

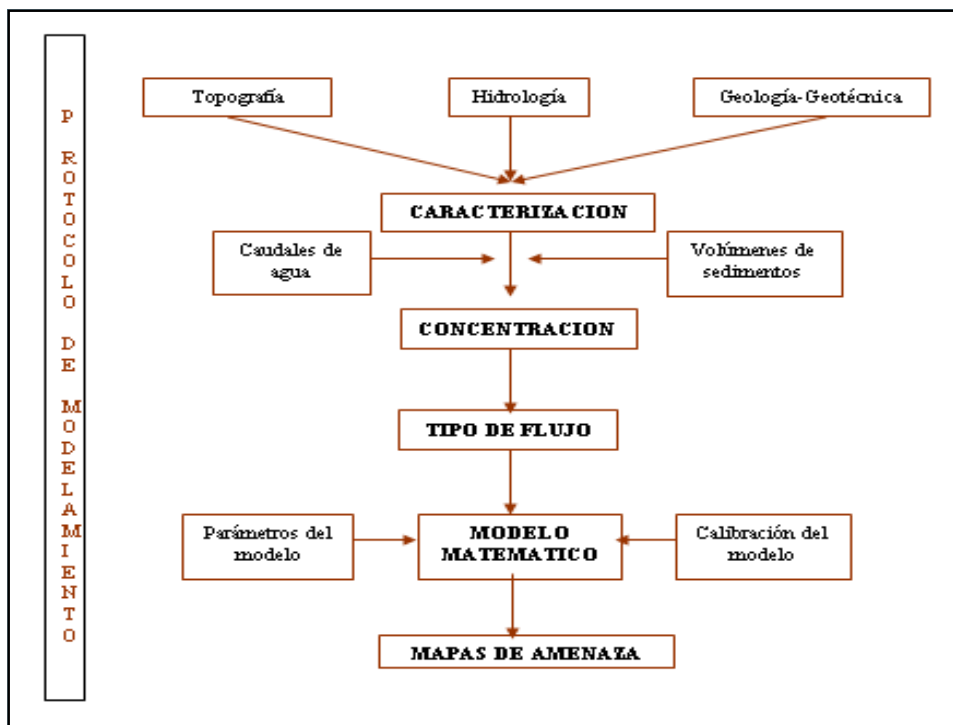


**1º SYMPOSIUM  
INUNDACIONES Y HUAYCOS**

**Modelado de flujos de lodo usando FLO-2D en la Quebrada Paihua: Impacto en la ciudad de Matucana**

Ing. Leonardo F. Castillo Navarro

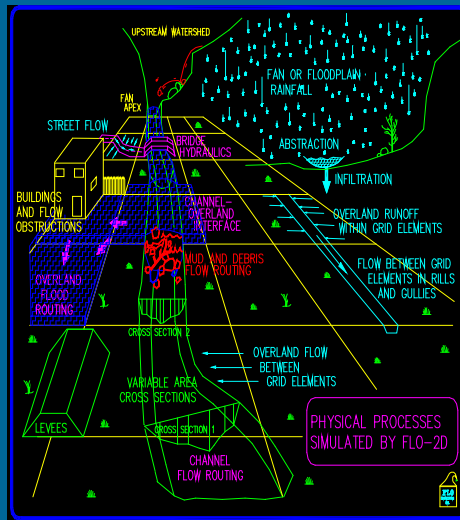
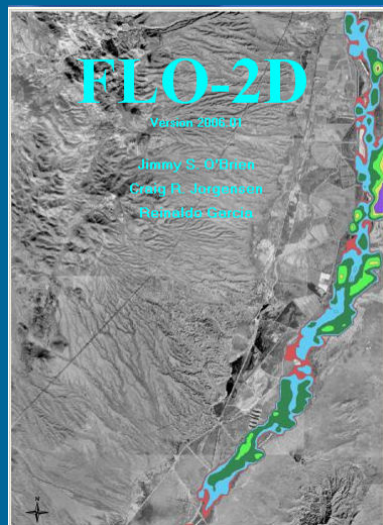
Marzo, 2007



