

LINE
BIERTA

Gestión de riesgos en Quito

Balance y perspectivas de treinta años de estudios

Coordinadores:

Andrea Carrión

Julien Rebotier

Pascale Metzger

Fernando Puente-Sotomayor

© 2024 FLACSO Ecuador
Edición para PDF
Agosto de 2024

Cuidado de la edición: Editorial FLACSO Ecuador

ISBN: 978-9978-67-690-5 (pdf)
<https://doi.org/10.46546/2024-58lineabierta>

FLACSO Ecuador
La Pradera E7-174 y Diego de Almagro, Quito-Ecuador
Telf.: (593-2) 294 6800
www.flacso.edu.ec

Instituto francés de Investigación para el Desarrollo (IRD)
44. bd Dunkerque CS 90009
13572 Marsella-Francia
Telf.: (33) 4 91 99 92 00
www.ird.fr

Gestión de riesgos en Quito. Balance y perspectivas de treinta años de estudios / coordinado por Andrea Carrión, Julien Rebotier, Pascale Metzger y Fernando Puente-Sotomayor.- Quito, Ecuador ; Marsella, Francia : FLACSO Ecuador : Instituto francés de Investigación para el Desarrollo (IRD), 2024

viii, 225 páginas : ilustraciones, figuras, mapas, tablas.- (Serie LINEABIERTA)

Incluye bibliografía

ISBN: 9789978676905 (pdf)
<https://doi.org/10.46546/2024-58lineabierta>

PROBLEMAS AMBIENTALES ; GESTIÓN DE RIESGO ; GESTIÓN URBANA ; VULNERABILIDAD ; GEOLOGÍA ; PLANIFICACIÓN URBANA ; ZONA URBANA ; DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO ; ECUADOR
I. CARRIÓN, ANDREA, COORDINADORA II. REBOTIER, JULIEN, COORDINADOR III. METZGER, PASCALE, COORDINADORA IV. PUENTE-SOTOMAYOR, FERNANDO, COORDINADOR

363.7 - CDD

Editorial
 FLACSO
Ecuador

 Institut de Recherche
pour le Développement
FRANCE
Instituto francés de Investigación para el Desarrollo

Este libro ha sido publicado gracias al apoyo del
Instituto francés de Investigación para el Desarrollo (IRD).

Índice de contenidos

Lista de abreviaturas, siglas y acrónimos.....	VII
Introducción	
Horizontes en la investigación y gestión de riesgos en Quito	1
Andrea Carrión y Julien Rebotier	
PARTE I	
Capítulo 1. La vulnerabilidad en el Distrito Metropolitano de Quito: una retrospectiva de veinte años	20
<i>Jairo Estacio y Pascale Metzger</i>	
Capítulo 2. Los estudios de peligros geológicos en Quito desde la década de los ochenta	41
<i>S. Daniel Andrade, Eliana Jiménez Álvaro, Pablo Samaniego, Daniel Pacheco y Alexandra Alvarado</i>	
Capítulo 3. Las amenazas hidrometeorológicas en Quito	70
<i>Othon Zevallos Moreno</i>	
PARTE II	
Capítulo 4. La planificación del desarrollo local y territorial del Distrito Metropolitano de Quito desde la perspectiva de la gestión de riesgos	93
<i>Diana Andrea Salazar Valenzuela, Carlos Santiago Robles Romero y Esthela Elizabeth Salazar Proaño</i>	
Capítulo 5. La gestión de información para la gestión de riesgos: la experiencia de Quito (1993-2023)	113
<i>Fernando Puente-Sotomayor, Marcelo Yáñez, Diego Jurado y Jorge Ordóñez</i>	
Capítulo 6. La perspectiva cultural en el estudio de los riesgos en Quito. Reflexiones desde la historia y la antropología.....	132
<i>Elisa Sevilla y Alfredo Santillán</i>	

PARTE III

Capítulo 7. Comuna Santa Clara de San Millán: gestión territorial y resiliencia comunitaria	154
<i>Fernando Barragán Ochoa, Víctor Jácome Calvache y Gualdemar Jiménez</i>	
Capítulo 8. Solanda: subsidencia del suelo en la zona de influencia del Metro de Quito	169
<i>Ramses Morante I., Luis Pilatasig M. y Fernando Puente-Sotomayor</i>	
Capítulo 9. Valle de Los Chillos: estudios de peligro por lahares primarios ante una eventual erupción del volcán Cotopaxi	183
<i>S. Daniel Andrade y Francisco J. Vasconez</i>	
Capítulo 10. Infraestructura Verde-Azul: un sistema anticipatorio de resiliencia y sostenibilidad en el Distrito Metropolitano de Quito	193
<i>Marco Córdova, Jonathan Menoscal y Pablo Zapata</i>	
Conclusiones	204
Epílogo	
La investigación francesa en cooperación sobre vulnerabilidad: cómo Quito marcó una diferencia (1980-2010)	214
Sobre las coordinadoras y los coordinadores	216
Sobre las autoras y los autores	218

Ilustraciones

Figuras

Figura I. 1. Distribución temporal de publicaciones.	5
Figura I. 2. Distribución temporal de publicaciones sin tesis de pregrado.	6
Figura I. 3. Red de coautores de artículos científicos (1988-2023)	11
Figura 1.1. Proceso de abordaje de vulnerabilidad y riesgo	35
Figura 3.1. Eventos de desastre de origen hidrometeorológico en el DMQ (1970-2019)	73
Figura 3.2. Tipología de desastres de origen hidrometeorológico en el DMQ (1970-2019)	73
Figura 3.3. Distribución mensual de eventos de origen hidrometeorológico en el DMQ (1970-2019)	74
Figura 3.4. Distribución mensual de precipitación multianual (mm) en Estación Quito-INAMHI.	74
Figura 3.5. Ubicación y ejemplos de obras construidas en el programa Laderas del Pichincha.	76
Figura 3.6. Áreas de intervención de programas Laderas del Pichincha, PSA I y PSA II	77
Figura 3.7. Fotografías del aluvión de La Gasca	86
Figura 3.8. Fotografías en el sitio de la toma de captación del colector y embalse	87
Figura 4.1. Estudios relevantes para la planificación territorial en el DMQ.	95
Figura 5.1. Estructura relacional de la base de datos del SUIM.	117
Figura 5.2. Ejemplo de digitalización de hojas catastrales. Base de lotes usada en el PUOS 2008	118
Figura 5.3. Sistema metodológico conceptual para el desarrollo de la información de la gestión de riesgos en el DMQ	122
Figura 6.1. <i>Procesión durante la sequía de 1621</i> , de Miguel de Santiago	136
Figura 6.2. <i>Nuestra Señora de las Mercedes, patrona de Quito</i>	138
Figura 6.3. <i>Vista del interior del cráter del Pichincha</i>	141
Figura 8.1. Crecimiento vertical de una manzana de Solanda	171
Figura 8.2. Daños en viviendas de Solanda.	172

Figura 8.3. Vista aérea del pozo y salida de emergencia del Metro en el parque del Sector 4 de Solanda	174
Figura 8.4. Sucesión litológica de la subcuenca Sur	178

Mapas

Mapa 2.1. Marco geodinámico simplificado del Ecuador.	42
Mapa 2.2. Zona de Quito: relieve, fallas y volcanes	43
Mapa 2.3. Peligro sísmico del Ecuador.	46
Mapa 2.4. Movimientos en masa ocurridos en el DMQ	54
Mapa 8.1. Imagen parcial de Quito y drenaje en Solanda.	175
Mapa 8.2. Imagen parcial de mapa neotectónico de la región de Quito	176
Mapa 9.1. Extractos de mapas de peligros del volcán Cotopaxi	185
Mapa 9.2. Zonaciones de la profundidad de un lahar primario en el Valle de Los Chillos	187
Mapa 10.1. Delimitación de la cuenca del río Monjas.	196

Tablas

Tabla I.1. Distribución de clases según bloques de texto	7
Tabla I.2. Distribución de clases según período de publicación.	8
Tabla I.3. Distribución de clases según filiación institucional	9
Tabla I.4. Distribución de clases según tipo de publicación	9
Tabla I.5. Criterios para un listado representativo de referencias sobre riesgos y territorio en Quito	13
Tabla I.6. Listado ilustrativo de la diversidad de producciones	14
Tabla 1.1. Estudios de vulnerabilidad.	25
Tabla 1.2. Documentos, insumos y plataformas de información.	32
Tabla 2.1. Resumen de los mapas de peligros volcánicos de interés para Quito	49
Tabla 2.2. Metodologías, datos y políticas para la investigación de movimientos en masa en zonas urbanas	55
Tabla 4.1. Enfoque de la planificación territorial del DMQ (1942-2021)	98
Tabla 4.2. Comparación de los instrumentos de planificación del desarrollo y ordenamiento territorial (2004-2021).	102
Tabla 4.3. Familias incluidas en el programa de relocalización (2010-2021)	107

