



**Universidad Nacional de
Ingeniería**



**Instituto para la Mitigación
de Efectos del Fenómeno
del Niño**

TENDENCIAS ACTUALES EN LA INVESTIGACION DE EVENTOS EXTREMOS

Modelamiento numérico de huaycos. Tendencias

Ing. Leonardo Castillo Navarro

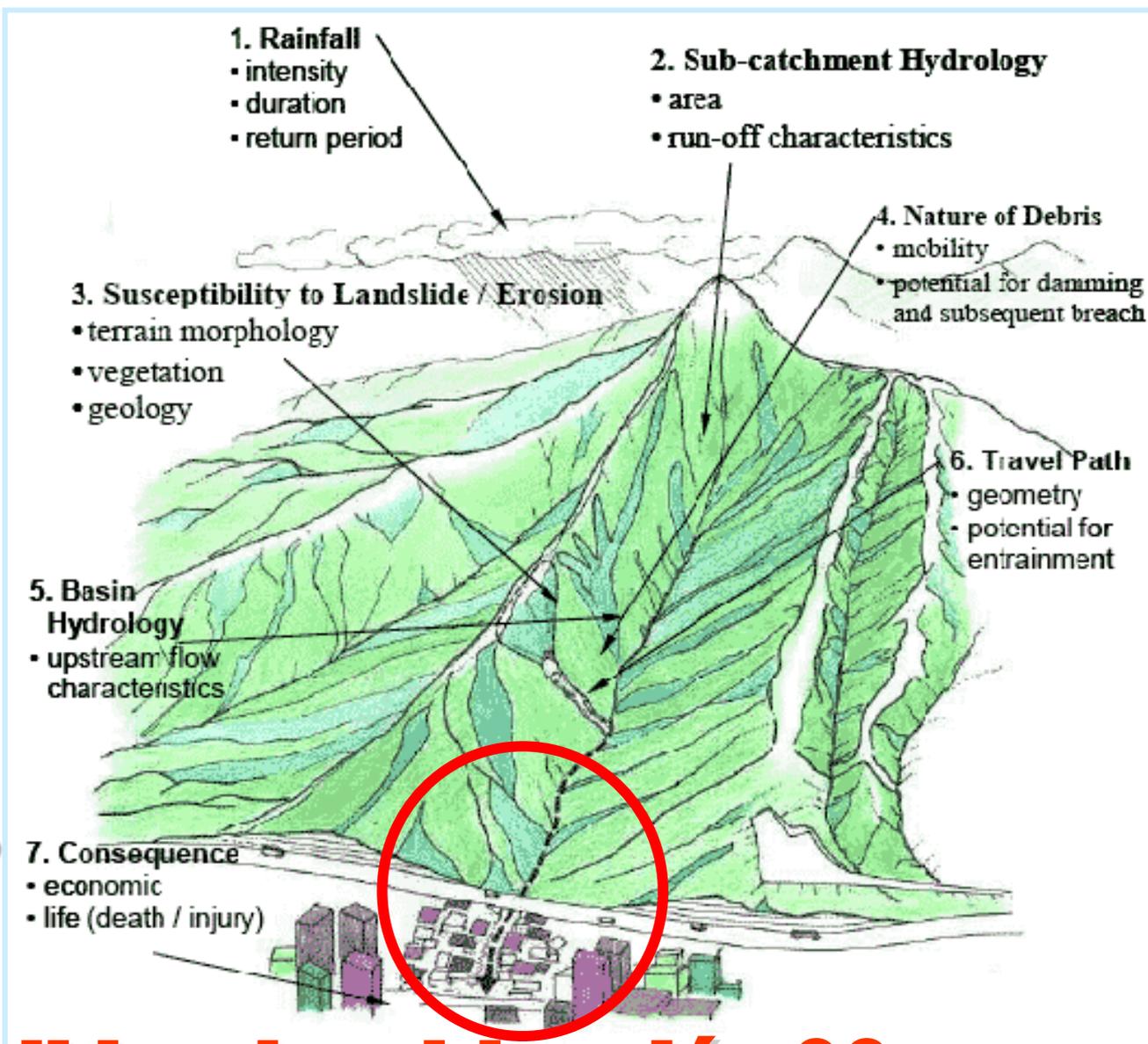
Febrero 2012

NOTICIAS – ENERO 2012

- **03/Ene. Puno:** Huaycos arrasan con viviendas en valle de Crucero.
- **09/Ene. Lima:** En el Valle de Santa Eulalia, el deslizamiento de un Huayco afecto a 9 distritos de la provincia de Huarochirí. 24 Horas. Edición Central.
- **10/Ene. Apurímac:** Huayco destruye chacras enteras en comunidad Santa Rosa.
- **24/Ene. La Libertad:** Huayco bloquea carretera a la provincia de Pataz.
- **31/Ene. Ucayali:** Sectores críticos de la CFB durante los días lluviosos de fin de semana detuvieron por algunas horas la transitabilidad en esta vía producto de los constantes huaycos en la zona

**LA TEORIA LA
CONOCEMOS!!!, EL
PROCESO DE
INICIACIÓN DEL
HUAYCO YA LO
CONOCEMOS!!!**

**PARA EL PERÚ EL
HUAYCO ES UN
FENOMENO
RECURRENTE EN
EPOCAS DE
VERANO, SIN
EMBARGO
PARECIESE QUE NO
LO CONOCEMOS!!!**



Medidas de mitigación ??

¿Cuál es el comportamiento hidráulico del flujo de lodo a lo largo de una quebrada?

¿Qué técnicas numéricas tenemos para aproximarnos al evento?

¿Es conveniente aplicar un modelo 1D o 2D?

