

**LAS AVALANCHAS E INUNDACIONES
DE JULIO DE 1987 EN LAS CUENCAS DEL
RIO GRANDE DE OROSI Y RIO PEJIBAYE:
UN ESTUDIO DE CASO**

Wilhelm-Günther Vahrson
Nury Cartín Herrera*
Ora Patterson Casanova**

RESUMEN

Tormentas torrenciales causaron pérdidas grandes por avalanchas e inundaciones en una zona de la Cordillera de Talamanca, aproximadamente 15 km al este sureste de la ciudad de Cartago, Costa Rica.

El presente trabajo investiga la microcuenca del río Humito con una superficie de 2.4 km² y determina la relación entre factores como:

* Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional, Apartado 86, Heredia, Costa Rica.

Nuestro agradecimiento al Instituto Meteorológico Nacional, al Instituto Costarricense de Electricidad por la información brindada. Al cartógrafo Gonzalo Hernández y la señora Patricia Quirós por la mecanografía del trabajo.

Geomorfología, pendientes, uso del suelo y clima, por un lado, y daños ocurridos, sea por inundaciones, sea por avalanchas, por otro lado, analizando intensidades, períodos de retorno y distribución temporal y espacial de las lluvias, el caudal máximo del río y los daños ocurridos por avalanchas e inundaciones.

No era posible establecer una relación entre las avalanchas y el uso del suelo, pero sí era posible establecer una relación entre pendientes y avalanchas: pendiente mayor provoca riesgo mayor de avalanchas.

Estas avalanchas, por otro lado, contribuyeron a las inundaciones, causando alta carga de los ríos con material arrastrado y entonces mayor densidad y viscosidad del caudal, provocando así la destrucción de numerosos puentes y casas.

SUMMARY

Rain storms of high intensity caused big losses due to inundations and avalanches in a part of the Cordillera de Talamanca, about 15 km east southeast of the town of Cartago, Costa Rica.

In this investigation we are evaluating the small watershed of the río Humito («small smoky river») with an extension of about 2.4 km², focussing on the relation between: Geomorphology, slopes, landuse and climatic conditions on one side and damages due to inundations or avalanches on the other side.

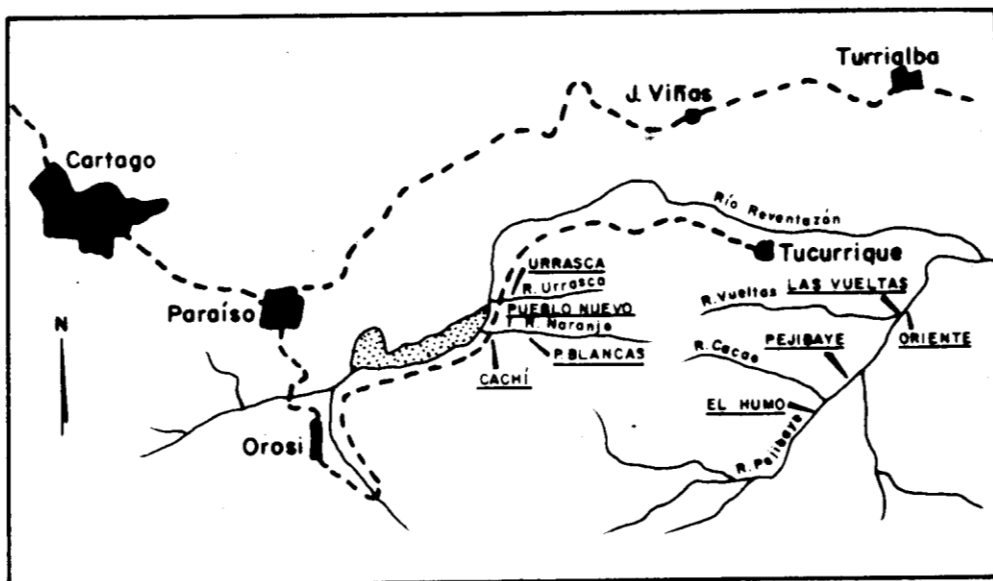
In the evaluation we analysed the rainfall intensities, the temporal and spacial distribution, return periods, the maximum flow of the river and the damages caused by this flash-flood-event.

We couldn't establish a relation between landuse and the occurrence of the avalanches, but a relation between avalanches and slopes exists: mayor slopes provoked a higher risk of avalanches.

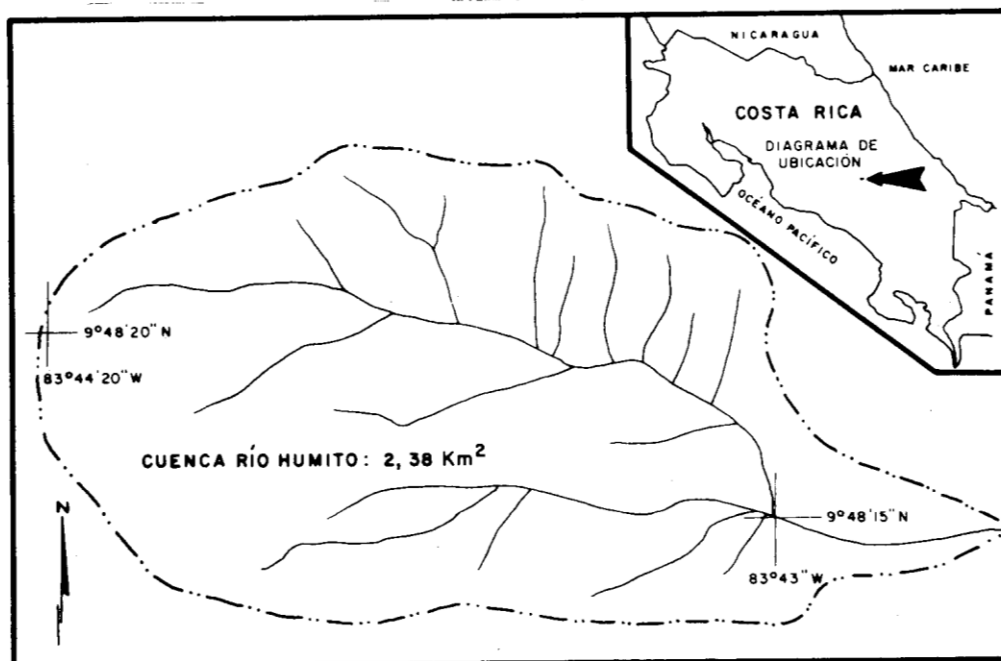
These avalanches on the other hand, caused the inundation in the lower part of the watershed, due to the high degree of solid material transported by the river causing an increase of density and viscosity of the liquid, provoking thus the destruction of bridges and houses.

