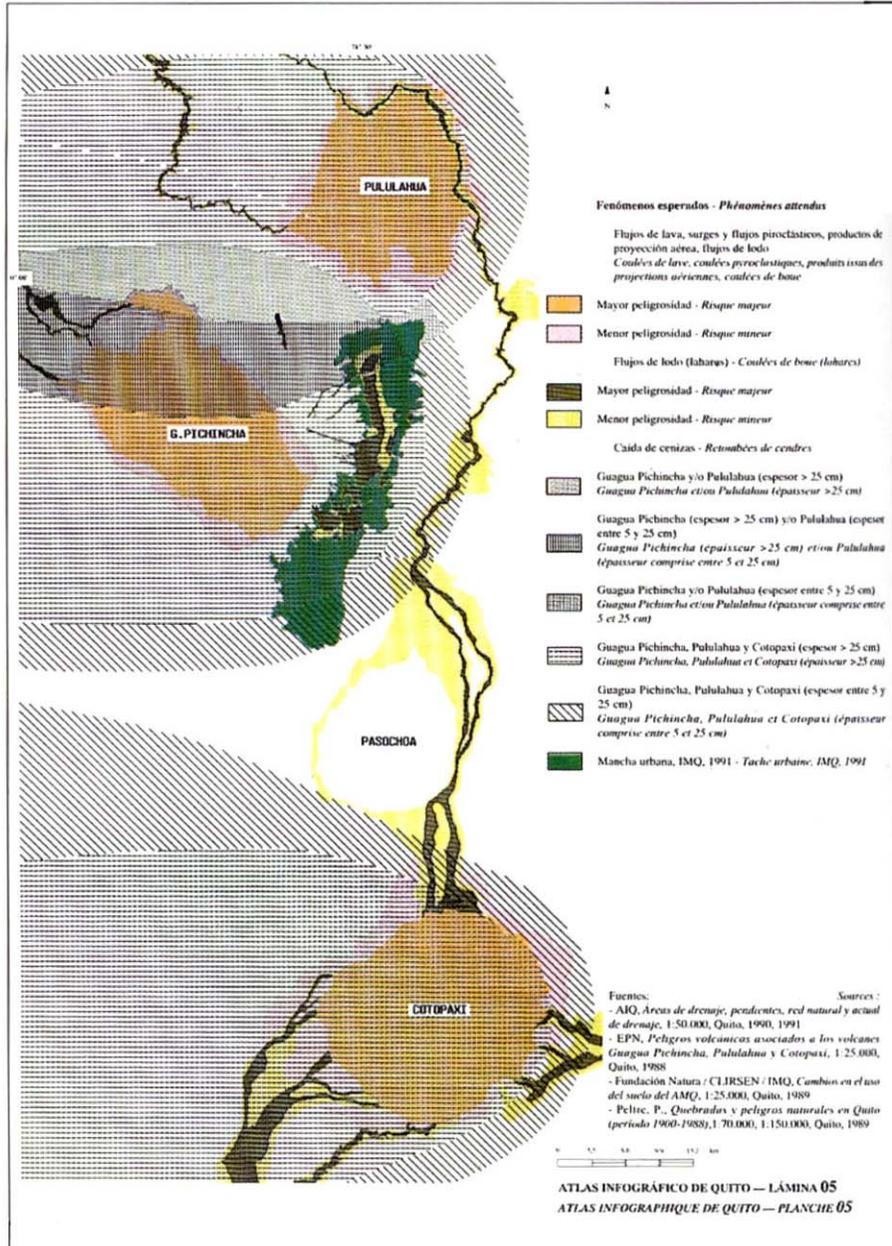


MAPA 3: RIESGOS NATURALES DE QUITO



MAPA 4: PELIGROS VOLCÁNICOS ASOCIADOS A LOS VOLCANES GUAGUA PICHINCHA, PULULAHUA Y COTOPAXI

MAPA 4: PELIGROS VOLCÁNICOS ASOCIADOS A LOS VOLCANES GUAGUA PICHINCHA, PULULAHUA Y COTOPAXI