Lista de abreviaturas, siglas y acrónimos

BDU	Base de datos urbanos
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CC	Cambio climático
CCPP	Sistema Chingual-Cosanga-Pallatanga-Puná
COE	Centro de Operaciones de Emergencia
COE-M	Centro de Operaciones de Emergencia Metropolitano
DMGR	Dirección Metropolitana de Gestión de Riesgos
DMQ	Distrito Metropolitano de Quito
EMAAP-Q	Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito
EMASEO	Empresa Metropolitana de Aseo
EPMAAP	Empresa Pública Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable
EPMAPS	Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento
EPMMOP	Empresa Pública Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas
EPN	Escuela Politécnica Nacional
ESPE	Universidad de las Fuerzas Armadas
FLACSO	Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, sede Ecuador
FONAG	Fondo Ambiental para Protección de Agua de Quito
GAD	Gobierno Autónomo Descentralizado
GI	Gestión de la Información
GIRD	Gestión Integral de Riesgo de Desastres
GRD	Gestión de riesgos de desastres
HM	Hidrometeorológico/a
IAEN	Instituto de Altos Estudios Nacionales
IFEA	Instituto Francés de Estudios Andinos
IGM	Instituto Geográfico Militar
IG-EPN	Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional
IIGE	Instituto de Investigación Geológico y Energético
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
IPGH	Instituto Panamericano de Geografía e Historia
IRD	Institut de Recherche pour le Développement (ex ORSTOM)
IRM	Informe de Regulación Metropolitana
JICA	Agencia de Cooperación Internacional del Japón

MDMQ	Municipio del Distrito Metropolitano de Quito
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
ONG	Organización no gubernamental
ORSTOM	Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo en Cooperación
OT	Ordenamiento territorial
PACIVUR	Programa Andino de Capacitación e Investigación sobre Vulnerabilidad y Riesgos Urbanos
PDOT	Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial
PGDT	Plan General de Desarrollo Territorial
PMDOT	Plan Metropolitano de Desarrollo y Ordenamiento Territorial
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PSA	Programa de Saneamiento Ambiental
PUCE	Pontificia Universidad Católica del Ecuador
PUGS	Plan de Uso y Gestión de Suelo
PUOS	Plan de Uso y Ocupación del Suelo
Q.	Quebrada
RRAAE	Red de Repositorios de Acceso Abierto del Ecuador
SAT	Sistemas de Alerta Temprana
SIG	Sistema de Información Geográfica
SMGR	Sistema Metropolitano de Gestión de Riesgos
SMI	Sistema Metropolitano de Información
SPI	Índice de precipitación estandarizada
SSG	Secretaría de Seguridad y Gobernabilidad
SUIM	Sistema Urbano de Información Metropolitana
TIC	Tecnologías de la Información y la Comunicación
UASB	Universidad Andina Simón Bolívar
UCE	Universidad Central del Ecuador
UDLA	Universidad de las Américas
UIDE	Universidad Internacional del Ecuador
UISEK	Universidad Internacional SEK
USFQ	Universidad San Francisco de Quito
UNDRR	Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres
UPS	Universidad Politécnica Salesiana
USAID	U.S. Agency for International Development
UTE	Universidad Técnica Equinoccial
ZR	Zonas de riesgo

3 | Las amenazas hidrometeorológicas en Quito

Othon Zevallos Moreno

Las amenazas de origen hidrometeorológico (HM) son el conjunto de fenómenos relacionados a la atmósfera y su interacción con el suelo o subsuelo en la cuenca hidrográfica. Son *fenómenos atmosféricos* propios de la variabilidad del tiempo y el clima, manifestaciones naturales que se pueden constituir en amenazas, tales como: lluvias, granizadas, heladas, nevadas, neblina, huracán, vendaval, tornado, tormenta eléctrica o tempestad, tormentas tropicales, ola de calor, estiaje o sequía; algunas de sus consecuencias son: desertificación, incendios forestales, hambrunas, plagas, desabastecimiento de agua, etc. Se consideran también los *fenómenos hidrológicos* que ocurren en la cuenca hidrográfica (natural o urbana), tales como: inundaciones, erosión, sedimentación, crecida súbita, entre los más significativos (OSSO y LA RED 2009). En el presente análisis también se incluyen aluviones y deslizamientos, que, aunque no son estrictamente hidrológicos, sino geodinámicos, han sido analizados aquí por la alta dependencia de su ocurrencia con la precipitación.

Las amenazas HM pueden ser estudiadas sobre la base del conocimiento de la física de los fenómenos, a través de las ciencias de la meteorología e hidrología. Siendo fenómenos complejos, las amenazas también pueden ser analizadas sobre bases probabilísticas, a partir de análisis de registros históricos del fenómeno. Ello implica aceptar un comportamiento homogéneo, es decir, que los datos que representan el fenómeno se ajustan razonablemente a una distribución de probabilidades y que no existen cambios en la tendencia de los comportamientos en el largo plazo.

El cambio climático (CC) que está sufriendo nuestro planeta está generando fenómenos meteorológicos extremos más frecuentes e intensos, lo que significa, sin duda, que se ocasionarán cada vez mayores y más recurrentes impactos adversos. Como ejemplo, según el Programa de Acción Climática de Naciones Unidas, desde el año 2000, los desastres relacionados con las inundaciones a causa del cambio climático han aumentado un 134 % en comparación con las dos décadas anteriores, la mayoría en Asia (NNUU, s.f.).

Los pronósticos de CC para Ecuador estiman, en el peor escenario (RCP 8.5), incrementos de temperatura superiores a los 2°C en la mayor parte del territorio

nacional. En términos de precipitación después de mitad de siglo, en la Sierra y en la Costa se presentarían aumentos de hasta un 10 % y en la Amazonía se darían reducciones de precipitación del mismo orden (Armenta Porras, Villa Cedeño y Jácome 2016).

Algunos fenómenos que se presentan como resultado, sea de la propia variabilidad natural o inducidos por el CC y su interacción con la cuenca hidrográfica, no siempre se ajustan a las tendencias de las series de registros históricos. Por ejemplo, a causa de la ocurrencia de huracanes, de acuerdo con funcionarios del Distrito de Control de Inundaciones del Condado de Harris, el área de Houston, Texas, ha sufrido no menos de tres eventos de inundación de 500 años de retorno en los últimos tres años (2015, 2016 y 2017) (Ingraham 2017). De manera semejante, un evento como el aluvión en la quebrada El Tejado, ocurrido en enero de 2022 en Quito, puede generar fácilmente caudales equivalentes de agua, lodos y detritos, un orden de magnitud superior a los caudales puramente hidrológicos generados en la cuenca.

Red de monitoreo y registros históricos de desastres

La red HM del DMQ está constituida por un conjunto de 17 estaciones climatológicas, 49 pluviométricas y 23 hidrológicas para un total de 89 estaciones, de las cuales aproximadamente la mitad transmiten información en tiempo real, constituyendo la red más completa del país. A esto se añaden 150 sitios de aforo y 40 pozos de monitoreo de agua subterránea (Quito informa 2022). Esta red es resultado del esfuerzo conjunto entre la Empresa Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS) y el Fondo Ambiental para Protección de Agua de Quito (FONAG), cuya información se presenta en anuarios hidrometeorológicos para el período 2007-2022 (FONAG 2022). Igualmente, registros sobre otras estaciones para Quito y el país están publicados en los anuarios meteorológicos para el período 1971-2013 del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) del Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE).¹ Las ecuaciones de Intensidad-Duración-Frecuencia (I-D-F) para el dimensionamiento de obras en Quito se encuentran en las *Normas de diseño de sistemas de alcantarillado para la EMAAP-Q* (EPMAPS 2009) y el análisis de intensidades de lluvia está en la publicación *Análisis temporal de las lluvias extremas en el DMQ* (EPMAPS 2014).

Las amenazas hidrometeorológicas también pueden ser estudiadas a partir de registros de los eventos de desastres de origen hidrometeorológico

¹ <https://www.inamhi.gob.ec/biblioteca/>

ocurridos. El registro histórico de desastres se puede señalar como una dimensión del riesgo materializado. Este permite inferir las condiciones de vulnerabilidad en las cuales ocurren los desastres, así como la manifestación de la magnitud de la amenaza como producto de las condiciones climáticas, hidrológicas y morfológicas (Zevallos 2002).

Según Pierre Peltre (1989), con base en la revisión de medios de prensa, entre 1900 y 1986 se han presentado 163 inundaciones,² 70 aluviones, 114 derrumbes (deslizamientos) y 36 hundimientos, que ocasionaron 199 muertes, de las cuales 98 se debieron a aluviones y 85 a derrumbes. Entre los aluviones, los de La Gasca (Q. Pambachupa), en 1975, El Condado (Q. Rumihurco), en 1983, La Comuna (Q. Comunidad), en 1997, y nuevamente La Gasca (Q. El Tejado), en 2022, fueron los más destructivos.

Por otra parte, a pesar de algunas limitaciones y errores, la mejor y más completa fuente disponible de registros de desastres para Ecuador y el DMQ desde 1970 hasta 2019 es la base de datos de DesInventar, administrada por el programa Sendai de la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR)³ y desarrollada por la Red de Estudios Sociales en Investigación de Desastres, con apoyo de la EPN, y luego por parte de la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos. A partir de esta se determinan las siguientes características para los eventos de origen HM⁴ en el DMQ.

