

Cálculo de volumen de flujo de detritos (huaicos) y lahares secundarios. Considerando la infiltración según la teoría del número de curva (CN)

Yhon Soncco¹, Juan Cuno¹, Segundo Núñez¹ y Kevin Cueva¹

¹ INGEMMET Av. Canadá 1470, San Borja, Lima (autonomodgar38@ingemmet.gob.pe; yhon.sc@gmail.com)

Palabras clave: Flujo, detritos, precipitación, infiltración.

INTRODUCCIÓN

Las precipitaciones pluviales ocurren con cierta periodicidad, incidiendo y saturando superficies con elevada pendiente, suelos poco cohesivos, no consolidados, etc; generando flujos de detritos (huaicos) y/o lahares en ambientes volcánicos. Estos discurren principalmente por quebradas y torrenteras que cruzan las grandes ciudades, y a su vez producen inundaciones en las zonas de bajas pendientes como lo son las llanuras aluviales.

Los flujos de detritos consisten en una mezcla de agua y sedimentos de varios tamaños que van desde las arcillas hasta bloques. Los flujos son generalmente generados por precipitaciones de alta intensidad de lluvia (Takahashi, 1981; Johnson y Rodine, 1984).

Actualmente se aplican simulaciones de huaicos o lahares en software de base física o estadística, cuyo parámetro principal es el volumen del flujo a simular. El cálculo del volumen total del flujo se torna dificultoso, debido a que en ciertas zonas no se cuenta con estudios previos de flujos de detritos o lahares; o si se tienen depósitos, estos han sido modificados por la actividad humana o erosionados por flujos más recientes. Por ello se propone una metodología para poder calcular el volumen, involucrando el cálculo de agua captado por las cuencas y la premisa que los flujos generados contienen un porcentaje de sólidos el cual debe ser elegido en función a la experiencia del investigador.

Dicho procedimiento ha demostrado ser útil en la evaluación de peligros, el cual viene siendo aplicado en eventos recientes de inundación por flujos en el sur del Perú, con resultados coherentes con lo observado en campo, aumentando la precisión en la identificación de zonas afectadas o de posible afectación

METODOLOGÍA

El volumen de un flujo de detritos está dado por la sumatoria del volumen de agua y el de sedimentos, en base a porcentajes proporcionales. Por lo tanto, el volumen total de un flujo está dado por la ecuación 1.

$$V_{\text{flujo}} = V_{\text{agua}} + V_{\text{sedimentos}} \quad (1)$$

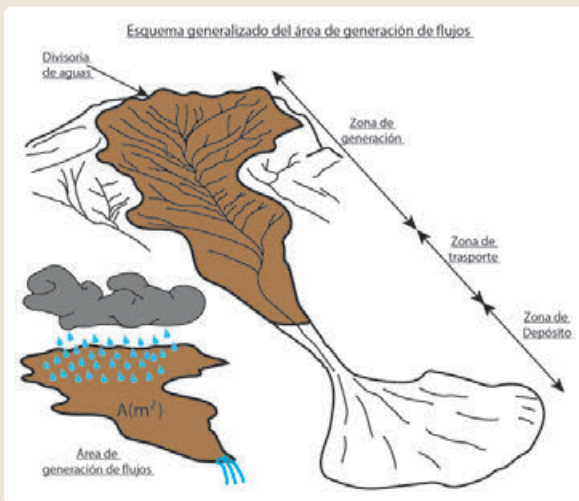
las referencias principales consultadas, sobre las proporciones agua/sedimentos son: Scott et al., 1995; Vallance (2000, 2005); Vascones, 2009; Córdoba et al., 2014, entre otras.

En Perú, actualmente la principal fuente de agua para el cálculo del volumen de los flujos de detritos y lahares secundarios está dada por la precipitación de lluvias intensas y/o excepcionales. Cuyos valores se adquieren del SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú).

Los flujos de detritos, en una quebrada se generan en la parte alta de la cuenca, durante su recorrido pasan por una zona de transporte, para finalmente depositarse en las partes bajas formando abanicos (Bateman et al., 2006). En ocasiones se forman conos.

El volumen de agua involucrado depende directamente de la precipitación neta (pn), expresado en (m) y el área de la zona de generación de flujo, representado como A(m²), cuyo límite horizontal se determina por el divortium aquarum, la cual es una línea imaginaria que traza la separación entre dos vertientes o cuencas fluviales limítrofes (Casaverde, 2011); mientras que el límite vertical se obtiene de la zonación planteada por Bateman et al., (2006).

Con base en lo explicado, se delimita el área de la zona de generación de un flujo (Fig. 1).



► Fig. 1 –Esquema generalizado del área de generación de un flujo de detritos y/o lahares secundarios.