## Modelos numéricos que analizan fluidos no-Newtonianos

Modelo	Descripción	Página web
NWS-FLDWAY	Modelo unidimensional de flujo no permanente. Puede analizar fluidos del tipo Bingham.	<a href="http://www.weather.gov/ohd/hrl/rvmec/h/fld_aval.htm">http://www.weather.gov/ohd/hrl/rvmec/h/fld_aval.htm</a>
DAN-W	Es un software geotécnico usado para el análisis de tránsito dinámico en deslizamientos y avalanchas.	<a href="http://www.clara-w.com/DANWRUnoutAnalysis.html">http://www.clara-w.com/DANWRUnoutAnalysis.html</a>
DBF-1D	Es un nuevo modelo de flujo de escombros unidimensional que analiza 2 fases. Predice las velocidades del flujo, tirantes, distancia recorrida y presiones de impacto.	<a href="http://www.wsl.ch/hazards/dbf-1d/dbf-1d-de.ehtml">http://www.wsl.ch/hazards/dbf-1d/dbf-1d-de.ehtml</a>
FLO-2D	Es un modelo de tránsito dinámico de avenidas en 2 dimensiones, que simula flujo en canales, superficies no confinadas y flujo en calles. Su aplicación es para flujos de avenida, flujos hiperconcentrados y flujos de escombros.	<a href="http://www.flo-2d.com">http://www.flo-2d.com</a>
AVAL-1D	Es un programa exclusivo para análisis dinámico de avalanchas unidimensional que predice las distancias recorridas, velocidades del flujo y presiones de impacto.	<a href="http://www.slf.ch/aval-1d/">http://www.slf.ch/aval-1d/</a>

## Modelo numérico FLO-2D



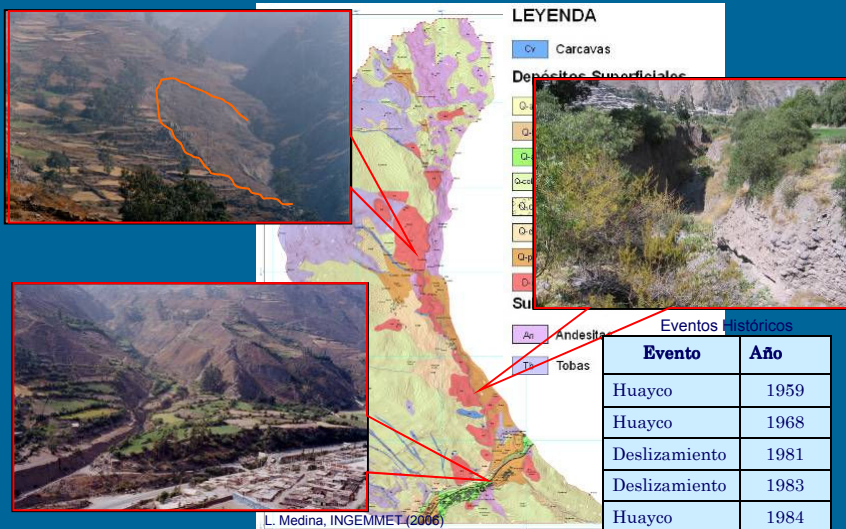
## Alcances del modelo FLO-2D

- El FLO-2D considera el comportamiento reológico del flujo como un fluido homogéneo de concentración variable ( $C_v$ ). Esto significa que internamente no se hace distinción de los tamaños de sedimento.
- El modelo reológico específico es el de O'Brien y Julien (1985) proveniente de la expresión de fluidos dilatantes (fluido no-Newtoniano).
- El análisis reológico del modelo envuelve 4 tipos diferentes de esfuerzos cortantes: el esfuerzo de cedencia, los esfuerzos viscosos, esfuerzos turbulentos y esfuerzos dispersivos.
- Según la literatura, deja de ser un flujo de "agua limpia" cuando la concentración volumétrica de sedimentos ( $C_v$ ) es mayor a 20%. Para el caso de avenidas de lodo (Mud floods) la concentración volumétrica puede llegar hasta 45%.
- Para el modelamiento es necesario conocer los parámetros reológicos, tal como la viscosidad ( $\eta$ ) y el esfuerzo de cedencia ( $\tau_y$ ) de la mezcla agua-sedimento. Para el modelo FLO-2D estos parámetros son una función exponencial de  $C_v$ .