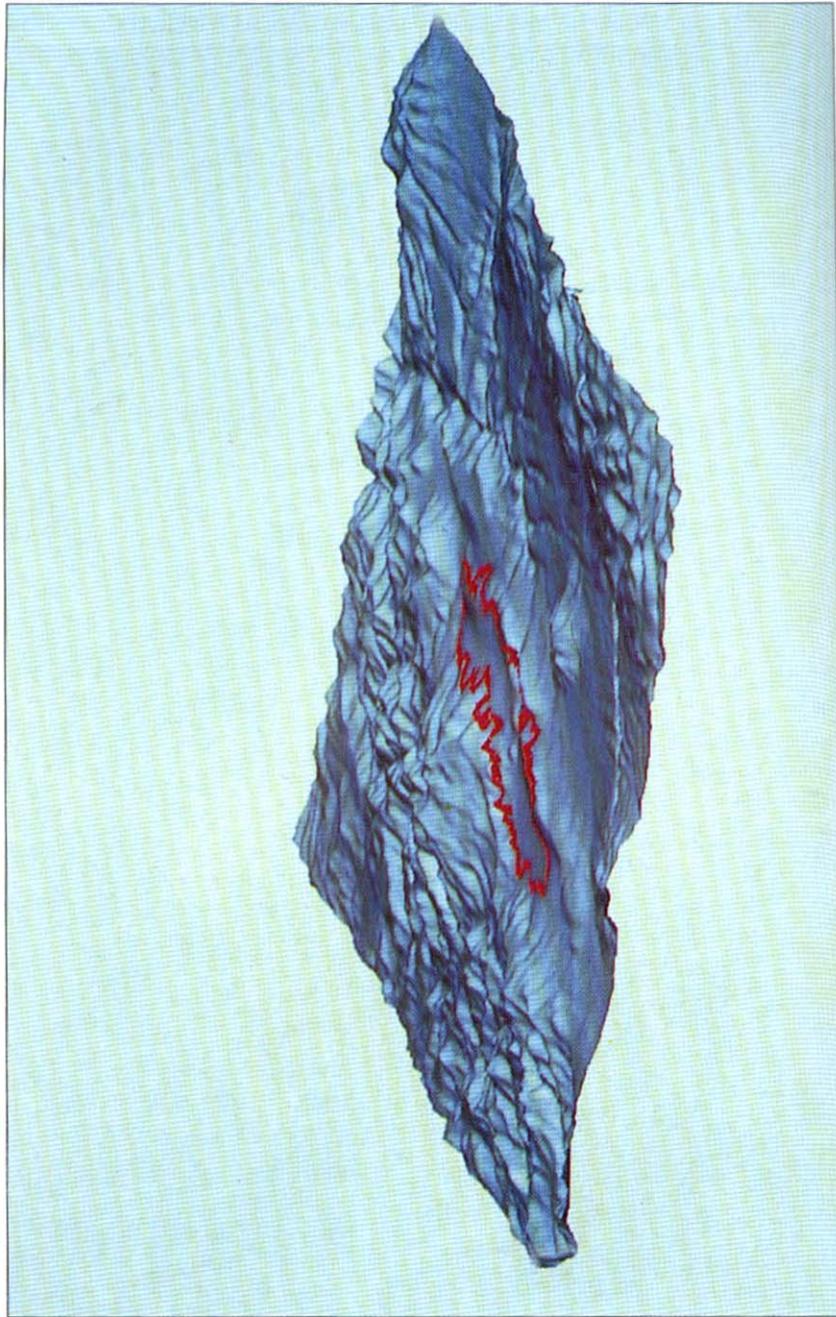
MAPA 5: TERREMOTO LOCAL DAÑOS ESPERADOS

MAPA 5: TERREMOTO LOCAL DAÑOS ESPERADOS



MAPA 6

MAPA 6



MAPA 7: JERARQUIZACIÓN SOCIO-ECONÓMICA DEL ESPACIO QUITEÑO

MAPA 7: JERARQUIZACIÓN SOCIO-ECONÓMICA DEL ESPACIO QUITEÑO