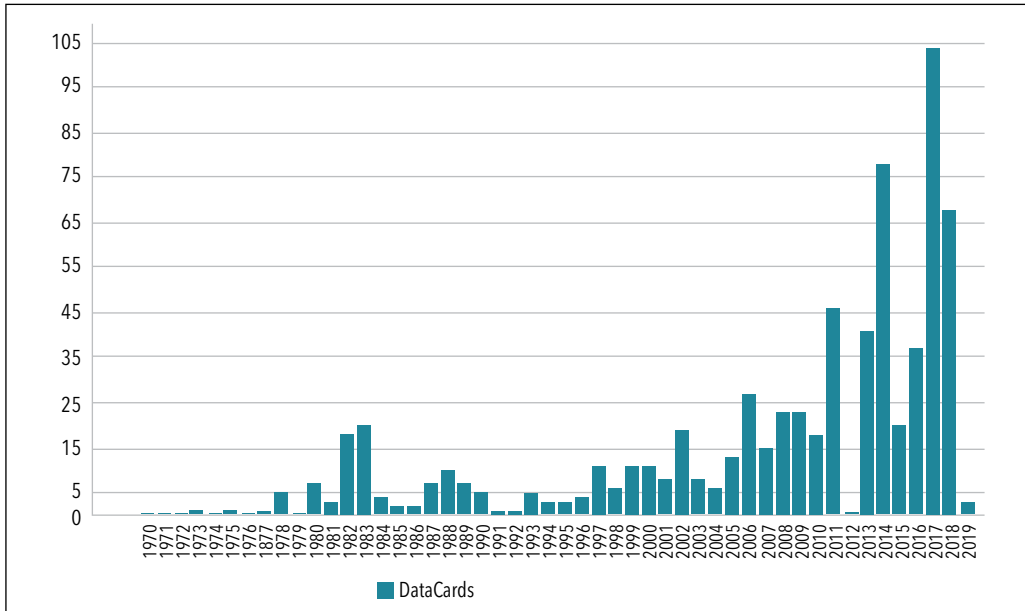
- En total se registraron 719 eventos de origen HM en todo el DMQ. El número de registros de eventos está creciendo en el tiempo (figura 3.1). En efecto, el número de registros se ha incrementado de nueve eventos (1970-1979) a 422 (2010-2019).
- De acuerdo con la tipología, los deslizamientos (60 %), las inundaciones (20 %) y las lluvias intensas (4 %) son los eventos de desastres HM más frecuentes (figura 3.2).
- A pesar de que el número de eventos de desastres registrados crece, los efectos de los desastres, como número de muertes, número de viviendas destruidas y número de afectados, parecen estar disminuyendo, como resultado seguramente de una mejor preparación del país, sus gobiernos locales, la participación del sector privado y gracias, seguramente también, a una mejor infraestructura.

² Para evitar dar un peso excesivo a las inundaciones, debido a su gran extensión espacial, en el tratamiento de frecuencias, Peltre contabiliza las inundaciones por eventos pluviométricos que causaron problemas, y no por foco geográfico como en los otros tipos de eventos.

³ DesInventar Sendai. Sendai Framework for Disaster Risk Reduction.
<https://www.desinventar.net/DesInventar/main.jsp>

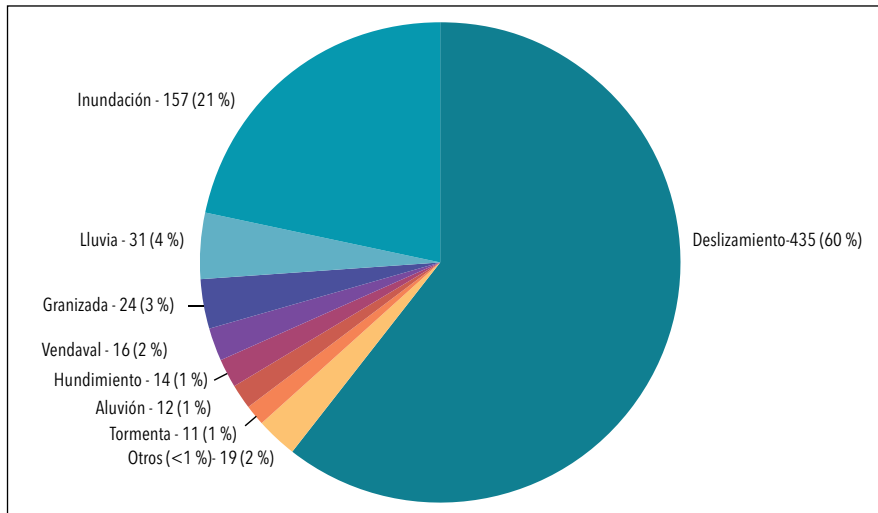
⁴ Como eventos HM en la base de DesInventar se consideran: deslizamiento, inundación, lluvia, granizada, vendaval, hundimiento, aluvión, tormenta, socavamiento, tormenta eléctrica, sequía, ola de calor, helada, huracán, nevada. No se incluyen los incendios forestales debido a que, en la base de datos del Ecuador para el año 2012, estos eventos están sobrerrepresentados, y se analizan de forma independiente más adelante.

Figura 3.1. Eventos de desastre de origen hidrometeorológico en el DMQ (1970-2019)



Fuente: UNDRR DesInventar Sendai.

Figura 3.2. Tipología de desastres de origen hidrometeorológico en el DMQ (1970-2019)



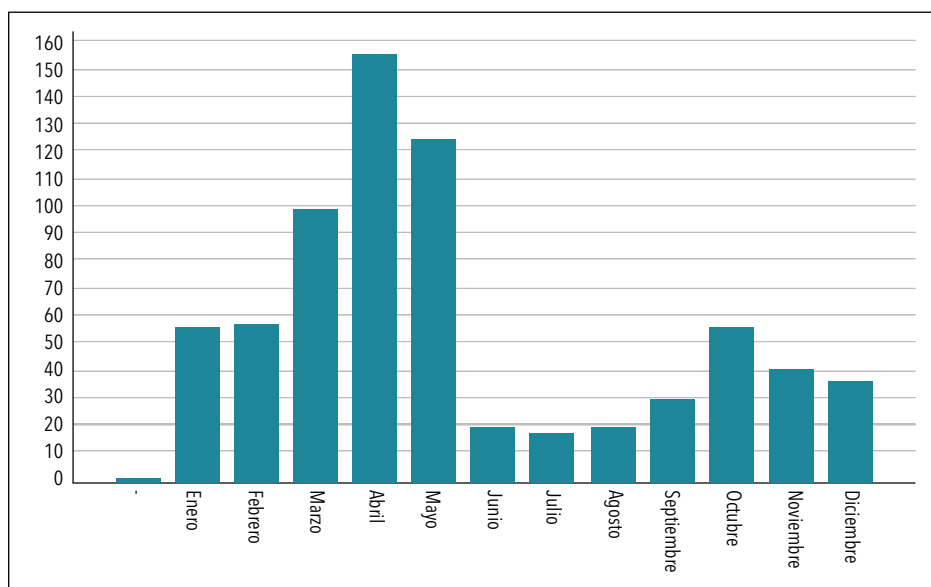
Fuente: UNDRR DesInventar Sendai.

- Los eventos que generan mayor número de muertes son los deslizamientos (83 %), seguidos por las inundaciones (5 %) y los aluviones (4 %).⁵
- Los eventos HM que más viviendas destruyen son las lluvias (32 %), inundaciones (27 %), deslizamientos (26 %), tormentas y vendavales (11 %). Algo similar sucede, aunque en mucho mayor número, con las viviendas afectadas.
- El conurbano de la ciudad de Quito concentra el 74 % de los eventos registrados en el DMQ.

⁵ El registro no incluye las 28 muertes ocasionadas por el aluvión de La Gasca del 31 de enero de 2022.

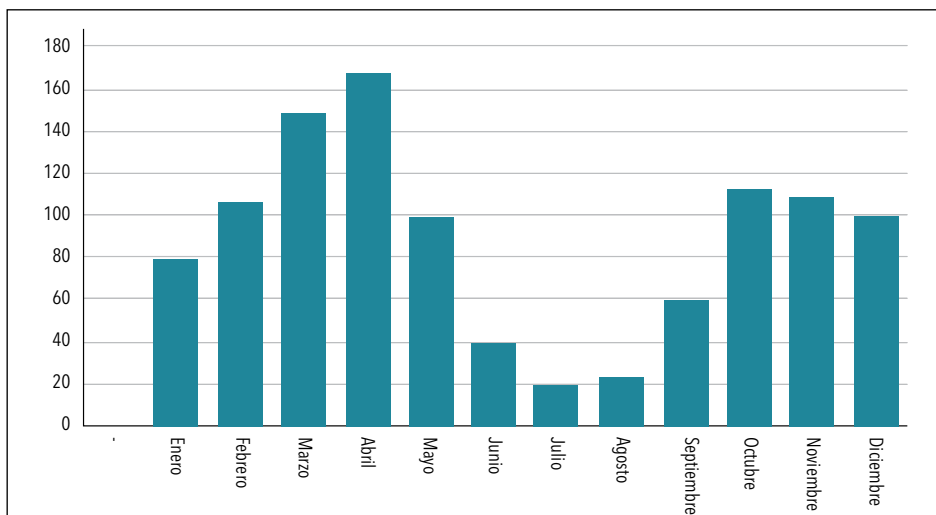
- El patrón mensual de ocurrencia de eventos de desastres de origen HM presenta una clara coincidencia con el patrón de distribución del promedio mensual de lluvias en Quito, con el pico principal en el período lluvioso del régimen costero-Pacífico, entre enero y mayo; un valle con menor número de eventos en el período seco, entre junio y septiembre; y un segundo pico de menor magnitud coincidente con el período lluvioso de origen amazónico, entre octubre y diciembre, según la Estación Quito - INAMHI (figuras 3.3 y 3.4).

Figura 3.3. Distribución mensual de eventos de origen hidrometeorológico en el DMQ (1970-2019)



Fuente: UNDRR DesInventar Sendai.

Figura 3.4. Distribución mensual de precipitación multianual (mm) en Estación Quito-INAMHI



Fuente: Último anuario meteorológico publicado por INAMHI, 2013.

