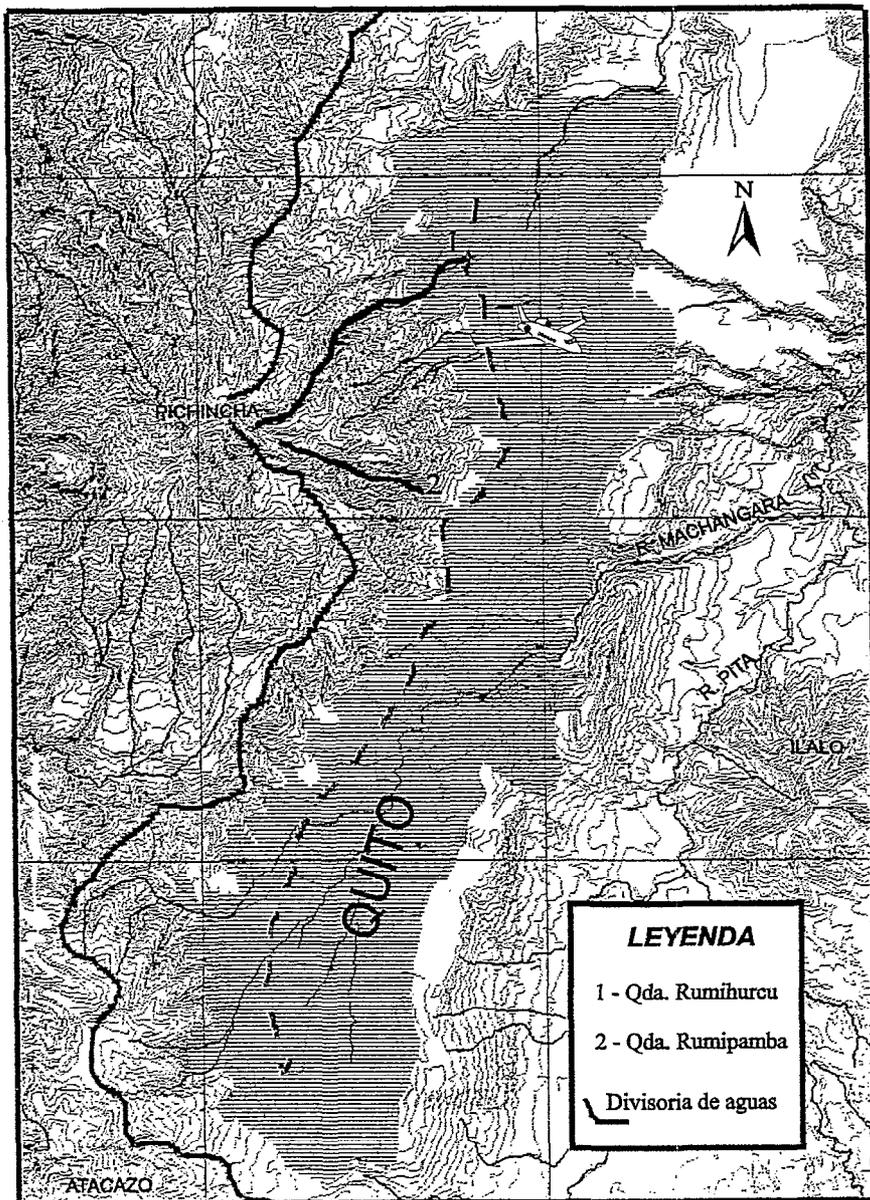


Proyecto Sistema de Pronóstico Hidrológico
de las Laderas del Pichincha y Área Metropolitana de Quito "SISHILAD"

PRIMER AÑO DE MEDICIONES EN LA RED
HIDROMETEOROLOGICA DE LAS
LADERAS DEL PICHINCHA



Fonds Documentaire ORSTOM

Convenio EMAAP-Quito, INAMHI, ORSTOM Note: Ax 15264 Ex:

Quito, octubre de 1996



551
PER
10-276

Proyecto Sistema de Pronóstico Hidrológico de las
Laderas del Pichincha y Area Metropolitana de Quito "SISHILAD"

Convenio EMAAP-Quito, INAMHI, ORSTOM

PRIMER AÑO DE MEDICIONES EN LA RED
HIDROMETEOROLOGICA DE LAS
LADERAS DEL PICHINCHA

O R S T O M
Centre Documentation
Quito

JUL. 30 1998

Autores

EMAAP-Quito
Edgar Ayabaca Ph. D.
Francisco Cruz Ing.

ORSTOM
Jean-Louis Perrin Dr.
Robert Hoorelbecke Ing.

Colaboradores

Shubert Rosero Ing.
Luis Carrera Asist.

Richard Fournier Ing.
Benoit Fourcade Ing.

Quito, octubre de 1996

Fonds Documentaire ORSTOM

Cote: Ax 15 264 Ex: ungr

PRIMER AÑO DE MEDICIONES EN LA RED HIDROMETEOROLOGICA DE LAS LADERAS DEL PICHINCHA

Resumen. Con la finalidad de proporcionar información requerida por diversos proyectos de la EMAAP-Quito, el presente informe contiene una síntesis de las mediciones y cálculos hidrometeorológicos hechos por el Proyecto SISHILAD en base a los datos recogidos durante el último período de lluvias (entre noviembre de 1995 y abril de 1996) en las Laderas del Pichincha. Los resultados demuestran que durante el invierno pasado la cantidad total de precipitaciones aumentó con la altitud del lugar. Empero con las intensidades de las lluvias, sucedió lo contrario, ya que este parámetro disminuyó drásticamente con la altitud. Una variación semejante se observa en el coeficiente de escorrentía ya que en los pisos altitudinales más elevados (pajonales) se observan valores más pequeños que en las partes bajas de las cuencas hidrográficas (bosques y zonas urbanizadas). Todo ello permite suponer que las crecidas, originadas en las Laderas del Pichincha, son inferiores a las estimadas en estudios anteriores, donde se asumen intensidades semejantes o mayores a las que se producen en la ciudad.

Las mediciones, hechas durante un sólo período de lluvias, aún son insuficientes para dar conclusiones definitivas sobre la magnitud de las crecidas máximas, no obstante esos valores son bastante orientativos ya que el invierno pasado fue "húmedo" pues su período de retorno fue igual a cinco años, y además porque la lluvia que generó la máxima crecida (registrada el 30 de octubre de 1995) tiene un período de retorno igual a 10 años según los análisis expuestos en el presente informe.

Los resultados aquí expuestos, así como los obtenidos por las áreas de Edafología y Deslizamientos del Proyecto SISHILAD, facilitarán la toma de decisiones respecto a las medidas de protección que habrán de adoptarse en las Laderas del Pichincha. Esos resultados además, demuestran la necesidad de investigar sistemáticamente las peculiaridades de nuestro medio físico-geográfico, particularmente del páramo, donde no se puede aplicar en forma indiscriminada procedimientos de cálculo que han sido desarrollados para otros climas y otras condiciones.

El informe describe las mediciones y análisis efectuados sobre precipitaciones y crecidas en la zona y termina con la discusión de resultados y recomendaciones para los siguientes trabajos. El documento, de carácter informativo, está dirigido al personal técnico.

1. ANTECEDENTES

La ciudad de Quito, situada al pie del volcán Pichincha (altura media de 2800 msnm), está afectada por crecidas, deslizamientos de tierra y flujos de lodo que descienden de las laderas orientales del volcán que obstruyen el sistema de alcantarillado y causan daños a la población e infraestructura urbana. Para resolver estos problemas la Empresa Municipal de Alcantarillado y Agua Potable de Quito (EMAAP-Quito), con el apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) ha puesto en marcha el proyecto Protección de las Laderas del Pichincha que ha previsto construir obras de protección y mejorar así el funcionamiento de la red de alcantarillado.

Anteriormente a ello, en septiembre de 1994, la EMAAP-Quito junto con el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) y el Instituto Francés de Investigación Científica ORSTOM, inició el programa de investigación "Sistema de Pronóstico Hidrológico de las Laderas del Pichincha y Area Metropolitana de Quito" (SISHILAD), cuyo objetivo consiste en identificar los riesgos vinculados con los eventos hidrometeorológicos extremos a fin de reducir los daños que provocan.

Durante su primer año, el proyecto SISHILAD centró sus trabajos en la recopilación de datos sobre precipitaciones pluviales y caudales que se han registrado anteriormente en el área de Quito, así como en la construcción de su red de observaciones en dos cuencas experimentales: las Qdas. Rumihurcu (10,5 km²) y Rumipamba (6,5 km²). Durante el invierno del segundo año (de noviembre de 1995 a abril de 1996) se efectuaron las primeras mediciones, cuyos resultados luego de ser procesados permiten esbozar una descripción realista, aunque todavía preliminar, de las intensidades máximas de lluvias y los caudales en las Laderas del Pichincha.

2 . RED DE OBSERVACIONES Y MEDICIONES

2.1 Descripción de la Red

El proyecto SISHILAD en un inicio se dedicó básicamente a conformar el banco de datos sobre lluvias y caudales que han sido registrados en Quito y sus alrededores [13], así como a instalar la red de mediciones hidrometeorológicas en las Laderas del Pichincha [12]. Esta red, conformada por diez estaciones pluviográficas y cuatro limnigráficas, está ubicada en las cuencas hidrográficas de las Qdas. Rumihurcu y Rumipamba y ha sido diseñada con el objetivo de conocer la distribución espacial de las lluvias, especialmente la variación de sus intensidades en relación con la posición altimétrica del lugar. Esos datos, junto con los registros limnigráficos permitirán comprender el funcionamiento hidrológico de las laderas y calibrar el modelo hidrológico de parámetros distribuidos MERCEDES (C. Bouvier - ORSTOM) [4] para la simulación de crecidas.

En la figura No. 1 y cuadro No. 1 se presenta la ubicación, fecha de instalación y otros datos de las red estaciones. Los pluviómetros instalados tienen mecanismos de rollo o tambor y tienen un área de recepción de 400 cm².

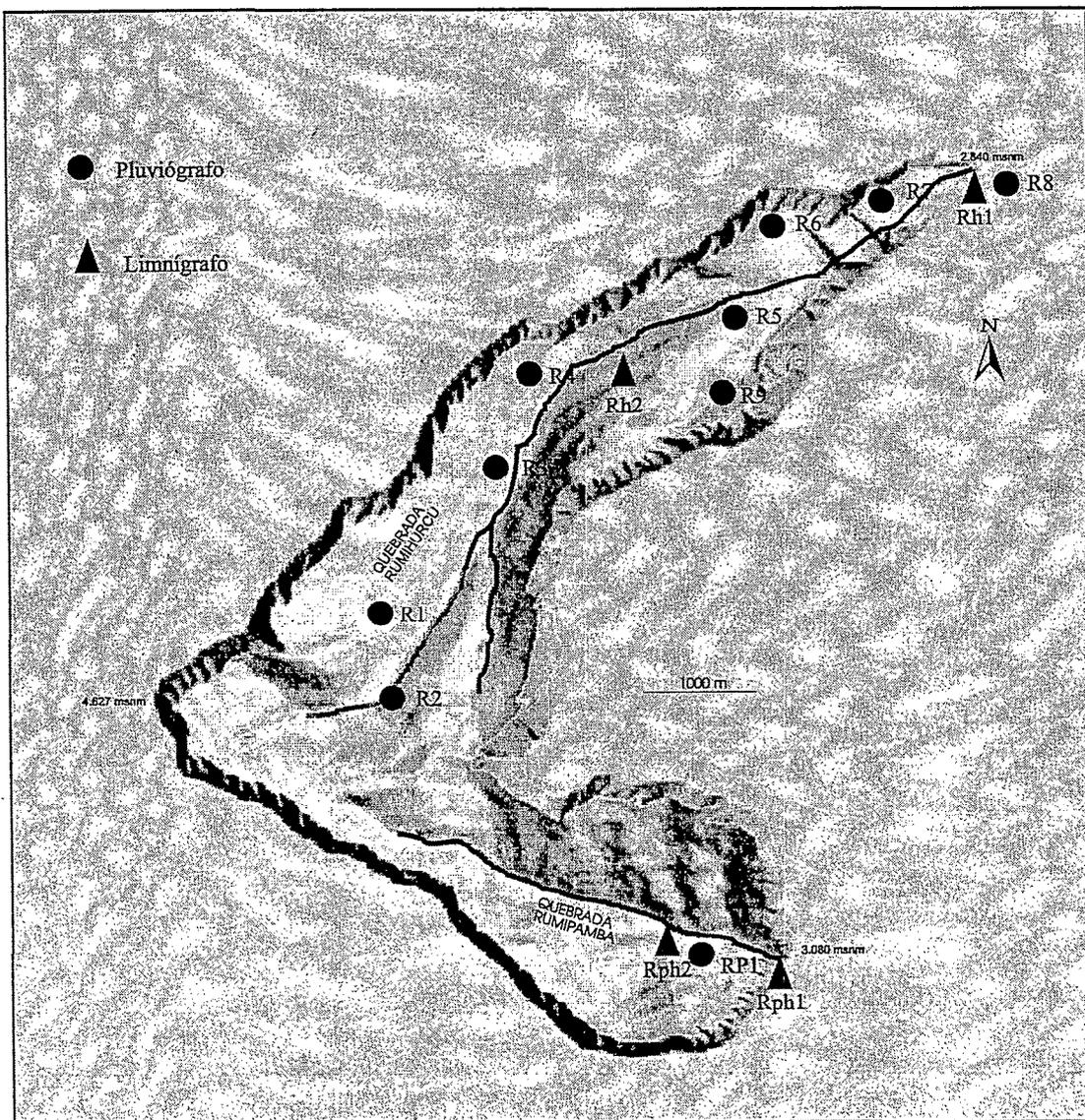


Fig. 1. Ubicación de las estaciones pluviográficas y limnimétricas en las Laderas del Pichincha.