INTRODUCCION

En julio de 1987 los cantones Jiménez, Turrialba y Paraíso fueron afectados por dos tormentas torrenciales, que produjeron inundaciones y avalanchas a causa de numerosos deslizamientos pequeños y superficiales que dejaron el saldo de 3 muertos y 4 puentes destruidos (mapa 1).



MAPA 1.
Ubicación del área total afectada por las inundaciones del 2 de julio de 1987.



MAPA 2.
Localización del área de estudio.

Con base en lo anterior fue escogida como área de estudio de la presente investigación la cuenca del río Humito, la cual con una superficie total de 2.4 km², fue la que sufrió mayor daño en el sector (mapa 2).

AREA DE ESTUDIO

El área de estudio corresponde a la cuenca del río Humito, se localiza a 9° 48' 10" de latitud norte y 83° 42' 40" de longitud oeste. Se encuentra en la provincia de Cartago, cantón IV de Jiménez, distrito 3 de Pejibaye y como poblado importante está El Humo.

Se identifican dos formaciones geológicas: formación Doán, compuesta por conglomerados volcanoclásticos brechosos de andesita y basalto, lutitas, lodolitas, siltitas y conglomerados finos que, según ESCALANTE (1966), consisten de rocas duras poco susceptibles a la meteorización, clastos gruesos y facies clástica fina (KRUSHENSKY, MALAVASSI y CASTILLO, 1976), en el sector montañoso de la cuenca.

Aluvión: Corresponde a depósitos fluviales y coluviales recientes y se localizan en el sector plano, o sea, exactamente donde se encuentra el poblado de Humo.

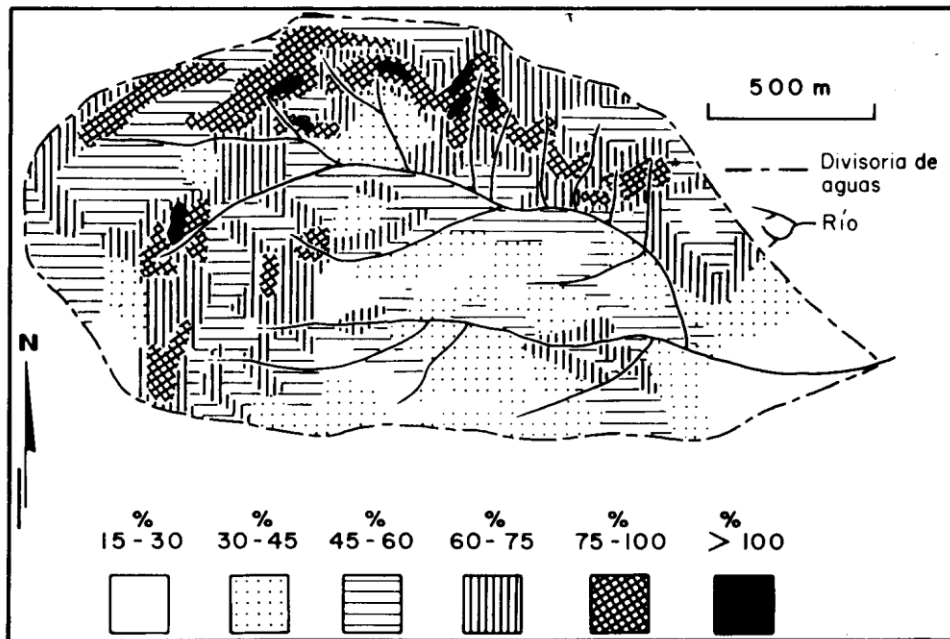
El estudio morfométrico permite caracterizar el área en las siguientes unidades:

1. Cerriles (15-30%).
2. Escarpado (30-45%).
3. Montañoso (superior a 45%).

El sector donde se encuentra el poblado Humo y el sector norte y sureste del alto El Humo presenta morfología cerril. La mayor parte del sector sur de la cuenca se caracteriza por tener una morfología escarpada. El resto del área presenta una morfología montañosa, alcanzando su nivel máximo en las nacientes del río Humito, propiamente.

De acuerdo con el mapa de pendientes (mapa 3), la ladera sur se caracteriza por presentar pendientes que oscilan entre 45 y 100%, coincidiendo, a su vez, con el uso del bosque, café y pasto (en las pendientes de 40% aproximadamente). A diferencia de la anterior, en esta ladera, el uso del suelo más las fuertes precipitaciones provocan grandes deslizamientos y avalanchas superficiales, cuyos materiales caen directamente al cauce del río Humito.