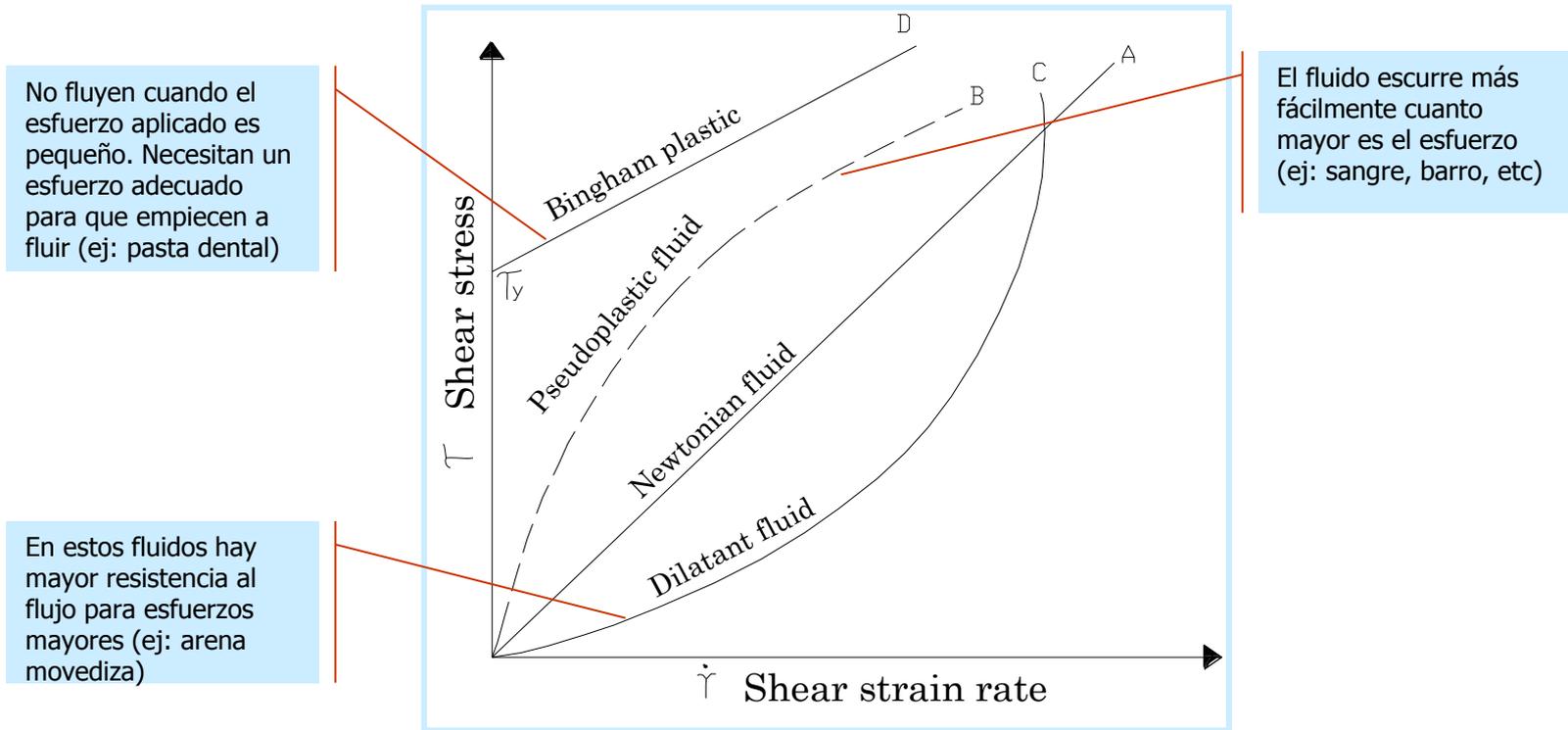
¿Es posible simular el huayco mediante un modelo matemático?

¿Existen sistemas informáticos que nos faciliten el modelamiento del huayco?

TIPOS DE FLUIDO (cont.)

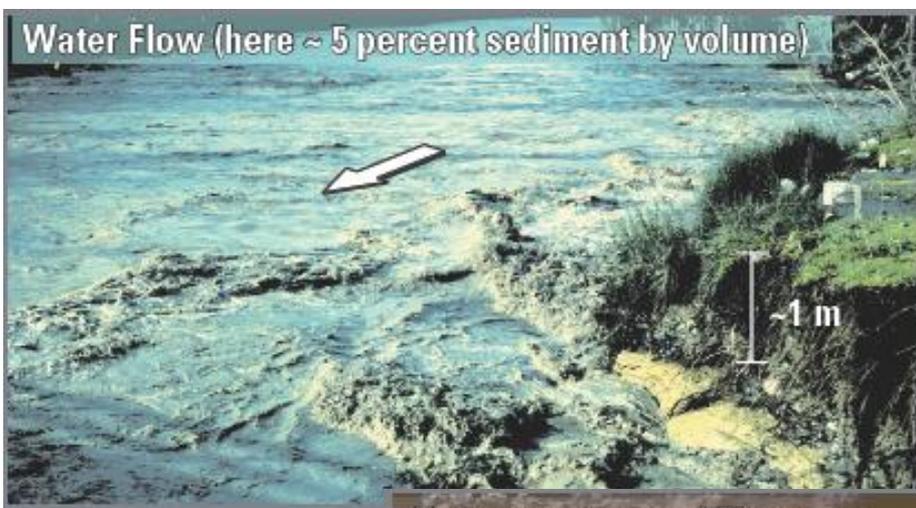
- ❑ En Ingeniería de Ríos se considera el fluido como “agua limpia” y se trabaja con los conceptos de fluidos Newtonianos.
- ❑ Cuando el transporte de sólidos es tan grande y la densidad de la mezcla se eleva por encima de la densidad del agua, las nociones de hidráulica fluvial se desvanecen y se introduce los conceptos de fluidos no-Newtonianos. Desde el punto de vista hidráulico, a esta rama se conoce como “Hidráulica Torrencial”.
- ❑ Los fluidos no-Newtonianos comprenden en general mezclas como barros, aceites lubricantes muy viscosos, fluidos orgánicos como la sangre, etc.
- ❑ Los fluidos no-Newtonianos se subdividen en 3 tipos: fluidos Dilatantes, Pseudoplásticos y de tipo Bingham.

TIPOS DE FLUIDO (cont.)



