
QUEBRADAS Y RIESGOS NATURALES EN QUITO, PERIODO 1900-1988

*P. Peltre**

La ciudad de Quito siempre ha sufrido accidentes de origen tanto climático como geomorfológico relacionados con los escurrimientos de superficie perturbados por la urbanización: inundaciones, avenidas de lodo, derrumbes y hundimientos. Los archivos españoles mencionan frecuentemente estos problemas desde el tiempo de la fundación de la ciudad, en 1534. Todavía en la actualidad, son raros los años en que no se produce ningún accidente.

Por lo tanto, nos pareció interesante estudiar el pasado de estos fenómenos en la misma forma en que los sismólogos estudian la historia de los terremotos. En un medio urbano en donde la modificación radical del medio natural interfiere necesariamente en las causas climáticas y en las que están relacionadas con la naturaleza de las formaciones superficiales, el enfoque únicamente geomorfológico permite difícilmente llegar a conclusiones utilizables en términos de manejo del medio urbano, y es un conocimiento detallado del pasado el que proporciona las mejores informaciones.

El enfoque histórico ha sido realizado a partir de los periódicos—único registro que ha conservado la memoria de estos fenómenos— para intentar analizar su frecuencia y realizar su cartografía. El escudriñamiento, desde 1900, del principal diario quiteño (1) detecta 317 eventos climáticos que causaron suficientes daños como para ser tomados en cuenta por los periódicos. Una parte de estos eventos afectaron varios lugares en la ciudad, y, en realidad, fueron 517 accidentes morfoclimáticos urbanos los registrados en 89 años, es decir, en promedio, más de cuatro por año, aunque no todos tuvieron la misma amplitud ni la misma gravedad.

En muchos casos, estos accidentes provocaron efectos desastrosos a escala del barrio, y su costo, material y social, no ha sido nada despreciable en un tejido urbano que se ha desarrollado considerablemente durante los cuatro últimos decenios. Las técnicas de construcción de la ciudad, y luego las políticas de manejo del medio urbano, han influido fuertemente sobre la sensibilidad de éste a los excesos del clima. Es lo que hemos intentado precisar a través del estudio de los accidentes del pasado, que esperamos permitirá una mejor adaptación de la gestión del medio urbano a las condiciones de la montaña ecuatorial.

* Geógrafo ORSTOM, miembro del Colegio de Geógrafos del Ecuador

1. URBANIZACION Y PROBLEMAS DE DRENAJE

1.1. El sitio urbano

La ciudad de Quito está ubicada a 2800 m. de altura, prácticamente bajo la línea ecuatorial (0° 10' de latitud sur), al pie del volcán activo Pichincha (alt. 4.794 m). La ciudad ocupa, en la falda del volcán, una grada tectónica a 300 m. aproximadamente sobre el callejón interandino, valle Norte-Sur que separa las cordilleras Oriental y Occidental. Esto da al sitio el aspecto de un canal estrecho de treinta por tres a cinco kilómetros, de orientación N-S, cuyo fondo, todavía parcialmente pantanoso, está constituido por sedimentos fluvio-lacustres de un antiguo lago (fines del siglo pasado).

La vertiente del Pichincha y el reverso de la "cuesta" (2) de la grada tectónica están principalmente constituidos por lavas, tobas poco endurecidas y cenizas volcánicas, afectadas por varias fallas importantes; el conjunto del sitio está recubierto, casi uniformemente, por una capa de diez a veinte metros de espesor de cenizas volcánicas limosas de origen eoliano - la cangahua - que moldea una topografía antigua. Estas formaciones presentan la particularidad de oponer poca resistencia a la erosión fluvial, y de endurecerse ligeramente cuando están expuestas al aire, lo que les permite conservar con impresionante frescura las fuertes incisiones de la última desglaciación, que constituyen una intensa red de quebradas que atraviesan todo el sitio urbano.

El clima de la ciudad es de tipo ecuatorial de altura, con una temperatura media anual de 13,5°C y amplitudes térmicas diurnas muy superiores a la amplitud anual (3). El régimen pluviométrico está distribuido en dos estaciones lluviosas, de fin de septiembre a noviembre y de enero a mayo (cf. fig. 4):

La pluviometría se caracteriza por una fuerte diferencia entre norte (800 mm) y sur (más de 1400 mm) de la ciudad en una distancia de aproximadamente solo 35 km, debido al volcán Pichincha que protege el norte de la ciudad del ingreso de masas de aire húmedas del sur-oeste. Probablemente también se añaden en ciertos tipos de tiempo efectos de "foehn", vientos secos y calientes bajando de la sierra por el valle del Río Guayllabamba, lo que disminuye fuertemente la condensación de la humedad atmosférica al norte de la ciudad, y en la zona de Perucho, Guayllabamba y San Antonio de Pichincha. La intensidad de las precipitaciones, aunque no muy elevada en términos absolutos, permite escurrimientos bastante fuertes en las vertientes empinadas; está resumida en el cuadro 1, expresada en milímetros por hora (4).

Estos cuantos elementos revelan un clima con una pluviometría muy contrastada, que se ejerce además en un relieve particularmente accidentado en las inmediatas proximidades de la ciudad, y subraya la importancia de su sistema de drenaje.

Frecuencia	Mediana	Decenal	Centenal
	I(mm/h)	I(mm/h)	I(mm/h)
Tiempo			
5 minutos	100	126	150
15 minutos	65	83,7	101
30 minutos	46,3	58,5	69,2
60 minutos	27,4	35,1	42,3

Cuadro 1 : Intensidades de las lluvias en Quito-Observatorio

1.2. Drenaje y crecimiento urbano: las quebradas

Desde hace unos treinta años, el crecimiento demográfico de Quito avanza al ritmo sostenido de más del 4% anual: la población sobrepasa actualmente el millón de habitantes. La ciudad ha multiplicado su superficie en cerca de 40 veces entre 1880 y 1980, y el examen de los mapas de evolución muestra que se pueden distinguir tres etapas en la progresión del espacio urbano (5) (fig. 5):

- Desde la fundación del Quito colonial en 1534 hasta principios del siglo XX el crecimiento es lento y se realiza según un esquema radial, alrededor del centro colonial; en 1902 la ciudad sólo ocupaba 200 hectáreas.

- Durante la primera mitad del siglo XX la progresión se hace más rápida, en forma de finos tentáculos a lo largo de las vías de comunicación hacia el norte y hacia el sur. En 1950 la superficie urbanizada alcanza 1.300 hectáreas, cifra todavía modesta si se la compara con la actual.

- A partir de esta época se acelera la urbanización en proporciones considerables para alcanzar 12.500 hectáreas; el relleno de las quebradas, practicado desde la época colonial, se acelera también y los drenajes naturales están reemplazados, prácticamente por todo lado, por alcantarillas.

En la región de Quito, las quebradas son verdaderos barrancos con bordes agudos, que pueden alcanzar frecuentemente de 15 a 20 m. de profundidad. Son arroyos de montaña de fuerte pendiente, con régimen intermitente, que corren sólo algunos días al año en crecidas brutales y violentas durante las precipitaciones más intensas; sólo los más importantes tienen un escurrimiento permanente.

En las pendientes del Pichincha (20 a 30 grados) y las del reverso de la grada tectónica (10 grados) al Este de la ciudad, las quebradas tienen cortes de diez a veinte metros; en el siglo pasado las más importantes de la planicie de Quito tenían una profundidad de dos a tres metros, pero las más activas en términos de sedimentación no estaban marcadas topográficamente, sino borradas por sus propios sedimentos. Siguen constituyendo hoy en día una densa red de drenaje de las pendientes que dominan la ciudad, ya que 85 quebradas han sido censadas durante el establecimiento del mapa de la antigua red de drenaje natural (fig. 1) y del archivo de los nombres (cf. anexo 2) (6); en los propios límites del perímetro urbano actual, se reúnen todas las quebradas en solamente tres desagües: el Río Machángara y las quebradas

Quebrada :	Rumiurcu	Atucuchu	Pulida Chico	Rumipamba	Manzanachupa	Caicedo
Caudal decenal (m ³ /s.)	38,8	11,3	11,7	24,9	4,5	5,7
Capacidad de alcantarilla(m ³ /s.)	13,6	3,4	4,0	8,5	3,2	4,5

Cuadro 2 : Déficit de evacuación de los colectores de algunas quebradas

El Batán al Este y Carcelén (o El Colegio) al Norte. El curso inferior de todas estas quebradas ha sido rellenado durante la urbanización, y reemplazado por la red de alcantarillas que ahora asume no solamente la evacuación de las aguas servidas sino también la de las aguas lluvias del volcán Pichincha, sistema montañoso de considerable volumen (30 km de diámetro) en la franja de altura de 2800 a 4700 msnm encima de la ciudad.

Los primeros rellenos en el centro histórico datan de la época colonial: desaparecen primero los cursos inferiores de las quebradas Manosalvas y La Marín. Luego, a partir de 1914, se cubre la quebrada Jerusalem (o De la Cantera) que pasa a ser la Av. 24 de Mayo, cuya alcantarilla tiene que evacuar caudales máximos considerables. Esta planteará numerosos problemas a lo largo de este siglo, y la antigua alcantarilla, erosionada por el verdadero río que evacúa, muestra pilancones (7) de treinta metros de profundidad. Como su mantenimiento se ha vuelto totalmente imposible, se está construyendo otra alcantarilla según un trazado paralelo a la antigua, considerada no recuperable.

En los años 30, la extensión de la ciudad impone el relleno de las quebradas que atraviesan los barrios nuevos: la Mariscal Sucre al norte, la Magdalena y Chimbacalle al sur del Panecillo. Luego, a partir de los años 50 se rellenarán progresivamente las grandes quebradas que bajan del Pichincha en los sectores de La Carolina y del aeropuerto al Norte. Subrayemos que la extensión de la ciudad se realizó muchas veces por saltos sucesivos en el espacio, de una quebrada – transversal al eje de expansión – a la siguiente (8). Actualmente la tendencia al relleno prosigue activamente tanto en el norte de la ciudad (quebradas El Colegio y Rumiurcu) como en el Sur (quebradas La Raya, de Los Chochos y proyecto de cobertura del Río Machángara).

En total, la topografía particular del sitio impuso a la ciudad un crecimiento alargado (25 km por 3), la ocupación de las fuertes vertientes al Este y al Oeste, responsable de la multiplicación de los derrumbes, y el relleno de la red natural de drenaje que se realizó para ganar espacio y construir una continuidad urbana, todo lo cual constituye la principal causa de las inundaciones, de las crecidas lodosas y de los derrumbes.

La red de alcantarillado constituida de esta manera es localmente insuficiente para evacuar los caudales más importantes. La estimación comparada de la capacidad de evacuación de las alcantarillas y de los caudales máximos de

frecuencia decenal de las quebradas del Pichincha que éstas tienen que evacuar es elocuente, ya que de 19 quebradas estudiadas, 12 presentan déficits de evacuación, a veces considerables, de los cuales presentamos los más importantes en el cuadro 2 (9).

La EMA-Quito (10) trata de controlar esta situación implementando tanques de retención alrededor de algunas de las tomas de alcantarilla más sensibles, lo que permitiría almacenar el pico de crecida durante 20 a 30 minutos, tiempo en general suficiente para aliviar los efectos de los aguaceros más intensos. Como estas infraestructuras son en su mayoría recientes, es todavía prematuro juzgar de su eficacia.

Cuando se alcanzan o sobrepasan los caudales de frecuencia decenal, las aguas y el lodo se desbordan por las calles, provocando inundaciones y crecidas lodosas. Por lo tanto, la red de alcantarillas sufre permanentemente una sedimentación importante, lo que reduce todavía más su capacidad teórica de evacuación, y hace necesario una continua limpieza por un equipo de 140 "sifoneros". Por fin todas las partes altas de la red están situadas en pendientes fuertes, lo que conduce a someter las canalizaciones a fuertes presiones hidráulicas, provocando a veces su ruptura. Esto induce entonces fenómenos de erosión subterránea que pueden provocar hundimientos de calzada.

Para completar esta breve presentación del riesgo geomorfológico podemos añadir que la ciudad se encuentra también amenazada por dos riesgos mayores, sísmico y volcánico, de baja frecuencia de ocurrencia pero de gravedad incomparablemente superior; el análisis de estos riesgos pertenece a especialidades muy precisas y sólo los evocaremos aquí a manera de comparación.

Los sismos nunca han provocado daños muy importantes en Quito, pero ciudades alejadas de apenas unos cien o ciento cincuenta kilómetros han sido completamente destruidas como Riobamba (1797), Ibarra (1868) o Ambato (1949). El reciente terremoto del 5 de marzo de 1987 (7,5 grados en la escala de Mercalli), que sólo provocó leves daños en la ciudad, pero que por poco produjo fuertes destrucciones, nos recuerda que la capital está construida prácticamente en la vertical de la zona de subducción de la placa oceánica Nazca bajo la placa continental, y tiene por lo tanto un riesgo sísmico muy serio.

En cuanto al riesgo volcánico, el Pichincha ha tenido varias erupciones desde la fundación de la ciudad española,

entre las cuales la más conocida, en 1660, no provocó otros daños que los ocasionados por las caídas de cenizas encima de la ciudad (hasta 40 cm. de espesor). Este volcán presenta actualmente una débil aunque permanente actividad geotérmica; pero los geólogos estiman que se trata de un vulcanismo de tipo peleano, explosivo, que lanza sobre todo cenizas y nubes ardientes y que por lo tanto puede constituir un peligro muy importante para la ciudad en caso de erupción violenta, todavía poco previsible en el estado actual de la ciencia. Hablaremos luego del riesgo morfodinámico inducido por una eventual erupción del Pichincha.

Esto relativiza la amplitud del riesgo provocado por el drenaje, que sólo se limita a daños localizados por barrios, y de mediana gravedad. Sin embargo no fueron pocas las muertes provocadas por coladas de lodo o por derrumbes, y sobre todo, se trata de un riesgo frecuente, del cual sabemos que afectará necesariamente varios sectores de la ciudad dentro de unos años; en fin, es un riesgo parcialmente controlable mediante la ejecución de infraestructuras en la ciudad y por el manejo de su crecimiento.