El área se ubica en la vertiente caribeña y la precipitación anual oscila entre 2.840 y 6.260 mm (fig.1). La temperatura media varía entre 18 y 22° C. Generalmente

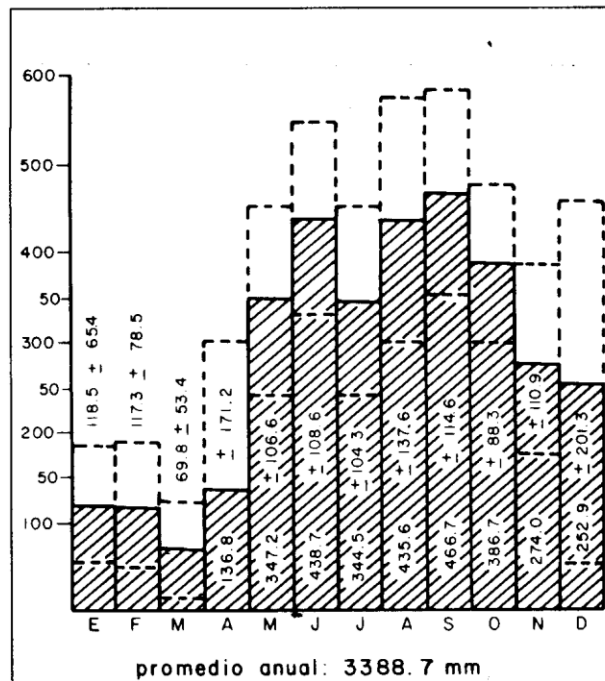


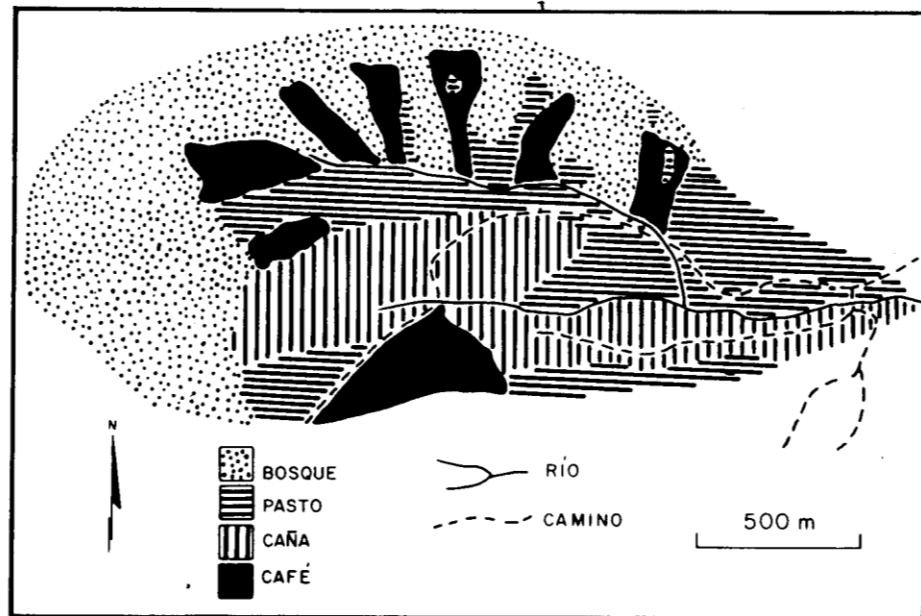
MAPA 3.

Pendientes. El mapa muestra las diversas pendientes en la cuenca del río Humito, caracterizada en su mayor parte por pendientes superiores al 45% (68.5% del área).

FIGURA 1.

La figura muestra la distribución mensual de las lluvias en el período comprendido entre 1968-85. Se observan 2 períodos bien definidos, uno lluvioso de mayo a noviembre y otro período donde las mismas disminuyen, comprendiendo los meses de diciembre a abril. (Fuente de datos: IMN).





MAPA 4.

Uso del suelo. El mapa muestra los cuatro usos del suelo en la cuenca del río Humito. Donde el bosque cubre la mayor parte de la misma, así como sus partes altas. Las áreas cultivadas son frecuentemente más planas, pero el café predomina como cultivo en áreas de fuerte pendiente.

el suelo permanece húmedo durante todo el año. Solamente en marzo con un promedio de 68.8 mm existe una estación seca pronunciada, con el mínimo medido de las lluvias mensuales en el año 1980 (12.5 mm).

Los meses de enero, febrero y abril siguen con promedios entre 115 mm y 140 mm mensuales. La desviación estándar muy alta de abril se debe parcialmente a los eventos del abril 1970, con 748 mm mensuales y el máximo diario medido en esta estación de 430 mm.

Los meses de mayo a diciembre tienen promedios mayores a 250 mm y muestran entonces una época lluviosa bien desarrollada.

Las lluvias máximas diarias caen solamente una vez (abril de 1970) entre los primeros 4 meses del año, el resto se distribuye entre los meses mayo -diciembre (tabla 1) con frecuencias altas en los meses de junio y diciembre.

Con base en el trabajo de campo, se determinó que en la cuenca del río Humito, el uso del suelo está caracterizado por (mapa 4):

1. **Bosque:** Se encuentra cubriendo la parte superior de la cuenca, área que, a su vez, coincide con los sectores de máxima pendiente (mayores al 45%). El área cubierta por este uso es de 1.02 km² (42.8%).
2. **Pasto:** Se encuentra alternando con los cultivos y el bosque secundario en áreas de fuerte pendiente. El área total con pasto es de 0.59 km² (24.8%).
3. **Cultivos:** El café y la caña de azúcar son los dos cultivos más importantes. El café predomina en laderas con pendientes superiores al 30%, la caña de azúcar en áreas con pendiente menos fuertes (inferiores al 30%), ocupando la parte central de la cuenca. La superficie total cubierta por los cultivos es de 0.77 km² (32.4%).

El área con pendientes menores de 45% corresponde a un total de 0.75 km² (31.5%), el área con pendientes mayores a 45% tiene una superficie de 1.57 km² (68.5%).

