

# INFORMACIÓN TÉCNICA SOBRE LOS MOVIMIENTOS DE BARROS Y ESCOMBROS OCURRIDOS EN LA ZONA DEL PÁRAMO DE MÉRIDA EN JUNIO 2003

*Technical information about the movement of mud and debris occurred in the Páramo zone of Mérida in June 2003*

**Maria Luisa Olivero, Julián Aguirre Pe y Alix Moncada**

Universidad de Los Andes, Centro de Investigaciones Hidráulicas y Mecánica de Fluidos (CHIDRA), Laboratorio de Hidráulica, Mérida-Venezuela. E-mail: marial@ula.ve; aguirrej@ula.ve; alix@ula.ve

## RESUMEN

Las cuencas afectadas por el fenómeno climatológico e hidrológico en Junio de 2003 corresponden a la de los ríos Santo Domingo, Pueblo Llano y Aracay, en especial sus subcuencas La Sucia, Santa Filomena y quebrada del Pueblo (Pueblo Llano). Con el fin de dar respuesta técnica al evento que ocurrió, se buscó información en los registros históricos correspondientes a la zona. Al contrastar la información con los registros históricos, se encontró que su magnitud es similar a la tormenta registrada en 1972 y menor que la de 1976 por lo que se puede suponer que es un evento con una frecuencia de al menos veinticinco años. El procedimiento seguido para estimar las crecidas fue el de C.O. Clark. Para la estimación de las crecidas de las quebradas La Sucia perteneciente a la cuenca del Río Santo Domingo, quebrada Santa Filomena y quebrada del Pueblo (Pueblo Llano), se utilizó el método racional, con tiempos de concentración calculados por el método del California Culvert Practice. En el estudio hidráulico el propósito fue estimar los niveles de flujo correspondientes a los diversos caudales, así como la determinación de los parámetros básicos para el diseño hidráulico de las protecciones. Igualmente se estimaron las profundidades de socavación alrededor de pilas de puentes y la socavación general del cauce para las quebradas estudiadas. Se presentan las conclusiones y recomendaciones correspondientes.

**Palabras clave:** Flujos de barro, ríos de montaña, erosión y deposición.

## ABSTRACT

The studied basins affected by a climatologic and hydrologic phenomenon in June 2003 correspond to those of Santo Domingo, Pueblo Llano and Aracay rivers, as well as to La Sucia, Santa Filomena and del Pueblo gullies. With the purpose of giving technical answer to the event, it was looked for information in the historical registers corresponding to the area. When this information was contrasted with the historical registers, it was found that its magnitude was similar to the storm registers in 1972 and smaller than that of 1976. Therefore, one can assume that the event was at least a twenty-five year-old frequency storm. The procedure used to estimate the high flows was C.O. Clark's one. For the estimation of high flows at La Sucia, Santa Filomena and del Pueblo gullies, the rational method was used, with calculated concentration time obtained by the California Culvert Practice method. The purpose of the hydraulic study was to estimate the flow levels corresponding to different flows, as well as the determination of the basic parameters for the hydraulic design of protections. Similarly the scour depths around bridge piles and the general bed scour were estimated for the studied gullies. Conclusions and corresponding recommendations are presented.

**Key words:** Mud flow, mountain rivers, erosion and deposition.

## CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS

Las cuencas afectadas por el fenómeno (ver Figura 1) corresponden a la de los ríos Santo Domingo, Pueblo Llano y Aracay, así como las quebradas La Sucia, Santa Filomena y quebrada del Pueblo (Pueblo Llano), Aguirre *et al.* (2003). Las cuencas de los ríos Aracay y Pueblo Llano se sitúan aproximadamente en el centro del núcleo andino meridiano, entre los 3800 y 1600 m/s/n/m, formando parte de la llamada Sierra de Santo Domingo o prolongación NE del alto bloque de la Sierra Nevada. A grosso modo, los ejes principales de ambas unidades se orientan,

paralelamente entre sí, en el mismo sentido del eje mayor andino venezolano, es decir, de NE a SW. En consecuencia, se trata de cuencas dispuestas longitudinalmente al gran surco tectónico-fisiográfico de la Cordillera de Mérida.

El Aracay y el Pueblo Llano son los más importantes afluentes del Alto Santo Domingo, ambos de margen izquierda. Sus respectivas desembocaduras están más o menos a la misma altitud, separadas apenas por unos 1000 m, en el sitio La Mitisús, coincidiendo con el embalse José Antonio Páez, también conocido como Santo Domingo. La subcuenca drenada por el río Aracay tiene una superficie de 81 Km<sup>2</sup>, la de Pueblo Llano 101 Km<sup>2</sup>. Entre ambas constituyen

el 42% de la cuenca superior del río Santo Domingo, considerando como tal, la superficie drenada por este río aguas arriba de la represa citada, a 1600 m/s/n/m aproximadamente. La cuenca de Pueblo Llano está delimitada por las elevadas divisorias de aguas con los afluentes superiores del río Motatán y Burate y la del Aracay también con este último y los afluentes superiores del río Calderas. Ambas unidades están separadas entre sí por una divisoria de aguas relativamente estrecha y baja, cuando se tiene como referencia el lecho del río Pueblo Llano y más amplia y alta cuando la referencia es el lecho del río Aracay. Las dos cuencas pertenecen al territorio del Estado Mérida.