2. LOS ACCIDENTES MORFOCLIMATICOS URBANOS EN LA PRENSA

2.1. El tratamiento de la información

El estudio detallado del principal y más antiguo diario de Quito, El Comercio, permitió constituir un archivo de 317 resúmenes de artículos que relatan uno o varios accidentes morfoclimáticos acaecidos en la ciudad o en sus inmediaciones (archivo "Eventos"), por lo general durante un solo día (11). Por lo tanto, cada ficha corresponde con frecuencia a una fuerte precipitación que haya provocado varios accidentes en diferentes lugares de la ciudad. Se realizó, a partir del primer tipo de ficha un segundo archivo de 517 accidentes *stricto sensu*, cada uno correspondiendo a una localización precisa (archivo "Accidentes", ver anexo 1).

Este trabajo de identificación geográfica de los accidentes, realizado en las fichas de accidentes, presenta ciertas dificultades: las localizaciones indicadas por el periodista son muchas veces poco precisas; en unos casos utiliza nombres de calles, en otros nombres de uno o dos barrios más o menos bien identificados por sus habitantes, a veces ni siquiera localizados en los planos; pero también, resulta con frecuencia difícil determinar si una zona bastante amplia, afectada por el exceso de agua, constituye un solo o varios focos de accidentes. Así la parte de apreciación personal sigue siendo importante en esta identificación.

Además, es muy probable que los periódicos no hayan relatado siempre de manera homogénea estos accidentes morfoclimáticos: por ejemplo, la cobertura de la información internacional durante la última guerra mundial parece bastante completa, en todo caso lo suficiente para que pueda

uno interrogarse sobre la preponderancia que hubiera podido ejercer esta actualidad sobre los relatos de los acontecimientos urbanos de la época, por lo menos si éstos tenían poca dimensión. En forma más general se puede sospechar que los periódicos de principios de siglo, menos integrados a las redes mundiales de las agencias de información que los de hoy en día, hayan relatado más noticias locales menores que las que atraen ahora la atención de los periodistas.

Así, el instrumento de observación utilizado tiene sus imperfecciones; sin embargo es el único disponible y no existe ninguna fórmula para apreciar su confiabilidad de detalle, por lo menos en lo que atañe a localización precisa y grado de gravedad a partir del cual se relataron los accidentes. Como estamos seguros de que todos los accidentes importantes han sido relatados, el problema reside más bien en una probable desigualdad de tratamiento de los accidentes de poca importancia, y podemos suponer que éstos sólo distorsionan el análisis en su detalle y no en sus grandes rasgos. Sin embargo, esta imprecisión nos obligó a constituir únicamente grupos geográficos o cronológicos suficientemente importantes para que conserven un significado.

El archivo así constituido permite identificar varios nombres para calificar los diferentes tipos de accidentes, aunque exista cierta fluctuación semántica en cuanto a la identificación precisa del tipo de fenómeno. "Inundación" no necesita una explicación particular, "aluvión" designa una crecida lodosa o una colada de lodo, sin que se pueda distinguirlas, el "alud" significa, en su estricto sentido, una avalancha de nieve y se utiliza como deslizamiento de terreno o coladas de lodo importantes. Otro término que pueda provocar confusión es el de "deslave", que significa literalmente "derrubio", sea caída de tierra en las riberas de un río (12), es frecuentemente utilizado en el sentido de colada de lodo, así como de deslizamiento de terreno, pero también en el sentido de derrumbe; para simplificar la selección en el archivo, sólo hemos conservado el término en este último sentido semántico, ajustando la palabra clave según el contenido del resumen. Los derrumbes corresponden a deslizamientos de taludes y peñas bien localizados y los hundimientos son, como su nombre lo indica, descensos o desmoronamientos de calzada en el material de relleno de las quebradas, provocados por las alcantarillas defectuosas. Por fin, el término "daños" se utiliza a veces para cualquier descripción, cuando el accidente es poco importante; entonces hay que leer entre líneas su naturaleza precisa.

Tomando en cuenta la imprecisión semántica, muchas veces insuperable, y para evitar una exagerada división del archivo, hemos reagrupado los accidentes encontrados en cuatro categorías sencillas:

- los que se deben a un simple exceso de agua (inundaciones);
- las crecidas lodosas o coladas de lodo (aluviones y aludes);

- los hundimientos de calzada (hundimientos);
- los derrumbes de peñas y deslizamientos de tierra (derrumbes).

Cada evento ha sido cartografiado de la mejor manera según las indicaciones de localización que proporcionaba cada artículo, respetando siempre el principio de guardar solamente una hipótesis mínima cada vez que la extensión precisa del accidente no podía ser reconstituida con precisión. El conjunto de las inundaciones, aluviones y hundimiento acaecidos de 1900 a 1988 está representado en la figura 1, así como las quebradas y un fondo urbano simplificado; la localización de los derrumbes, que no responden a una lógica directamente relacionada con la intensidad de las lluvias están representados en la figura 2.

2.2. Los tipos de accidentes

Las inundaciones

Estas traducen muy directamente la insuficiencia crónica de la red de drenaje durante las fuertes precipitaciones que son comunes en clima ecuatorial de altura. De la misma manera que los aguaceros, estas inundaciones sólo tienen, por regla general, una extensión limitada en el espacio y no duran más de dos a cuatro horas, y por lo tanto no se parecen en nada a las que producen las crecidas de los ríos importantes en su cauce mayor, como ocurre en la Costa, en donde el desbordamiento dura varios días. Frecuentemente, están relacionadas con el trazado de las antiguas quebradas: su cartografía (fig. 1) indica que más o menos la mitad de las inundaciones repertoriadas corresponden directamente a la insuficiente capacidad de evacuación de los caudales más importantes de las quebradas que dominan la ciudad. En los demás casos, es solo la capacidad de evacuación del escurrimiento urbano la que se revela insuficiente.

Que provenga de los caudales de crecida o del escurrimiento urbano, las aguas que exceden la capacidad de las alcantarillas corren por las calles empinadas y se acumulan durante algún tiempo en las calles transversales y en las zonas bajas; alcanzan frecuentemente 30 a 60 cm. de altura, y no sobrepasan un metro o un metro cincuenta durante las inundaciones más importantes. La extensión varía de algunas manzanas al barrio entero en las pendientes medianas, pero la inundación puede afectar sectores más amplios, en las zonas llanas de la "planicie de Quito". Entonces, son los sectores de la Carolina - antiguo pantano al Norte del Panecillo - y de los barrios de Chimbacalle, Villa Flora y La Magdalena, al Sur, los que se ven más afectados. Recordemos además que un mismo episodio lluvioso provoca frecuentemente varios focos de inundación en la ciudad.

Si bien estas inundaciones sólo provocan, ordinariamente, daños relativamente poco importantes: inundaciones

en los primeros pisos (plantas bajas), algunas casas precarias estropeadas o a veces destruidas, desgaste acelerado de las calzadas, sobre todo en los barrios periféricos en donde no tienen revestimiento; en todo caso, paralizan la circulación en la ciudad, en superficies muy superiores a las que el periodista identifica como inundadas. Son sobre todo muy frecuentes y constituyen aproximadamente la mitad de los accidentes apuntados: el archivo cuenta con 163 eventos pluviométricos desde 1900, que ocasionaron 233 inundaciones en toda la ciudad, es decir un promedio de tres por año.

Los flujos de lodo

Catalogados por los periodistas como aluviones, aludes y a veces deslaves, estos accidentes son menos frecuentes pero mucho más destructores que las inundaciones. Se trata tanto de coladas de lodo, relativamente viscosas, como más frecuentemente de crecidas con fuerte carga sólida que pueden en los casos más graves, acarrear piedras y bloques. La colada de lodo corresponde a la superación del límite de liquidez en el suelo, induciendo un deslizamiento según un plano arqueado y una colada río abajo, generalmente corta, mientras que la crecida lodosa resulta de la movilización por el torrente de materiales arrancados de sus riberas, o anteriormente movilizados por un derrumbe o una colada de lodo río arriba de la cuenca vertiente; afecta distancias mucho más importantes y tiene tendencia a expandirse cuando la pendiente disminuye como es el caso en la base de todas las vertientes que dominan la ciudad.

Son accidentes de la periferia de la ciudad, aunque los más grandes pueden penetrar profundamente en la urbe. El mapa (fig. 1) demuestra que están exclusivamente relacionados con el trazado de las antiguas quebradas, que siempre se pueden identificar aunque el periodista no las nombre. El análisis de los resúmenes indica que a su entrada a la ciudad, los flujos corresponden casi siempre a crecidas de lodo, frecuentemente atribuidas a embalses naturales río arriba.

Sin embargo, la existencia de estos embalses naturales sigue siendo dudosa: mencionada por los periódicos en el reciente caso del aluvión de la quebrada La Raya, que hemos podido estudiar directamente (13), ni la observación de campo, ni la encuesta con los habitantes de la vecindad han podido confirmar tal mecanismo, y la causa directa de la crecida tiene que ser atribuida al carácter excepcional de la precipitación, cuya intensidad se estimó de 60 a 80 milímetros por hora durante 30 minutos y con una frecuencia de retorno decenal, o más escasa, según las hipótesis tomadas en cuenta para el cálculo (14).

En otro caso del cual se hizo un informe técnico, el accidente de la Av. La Gasca del 25 de febrero de 1975 - uno de los más graves accidentes registrados - los periódicos también citaron la existencia de un embalse natural, no confirmado por el estudio realizado (15). Este último atribuye el origen de la muy importante carga sólida -

estimada a 52.000 m³ – a un solo y brutal episodio de erosión del cauce de la quebrada Pambachupa, sólo vinculado con la violencia de la crecida. Estos dos ejemplos muestran que en materia de explicación de los accidentes, la fiabilidad de los periódicos es limitada, ya que por lo general, la información sólo se basa en una rápida entrevista de los habitantes del lugar; desgraciadamente, en la mayoría de los casos, no existe ninguna forma de precisar el mecanismo de accidentes cuya única memoria – descriptiva y poco detallada – sigue siendo la de la prensa.

Felizmente más escasas que las inundaciones – 73 accidentes de este tipo han sido censados en 70 eventos – las crecidas de lodo son mucho más graves y destructoras; además del lodo, siempre presente y depositado sobre 30 a 60 cm de espesor, piedras, bloques y troncos de árboles también son acarreados por el flujo en los casos más graves. La extensión varía entre algunos cientos de metros y 3 o 4 km de largo, y entre 100 y 400 metros de ancho. Los daños pueden ser importantes, con destrucción parcial de casas, de vehículos y de infraestructura vial, obstrucción de la red de alcantarilla en superficies importantes de la ciudad y, a veces también, pérdida de vidas humanas, como en el accidente de la Gasca en el cual hubo dos muertos.

En total, los aluviones tienen la misma naturaleza que las inundaciones, por lo menos las que están relacionadas con el caudal de las quebradas, del cual constituyen el término más grave en la medida en que la violencia de la crecida es capaz de movilizar una carga sólida importante. Al realizar el estudio, no siempre resulta fácil distinguir estos dos tipos de accidentes, tomando en cuenta la imprecisión de vocabulario que hemos mencionado anteriormente; en la práctica, hemos catalogado como crecida de lodo los accidentes descritos como inundación y en donde se mencionaba un importante depósito de lodo.

Los hundimientos

Hemos evocado los hundimientos, desmoronamientos de calzadas debidos a alcantarillas defectuosas en el material de relleno de las antiguas quebradas; son accidentes más escasos que los anteriores ya que sólo se han catalogado 36 desde 1900. Sin embargo son espectaculares cuando un vehículo desaparece en un hueco que se abre súbitamente debajo de sus ruedas, como ocurrió el 3 de mayo de 1978 en la Av. América.

Su mecanismo está relacionado con la erosión subterránea en condiciones muy particulares: el rompimiento de un colector de alcantarilla, durante una fuerte precipitación y bajo el efecto de la presión hidráulica de las aguas en sectores con mucha pendiente, induce un escurrimiento subterráneo paralelo al colector en los materiales poco compactos del relleno de una quebrada. Este escurrimiento provoca un lento trabajo de evacuación de arenas y limos, y cava progresivamente un hueco o hasta una cueva debajo de la

calzada; durante algún tiempo esta última resiste gracias al compactaje de las capas superficiales y la evolución pasa completamente desapercibida. La bóveda cede bruscamente, a veces bajo el peso de un vehículo, cuando la cavidad es suficientemente grande (16). El mapa (fig. 1) demuestra que todos los hundimientos están ubicados en el cauce rellenado de una quebrada.

Puede ocurrir también que un edificio se ve afectado por tales hundimientos, pero esto es más raro ya que se evita construir en superficies rellenadas, habitualmente reservadas a avenidas y espacios deportivos. Estos hundimientos pueden alcanzar proporciones espectaculares, como el del 1^o de febrero de 1984 en la Av. de Los Libertadores, en donde la quebrada Navarro recuperó su cauce natural y abrió la avenida en 200 metros de largo, 30 de ancho y 20 de profundidad.

Estos accidentes también están relacionados directamente con las deficiencias del drenaje urbano. Sin embargo, se ignora todo acerca del tiempo que transcurre entre la causa del accidente – la precipitación que provoca la ruptura de la canalización – y el evento en sí. Los dos últimos hundimientos de grandes dimensiones datan de principios de 1984, durante una estación lluviosa estimada como bastante fuerte, pero las dos anteriores habían sido excepcionales; por lo tanto, se puede presentar un plazo de preparación de los accidentes entre algunos meses y dos años, sin poder precisar nada más.

La incidencia del fenómeno geomorfológico sobre la red vial es mucho más elevada que lo que deja ver el conteo de los accidentes: en efecto, un gran número de pequeños hundimientos progresivos, no catastróficos, afecta las calles y las avenidas, y aunque no estén citados en los periódicos, constituyen problemas repetidos de mantenimiento para los servicios municipales.

Los derrumbes

Catalogados bajo los términos de derrumbe y a veces deslave, pero también como deslizamiento, son accidentes muy puntuales que afectan los barrios construidos en fuertes pendientes. Bastante frecuentes, con 114 fichas, 21 de ellos están simplemente descritos como derrumbes de casas de los cuales resulta difícil distinguir que parte de la causalidad tiene la inestabilidad del terreno y que parte la vetustez de las construcciones; sin embargo, la mayoría de los artículos mencionan violentas tormentas como causa primera, y a veces un terreno inestable luego del relleno de una quebrada cercana. Por lo tanto, hemos contabilizado estos hundimientos de viviendas como derrumbes; la sobreestimación de su número debido a hundimientos provocados por la vetustez de los edificios no debería exceder del 10 %.