1. ANALISIS DE LOS EVENTOS EN LA CUENCA DEL RIO HUMITO

1.1 Daños observados en la cuenca del río Humito

Entre los daños causados por las lluvias fuertes del 2 de julio de 1987 se distinguen dos tipos de mayor importancia:

a) Deslizamientos y avalanchas

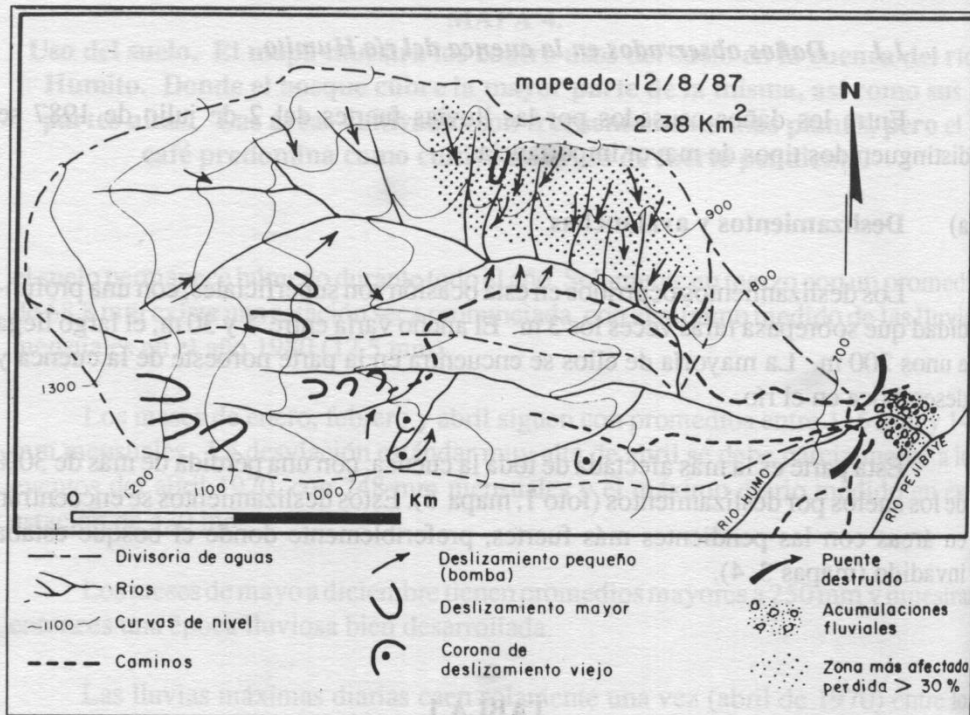
Los deslizamientos ocurridos en esta ocasión son superficiales, con una profundidad que sobrepasa raras veces los 3 m. El ancho varía entre 5 y 30 m, el largo llega a unos 200 m. La mayoría de ellos se encuentra en la parte noroeste de la cuenca y desemboca en el río.

Esta parte es la más afectada de toda la cuenca, con una pérdida de más de 30% de los suelos por deslizamientos (foto 1, mapa 5). Estos deslizamientos se encuentran en áreas con las pendientes más fuertes, preferiblemente donde el bosque estaba invadido (mapas 3, 4).

TABLA 1.
LOS CASOS DE LLUVIAS MAXIMAS ANUALES SEGUN MESES.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
-	-	-	1	2	7	1	-	2	1	-	3

FOTO 1.
 La zona más afectada por deslizamientos provocados por las lluvias torrenciales del 2 de julio, la superficie afectada sobrepasa un 30%.
 (Foto: Vahrson 1987).



MAPA 5.

Daños. El mapa muestra la gran cantidad de daños causados por el río Humito durante el evento del 2 de julio de 1987. Siendo la ladera norte el sector más afectado.

Deslizamientos de este tipo superficial se pueden encontrar también en otras partes de la cuenca con cobertura forestal, pero con una frecuencia menor.

Según las declaraciones de personas interrogadas, la mayoría de los deslizamientos (los campesinos los llaman «bombas de agua»), ocurrieron durante la segunda tormenta (capítulo 3.2.2.).

Esto puede indicar que durante las primeras lluvias había solamente una saturación de las capas superficiales y entonces hubo un aumento de la plasticidad, y que después en la segunda tormenta, probablemente por la formación de cárcavas, se produjeron los deslizamientos.

En algunas partes de la cuenca se encuentran también coronas de deslizamientos viejos y supuestamente más profundos que los mencionados anteriormente (mapa 5).

b) Erosión

En algunos lugares, la fuerte erosión durante las lluvias provocó un lavado del suelo hasta la roca madre, especialmente en la cercanía de los ríos en las partes altas de la cuenca.

2. ANALISIS HIDROLOGICO

2.1. Precipitación

La figura 2 muestra la lluvia acumulada en la estación pluviográfica El Humo, la estación con las lluvias más altas (229 mm) en este día. Se pueden distinguir claramente dos tormentas diferentes durante la tarde del 2 de julio de 1987. Una tormenta empieza a las 4 y termina a las 5 de la tarde, con unos 80 mm, después de haber caído unos 25 mm entre las 2:20 y las 4 de la tarde.

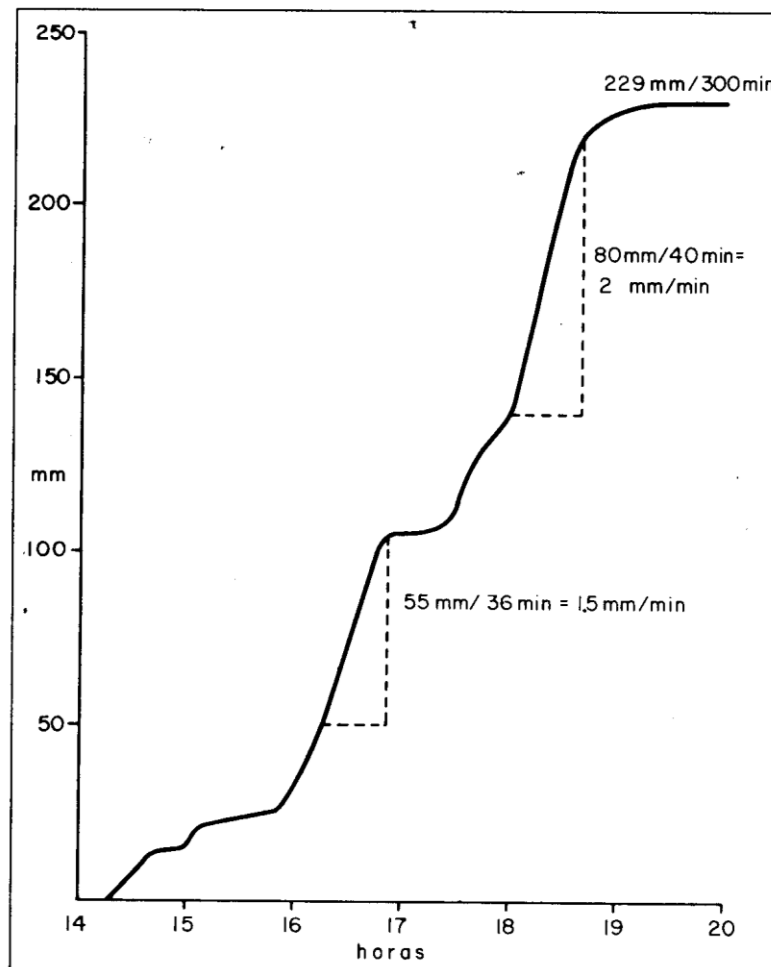
La intensidad máxima durante 36 minutos era de 1.5 mm/min. en esta primera tormenta.