### Cuenca del río Santo Domingo

La cuenca del río Santo Domingo hasta el sitio Barinas, drena una extensión aproximada de 1251 Km<sup>2</sup> y está situada en la parte Nororiental del Estado Mérida en sus límites con el Estado Barinas. Su cauce principal lo constituye el río Santo Domingo que tiene sus cabeceras al norte del pico del mismo nombre a una altura máxima aproximada de 4800 m, desde ahí sigue una dirección Norte franco para luego tomar un sentido general NS-SE siguiendo el rumbo de las estructuras geológicas, arqueándose gradualmente en las cercanías de la población de Las Piedras hasta penetrar en el estado Barinas completando un recorrido total de 200 km en su desembocadura por la margen izquierda del río Apure. El cauce principal, desde sus cabeceras hasta la salida de la cuenca en Barinas, tiene una pendiente general de 22%; aguas arriba de la población de Altamira su pendiente pasa del 7%. Sus afluentes principales son las quebradas Corderillo, La Mitisús, La Campana y San Isidro por su margen derecha, y quebrada La Era, río Pueblo Llano, río Aracay y quebrada La Bellaca por su margen izquierda.

**Subcuenca 1-1.** Corresponde al extremo Sur-Oeste de la cuenca del río Santo Domingo y tiene una superficie total de 75 Km<sup>2</sup> distribuida en páramos, laderas pendientes con vegetación baja y áreas agrícolas. En relación a las áreas con erosión localizada, se han determinado 6 cárcavas activas con una superficie de 0,2 Km<sup>2</sup> y 21 cárcavas no activas con 0,3 Km<sup>2</sup>.

**Subcuenca 1-2.** El área central de la cuenca tiene una superficie de 62 Km<sup>2</sup> distribuida en páramos,

laderas pendientes con vegetación baja, bosque nublado y áreas agrícolas. Con respecto a las áreas de erosión localizada, se han determinado 8 cárcavas activas con una superficie de 0,2 Km<sup>2</sup> y 21 cárcavas no activas con 0,9 Km<sup>2</sup>. En esta subcuenca se encuentra un torrente crítico, el cual consiste en un deslizamiento en la cuenca ubicado en la margen izquierda del río Santo Domingo, aproximadamente a 15 km de la presa.

**Subcuenca 1-3.** Esta subcuenca es la más cercana al sitio de la presa. Tiene una superficie aproximada de 105 Km<sup>2</sup> distribuidos en páramo, laderas pendientes con vegetación baja, bosque nublado y áreas agrícolas. En esta subcuenca están dos quebradas donde hay acción erosiva importante, las cuales son la quebrada La Era y la quebrada La Sucia. En la primera mencionada hay actividad agrícola de cierta importancia en laderas con pendientes mayores del 10%. La quebrada La Sucia deriva su nombre de los sedimentos que acarrea en época de crecientes. En la cuenca de esta quebrada se encuentra la cárcava activa de mayor importancia denominada El Encantado. El número de cárcavas activas en la subcuenca es de 25, con una superficie de 0,4 Km<sup>2</sup> y 30 cárcavas no activas con una superficie de 2,8 Km<sup>2</sup>.

### Cuenca del río Pueblo Llano

**Subcuenca 2-1.** Ubicada al Nor-Este de la población de Pueblo Llano. Tiene una superficie de 28 Km<sup>2</sup>, los cuales comprenden páramos, laderas pendientes con vegetación baja y áreas agrícolas. El número de cárcavas activas en la subcuenca es de 5 con una superficie de 0,06 Km<sup>2</sup> y 3 cárcavas no activas con una superficie de 0,1 Km<sup>2</sup>. Hay 0,5 Km<sup>2</sup> de cañones y playones con 0,1 Km<sup>2</sup>.

**Subcuenca 2-2.** Ubicada al Norte de la Población de Pueblo Llano, donde existen las terrazas fluvio-glaciares más extensas y de mejor calidad desde el punto de vista agrícola, lo cual tiene como consecuencia que sean utilizadas más intensamente. La superficie total de la subcuenca es de 50 Km<sup>2</sup> y comprende páramos, laderas pendientes con vegetación baja y sector agrícola. El número de cárcavas activas en la subcuenca es de 5 con una superficie de 0,04 Km<sup>2</sup> y 5 cárcavas no activas con una superficie de 0,2 Km<sup>2</sup>. Igualmente hay 1,3 Km<sup>2</sup> de cañones en la subcuenca.