Se trata de pedazos de taludes o de peñas, con una altura de algunos metros, de un volumen limitado, que se vienen

abajo, llevando consigo algunas casas o enterrando las que se encuentran más abajo. Estos accidentes acaben sobre todo en estación lluviosa, y están relacionados con el debilitamiento de la coherencia de las cenizas volcánicas por la humedad en el borde de los taludes mal o poco apuntalados, y mal drenados; no se trata de lodo, sino de masas de tierra húmeda que sólo recorren pequeñas distancias. Aunque muy localizados, son accidentes graves ya que afectan taludes de 5 a 10 metros de altura que destruyen casas enteras y provocan la pérdida de vidas humanas. Cabe recalcar que son los accidentes más mortíferos, ya que son responsables de 115 muertes sobre las 171 repertoriadas en el archivo.

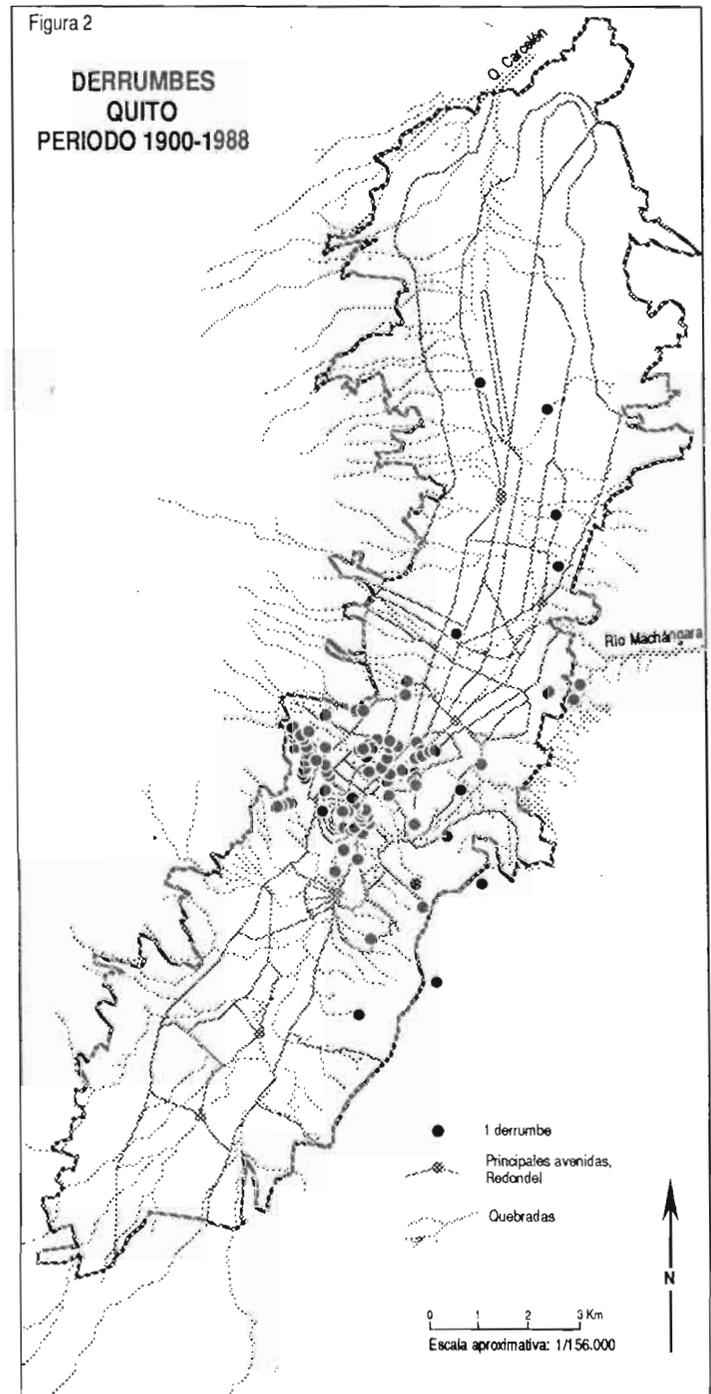
La cartografía (fig. 2) destaca cuatro núcleos principales y una aureola bastante difusa: el Panecillo, urbanizado desde los primeros decenios del siglo, y sobre todo afectado en su vertiente oriental; un segundo núcleo denso jalonéa la desembocadura de la quebrada Jerusalem, en las fuertes pendientes de El Placer y de la Libertad, y un tercero marca la vertiente y el pie de la colina del Itchimbia; el cuarto núcleo corresponde al centro colonial, mezclando los hundimientos de casas antiguas y los derrumbes de taludes. El resto de los derrumbes (unos treinta) se dispersa en la periferia, en los barrios con fuertes pendientes: La Colmena, San Juan, Luluncoto-La Ferroviaria, y las pendientes que dominan el Machángara. Son accidentes directamente relacionados con una urbanización pobre en pendientes fuertes, en donde la construcción sigue siendo artesanal, los taludes mal o no apuntalados, y con un drenaje insuficiente o inexistente; parece que algunos barrios más ricos, también construidos en pendientes fuertes, no sufren de este tipo de problemas.

Los cuatro tipos de accidentes que acabamos de describir dependen de las condiciones de evacuación de las aguas lluvias en la ciudad: inundaciones y crecidas lodosas están muy directamente relacionadas con las precipitaciones más intensas; los hundimientos también lo están, pero con el retardo que se debe a la evolución geomorfológica subterránea. Por fin, los derrumbes dependen de la infiltración y de la dinámica del agua en los suelos de las vertientes empinadas, y de sus propiedades estructurales bajo ciertas condiciones de saturación. En total, todos constituyen accidentes del drenaje urbano.

3. FRECUENCIA Y LOCALIZACION DE LOS ACCIDENTES

3.1. Ritmo de ocurrencia y crecimiento urbano

A partir del archivo de accidentes, elaboramos el histograma de frecuencia anual para los cuatro tipos de fenóme-



nos, dónde no se puede observar ninguna regularidad de ocurrencia (fig. 3). Sólo se notan 13 años de accidentes frecuentes de 1915 a 1928, que siguen un episodio de calma de 20 años y luego cuatro períodos de frecuencias altas desde 1950 hasta 1987.

Para este tratamiento por frecuencias, las inundaciones han sido contabilizadas por eventos pluviométricos que causaron problemas, y no por foco geográfico. Las inundaciones constituyen en efecto los accidentes más extensos que, por lo general, tuvieron que ser cartografiados en varios focos geográficos para identificar las zonas más sensibles; en

Número de accidentes	
Inundaciones	163
Aluviones	70
Derrumbes	114
Hundimientos	36
Total	383

Cuadro 3

términos de frecuencias de ocurrencia, una lluvia que haya causado por ejemplo cuatro focos de inundación en la ciudad debe ser contabilizada como un solo accidente para evitar dar a las inundaciones un peso excesivo debido a su gran extensión espacial, mientras que cada uno de los otros tres tipos de accidente, más graves y mucho mejor localizados, serán contabilizados para cada uno de sus focos, aunque varios focos sean provocados por una misma tormenta. El cuadro 3 indica el número de accidentes acaecidos desde 1900 según este principio: número de *episodios diarios* de inundaciones, y número de accidentes *geográficamente localizados* para los demás tipos (17).

Estas frecuencias han sido comparadas con las precipitaciones anuales (18) (cf. fig.3), cuya curva sólo indica una correlación muy débil con el número de accidentes. Esto se debe al hecho de que una alta mayoría de los accidentes – 233 inundaciones y crecidas de lodo – está directamente relacionada con las fuertes intensidades mucho más que con los totales anuales, y tendríamos que poder comparar con los registros horarios o por lo menos diarios para obtener una relación gráfica clara. Además las estaciones pluviométricas están todas ubicadas en la “llanura de Quito”, mientras que sabemos por experiencia que las lluvias más intensas están muy localizadas y se precipitan en las vertientes que dominan la ciudad; durante el estudio del aluvión de la quebrada de La Raya (19), pudimos constatar que una precipitación muy intensa, atestiguada por el limnógrafo de crecida del Río Machángara, casi no había sido registrada por dos pluviógrafos cercanos, que solo habían visto pasar la franja de la tormenta.

Si bien la correlación con los totales anuales es mala, la de la frecuencia mensual de los accidentes sobre el conjunto

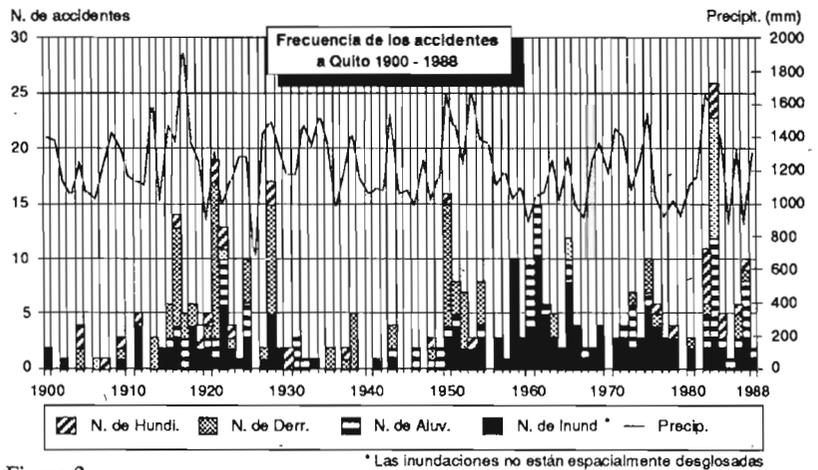


Figura 3

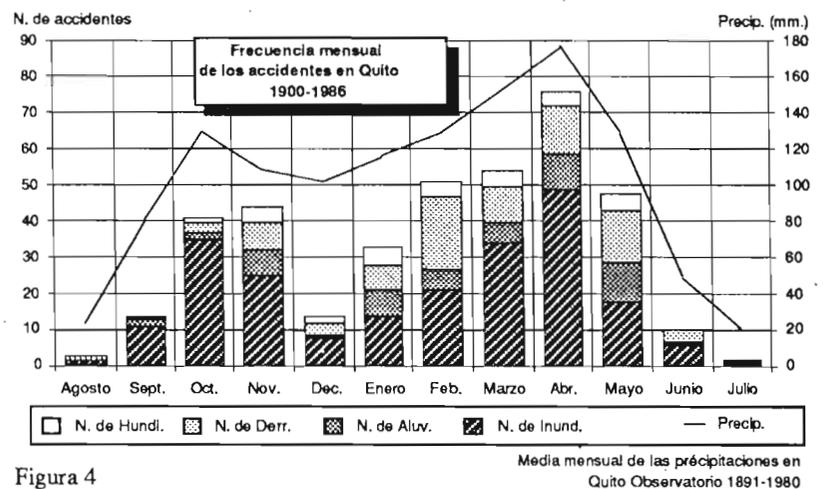


Figura 4

del período, comparada con la media mensual de las precipitaciones sobre 89 años (20) es en cambio muy buena (fig. 4), lo que confirma que nos enfrentamos efectivamente a accidentes del drenaje del sitio urbano, cuyos máximos siguen estrechamente los de las precipitaciones mensuales medias.

La curva de las inundaciones se calca con mucha precisión sobre la curva de las precipitaciones. En cambio las crecidas lodosas comienzan, igual que los derrumbes, con un mes de retraso en relación con las máximas precipitaciones de octubre, para desarrollarse completamente de febrero a mayo. Esta relación indica que los aluviones están directamente alimentados con carga sólida de los derrumbes en la parte alta de la cuenca-vertiente de las quebradas,

Zona construida:	Antes de 1900	De 1900 a 1947	De 1947 a 1986	Total
Número de accidentes				
Inundaciones	89	82	62	233
Aluviones	24	18	31	73
Derrumbes	56	21	38	115
Hundimientos	21	6	9	36
Total	190	127	140	457

Cuadro 4: Número de accidentes por zona de crecimiento urbano

derrumbes debidos al debilitamiento de la estructura de los suelos por su saturación en agua. El tiempo necesario para realizar esta humectación explica el desfase que se observa en relación con las máximas pluviométricas, siendo este desfase más claro para octubre, principio brutal de la estación lluviosa, que para abril, cuando esta última ya está instalada desde hace varios meses.

Los hundimientos de calzada siguen una distribución cercana a la de los aluviones y de los derrumbes. En este caso el retraso se debe atribuir al tiempo de evolución geomorfológica luego de la ruptura del colector, aunque hemos visto que este plazo pueda ser muy superior a un mes: una ruptura iniciada en una estación de lluvias puede provocar el hundimiento sólo en la estación siguiente o hasta dos años más tarde, en el momento del año en que el escurrimiento subterráneo se reactiva.

Pero en un siglo la ciudad creció 40 veces en superficie, y las frecuencias de accidentes deben ser relacionadas con el crecimiento urbano. Elaboramos los histogramas de frecuencia (fig. 6) según tres zonas sucesivas de crecimiento urbano: el núcleo histórico existente en 1900, las zonas construidas al norte y al sur de este núcleo entre 1900 y 1947 y por fin las que aparecieron entre 1947 y 1983 (21) (cf. fig. 5). El número de accidentes registrados por tipo y para cada una de las tres zonas sucesivas de crecimiento urbano está expresado en el cuadro 4 (22), construido sobre la misma base que el cuadro 3; sus totales son superiores debido a que algunos accidentes, acaecidos en el límite entre dos zonas, están contabilizados tanto en la una como en la otra.

La figura 6 indica un desplazamiento en el tiempo de las frecuencias elevadas de accidentes, desde la zona de construcción más antigua hasta la más reciente, según lo que se puede esperar: pocos accidentes en la primera mitad del siglo para las dos aureolas de crecimiento, y máximo, principalmente en 1983, en la zona más recientemente urbanizada.

Este deslizamiento de las fuertes frecuencias anuales globales está acompañado por un desplazamiento de los máximos en la frecuencia de los derrumbes y las crecidas de lodo, de los cuales vimos que estaban relacionados: numerosos en el centro colonial hasta 1930, se vuelven luego más escasos y desaparecen casi por completo después de 1963, mientras que son frecuentes en la zona 1900-1947, y que constituyen el máximo en la zona más recientemente urbanizada.