Estas primeras lluvias, aunque llegaron con unos 105 mm casi a la mitad de las lluvias totales, no causaron daños mayores.

La segunda tormenta empezó, después de una pausa de unos 20 min., a las 5:20 de la tarde, primero con una intensidad de 2 mm/min., o sea con 80 mm en 40 min., llegando así a un total de 220 mm a las 6:40 de la tarde. Después bajó la intensidad nuevamente y a las 7:20 terminaron las lluvias. Esta segunda tormenta causó los daños mencionados anteriormente.

El mapa 6 muestra la distribución de la precipitación de la segunda tormenta, exhibiendo la cantidad caída entre las 5 de la tarde y las 8 de la noche.

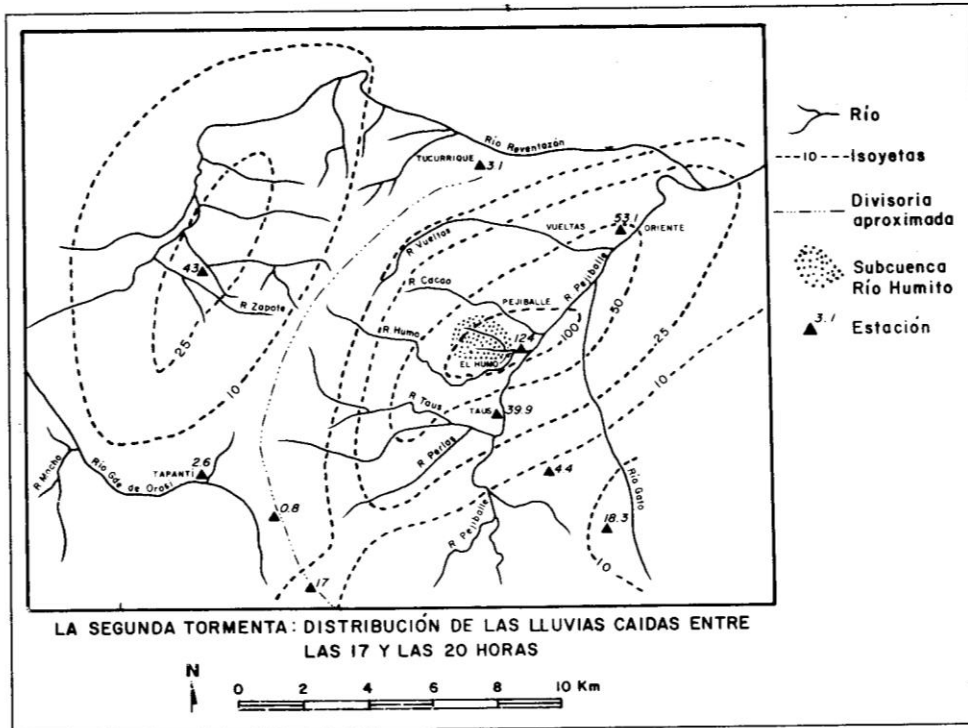
FIGURA 2.
Lluvias
acumuladas del
2 de julio de
1987, estación
El Humo.
 (Fuente de datos:
 ICE).



En esta distribución se supone dos centros diferentes: uno directamente sobre la estación El Humo, con 124 mm, el otro sobre Cachí, con 43 mm. Esta distribución toma en cuenta la elevación de la divisoria de aguas entre la cuenca del río Pejibaye y el río Grande de Orosi con unos 1.500 m. Una distribución parecida para las lluvias totales del 02/07/1987 presentan RAMIREZ y ZARATE (1987).

Sin embargo, para la subcuenca del río Humito no importa si se trata de un máximo (como supone el ICE en su reporte sobre el evento) o de dos máximos, porque en ambos casos el área de captación se quedaría muy cerca de las lluvias máximas medidas.

Estas lluvias máximas medidas no representan necesariamente las lluvias máximas reales. Según DUNNE y LEOPOLD (1978) la lluvia máxima local en la cercanía de una estación pluviométrica es, generalmente, dos veces más alta en el caso de eventos cortos que la precipitación medida.



MAPA 6.

Isoyetas de las lluvias caídas entre las 17 horas y las 20 horas del 2 de julio de 1987. Las lluvias tienen su intensidad más alta en al subcuenca del río Humito.

De todas formas las isoyetas muestran que se trata de tormentas sumamente locales.

La figura 3 muestra el análisis de período de retorno para la estación El Humo, tomando en cuenta las lluvias máximas diarias anuales y mensuales, aplicando el método de GUMBEL (1945), analizando 17 años.

La probabilidad de eventos iguales o mayores es, entonces, de 9.5% correspondiendo a un período de retorno de 10.5 años para los máximos anuales y de 0.7%, correspondiendo a un período de retorno de 143 meses (11.9 años) para los máximos mensuales.

Esta pequeña diferencia entre los períodos de retorno se debe al hecho de que:

- Los valores mensuales están acercándose más a una serie de duración parcial que los de los máximos anuales.

— La recta de regresión fue determinada en manera gráfica.

Sin embargo, la diferencia entre el valor de 10.5 años y 11.9 años es baja.

Estos valores indican que en el caso de las lluvias de 229 mm no se trata de un evento extraordinario.