**Subcuenca 2-3.** Esta subcuenca es la más cercana a la presa. Tiene una superficie de 18 Km<sup>2</sup> y comprende sectores de bosque nublado, laderas con vegetación baja y sectores dedicados a la agricultura. El número de cárcavas activas en la subcuenca es de 13 con una superficie de 0,08 Km<sup>2</sup> y 13 cárcavas no activas con una superficie de 0,32 Km<sup>2</sup>. Hay 1,7 Km<sup>2</sup> de cañones en la subcuenca. En esta subcuenca hay un torrente crítico, el cual está ubicado a la margen derecha del río Pueblo Llano, aproximadamente a 3 Km de la presa. Tiene una superficie de 225 Ha con 10 Km de canales y 8 cárcavas activas con una extensión de 4,7 Ha.

### Cuenca del río Aracay

**Subcuenca 3-1.** Al extremo Nor-Este tiene una superficie de 36 Km<sup>2</sup>, distribuidos en páramos, laderas con vegetación baja y áreas dedicadas a la agricultura. El número de cárcavas activas es de 39, con una superficie de 0,6 Km<sup>2</sup> y 31 cárcavas no activas con una superficie de 0,9 Km<sup>2</sup>. Existe 1,0 Km<sup>2</sup> de cañones en la subcuenca.

**Subcuenca 3-2.** Esta subcuenca corresponde al área central de la cuenca del Aracay. Tiene 36 Km<sup>2</sup> de superficie distribuidos en páramos, bosques nublados, laderas con vegetación baja y áreas dedicadas a la agricultura. El número de cárcavas activas es de 42 con 0,86 Km<sup>2</sup> y 23 cárcavas no activas con Km<sup>2</sup>. Hay 1,3 Km<sup>2</sup> de cañones y 0,2 Km<sup>2</sup> de playones. En esta subcuenca existe el deslizamiento individual más importante, denominado el “Volcán de Melitón o Buena Vista”, que se encuentra localizado en la margen izquierda del río Aracay. Otra fuente de sedimentos es el drenaje superficial deficiente del camino a La Cuchilla. En esta subcuenca se observan los playones más importantes a 3,5 Km aguas arriba de la cola del embalse. Además hay 3 torrentes críticos. Uno ubicado en la margen derecha del río Aracay, con una superficie de 94 Ha y 4 cárcavas activas con una extensión de 2,5 Ha. Otro está formado por 2 torrentes de la cuenca del río Aracay. Tiene una superficie de 255 Ha y 15 cárcavas activas con una extensión de 4,8 Ha. El último torrente crítico corresponde al llamado “Volcán de Melitón”. Tiene una superficie de 500 Ha y una cárcava activa con una extensión de 20 Ha.

**Subcuenca 3-3.** Su superficie es de 9 Km<sup>2</sup> y comprende sectores de bosque nublado, laderas con

vegetación baja y área de cultivos. El número de cárcavas activas es de 7 con 0,05 Km<sup>2</sup> y existe una cárcava no activa con 0,06 Km<sup>2</sup>. Hay 0,44 Km<sup>2</sup> de cañones y 0,07 Km<sup>2</sup> de playones. En esta cuenca hay un torrente crítico, que tiene una superficie de 110 Ha.

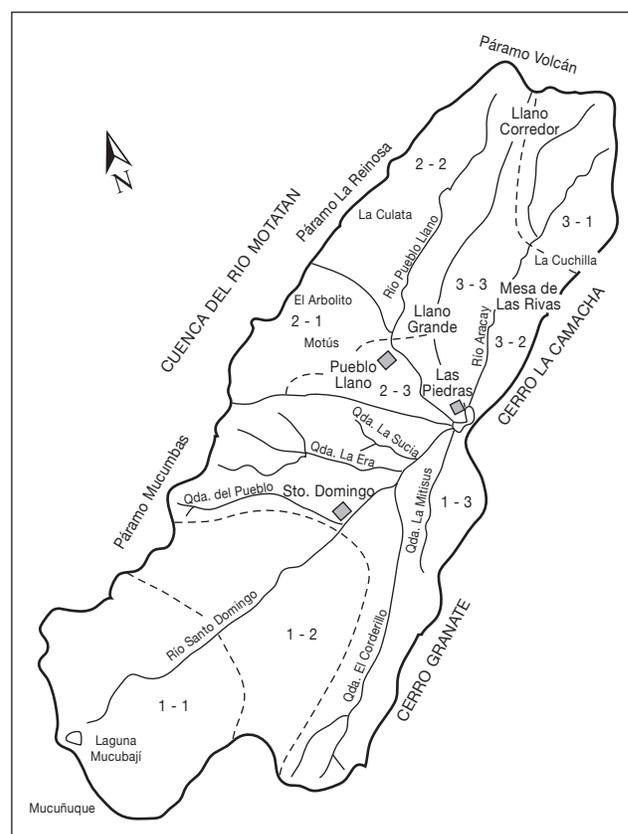


Figura 1. Plano de las cuencas afectadas.