El hecho de que los accidentes que implican importantes movilizaciones de tierra se vuelven más escasos en el centro histórico debe ser relacionado con la completa urbanización de su medio ambiente: los taludes, mejor apuntalados cuando la urbanización es antigua, son más estables y se derrumban

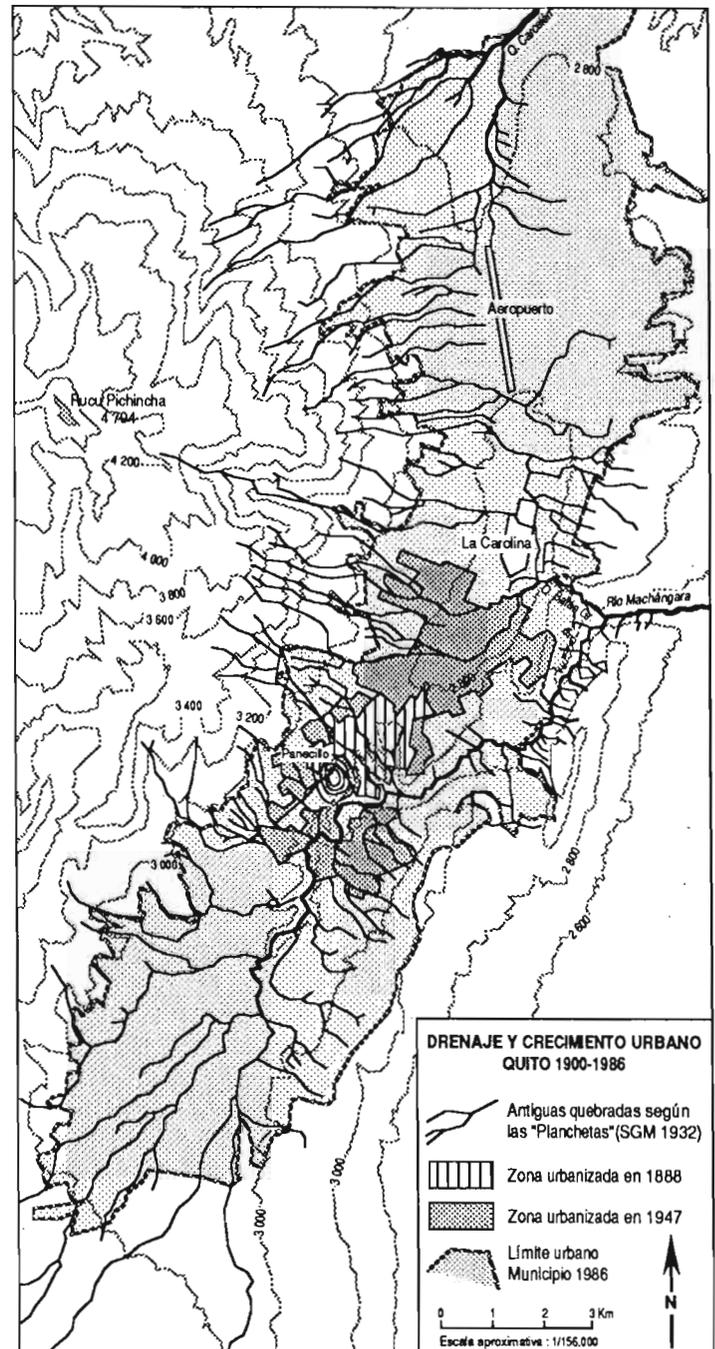
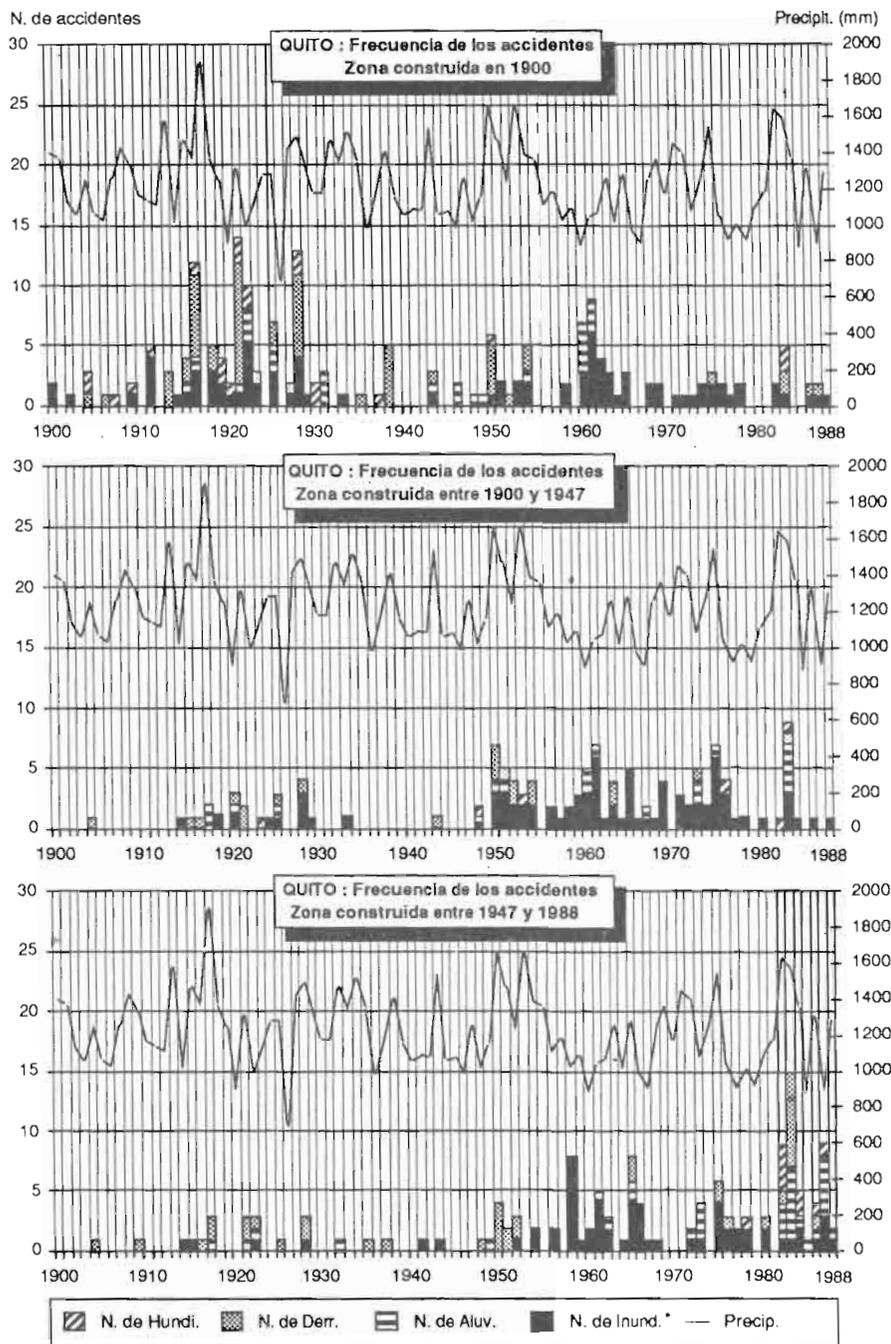


Figura 5

menos, y los aluviones se producen más arriba en el cauce de las quebradas, en donde empieza el relleno. Ahora, es la periferia la que sufre de estos accidentes, características de las franjas en donde las cuencas vertientes ven su dinámica perturbada por la urbanización: algunas partes de la ciudad antigua han formado parte de esta franja hasta 1963, pero parecen ahora estar protegidas de estos problemas.

Además, hasta la frecuencia de las inundaciones parece haber bajado en el centro desde 1961, última punta registrada; en la medida en que las otras dos zonas han sufrido en 1982-1984 un número importante de inundaciones y de



* Las inundaciones no están espacialmente desglosadas

Figura 6

crecidas de lodo, esto probablemente quiere decir que el aparato de drenaje del centro histórico ha sido mejorado progresivamente.

La parte de la ciudad urbanizada entre 1900 y 1947 se beneficia, así como el centro histórico, de un período de calma relativa entre 1930 y 1949, pero conoce luego tres décadas difíciles. Durante este período, fueron sobre todo las zonas planas las que fueron urbanizadas: antiguos barrios del Sur (Chimbacalle, Villa Flora y La Magdalena) y zona antiguamente pantanosa de la Mariscal Sucre. Esto explica la clara predominancia de las inundaciones y de las crecidas de lodo, el bajo número de hundimientos ya que las quebradas

rellenadas en esta parte de la ciudad eran poco profundas, así como el de los derrumbes, ausentes de los terrenos planos.

La zona más recientemente urbanizada atrae la atención por la fuerte proporción de aluviones y derrumbes en relación con un número de inundaciones que sigue siendo comparable al que han soportado las otras dos partes de la ciudad durante el mismo período. En cuanto a aluviones, hundimientos y derrumbes, los años 1982 a 84 batieron todos los records sobre el conjunto del período; si bien es cierto que el año de 1983 corresponde a un fenómeno del Niño muy marcado y a inundaciones catastróficas en la región costanera (23), la zona 1900-1947 solo sufrió un número relativamente medio de accidentes para este período y el centro colonial salió de él casi ileso.

Esta fuerte proporción de accidentes en las zonas recientemente urbanizadas traduce la colonización de numerosas vertientes con fuerte pendiente, y la aceleración considerable de los trabajos de relleno de las quebradas: al principio de los años 80 se termina la construcción de la Avenida Occidental, avenida periférica que bordea la ciudad por el pie de las pendientes del Pichincha, cortando unas 30 de sus quebradas y que sufre desde hace cinco años de un aluvión cada año. En el sur de la ciudad, se desarrollan actualmente numerosas lotizaciones nuevas que se ubican en los bordes de la cubeta y proporcionan también una parte apreciable de los accidentes de estos últimos años. Por lo tanto, es a la parte más recientemente urbanizada a donde se desplaza más

claramente la zona sensible, desde el centro hacia la periferia de la ciudad.

Aunque no tengamos suficientes datos sobre la distribución de los paroxismos pluviométricos durante el período considerado, el análisis de frecuencia de los accidentes morfoclimáticos comparado con el crecimiento urbano sugiere que el factor esencial para su desencadenamiento está constituido sobre todo por el proceso de urbanización en sí, esencialmente en sus franjas pioneras. Pero este análisis también proporciona un motivo de esperanza: el número de los accidentes, lejos de aumentar proporcionalmente con el crecimiento de las superficies urbanizadas (que pasaron de

200 a 12.500 ha) tiende a estabilizarse en cierto modo. Disminuye incontestablemente en el casco colonial, y aumenta proporcionalmente mucho menos que las superficies conquistadas en la nueva ciudad. Por lo tanto, se puede esperar que la estabilización de los nuevos barrios y las mejoras de los sistemas de drenaje harán evolucionar al Quito moderno, en cierto plazo, en la misma forma que el casco colonial.

3.2. - Evolución espacial

La cartografía de la evolución de los accidentes en el tiempo (24) (fig.7) confirma el análisis por frecuencias: las coladas de lodo, muy representadas en el centro histórico entre 1900 y 1967, desaparecen después. Durante el período 1968-1988, están localizadas en la periferia de la ciudad, lo que aparece notablemente al sur del Panecillo, mientras que en el norte el fenómeno es menos notable, ocultado por la gran extensión de los aluviones. Sin embargo, desde principio de siglo aparecen crecidas de lodo al pie de las grandes quebradas del Pichincha, en zonas no urbanizadas en donde el drenaje natural todavía no ha sido modificado (25); estos accidentes, que afectan puentes, carreteras o pueblos de la periferia rural de la ciudad, marcan las zonas naturalmente sensibles en donde la urbanización hubiera tenido que ser desarrollada únicamente con precauciones de control morfodinámico del drenaje, que tenía que mantenerse preferentemente a cielo abierto. Al contrario, en la parte sur de la planicie, en una zona de drenaje mejor organizado pero también donde no se rellenaron las quebradas todavía, hay muy pocas inundaciones y no se nota ningún aluvión.

En forma general, las crecidas de lodo y los hundimientos de calzada aparecen en los mapas como directamente relacionados con el antiguo drenaje y, para cada uno de estos accidentes, siempre se puede identificar con claridad una quebrada responsable. Así mismo, los barrios frecuentemente inundados corresponden a zonas de pendiente más débil al pie de las vertientes con fuerte densidad de drenaje, como los sectores de Chimbacalle, de la Mariscal Sucre, de la Carolina o del aeropuerto. La superficie de estas zonas inundadas aumenta con el crecimiento urbano, siguiendo lógicamente el deterioro de las condiciones de drenaje del sitio en los sectores de la ciudad con pocas pendientes.

Por fin, los últimos veinte años han conocido dos crecidas de lodo con una gravedad y una extensión excepcionales: el aluvión de La Gasca de 1975 (Q. Pambachupa), que llegó hasta el barrio de la Mariscal Sucre, y al norte el de la Q. Rumiurcu de 1983, que afectó la nueva avenida Occidental y el barrio de Cotocollao, antiguo pueblo de la periferia y que se repitió en tres ocasiones durante el período estudiado sin que sea posible, sin embargo, comparar con claridad la magnitud de estas reincidencias. Al juzgar por su extensión y ante la ausencia de datos pluviométricos horarios antiguos, estos dos accidentes parecen corresponder a eventos pluviométricos de intensidad excepcional.