NOMBRE	CUENCA DE LA Qda.	AREA APORTANTE	LATITUD	LONGITUD	ALTI-TUD	FECHA INS-TALACION
Pluviógrafos						
Rumihurcu 1 (R1)	Rumihurcu	-	00° 08' 55" S	78° 33' 10" W	4200 m	03/1995
Rumihurcu 2 (R2)	"	-	00° 09' 10" S	78° 32' 30" W	4010 m	03/1995
Rumihurcu 3 (R3)	"	-	00° 08' 30" S	78° 32' 35" W	3750 m	03/1995
Rumihurcu 4 (R4)	"	-	00° 07' 55" S	78° 32' 15" W	3501 m	03/1995
Rumihurcu 5 (R5)	"	-	00° 07' 50" S	78° 31' 34" W	3252 m	09/1995
Rumihurcu 6 (R6)	"	-	00° 07' 27" S	78° 31' 21" W	3120 m	09/1995
Rumihurcu 7 (R7)	"	-	00° 07' 20" S	78° 31' 02" W	3012 m	10/1995
Rumihurcu 8 (R8)	"	-	00° 07' 10" S	78° 30' 38" W	2920 m	09/1995
Rumihurcu 9 (R9)	"	-	00° 07' 50" S	78° 31' 34" W	3378 m	01/1996
Rumipamba (RP1)	Rumipamba	-	00° 10' 42" S	78° 32' 03" W	3341 m	11/1977
Limnógrafos						
Rumihurcu 1 (Rh1)	Rumihurcu	10,5 km ²	00° 07' 10" S	78° 30' 41" W	2917 m	06/1995
Rumihurcu 2 (Rh2)	"	6,5 km ²	00° 08' 07" S	78° 31' 52" W	3278 m	06/1995
Rumipamba 1 (Rph1)	Rumipamba	6,5 km ²	00° 10' 54" S	78° 30' 40" W	3012 m	11/1995
Rumipamba 2 (Rph2)	"	4,3 km ²	00° 10' 47" S	78° 32' 14" W	3332 m	11/1995

Cuadro 1 : Red de pluviógrafos y limnógrafos en las Laderas del Pichincha

Como se indica en el informe "Instalación de la Red Hidrometeorológica en las Cuencas de las Qdas. Rumihurcu y Rumipamba" [12], estas dos quebradas fueron seleccionadas en calidad de cuencas experimentales ya que además de ser las más grandes, tienen características tales que las mediciones allí hechas pueden ser extrapoladas a otras cuencas semejantes. Es así como ellas están ubicadas entre los 4.627 msnm (Ruco Pichincha) y los 2.900 msnm, y poseen una base rocosa de tipo andesítico, que está asociada a numerosas emisiones volcánicas del pasado. Sus vertientes, con formas glaciares y periglaciares muy pronunciadas, son muy irregulares y frecuentemente son interceptadas por pequeñas quebradas. Como característica relevante cabe destacar que los terrenos, ubicados en la parte media de las cuencas (entre los 3800 y 4000 msnm), tienen pendientes que oscilan entre el 30 y el 80 %. En ciertos lugares las paredes de las quebradas principales son verticales y conforman un verdadero cañón. Las partes bajas de las cuencas son conos de deyección (visible desde Quito en el caso de la Qda. Rumipamba) que parcialmente están cortados por los cauces de las quebradas.

En las cuencas se presentan dos grandes familias de suelos. Los primeros en general son suelos suaves formados sobre cenizas recientes y tobas volcánicas; los segundos son suelos endurecidos (cangahuas, cenizas volcánicas de más de 12.000 años). Se considera que las partes altas de las cuencas están cubiertas esencialmente por andosuelos mientras que en la parte inferior predominan los molisuelos.

En estas cuencas muy heterogéneas actualmente se pueden observar cinco grandes tipos de usos del suelo:

- Urbanización anárquica que se emplaza en el lugar donde existía el cinturón verde de Quito (bosque protector, entre los 2800 y 3000 msnm).
- Residuos del bosque de eucaliptos plantado hace unos cincuenta años (entre los 3000 y 3200 msnm), donde se abren paso la urbanización en la parte baja y los terrenos cultivados en la parte alta de pendientes muy fuertes.
- Zona de cultivo (patatas, habas, etc.) y pastizales entre los 3200 y 3600 msnm.
- Páramo usado como zona de pastoreo extensivo que se ubica entre los 3600 y 4400 msnm.
- Vegetación arbustiva de especies nativas que sobrevive junto a los cauces de las quebradas entre los 3.200 y 4.000 msnm.

Esta descripción concuerda plenamente con la cuenca de la Qda. Rumihurcu, pero en el caso de la Qda. Rumipamba se requieren algunas puntualizaciones. En efecto, allí el cono de deyección es muy

importante, su pendiente media es más importante, su dinámica geomorfológica es muy marcada y los afloramientos rocosos son numerosos. Se distingue también por el hecho de que la acción antrópica (desarrollo urbano y agricultura) es menos fuerte, el bosque protector casi no existe y las zonas cubiertas con vegetación nativa y pastos son extensas.

En este contexto físico - geográfico tan heterogéneo, las precipitaciones atmosféricas contribuyen a aumentar aún más la diversidad, ya que en las partes altas se producen nevadas, las nubes están en contacto directo con la vegetación, la frecuencia y duración de la lluvias son mayores que en Quito, etc. Esta es la razón por la cual los pluviógrafos están ubicados a unos 250 m de altitud, uno respecto a otro, mientras que las estaciones limnigráficas controlan los caudales que se generan en pisos altitudinales marcadamente diferenciados.

2.2 Mediciones en la Red

Gran parte de los recursos humanos y económicos del proyecto han estado dedicados a garantizar el buen funcionamiento de las estaciones, ya que cada semana se sustituyen las fajas o rollos pluviográficos y se mide la lámina total de lluvias precipitadas. El mantenimiento de las estaciones limnigráficas por su parte se realiza cada día ya que los sedimentos se acumulan rápidamente en los pozos de medición. A pesar de ello, los registros no son totalmente continuos por cuanto los instrumentos mecánicos de medición fallan con cierta frecuencia y porque las vías de acceso a las estaciones se destruyen con facilidad (cabe esperar que con la próxima adquisición de equipos automáticos estos inconvenientes sean superados en su mayoría), de todos modos se puede indicar que todas las estaciones funcionan simultáneamente a desde fines de octubre de 1995.

Otro grupo de mediciones ha estado vinculado con la realización de aforos de gasto líquido con molinete hidrométrico que permitan establecer la curva de descarga de cada estación limnigráfica, lo cual ha exigido que el personal del proyecto se mantenga en estado de alerta permanente (inclusive las noches y fines de semana). A pesar de ello no se dispone de suficientes mediciones en los picos de las crecidas ante todo porque en el invierno pasado no se produjeron eventos que copen la capacidad de las estaciones construidas. Es así por ejemplo, que en la estación Rumihurcu 1 (inferior) los aforos cubren sólo un rango de caudales comprendidos entre 5,81 y 0,043 m³/s (correspondientes a niveles de agua entre 0,48 y 0,03 m), y las velocidades del flujo son elevadas ya que llegan a 4,1 m/s (ver anexo No. 1). Esto implica que al producirse caudales más altos, las velocidades del agua superarán la capacidad de medición de los molinetes y se deberá realizar aforos por el método de la dilución o con flotadores. La curva de descarga obtenida para esta estación ha sido establecida y extrapolada en base a la fórmula de Chezy - Manning con un coeficiente de rugosidad variable (ver fig. No. 2) .

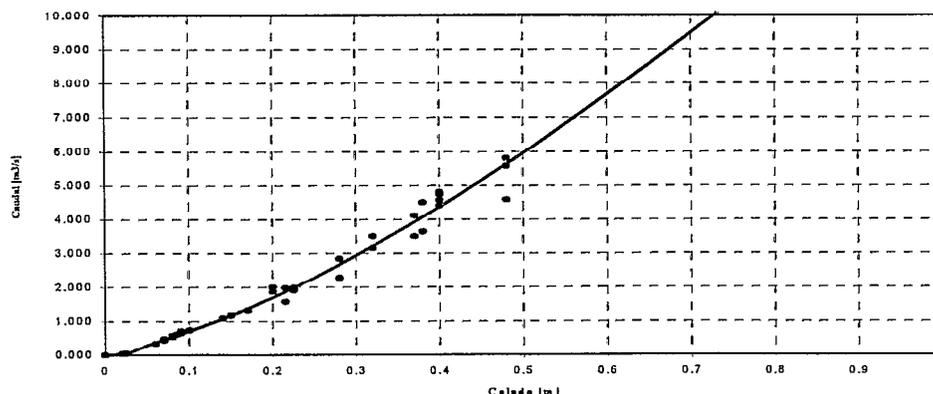


Fig. 2 Curva de descarga de la estación Rumihurcu 1 (inferior)

En el caso de la estación Rumihurcu 2 (superior) el número de aforos es pequeño por cuanto la accesibilidad al sitio es menor, no obstante las mediciones hechas han permitido establecer la curva de descarga en base a la fórmula de Belangé para vertederos de cresta ancha (ver anexo 1 y fig. 3).

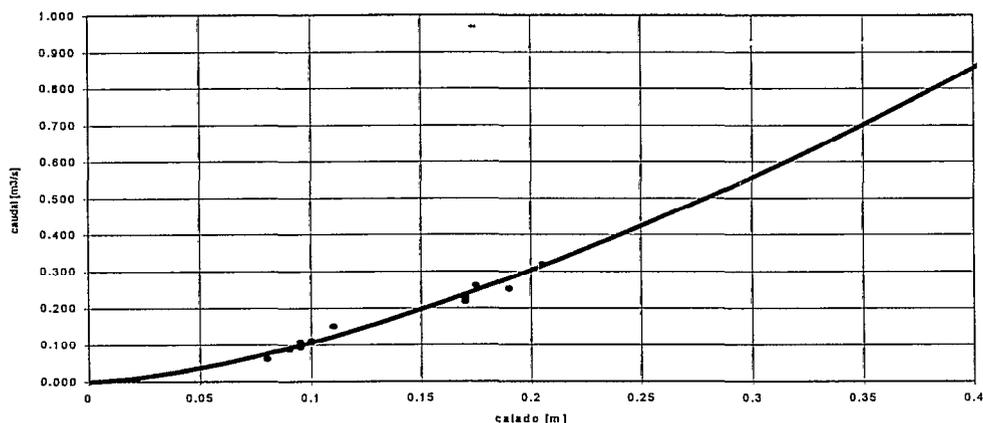


Fig. 3 Curva de descarga de la est. Rumihurcu 2 (superior)

El trabajo de las mediciones de campo culmina con la digitalización de los datos registrados e integración de los mismos al banco de datos del proyecto, para lo cual se utilizan los paquetes informáticos PLUVIOM, HYDROM y ATHYS, proporcionados por el Instituto ORSTOM [5 y 6].

Para concluir, cabe resumir las principales recomendaciones para los futuros trabajos de campo:

- Las dimensiones de las estaciones hidrológicas construidas, son suficientes para registrar grandes crecidas de rara frecuencia, pero no son adecuadas para medir las pequeñas crecidas y los caudales bajos; en consecuencia es necesario realizar modificaciones en las obras que mejoren la precisión en caudales bajos.
- Es necesario que los futuros instrumentos de medición a instalarse en las Laderas del Pichincha sean automáticos y digitales ya que ello mejorará la precisión con la cual se midan el tiempo (simultaneidad y precisión de las mediciones) y las intensidades de las lluvias. Además su operación y mantenimiento no requiere mucho personal, reduce el número de inspecciones a los sitios y el procesamiento de la información es ágil y confiable. Todo ello es importante en el presente caso por la mala calidad de las vías, la carencia de medios de transporte y el reducido personal que labora en el proyecto.
- Debido a que los resultados del proyecto serán utilizados en el cálculo de crecidas, es necesario realizar mediciones que esclarezcan los tiempos de tránsito y los tiempos de concentración de las crecidas que fluyen en las quebradas. Ello es imprescindible ya que la bibliografía no suministra suficiente información para el cálculo de estos parámetros cuando el cauce tiene pendientes tan altas como las existentes en las laderas.
- Considerando que las mediciones hechas por el Proyecto servirán no sólo para el cálculo de crecidas, sino también para el manejo futuro de las cuencas hidrográficas sería conveniente disponer de instrumentos que permitan medir las precipitaciones que no registran los pluviógrafos : granizo, nieve, rocío, escarcha, lluvias horizontales, etc.