### ANÁLISIS HIDROLÓGICO

Como respuesta a una tormenta de duración prolongada ocurrida durante los primeros días de Junio del 2003, sobre las cuencas de los ríos Santo Domingo, Pueblo Llano y Aracay, se produjo el desbordamiento de las quebradas que desembocan en dichos ríos, así como las crecidas de los mismos. Con el fin de dar respuesta técnica al evento que ocurrió, se buscó información en los registros históricos de eventos extremos correspondientes a la zona, encontrándose las estaciones La Mitisús, con registro de 1963 a 1977, Santo Domingo con registro de 1964 a 1977, Las Piedras, con registro de 1972 a 1976 y Pueblo Llano con registro de 1971 a 1976. Es bueno acotar

que todas las estaciones han sido cerradas, por lo que no se dispuso de registros mas recientes. En la información transmitida por expertos de emergencias “se estimaba la precipitación en 180 lts”. Al contrastar esta información con los registros históricos, esta magnitud es similar a la tormenta registrada en 1972 y menor que la de 1976 por lo que se puede suponer que es un evento con una frecuencia de al menos veinticinco años.

### Análisis de precipitaciones

En razón de que las estaciones Las Piedras y Pueblo Llano presentaban registros pequeños, porque los datos de los años 1972 y 1976 corresponden a eventos extraordinarios solo se trabajó con las estaciones La Mitisús y Santo Domingo que tenían registros largos y consistentes (Bolinaga,1979). Así se generaron las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia para lluvias de duraciones superiores a 1 hora y frecuencias de 5, 10, 15, 25, 50, 100 y 200 años. En vista de la diferencia encontrada en la magnitud de las precipitaciones se utilizaron los registros de la Estación Santo Domingo para estimar las crecidas del río Santo Domingo y las de la Estación La Mitisús para la estimación de las crecidas de los ríos Pueblo Llano y Aracay. Debido a que las lluvias caídas sobre la zona fueron muy prolongadas el suelo se encontraba saturado, se supuso que no había pérdidas por infiltración.

### Análisis de caudales

El procedimiento seguido para estimar las crecidas fue el de C.O. Clark para la determinación de los hidrogramas unitarios de las duraciones de las lluvias registradas, correspondiendo a 1, 3, 6, 9, 12 y 24 horas, presentados en las Figuras 2, 3 y 4 y en los Cuadros 1,2 y 3.

### Subcuencas de las quebradas estudiadas

Para la estimación de las crecidas de las quebradas La Sucia perteneciente a la cuenca del Río Santo Domingo, quebrada Santa Filomena y quebrada del Pueblo (Pueblo Llano), pertenecientes a la cuenca del Río Pueblo Llano, se utilizó el método racional, con tiempos de concentración calculados por el método del California Culvert Practice, recomendado para cuencas rurales, suponiendo el suelo comple-

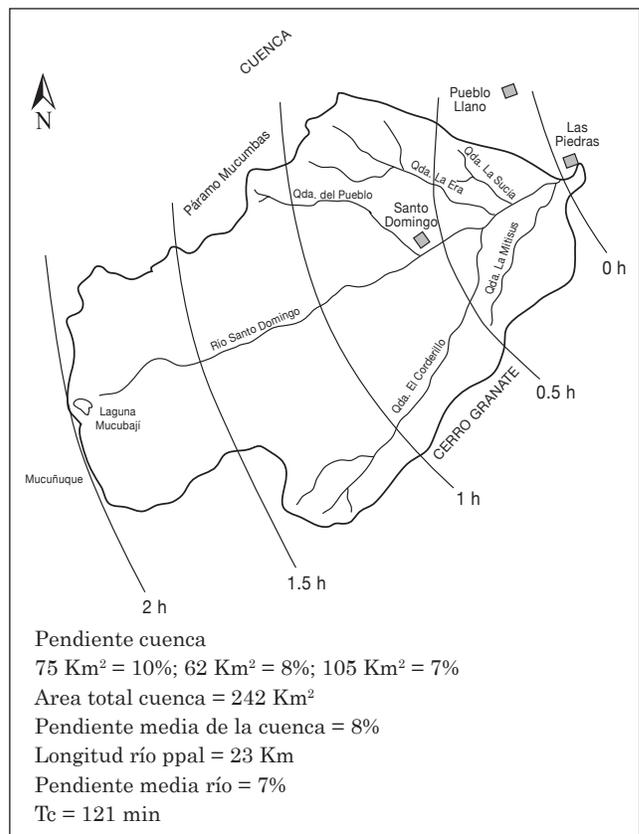


Figura 2. Isocronas de la cuenca del río Santo Domingo.