Típica relación entre el esfuerzo cortante (τ) y la tasa de deformación ($\dot{\gamma}^*$)

Water Flow (here ~ 5 percent sediment by volume)



Hyperconcentrated Flow (here ~40 percent sediment by volume)



Debris Flow (here ~65 percent sediment by volume)



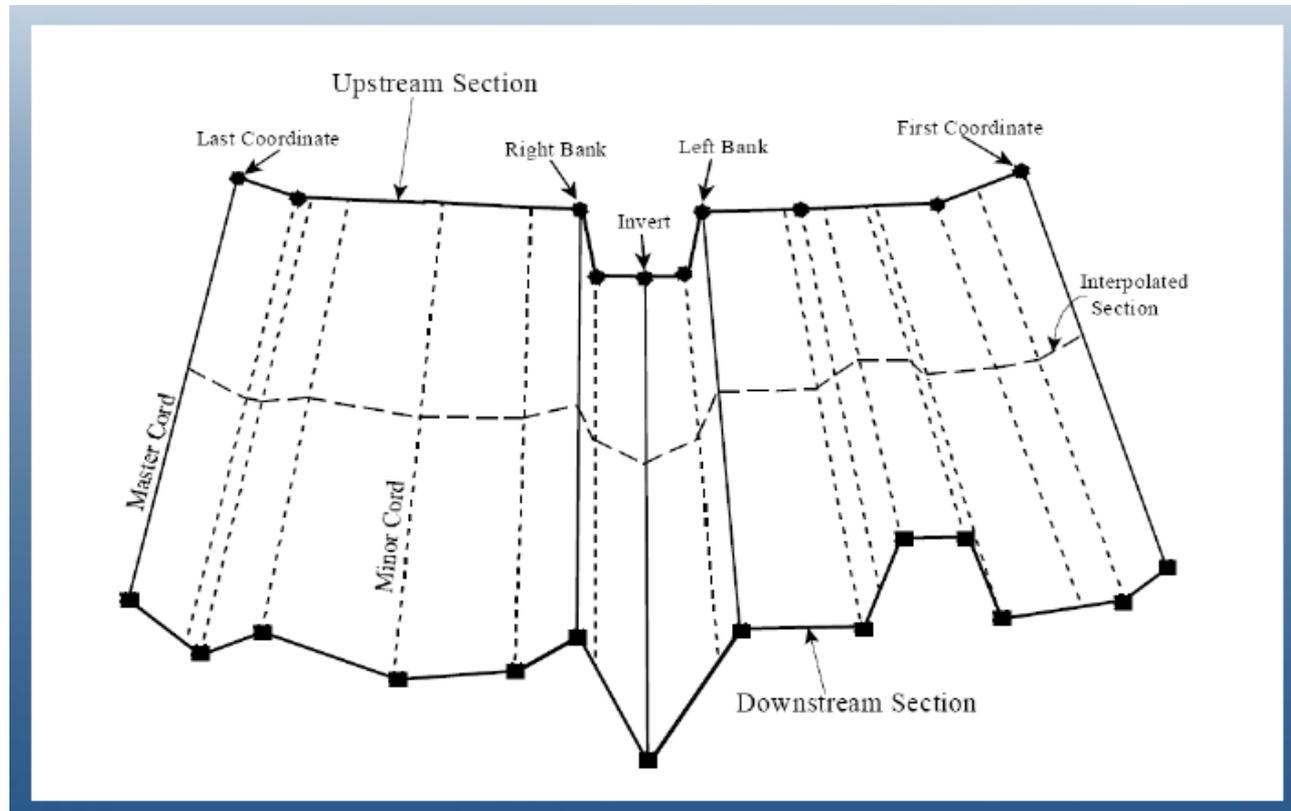
Fuente: USGS

- ❑ Los flujos de lodo generalmente consisten de altas concentraciones de partículas finas (limos y arcillas).
- ❑ El flujo hiperconcentrado está formado por una mezcla de partículas gruesas y agua. Se considera un flujo hiperconcentrado si la concentración volumétrica de sedimentos en el flujo varía de 20% a 60%.