3. PRECIPITACIONES

Los cálculos sobre precipitaciones que realizó el proyecto SISHILAD se iniciaron con el estudio de las lluvias que se han registrado en Quito y sectores aledaños. Ello permitió establecer las curvas Intensidad - Duración - Frecuencia de las principales estaciones [3] y la creación de un modelo matemático sobre el campo de precipitaciones diarias en la ciudad [7]. Esos estudios pusieron en relieve la gran heterogeneidad de las láminas totales e intensidades de lluvias en dirección Sur - Norte de la ciudad. La variación de esos parámetros en las Laderas del Pichincha, no pudo ser analizada por la falta de mediciones. Esta situación actualmente puede ser superada en forma parcial, ya que las mediciones hechas el pasado invierno, permiten esbozar una descripción preliminar de las precipitaciones en las Laderas.

Debido a que cerca de la red de estaciones del Proyecto SISHILAD se encuentra la estación DAC - Aeropuerto (la misma que dispone de más de 20 años de observaciones permanentes), a continuación se describen las principales características que han revelado sus datos a fin de que sirvan como punto de referencia para la comparación de los valores que se han observado en las Laderas.

3.1 Precipitaciones en la Est. DAC - Aeropuerto.

La estación Quito-Observatorio es la estación más conocida de Quito y sus datos han servido usualmente para decir que en la ciudad cada año se precipita en promedio una lámina total de 1.246 mm/año. No obstante a medida que se avanza hacia el norte la cantidad de precipitaciones se reduce de tal manera que en el Aeropuerto esa lámina desciende a 967,8 mm/año. Durante el año comprendido entre mayo de 1995 y abril de 1996, la cantidad total de precipitaciones que se registró en la estación DAC - Aeropuerto fue igual a 1143, 4 mm, lo cual es superior al valor promedio y nos permite concluir que el año pasado fue húmedo con un período de retorno de 5,33 años.

La conclusión anterior se corrobora también con el hecho de que las precipitaciones acaecidas entre noviembre de 1995 y abril de 1996 (período de observaciones simultáneas con las estaciones instaladas en las Laderas del Pichincha) tuvo un valor de 769,3 mm, lo cual supera en el 21,5 % a la cantidad de lluvia que en promedio se precipita durante esos meses. Los cálculos de probabilidades, realizados con la curva triparamétrica de Kritski y Menkel (resumidos en la fig. No. 4), indican que esos 769,3 mm tienen un período de retorno de 4,7 años.

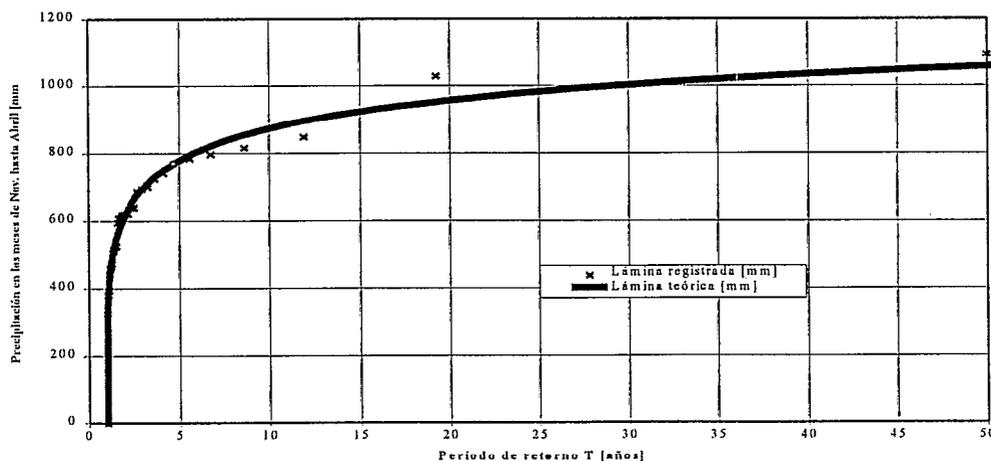


Fig. 4. Est. DAC - Aeropuerto. Lámina precipitada [mm] entre los meses de noviembre hasta abril, en dependencia de su período de retorno.

En lo referente a las principales características de las lluvias en la est. DAC - Aeropuerto se puede indicar que en el 50% de todas las lluvias registradas en el período 1973 - 1995, tienen una lámina inferior a 4,8 mm, una duración inferior a 55 minutos y una intensidad media inferior a 5,4 mm/h.

Esto equivale a decir que el 50 % de las lluvias prácticamente no provoca escorrentía superficial (si se toma en consideración las pérdidas por remojo y relleno de depresiones del terreno). En lo referente a la lámina promedio de la máxima lluvia de cada año, cabe indicar que ese valor es igual a 32 mm y que la máxima lámina con período de retorno de 50 años es igual a 55 mm.

Para el cálculo de crecidas en cuencas pequeñas, donde el tiempo de reacción es muy corto, se debe conocer no sólo la lámina total de agua que se ha precipitado durante la lluvia, sino también la mayor o menor intensidad con la cual se produjo la lluvia en pequeños intervalos de tiempo. Este tema fue tratado en un informe anterior [3], donde se demostró que en la estación DAC - Aeropuerto las intensidades en la gran mayoría de los casos son iguales al 80% de las intensidades que se producen en el sector de la estación Quito - Observatorio.

Actualmente el proyecto está trabajando en la definición de los hietogramas característicos de las lluvias máximas a fin de que puedan ser utilizados en los diseños. En la fig. 5 se presentan seis ejemplos de hietogramas cuyas intensidades son relevantes entre todos los registros de la estación DAC - Aeropuerto. Allí se puede observar la variedad de curvas "unimodales" y "multimodales" sobre cuya descripción analítica se está laborando.

HIETOGRAMAS TÍPICOS REGISTRADOS EN LA ESTACION DAC AEROPUERTO

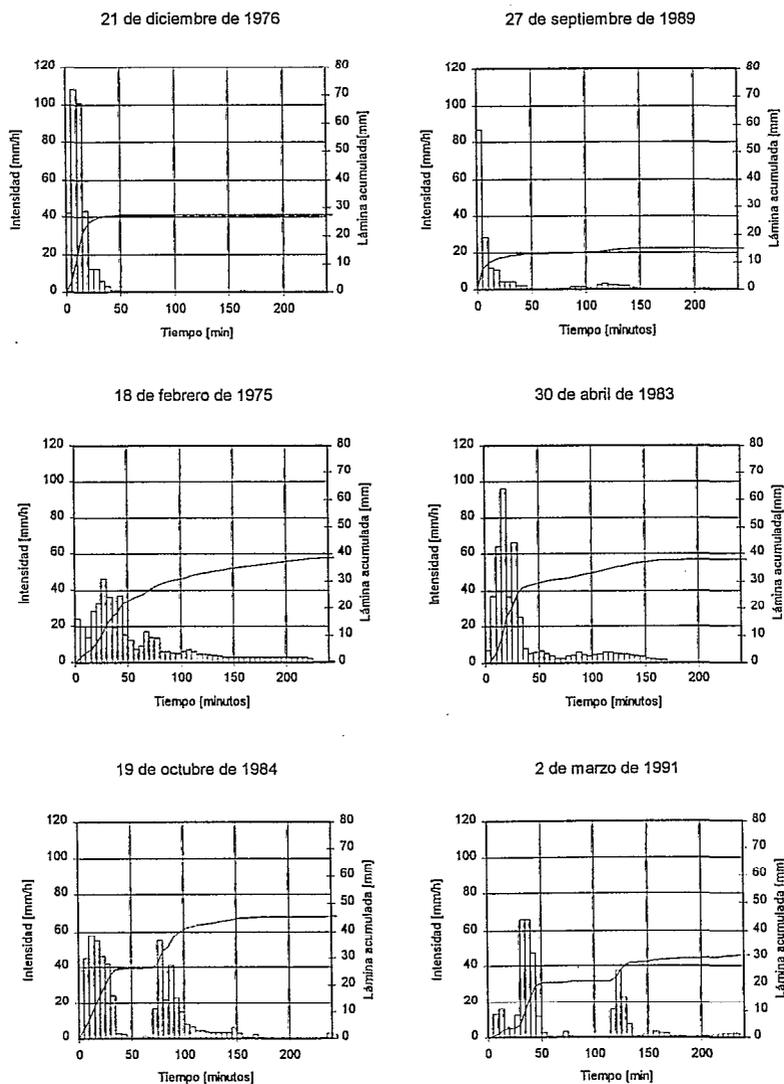


Fig. 5. Hietogramas típicos en la estación DAC - Aeropuerto

3.2 Anisotropía del Campo de Precipitaciones en las Laderas del Pichincha

Es conocido que en Quito la lámina de precipitación anual se reduce en dirección de sur a norte y que el coeficiente de correlación entre las precipitaciones diarias decrece a valores inferiores a 0,5 a apenas 5 km de distancia [4], todo lo cual indica que aquí las precipitaciones son muy heterogéneas. Los datos de la red pluviográfica, instalada en la quebrada Rumihurcu, han permitido realizar una primera estimación de tales cambios en una dirección transversal a la antes indicada. Como se puede observar en los cuadros 2 y 3, la correlación entre las precipitaciones diarias también disminuye (aunque en menor grado) a medida que aumenta la distancia entre las estaciones. Así se tiene que entre las estaciones más alejadas (R1 y DAC - Aeropuerto) el coeficiente de correlación desciende a 0,69 en unos 10 km de distancia.

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	DAC
R1	1,000	0,945	0,897	0,801	0,717	0,674	0,726	0,711	0,723	0,696
R2		1,000	0,913	0,809	0,736	0,710	0,763	0,730	0,751	0,726
R3			1,000	0,892	0,796	0,772	0,786	0,767	0,881	0,716
R4				1,000	0,863	0,808	0,813	0,767	0,778	0,699
R5					1,000	0,925	0,899	0,852	0,844	0,684
R6						1,000	0,933	0,900	0,817	0,668
R7							1,000	0,966	0,802	0,718
R8								1,000	0,759	0,682
R9									1,000	0,641
DAC										1,000

Cuadro 2. Matriz de correlación entre las precipitaciones diarias de las estaciones pluviográficas de la Qda. Rumihurcu entre abril/ 95 y abril/ 96 (días con lluvia y sin lluvia)

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	DAC
R1	1,000	0,944	0,896	0,799	0,710	0,667	0,719	0,705	0,703	0,693
R2		1,000	0,912	0,807	0,728	0,702	0,755	0,722	0,728	0,723
R3			1,000	0,891	0,790	0,766	0,780	0,761	0,870	0,713
R4				1,000	0,860	0,804	0,808	0,761	0,761	0,696
R5					1,000	0,923	0,896	0,849	0,833	0,678
R6						1,000	0,931	0,897	0,805	0,661
R7							1,000	0,965	0,786	0,711
R8								1,000	0,742	0,676
R9									1,000	0,618
DAC										1,000

Cuadro 3. Matriz de correlación entre precipitaciones diarias en las est. Rumihurcu entre abril/ 95 y abril/ 96 (sólo días con lluvia)

Estos resultados permiten suponer que a nivel de precipitaciones diarias, en las Laderas del Pichincha, existe cierta sincronización (simultaneidad) de las lluvias. Empero, a medida que se reduce el intervalo de tiempo analizado, el coeficiente de correlación disminuye drásticamente. Ello se constata en el siguiente cuadro que presenta los coeficientes de correlación entre las precipitaciones de las 38 lluvias causantes de las mayores crecidas del pasado invierno. Así se puede observar que las láminas precipitadas en esos eventos apenas tienen un coeficiente de correlación de 0,194 entre las estaciones R1 y DAC - Aeropuerto.

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	DAC
R1	1,000	0,851	0,780	0,460	0,415	0,275	0,339	0,304	0,915	0,194
R2		1,000	0,954	0,556	0,488	0,433	0,509	0,439	0,850	0,283
R3			1,000	0,859	0,764	0,661	0,785	0,684	0,783	0,401
R4				1,000	0,781	0,681	0,721	0,644	0,714	0,396
R5					1,000	0,890	0,800	0,747	0,817	0,553
R6						1,000	0,902	0,873	0,602	0,583
R7							1,000	0,957	0,541	0,594
R8								1,000	0,452	0,590
R9									1,000	0,518
DAC										1,000

Cuadro 4. Matriz de correlación entre las precipitaciones de los 38 episodios más importantes en la Qda. Rumihurcu (abril/ 95 - abril/ 96)

Estos resultados sobre la variación de la lámina de precipitaciones en función de la altura, y la anisotropía del campo de precipitaciones son semejantes a los obtenidos en base a los 16 años de mediciones pluviográficas en la est. La Chorrera (que también se encuentra en las Laderas del Pichincha, pero al sur de la ciudad) y en la est. Izobamba, lo cual permite suponer que los resultados obtenidos en la red de la Qda. Rumihurcu pueden extrapolarse a las Laderas del Pichincha en general. No obstante lo indicado, no se puede excluir la posibilidad de que estos resultados se deban a peculiaridades del presente período de observaciones. Para elucidar en forma definitiva este aspecto son indispensables mediciones más prolongadas.

3.3 Precipitaciones Mensuales en la Red de las Laderas del Pichincha.

Si bien es cierto que las estaciones instaladas en la Qda. Rumihurcu aún no tienen un año completo de observaciones simultáneas, se puede ya concluir que la lámina anual de precipitaciones crece a medida que aumenta la posición altimétrica del lugar. Esto se puede comprobar al comparar las láminas precipitadas en la estación R4 (3501 msnm) y DAC - Aeropuerto (2794 msnm) durante el período comprendido entre mayo de 1995 y abril de 1996. El incremento de las precipitaciones entre esos dos puntos es igual al 7 % de lo registrado en la estación inferior (ver cuadro 5).