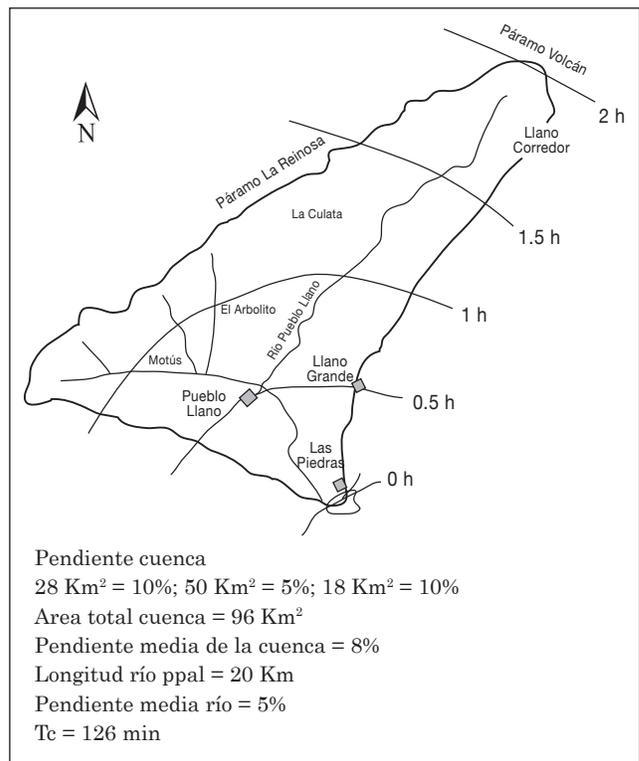


Figura 3. Isocronas de la cuenca del río Pueblo Llano.

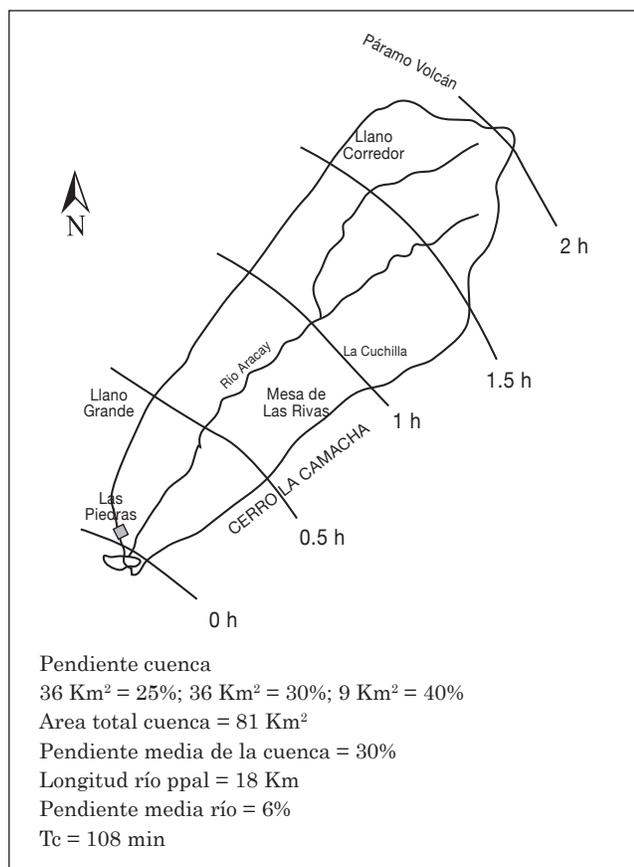


Figura 4. Isocronas de la cuenca del río Aracay.

tamente saturado, para lo cual se asumió un coeficiente de escurrimiento de 0,80. Por no disponerse de registros de lluvias máximas con duraciones inferiores a 1 hora se utilizó el grafico para la zona con alturas sobre el nivel del mar sobre 1500 m, recomendado por Arocha (1983), con períodos de retorno de 5, 10, 15, 25 y 50 años, al cual se le anexaron las curvas para 100 y 200 años.

En la figura 5 se presentan las crecidas estimadas de las quebradas La Sucia, Santa Filomena y del Pueblo (Pueblo Llano), así como los datos que se estimaron para poder realizar los cálculos.

### ESTUDIO HIDRÁULICO

El propósito fue estimar los niveles de flujo correspondientes a los diversos caudales, así como la determinación de los parámetros básicos para el diseño hidráulico de las protecciones. En el Cuadro 4 se presentan los parámetros estimados para las quebradas estudiadas y en el Cuadro 5 los caudales y profundidades normales estimadas para los diferentes caudales. Igualmente se estimaron las profundidades de socavación alrededor de pilas de puentes (Cuadro 6) y la socavación general del cauce para las quebradas estudiadas.

Cuadro 1. Crecidas estimadas del río Santo Domingo.