Modelo 1D

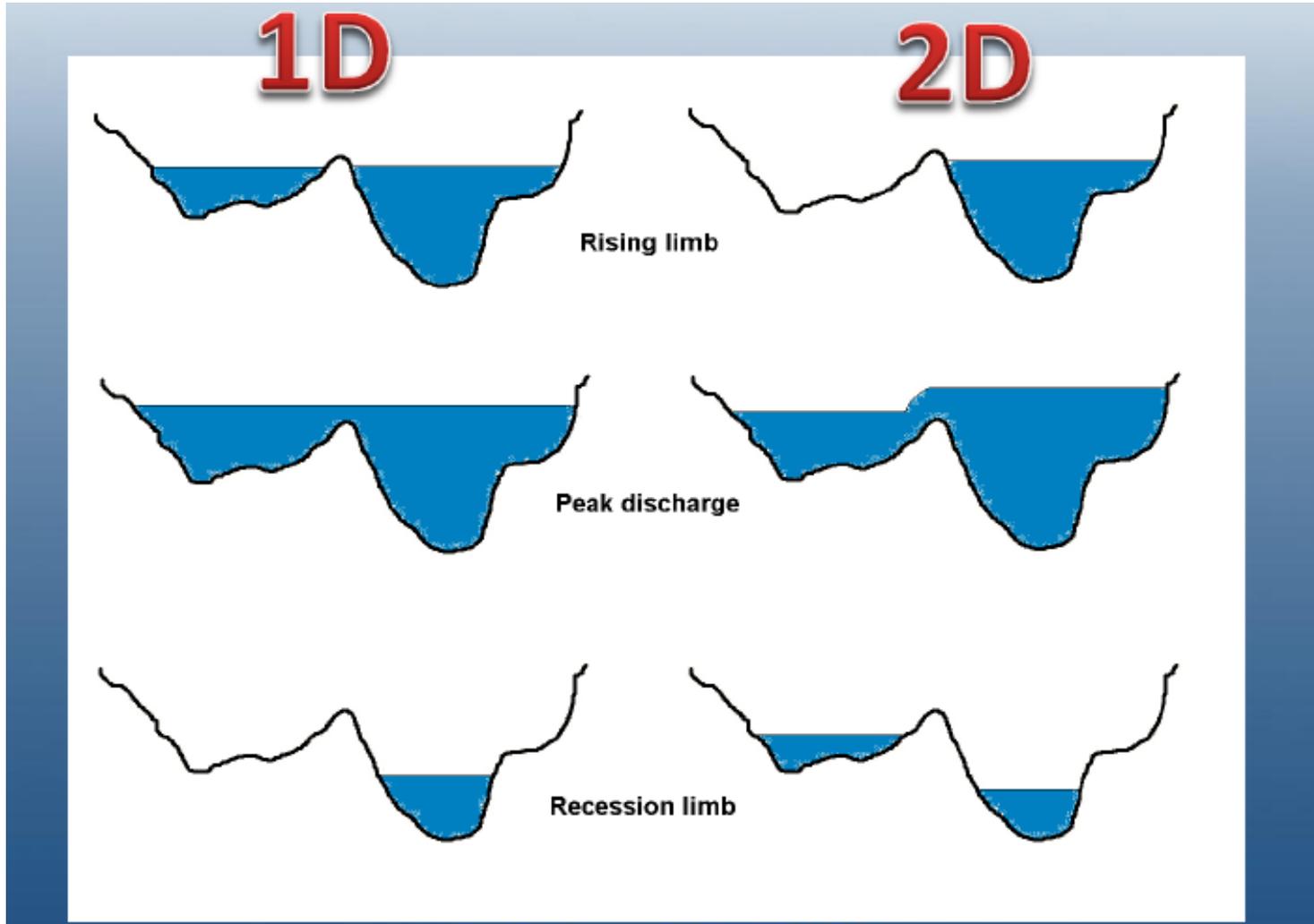
- Para una sección transversal dada:
 - Elevación de la superficie de agua es constante
 - La velocidad es uniforme
- Flujo unidireccional
- Los cambios de la cantidad de movimiento entre canal principal y planicies de inundación son despreciables.
- Muchos modelos 1D en flujo no permanente son creados principalmente para flujos subcriticos (ejem: HEC-RAS)

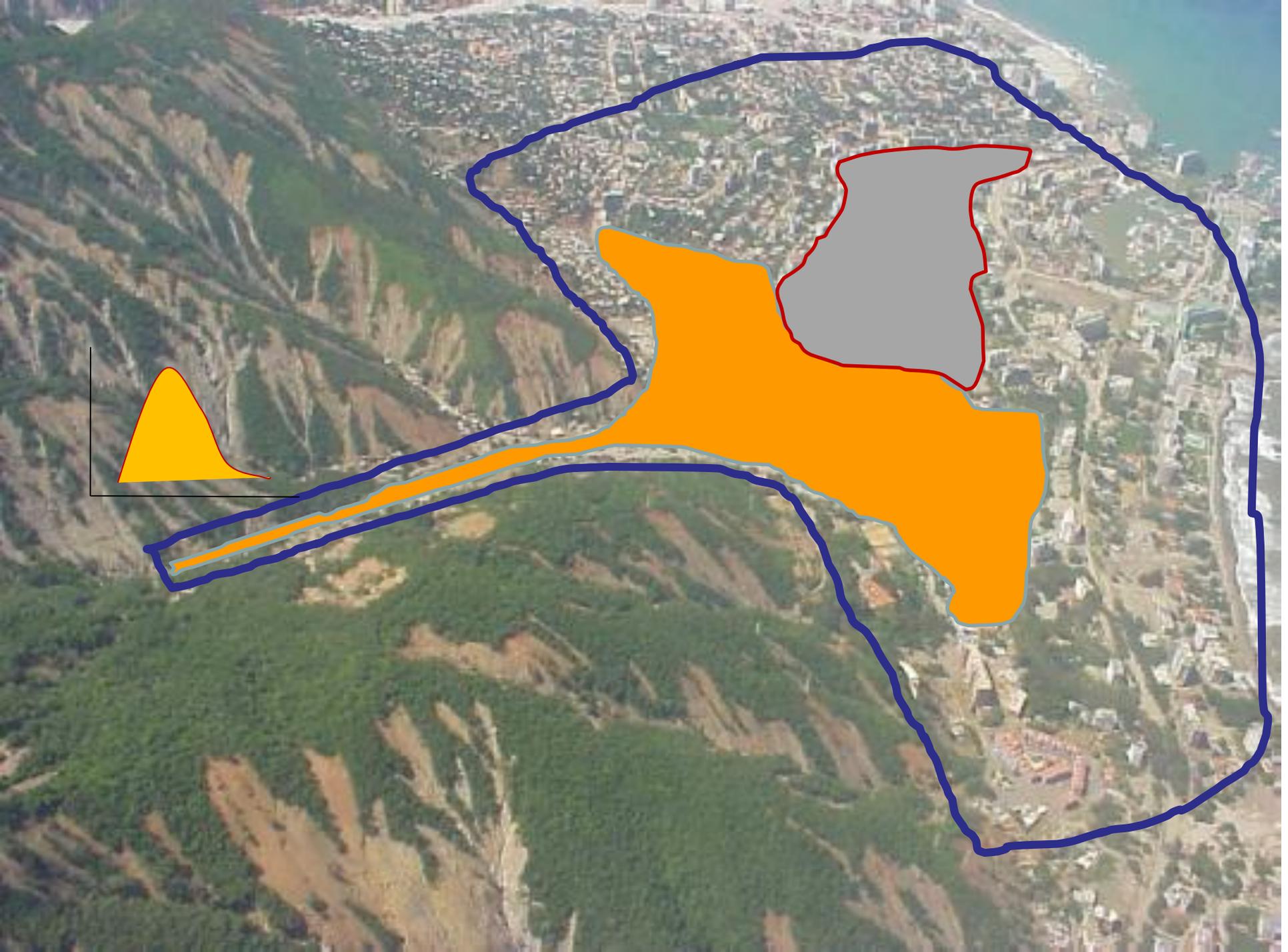
¿Cuándo el modelo 1D es aplicable?