## Caracterización Topográfica



## Caracterización Geológico-Geodinámico

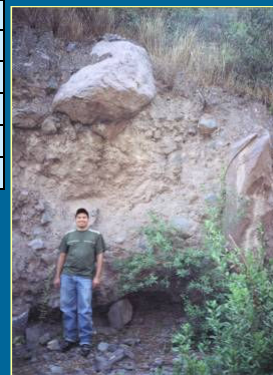


## Caracterización Geotécnica

Ubicación muestra	Nombre	% finos	%LL	%LP	%IP	SUCS
Deslizamiento	M1	20	34	18	16	SC
	M2	30	35	17	18	SC
Cauce	EST21	30.8	34	25	9	SM
Cono de deyección	JJO001	32.0	32	23.5	8.5	SM
	JJO002	25.3	29	18.1	10.9	SC

MUESTRA	EST21	JJO002	JJO001
Gravedad Especifica del sedimento	2.58	2.65	2.63

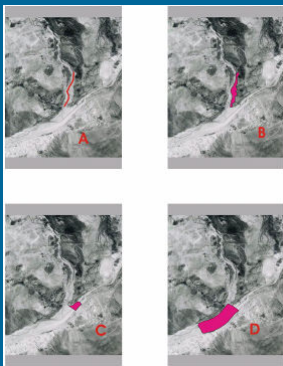
Fuente: Ensayos de Mecánica de Suelos para la quebrada Paihua (DGA-INGEMMET)



- Se realiza una comparación de la muestra de campo con muestras tipo de la literatura ("Laboratory Analysis of mudflows", O'Brien & Julien, 1988), con el fin de elegir la viscosidad dinámica y el esfuerzo de cedencia mas representativo.

## Volumen depositado de escombros: quebrada Paihua

- JICA (1988), para los huaycos de marzo 1987, estimó un volumen de 110,000 m<sup>3</sup>.
- El Departamento de Geología Ambiental del INGEMMET y PMA:GCA, estimó en 290,000 m<sup>3</sup> (Lionel Jackson, 2005).



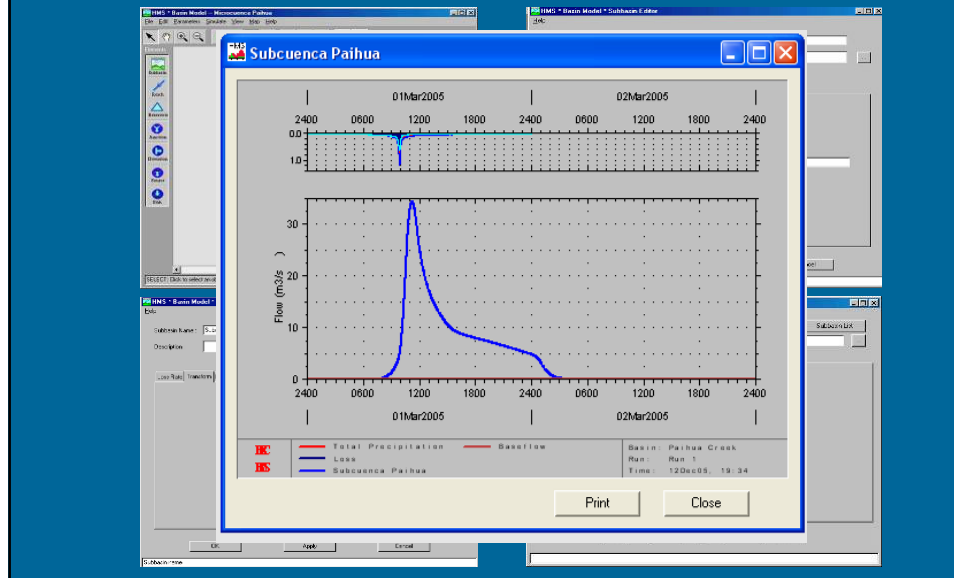
Segmento	Area (m <sup>2</sup> )	Tirante (m)	Volumen total (m <sup>3</sup> )
Canal (A)	7968	12	95,616
Depósito al este del canal sobre el abanico (B)	7419	1.5	11,128.5
Escombros encontrados en el río Rímac, aguas arriba de la confluencia (C)	4058	5.5	22,319
Escombros encontrados en el río Rímac, aguas abajo de la confluencia (D)	29180	5.5	160,490
<b>Total</b>			<b>289,554</b>