Tr	1 hora	3 horas	6 horas	9 horas	12 horas	24 horas
200	722	754	641	533	473	245
100	650	694	599	489	400	229
50	614	634	558	459	366	207
25	541	603	517	429	344	196
15	469	558	486	392	322	185
10	433	513	455	385	311	180
5	361	452	403	341	278	158

Cuadro 2. Crecidas estimadas del río Pueblo Llano.

Tr	1 hora	3 horas	6 horas	9 horas	12 horas	24 horas
200	335	487	482	434	373	232
100	305	456	441	399	348	219
50	275	432	408	363	314	189
25	244	372	359	337	287	171
15	228	336	327	305	260	153
10	220	318	302	276	242	135
5	213	288	261	243	220	116

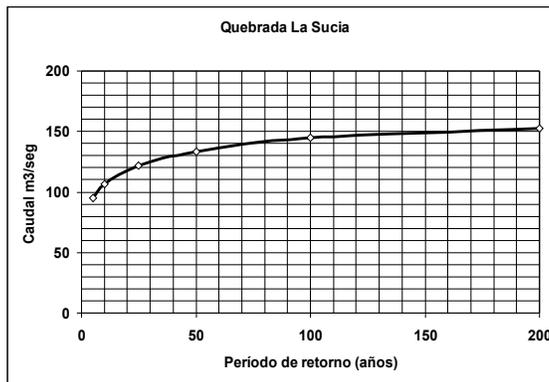
**Cuadro 3.** Crecidas estimadas del río Aracay.

Tr	1 hora	3 horas	6 horas	9 horas	12 horas	24 horas
200	265	405	403	352	308	191
100	241	380	369	333	288	180
50	217	360	342	304	260	156
25	193	310	300	281	238	141
15	180	280	273	254	215	126
10	193	265	253	230	200	111
5	169	240	219	203	178	96

**Quebrada La Sucia**

Cota máxima = 3000 m  
 Cota mínima = 1780 m  
 Longitud = 3980 m  
 Tiempo de concentración = 18.18 min  
 Coeficiente de escorrentía = 0.80  
 Area = 477 Ha

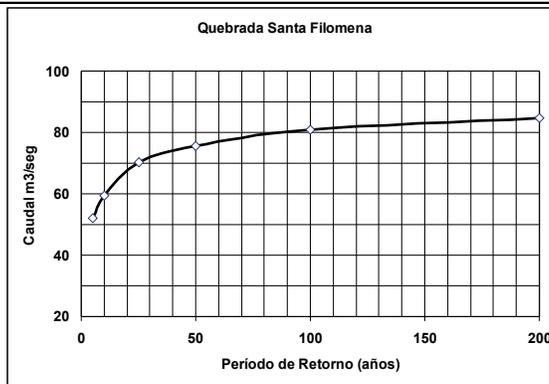
Tr	caudal m <sup>3</sup> /seg
200	153
100	145
50	134
25	122
10	107
5	95



**Quebrada Santa Filomena**

Cota máxima = 2680 m  
 Cota mínima = 1740 m  
 Longitud = 2700 m  
 Tiempo de concentración = 12.84 min  
 Coeficiente de escorrentía = 0.80  
 Area = 225 Ha

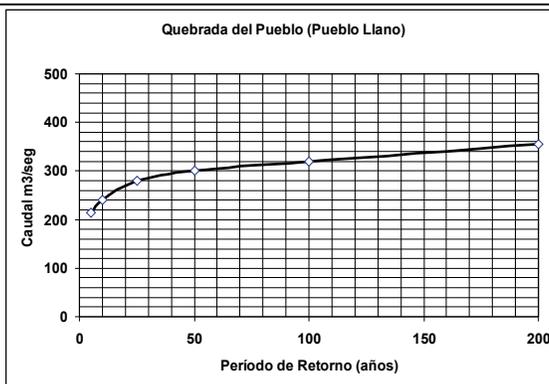
Tr	caudal m <sup>3</sup> /seg
200	85
100	81
50	76
25	70
10	59
5	52



**Quebrada del Pueblo (Pueblo Llano)**

Cota máxima = 3460 m  
 Cota mínima = 2080 m  
 Longitud = 5300 m  
 Tiempo de concentración = 24.3 min  
 Coeficiente de escorrentía = 0.80  
 Area = 471 Ha

Tr	caudal m <sup>3</sup> /seg
200	355
100	320
50	300
25	280
10	240
5	215



**Figura 5.** Crecidas estimadas de las quebradas La Sucia, Santa Filomena y del Pueblo (Pueblo Llano).

**Cuadro 4.** Parámetros estimados de las quebradas.

Quebrada	Area transversal A (m <sup>2</sup> )	Pendiente S <sub>0</sub>	Diámetro D <sub>75</sub> (cm)	Coefficiente de Manning n
La Sucia	15x3 = 45	0.13	18	0,029
Santa Filomena	10x4 = 40	0.20	21	0,030
Del Pueblo	16x8 = 128	0.26	25	0,031