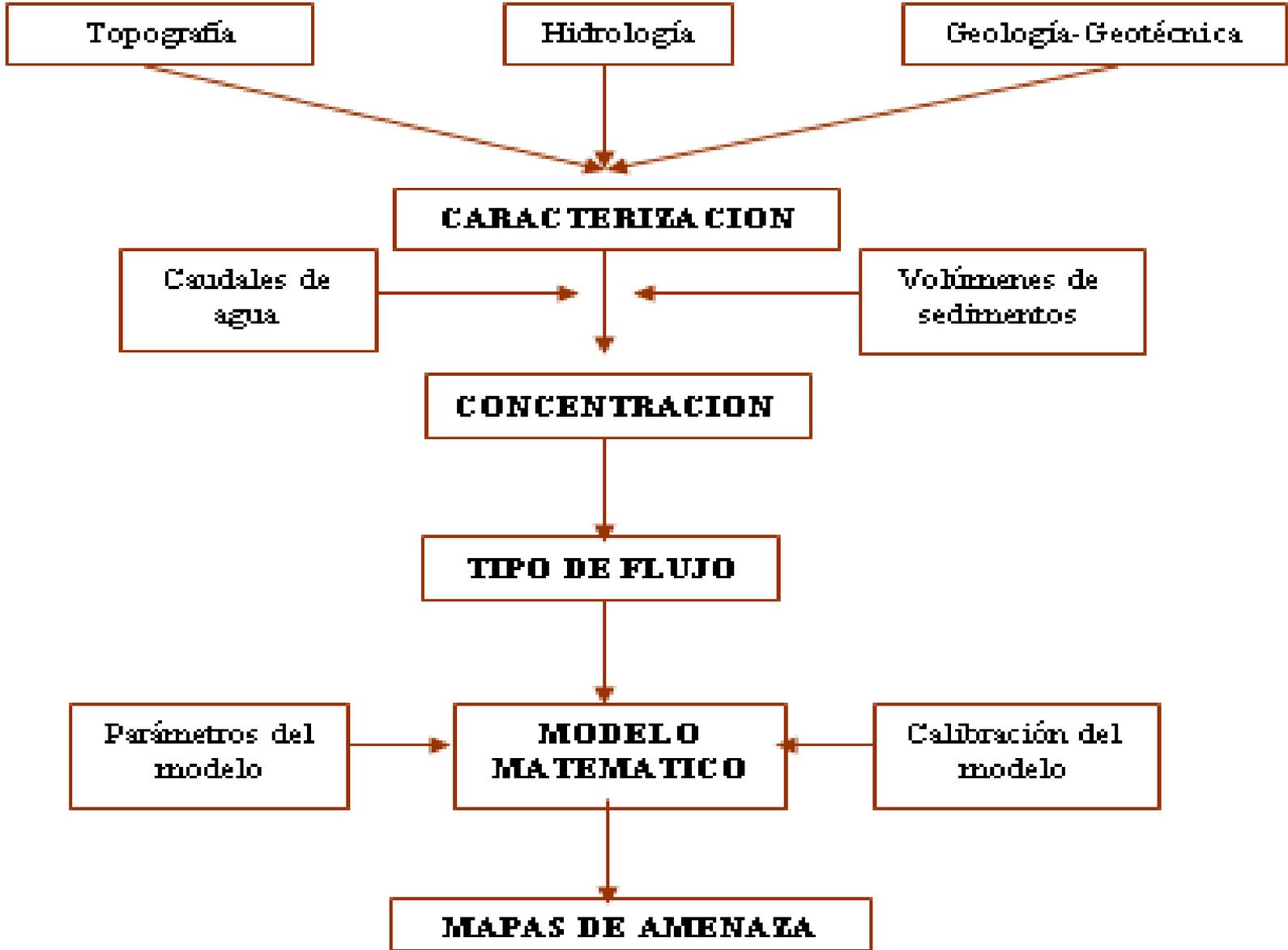
- Flujo confinados. Cauces encajonados.
- Cuando el almacenamiento en la planicie de inundación es despreciable.
- Cuando no necesitamos el detalle del comportamiento de velocidades.

1D vs 2D





**P
R
O
T
O
C
O
L
O
D
E
M
O
D
E
L
A
M
I
E
N
T
O**



Ecuaciones gobernantes

- Las ecuaciones de Saint-Venant describen el flujo bidimensional no estacionario promediado en la verticalmente. Dichas ecuaciones representan los principios de conservación de masa y de la cantidad de movimiento.
- En términos de las variables fundamentales del flujo h , u y v , las ecuaciones de Saint-Venant en forma conservativa pueden ser escritas vectorialmente como sigue:

$$U_t + E_x + F_y + S = 0$$

$$U = \begin{bmatrix} h \\ uh \\ vh \end{bmatrix} \quad E = \begin{bmatrix} uh \\ u^2h + (1/2)gh^2 \\ uvh \end{bmatrix} \quad F = \begin{bmatrix} vh \\ uvh \\ v^2h + (1/2)gh^2 \end{bmatrix} \quad S = \begin{bmatrix} 0 \\ -gh(S_{ox} - S_{fx}) \\ -gh(S_{oy} - S_{fy}) \end{bmatrix}$$

donde:

$$S_{fx} = \frac{n^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1.33}} \quad S_{fy} = \frac{n^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1.33}} \quad (\text{para el caso de agua})$$

$$S_f = \frac{\tau}{\rho_m gh} \quad (\text{para el caso de lodos})$$



Técnica numérica de MacCormack

Paso Predictor

$$\tilde{U}_{i,j} = U_{i,j}^k - \frac{\Delta t}{\Delta x} \nabla_x E_{i,j}^k - \frac{\Delta t}{\Delta y} \nabla_y F_{i,j}^k - \Delta t S_{i,j}^k \quad \begin{cases} 2 \leq i \leq N \\ 2 \leq j \leq M \end{cases}$$