	Gravedad 0	Gravedad 1	Total
inundaciones	0	15	15
aluviones	4	20	24
hundimientos	2	3	5
derrumbes	1	26	27
Total	7	64	71

Cuadro 5

3.3. - Gravedad de los accidentes

La cartografía de los accidentes acaecidos desde 1900 permite identificar zonas sensibles a los problemas del drenaje en la ciudad. Sin embargo, todos estos eventos no tienen el mismo efecto destructor: muchos de ellos sólo constituyen una molestia provisoria mientras que otros causan daños graves y pérdidas en vidas humanas, y la identificación de las zonas realmente amenazadas por los fenómenos morfodinámicos tiene que ser llevada a partir de la distinción del grado de gravedad y de sus efectos. Por lo tanto, se ha asignado a los accidentes un grado de gravedad en cuatro categorías según criterios sencillos, fácilmente identificables en las descripciones realizadas en el diario:

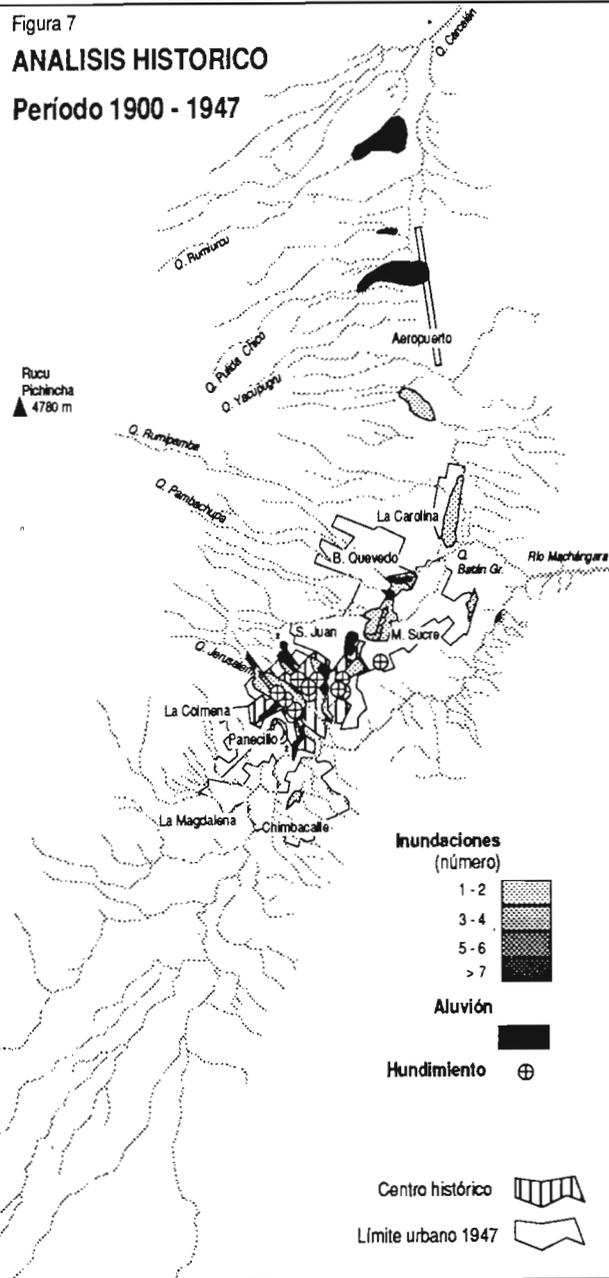
- 3 : molestia en el tráfico, daños ligeros;
- 2 : daños materiales comentados por el periodista, molestia grave del tráfico;
- 1 : existencia de muertos y heridos, daños materiales importantes;
- 0 : gravedad y extensión excepcionales.

En total, 71 accidentes han causado daños importantes o muy importantes y/o muertos y heridos desde 1900, según la distribución que aparece resumida en el cuadro 5. La cartografía de estos accidentes graves (grav. 1) y muy graves (grav. 0) con sus fechas de ocurrencia (figura 8) permite consultar las fichas originales del archivo "Accidentes" (ver anexo 2).

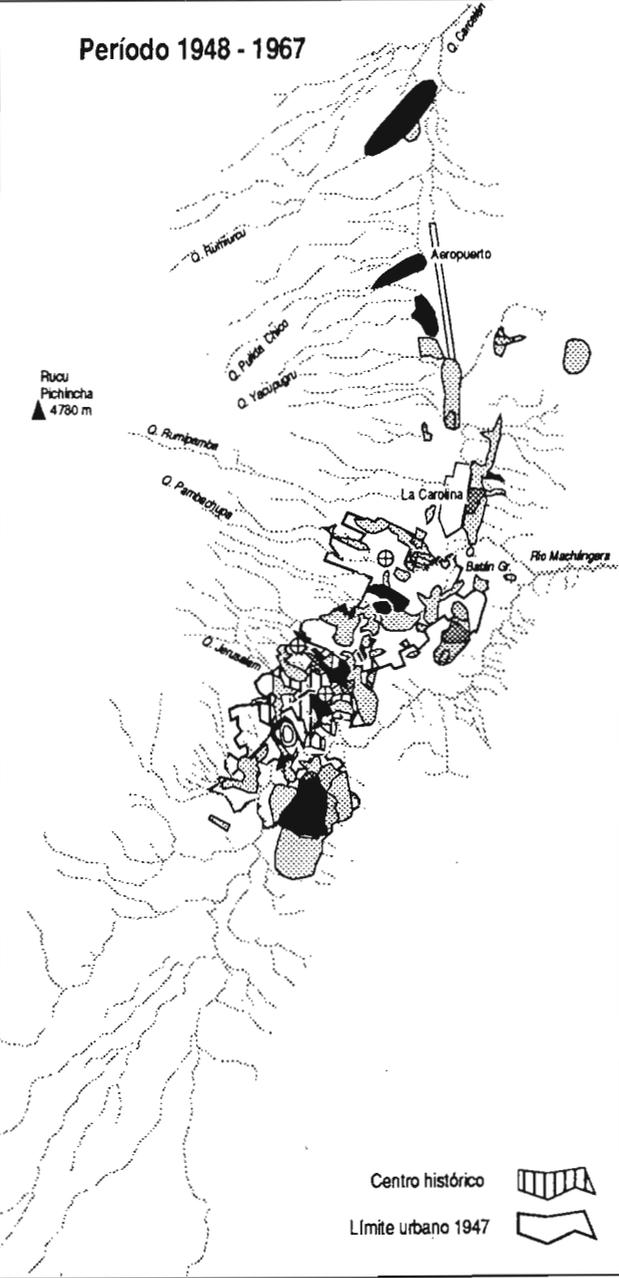
El análisis de la selección realizada provoca algunas reflexiones:

- de las 163 inundaciones que afectaron la ciudad, solo un pequeño número fueron graves;
- los accidentes graves empezaron en 1911 con una crecida del Río Machángara que hizo 6 víctimas y con dos derrumbes en 1913 en la desembocadura de la Q. Jerusalem; siguieron, en 1917, con dos aluviones de la Q. Pambachupa (¡ya en aquel entonces!) y un aluvión en 1922 de la Q. Jerusalem, que parecen marcar el principio de los grandes trabajos de relleno y de modificación de la red de drenaje;
- no ocurrió ningún accidente grave en la parte sur de la ciudad, en la zona donde todavía no se rellenaron las quebradas.
- la mayor parte de los accidentes muy graves se produjeron entre 1973 y 1984, lo que puede indicar un período climático particularmente agresivo, pero muy probablemente

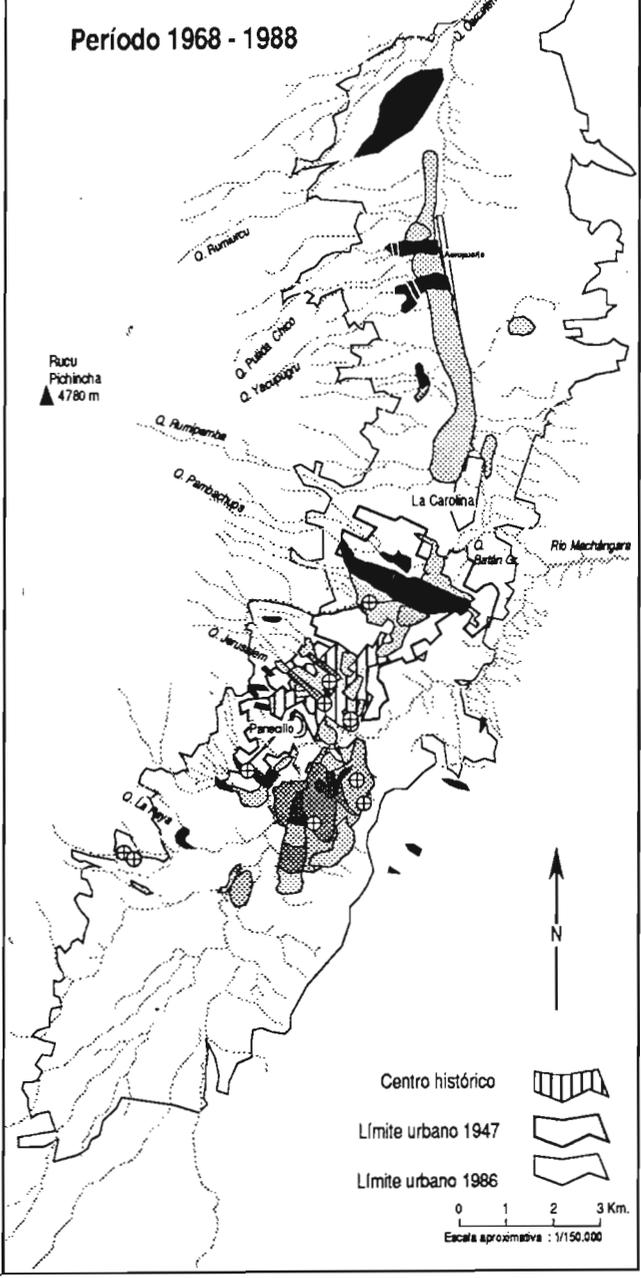
Figura 7
ANALISIS HISTORICO
Período 1900 - 1947

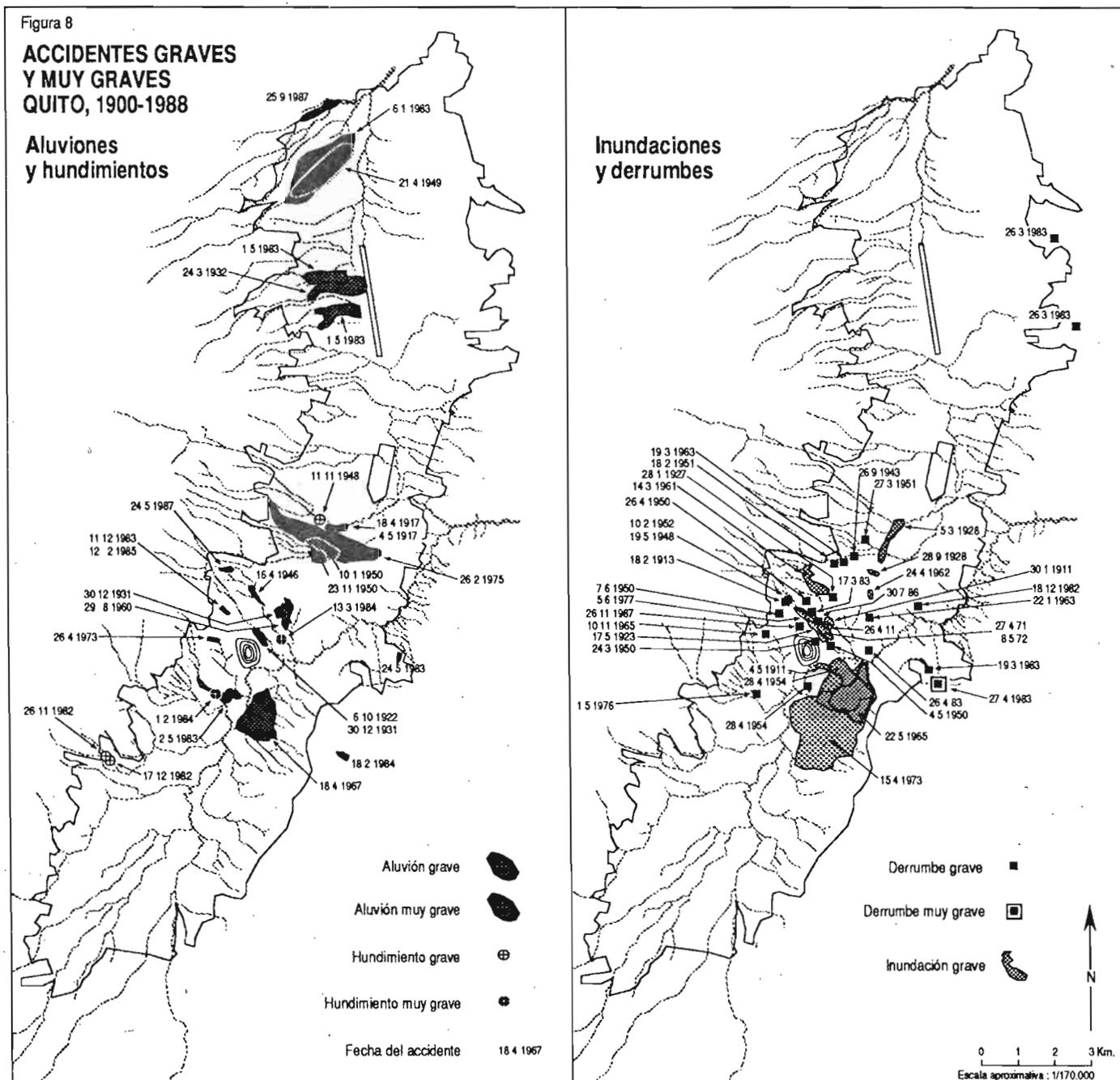


Período 1948 - 1967



Período 1968 - 1988





también una real agravación relacionada con la magnitud creciente de los grandes trabajos de la reciente urbanización.

Otra selección realizada sobre el archivo atañe al número de muertos reportados por los periódicos (accidentes con gravedad 1) que proporciona el número de 171 muertos sobre el conjunto del período. Se trata de una estimación aproximada, ya que el periodista no siempre dió el número exacto de las víctimas; cuando sólo se mencionaba "varios muertos" hemos supuesto que se trataba de 5 víctimas, lo que corresponde al promedio de los artículos que proporcionan esta precisión; por fin, como el número de heridos sólo fue

mencionado en raras ocasiones, no fue posible tratar este indicador. Sobre los 171 muertos, 85 se debieron a los derrumbes, tipo de accidente que resulta ser el más mortífero, y 70 a los aluviones; las inundaciones son responsables de 14 víctimas y un solo hundimiento hizo 2 muertos.

Aunque supongamos que los periódicos hayan subestimado muchas veces el número de muertos durante un accidente, o hasta omitido su existencia, es muy probable que el número de víctimas por accidentes morfodinámicos en 89 años no sobrepasa de 250, o sea un poco menos de tres por año en promedio. Se trata de un número relativamente bajo,

comparado por ejemplo con la importancia del número anual de las víctimas de accidentes de tránsito en la ciudad. También permite relativizar bastante bien la gravedad baja o mediana de este tipo de accidentes en relación con el peligro de riesgos sísmicos o volcánicos, en donde el número de víctimas podría contarse por miles o decenas de miles. En lo que se refiere a los daños materiales, las descripciones proporcionadas por los periódicos son demasiado imprecisas para permitir una estimación, aún lejana de la realidad; anotemos solamente que las verdaderas destrucciones de casas son raras salvo en caso de derrumbes, y que es seguramente en el campo de las reparaciones de la red vial que registraríamos los costos más elevados.