El volumen de agua se representa por:

$$V_{\text{agua}} = P_n * A^2 \quad (2)$$

Donde:

- $P_n(m)$, precipitación neta
- $A(m^2)$, área de zona de generación de flujos

Con base en el porcentaje de agua y sedimentos de un flujo de detritos o lahar, se calcula el volumen total. Emplearemos la relación de 60 % de agua y 40 % de sedimentos.

$$V_{\text{agua}} = 60\% V_{\text{flujo}} = P_n * A^2 \quad (3)$$

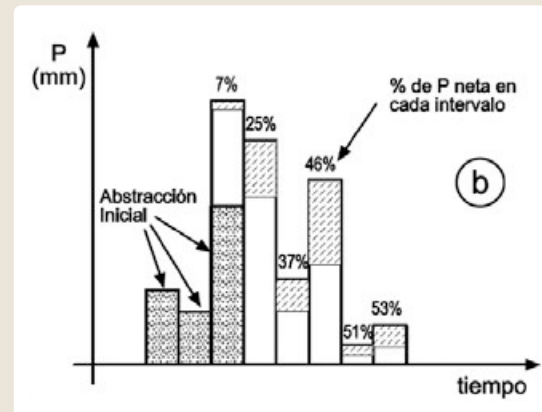
A continuación, se explica de donde se obtiene la precipitación neta (P_n)

Precipitación neta mediante el método del S.C.S.

Parte del agua de lluvia tiende a infiltrarse, debido a esto se tiene que separar dicha precipitación infiltrada, denominada (abstracción). El exceso de precipitación o precipitación neta es la precipitación que no se retiene en la superficie y no se infiltra en el suelo.

Para nuestro caso es esta fracción, denominada precipitación neta, la cual genera la escorrentía directa.

El suelo retiene una cierta cantidad de caída de lluvia al principio, y después las abstracciones van disminuyendo progresivamente (Fig. 2).



► Fig. 2 - Después de un umbral inicial (o abstracción inicial), el porcentaje de precipitación neta aumenta progresivamente. Adaptada por, (Sánchez, F.J. 2011).

El cálculo de la precipitación neta fue establecido empíricamente por el Servicio de Conservación de Suelos (S.C.S), USA (Mockus, V., 1964).

La clave es la precipitación inicial que no produce escorrentía directa. Esta magnitud se denomina abstracción inicial o umbral de escorrentía. Para su evaluación se emplean tablas en función del tipo de suelo (arenosos, arcillosos, etc), uso del suelo (bosques, cultivos, etc), pendientes, etc. Las tablas americanas proporcionan valores de CN ("curve number", que es una función de la abstracción inicial), mientras que las tablas españolas indican valores del umbral de escorrentía (P_o).

El cálculo del umbral de escorrentía, P_o (o "abstracción inicial"). Es un dato que aparece tabulado en función del uso de la superficie, de la pendiente y del tipo de suelos (A, B, C o D, de más arenoso y permeable a más arcilloso e impermeable). Las tablas de P_o pueden modificarse si los días anteriores han sido muy secos o húmedos.

Para el cálculo de P_n . Se utiliza la expresión siguiente. (Mockus, V., 1964).

$$P_n = \frac{(P - P_o)^2}{P + 4P_o} \quad (4)$$

Donde:

- ▶ P = precipitación total registrada (SENAMHI)
- ▶ Pn = precipitación neta
- ▶ Po = abstracción inicial o umbral de escorrentía.

La precipitación total registrada, se puede tomar de las estaciones meteorológicas del SENAMHI.

La única dificultad para el procedimiento es la obtención del umbral de escorrentía Po o su valor equivalente de CN. Estos valores se consultan en las tablas que aparecen en todos los manuales de hidrología (tabla 1). Mientras que las tablas españolas facilitan el Po, las tablas americanas proporcionan los valores de CN. (Sánchez, F.J. 2011).

Todas estas tablas proporcionan valores de CN o de Po en función del tipo y utilización de la superficie (área pavimentada, cultivos, bosques, etc.). La descripción original se detalla en NRCS (2007).

Si el área considerada comprende varios usos del terreno, hay que calcular la media ponderada, por ejemplo (valores de la tabla 1).

- ▶ 75 % Bosque espeso, suelo tipo B: Po = 47
- ▶ 25 % Barbecho, pendiente menor a 3%, suelo tipo C: Po = 11.