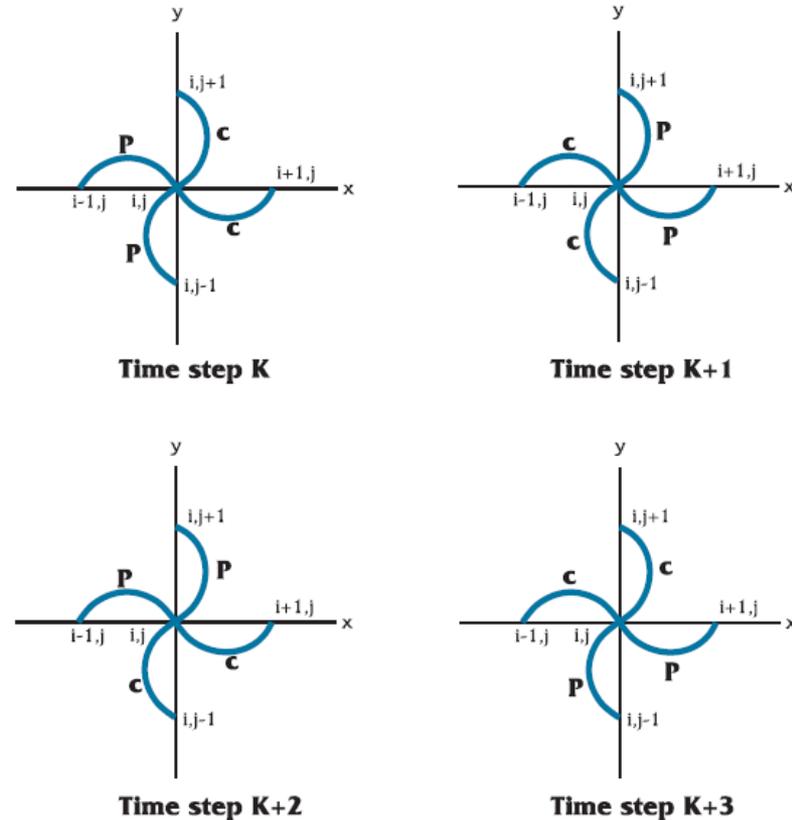
Paso Corrector

$$\hat{U}_{i,j} = \tilde{U}_{i,j} - \frac{\Delta t}{\Delta x} \Delta_x \tilde{E}_{i,j} - \frac{\Delta t}{\Delta y} \Delta_y \tilde{F}_{i,j} - \Delta t \tilde{S}_{i,j} \quad \begin{cases} 1 \leq i \leq N-1 \\ 1 \leq j \leq M-1 \end{cases}$$

$$U^{k+1}_{i,j} = \frac{1}{2} (U^k_{i,j} + \hat{U}_{i,j})$$

$$\nabla_x U_{i,j} = U_{i,j} - U_{i-1,j}$$

$$\Delta_x U_{i,j} = U_{i+1,j} - U_{i,j}$$



Estabilidad

- La estabilidad de un modelo numérico puede ser analizada comprobando si un error crece o decrece a medida que el proceso resolutivo avanza. La condición de Courant-Friedrichs-Lewy (CFL) debe ser satisfecha para que el modelo sea estable.
- La condición CFL para las ecuaciones de Saint-Venant puede escribirse como:

$$C_n = |\lambda_{max}| \frac{\Delta x}{\Delta y} \leq 1$$

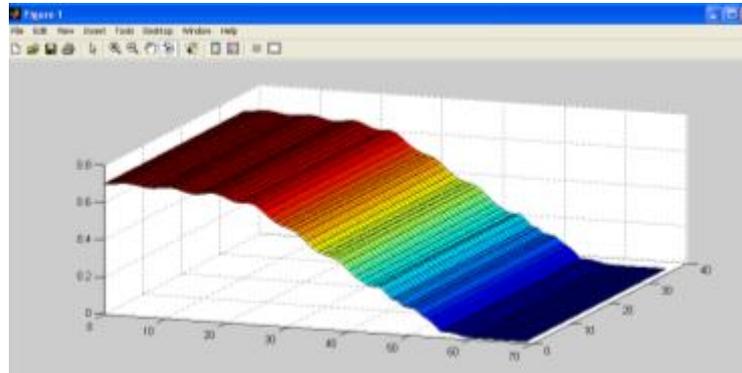
Donde λ_{max} representa el máximo absoluto de la pendiente característica, y C_n es el denominado número de Courant.

$$C_n = |\lambda_{max}| \frac{\Delta x}{\Delta y} \leq 1$$

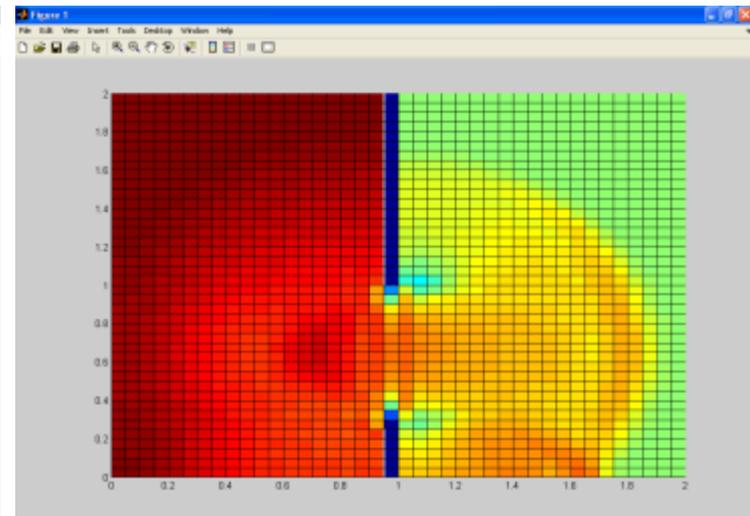
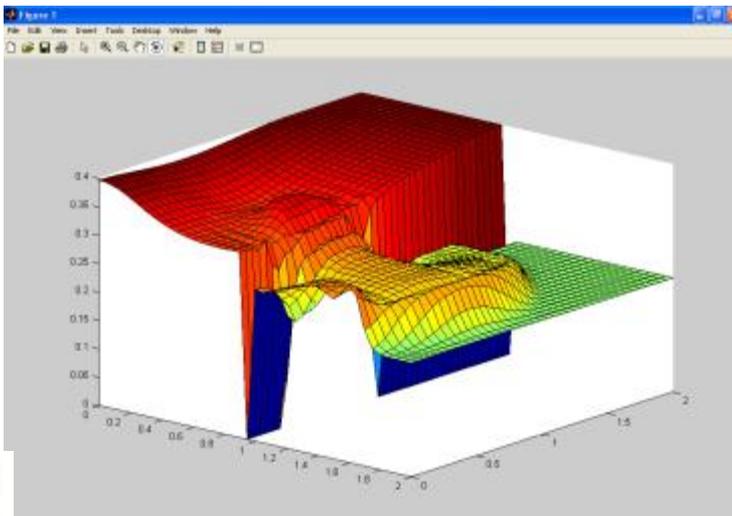
$$\lambda_{max} = \frac{|uv| + gh(Fr^2 - 1)}{u^2 - gh}$$