4. EL FUTURO: LOS RIESGOS MORFODINAMICOS EXCEPCIONALES

El estudio histórico de los accidentes urbanos de origen climático permite tener una buena visión de las zonas con riesgo "habitual", el cual sigue teniendo una débil magnitud en relación con los riesgos mayores, sísmico y volcánico, que amenazan a la ciudad. Sin embargo estos últimos conllevan efectos morfodinámicos secundarios, deslizamientos de terreno y crecidas de lodo muy excepcionales que pueden ser mucho más graves, y de los cuales intentaremos realizar una breve estimación.

4.1. - Los deslizamiento de terreno relacionados con los sismos

No parece posible que un período muy excepcionalmente húmedo pueda por sí solo provocar movimientos de masa mucho más importantes que los derrumbes registrados desde 1900, pero 89 años no constituyen todavía una serie climatológica suficientemente larga para poder ser totalmente afirmativo. Sin embargo, en la hipótesis de un sismo que tuviera lugar durante un período excepcionalmente húmedo, afectando suelos saturados de agua en profundidad, podríamos asistir a deslizamientos de terreno de gran magnitud que podrían provocar varios centenares de muertos. La probabilidad de tales accidentes es quizás bastante baja, exigiendo la conjunción de dos fenómenos con frecuencia de ocurrencia baja, pero existe y debe ser tomada en cuenta en la estimación del riesgo urbano.

Los barrios más amenazados en esta hipótesis serían la Colmena Alta y la Zona de San José de Monjas, que domina la autopista a los Chillós (26); así mismo se verían afectadas varias zonas del sector del Tejar, entre otras la parte del Placer que domina la quebrada Jerusalem y las fuertes pendientes de Toctiucó Alto y San Juan, así como las partes altas de Chiryacu y de la Ferroviaria. También se ven amenazadas por este tipo de fenómeno las pendientes que dominan Guápulo, debajo de la Avenida González Suárez, así como las pendientes del Panecillo.

4.2. - Los lahares secundarios de una erupción del Pichincha

La ciudad de Quito está localizada a menos de 15 Km del cráter del Guagua Pichincha, volcán activo cuya última erupción importante, en 1660, habría depositado en la ciudad aproximadamente 40 cm de cenizas según las crónicas de la época. Según los estudios vulcanológicos realizados por el INEMIN y la Escuela Politécnica Nacional, las nubes ardientes de una eventual erupción sólo amenazarían directamente a una delgada franja de la ciudad al SO, y solamente en el caso poco probable de una erupción de magnitud superior a las que tuvieron lugar durante los últimos 2000 años.

Sin embargo, cualquier erupción de magnitud media o incluso baja dejaría sobre la ciudad y sobre las pendientes que la dominan, un depósito de ceniza de un espesor variable según la importancia de la erupción y la dirección de los vientos en altura en este momento (27). Este depósito de cenizas provocaría la parálisis de los transportes, la probable suspensión de la distribución de agua potable y, eventualmente, algunos hundimientos de casa en el caso en que alcanzara un espesor muy fuerte; pero sobre todo, cubriría la totalidad de las vertientes del Rucu Pichincha que dominan directamente la ciudad y modificaría considerablemente la dinámica de las quebradas que la atraviesan. Si a esto añadimos que la proyección masiva de cenizas en la alta atmósfera provoca por lo general violentas lluvias debido la multiplicación de los núcleos de condensación en altura, comprenderemos que podemos esperar numerosos aluviones, o lahares secundarios a la erupción, al pie de las pendientes del Pichincha.

A partir de lo que sabemos actualmente de las crecidas de lodo de origen puramente climático, hemos intentado estimar la magnitud de estos lahares secundarios, fijando hipótesis relativamente bajas - y por lo tanto muy probables - para el espesor del depósito de ceniza, las características de la lluvia que acompañe una erupción y los coeficientes de escurrimiento en estas condiciones muy particulares.

El mecanismo de movilización por la lluvia de una capa de cenizas recientemente depositadas, con una textura harinosa y muy poco estructurada, es pelicular: es decir que una película muy fina de cenizas se embebe de agua en un tiempo muy corto, alcanza su límite de liquidez y empieza a derramarse a lo largo de la pendiente mientras que el fenómeno se repite inmediatamente en la capa sub-yacente (28). Esto significa que la infiltración es extremadamente baja en semejante caso, y el coeficiente de escurrimiento muy elevado, mientras que el tiempo de concentración de la crecida es corto. Esto significa también que el volumen de cenizas susceptibles de ser movilizadas no depende directamente del espesor de los depósitos a partir del momento en que este sobrepasa cierto nivel, sino más bien de las características de la lluvia que lo moviliza.

Para calcular el volumen de lodo que podría afectar la ciudad en la desembocadura de cada quebrada, hemos escogido las siguientes hipótesis:

- *espesor del depósito de cenizas*: las crónicas del siglo XVII hablan de 40 cm de cenizas y dicen que los animales morían en los campos por falta de hierba para pastar; sin embargo, los vulcanólogos que han estudiado recientemente el Pichincha piensan que esta cifra es muy exagerada, y que hay que esperarse más bien a un depósito de 10 a 15 cm de espesor, tomando en cuenta la dirección Este-Oeste de los vientos dominantes (29). Por lo tanto hemos supuesto un depósito uniforme de 10 cm sobre el conjunto de las pendientes del Rucu Pichincha.

- *características de la lluvia asociada a la erupción*: sabemos que la muy fuerte densidad de núcleos de condensación que constituyen las cenizas proyectadas en altura provoca la condensación muy rápida de la casi totalidad del vapor de agua presente en la atmósfera en ese momento; por lo tanto podemos esperar lluvias relativamente excepcionales, pero las mediciones faltan por completo para apreciar cuál frecuencia de ocurrencia debemos tomar en cuenta. Hemos supuesto una lluvia diaria de frecuencia de retorno decenal, correspondiente a 52 mm, con una intensidad máxima de 35 mm/h durante una hora (30). En este caso también, se trata sin duda alguna de una hipótesis bastante baja, ya que 10 años no constituyen una frecuencia de ocurrencia muy escasa comparada con el carácter excepcional que constituye una erupción de cenizas en términos de mecanismos atmosféricos.

- *coeficiente de escurrimiento*: hemos visto que el mecanismo de movilización de las cenizas implica una infiltración muy baja, y una elevación considerable del porcentaje de agua que escurre; por lo tanto, hemos supuesto un coeficiente de escurrimiento de 70 %, lo que constituye probablemente un valor sub-estimado según P. Pourrut.

- *volumen máximo de las cenizas movilizables*: la observación geológica muestra que los depósitos de cenizas de las antiguas erupciones siguen amoldando los relieves con pendientes fuertes y muy fuertes; por lo tanto debemos suponer que las cenizas caídas en la cuenca-vertiente de una quebrada no pueden ser movilizadas en su totalidad por las aguas de escurrimiento. Hemos supuesto que sólo 30 % del depósito de cenizas podría ser acarreado, siguiendo el resto parcialmente agarrado a las fuertes pendientes, o en una proporción más elevada en las pendientes débiles de las cuencas vertientes.

- *efecto de "limpieza" del cauce*: por fin, el trastorno de la dinámica de las quebradas por el fuerte aumento del escurrimiento deja suponer episodios de erosión de las orillas del cauce, probablemente comparables en volumen a lo que pasó en los aluviones habituales; tomando en cuenta el carácter muy excepcional de las crecidas que se pueden esperar en

presencia de tal depósito de cenizas, hemos contabilizado en las estimación de este efecto de "limpieza", un volumen de escombros correspondiente al que se estimó durante el accidente de la Gasca de 1975 para el cual existe una buena estimación del volumen de los sedimentos, proporcional a la longitud del curso principal de la quebrada.

La estimación de los volúmenes de lodo susceptibles de penetrar en la ciudad aparecen en el cuadro 6, en donde las columnas 5, 6 y 7 expresan tres hipótesis crecientes:

5 : Volumen del aluvión previsible en caso de que no haya erosión en el cauce de la quebrada (sin efecto de "limpieza", movilización de 30 % de los 10 cm de cenizas);

6 : Volumen del aluvión previsible en las mismas condiciones, con posible erosión correspondiente al depósito sólido estimado durante el accidente de la Gasca, en proporción de la longitud del curso principal de la quebrada considerada.

7 : Volumen del aluvión previsible con 20 cm de cenizas, en las mismas condiciones.

Se aplicaron al cuadro las siguientes reglas de cálculos (ejemplo de la quebrada Pambachupa):

Col. 1: Superficie de la cuenca-vertiente = 1,06 Km²

Col. 2: Longitud del curso = 3,3 km

Col. 3: Volumen del depósito de cenizas:

$$1.060.000 \text{ m}^2 \times 0,1 \text{ m} = 106.000 \text{ m}^3$$

Col. 4: Volumen de agua caída en la cuenca vertiente: $1.060.000 \text{ m}^2 \times 0,052 \text{ m} = 55.120 \text{ m}^3$

Col. 5: Volumen probable del lahar sin efecto de limpieza:

$$106.000 \text{ m}^3/100 \times 30 + 55.120/100 \times 70 = 70.384 \text{ m}^3$$

Col. 6: Volumen probable del lahar con efecto de "limpieza" (70% de la lámina de agua caída + 30 % de las cenizas + volumen de la "limpieza"): $38.584 + 31.800 + 52.500 = 122.884 \text{ m}^3$

Col. 7: Volumen probable del lahar en caso de caída de ceniza de 20 cm (70% de la ola de agua caída + 30 % de un volumen doble del de la col.3 + volumen de "limpieza"): $38.584 + 63.600 + 52.500 = 154.884 \text{ m}^3$

El volumen estimado de la "limpieza" del cauce ha sido calculado como equivalente al depósito sólido del accidente de la Gasca, y proporcional a la longitud del curso principal de la quebrada considerada:

$52.500 \text{ m}^3 \times 2,6/3,3 = 41.363 \text{ m}^3$ en el caso de la quebrada Vásquez

Para tener una idea concreta de la extensión de los lahares secundarios a una erupción del Pichincha en estas condiciones, nos podemos referir al accidente de la avenida La Gasca en 1975, en donde el volumen de materiales sólidos depositados en la ciudad por la crecida de la quebrada Pambachupa fue estimado en 52.000 m³ (Feininger, 1975). Como se trata de la estimación del depósito sólido, hay que añadir a este valor el volumen del agua que constituye el lodo para obtener valores comparables a las estimaciones del cuadro 6; la experiencia muestra que un tercio de agua mezclado a la cangahua es suficiente para obtener un lodo

Cuadro 6 : Lahares secundarios debidos a la caída de cenizas
luego de una erupción del Pichincha

Quebrada	1	2	3	4	5	6	7
	Area Km2	Long. Cauce Km	Vol. Cenizas (m3) Caída 10 cm (1)	Vol. Lluvia (m3) 1 hora, 52 mm	Vql. Aluvi3n 10 cm	Vol. Aluvi3n 10 cm + "limpieza" (2)	Vol. Aluvi3n 20 cm + "limpieza" (2)
Rumiurcu	11,67	9,10	1.167.000	606.840	774.888	919.661	1.269.761
Bellavista	0,62	1,10	62.000	32.240	41.168	58.668	77.268
Atucucho	2,87	5,10	287.000	149.240	190.568	271.704	357.804
Pulida Grande	2,50	4,80	250.000	130.000	166.000	242.364	317.364
S.N.	0,43	1,20	43.000	22.360	28.552	47.643	60.543
La Pulida Chico	3,00	5,60	300.000	156.000	199.200	288.291	378.291
La Esperanza	1,31	3,70	131.000	68.120	86.984	145.848	185.148
Las Delicias	0,47	2,00	47.000	24.440	31.208	63.026	77.126
Yacupugru	1,44	4,00	144.000	74.880	95.616	159.252	202.452
Runachanga	1,15	3,70	115.000	59.800	76.360	135.224	169.724
S. Vicente	0,77	2,40	77.000	40.040	51.128	89.310	112.410
La Concepci3n	0,66	2,80	66.000	34.320	43.824	88.369	108.169
Osorio	0,06	0,50	6.000	3.120	3.984	11.939	13.739
Caicedo	1,27	3,40	127.000	66.040	84.328	138.419	176.519
Mirador	0,34	1,10	34.000	17.680	22.576	40.076	50.276
Chimichamba	0,18	0,80	18.000	9.360	11.952	24.679	30.079
Manzanachupa	0,95	2,10	95.000	49.400	63.080	96.489	124.989
Rumichaca	0,72	2,90	72.000	37.440	47.808	93.944	115.544
Nunguilla	0,82	2,60	82.000	42.640	54.448	95.812	120.412
Rumipamba	6,97	6,30	697.000	362.440	462.808	563.035	772.135
S.N.	0,69	2,00	69.000	35.880	45.816	77.634	98.334
De la Comunidad	0,91	2,60	91.000	47.320	60.424	101.788	129.088
Pambachupa	1,06	3,30	106.000	55.120	70.384	122.884	154.684
Vásconez	0,77	2,60	77.000	40.040	51.128	92.492	115.592
El Armero	0,77	2,70	77.000	40.040	51.128	94.083	117.183
S.N.	0,32	1,10	32.000	16.640	21.248	38.748	48.348
Miraflores	1,96	3,00	196.000	101.920	130.144	177.871	236.671
EL Tejar	0,57	1,50	57.000	29.640	37.848	61.712	78.812
Manosalvas	0,13	0,90	13.000	6.760	8.632	22.950	26.850
Jerusalem	4,99	4,40	499.000	259.480	331.336	401.336	551.036
Navarro	2,18	2,10	218.000	113.360	144.752	178.161	243.561
S. José	0,82	1,00	82.000	42.640	54.448	70.357	94.957
Alcantarilla	4,14	2,70	414.000	215.280	274.896	317.851	442.051
La Raya	1,17	1,50	117.000	60.840	77.688	101.552	136.652
Yacubata	0,82	1,30	82.000	42.640	54.448	75.130	99.730
Chahuarpata	1,22	2,80	122.000	63.440	81.008	125.553	162.153
Rinconada	0,76	1,80	76.000	39.520	50.464	79.100	101.900

Hip3tesis :

(1) Caída de cenizas de 10 cm según hipótesis mínima del INEMIN
30 % de cenizas movilizables

Lluvia diaria de frecuencia decenal = 52 mm, con una intensidad de 35 mm/h durante una hora (130)
Coeficiente de escurrimiento de 70 %

(2) Una vez arrancado el aluvi3n, se asume una "limpieza" del cauce
proporcional (según la longitud del cauce) al volumen
de materiales arrastrados en el aluvi3n de la Gasca (=52.500 m3).