**Cuadro 5.** Caudales y profundidades normales para las quebradas estudiadas.

La Sucia	Caudal	$Qn/(S_n^{1/2}b^{8/3})$	d/b	d(m)
	Q <sub>5</sub> = 153 m <sup>3</sup> /s	0,008932	0,045	0,45
	Q <sub>10</sub> = 145 m <sup>3</sup> /s	0,010163	0,048	0,48
	Q <sub>25</sub> = 134 m <sup>3</sup> /s	0,012010	0,050	0,50
	Q <sub>50</sub> = 122 m <sup>3</sup> /s	0,012940	0,054	0,54
	Q <sub>100</sub> = 107 m <sup>3</sup> /s	0,013860	0,059	0,59
	Q <sub>200</sub> = 95 m <sup>3</sup> /s	0,014480	0,060	0,60
<i>Flujos supercríticos en todos los casos</i>				
Sta. Filomena	Caudal	$Qn/(S_n^{1/2}b^{8/3})$	d/b	d(m)
	Q <sub>5</sub> = 52 m <sup>3</sup> /s	0,002154	0,017	0,272
	Q <sub>10</sub> = 59 m <sup>3</sup> /s	0,002451	0,020	0,320
	Q <sub>25</sub> = 70 m <sup>3</sup> /s	0,002900	0,021	0,336
	Q <sub>50</sub> = 76 m <sup>3</sup> /s	0,003120	0,022	0,356
	Q <sub>100</sub> = 81 m <sup>3</sup> /s	0,003343	0,023	0,368
	Q <sub>200</sub> = 85 m <sup>3</sup> /s	0,003491	0,026	0,416
<i>Flujos supercríticos en todos los casos</i>				
Del Pueblo	Caudal	$Qn/(S_n^{1/2}b^{8/3})$	d/b	d(m)
	Q <sub>5</sub> = 215 m <sup>3</sup> /s	0,027810	0,080	0,80
	Q <sub>10</sub> = 240 m <sup>3</sup> /s	0,031043	0,110	1,10
	Q <sub>25</sub> = 280 m <sup>3</sup> /s	0,036220	0,120	1,20
	Q <sub>50</sub> = 300 m <sup>3</sup> /s	0,038800	0,125	1,25
	Q <sub>100</sub> = 320 m <sup>3</sup> /s	0,041390	0,130	1,30
	Q <sub>200</sub> = 355 m <sup>3</sup> /s	0,045920	0,140	1,40
<i>Flujos supercríticos en todos los casos</i>				

**Cuadro 6.** Socavaciones estimadas alrededor de pilas en quebradas, según método de Maza (1987).

<b>La Sucia:</b>	Para d/b = 0.22	se tiene $(d+S)/b_1 = 0.75$	$\therefore S_s = 1.05$ m
S <sub>s</sub> = 1.05 m	Para d/b = 0.30	$(d+S)/b_1 = 1.00$	$\therefore S_{200} = 1.40$ m
<b>Del Pueblo:</b>	Para d/b = 0.40	se tiene $(d+S)/b_1 = 1.21$	$\therefore S_s = 1.70$ m
S <sub>s</sub> = 1.05 m	Para d/b = 0.30	$(d+S)/b_1 = 1.00$	$\therefore S_{200} = 2.60$ m
<b>Santa Filomena:</b>	Para d/b = 0.136	se tiene $(d+S)/b_1 = 0.40$	$\therefore S_s = 0.528$ m
S <sub>s</sub> = 0.528 m	Para d/b = 0.208	$(d+S)/b_1 = 0.80$	$\therefore S_{200} = 1.184$ m

### Socavación general del cauce

$$d_s = d + S = \left| \frac{\alpha d^{5/3}}{0.68 \beta \psi D_m^{0.28}} \right|$$

para  $\gamma_s = 2650 \text{ Kg/m}^3$ ,  $\psi = 1.34$ ,  $\beta = 1.00$ ,  $T_R = 100$  años

Así  $U_e = 0.68 \beta D_m^{0.28} d_s^x$  para  $D_m = 250 \text{ mm}$

$$x = 0.31 \quad \frac{1}{1+x} = 0.76$$

De acuerdo con el análisis de estabilidad realizado por Aguirre y Fuentes (1995) se tiene que

$$\frac{U}{\sqrt{gD\Delta}} = 2.00$$

en iniciación del movimiento.

#### Quebrada La Sucia:

Para las condiciones dadas,  $d_s = 2,10 \text{ m}$  y  $S_{100} = 1,70 \text{ m}$ , que es la profundidad mínima de cualquier estructura en el lecho de la quebrada La Sucia.