Análisis de casos típicos

- Oscilación de una onda 2D sobre un reservorio.

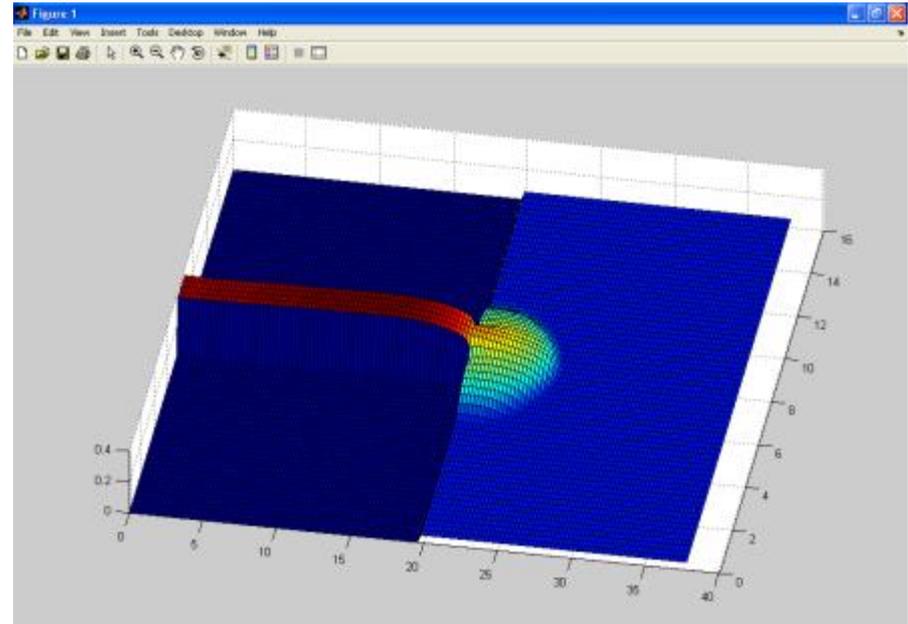
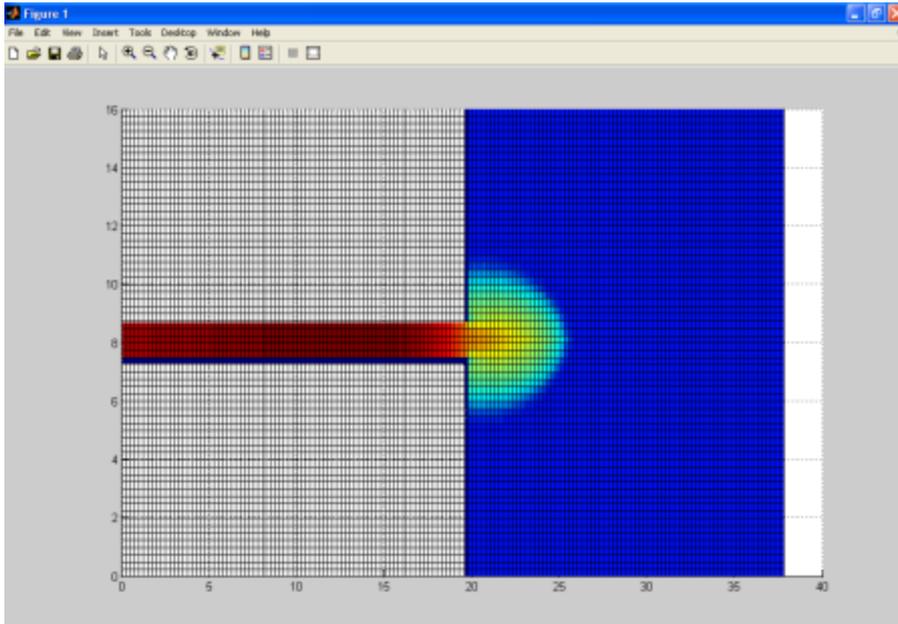


- Problema de la rotura de presa bidimensional.



Análisis de casos típicos

- Proceso de tránsito y deposición de una onda viscosa.



Modelos numéricos que analizan fluidos no-Newtonianos

Modelo	Descripción	Página web
NWS-FLDWAV	Modelo unidimensional de flujo no permanente. Puede analizar fluidos del tipo Bingham.	http://www.weather.gov/ohd/hrl/rvrmech/fld_avail.htm
DAN-W	Es un software geotécnico usado para el análisis de tránsito dinámico en deslizamientos y avalanchas.	http://www.clara-w.com/DANWRunoutAnalysis.html
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.	http://www.wsl.ch/hazards/dbf-1d/dbf-1d-de.ehtml
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.	http://www.flo-2d.com
AVAL-1D	Es un programa exclusivo para análisis dinámico de avalanchas unidimensional que predice las distancias recorridas, velocidades del flujo y presiones de impacto.	http://www.slf.ch/aval-1d/

Antecedentes en el Perú del FLO-2D

- ❑ En el año 2007, el Proyecto Especial Tambo-Caracocha (PETACC) obtuvo el modelo FLO-2D versión 2006. Convenio Universidad de Miami-PETACC.