MES	ESTACIÓN Y COTA [msnm]									
	R 1 4200	R 2 4010	R 3 3750	R 4 3501	R 5 3252	R 6 3120	R 7 3012	R 8 2920	R 9 3378	DAC 2794
abril-95			229,5	134,5						91,2
mayo-95			139,5	124,0						104,9
junio-95		78,0	50,5	35,5						25,9
julio-95			67,5	52,0						30,1
agosto-95			64,5	55,0						44,4
septiembre-95	21,5	28,5	24,0	16,5						22,7
octubre-95	177,0	213,0	193,0	156,5						146,1
noviembre-95	154,5	183,0	145,0	124,0	124,5		120,0	110,5		151,9
diciembre-95	77,0	90,0		49,0	31,5	32,5		28,5		77,3
enero-96	138,0	130,0		102,0	86,0	86,0		69,0		96,6
febrero-96	118,0	117,0	102,5	72,5	67,5	61,1		52,0		77,2
marzo-96	218,5	212,0	227,0	212,5	209,5	233,9	212,5	163,5	243,3	189,5
abril-96	291,5	275,0		223,0	195,0	201,5	192,0	147,5		176,8
Suma V/95-IV/96				1222,5						1143,4

Cuadro 5. Láminas de precipitación mensual [mm] en la red de las Laderas del Pichincha

Este análisis se puede repetir al considerar el período cuando la mayoría de las estaciones ya estuvo funcionando (de noviembre de 1995 hasta abril de 1996, es decir el período de lluvias en el cual se precipitan los 2/3 del total anual), ya que al rellenar mediante correlaciones los pocos datos faltantes,

se obtiene que en la parte alta de las cuencas las precipitaciones superan en el 25% lo que se ha precipitado en la est. DAC - Aeropuerto (ver fig. No. 6).

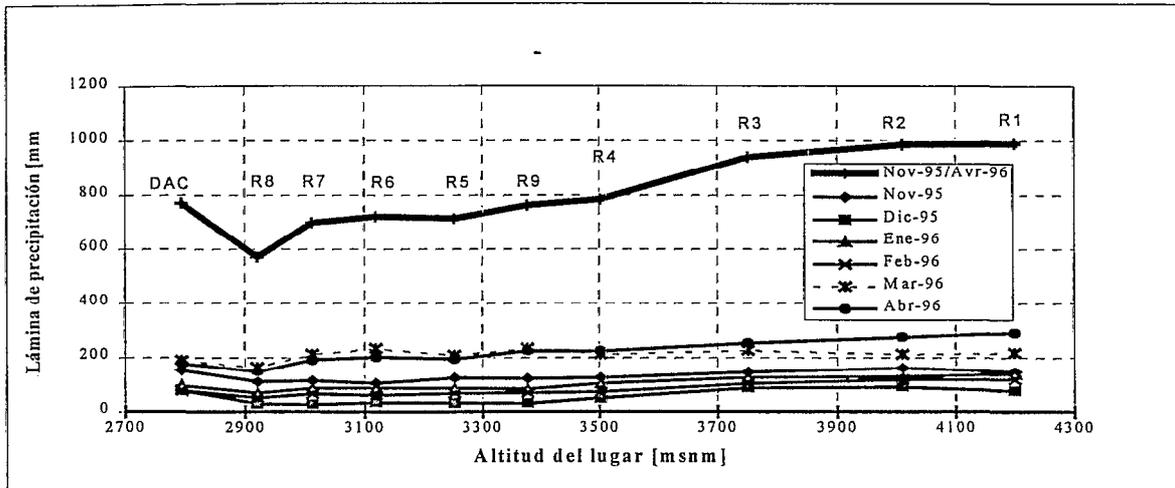


Fig. 6. Variación de las precipitaciones mensuales en función de la altura del lugar

Se puede considerar que estos resultados son bastante representativos ya que son una corroboración más de las conclusiones hechas en diversas investigaciones sobre las precipitaciones en el Ecuador [1,9 y 11], donde se demuestran que en la región interandina las láminas de precipitaciones multianuales aumentan con la altura del lugar.

3.4 Variación de las Intensidades de Lluvia con la Altitud del Lugar en las Laderas

Diversos estudios de precipitaciones hechos en el país [10 y 14] indican que las intensidades de las lluvias son mayores en aquellos lugares donde se producen mayores precipitaciones anuales. En consecuencia con ello, y debido a que en las Laderas llueve más, se debería esperar que allí las intensidades sean mayores que en la ciudad de Quito. Empero las mediciones efectuadas durante la última estación de lluvias indican lo contrario, y corroboran las conclusiones hechas en nuestro estudio de las intensidades [3], donde se señala que en las estaciones Izobamba y La Chorrera (ubicadas sobre los 3000 msnm) las intensidades son menores que en la estación Quito - Observatorio. La reducción de las intensidades con la altura es drástica como se puede observar en la fig. 7, donde constan las intensidades máximas (en intervalos de tiempo comprendidos entre 10 y 180 min) de las máximos eventos registrados entre noviembre de 1995 y abril de 1996 (los valores representados en la figura corresponden a las intensidades que han sido superadas sólo el 5% de casos, es decir que el 95% de casos restantes son inferiores).

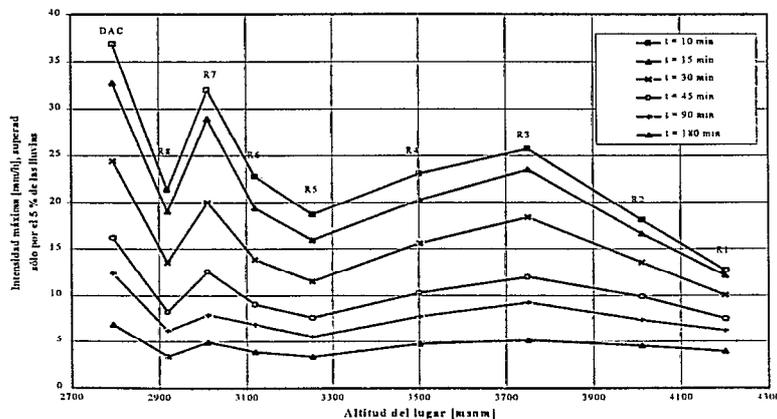


Fig. 7. Período entre noviembre de 1995 y abril de 1996. Variación de las intensidades máximas de diversos intervalos de tiempo (t = 10, 15, ..., 180 min), en función de la altura del lugar.

Así se puede observar, por ejemplo, que la intensidad máxima en diez minutos desciende desde 37 mm/h en la estación DAC - Aeropuerto hasta 12,5 mm/h en la estación R1 (la más alta), lo cual equivale a una reducción que desciende hasta el 34 %. El gráfico demuestra también que en el contexto de esa reducción general de intensidades, existe un piso altitudinal (ubicado entre las estaciones R3 y R4) donde existe un máximo local. Es menester señalar que los valores bajos que registra la estación R8 crean la impresión de que en la estación R7 existiría otro máximo local. Ello no necesariamente debe ser así ya que los datos de la estación R8 presentan anomalías (ver también la fig. 6) que pueden explicarse por el sitio mismo donde está ubicada.

Cabe añadir que tanto la reducción general de las intensidades, así como la presencia del máximo local, se puede observar en todos los gráficos semejantes al descrito, pero que difieren en el porcentaje de superación (del 50 % al 1%). Si bien es cierto que las intensidades son menores en las Laderas, también es verdad que allí las lluvias son más prolongadas y más numerosas que en la ciudad, ello explica el aumento de las precipitaciones anuales con la altura. Las razones por las cuales las lluvias son más largas en cotas altas deben relacionarse ante todo con el descenso de la temperatura que allí se observa y con los puntos de donde provienen las masas de aire que producen las lluvias.

3.5 Precipitaciones e Intensidades de Lluvia de la Mayor Crecida Registrada en la Red

Las intensidades que provocaron las mayores crecidas durante el invierno pasado en la Qda. Rumihurcu presentan muchas similitudes con lo descrito en el numeral anterior, aunque tienen peculiaridades propias de cada evento. Así se tiene que el máximo caudal, registrado el 30 de octubre de 1995, fue provocado por una lluvia que tuvo dos máximos en las cotas 3012 y 3501 msnm (est. R7 y R4, fig. 8), lluvia que además conserva la tendencia general de la reducción de la intensidad máxima a medida que aumenta la altura del lugar. En esa ocasión, la estación DAC - Aeropuerto tuvo una intensidad menor que lo habitual.

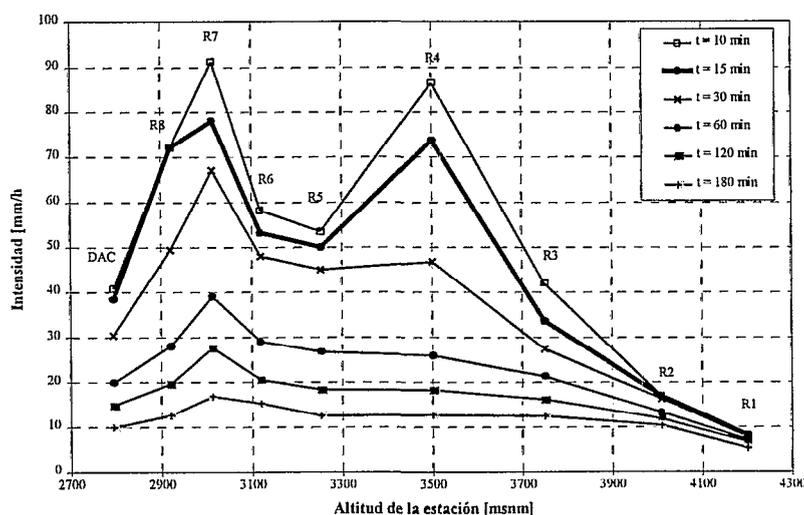


Fig. 8. Precipitaciones del 30 de octubre de 1995. Variación de las intensidades máximas en función de la altitud del lugar en las Laderas del Pichincha (t = intervalo de tiempo, min)

Durante ese evento se destaca la lluvia registrada en la estación R7 (3012 msnm), lluvia cuyas intensidades máximas en intervalos de tiempo comprendidos entre 20 y 60 minutos, superan intensidades que en la est. DAC - Aeropuerto tienen períodos de retorno iguales a 50 años. Ello se

puede observar claramente en la siguiente fig. 9, en cuyo fondo constan las curvas Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF) de la estación DAC.

También merece destacarse la lluvia registrada en la estación R4 (3501 msnm), ya que ella se mantiene entre los 10 y 5 años de período de retorno (al igual que las estaciones R5, R6 y R8). En las otras estaciones (R1, R2, R3 y DAC) las intensidades registradas tienen un período de retorno inferior a los 2 años.

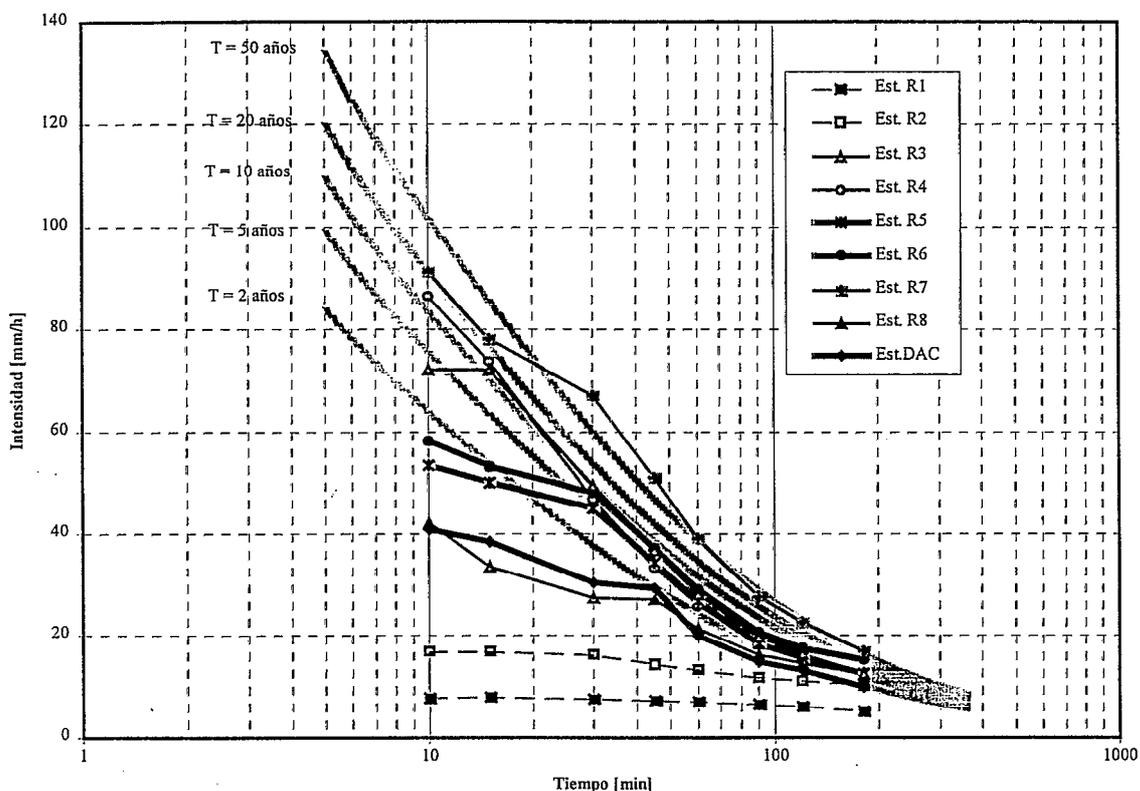


Fig. 9. Precipitaciones del 30 de octubre de 1995. Comparación de las intensidades registradas en las Laderas del Pichincha y las Curvas IDF de la est. DAC - Aeropuerto (T = período de retorno).