2.2. Caudal máximo

a) Utilizando los valores de la precipitación

Para el cálculo de los caudales máximos se parte de los supuestos siguientes:

1. A las 18:00h., cuando empezaban las lluvias máximas, todos los almacenamientos (intercepción por plantas, retención por rugosidad superficial, etc.), estaban

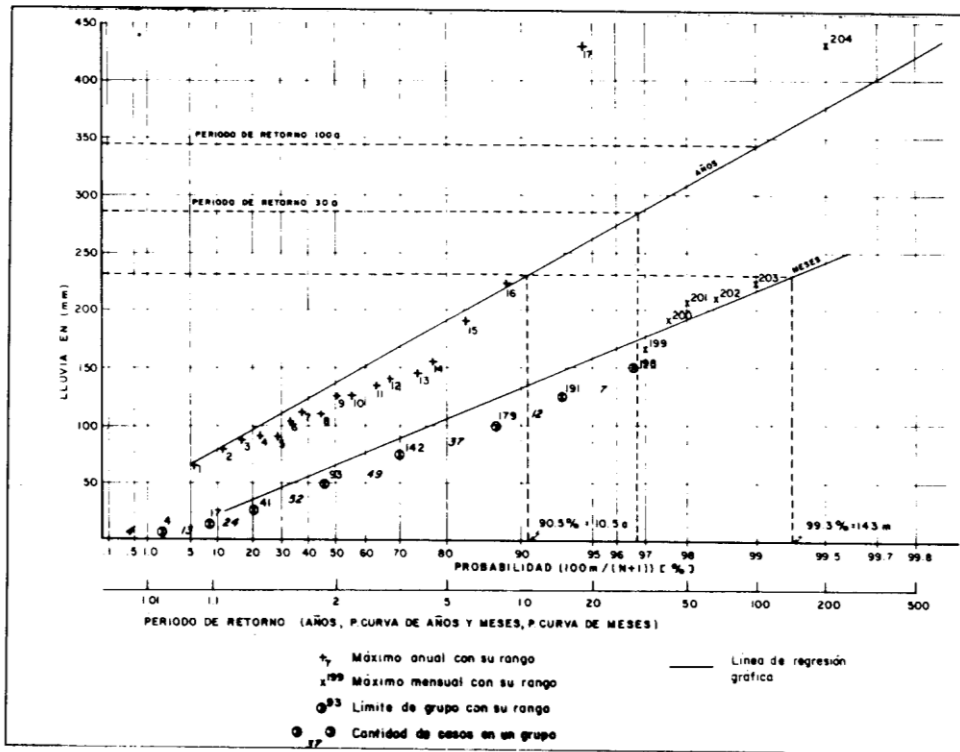


FIGURA 3.

Determinación gráfica del período de retorno de lluvias con una intensidad de 229.0 mm/24 h, utilizando los máximos anuales (línea alta) y mensuales (línea baja), aplicando el método de GUMBEL (1945).

(Fuente de datos: IMN).

TABLA 2.
CONDUCTIVIDADES SATURADAS DE 4 MUESTRAS DE SUELOS
DE LA CUENCA DEL RIO HUMITO.

<i>Muestra</i>	<i>Valor (cm/s)</i>	<i>Clasificación</i>
I	8.28*10-6	muy lento
II	1.46*10-3	moderado a rápido
III	9.88*10-4	moderado
IV	7.76*10-3	rápido
promedio geométrico	5.52*10-4	moderado a rápido

saturados. Este supuesto es realístico después de una precipitación total de 140 mm.

2. El tiempo de concentración en la cuenca es menor de 20 min. Tomando en cuenta las pendientes fuertes (mapa 3), la red de drenaje (mapa 2) y la saturación total previa, se estima un tiempo de concentración no mayor de 20 min.
3. La evaporación se puede ignorar durante la tormenta.
4. La infiltrabilidad se puede estimar en este caso (saturación previa) por los valores de la conductividad saturada (ver HILLEL, 1980), en este caso se determinó un valor promedio de 5.52*10-4 cm/s (ver tabla 2).
5. La lluvia cayó en forma homogénea en la cuenca del río Humito, o sea, los valores pluviométricos mencionados anteriormente son representativos.
6. Se supone como flujo base un valor de 10 m³/s, ya elevado por las lluvias caídas anteriormente.

El caudal tenía entonces su máximo de las 6:20 hasta las 6:40 de la tarde, con un valor de aproximadamente 76 m³/s. Este valor se determinó en la manera siguiente:

$$Q = (il - in) * A + Fb \quad \text{donde:}$$

- Q= caudal máximo (m³/s)
il = intensidad de las lluvias máximas (2 mm/min = 0.0333 mm/s)
in= infiltración (= 5.52 *10-4 cm/s = 0.0052 mm/s)
A= área de la subcuenca (2.38 km²)
Fb= Flujo base (se supone 10 m³/s)



FOTO 2.
Río Humito cerca de su desembocadura, donde se levantaron los perfiles.