Problemática de riesgos y proyectos de mitigación en las laderas del Pichincha

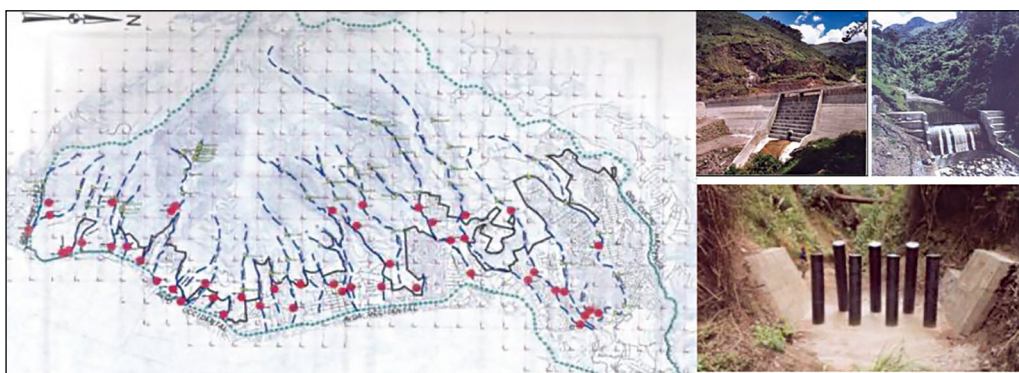
Siendo el volcán Pichincha el monte tutelar de Quito, y a pesar de que la ciudad está asentada en sus laderas desde épocas preincaicas, los quiteños han dado la espalda a este valioso patrimonio natural y no lo han puesto en valor. A partir de la década de los setenta, como consecuencia de la promulgación de la Ley de Reforma Agraria de 1964, de la presión por el crecimiento poblacional y la falta de opciones de vivienda, y gracias a la construcción de la nueva avenida Occidental –o Mariscal Sucre– en la década de los ochenta, se inició un intenso proceso de ocupación regular e irregular de las áreas de laderas vía lotización de las antiguas haciendas allí localizadas (Zevallos 1996). Este proceso hizo que, a inicios de los noventa, el Municipio perdiera el control de la expansión urbana, con un significativo incremento del riesgo (Barreto 1994). Consecuencia de ello, desde la década de los ochenta se han perdido alrededor de 2800 hectáreas de área natural en estas zonas.

Las laderas del eje Pichincha-Atacazo han sido afectadas por una compleja problemática de ocupación urbana legal e ilegal, vía presiones de intereses privados y traficantes de tierras, favorecida por la debilidad municipal en el control, la falta de políticas, el incumplimiento de ordenanzas, el clientelismo político, etc. Como consecuencia, Quito presenta una urbanización con infraestructura inadecuada, un proceso de degradación ambiental, presencia de basura y escombros en quebradas, taponamiento de los drenajes naturales y pobres criterios ingenieriles, que terminan agravando las amenazas HM e incrementando el riesgo de desastres, tanto en las áreas altas de ocupación cuanto en las áreas bajas de la ciudad.

Programas Laderas del Pichincha, PSA I y PSA II

Con el fin de mitigar el efecto de las inundaciones y aluviones generados desde las quebradas que bajan desde el Pichincha, el MDMQ, a través de la Empresa de Agua Potable y Alcantarillado (EMAAP-Q) y con financiamiento del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), entre 1996 y 2001, ejecutó el programa de protección Laderas del Pichincha. Así se construyó 48 estructuras de control (15 reservorios de regulación, 18 entradas a colectores y cuatro cruces de caminos adecuados como reservorios, cinco túneles de desvío y trasvases, seis diques de contención de lodos) en las 33 quebradas de las laderas del Pichincha, en el sector norte de la ciudad (figura 3.5). El propósito de estas obras era regular caudales y detener sedimentos transportados por las quebradas. Además, se ejecutaron obras de control de escorrentía y erosión en las laderas, un sistema de monitoreo y alerta, un programa de

Figura 3.5. Ubicación y ejemplos de obras construidas en el programa Laderas del Pichincha



Fuente: Archivos de autor.

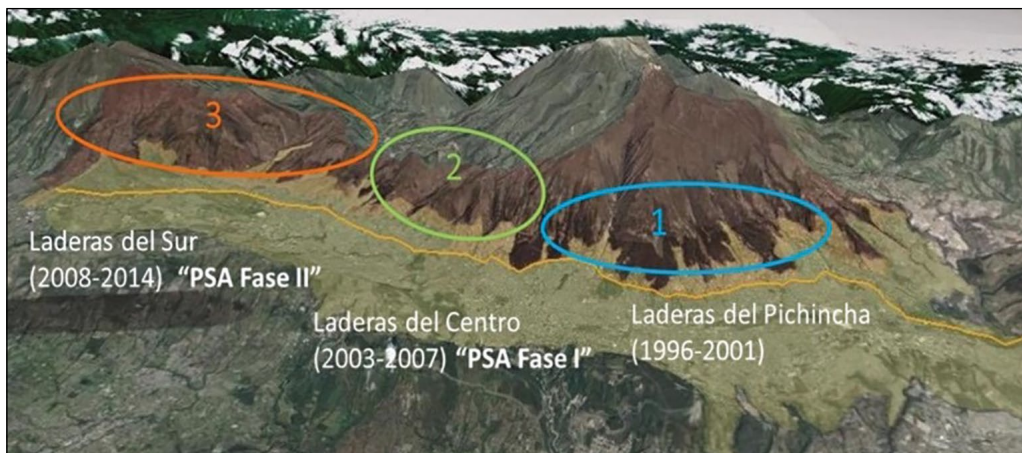
manejo y control de las laderas, además de que se creó una comisaría para control de laderas, etc. (Zevallos 1996). El monto contemplado fue de 20 millones de dólares de crédito del BID y cinco millones de la contraparte local.⁶

El Programa de Saneamiento Ambiental de Quito (PSA Fase I), que se ejecutó entre 2003 y 2007 (figura 3.6), en el componente de “Manejo de laderas y control de inundaciones”, comprendió obras de regulación hídrica, control de inundaciones, deslizamientos y avalanchas de lodo, ordenamiento territorial, manejo de zonas ecológicamente frágiles, reasentamiento de familias ubicadas en áreas de riesgo en las quebradas de El Tejar y Jerusalén, y estudios de las quebradas Navarro y La Raya Sur. Se invirtieron 10,8 millones de dólares en regulación hídrica y 2,7 millones en acondicionamiento ambiental de áreas verdes urbanas. También se ejecutó un Plan de Reasentamiento de 46 familias en alto riesgo, con una inversión de 1,5 millones de dólares.

El PSA Fase II (figura 3.6), en el componente de “Obras de control de inundaciones”, por 39,95 millones de dólares, contempló el nuevo colector Anglo-French, y la optimización de los sistemas de colectores pluviales de las quebradas Jerusalén, Navarro-La Raya, Sunipamba-Saguanchi y Cuscungo-Clemencia. El componente de “Intervenciones en laderas”, por 6,95 millones de dólares, incluyó las obras de acondicionamiento ambiental en áreas verdes urbanas y naturales de las quebradas Jerusalén, Navarro-La Raya y Sunipamba-Saguanchi, así como obras prioritarias en áreas naturales del eje Pichincha-Atacazo, además de otras intervenciones de desarrollo comunitario, educación ambiental y capacitación de la población beneficiada y de las Administraciones Zonales en gestión territorial; también se trató el manejo de riesgo y el reasentamiento de familias.

Adicional a las obras de protección hidráulica, como parte de los proyectos Laderas del Pichincha (norte) y PSA I y II (centro y sur), se realizaron

⁶ BID. Proyecto Laderas del Pichincha. <https://www.iadb.org/es/whats-our-impact/EC0143>



Fuente: Archivos de autor.

intervenciones de mejoramiento ambiental, como: Parque de la Quebrada El Cebollar, recuperación de la Q. Jerusalén, Sendero Cinto-Torohuco, de 9,5 km de longitud, y Sendero Ruta de Humboldt, de 4,5 km. Con el fin de impedir que continuara la tendencia de subida de la ocupación por encima del límite, se construyó la materialización del límite urbano mediante un cerramiento de 8 km de longitud en los barrios Roldós, Pisulí, La Pulida, Pinar Alto y Cochapamba Alto, del norte de la ciudad.

Además, se promovió la expedición de la Ordenanza Metropolitana "Área de Intervención Especial y Recuperación Pichincha-Atacazo" (AIER), con varios objetivos: desarrollar el sistema de parques metropolitanos Pichincha e incorporarlos al patrimonio natural y paisajístico del DMQ, detener el crecimiento urbano en el área natural y potenciar el área como espacio apto para el desarrollo de actividades de investigación, turismo ecológico y concienciación sobre el valor de las áreas naturales.

Se debe resaltar que, entre 2004 y 2020, la EPMAPS, tanto con recursos propios como de créditos, invirtió alrededor de 100 millones de dólares en la construcción de nuevos colectores en túnel (el denominado nuevo drenaje profundo), con el objeto de aliviar los colectores antiguos, que en su mayoría habían sido construidos en el fondo de las quebradas rellenas, por lo que presentaban insuficiencia de capacidad y deterioro por su vetustez. Algunos de estos colectores construidos son: Jatunhuaycu, La Prensa, Galo Plaza, Nazareth, Mirador, San Lorenzo, Iñaquito, Caicedo, El Tejado, Anglo French, El Tejar, Jerusalén, Pomasqui, entre otros.