Estos resultados pueden ser explicados mediante dos hipótesis diferentes. Según la primera, se tendría que en ciertos sitios de las Laderas las Intensidades de las lluvias son mayores que en la est. DAC - Aeropuerto. Esta suposición está en contradicción con los análisis de las frecuencias con las cuales se produjeron altas intensidades en las Laderas durante todo el invierno pasado (ver numeral 3.4 del presente informe).

Esa hipótesis es refutada también por el hecho de que las curvas IDF de las estaciones Izobamba y Chorrera (ubicadas en cotas más altas respecto a la ciudad) indican que las intensidades en cotas altas son más bajas que en la ciudad. Finalmente se puede añadir que en cierto modo habría contradicción con las indicaciones de los vecinos de la Qda. Rumihurcu, quienes en años anteriores no han observado crecidas de gran magnitud como las indicadas en estudios de diversos autores [5, 6].

Según la segunda hipótesis, que está libre de las objeciones indicadas anteriormente, se tendría que la lluvia del 30 de octubre de 1995 fue una lluvia de rara frecuencia, lo cual está de acuerdo con el hecho de que el año pasado fue "húmedo" (ver numeral 3.3). Las altas intensidades registradas en las estaciones R4 y R7 pueden ser explicadas mediante la posible presencia de núcleos o epicentros locales de la lluvia. Esto nos reconduce al problema de la anisotropía del campo de precipitaciones y la imposibilidad (?) de utilizar modelos globales en el cálculo de las crecidas que se forman en las Laderas del Pichincha.

Por todo lo expuesto se puede adoptar como válida la segunda hipótesis, y en consecuencia se debe estimar el período de retorno de las precipitaciones registradas en cada estación de acuerdo con las curvas IDF, propias de cada piso altitudinal. Calcular tales curvas en el momento actual, al tener sólo de un año de observaciones, es imposible. Por tal razón, y en una primera aproximación, el período de retorno ha sido estimado en base a una transición matemática entre el período de retorno (T) de las lluvias máximas anuales en la est. DAC, la frecuencia que tendrían estas lluvias (F_T) según las mediciones del invierno pasado, y las lluvias que en cada estación tendrían una frecuencia igual a F_T .

Los resultados obtenidos con este procedimiento constan en el cuadro 6, donde se puede observar que la lluvia registrada el 30 de octubre de 1995 en las diversas estaciones tendría períodos de retorno comprendido entre 1,6 y más de 50 años, aún cuando la lámina promedio precipitada en la cuenca tendría un período de retorno de unos 10 años.

ESTACION	DURACION DE LA LLUVIA [min]	LAMINA TOTAL [mm]	PERIODO DE RETORNO T [años] DE LA LAMINA TOTAL
R1	434	18.7	1.4
R2	403	38.9	20.0
R3	230	41.2	12.0
R4	224	38.6	3.5
R5	212	38.6	30.0
R6	220	47.3	13.0
R7	201	51.2	> 50.0
R8	224	38.6	15.0
DAC	169	30.0	3.5

Cuadro No. 6. Período de retorno de las láminas precipitadas durante la lluvia del 30 de octubre de 1995 en las estaciones pluviográficas de las Laderas.

4. CRECIDAS

4.1 Mayores Crecidas Registradas en la Red

Como se ha indicado anteriormente la temporada de lluvias, comprendida entre noviembre de 1995 y mayo de 1996 fue "húmeda" con un período de retorno igual a 5 años; en consecuencia, se debían producir un suficiente número de crecidas. A pesar de ello, las crecidas que tuvieron lugar en la mayor cuenca hidrográfica de las Laderas (estación inferior No. 1 en la Qda. Rumihurcu, cerca del ingreso a la red de alcantarillado) no fueron ni numerosas ni sus caudales picos fueron tan altos como se esperaba. Ello demuestra el cuadro 7, donde constan las seis más grandes crecidas del invierno pasado. Los caudales máximos alcanzados durante esos eventos fueron iguales sólo a 8,97; 6,90; 6,77; 2,66; 2,27 y 2,25 m³/s. Las restantes crecidas tuvieron caudales picos comprendidos entre 1,81 y 0,52 m³/s (ver anexo 2). Es necesario señalar que durante los eventos indicados, el ingreso del agua a la red de alcantarillado no tuvo inconvenientes ya que no hubo desbordamientos ni problemas de esa índole.

En contraposición a ello se puede subrayar que hubo otras numerosas ocasiones cuando lluvias, que se produjeron únicamente sobre la ciudad, provocaron fallas del sistema de alcantarillado. Esto fue constatado durante la campaña de aforos que realizó el proyecto, puesto que ese trabajo exige el permanecer en las estaciones hidrológicas mientras se desarrolla la crecida. Se puede citar inclusive el caso particular de una lluvia intensa en la ciudad, la cual provocó que cerca del cruce de las avenidas Mariana de Jesús y Amazonas el agua lluvia salga a presión de los sumideros y fluya en forma masiva por la calzada; mientras ello sucedía en la ciudad, en la estación de la Qda. Rumipamba (ubicada 3,5 km aguas arriba del sitio indicado) no sucedió nada particular. Lo expuesto demuestra claramente que la mayoría de los problemas de flujo de agua en la red de alcantarillado no se deben a los caudales formados en las Laderas del Pichincha, sino a problemas propios de la red y lluvias intensas sobre el área urbana.

La lectura del cuadro 7 permite concluir que las crecidas se producen en horas de la tarde con la particularidad de que son frecuentes aquellos casos cuando el pico de la crecida se produce primero en la estación inferior y después en la estación superior. Además el tiempo que transcurre entre el inicio de la crecida y el momento cuando se produce el caudal máximo, es mucho mayor en la estación superior que en la estación inferior, inclusive hay casos cuando la crecida se produce sólo en la estación inferior mientras que en la estación superior no se produce crecida alguna (ver anexo 2 las filas sin información en la estación Rumihurco 2).

Estas particularidades pueden explicarse por la dirección en la cual avanza la tormenta: de aguas abajo hacia aguas arriba, así como por el hecho de que en las partes altas la vegetación y los suelos retienen mejor las precipitaciones, mientras que en la parte baja existen zonas impermeabilizadas por la urbanización. Se debe mencionar también que las precipitaciones en general se reducen con la altura y que en la parte alta de la cuenca las pendientes del terreno son menores que en las partes media y baja.

Otro aspecto que llama la atención en los resultados consiste en que al producirse lluvias con láminas de precipitación semejantes, se obtiene una gran diversidad de volúmenes de agua escurridos. Ello se debe ante todo a la acción combinada de la distribución espacial de las lluvias y la distribución de los tipos y usos de suelos. El área de edafología del proyecto SISHILAD esta elaborando un informe detallado sobre la influencia de los suelos y la vegetación en la infiltración y otras pérdidas de las lluvias.

Cabe señalar que, como es lógico, en la mayoría de los casos el caudal al final de la crecida es mayor en la estación inferior que en la estación superior. Sin embargo hay casos cuando la situación es

inversa, lo cual se explica por el hecho de que entre las dos estaciones hidrológicas existen obras de captación que extraen agua del cauce.

De lo indicado anteriormente se debe inferir que uno de los temas que requieren especial atención consiste en la determinación de los verdaderos tiempos de tránsito y de concentración de crecidas en las quebradas de las Laderas del Pichincha. Es evidente que tiempos tan largos como los obtenidos en la estación superior (de 70 a 175 minutos en las seis mayores crecidas) no pueden ser obtenidos con la fórmula de Kirpich que emplean usualmente en los diseños.

El hecho de que con frecuencia el pico de la crecida se presenta en la salida de la quebrada, aún antes de que se haya producido en la estación superior, demuestra la necesidad de utilizar modelos de parámetros distribuidos y no modelos globales que no pueden considerar la variación de las precipitaciones en el espacio, así como la diversidad de los suelos y sus usos a lo largo y ancho de la cuenca hidrográfica.

	MEDICIONES DE LAS SEIS PRINCIPALES CRECIDAS					
	ACAECIDAS EL [día/mes/año] :					
	30/10/1995	09/03/1996	16/03/1996	23/03/1996	26/04/1996	06/05/1996
Precipitación [mm] en la estación :						
Rumihurcu 1	18,7	6,6	6,2	10,5	10,6	28,0
Rumihurcu 2	38,9	6,9	4,7	14,1	10,2	23,1
Rumihurcu 3	41,2	5,8	8,8	21,5	-----	-----
Rumihurcu 4	38,6	7,8	17,1	24,1	5,6	13,9
Rumihurcu 5	38,6	9,5	28,4	15,2	5,5	7,7
Rumihurcu 6	47,3	19,6	37,7	15,3	9,8	3,0
Rumihurcu 7	51,2	21,1	24,7	16,9	12,1	13,0
Rumihurcu 8	38,6	13,4	21,0	12,0	11,5	0,0
Rumihurcu 9	-----	4,4	15,6	17,5	-----	-----
Aeropuerto DAC	30,0	4,2	13,0	6,3	10,7	3,6
Est. Limn. Rumihurcu 2 (superior)						
Inicio de la crecida [hora :min]	19 :10	21 :35	12 :00	15 :25	15 :10	13 :50
Tiempo del caudal máximo [hora :min]	22 :30	22 :45	15 :30	20 :40	18 :05	17 :45
Caudal al inicio de la crecida [m ³ /s]	0,038	0,159	0,198	0,219	0,259	0,281
Caudal máximo [m ³ /s]	1,580	0,200	0,220	0,330	0,330	1,770
Caudal al final de la crecida [m ³ /s]	0,298	0,166	0,200	0,228	0,287	0,365
Tiempo entre inicio y pico de crecida [min]	175	80	125	150	70	175
Lámina precipitada en la cuenca [mm]	36,1	8,3	13	16,5	9	17,6
Volumen de la crecida [m ³]	15126	412	2635	2175	2806	26794
Est. Limn. Rumihurcu 1 (inferior)						
Inicio de la crecida [hora :min]	18 :55	21 :35	12 :00	15 :00	15 :45	14 :00
Tiempo del caudal máximo [hora :min]	19 :30	22 :25	16 :10	18 :20	15 :45	18 :25
Caudal al inicio de la crecida [m ³ /s]	0,082	0,467	0,291	0,354	0,291	0,548
Caudal máximo [m ³ /s]	8,970	2,250	6,900	6,770	2,270	2,660
Caudal al final de la crecida [m ³ /s]	0,244	0,383	0,383	0,605	0,427	0,636
Tiempo entre inicio y pico de crecida [min]	35	50	65	185	30	155
Lámina precipitada en la cuenca [mm]	37,8	9,3	16	16,5	8,9	15
Volumen de la crecida [m ³]	(50000)*	4111	20302	33865	12198	39079

* Valor estimado por cuanto los sedimentos acumulados en el pozo de medición impidieron el registro de la cola de la crecida.

Cuadro 7. Mayores crecidas registradas en la est. hidrológica Rumihurcu 1 entre Oct./95 y May/96

4.2 Coeficiente de Escorrentía de las Crecidas Registradas

Los resultados obtenidos al calcular el coeficiente de escorrentía de las crecidas registradas el invierno pasado son los siguientes:

CUENCA	COEFICIENTE DE ESCORRENTIA
Cuenca alta, controlada por la estación R2 (superior)	Entre 0,7 y 20,3 %
Cuenca baja, comprendida entre las estaciones R2 y R1 (inferior)	Entre 11,9 y 58,2 %
Toda la cuenca de la Qda. Rumihurcu, controlada por la estación R2.	Entre 4,1 y 24,1 %

Cuadro 9. Coeficientes de escorrentía obtenidos en las crecidas de la Qda. Rumihurcu

El análisis de la variación del coeficiente de escorrentía a lo largo de la estación invernal indica que en la cuenca alta existe una tendencia a aumentar, lo cual es lógico si se considera que los suelos pueden saturarse. Se ha intentado también establecer una relación entre los coeficientes de escorrentía y las lluvias durante los 1, 2, 3, 5 y 7 días antecedentes a la crecida, sin que haya sido posible evidenciar resultados satisfactorios. No obstante se puede señalar que en la cuenca alta se perfila una cierta relación entre la suma de los 5 y 7 días antecedentes. Para cuenca inferior, donde existen urbanizaciones, son determinantes las precipitaciones de los dos días precedentes a la crecida.

En relación al rendimiento específico de las cuencas se puede indicar que para la cuenca alta, la mayor crecida (registrada el 6 de marzo de 1996) registró un valor igual a $0,2 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$. Para toda la cuenca en su globalidad, el máximo rendimiento alcanzado fue de $0,8 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ y tuvo lugar el 30 de octubre de 1995.