## Caracterización Hidrológica

Precipitación máxima de 24 horas

Estaciones	P20	P50	P100
Matucana	36.30	42.90	48.00
Milloc	52.30	61.70	69.20
Casapalca	57.40	73.40	88.00
Carampoma	35.90	38.10	39.40
Chañilla	43.90	47.00	49.00
Marcapomacocha	61.90	77.10	<b>90.40</b>
Mina Colque	32.30	37.50	41.50
San José de Parac	44.60	55.90	65.70
Autista	29.40	36.20	41.70
Sta. Eulalia	29.40	34.00	38.30
San Cristóbal	42.00	47.40	51.30
Morococha	52.50	54.90	81.80
Pomacocha	49.50	58.20	60.30
Huallacocha	51.00	55.90	60.00
Casaracra	41.20	46.50	50.50
La Oroya	40.60	50.40	58.20
Curipata	53.00	63.90	72.50
Yauricocha	37.30	41.40	44.50

## Calculo del Hidrograma Líquido (Modelo HEC-HMS)



## Calibración del Modelo

- Consiste en la identificación de evidencias vistas en campo (marcas en las márgenes del cauce). Se verifica los tirantes en los puntos de control.
- Consiste en la comparación del volumen de sedimentos estimado en campo con el volumen reportado por el modelo FLO-2D.

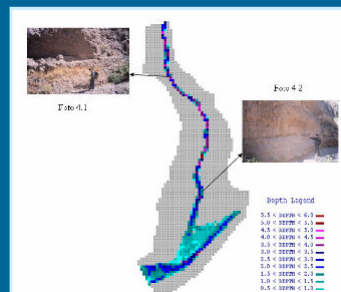
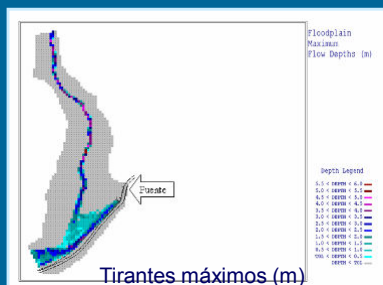


Fotografía 4.1. Tirante máximo a 593 metros aguas arriba de la confluencia. Altura aproximada de 4.5 metros.



Fotografía 4.2. Marca de agua registrada en ambas márgenes de la quebrada a 290 metros aguas arriba de la confluencia. Altura aproximada de 1.80 m.