De manera particular, debido a un taponamiento por una fuerte crecida ocurrida en 2010, la EPMAPS construyó, en la quebrada El Tejado, un nuevo colector de alivio, entre 2014 y 2015, el cual permitió que el agua fluyera una vez que se liberó la obra de captación después del aluvión de enero de 2022, pues el colector antiguo se había taponado con el evento.

Como resultado de las obras e intervenciones de estos proyectos, la ciudad está mejor protegida. Seguramente son decenas o centenas de eventos que han sido evitados. Como ejemplos, basta citar los eventos ocurridos en las Q. El Tejado y Caicedo en 2011, en las Q. San Isidro Media y San Isidro Reservoirio (Osorio) en diciembre de 2021, en las Q. Armero y Ascázubi en enero de 2022, cuando ocurrieron aluviones de magnitud moderada que taponaron las obras de captación pero fueron contenidos en los embalses y no causaron afectación a la ciudad.

Al mismo tiempo, cabe señalar que estas obras no pueden mitigar la ocurrencia de eventos extraordinarios, como lo demuestra el aluvión de La Gasca de 2022, que será analizado más adelante, por lo que se requieren nuevos enfoques para continuar protegiendo a la ciudad.

El abanico de amenazas HM en Quito

Intensidad de las lluvias

La lluvia o precipitación pluvial incluye lluvias puntuales, persistentes o torrenciales en una región específica, así como períodos largos de precipitaciones (OSSO y LA RED 2009) que generan daños o efectos adversos. Entre las principales afectaciones por las lluvias se pueden señalar: desplome de viviendas vetustas o construidas con adobe, caída de árboles, cortes de energía, congestión de tráfico, olas de frío, daños en la calzada de vías, etc.

Tomando como referencia la Estación Quito-Observatorio, la más antigua con registros en el país, lluvias con diez años de período de retorno ($Tr = 10$ años) y diez minutos de duración ($D = 10$ min) pueden estar en el rango de 18,3 mm, es decir, generar intensidades de 110 mm/h; y para una duración de 60 minutos pueden presentarse lluvias intensas de 33 mm o más hasta llegar a ser torrenciales, con lo que pueden generar afectaciones. Para la Estación Chorrera, por ejemplo, con duraciones de lluvia de 20 minutos, la precipitación para $Tr = 2$ años es de 17,1 mm, mientras para $Tr = 50$ años es de 34,3 mm. En cuanto a la persistencia, por ejemplo, en el mes abril de 2011, en la Estación Quito-INAMHI se registraron lluvias los 30 días del mes, a todo lo largo de la ciudad, por lo que la precipitación mensual alcanzó el valor de 372,9 mm, más de 2,2 veces la media multianual del mes; esto ocasionó varios hundimientos en el alcantarillado del sector del barrio La Florida, cerca al antiguo aeropuerto de Quito.

Un estudio de las lluvias intensas en Quito ha sido presentado en un libro muy interesante que analiza de manera detallada, mediante procesamientos estadísticos y modelos computacionales, la distribución espacial y temporal de la precipitación en el DMQ (Beltrán 2017). En su tesis de grado

de ingeniería, Beltrán (1995) determinó dos direcciones predominantes de las lluvias en Quito: 1) Sur, Sur-Este hacia el Norte y 2) de Oeste hacia el Este. Las primeras se relacionan con las masas húmedas provenientes de la región amazónica y las segundas tienen su origen en las masas húmedas que vienen de la costa.

Zevallos (1995a), en una consultoría para el BID y EPMAPS, estudió los patrones de lluvia en las laderas del Pichincha, con el fin de calcular la frecuencia y magnitud de limpieza de sedimentos necesarias en reservorios. Se determinó que las lluvias intensas en las laderas tienden a ser concentradas en núcleos localizados de una o pocas quebradas, disminuyendo la intensidad en función de la distancia, y que no se presentan tormentas de alta intensidad en forma simultánea en toda el área de laderas. Así mismo, se estableció que la consecutividad de ocurrencia de tormentas intensas es baja, es decir, que luego de una lluvia intensa en una quebrada es poco probable que ocurra otra de similar magnitud, en la misma quebrada, en los días subsiguientes.

Granizadas, heladas, nevadas, vendaval y otras amenazas atmosféricas

De acuerdo con la base de datos de DesInventar,⁷ en el período 1970-2019 se registraron 34 eventos de tipo granizadas, heladas, nevadas, vendaval y otras amenazas atmosféricas que han ocasionado afectaciones materiales y fallecimientos, aunque seguramente su número podría ser mayor.

Los *vendavales* han ocasionado la destrucción de viviendas precarias, caídas de árboles, desprendimiento de techos, interrupción del servicio eléctrico, incluso con consecuencias graves como la interrupción del bombeo del sistema Papallacta, causado por la caída de varias torres de alta tensión y que derivó en el desabastecimiento del servicio de agua potable en el norte de la ciudad. Por la ubicación geográfica del Ecuador en la zona ecuatorial, no se presentan huracanes.

Las *granizadas*⁸ han generado la caída de grandes techados de coliseos o fábricas, destrozos en viviendas, congestión del tránsito vehicular, taponamiento de sumideros, etc.

Las *heladas* o disminución de la temperatura con efectos nocivos, generan afectaciones a la salud, como epidemias de gripe entre la población y daños en cultivos en zonas rurales, de manera similar a lo que provocan las *olas de frío*.

Las *nevadas* únicamente se han presentado en zonas de gran altitud, como el sector del páramo de la virgen, a 4000 msnm, y han producido accidentes de tránsito y la interrupción de la vía Quito-Baeza por algunas horas en varias ocasiones.

⁷ DesInventar Sendai. Sendai Framework for Disaster Risk Reduction. <https://www.desinventar.net/DesInventar/main.jsp>

⁸ Precipitación de agua congelada sólida.

Las *tormentas eléctricas* han generado afectaciones al servicio eléctrico y algunos fallecimientos por descargas eléctricas.

Olas de calor, estiaje, sequías y sus consecuencias

La *ola de calor* es el aumento de la temperatura en una región con efectos sobre poblaciones humanas, cultivos, bienes y servicios, y normalmente puede estar asociado a períodos de estiaje y sequía (OSSO y LA RED 2009). En Quito, por su localización a 2850 msnm, solo se han registrado dos eventos: en enero de 1990 y 1991, con reportes de efectos en la salud por los cambios de temperatura y afectaciones a la agricultura. Adicionalmente, los días calurosos y despejados presentan altos niveles de radiación solar que pueden generar afectaciones en la piel.

El *estiaje* se define como la disminución de lluvia y, en consecuencia, la baja del caudal de un río durante la época del verano o estío. Típicamente, en Quito esto ocurre anualmente entre los meses de junio y septiembre; sin embargo, debido a la variabilidad climática normal, así como por las alteraciones generadas por el cambio climático, la manifestación de los períodos secos y lluviosos pueden presentar variaciones importantes. Aunque el estiaje no es en sí un evento extremo como la sequía, puede generar limitaciones e impactos en los servicios de suministro de agua potable, riego o generación hidroeléctrica, como ocurrió en el período de estiaje de fines de 2023 en Ecuador.

La *sequía*, por su parte, es la temporada seca, sin lluvias o con déficit de lluvias. En general, se trata de períodos prolongados (meses, años o incluso decenios), que pueden ocurrir en áreas continentales restringidas o a escalas regionales (OSSO y LA RED 2009). En el período se registran únicamente dos eventos de sequía. En noviembre de 1978 se reportaron pérdidas en la agricultura y en la producción de frutales en los valles de Guayllabamba y Tumbaco. En diciembre de 1989 se reportó una disminución de caudales de hasta un 50 %, atribuido a un alza de la presión atmosférica debido al fenómeno La Niña.

El análisis histórico de sequías es importante para asegurar el abastecimiento de agua para Quito en el mediano y largo plazos. En un interesante trabajo, investigadores del Instituto Pirenaico de Ecología de Zaragoza, de la EPN y de la Universidad Complutense de Madrid, con base en la revisión de las rogativas registradas en el libro de Actas del Cabildo de Quito (1600-1822), determinaron que se presentaron importantes períodos de sequías entre 1692-1701 y 1718-1723. En los registros encontraron 43 rogativas de ceremonia *pro pluvia*, indicativo de falta de lluvias. Adicionalmente, tras el análisis de registros de precipitación en la Estación Quito-Observatorio para el período 1891-2015, hallaron

que el índice de precipitación estandarizada (SPI) muestra altos valores negativos, indicativo de períodos secos, durante los años 1976-1980, 1990-1993, 2001-2006, y también desde 2012 hasta el fin de la serie de registro de 2015. En particular, los años 1926 y 2010 se destacan por la intensidad del período seco, con valores de SPI = -2,5 en todas las escalas. Según la investigación, la época de sequía más severa en los cuatro siglos se presentó entre 1692 y 1701, cuando una gran hambruna devastó Quito y afectó a la mayoría de los Andes centrales (Domínguez-Castro et al. 2017).

En otro estudio de Terneus y Gioda (2006) se presenta una breve revisión del desarrollo de la meteorología en Ecuador, a través de la documentación de eventos climáticos en la colonia hasta la moderna recolección de datos, donde se concluye que hubo más eventos extremos, principalmente de sequías, durante los siglos XVII y XVIII, y que muy pocas catástrofes documentadas históricamente en Quito se corresponden con episodios del fenómeno El Niño. Se presentan al menos once registros de rogativas a la virgen de Guápulo contra la sequía entre 1611 y 1797.