En general se puede concluir que los coeficientes de escorrentía registrados son inusualmente bajos, particularmente en la cuenca alta. La explicación de ello debe estar en las pendientes del terreno, pero ante todo en las propiedades de la vegetación y los suelos, lo cual es el tema de investigación del área de edafología del Proyecto SISHILAD. El detalle de esos trabajos y sus resultados serán presentados en el próximo informe.

4.3 Crecida del 30 de Octubre de 1995 en la Qda Rumihurcu.

La cuenca aportante de la estación 1 en la Qda. Rumihurcu (2917 msnm, ubicada unos 200 m aguas arriba del ingreso a la red de alcantarillado), tiene una orientación que va desde el sudoeste al noreste, su cauce principal tiene una longitud aproximada de 8,1 km y la cuenca aportante tiene un área de $10,5 \text{ km}^2$. El punto más alto se encuentra a 4689 msnm y la pendiente general de la cuenca es igual al 22%. Desde el punto de vista físico, la cuenca presenta tres zonas perfectamente definidas: una zona superior cubierta por pajonales y otra vegetación de páramo, una zona intermedia con bosques y sectores dedicados al cultivo, y una zona baja urbanizada. Como se ha indicado anteriormente estas características influyen decisivamente en la formación de las crecidas.

Como se puede observar en el cuadro 7 y el anexo 2, la mayor crecida, observada el año pasado, tuvo lugar el 30 de octubre de 1995 (a partir de las 18 h 55 min), cuando se precipitó una lámina de lluvia promedio en la cuenca de 37,8 mm y cuyo caudal máximo alcanzó los $8,97 \text{ m}^3/\text{s}$ (valor promedio de 5 minutos ubicados en el entorno del caudal pico).

Es evidente que con los pocos datos hidrométricos que se dispone actualmente es difícil asociar esta crecida con algún período de retorno. Sin embargo se puede considerar que la crecida tuvo un

período de retorno del orden de 10 años ya que la lluvia que la provocó tuvo un período de retorno de por lo menos 10 años (ver numeral 3.5), y porque unas 18 horas antes de ese evento tuvo lugar una crecida antecedente que entró en la lista de las 38 crecidas del año (ver anexo 2), lo cual indica que el suelo no estaba seco. Se debe señalar también que el coeficiente de escorrentía durante ese evento fue cercano al 13 %, mientras que en las otras crecidas se obtuvo valores comprendidos entre 4 y 24 %.

El hecho de que a la crecida del 30 de octubre se le pueda asignar un período de retorno de 10 años permite concluir que los caudales máximos de 38,8; 42,02 y 25,31 m³/s calculados anteriormente (ver cuadro 8), para la Qda. Rumihurcu en la entrada a la red de alcantarillado, son mucho mayores que los 8,97 m³/s definidos en base a las mediciones del invierno pasado.

AUTOR	Período de retorno 10 años		Período de retorno 20 años		Período de retorno 50 años		Fuente
	Precipitación [mm]	Caudal Máx. [m ³ /s]	Precipitación [mm]	Caudal Máx. [m ³ /s]	Precipitación [mm]	Caudal Máx. [m ³ /s]	
CAMP DRESSER	----	<u>38.8</u>	----	----	----	----	[8], cuadros 4 y 6
COYNE ET BELIER	----	----	----	----	----	90,0	[8], cuadros 4 y 6
CONSORCIO EGESCO	35,61	<u>42.02</u>	39,57	51,53	43,86	66,74	[8], cuadros 4 y 6
ZEVALLOS O.	33,3	<u>25.31</u>	----	----	42,3	42,10	[15], cuadros 3, 5 y 8

Cuadro 8. Estimaciones hechas por diversos autores sobre los caudales máximos en la Qda. Rumihurcu

Las razones básicas por las cuales existen diferencias tan elocuentes radican en que los autores, al hacer los cálculos, no disponían de mediciones de campo y tuvieron que asumir muchas hipótesis (uniformidad de las precipitaciones en toda la cuenca, bajos tiempos de concentración, hietogramas de lluvia simplificados, diversos valores de pérdidas en infiltración y remojo, etc.), y además porque han utilizado modelos globales para la generación de crecidas.

5. DISCUSION DE RESULTADOS

Las mediciones de lluvias y caudales, realizadas durante el invierno pasado en la cuenca de la Qda. Rumihurcu, demuestran que el campo de las precipitaciones atmosféricas en el área de Quito es muy variable, lo cual dificulta la generalización de valores de láminas e intensidades obtenidas en un punto hacia áreas más extensas. No obstante se puede indicar que según esas mediciones, también en las laderas orientales del Pichincha la precipitación media anual crece a medida que aumenta la posición altimétrica del lugar, lo cual sucede en el interior del callejón interandino como lo demuestran anteriores investigaciones [2, 11].

Las mediciones del invierno pasado indican que en lo referente a las intensidades de lluvia la situación es inversa, ya que ellas disminuyen a medida que se asciende por las laderas orientales del Pichincha. Ello está en plena concordancia con los resultados del anterior informe del Proyecto [3], el mismo que se basó en el análisis de registros pluviográficos en las estaciones Izobamba y La Chorrera (observaciones permanentes durante 30 y 16 años respectivamente). La razón por la cual la precipitación es mayor a pesar de que las intensidades son bajas, radica principalmente en el hecho de que en las alturas las lluvias son más prolongadas y se presentan en mayor número.

El hecho de que en el páramo del Pichincha las intensidades sean menores que en la ciudad conduce a la conclusión de que los caudales calculados en estudios anteriores están sobrevalorados, ya que en esos estudios se asumía que en la altura las intensidades son mayores o iguales a las observadas en Quito. Pero esa sobrevaloración se debe también a otros dos factores adicionales :

- la gran capacidad de retención de agua por parte de la vegetación y los suelos del páramo;
- los altos tiempos que consume el recorrido de las crecidas a lo largo del cauce.

La retención del agua por los pajonales y sus suelos, que ha resultado inusualmente elevada, ha sido comprobada a escala de las cuencas experimentales (bajos coeficientes de escorrentía), y mediante simulaciones físicas de lluvia "in situ" y parcelas experimentales que realizó el área de edafología del proyecto SISHILAD.

Las crecidas calculadas anteriormente están sobrevaloradas porque consideran que el tiempo de concentración es muy corto (aproximadamente 40 minutos para toda la Qda. Rumihurcu según la fórmula de Kirpich y otras semejantes), el cual exige la selección de una intensidad de lluvia muy alta. Las mediciones de las crecidas efectuadas el año pasado indican que ese tiempo puede ser 2, 3. .. veces mayor si el pico desciende de las partes altas de la cuenca (valores del orden de 40 minutos pueden observarse cuando la lluvia se ha centrado en la parte baja de la cuenca o a ascendido por ella, pero en esos casos el caudal pico está definido no por toda la cuenca, sino sólo por su parte baja).

Lo expuesto hasta aquí demuestra la necesidad imperiosa que tiene el país de desarrollar investigaciones experimentales que permitan elucidar cuáles son los criterios, datos, procedimientos y modelos de cálculo que deben ser aplicadas en nuestro medio. El uso indiscriminado de métodos desarrollados para otros contextos físico-geográficos y otros climas sólo puede conducir a resultados falsos en la gran mayoría de los casos.

Si bien es cierto que los resultados obtenidos durante el invierno pasado permiten responder a algunas de las preguntas planteadas al proyecto, no por ello se puede considerar que se tienen ya todas las soluciones. Es así por ejemplo que cabe preguntarse cuáles son los límites dentro de los cuales varía cada año la reducción de las intensidades que se ha observado en el páramo (34% respecto a los valores de la est. DAC - Aeropuerto en un año que ha sido "húmedo" con un período de retorno de cinco años).

Surgen también nuevas preguntas, como las relacionadas sobre cuál es el mejor procedimiento que debe emplearse para el cálculo de los tiempos de concentración, sobre el efecto que tiene el granizo, nieve y otras formas de precipitación (rocío, escarcha, etc.) en la formación de crecidas, sobre la presencia de núcleos localizados de lluvia y su efecto en los caudales, etc.

Las siguientes labores del proyecto estarán dedicadas a la resolución de estas incógnitas, así como a la consecución de las otras metas planteadas: cálculo de crecidas en el tejido urbano y periurbano, etc. Sería conveniente analizar la reducción de la escorrentía superficial en la ciudad mediante el uso de materiales permeables en la construcción de aceras y calzadas de la urbe.

Convendría también estudiar temas relacionados con la restauración de aquellas quebradas, cuyos cursos de agua han sido modificados por rellenos y cruces de caminos, así como la planificación de parques en la ciudad donde exista la posibilidad de acumular aguas pluviales para su posterior infiltración. Finalmente se deberá trabajar en la definición de aquellos sitios a los cuales deberá dirigirse la población en caso de desastres.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Las mediciones de lluvias y caudales que se realizaron el invierno pasado en las Laderas del Pichincha permiten concluir que las crecidas utilizadas en el diseño de embalses para la protección de las Laderas y el alcantarillado de la ciudad, están sobredimensionadas en más de dos o tres veces. En consecuencia, es imprescindible una reformulación de las medidas que se deben adoptar para proteger a la población y el alcantarillado de los riesgos generados en el Pichincha.
2. El problema de las inundaciones en la ciudad de Quito no será resuelto aún en el caso de que todas las crecidas de las quebradas fuesen retenidas en alguna parte y no ingresasen en absoluto a la red de alcantarillado. Ello lo demuestran las observaciones del invierno pasado y del invierno actual ya que la mayoría de inundaciones se producen cuando llueve intensamente sobre la ciudad, aunque en las laderas no llueva o no se forme crecida alguna.
3. El mayor riesgo originado en el Pichincha no son las crecidas que se producen en sus quebradas sino los aluviones que se forman por la acumulación de basura en los cauces y la urbanización de las Laderas. De lo expuesto se debe concluir que los embalses previstos en las quebradas no reducirán de modo significativo las sobrecargas al sistema de alcantarillado, sino que más bien constituirán una nueva amenaza para la ciudad en caso estos fallen.
4. El segundo riesgo por su magnitud que se genera en el Pichincha consiste en la erosión regresiva y transversal de los cauces, lo cual socava las paredes y gargantas de la quebrada. Un desprendimiento de materiales que obstruya el cauce dará lugar a un flujo de lodo. Después de ello vienen los riesgos de movimientos masivos de materiales en las vertientes, temblores, acumulación de cenizas volcánicas, erupciones, etc.
5. De acuerdo con el riesgo que tienen los fenómenos antes descritos, se recomienda que al reformular las medidas de protección de las laderas se de prioridad a la limpieza y buen estado de los cursos de agua (arreglo de los cauces, terraceo de taludes peligrosos, muros de contención, anclajes, gunitado, etc.), a la retención del avance de las urbanizaciones y al manejo óptimo de las cuencas hidrográficas, transformándolas en parques bien cuidados para la población desde la cota 3600 msnm hasta la cumbre.
6. De acuerdo con lo recomendado anteriormente, el sistema de monitoreo y alerta de crecidas e inundaciones que se había previsto para las Laderas del Pichincha también debe ser reformulado, ya que al no existir grandes riesgos de crecidas no tiene sentido invertir allí todos los recursos. Por lo expuesto se recomienda que una parte de los instrumentos de mediciones hidrometeorológicos sean ubicados a lo largo y ancho del Distrito Metropolitano, particularmente en aquellos otros lugares donde también existen riesgos significativos de aluviones y deslizamiento.
7. Debido a que los resultados del proyecto serán utilizados en cálculos de crecidas, y considerando la importancia que tiene la definición de los tiempos de concentración, es necesario realizar mediciones sobre los verdaderos valores que tienen estos parámetros en ríos con alta pendiente. Para ello será necesario el uso de equipos de aforos por dilución.
8. Considerando que el granizo puede jugar un papel importante en la formación de algunas crecidas, y debido a que éste es la causa de obstrucciones del alcantarillado, así como de la destrucción de cubiertas de edificios, se recomienda la ejecución de mediciones y estudios particulares sobre el tema.