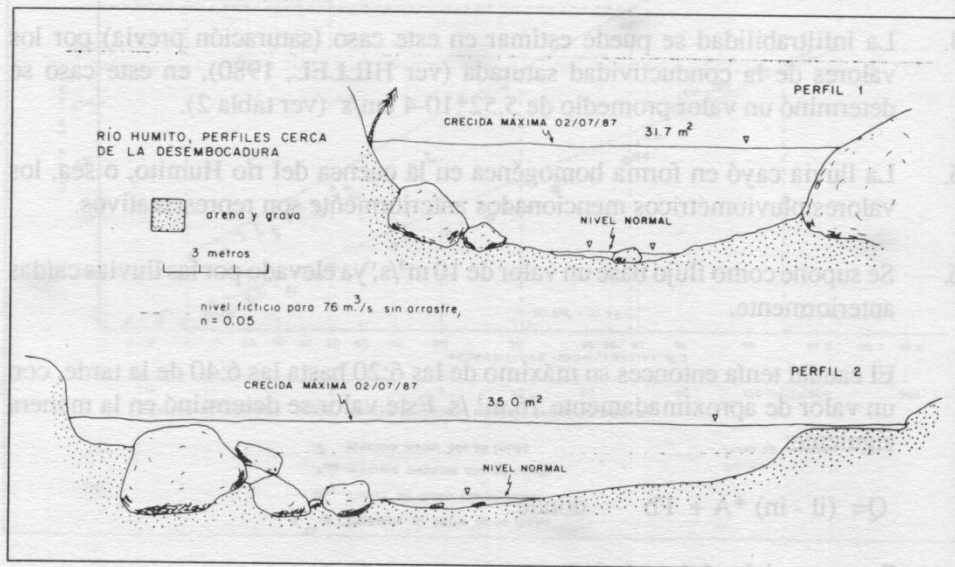


FIGURA 4.
Dos perfiles transversales por el río Humito, indicando la altura de la crecida máxima, la altura de un caudal de $76 \text{ m}^3/\text{s}$ y la altura actual durante el levantamiento de los perfiles.

EL METODO DE MANNING

Para aplicar el método de MANNING (1891) se levantaron en el lecho del río Humito dos perfiles después del 02/07/87 en una distancia de 50 m, cerca de la desembocadura (fig. 4, foto 2). La pendiente en el lecho se determinó en 6.1%.

El nivel de la crecida máxima se determinó por las marcas de la crecida en ambos lados (erosión, materiales depositados).

Suponiendo un valor de 0.04 para el parámetro «n», que representa canales naturales sinuosos limpios, con pozos y rápidos (ver LINSLEY, KOHLER & PAULUS, 1987) se llega a un valor de

$Q_{max} = 298 \text{ m}^3/\text{s}$ para el primer perfil y de

$Q_{max} = 272 \text{ m}^3/\text{s}$ para el segundo perfil

Con $n = 0.05$ (canales naturales, sinuosos pozos y rápidos, con vegetación y piedras) los valores son de

$Q_{max} = 238 \text{ m}^3/\text{s}$ para el primer perfil

$Q_{max} = 218 \text{ m}^3/\text{s}$ para el segundo perfil

Estos resultados son muy parecidos para los valores «n» iguales y caen bien dentro del margen del error posible de unos 20% que tiene este método (LINSLEY, KOHLER & PAULUS, 1977). Sin embargo, no se puede descartar que el lecho del río Humito se profundizó durante la crecida, causando una sobreestimación del valor del caudal máximo.

2.3. Impacto de los deslizamientos

Comparando el valor más bajo de $Q_{max} = 218 \text{ m}^3/\text{s}$, determinado con la fórmula de MANNING con el valor determinado anteriormente de $76 \text{ m}^3/\text{s}$, se observa que el valor según MANNING es casi tres veces más alto.

Para explicar esta diferencia existen varias posibilidades:

- a) La lluvia caída en la subcuenca del río Humito sobrepasó la intensidad medida en la estación El Humo. Esto sí es posible, pero para llegar casi tres veces más alta que las intensidades medidas y estas intensidades por un rato mayor de 20 min. (tiempo de concentración), o sea, $6 \text{ mm}/\text{min}$. durante por lo menos 20 minutos. Estas intensidades parecen improbables con la estación tan cerca.

- b) Observando el mapa 5, de los daños en la cuenca, se nota que la mayoría de deslizamientos está concentrada en gran parte de la cuenca. Lo que puede haber pasado es que estos deslizamientos bloquearon temporalmente el cauce del río formando represas y, en consecuencia, crecidas mayores cuando estos diques rompieron. El flujo, entonces, puede haber sido un flujo intermitente.
- c) Otra posibilidad es que estos deslizamientos aumentaron en alto grado por material arrastrado, la viscosidad y densidad del líquido, y con una viscosidad mayor y una velocidad menor y además el volumen adicional por el material arrastrado el río necesita un lecho mayor.

Esta posibilidad está apoyada por los bloques grandes arrastrados durante la crecida (foto 3), con diámetros mayores de 2 m, que requieren para su transporte un medio de densidad mayor que el del agua.

Existe entonces la posibilidad que el río, solamente por el alto contenido de lodo y material arrastrado, necesitaba un lecho que corresponde a un caudal de $218 \text{ m}^3/\text{s}$ (según MANNING) aunque el caudal de aguas limpias no sobrepasaba los $76 \text{ m}^3/\text{s}$.

Lo más probable de todo es la combinación de ambas posibilidades: un flujo

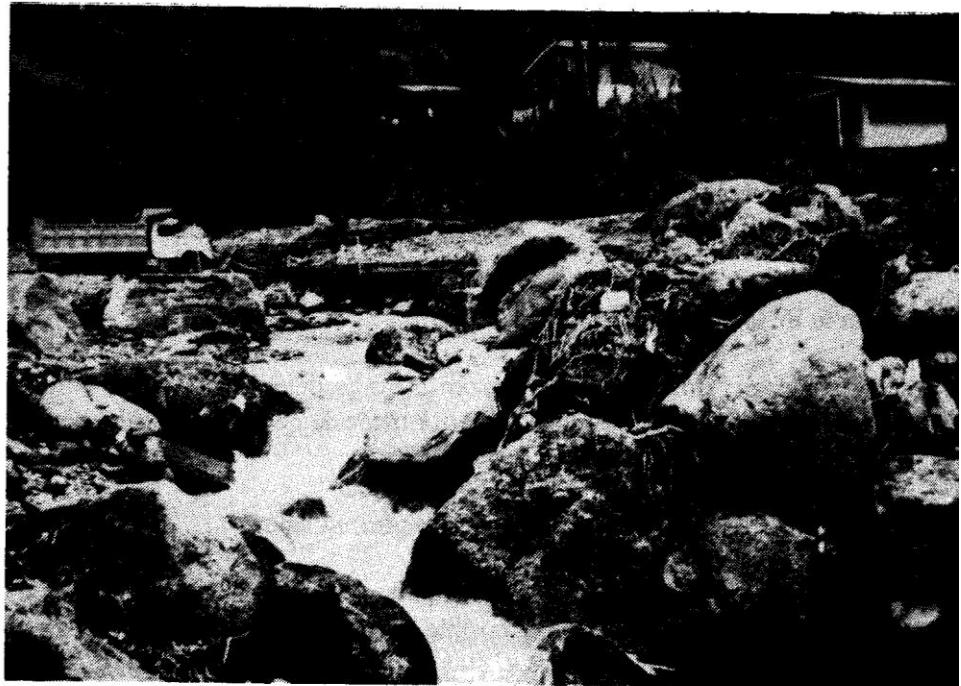


FOTO 3.
Grandes bloques arrastrados durante la crecida del 2 de julio de 1987.