Incendios forestales

Incluye todos los incendios en campo abierto en áreas rurales, en bosques nativos, bosques cultivados, praderas, etc. Estos están indudablemente relacionados con fenómenos atmosféricos como alta presión, ausencia de lluvia, alto nivel de radiación solar y fuertes vientos. Sin considerar el año 2012, se registran 217 incendios forestales en el DMQ entre 1980 y 2019. En el año 2012, en la base de datos, estos eventos están sobrerrepresentados, con un nivel de desagregación demasiado a detalle, pero, en todo caso, esto es un indicativo de su alta ocurrencia. Los incendios típicamente tienen una extensión de varias hectáreas y duran desde horas hasta unos pocos días, hasta ser controlados por el Cuerpo de Bomberos de Quito y, ocasionalmente, cuando amerita, con apoyo de otras entidades del DMQ o incluso de otros cantones. En muchas ocasiones, las causas del incendio son desconocidas, se deben a factores naturales o a la acción intencional o inintencional humana. Las zonas donde se producen estos eventos corresponden a áreas de bosque de eucalipto, vegetación arbustiva o pajonales, en sitios como las laderas del Pichincha-Atacazo, las laderas de Guápulo, el parque Metropolitano, otras laderas de Quito y, con frecuencia, las parroquias rurales del DMQ.

Inundaciones en las partes bajas y falta de capacidad de los colectores

De acuerdo a DesInventar, la inundación es el anegamiento o cubrimiento con agua de un terreno donde se localicen poblaciones, cultivos, bienes o infraestructura (OSSO y LA RED 2009). En el área urbana, usualmente está asociada a la falta de capacidad o la inexistencia de un adecuado sistema de drenaje pluvial urbano ante la ocurrencia de fuertes precipitaciones. La inundación también se asocia a desbordes de ríos cuando el cauce no es de gran profundidad, como sucede en algunas áreas del sur por el desbordamiento del río Machángara o sus quebradas afluentes, o como en el caso de urbanizaciones asentadas junto a los ríos Pita o San Pedro, en el Valle de Los Chillos.

Las inundaciones se registran, obviamente, sobre todo en las partes bajas y planas de la ciudad, en particular a lo largo de los ejes longitudinales de las avenidas 10 de Agosto y Amazonas, desde el parque El Ejido hasta el de La Carolina, sitios que se conocen como antiguos humedales y lagunas.

Además, las inundaciones pueden estar asociadas a la falta de capacidad de los colectores que atraviesan la ciudad de Oeste a Este y que encauzan los caudales que bajan desde las laderas del Pichincha para conducir las aguas hasta el drenaje natural. En situaciones de alta pluviosidad y condiciones geológicas y morfológicas apropiadas, pueden convertirse en aluviones de mucho mayor capacidad destructiva que las inundaciones.

Estas inundaciones solo tienen, por regla general, una extensión limitada en el espacio y no duran más de dos a cuatro horas [...] alcanzan frecuentemente 30 a 60 cm de altura, y no sobrepasan un metro o un metro cincuenta durante las inundaciones más importantes (Peltre 1989, 49).

Aunque los daños suelen ser puntuales o poco significativos, pues afectan únicamente las primeras plantas de las viviendas, las inundaciones suelen ocasionar daños en enseres y electrodomésticos, pisos, pinturas de paredes, y estos se agravan cuando vienen acompañadas de lodo. A nivel urbano, generan caos en el tráfico vehicular, daños en vehículos, deterioro del pavimento o adoquín de las calzadas y eventualmente el desplome de casas y fallecimientos por ahogamiento. Las inundaciones se agravan cuando hay presencia de granizo, o por basuras que taponan los sumideros e impiden el ingreso de agua al alcantarillado.

Este fenómeno también está asociado específicamente a la deficiencia de drenajes viales, como en la Panamericana Norte y la Ruta Viva, a cargo de la Empresa Pública Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas (EPMOP).

El Plan Maestro de Agua Potable y Alcantarillado (EPMAPS 2011) determinó que, en los subsistemas río Machángara, Anglo-French, Iñaquito-El Batán y

Q. El Colegio, el 14 % de los colectores principales tiene más de 40 % de falta de capacidad para conducir los caudales producidos por lluvia con 25 años de período de retorno (Tr), por tanto, son susceptibles de generar inundaciones. El monto previsto para intervenciones con las que resolver esta problemática en el Plan Maestro es de 161,3 millones de dólares para el período 2011-2040, incluyendo obras en parroquias. El Plan de Expansión del Drenaje Pluvial y de Protección de Ríos y Quebradas del DMO, recientemente elaborado, establece una necesidad de inversión de 550,4 millones para las próximas cuatro décadas (EPMAPS 2023).

Erosión en bordes de ríos y quebradas

Reportado en DesInventar como *socavamiento*, se trata del desgaste de la superficie terrestre por agentes externos como el agua o el viento. Incluye la erosión hídrica, eólica y erosión por aguas subterráneas (OSSO y LA RED 2009). La base de datos menciona siete eventos, de los cuales cinco ocurrieron en la ciudad y dos, en parroquias, aunque en la realidad el problema es mucho mayor, por la desestabilización de muchos márgenes de ríos y quebradas de Quito. Un caso paradigmático de la gravedad del problema son las viviendas en riesgo en los bordes del río Monjas (sectores como La Esperanza, Pomasqui, La Pampa, La Antonia y Rumicucho) y en sus quebradas afluentes como la Carretas (barrio Puerta del Sol), donde 98 viviendas están en situación de riesgo. El último evento de erosión ocurrió en junio de 2023, en el río Machángara, cuando el deslizamiento del talud interrumpió la actual vía de acceso a la av. Conquistadores desde la av. Simón Bolívar en sentido hacia Cumbayá, lo que demandó la construcción de una variante vial.

El incremento del caudal de escorrentía por la impermeabilización de los suelos debido al proceso de urbanización erosiona y profundiza el lecho de los cauces, lo que, a su vez, desestabiliza los taludes, particularmente cuando están constituidos por materiales sueltos como arenas, limos o cenizas volcánicas –como en el caso anotado del río Monjas-. El problema se agrava por la falta de control y/o las autorizaciones municipales de ocupación de los bordes de quebradas con viviendas, sin respetar el debido retiro.

Un fenómeno asociado es el hundimiento o socavamiento interno del suelo por filtraciones de agua desde los alcantarillados, particularmente cuando trabajan a presión por falta de capacidad y/o vetustez de los mismos. Peltre (1989) reporta 36 de estos desde 1900 hasta 1986. Algunos pueden ser de gran impacto y magnitud, como los ocurridos en la av. América en mayo de 1978, en la av. Libertadores, en el sur, en febrero de 1984 y, sobre todo, el del redondel de El Trébol, en el centro, en marzo de 2008. Los mismos están localizados principalmente a lo largo de los cauces rellenados de antiguas quebradas.

Múltiples formas de deslizamientos

Definidos como movimientos de masa en la superficie terrestre, los deslizamientos son denominados con múltiples palabras, tales como derrumbe, asentamiento, corrimiento, reptación, desplazamiento, hundimiento, formación de grietas, colapso de cavernas o minas, caída de rocas, desprendimiento (lento o rápido) sobre vertientes o laderas, de masas de suelo o de rocas, –falla– en cortes o taludes de laderas, vías, canales, excavaciones (OSSO y LA RED 2009).

Son los más numerosos y mortíferos tanto en el reporte de Peltre (114 entre 1900 y 1986) como de acuerdo a DesInventar (267 en Quito y 435 en todo el DMQ entre 1970 y 2019). Peltre (1989) hace un análisis bastante detallado sobre el incremento de los deslizamientos con la urbanización de las áreas de laderas, primero en el Centro Histórico (Panecillo, Placer, La Libertad), luego en San Juan, Toctiuco, Colmena Itchimbía, Luluncoto, Puengasí, etc., eventos que ya no se presentan tras la estabilización de los taludes mediante la construcción de muros. En DesInventar también se puede determinar que los eventos siguen el patrón de expansión urbana de la ciudad a partir de los años ochenta hasta la actualidad, tanto en el sector de las laderas del norte y sur como en las estribaciones hacia los valles de Cumbayá, Tumbaco, Conocoto, etc.

Los derrumbes se dan típicamente en taludes de entre cinco y diez metros de altura, como consecuencia de los cortes de las laderas para construir calles y viviendas, disparados por precipitaciones intensas o lluvias acumuladas durante varios días o semanas. En ocasiones también la escorrentía no controlada puede generar socavación del suelo y deslizamientos en ausencia de sistemas de drenaje pluvial.

Aluviones

De acuerdo a DesInventar, los aluviones o flujos de lodos y escombros son avenidas torrenciales o flujos violentos en un cauce con arrastre de grandes cantidades de material sólido (lodos, gravas, troncos y bloques de rocas), que usualmente ocurren en cauces secos (OSSO y LA RED 2009). Los flujos de lodos están compuestos, al menos en un 50 %, por materiales finos (arenas, limos y arcillas), mientras en los flujos de escombros o detritos predominan los materiales gruesos (piedras y grandes rocas) (Ishikawa 1989).

Pierre Peltre (1989) destaca dos eventos: los de la quebrada La Raya y el de La Gasca, y señala que en ambos casos la causa fue erróneamente atribuida por la prensa a embalsamientos, cuando la verdadera causa fue la precipitación excepcionalmente alta. En el caso de La Raya, estimó una intensidad de 60-80 mm/h con una duración de 30 minutos.