BIBLIOGRAFIA

1. Ayabaca E. 1984. La Escorrentía de los Ríos Noroccidentales del Ecuador, en el Boletín de la Universidad M. Lomonosov, Serie Geográfica N° 3. Moscú, Rusia.
2. Ayabaca E. 1984. La Escorrentía del Territorio Ecuatoriano. Tesis Ph.D. Universidad M. Lomonosov. Moscú, Rusia.
3. Ayabaca E., Cruz F., Gutiérrez C. 1996. Curvas Intensidad - Duración - Frecuencia de Principales Estaciones Pluviográficas de Quito (Informe Preliminar). EMAAP- Quito, INAMHI, ORSTOM. Quito-Ecuador.
4. Bouvier C.1994. MERCEDES. Maillage Élémentaire Régulier Carré pour l'Etude Des Ecoulements Superficiels. Montpellier - Francia
5. Boyer J., Crespy A., Dieulin C., Guiscafre J., L'Hote T., Raous P. 1994. PLUVIOM 2.1 Logiciel de gestion de donnes pluviométriques. Montpellier - Francia.
6. Boyer J., Cochonneau G., Dieulin C. 1994. HYDROM 3.1 Gestión et traitement de données hydrométriques. Montpellier -Francia
7. Cantens T., 1995. Génération de Champs de Pluie Zone Métropolitaine de Quito - Equateur. Institut des Sciences de L'Ingénieur de Montpellier. Francia.
8. EGESCO, 1994. Estudios Definitivos del Control de Escurrimiento en las Laderas del Pichincha. EMAAP-Q. Quito - Ecuador.
9. Girard G., Lamachere A., Vélezi.1985. Aquifère de Quito. Modèle Mathématique de Gestion. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris. Francia
10. INAMHI, 1980. Estudio de Intensidades, Segunda Parte. Quito, Ecuador
11. Nouvelot J., Le Goulven P., Pourrut P. 1996. Análisis Estadístico y Regionalización de las Precipitaciones en el Ecuador, en el libro El Agua en el Ecuador. ORSTOM, Quito - Ecuador.
12. Perrin J., Fournier R., Hoorelbecke R. 1996. Instalación de la Red Hidrometeorológica en las Cuencas de las Qdas.Rumihurcu y Rumipamba. EMAAP-Quito, INAMHI, ORSTOM. Quito, Ecuador.
13. Perrin J., Rosero S. C et al.. 1996 Inventario de Datos Pluviográficos y Limnigráficos del Proyecto Acuífero de Quito (1981 - 1985) EMAAP-Quito, INAMHI, ORSTOM. Quito, Ecuador
14. Rodríguez L. 1992. Cálculo de Intensidades de Lluvia para el Diseño de Obras de Drenaje, Revista del Colegio de Ingenieros Civiles de Pichincha. Quito - Ecuador.
15. Zevallos O. 1995. Estudios Hidrológicos Complementarios y Areas de Afectación por Flujos de Lodos y Escombros (Informe Final). BID. Quito - Ecuador

ANEXO N° 1.

Aforos de gastos líquidos en la estación Rumihurcu 1 (inferior)

H [m]	Q [m³/s]	V [m/s]	H [m]	Q [m³/s]	V [m/s]	H [m]	Q [m³/s]	V [m/s]
0,48	5,81	4,1	0,23	1,995	3,0	0,08	0,581	2,5
0,48	5,58	3,9	0,22	1,564	2,5	0,07	0,454	2,2
0,48	4,59	3,2	0,22	1,982	3,1	0,07	0,439	2,1
0,40	4,57	3,9	0,20	2,006	3,4	0,07	0,458	2,2
0,40	4,80	4,1	0,20	1,870	3,2	0,07	0,456	2,2
0,40	4,41	3,7	0,17	1,329	2,7	0,07	0,440	2,1
0,40	4,73	4,0	0,17	1,329	2,7	0,07	0,477	2,3
0,38	3,63	3,2	0,15	1,173	2,7	0,07	0,458	2,2
0,38	4,50	4,0	0,14	1,094	2,6	0,07	0,469	2,3
0,37	3,49	3,2	0,10	0,740	2,5	0,07	0,469	2,3
0,37	4,11	3,8	0,09	0,709	2,7	0,06	0,342	1,9
0,32	3,49	3,7	0,09	0,704	2,7	0,06	0,340	1,9
0,32	3,15	3,3	0,09	0,653	2,5	0,03	0,049	0,7
0,28	2,84	3,4	0,09	0,617	2,5	0,03	0,044	0,6
0,28	2,28	2,8	0,09	0,622	2,5	0,03	0,042	0,6
0,23	1,933	2,9	0,08	0,543	2,3	0,03	0,040	0,5
0,23	1,902	2,9	0,08	0,569	2,4	0,02	0,043	0,7
0,23	1,964	3,0	0,08	0,564	2,4	-	-	-

La fórmula de la curva de descarga de la est. Rumihurcu 1 es: $Q = \frac{\sqrt{s}}{n} \left(\frac{A^5}{P_m^2} \right)^{1/3}$,

donde : Q = caudal [m³/s],
 A = área transversal del flujo [m²],
 P_m = perímetro mojado [m],
 s = pendiente del cauce,
 H = profundidad del agua [m], y

n el coeficiente de rugosidad que varía en función de H: $n = 2,2 \cdot 10^{-2} - \frac{1,2 \cdot 10^{-3}}{H} + \frac{3,1 \cdot 10^{-5}}{H^2}$

Aforos de gastos líquidos en la estación Rumihurcu 2 (superior)

H [m]	Q [m³/s]	V [m/s]	H [m]	Q [m³/s]	V [m/s]
0,21	0,319	1,2	0,10	0,112	0,8
0,19	0,252	1,0	0,10	0,104	0,8
0,18	0,260	1,1	0,10	0,094	0,7
0,17	0,226	1,0	0,10	0,109	0,8
0,17	0,218	0,9	0,10	0,098	0,8
0,17	0,232	1,0	0,09	0,088	0,7
0,11	0,151	1,0	0,08	0,062	0,6

Cuadro 3. Aforos en la estación Rumihurcu 2 (superior)

La curva teórica de descarga que mejor concuerda con los aforos de la estación Rumihurcu 2 (superior), cuya obra es un vertedero de cresta ancha, se basa en la fórmula de Belangé :

$$Q = mB \sqrt{2g \left(H + \alpha \frac{V^2}{2g} \right)^3}$$

donde : el coeficiente m tiene un valor igual a 0,36 ;
 el coeficiente α es igual a 1,1 ;
 B es el ancho del canal ;
 g es la aceleración de la gravedad ; y
 V es la velocidad media del flujo que se calcula mediante iteraciones.

VALORES DE LA CURVA DE DESCARG DE LA EST. RUMIHURCU 1 (inferior)

Altura H [m]	Caudal Q [m ³ /s]	Velocid. V [m/s]	Altura H [m]	Caudal Q [m ³ /s]	Velocid. V [m/s]	Altura H [m]	Caudal Q [m ³ /s]	Velocid. V [m/s]	Altura H [m]	Caudal Q [m ³ /s]	Velocid. V [m/s]
0,00	0,000	0,00	0,50	5,962	4,04	1,00	15,427	5,23	1,50	26,343	5,95
0,01	0,001	0,03	0,51	6,128	4,07	1,01	15,635	5,25	1,51	26,571	5,96
0,02	0,017	0,29	0,52	6,296	4,10	1,02	15,843	5,27	1,52	26,799	5,98
0,03	0,081	0,91	0,53	6,464	4,13	1,03	16,051	5,28	1,53	27,027	5,99
0,04	0,186	1,57	0,54	6,634	4,16	1,04	16,260	5,30	1,54	27,255	6,00
0,05	0,291	1,97	0,55	6,805	4,19	1,05	16,470	5,32	1,55	27,484	6,01
0,06	0,383	2,16	0,56	6,978	4,22	1,06	16,680	5,33	1,56	27,713	6,02
0,07	0,467	2,26	0,57	7,151	4,25	1,07	16,891	5,35	1,57	27,942	6,03
0,08	0,548	2,32	0,58	7,325	4,28	1,08	17,102	5,37	1,58	28,171	6,04
0,09	0,629	2,37	0,59	7,501	4,31	1,09	17,313	5,38	1,59	28,401	6,05
0,10	0,712	2,41	0,60	7,678	4,34	1,10	17,525	5,40	1,60	28,631	6,07
0,11	0,797	2,46	0,61	7,855	4,37	1,11	17,738	5,42	1,61	28,861	6,08
0,12	0,886	2,50	0,62	8,034	4,39	1,12	17,951	5,43	1,62	29,092	6,09
0,13	0,977	2,55	0,63	8,213	4,42	1,13	18,165	5,45	1,63	29,322	6,10
0,14	1,071	2,59	0,64	8,394	4,45	1,14	18,379	5,46	1,64	29,553	6,11
0,15	1,168	2,64	0,65	8,575	4,47	1,15	18,593	5,48	1,65	29,785	6,12
0,16	1,268	2,69	0,66	8,758	4,50	1,16	18,808	5,50	1,66	30,016	6,13
0,17	1,371	2,73	0,67	8,941	4,52	1,17	19,023	5,51	1,67	30,248	6,14
0,18	1,477	2,78	0,68	9,126	4,55	1,18	19,239	5,53	1,68	30,480	6,15
0,19	1,585	2,83	0,69	9,311	4,57	1,19	19,455	5,54	1,69	30,712	6,16
0,20	1,696	2,88	0,70	9,497	4,60	1,20	19,672	5,56	1,70	30,945	6,17
0,21	1,810	2,92	0,71	9,684	4,62	1,21	19,889	5,57	1,71	31,178	6,18
0,22	1,926	2,97	0,72	9,872	4,65	1,22	20,106	5,59	1,72	31,410	6,19
0,23	2,044	3,01	0,73	10,060	4,67	1,23	20,324	5,60	1,73	31,644	6,20
0,24	2,165	3,06	0,74	10,250	4,70	1,24	20,542	5,62	1,74	31,877	6,21
0,25	2,288	3,10	0,75	10,440	4,72	1,25	20,761	5,63	1,75	32,111	6,22
0,26	2,413	3,15	0,76	10,631	4,74	1,26	20,980	5,64	1,76	32,345	6,23
0,27	2,541	3,19	0,77	10,823	4,76	1,27	21,199	5,66	1,77	32,579	6,24
0,28	2,670	3,23	0,78	11,016	4,79	1,28	21,419	5,67	1,78	32,813	6,25
0,29	2,802	3,28	0,79	11,209	4,81	1,29	21,639	5,69	1,79	33,048	6,26
0,30	2,936	3,32	0,80	11,403	4,83	1,30	21,860	5,70	1,80	33,282	6,27
0,31	3,071	3,36	0,81	11,598	4,85	1,31	22,081	5,71	1,81	33,517	6,28
0,32	3,209	3,40	0,82	11,794	4,88	1,32	22,302	5,73	1,82	33,753	6,29
0,33	3,348	3,44	0,83	11,990	4,90	1,33	22,524	5,74	1,83	33,988	6,30
0,34	3,489	3,48	0,84	12,187	4,92	1,34	22,746	5,75	1,84	34,224	6,31
0,35	3,632	3,52	0,85	12,385	4,94	1,35	22,968	5,77	1,85	34,459	6,31
0,36	3,777	3,56	0,86	12,583	4,96	1,36	23,191	5,78	1,86	34,695	6,32
0,37	3,923	3,59	0,87	12,782	4,98	1,37	23,414	5,79	1,87	34,932	6,33
0,38	4,071	3,63	0,88	12,982	5,00	1,38	23,637	5,81	1,88	35,168	6,34
0,39	4,220	3,67	0,89	13,183	5,02	1,39	23,861	5,82	1,89	35,405	6,35
0,40	4,371	3,70	0,90	13,384	5,04	1,40	24,085	5,83	1,90	35,641	6,36
0,41	4,524	3,74	0,91	13,585	5,06	1,41	24,309	5,84	1,91	35,878	6,37
0,42	4,678	3,78	0,92	13,787	5,08	1,42	24,534	5,86	1,92	36,116	6,38
0,43	4,834	3,81	0,93	13,990	5,10	1,43	24,759	5,87	1,93	36,353	6,39
0,44	4,991	3,84	0,94	14,194	5,12	1,44	24,985	5,88	1,94	36,591	6,39
0,45	5,149	3,88	0,95	14,398	5,14	1,45	25,210	5,89	1,95	36,828	6,40
0,46	5,309	3,91	0,96	14,603	5,16	1,46	25,436	5,91	1,96	37,066	6,41
0,47	5,470	3,95	0,97	14,808	5,17	1,47	25,663	5,92	1,97	37,304	6,42
0,48	5,633	3,98	0,98	15,014	5,19	1,48	25,889	5,93	1,98	37,543	6,43
0,49	5,797	4,01	0,99	15,220	5,21	1,49	26,116	5,94	1,99	37,781	6,44

VALORES DE LA CURVA DE DESCARG DE LA EST. RUMIHURCU 2 (superior)

Altura H [m]	Caudal Q [m ³ /s]	Velocidad V [m/s]	Altura H [m]	Caudal Q [m ³ /s]	Velocidad V [m/s]	Altura H [m]	Caudal Q [m ³ /s]	Velocidad V [m/s]
0,00	0,000	0,00	0,25	0,424	1,26	0,50	1,198	1,78
0,01	0,003	0,25	0,26	0,449	1,28	0,51	1,235	1,79
0,02	0,010	0,36	0,27	0,476	1,30	0,52	1,271	1,81
0,03	0,018	0,43	0,28	0,502	1,33	0,53	1,308	1,83
0,04	0,027	0,50	0,29	0,529	1,35	0,54	1,345	1,85
0,05	0,038	0,56	0,30	0,557	1,38	0,55	1,383	1,86
0,06	0,050	0,62	0,31	0,585	1,40	0,56	1,420	1,88
0,07	0,063	0,66	0,32	0,614	1,42	0,57	1,459	1,90
0,08	0,077	0,71	0,33	0,643	1,44	0,58	1,497	1,91
0,09	0,092	0,75	0,34	0,672	1,46	0,59	1,536	1,93
0,10	0,107	0,79	0,35	0,702	1,49	0,60	1,575	1,94
0,11	0,124	0,83	0,36	0,732	1,51	0,61	1,615	1,96
0,12	0,141	0,87	0,37	0,763	1,53	0,62	1,655	1,98
0,13	0,159	0,91	0,38	0,794	1,55	0,63	1,695	1,99
0,14	0,178	0,94	0,39	0,826	1,57	0,64	1,735	2,01
0,15	0,197	0,97	0,40	0,857	1,59	0,65	1,776	2,02
0,16	0,217	1,00	0,41	0,890	1,61	0,66	1,817	2,04
0,17	0,238	1,04	0,42	0,923	1,63	0,67	1,859	2,06
0,18	0,259	1,07	0,43	0,956	1,65	0,68	1,901	2,07
0,19	0,281	1,09	0,44	0,989	1,67	0,69	1,943	2,09
0,20	0,303	1,12	0,45	1,023	1,68	-	-	-
0,21	0,326	1,15	0,46	1,057	1,70	-	-	-
0,22	0,350	1,18	0,47	1,092	1,72	-	-	-
0,23	0,374	1,20	0,48	1,127	1,74	-	-	-
0,24	0,399	1,23	0,49	1,163	1,76	-	-	-
0,25	0,424	1,26	0,50	1,198	1,78	-	-	-