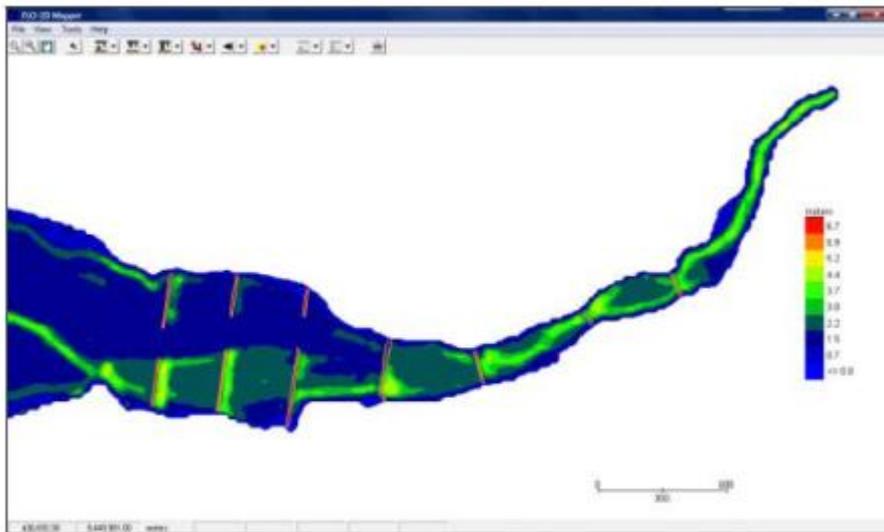
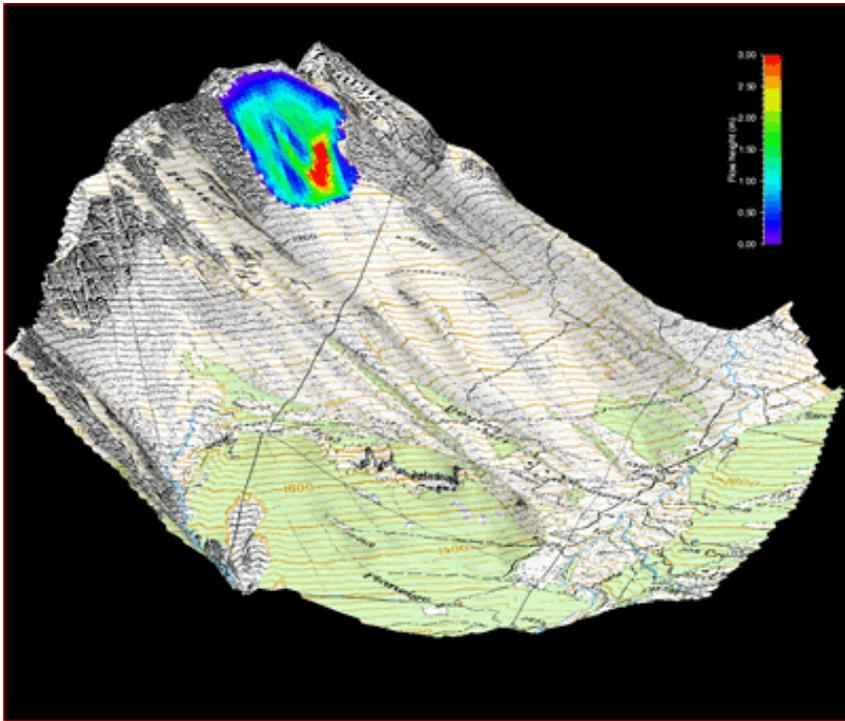


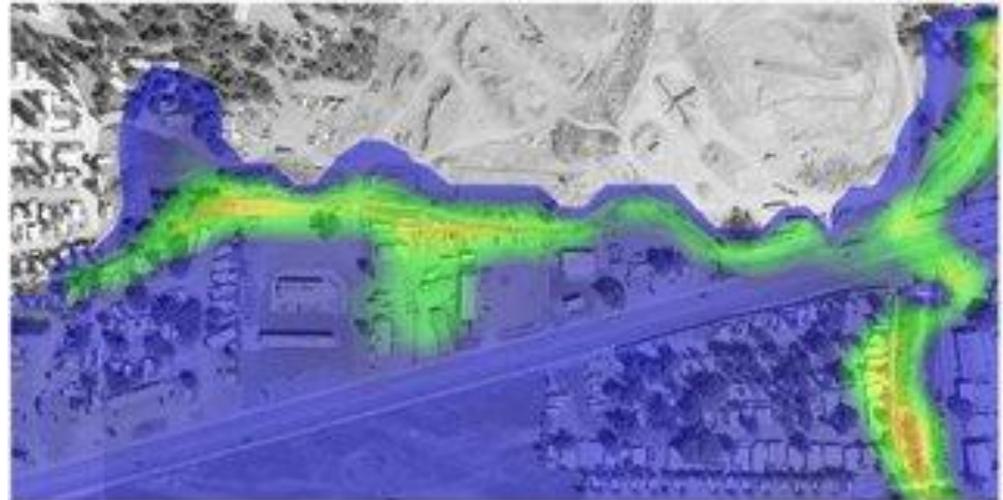
Figura 6.8. Tirantes máximos en la zona de diques existentes



Proyecto: Quebrada Cansas (Ica)



RAMMS-2D



FLO-2D

¿Cuál es el comportamiento hidráulico del flujo de lodo a lo largo de una quebrada?

¿Qué técnicas numéricas tenemos para aproximarnos al evento?

¿Es conveniente aplicar un modelo 1D o 2D?

¿Es posible simular el huayco mediante un modelo matemático?

¿Existen sistemas informáticos que nos faciliten el modelamiento del huayco?