Aluvi3n de la Gasca :

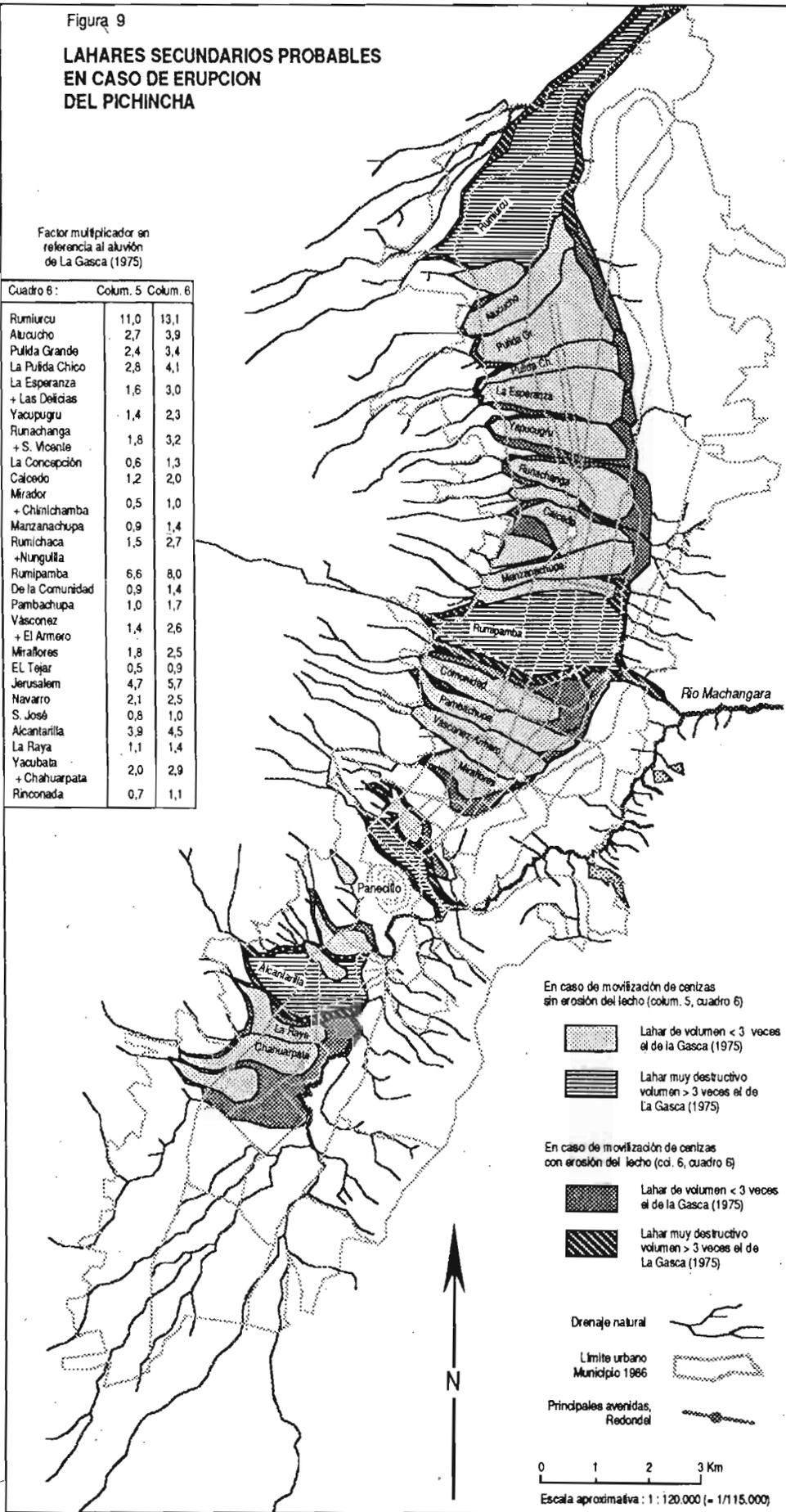
Volumen de materiales sólidos estimado en 52.500m3;
si se añade 1/3 de agua, se llega a un volumen estimado
del aluvi3n de 70.000 m3.

Figura 9

LAHARES SECUNDARIOS PROBABLES EN CASO DE ERUPCION DEL PICHINCHA

Factor multiplicador en referencia al afluente de La Gasca (1975)

Cuadro 6:	Columna 5	Columna 6
Rumiurcu	11,0	13,1
Atucucho	2,7	3,9
Pulida Grande	2,4	3,4
La Pulida Chico	2,8	4,1
La Esperanza	1,6	3,0
+ Las Delicias		
Yacupugru	1,4	2,3
Runachanga	1,8	3,2
+ S. Vicente		
La Concepción	0,6	1,3
Calcedo	1,2	2,0
Mirador	0,5	1,0
+ Chinlchamba		
Manzanachupa	0,9	1,4
Rumichaca	1,5	2,7
+Nungullia		
Rumpamba	6,6	8,0
De la Comunidad	0,9	1,4
Pambachupa	1,0	1,7
Vasconez	1,4	2,6
+ El Armero		
Miraflores	1,8	2,5
EL Tejar	0,5	0,9
Jerusalem	4,7	5,7
Navarro	2,1	2,5
S. José	0,8	1,0
Alcantarilla	3,9	4,5
La Raya	1,1	1,4
Yacubata	2,0	2,9
+ Chahuarpata		
Rinconada	0,7	1,1



bastante líquido. El volumen global del aluvión de La Gasca puede por lo tanto ser estimado a cerca de 70.000 m³.

Si tomamos en cuenta la hipótesis más baja, es decir únicamente la movilización de 30 % de las cenizas, sin mayor erosión en el cauce de las quebradas (columna 5), constatamos que el lahar previsible en el caso de la quebrada Pambachupa alcanza el mismo volumen que el de 1975, considerado como muy excepcional en la medida en que se observó una sola vez en un siglo. Pero en el caso considerado, en lugar de estar limitado a una o dos quebradas, es prácticamente seguro que asistiríamos a un lahar en cada una de las quebradas del Pichincha. Además, nueve de estas quebradas sobrepasan el doble del volumen del aluvión de 1975, alcanzando cinco, seis o diez veces este volumen para las quebradas Jerusalem, Rumipamba y Rumiurcu. Si tomamos en cuenta el hecho de que la energía de los flujos de lodo crece mucho más rápido que en proporción del volumen, podemos concebir que asistiríamos a cuatro lahares realmente destructores en plena ciudad, además de cinco de tamaño ya peligroso.

En la hipótesis - bastante probable - de que el acaecimiento de la crecida provoque la erosión de los sedimentos antiguos en el cauce de las quebradas (columna 6), el volumen de lodo movilizado casi se duplica, con las mismas consecuencias catastróficas sobre el crecimiento de la energía desarrollada. En este caso, habría que esperar quince lahares que se acercan a los 140.000 m³, y la mayoría de las pequeñas quebradas se acercarían al volumen del aluvión de la Gasca. Si se asume que un lahar sería realmente destructor (con derrumbes de casas y numerosas víctimas) encima de tres veces el volumen del aluvión de La Gasca (31), habría que temer ocho lahares destructores de magnitud. La figura 9 intenta hacer una cartografía estimada de las zonas amenazadas en las hipótesis baja (columna 5) y media (columna 6), en base a las superficies alcanzadas por el aluvión de la Gasca de 1975 y atribuyendo un potencial destructivo grave a los lahares de volumen superior al triple de este último. Se debe notar que las superficies afectadas aumentan menos que en proporción directa del volumen de los lahares: si se duplica el volumen de un flujo de lodo, son el espesor del flujo y su energía los que aumentan, más que la superficie, por lo general limitada por las condiciones topográficas.

Por fin, en el caso de una caída de ceniza que alcance 20 cm de espesor, el volumen de lodo movilizado sobrepasaría ampliamente el doble del estimado durante el accidente de la Gasca, para alcanzar respectivamente ocho, diez y dieciocho veces su volumen para las quebradas Jerusalem, Rumipamba y Rumiurcu.

En las tres hipótesis estudiadas enfrentaríamos una verdadera catástrofe urbana susceptible de provocar varios centenares y hasta varios miles de muertos si la evacuación de las zonas amenazadas no es decidida a tiempo. Esta claro que frente a esta amenaza catastrófica, ninguna medida de protec-

ción por la construcción de obras civiles puede ser de cualquier utilidad y que la solución atañe, evidentemente, a medidas eficaces de Defensa Civil. Desde el principio de la erupción, la vigilancia de las vertientes del Pichincha debería permitir ubicar los depósitos de cenizas significativos y dar la orden de evacuación tomando en cuenta la molestia que causaría para el transporte las caídas de cenizas en la propia ciudad. La preparación de tal plan de evacuación supone la identificación de las zonas amenazadas, dentro de las cuales en cada edificio se debería exponer un mapa de evacuación indicando claramente como se manifestaría la alerta (señales por sirenas) y dónde ir sin demora en caso de alerta; también comprendería la identificación de las zonas de refugio seguras, así como la preparación de estructuras de emergencia que permitan alojar y alimentar a las poblaciones desplazadas. El éxito de este tipo de evacuación de emergencia es ante todo un problema de educación de las poblaciones amenazadas, que deben conocer con precisión cuál es el riesgo que les amenaza y qué es lo que hay que hacer exactamente en caso de emergencia.

Por fin, en el caso de que la erupción se produjera, por suerte, en estación seca (entre julio y septiembre), o durante un período más seco de la estación lluviosa, la ciudad evitaría la brutal catástrofe con la ausencia de lluvias violentas sobre las cenizas recientemente depositadas. Sin embargo quedaría una amenaza para el futuro, menos grave cierto pero que no podemos despreciar. En efecto, la experiencia adquirida en Costa Rica luego de la erupción del volcán Irazú de 1963 a 1965, cerca de San José (H. WALDRON, 1967) muestra que un manto de cenizas, aunque éstas estén endurecidas en la superficie como en este caso preciso, siguen, durante varios años, acrecentando fuertemente las crecidas que son entonces capaces de fuertes erosiones de sus orillas y provocan coladas de lodo repetidas aún durante lluvias poco importantes.

Luego de una erupción del Pichincha en estación seca, habría que esperarse a que sucedan en la ciudad lahares repetidos y dispersos en el tiempo, ciertamente de menor importancia que los que acompañarían una erupción en plena estación de lluvia y que serían catastróficos por su simultaneidad. Pero estos lahares podrían alcanzar o sobrepasar en unas diez quebradas las proporciones del de 1975 en La Gasca, y algunos podrían todavía tener un carácter gravemente destructor. El fenómeno podría ser activo durante varios años, hasta que el crecimiento de la vegetación permita una nueva estabilización de las vertientes, y perturbaría gravemente el funcionamiento de la ciudad. Además, aún después de una erupción en estación lluviosa, es probable que la desestabilización de las vertientes sigan por algún tiempo, situando a los trabajos de reconstrucción bajo la amenaza de nuevos aluviones.

Aquí sólo realizamos una breve estimación de este riesgo, de baja probabilidad de ocurrencia ya que está directamente relacionada al despertar de un volcán con erupciones raras, pero con una gravedad elevada o muy elevada en cualquier caso en que se produzca la erupción. Queda claro que se

imponen estudios más detallados de este riesgo para proporcionar las bases de un plan de Defensa Civil coherente, totalmente indispensable para la seguridad de la población.

CONCLUSION: CRECIMIENTO URBANO Y MANEJO DEL MEDIO

Bajo su aspecto tranquilo, la ciudad de Quito ha conocido un número considerable de accidentes que, luego del conteo, extraña hasta a los más antiguos quiteños. Algunos de estos eventos han marcado la memoria colectiva, tal como el aluvión de la avenida La Gasca en febrero de 1975, que fue uno de los más graves registrados, o el hundimiento de la calzada en mayo de 1978 en la Av. América, que se tragó un volkswagen a las dos de la mañana frente a los ojos incrédulos del chofer de un bus que pasaba por ahí. El invierno 1982-83 dejó también un vivo recuerdo, pero años negros como 1950, 58 o 61 que fueron casi igualmente graves, parecen haber desaparecido de la memoria colectiva; hay que extraerlos de los archivos de prensa para poder medir su amplitud.

Los mayores problemas del sitio urbano están directamente relacionados con el reemplazo del sistema natural de drenaje de las quebradas por una red de alcantarillas que no puede ser técnicamente dimensionada para evacuar las crecidas brutales y violentas de los torrentes que dan lugar las precipitaciones más intensas del clima ecuatorial de altura. Desde el punto de vista geomorfológico, parece imposible pretender evacuar, únicamente por la red de alcantarillas urbanas, los máximos caudales de las quebradas del Pichincha y la carga sólida que está obligatoriamente asociada. Está claro que la más sensata solución hubiera sido acondicionar, a través de la ciudad, escurrimientos a cielo abierto, asegurando la circulación por puentes; pero la urbanización se realizó – según una tradición muy antigua – rellenando los cauces y la situación es actualmente irreversible, salvo si imaginamos un utópico remodelamiento de la ciudad, políticamente impensable.

¿Qué hacer?

Existen soluciones técnicas aguas arriba para controlar estos accidentes, o por lo menos para disminuir su frecuencia y su gravedad: la EMA realizó embalses que permiten disminuir las crecidas fuertes, o la derivación de una quebrada en otra, provista de una mejor evacuación; asociados a medidas de protección y de estabilización de las vertientes, estos trabajos deben permitir reducir la gravedad de las crecidas si son concebidos correctamente. En el campo de la estabilización de las vertientes, hay que notar que la hierba es tan protectora frente a la erosión, si no lo es más, como los bosques de eucaliptos que pueblan en parte las vertientes del

Pinchincha; por lo tanto, el debate sobre el “bosque protector del Pichincha” tiene que ser emprendido en un sentido amplio de una indispensable limitación de la urbanización de las vertientes, más que de una reforestación propiamente dicha, que no se impone necesariamente.