ANEXO 2. Registro de Crecidas en la Qda. Rumihurcu entre Octubre de 1995 y Mayo de 1996

No	EST. LIMNIGRAFICA RUMIHURCU 1 (inferior)							EST. LIMNIGRAFICA RUMIHURCU 2 (superior)								
	Tiempo de inicio [d/m/año h:min]	Caudal Q			Ts [min]	Pm [mm]	Vol. es- currido [m ³]	Tiempo del Q. máximo [d/m/año h:min]	Tiempo de inicio [d/m/año h:min]	Caudal Q			Ts [min]	Pm [mm]	Vol. es- currido [m ³]	Tiempo del Q. máximo [d/m/año h:min]
		Inicio [l/s]	Fin [l/s]	Max [m ³ /s]						Inicio [l/s]	Fin [l/s]	Max [m ³ /s]				
1	29/10/1995 23:30	81	81	0,75	60	9,3	2779,60	30/10/1995 00:10	30/10/1995 00:45	38	92	0,12	85	10,2	304,44	30/10/1995 02:00
2	30/10/1995 18:55	82	244	8,97	35	37,8	(50000)	30/10/1995 19:30	30/10/1995 19:10	38	298	1,58	175	36,1	15126,17	30/10/1995 22:30
3	04/11/1995 18:00	82	183	1,39	40	12,7	13694,85	04/11/1995 18:20	04/11/1995 18:15	50	84	0,24	95	13,7	3388,94	04/11/1995 20:05
4	10/11/1995 22:35	81	383	1,31	90	17,6	7780,50	11/11/1995 00:20	10/11/1995 22:10	63	141	0,14	280	17,3	216,47	11/11/1995 02:10
5	12/11/1995 05:40	81	184	0,69	25	1,3	4438,75	12/11/1995 06:05								
6	12/11/1995 13:55	82	186	1,42	25	2,8	2507,50	12/11/1995 14:20	12/11/1995 03:50	107	100	0,12	10	2,6	14,21	12/11/1995 14:05
7	17/11/1995 16:50	81	272	1,33	35	15,3	13879,18	17/11/1995 17:25	17/11/1995 15:00	74	106	0,18	190	16	1799,94	17/11/1995 19:20
8	22/11/1995 02:40	186	282	0,85	50	5,8	6357,79	22/11/1995 03:20	22/11/1995 00:00	123	141	0,14	85	6	4640,10	22/11/1995 00:00
9	05/02/1996 01:00	85	96	0,59	45	1,5	3060,04	05/02/1996 01:45								
10	05/02/1996 15:10	81	156	0,52	45	4,6	6234,77	05/02/1996 19:25	05/02/1996 14:00	135	159	0,16	115	5,5	120,60	05/02/1996 16:10
11	02/03/1996 16:30	81	173	0,66	30	8,4	5427,39	02/03/1996 17:00	02/03/1996 16:25	124	150	0,18	110	8,4	1063,62	02/03/1996 19:10
12	05/03/1996 02:00	165	207	0,94	230	7,6	2032,35	05/03/1996 07:00								
13	08/03/1996 02:05	383	548	0,95	30	10,1	1352,70	08/03/1996 02:35	08/03/1996 02:10	107	178	0,20	120	10,3	521,70	08/03/1996 03:50
14	08/03/1996 18:05	467	536	0,79	50	4,1	2538,45	08/03/1996 18:55	08/03/1996 16:25	159	171	0,31	100	4,8	2455,77	08/03/1996 18:45
15	09/03/1996 21:35	467	383	2,25	50	9,3	4111,20	09/03/1996 22:25	09/03/1996 21:35	159	166	0,20	80	8,3	412,35	09/03/1996 22:45
16	12/03/1996 21:20	186	414	0,99	80	11	12194,09	12/03/1996 21:40	12/03/1996 21:15	141	221	0,35	75	12	3730,75	12/03/1996 23:15
17	14/03/1996 22:05	372	388	1,10	215	24,8	15265,97	15/03/1996 00:25	14/03/1996 23:25	238	231	0,45	385	24	6104,59	15/03/1996 08:20
18	15/03/1996 15:55	383	376	0,74	35	2,1	559,65	15/03/1996 16:30								
19	16/03/1996 12:00	291	383	6,90	65	16	20301,60	16/03/1996 16:10	16/03/1996 12:00	198	200	0,22	125	13	2634,60	16/03/1996 15:30
20	21/03/1996 12:45	291	291	1,63	30	4,7	2603,70	21/03/1996 13:15								
21	22/03/1996 02:15	291	467	0,80	50	9,4	2530,80	22/03/1996 03:00	22/03/1996 01:10	238	259	0,28	70	9,4	290,00	22/03/1996 02:05
22	23/03/1996 15:00	354	605	6,77	185	16,5	33865,39	23/03/1996 18:20	23/03/1996 15:25	219	228	0,33	150	16,5	2174,78	23/03/1996 20:40
23	05/04/1996 14:50	81	276	0,55	60	12,4	7543,39	05/04/1996 15:35	05/04/1996 14:45	124	157	0,24	150	13	1242,45	05/04/1996 20:15
24	09/04/1996 06:45	186	150	0,63	35	10,4	1556,33	09/04/1996 07:20	09/04/1996 04:15	124	152	0,18	105	9,9	2608,02	09/04/1996 09:55
25	09/04/1996 14:15	83	283	1,14	95	10,3	17321,89	09/04/1996 14:45	09/04/1996 13:30	141	166	0,24	135	10	2644,38	09/04/1996 16:45
26	13/04/1996 20:45	186	445	1,48	120	14,5	22421,72	13/04/1996 21:40	13/04/1996 21:50	159	178	0,35	140	14,5	1822,80	14/04/1996 00:20
27	14/04/1996 15:45	291	488	1,81	160	23,2	38130,67	14/04/1996 16:30	14/04/1996 14:50	126	159	0,40	345	23,2	5699,70	14/04/1996 17:20
28	15/04/1996 17:05	291	383	1,26	120	13,4	15477,30	15/04/1996 19:00	15/04/1996 16:00	171	187	0,76	125	13,9	7647,45	15/04/1996 18:10
29	17/04/1996 01:00	276	291	0,80	135	5,6	2198,55	17/04/1996 05:05	17/04/1996 04:20	159	159	0,18	85	4,9	160,80	17/04/1996 05:45
30	19/04/1996 15:15	291	383	0,80	75	6,9	3027,90	19/04/1996 18:20	19/04/1996 13:40	259	281	0,33	75	7,3	5533,31	19/04/1996 15:15
31	24/04/1996 00:00	332	383	0,71	45	7,5	1926,75	24/04/1996 00:50	24/04/1996 00:00	304	325	0,35	135	7,2	2010,55	24/04/1996 04:30
32	24/04/1996 13:30	383	479	1,37	130	15,3	22960,45	24/04/1996 15:35	24/04/1996 12:35	281	324	0,86	165	16,7	13470,67	24/04/1996 14:40
33	25/04/1996 14:00	383	467	1,70	45	9,1	3917,10	25/04/1996 15:10	25/04/1996 14:05	238	281	0,33	70	9	757,05	25/04/1996 15:35
34	26/04/1996 15:45	291	427	2,27	30	8,9	12198,22	26/04/1996 15:45	26/04/1996 15:10	259	287	0,33	70	9	2805,78	26/04/1996 18:05
35	29/04/1996 15:50	291	629	1,48	115	14	13085,40	29/04/1996 21:00	29/04/1996 15:00	259	354	0,95	150	17,3	16221,00	29/04/1996 20:40
36	01/05/1996 18:15	548	611	1,25	75	6,8	8982,43	01/05/1996 19:30	01/05/1996 16:45	259	303	0,86	130	8,4	3542,70	01/05/1996 18:55
37	05/05/1996 18:20	467	629	1,32	85	11,7	4770,00	05/05/1996 18:45	05/05/1996 16:00	281	327	0,35	125	11,5	9538,80	05/05/1996 20:05
38	06/05/1996 14:00	548	636	2,66	155	15	39079,32	06/05/1996 18:25	06/05/1996 13:50	281	365	1,77	175	17,6	26794,43	06/05/1996 17:45

Nota : Pm es la lámina precipitada y Ts, el tiempo transcurrido entre el inicio de la crecida y el momento del caudal máximo

Láminas de precipitación durante las crecidas de la Qda. Rumihurco entre Oct/95 y May/96

No.	FECHA [d/m/año]	PLUVIOGRAFO									
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	DAC
1	29/10/1995	6,8	13,9	16,5	5,1	5,9	5,6		8,4		2,9
2	30/10/1995	18,7	38,9	41,2	38,6	38,6	47,3	51,2	38,6		30,0
3	04/11/1995	12,7	21,1	13,5	8,4	12,1			2,9		1,6
4	10/11/1995	16,7	17,5	15,3	18,3	17,0	15,9	22,2	24,8		14,2
5	12/11/1995	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	7,6	1,1	5,4		0,6
6	12/11/1995	3,5	1,3	1,5	2,5	8,0	0,0	1,6	4,9		10,6
7	17/11/1995	12,4		20,3	25,2	12,6	11,8	10,0	5,8		0,6
8	22/11/1995			8,2	3,3	7,0	2,0	7,6	5,5		5,2
9	05/02/1996	1,0	0,5	2,0	2,0	2,5	2,0	0,0	1,0		3,5
10	05/02/1996	11,0	6,4	5,6	3,8	1,0	2,0	0,0	2,1		13,5
11	02/03/1996	8,2	8,0	9,3	8,2	8,8	7,1	5,6	4,1	12,7	1,5
12	05/03/1996	6,1	5,9	7,7	7,6	8,2	7,4	7,9	4,6	12,6	30,0
13	08/03/1996	11,1	10,1	12,0	8,5	8,1		8,4		11,1	
14	08/03/1996	5,4	7,2	8,2	0,0	2,4	3,0	2,0	1,5	2,1	
15	09/03/1996	6,6	6,9	5,8	7,8	9,5	19,6	21,1	13,4	4,4	4,2
16	12/03/1996	12,1	17,9	17,5	2,0	7,9	7,6	9,0	4,9	10,7	0,4
17	14/03/1996	24,6	24,2	21,0	20,8	24,9	28,8	28,1	23,7	33,0	27,3
18	15/03/1996	1,0	0,5	0,5	3,5	4,5	4,5	3,5	1,6	1,6	8,7
19	16/03/1996	6,2	4,7	8,8	17,1	28,4	37,7	24,7	21,0	15,6	13,0
20	21/03/1996	2,5	2,5	2,5	3,0	4,6	10,5	13,0	14,0	1,0	
21	22/03/1996	11,2	8,7	8,6	8,1	12,1	9,9	6,4	3,5	12,4	3,4
22	23/03/1996	10,5	14,1	21,5	24,1	15,2	15,3	16,9	12,0	17,5	6,3
23	05/04/1996	16,5	14,9		10,3	7,5	10,9	8,5	6,9	17,4	
24	09/04/1996	8,1	6,9		16,9	16,5	8,5	9,0	6,5		1,2
25	09/04/1996	7,0	8,9		14,9	15,4	9,4	7,5	6,0		17,0
26	13/04/1996	14,1	15,1		13,9	14,1	15,7	16,7	13,3	13,4	2,7
27	14/04/1996	24,4	25,2		16,0	28,1	25,6	15,8	9,9	31,4	15,0
28	15/04/1996	16,3	13,1		27,9	11,5	8,5	11,5	6,2	18,5	0,9
29	17/04/1996	3,1	1,9		5,5	5,4	11,5	12,1	9,7	4,0	2,5
30	19/04/1996	8,9	10,5		4,1	5,6	5,5	6,4	6,5	7,0	1,5
31	24/04/1996	7,8	6,1		5,9	9,1	9,1	9,1	6,6	8,3	6,3
32	24/04/1996	22,7	21,9		10,7	13,3	13,6	8,6	4,0		7,0
33	25/04/1996	12,0	7,5		5,7	4,5	11,0	15,6	12,6		
34	26/04/1996	10,6	10,2		5,6	5,5	9,8	12,1	11,5		10,7
35	29/04/1996	25,5	33,4		5,1	4,0	4,6	3,9	3,5		2,9
36	01/05/1996	12,8	15,0		4,1	3,0	1,0	0,6	0,5		1,9
37	05/05/1996	12,0	1,6		8,3	19,7	11,3	12,0	0,0		4,4
38	06/05/1996	28,0	23,1		13,9	7,7	3,0	13,0	0,0		3,6