#### Quebrada Del Pueblo:

Para las condiciones dadas,  $d_s = 2,10 \text{ m}$  y  $S_{100} = 1,00 \text{ m}$ , se recomendaría adoptar la misma profundidad de la quebrada La Sucia.

#### Quebrada Santa Filomena:

Para las condiciones dadas,  $d_s = 2,10 \text{ m}$  y  $S_{100} = 1,73 \text{ m}$ , se recomendaría adoptar  $S_{100} = 1,70 \text{ m}$ .

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Durante varios días de pertinaz e incesante lluvia se produjo una sobresaturación de agua del material suelto del suelo provocando una pérdida de cohesión mecánica del suelo, el cual por elementales leyes de la física, no puede sostenerse y sencillamente se desprende. Este desprendimiento de masas de tierra arrastra consigo toda la superficie, sea ésta de bosques o sabanas. El problema radica en reconocer que hay que aprender a convivir con este tipo de fenómenos. Sobre este particular vale la pena una reflexión. Si existiesen pluviómetros automatizados, que transmitiesen sus datos en tiempo real a una computadora, alimentada con un sistema de información geográfica que disponga de una zonificación de niveles de riesgo geotécnico, sin duda que

se podría conocer cuando estamos afrontando una situación de riesgo potencial tal vez incluso, con 1 o 2 días de anticipación. Pero, por otra parte, la realidad es desalentadora, no existe información hidrológica de la zona, no existen datos de pluviometría desde que las estaciones fueron cerradas en 1977, que permitan estudios con datos de campo. Sólo se pueden hacer estimaciones de crecidas. Por ello, se hace imperioso que en aquellas zonas donde se deba convivir con el riesgo, se cuente con estaciones pluviométricas.

Para evaluar la zona con mayor profundidad se recomienda realizar estudios geológicos más a detalle, con el fin de estudiar exhaustivamente las condiciones geomorfológicas, geotécnicas y geológicas en las áreas y zonas aledañas afectadas por estos fenómenos climatológicos. Se deben realizar estudios de la geología, hidráulica e hidrología de todas las estructuras que se vayan a sustituir, por ejemplo estribos, muros de contención, espigones y puentes.

Aguas arriba de la quebrada La Sucia se requiere construir una pantalla transparente que retenga los sedimentos del llamado volcán El Encantado.

El puente de Pueblo Llano debe ser suficientemente largo como para no obstruir el cauce, con fundación en los estribos adecuada al fenómeno que va a soportar. Igual recomendación sería para la quebrada Santa Filomena. Se deben construir obras de protección para Pueblo Llano debido a la cantidad de viviendas construidas en zonas de riesgo. La quebrada del Pueblo necesita ser canalizada en las proximidades de Pueblo Llano, el cual debe contar con un muro de protección. Es conveniente diseñar un sistema escalonado de caídas para disipar la energía cinética de números de Froude supercríticos.

Es necesario emprender un programa de reforestación en las cuencas afectadas para atenuar los riesgos asociados a las crecidas siendo necesario realizar obras de control de torrentes en las quebradas de la zona como política sostenida en el tiempo, si se quieren minimizar daños en vialidad, cultivos y sistemas de riego.

Se deben construir, a corto plazo, los puentes fijos y las obras de protección necesarias en las márgenes de los ríos y quebradas.

Algunos de los trágicos sucesos se deben a que algunas viviendas construidas fueron localizadas sobre el cauce de las quebradas y arrastradas por las crecidas. Cuando ocurre un fenómeno extraordi-

nario, que sucede en escalas de tiempo que superan las humanas, se está en presencia de fuerzas que moldean la superficie del planeta, en plena acción. Se debe concluir que ciertas rocas bajaron de la montaña, y que ese gran plano inclinado del abanico, no podía tener otro origen que no fuese la montaña y sólo pudieron provenir de un gran fenómeno erosivo, que no pudo ser gradual, sino violento y masivo. Siendo así, ciertamente, que no se debe construir en zonas de alto riesgo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIRRE PE, J. y R. FUENTES. 1995. *Stability and Weak Motion of Riprap at a Channel Bed*. Cap. 5, Sección A, Current and Wave Induced Forces in River Channes, "River, Coastal and Shoreline Protection", John Wiley and Sons, London, pp. 77-92.
- AGUIRRE, J., BONGIORNO, F., MONCADA, A., ODREMAN, O., OLIVERO, M.L., RAMÍREZ, M. 2003. *Desastres Causados por Aluviones de Barros y Escombros en los Sectores Santo Domingo y Pueblo Llano*. Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.
- AROCHA, S. 1983. *Cloacas y Drenajes*. Ed. Vega, Caracas.
- BOLINAGA, J.I. 1979. *Drenaje Urbano*. INOS, Caracas.
- MAZA, J.A. 1987. *Introduction to River Engineering*, Advanced Course in Water Resources Management. Perugia, Italia. pp. 9-53.