Sin embargo, según la EMA (32), la red de alcantarillado está construida para absorber solamente las crecidas de frecuencia de ocurrencia de 5 años. Trabajos progresivos de mejoramiento de los colectores que se encuentran más frecuentemente sobrecargados, que portarían su capacidad a la evacuación de la crecida decenal o hasta la frecuencia de ocurrencia de 20 años, suprimirían sin duda alguna la casi totalidad de los pequeños aluviones y de las inundaciones en los sectores amenazados. En todo caso, resulta imprescindible dejar de rellenar las quebradas en las zonas de urbanización reciente, lo que únicamente amplifica los problemas de insuficiencia del drenaje en el futuro. Una visita a la quebrada la Raya en noviembre de 1988 mostró en efecto que se sigue rellenando activamente: entre enero de 1986 y fines de 1988, cerca de trescientos metros de su curso habían sido totalmente rellenos sobre 12 a 15 metros de profundidad, con, parece ser, posibilidades muy reducidas de acceso para el mantenimiento de la nueva parte del colector; en caso de repetición del aluvión del 23 de enero de 1986, el problema sería sin duda alguna mucho más grave debido al taponamiento del colector en una profundidad muy superior y por el riesgo de removilización del conjunto de los materiales de relleno. El relleno que se realizaba, a fines de 1988 en la parte baja de la Q. Alpahuasi, al este del Panecillo, constituye otro ejemplo del proseguimiento de estas prácticas peligrosas: en este caso, se rellena un trozo de quebrada en fuerte pendiente, en donde los materiales de relleno pueden producir importantes deslizamientos de terreno en caso de período de lluvias fuertes y prolongadas.

En lo que atañe a los accidentes graves, las soluciones son más difíciles de elaborar: si bien podemos imaginar desviar, a cielo abierto, la Q. Rumiurcu en la Q. Singuna (33), sin embargo, resulta difícil proponer medidas que hubieran evitado el accidente de la Gasca de 1975; lo único que se puede proponer en este caso son medidas de estabilización de las vertientes y del cauce de la quebrada, esperando así disminuir la potencia y la magnitud del lahar. Este tipo de accidente grave de origen netamente climático constituye un riesgo de frecuencia de ocurrencia rara, contra el cual no existe posible protección y con el cual hay que vivir.

Los hundimientos pueden ser evitados a largo plazo cuidando la calidad de construcción de los colectores cada vez que se vuelvan necesarias algunas reparaciones, de manera a darles una resistencia suficiente a la presión alcanzada durante las crecidas, valores fácilmente calculados según el desnivel del colector. En cuanto a los derrumbes, necesitan de reglamentos de urbanismo adecuados: limitación de la urbanización de las pendientes muy fuertes y aplicación de normas de construcción adaptadas al riesgo

sísmico y a los derrumbes en estos sectores, dando particular atención a los trabajos de drenaje de los taludes que impone la urbanización de las vertientes.

Sin embargo, hemos visto que el casco colonial goza de cierta estabilización, desde hace casi diez años, debido quizás a las mejoras del sistema de drenaje, y sobre todo, a la mejor protección que le ofrecen ahora los nuevos barrios desarrollados en su periferia. Son estos barrios de las aureolas recientes del crecimiento urbano los que pagan actualmente el tributo más fuerte en accidentes del drenaje propiamente dicho, así como en derrumbes en las zonas empinadas. Por lo tanto, los accidentes que afectan a Quito desde principios del siglo, constituyen más un problema de crecimiento urbano mal controlado, en términos de acondicionamiento y de gestión del medio, que accidentes de origen morfoclimático propiamente dichos. Lo que causa

problema es menos la dinámica erosiva y el aluvionamiento de un medio de montaña, que no molestaría mucho en entorno rural, como la misma presencia de la ciudad en el lugar donde se ejerce esta dinámica, así como la forma de controlarla.

Riesgo catastrófico

Por fin, los riesgos morfodinámicos catastróficos, relacionados con los sismos y con una eventual erupción del Pichincha, sólo pueden ser tratados en términos de Defensa Civil, por la evacuación a tiempo de las poblaciones amenazadas. Pero para esto hay que estar conciente de la gravedad del riesgo, cosa a la que esperamos haber contribuido aquí, y traducir concretamente este conocimiento por la elaboración de un plan de evacuación coherente, apoyado en la educación de la población.

NOTAS

- 1 El Comercio, que ha aparecido sin interrupción desde 1904, tomó el relevo de La Patria, que se analizó para el período 1900-1904.
- 2 Una "cuesta" es un relieve de colina disimétrica, con una pendiente suave y otra fuerte, desarrollado en capas de desigual dureza, inclinadas en el sentido de la vertiente de pendiente suave. La colina del Batán es una cuesta desarrollada en capas de cenizas y lapillis, inclinadas hacia el oeste.
- 3 En efecto, la temperatura varía corrientemente entre 9 y 25°C durante el día, mientras que la variación entre las medias mensuales extremas durante el año no pasan de medio grado C.
- 4 Estación de Quito Observatorio; para más detalles en cuanto a las características de las lluvias, ver Pourrut, "Las lluvias de Quito", en esta misma publicación.
- 5 Cf. Carrera, 1984 y De Noni, Fernández de Castro, Peltre, 1986.
- 6 En efecto, en la totalidad del sitio, las quebradas cambian a menudo de nombre a lo largo de su curso; además, los antiguos nombres quichuas han sido muchas veces reemplazados por uno o varios nombres españoles, los de las haciendas que atraviezan (P. Cazamajor, comunicación oral). El establecimiento de un archivo de correspondencia de los nombres entre cinco documentos cartográficos diferentes se volvió por lo tanto indispensable para identificar claramente las quebradas de las cuales trataban los relatos de accidentes en los periódicos.
- 7 Profunda depresión redondeada, originada en el fondo del lecho de un río por movimientos de torbellino de la corriente.
- 8 Información oral O. Lemaire.
- 9 Cf. De Noni, Fernández de Castro, Peltre, 1986 y CMD, 1977, chap. 14.
- 10 EMA: Empresa Municipal de Alcantarillado.
- 11 El archivo ha sido tratado en Macintosh, con los software Cuarta Dimensión y Excel; la cartografía ha sido digitalizada bajo Carto 2D, luego tratada en Mac Draw II e impresa en Laser Writer. El estudio detallado de los periódicos y la redacción de los resúmenes han sido realizados por J. Sarrade.
- 12 Diccionario Everest Cúpula, 1977, León (España).
- 13 Cf. de Noni, Fernández de Castro, Peltre, 1986.
- 14 Anotemos que en este caso preciso, los datos pluviométricos de dos estaciones cercanas, a uno y dos kilómetros del lugar del accidente, sólo registraron valores bajos. La lluvia quedó localizada en la vertiente y lo que permitió la estimación (realizada por P. Pourrut), es el registro de la crecida excepcional del río Machángara, la que integra el conjunto de la lluvia en la cuenca-vertiente.
- 15 Cf. Feininger 1975.
- 16 Para una descripción detallada de un hundimiento, Cf. Ryder y Winckell, 1984, único estudio existente, según sabemos, sobre este tipo de fenómeno, aunque este estudio sea atípico ya que está relacionado con antiguas minas de arena.
- 17 El total del cuadro 3 es superior al número de fichas del archivo "eventos" (317) ya que algunos accidentes tuvieron varios focos localizados el mismo día, e inferior al número de fichas del archivo "accidentes" (567) en donde cada ficha corresponde a un foco geográfico de accidente (incluyendo las inundaciones).
- 18 Totales anuales en la estación de Quito Observatorio, período 1891-1988. Ver las cifras detalladas en Pourrut, "Las lluvias de Quito", en esta misma publicación (cuadro 1).

- 19 Cf. De Noni, Fernández de Castro, Peltre 1986.
- 20 1891 a 1980 en Quito Observatorio.
- 21 Los límites de mapa utilizados han sido recopilados por O. Lemaire. Corresponden a:
Plano de Quito con plano de todas las casas, 1/3000, 1888
Plano de Quito, Servicio Geográfico Militar, 1/10000, 1947
Límite urbano Municipio 1986 (Documento de trabajo del proyecto Atlas Informatizado de Quito)
- 22 Los accidentes han sido clasificados por zona geográfica sea cual sea su fecha, para poder comparar frecuencias de ocurrencias por zona de crecimiento urbano. Cuando existen accidentes que figuran en una zona antes del período en que ésta empezó a urbanizarse, se trata de accidentes de las periferias rurales de la ciudad: pueblos, carreteras y puentes generalmente; si algunos accidentes se produjeron en los campos y los pastizales, por lo general no han sido relatados: como no molestaban lo suficiente, éstos no constituían materia de publicación en los diarios de la ciudad.
- 23 El Niño corresponde a un fenómeno oceánico en las costas de Perú y Ecuador que, en los años en que se produce, provoca fuertes precipitaciones en el continente. Sensible en la Sierra ecuatoriana de enero a junio de 1983, provocó una alza del total anual y una mayor irregularidad de las precipitaciones, sin afectar, sin embargo, en forma significativa, la intensidad de los chubascos ni aumentar los totales diarios (cf. Nouvelot y Pourrut 1986, y Pourrut 1989).
- 24 Para esta cartografía, los accidentes han sido, esta vez, clasificados por fecha según tres períodos (48, 20 y 21 años), y ya no por zona como para el estudio de frecuencia. En efecto, al mantener este último tipo de clasificación, sólo se cartografiaría el crecimiento urbano por la localización de los accidentes, información poco interesante.
- 25 Aunque la "llanura de Quito" esté ocupada desde hace mucho tiempo, y que los documentos cartográficos de 1930 muestran en ella algunos recorridos de quebradas en "bayoneta", evidentemente retocados según las necesidades de cultivo de las haciendas.
- 26 La parte urbanizada debajo del Monumento de la Libertad, así como la fuerte vertiente que domina el principio de la autopista a los Chillos, parecen especialmente instaladas sobre las huellas en "golpe de cuchara" de importantes deslizamientos antiguos, que podrían reactivarse.
- 27 Más de 25 cm según el mapa de riesgos del volcán Guagua Pichincha realizado por la Escuela Politécnica Nacional; cf. diario Hoy del 21 de noviembre de 1988.
- 28 P. Pourrut, comunicación oral.
- 29 Declaraciones del prof. Barberi en la televisión; conferencia del Ing. Aguilera (INEMIN) en las II jornadas de Geografía, Quito, 25/11/1988, Casa de la Cultura.
- 30 Cf. De Noni B.y G., Fernández M.A., Peltre P., 1986.
- 31 La estimación correcta de la potencia destructiva de un lahar necesita un cálculo hidráulico detallado, en base de la forma y pendiente del cauce, de hipótesis sobre la velocidad y el espesor del flujo hechas según el volumen esperado, y del cálculo de la energía que podría desarrollar. Este tipo de cálculo sale del marco del presente trabajo, pero tendría que ser emprendido para cada una de las quebradas para asentar bases correctas de un plan de Defensa Civil.
- 32 Nota interna de la EMA
- 33 Idea del Ing. Julio Carcelén, comunicación oral.

BIBLIOGRAFIA

- ALULEMA R., OJEDA F., NOUVELOT J.F., POURRUT P. 1985 - Proyecto acuífero de Quito. Informe final 1981 - 1985. EMAP-Q, PRONAREG, INERHI, ORSTOM; Quito, multigr.
- CARRERA B. 1984 - Mapa de distribución de la población de la ciudad de Quito, pp. 7-15 in: Quito, Aspectos de su dinamismo geográfico" Documentos de Investigación N° 5, 1984, 87 p.; CEDIG, Quito.
- CDM, 1977 (Camp Dresser & Mac Kee Inc. y Consult. Ass. Ecuatorianos). - Planes maestros y Estudios de Factibilidad de los sistemas de agua potable y de alcantarillado. USAID, Quito, 500 p. env., 17 chap.
- CDM, 1985 (Camp Dresser & McKee Inc., Cohidro Consult. Cia. Ltda).- Control de la erosión y escurrimiento de las laderas del Pichincha. Quebrada Yacupugru.- Informe final. USAID, Quito, 100 p. multigr.
- CEVO G., de CEVO S., HUMBERTO J., 1975 - Problemas de erosión y reforestación en las pendientes del volcán Pichincha. 60 p. multigr., CEPEIGE, Quito
- DE NONI B. y G., FERNANDEZ M. A., PELTRE P. 1986 - Accidentes climáticos y gestión de las quebradas de Quito. Análisis del "aluvión" de la Raya del 23 de enero de 1986. p. 25-44 in: Paisajes geográficos (Revista del CEPEIGE) N° 17, Quito, julio 1986.
- DE NONI B. y G., FERNANDEZ M.A., PELTRE P. 1988 - Drainage urbain et accidents climatiques à Quito : analyse d'un cas récent de crue boueuse. pp. 225 - 249 in : Cahiers des sciences humaines vol. 24 n° 2, ORSTOM, Paris.
- FEININGER T., 1976- El flujo de escombros en La Gasca. Un informe científico. in: Boletín de la Sección Nacional del Ecuador, IPGH, N° 5-6, Quito, enero-junio 1976.
- GOMEZ N. 1984- La Mena II, un barrio de Quito con una lesión congénita p. 75-81 en: "Quito, Aspectos de su dinamismo geográfico" Documentos de Investigación N° 5, 1984, 87 p.; CEDIG, Quito.
- HALL M. 1977 - El volcanismo en el Ecuador. 120 p., Biblioteca Ecuador, IPGH, Quito.
- INERHI, 1975.- Informe técnico sobre el aluvión del 25/11/1975. Inedito, Quito, abril 1975.
- NOUVELOT J.F., POURRUT P. 1985 - El Niño. Phénomène océanique et atmosphérique. Importance en 1982-83 et impact sur le littoral équatorien. p. 39-65 in: Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., vol. XXI, N° 1, 1984-85.
- NOVOA J.E., MEZA M., MORENO I., SANCHEZ F., SERRANO C. 1987 - Análisis morfodinámico aplicado al diagnóstico de riesgos naturales en los sistemas La Gasca y San Carlos. p. 5-27 en: Paisajes Geográficos N° 18, Quito, CEPEIGE, marzo 1987.
- POURRUT P. 1989 -Las lluvias de Quito : características generales, beneficios y problemática. pp.31-42 en : Estudios de Geografía n° 2, Quito.
- RYDER R. 1984 - Segundo informe técnico "La Mena II". Enero 1984 p. 84-87 en: "Quito. Aspectos de su dinamismo geográfico" Documentos de Investigación N° 5, 1984, 87 p.; CEDIG, Quito.
- WALDRON H.H. 1967 - Debris flow and erosion control problems caused by the ash eruptions of Irazú volcano, Costa Rica. pp. 11-35 en : Geological survey bulletin 1241-I, Washington.
- WINCKELL A. 1984 - Primer informe técnico "La Mena II". Enero 1983, p. 82-83 en: "Quito. Aspectos de su dinamismo geográfico" Documentos de Investigación N° 5, 1984, 87 p.; CEDIG, Quito