Las lluvias son el principal mecanismo de desencadenamiento de los flujos de lodos y escombros y también pueden ser originados por la erosión del cauce y taludes, deslizamientos-represamientos, e incluso por la erosión en laderas. Según Takahashi (1991), las probabilidades de ocurrencia de aluviones aumentan cuando la intensidad de la lluvia excede los cuatro mm en diez minutos (24 mm/h) y ocurren sin falta cuando excede los siete mm en diez minutos (42 mm/h). La intensidad crítica de inicio de flujos de lodos y escombros ha sido determinada por Tatizana et al. (1987).

El aluvión de La Gasca

El 31 de enero de 2022, a las 18:05, se produjo un gran aluvión en la quebrada El Tejado que desbordó las obras de protección junto a la avenida Mariscal Sucre, encausándose por la calle Berrutieta y luego por las calles Núñez de Bonilla y por la av. La Gasca. El evento ocasionó la trágica y lamentable pérdida de 28 vidas humanas, así como graves impactos materiales. El área de afectación directa fue de aproximadamente 1462,29 ha y 3,2 km de longitud (UCE 2022).

En el registro de la Estación P28, en Cruz Loma, operada por la EPMAPS, se determinó que la lluvia que desencadenó el aluvión inició el 30 de enero a las 22:35 y en 24 horas cayeron 75,2 mm. Previamente, entre los días 27 y 30 de enero, cayeron 55 mm y entre el 1 y el 26 de enero había llovido 80 mm.

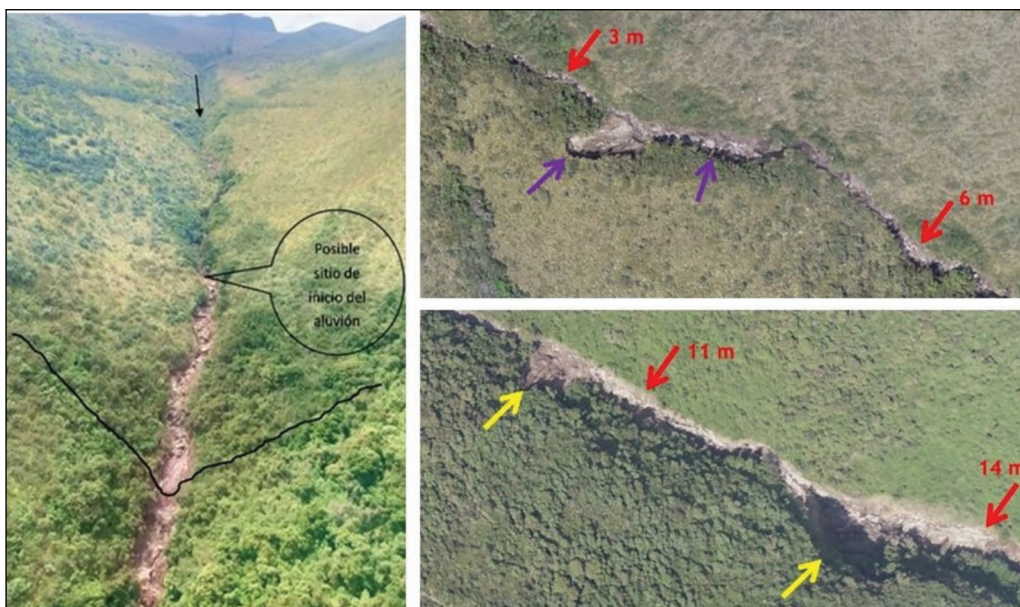
Según el informe de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA 2022), la precipitación del día 31 (75,2 mm/día) superó significativamente el máximo histórico registrado de precipitaciones diarias, que tiene una probabilidad de recurrencia de 0,0238, equivalente a una vez en 42 años. Por otra parte, según registros de la EPMAPS (2022b), la lluvia del 31 de enero de 2022 en la Estación Cruz Loma representa el 58 % de la precipitación histórica medida en el mes de enero y corresponde al valor máximo acumulado en 24 horas desde el inicio de los registros en el 2003, junto a otras cuatro precipitaciones de similar magnitud. Por su parte, la lluvia del día 31 tuvo dos picos, el primero un poco más intenso, de 29,6 mm de lluvia acumulada –que junto a las lluvias de los días previos prepararon las condiciones de ocurrencia–, y el segundo, de 31 mm, que disparó el aluvión. El análisis realizado por técnicos de la JICA concluye que la precipitación de larga duración, más que la alta intensidad, tuvo un impacto significativo en la aparición del flujo de lodo.

Possible tramo de inicio y mecanismo de desarrollo del aluvión

Según JICA (2022), el flujo de lodo del 31 de enero de 2022 se debió principalmente a la falla de los materiales represados, producto de movimientos en masa. Además, la formación y posterior ruptura de múltiples represamientos de material, consecuencias de movimientos en masa, condujeron a un aumento de la magnitud y la energía del flujo de lodo, creciendo así el impacto o el riesgo que suponen los flujos de lodo. El posible represamiento de la quebrada reportado en este estudio en el sitio aguas arriba de la vía de acceso a la obra de disipación de energía, a aproximadamente 3100 msnm, a criterio del autor, no fue producto de un movimiento en masa en el sitio, pues los propios técnicos hablan de una “cicatriz y deslizamiento poco profundo en la parte inmediata superior del represamiento”.

El autor considera que, muy probablemente, el aluvión se inició en el tramo superior de la quebrada, a aproximadamente 3650 msnm, como se observa en la fotografía izquierda de la figura 3.7, y que no hicieron falta represamientos para el inicio. Al contrario, los numerosos pequeños deslizamientos registrados fueron consecuencias del flujo a gran velocidad que bajó por la quebrada y que se fue alimentando de la erosión del cauce y de los deslizamientos de los taludes (figura 3.7). El incremento a 11 metros del nivel de flujo en el sitio reportado por JICA se debió, posiblemente, al estrechamiento de la sección transversal y a la disminución de la gradiente de la quebrada en ese tramo.

Figura 3.7. Fotografías del aluvión de La Gasca



Nota: izquierda, evidencia de posible inicio del aluvión a aproximadamente 3600 msnm (fotografía del autor). Derecha, evidencia de pequeños deslizamientos en los segmentos alto y medio de la quebrada (3900-3600 y 3600-3200 msnm) (Andrade et al. 2022).

Sobre el aluvión de La Gasca del 25 de febrero de 1975, el Prof. Tomas Feininger estableció que “los escombros procedieron de la erosión del lecho a causa de una creciente de magnitud extraordinaria [...] causada por una lluvia excepcionalmente fuerte y de corta duración”, precedida por lluvias acumuladas de más de 30 días. Señala que se registraron tres deslizamientos de tierra pequeños, de centenares de m^3 , que añadieron poco material al flujo de escombros (Feininger 1975). Él estimó el volumen del aluvión en 52 000 m^3 y registró que rocas de hasta tres m llegaron a 250 de la boca de la quebrada en la calle Ritter, rocas de un m llegaron hasta la calle Carvajal y rocas de hasta 50 cm llegaron hasta las avenidas América y 10 de Agosto. Un informe de técnicos del ex Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos (INERHI) estimó el caudal pico de 136 m^3/s . En el evento de 2022, los bloques grandes y medianos quedaron atrapados en el reservorio de la entrada al colector junto a la av. Mariscal Sucre (figura 3.8).

Efecto de la supuesta falta de limpieza de la quebrada en la magnitud del aluvión

La quebrada El Tejado fue inspeccionada por técnicos de la Unidad de Mantenimiento de Captaciones en Quebradas de la Gerencia de Operaciones el 22 de septiembre y el 14 de diciembre de 2021. En esas fechas, la estructura de captación estaba totalmente operativa. Por otra parte, es impensable que rocas de hasta siete toneladas de peso (figura 3.8), como las que se depositaron y extrajeron del reservorio junto a la captación de la av. Mariscal Sucre, podían haber sido removidas previamente del cauce o taludes, por lo cual se desestima por completo que la magnitud del fenómeno haya ocurrido por una supuesta “falta de limpieza de la quebrada”.

Figura 3.8. Fotografías en el sitio de la toma de captación del colector y embalse



Fuente: Técnicos de la EPMAPS.

Nota: izquierda, tamaño de los bloques retenidos y extraídos del reservorio, en el sitio de la toma de captación del colector, junto a la av. Mariscal Sucre. Derecha, obra de toma en el reservorio, a la entrada del colector, antes y después del aluvión.

Magnitud del aluvión

Según la modelación hidrológica realizada por el Departamento de Ingeniería de Proyectos de la Gerencia Técnica de la EPMAPS con posterioridad al evento (EPMAPS 2022a), el volumen de agua generado por la lluvia fue de 15 120 m³, que, sumados al volumen de sólidos limpiados de lodos y escombros –de 21 227 m³–, arroja un total de 36 347 m³, alrededor de ocho veces el volumen de 4500 m³ del reservorio construido por el proyecto Laderas del Pichincha en el sitio de ingreso al colector. Si se asume una duración estimada de cinco minutos para ocurrencia de la onda de crecida calculada como un hidrograma triangular, el caudal máximo es 242,3 m³/s. Andrade et al. (2022) estimaron un caudal de entre 150 y 200 m³/s y un volumen de 30 a 35 mil m³.