intermitente con alto contenido de material en suspensión y arrastrado. La figura 4 muestra el nivel ficticio de la altura de un caudal de $76 \text{ m}^3/\text{s}$ sin material arrastrado o en suspensión y sin flujo intermitente (para $n = 0.05$), o sea, el nivel a que hubiese llegado el río sin el impacto de los deslizamientos.

Esto indica, que los daños mayores ocurrieron el 02/07/1987 por la inestabilidad de las vertientes y por los deslizamientos y que con las lluvias solamente los daños hubiesen sido menores.

DISCUSION

El resultado tal vez más importante del trabajo presentado es la relación entre los deslizamientos y el aumento del caudal del río Humito, o más correcto, el caudal aparece durante la catástrofe.

Sin estos deslizamientos no hubiese habido una inundación en El Humo ni una destrucción de los puentes, sino el agua hubiese mantenido un nivel todavía tolerable (ver fig. 4 nivel ficticio).

Estos deslizamientos superficiales en forma de avalanchas no ocurrieron solamente en la cuenca del río Humito, sino en toda la zona afectada por las tormentas del 2 de julio de 1987.

Los mapas 3, 4 y 5 (pendientes, daños, uso del suelo) muestran que dichas avalanchas ocurrieron en cualquier tipo del uso del suelo, sea un bosque, un pasto o un cafetal, pero que los daños mayores ocurrieron en las partes con las pendientes más fuertes. O sea, que la existencia de avalanchas del tipo descrito no depende tanto del uso del suelo, sino de las pendientes existentes en esta zona, y que la actividad humana (agrícola), entonces, no es la causa principal para dichos movimientos gravitacionales.

Sin embargo, no queremos defender los cultivos en pendientes tan fuertes. Ello provoca indudablemente pérdidas grandes de mano de obra invertida y de inversiones para la cultivación misma durante eventos como el descrito anteriormente. Pero no se puede probar que ello provoca las avalanchas. Estas avalanchas fueron provocadas por las fuertes lluvias con una intensidad muy alta. El análisis de la probabilidad de dichas lluvias muestra que tienen un período de retorno de unos 10 a 12 años. Como lluvias diarias, o sea, que a largo plazo se pueden esperar repeticiones cada 10-12 años, con probabilidades mayores en los meses de junio a diciembre. Pero, por otro lado, no se puede excluir que algo parecido pase mañana nuevamente. La alta probabilidad de estos eventos también está probada por existencia de testigos de eventos anteriores: los bloques sedimentados en los lechos de los ríos, que solamente pueden haber sido movidos por avalanchas.

El riesgo de catástrofes de este tipo es, entonces, inevitable en esta zona. Las

únicas posibilidades para reducir el riesgo para la población son tomar medidas pasivas:

- a) Retirarse de las partes bajas e inundables, cultivándolas tal vez con cultivos que no necesitan mayores inversiones y que, por ende, en caso de inundaciones no causan pérdidas grandes.
- b) Cultivar solamente áreas con pendientes hasta 45%, evitando así altas tasas de erosión y pérdida de las inversiones.

BIBLIOGRAFIA

- Dunne, T. y Leopold, L. B. 1978: **WATER IN ENVIRONMENTAL PLANNING**. London.
- Gumbel, E. J. 1945: **FLOODS ESTIMATED BY THE PROBABILITY METHOD**. Engineering News Record. Vol. 134, pp. 833-837.
- Hillel, D. 1980: **APPLICATION OF SOIL PHYSICS**. New York.
- Linsley, R., K. Kohler y M. A. Paulus 1977: **HIDROLOGIA PARA INGENIEROS**. México.
- Manning, R. 1891: **ON THE FLOW OF WATER IN OPEN CHANNELS AND PIPES**. TRANS. INST. CIVIL. ENG. Ireland. 20, 161-207.
- Ramírez, P. y Castro, V. 1978: **EVALUACION CUANTITATIVA DEL RIESGO DE DESASTRE POR CICLONES TROPICALES EN LA CUENCA DEL RIO GRANDE DE TARCOLES, COSTA RICA, AMERICA CENTRAL**. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Instituto Meteorológico Nacional, San José, s.p.
- Ramírez, P. y Zárate, E. 1987: **TORRENCIALES LLUVIAS DEL 2 DE JULIO EN LAS CUENCAS DE LOS RIOS PEJIBAYE Y GRANDE DE OROSI**. Boletín Meteorológico mensual, 11, vol. 7, San José, pp 5-7.
- Sprechmann, 1984: **MANUAL DE GEOLOGIA DE COSTA RICA**. Volumen 1. Estratigrafía. Editorial Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

MAPAS

- Instituto Geográfico Nacional: **HOJA TOPOGRAFICA PEJIBAYE. TAPANTI, TUCURRIQUEE ISTARU** Escala 1:50.000.
- Ministerio de Industria, Energía y Minas: **MAPA GEOLOGICO DE COSTA RICA**. Escala 1:200.000.
- OPSA: **MAPA GEOMORFOLOGICO DE COSTA RICA**. Escala 1:200.000.
- OPSA: **MAPA DE CAPACIDAD DE USO DEL SUELO**. Escala 1:200.000. 1978.

PERIODICOS

- LA NACION**: Viernes 3 de julio de 1987.
- LA NACION**: Sábado 4 de julio de 1987.
- LA NACION**: Sábado 8 de agosto de 1987.