Se tomará la media ponderada de la siguiente manera.

$$Po = 47 \cdot 0.75 + 11 \cdot 0.25 = 38$$

VOLUMEN DE FLUJO

Ahora que sabemos cómo determinar la precipitación neta Pn (m), continuamos a partir de la ecuación 4.

$$V_{\text{agua}} = 60\% V_{\text{flujo}} = Pn \cdot A^2$$

$$V_{\text{flujo}} = Pn \cdot A^2 \cdot (60\%)^{-1} \quad (5)$$

Si empleamos la relación de 50 % de agua y 50 % de sedimentos planteado por Vallance (2000). Y la introducimos en la ecuación número 5; el resultado sería el siguiente.

$$V_{\text{flujo}} = Pn \cdot A^2 \cdot 2 \quad (6)$$

ESTIMACION INICIAL DEL UMBRAL DE ESCORRENTIA Po (mm) PARA HUMEDAD PREVIA INTERMEDIA						
Uso de la tierra	Pendiente (%)	Características hidrologicas	Grupo de suelo			
			A	B	C	D
Barbecho	≥3	R	15	8	6	4
	<3	N	17	11	8	6
Cultivos en hilera	≥3	R/N	20	14	11	8
	<3	R/N	28	19	14	11
Cereales de invierno	≥3	R	29	17	10	8
	<3	N	32	19	12	10
Rotación de cultivos pobres	≥3	R	26	15	9	6
	<3	N	28	17	11	8
Rotación de cultivos densos	≥3	R/N	30	19	13	10
	<3	R/N	37	20	12	9
Praderas	≥3	R	37	20	12	9
	<3	N	42	23	14	11
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal	≥3	Pobre	24	14	8	6
	<3	Media	53	23	14	9
Masas forestales (bosques, Monte bajo, etc.)	≥3	Buena	33	18	13	10
	<3	Muy buena	41	22	15	11
Plantaciones irregulares de aprovechamiento forestal	≥3	Pobre	58	25	12	7
	<3	Media	35	17	10	7
Plantaciones irregulares de aprovechamiento forestal	≥3	Buena	22	14	14	11
	<3	Muy buena	25	16	14	11
Plantaciones irregulares de aprovechamiento forestal	≥3	Pobre	62	26	15	10
	<3	Media	34	19	14	10
Plantaciones irregulares de aprovechamiento forestal	≥3	Buena	42	22	15	10
	<3	Pobre	34	19	14	10
Plantaciones irregulares de aprovechamiento forestal	≥3	Media	42	22	15	10
	<3	Buena	50	25	16	11
Plantaciones irregulares de aprovechamiento forestal	≥3	Muy clara	40	17	8	5
	<3	Clara	60	24	14	10
Plantaciones irregulares de aprovechamiento forestal	≥3	Media	34	22	16	11
	<3	Espesa	47	31	23	16
Plantaciones irregulares de aprovechamiento forestal	≥3	Muy espesa	65	43	33	23
	<3					

Notas: 1. N: denota cultivo según las curvas de nivel.
 2. R: denota cultivo según la línea de máxima pendiente.
 3. Las zonas abarcadas se incluirán entre las de pendiente menor del 3 por 100.

Tipo de terreno	Pendiente (%)	Umbral de escorrentía (mm)
Rocas permeables	≥3	3
	<3	5
Rocas impermeables	≥3	2
	<3	4
Firmes granulares sin pavimento		2
Adoquinados		1.5
Pavimentos bituminosos o de hormigón		1

Tabla 1. De valores de Po, España. MOPU,

El volumen de flujos de detritos (huaico) y/o lahares secundarios, depende de la relación agua y sedimentos, tal como lo muestran los resultados de las ecuaciones 5 y 6.

Finalmente, la ecuación para el cálculo del volumen de flujo es el siguiente.

$$V_{\text{flujo}} = Pn \cdot A^2 \cdot (X\%)^{-1}$$

Donde:

- ▶ Pn (m), precipitación neta
- ▶ A (m²), área de zona de generación de flujos
- ▶ X, porcentaje de agua asumido por el investigador.

REFERENCIAS

- ▶ Bateman, A., Medina, V., Hürlimann, M., Velasco, D. (2007). Modelo bidimensional para simulación de flujos detríticos: FLAT Model. Aplicación a una cuenca del Pirineo Catalán: Ingeniería hidráulica en México, XXII (4), 5-20.
- ▶ Johnson, A.M. y Rodine, J.R. Debris flow. En: Brunsdon, D. y Prior, D.B. (editores), Slope Stability. New York: John Wiley and Sons, 1984, pp. 257-361.
- ▶ Takahashi, T. Debris flow. Annual reviews of fluid mechanics. Vol. 13, 1981, pp. 57-77.
- ▶ MOPU (1990). Instrucción de Carretera 5.2 - IC drenaje superficial (BOE de 23 de mayo de 1990)
- ▶ Mockus, V., (1964). Estimation of direct runoff from storm rainfall. SCS, National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology, 30. pp.
- ▶ NRCS (2007). National Engineering Handbook. Part 630: Hydrology, chapter 10. National Resources Conservation Service.
- ▶ Scott, K. M., J.W. Vallance, and P.T. Pringle, Sedimentology, Behavior, and hazards of debris flow at Mount Rainier Washington, U.S. Geol. Surv. Prof. Pap., 1547, 56pp., 1995.
- ▶ Sánchez, F.J. (2011). Cálculo de la precipitación neta.
- ▶ Sánchez, F.J. (2011). Hidrología superficial (III).