## Resultados del FLO-2D

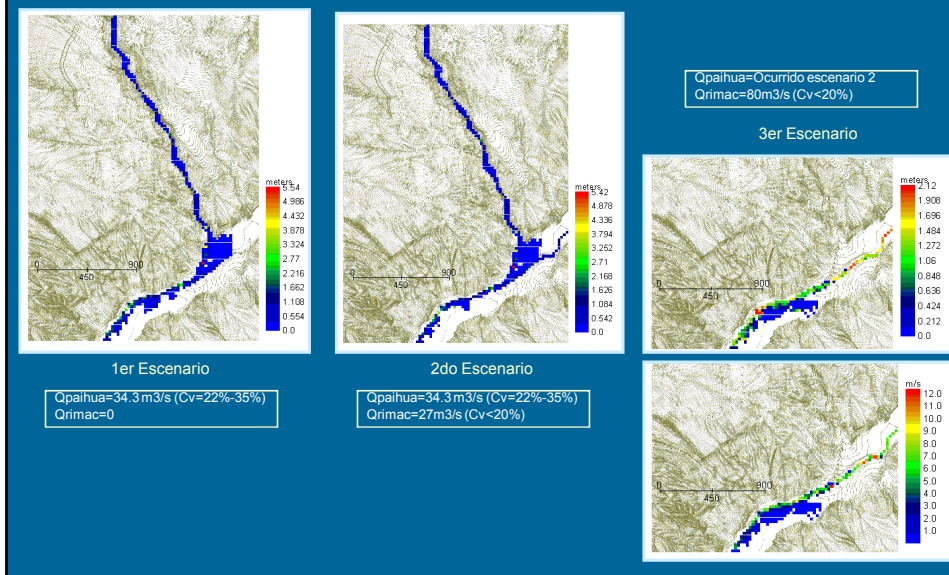


FLUJO (M3)	AGUA (M3)	VOLUMEN TOTAL CON SEDIMENTOS (M3)
Hidrograma de entrada (inflow)	452 090	620 989
Almacenamiento dentro del área de análisis	1 798	2 545
Flujo fuera del área de análisis (outflow)	450 292	618 643

## Mapa de amenaza preliminar - Matucana

- Se empleará el plano proveniente del IGN a escala 1:5000. Longitud de quebrada de 2.7 Km.
- Caudal líquido pico de 34.3 m<sup>3</sup>/s y un C<sub>v</sub> de 22% a 35%.
- Para la simulación se incluirá el caudal del río Rímac ocurrido el día del huayco de 1983 en Matucana (4 de Marzo de 1983, según PREDES). La estimación del caudal para esa fecha se basa en una interpolación entre las estaciones de San Mateo y Chosica R-2, en proporción de áreas de aporte de subcuencas intermedias y precipitación.
- El caudal para el río Rímac es de 27.2 m<sup>3</sup>/s, frente a Matucana. Además se toma en cuenta un encauzamiento del río de 3 a 4 m de profundidad. Para el río se asume un C<sub>v</sub> menor a 0.20 (avenida de agua).

## Simulación de escenarios analizados






## Elaboración del Mapa de amenaza

□ Metodología propuesta por Basabe et al.,(2000):

- ✓ **Amenaza Alta (Color Rojo).**- Las personas están en peligro tanto dentro como fuera de las viviendas o edificios. La zona de amenaza alta debe ser una zona sujeta a reglamentación.
- ✓ **Amenaza Media (Color Naranja).**- Las personas están en peligro fuera de las viviendas o edificios. Las edificaciones pueden sufrir daños, pero no destrucción repentina, siempre y cuando su estructura sea adaptada a las condiciones del lugar. La zona de amenaza media debe ser una zona sujeta a reglamentación.
- ✓ **Amenaza Baja (Color Amarillo).**- El peligro para las personas es débil o inexistente. Las edificaciones pueden sufrir daños leves, pero puede haber daños graves en el interior. La zona de amenaza baja es de sensibilización.

Intensidad alta	$h > 1 \text{ m}$	ó $v \times h > 1 \text{ m}^2/\text{s}$
Intensidad media	$h < 1 \text{ m}$	ó $v \times h < 1 \text{ m}^2/\text{s}$
Intensidad baja	No existe para este fenómeno	

## Mapa de amenaza preliminar - Matucana

-  Amenaza Alta
-  Amenaza Media
-  Amenaza Bajo



# GRACIAS

*lcastillonavarro@yahoo.es*