En la Q. El Tejado, el caudal de agua pura calculada es de 5,44 m³/s para 50 años de retorno (Zevallos 1995b). La capacidad de los dos colectores construidos luego de la toma de captación es de 1,5 m³/s y 3,5 m³/s, respectivamente. La crecida de agua calculada con Tr = 1000 años para el dimensionamiento de las estructuras en esta quebrada es de apenas 11,2 m³/s (EGESCO 1994). En consecuencia, como se puede ver, la ocurrencia de un evento extraordinario, como lo es un flujo de lodos y escombros, puede ser más de un orden de magnitud superior a los caudales hidrológicos, lo que obliga a considerar estos eventos extraordinarios en el diseño hidráulico de este tipo de obras de protección.

Lo que falta por hacer

Como se puede colegir, las amenazas HM representan una problemática amplia y compleja para la ciudad de Quito. Aunque han existido avances y está mejor protegida que hace unas décadas, gracias a toda la preparación e inversión en infraestructura realizadas, todavía es mucho lo que falta por hacer.

A la luz de lo acaecido en enero de 2022 con el aluvión de La Gasca, urge fortalecer la GRD, en especial aquellos de origen HM, sin olvidar los de origen geodinámico, sísmico y vulcanológico.

En particular, es necesario fortalecer la planificación y el control de la ocupación del suelo, especialmente en los bordes de quebradas. Son miles las viviendas en riesgo asentadas en los filos de quebradas y ríos en el DMQ, de tal manera que, a través de cambios normativos, hay que modificar el patrón de ocupación futura de estos espacios. La regulación municipal debería obligar a que los bordes en un ancho de 15 metros sean ocupados por áreas verdes sin construcciones, y que junto a las áreas verdes se implanten las vías y luego las viviendas, de tal manera que estas no queden expuestas a la eventual erosión y deslizamiento de taludes.

Es menester mitigar el efecto del incremento de caudales provenientes de la escorrentía pluvial a causa de la impermeabilización de los suelos, a través de la promoción de los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles (SUDS), constituidos por elementos superficiales, permeables y vegetados como parte de la estructura paisajística urbana, complementarios al sistema de saneamiento. Es fundamental implementar y hacer cumplir el principio de que cada urbanizador o propietario de una nueva construcción debe hacerse cargo del exceso de escorrentía generado por la impermeabilización de parte del lote, sea mediante pequeñas obras de retención temporal o con medidas que favorezcan la infiltración.

Ante la probabilidad de ocurrencia de nuevos eventos de magnitud extraordinaria como el aluvión de La Gasca de enero de 2022, es necesario revisar los conceptos de diseño, magnitud y tipología de las obras de protección en las quebradas más críticas (El Tejado, Rumipamba, Rumihurco, Pambachupa, San Carlos, Caicedo, Armero, Vásconez). Esto se lograría mediante la utilización de la ingeniería de obras Sabo, como la realizada en Japón, o la utilización de mallas dinámicas de acero para detención de aluviones, como se hace en los Alpes europeos.

Por la imposibilidad de impedir de manera absoluta la probabilidad de eventos extraordinarios y sus trágicas consecuencias, la Dirección de Gestión de Riesgos de la Secretaría de Seguridad del MDMQ debe implementar Sistemas de Alerta Temprana (SAT) en las quebradas y ríos que presenten amenazas críticas, lo que, junto con una adecuada preparación de la comunidad, permitiría preservar lo más valioso: las vidas humanas.

Referencias

- Andrade, Daniel, Eliana Jiménez, Camilo Zapata y Francisco Vásconez. 2022. "Origen y Características geológicas del Aluvión de La Gasca 31 de enero de 2022". Presentación en Sesión del Concejo Metropolitano de Quito, 15 de marzo de 2022.
- Armenta Porras, Guillermo Eduardo, Jorge Luis Villa Cedeño y Pablo S. Jácome. 2016. *Proyecciones climáticas de precipitación y temperatura para Ecuador, bajo distintos escenarios de cambio climático*. UNDP. <https://bit.ly/4bH7ikP>
- Barreto, Rodrigo. 1994. "Manejo ambiental y prevención de desastres naturales con participación comunitaria: el caso de los barrios populares del noroccidente de Quito". En *Viviendo en riesgo*, compilado por Allan Lavell. Costa Rica: LA RED.
- Beltrán, Franklin. 1995. "Investigación de hietogramas críticos y evaluación del efecto de simultaneidad de tormentas en Quito". Tesis de ingeniería, Escuela Politécnica Nacional.

- Beltrán, Franklin. 2017. *Lo que esconden las tormentas: Modelación espacio-temporal de las lluvias en Ecuador*.
- Domínguez-Castro, Fernando, Ricardo García-Herrera y Sergio M. Vicente-Serrano. 2017. "Wet and dry extremes in Quito (Ecuador) since the 17th century". *International Journal of Climatology* 38 (4): 2006-2014. <https://doi.org/10.1002/joc.5312>
- EGESCO. 1994. *Estudios definitivos del control de escurrimiento en las laderas del Pichincha. Hidrología, Tomo I. Crecidas*. Consorcio EGESCO.
- EPMAPS. 2009. "Normas de diseño de sistemas de alcantarillado para la EMAAP-Q". <https://www.aguaquito.gob.ec/>
- 2011. "Estudios de actualización del Plan Maestro Integrado de Agua Potable y Alcantarillado para el Distrito Metropolitano de Quito. Resumen Ejecutivo. Plan Maestro de Alcantarillado". Hazen and Sawyer.
 - 2014. "Análisis temporal de las lluvias extremas en el DMQ y cálculo de las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia". Reporte final. Diciembre.
 - 2022a. "Análisis del evento de precipitación del día 31 de enero en la Quebrada El Tejado". Documento interno, Gerencia Técnica de Ingeniería. 10 de febrero.
 - 2022b. "Informe aluvión que afectó al sector de La Gasca. 31 de enero de 2022". Documento interno, Gerencia Técnica de Ingeniería. 4 de febrero.
 - 2023. "Plan de Expansión del Drenaje Pluvial y de Protección de Ríos y Quebradas". Resumen ejecutivo. Abril.
- Feininger, Tomás. 1975. "El flujo de escombros en La Gasca. Un informe científico". Comunicación interna.
- FONAG. 2022. "Anuarios Hidrometeorológicos. Red integrada de monitoreo hidrometeorológico FONAG-EPMAPS". Quito. <https://www.fonag.org.ec/web/anuario-hidroclimatico/>
- Ingraham, Christopher. 2017. "Houston is experiencing its third '500-year' flood in 3 years. How is that possible?". *The Washington Post*, 29 de agosto.
- Ishikawa, Y. 1989. *Debris Flow*. Vol. III de *Group Training Course in Vulcanology and Sabo Engineering*.
- JICA (Agencia de Cooperación Internacional de Japón). 2022. *Proyecto de Desarrollo de Capacidades para la Reducción del Riesgo de Desastres en Laderas a Nivel Técnico y Territorial. Informe Resumido del Desastre de La Gasca*. JICA / Nippon Koei Co. Ltd. / Earth System Science Co. Ltd.
- NNUU. s.f. "Datos sobre la Acción Climática", <https://www.un.org/es/climate-change/science/key-findings#temperature-rise>
- OSSO y LA RED. 2009. *DesInventar. Sistema de Inventario de Desastres. Guía Metodológica. Versión 8.1.9*. <https://www.desinventar.org/docs/DesInventar-GuiaMetodologica-2.pdf>
- Peltre, Pierre, coord. 1989. *Riesgos naturales en Quito. Lahares, aluviones y derrumbes del Pichincha y del Cotopaxi*. Vol. 2 de *Estudios de Geografía*. Corporación Editora Nacional.

- Quito informa. 2022. “EPMAPS cuenta con la red hidrometeorológica más completa del país”, <https://www.quitoinforma.gob.ec/2022/05/19/>
- Takahashi, T. 1991. *Debris Flow*. Rotterdam: IAHR / Balkema.
- Tatizana, C., A. Tadashi, L. E. Da Silva y M. C. Médici. 1987. “Análise de Correlacao entre Chuvas e Escorregamentos – Serra do Mar, Cubatao”. 5to. Congreso Brasileiro de Geología, 4-8 de octubre.
- Terneus, A., y Alain Gioda. 2006. “In search of colonial El Niño events and a brief history of meteorology in Ecuador”. *Advances in Geosciences* 6: 181-187. <https://adgeo.copernicus.org/articles/6/181/2006/adgeo-6-181-2006.pdf>
- UCE. 2022. “Análisis preliminar del flujo de lodos de la quebrada El Tejado”. Comisión técnica. Febrero.
- Yépez, Hugo. 2022. “El aluvión del 31 de enero de 2022. Causas del aluvión”. Presentación en Sesión ante el Concejo Metropolitano de Quito, 15 de marzo.
- Zevallos, Othon. 1995a. *Estudio de limpieza y mantenimiento de las estructuras de control y reservorios. Proyecto Protección de las Laderas del Pichincha. Informe final*. BID / EMAAP-Q.
- 1995b. *Estudios hidrológicos complementarios y áreas de afectación por flujos de lodos y escombros. Proyecto Protección de las Laderas del Pichincha. Informe final*. BID / EMAAP-Q.
- 1996. “Ocupación de laderas: Incremento del riesgo por degradación ambiental urbana en Quito, Ecuador”. En *Ciudades en riesgo. Degradación ambiental, riesgos urbanos y desastres*, compilado por María A. Fernández. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina / USAID.
- 2002. “Degradación, vulnerabilidad y riesgo hidrogeomorfoclimático en áreas urbanas de laderas”. En *Memorias del seminario Gestión de Riesgos y Prevención de Desastres*. Quito: FLACSO.