PERÚ Ministerio de Agricultura y Riego

ANA Autoridad Nacional del Agua

EL PERÚ PRIMERO

## APLICACIÓN DE MODELOS NUMÉRICOS EN

# PELIGROS GLACIARES

**Caso Laguna Palcacocha**

**Nelson Santillán Portilla**

# CONTENIDO

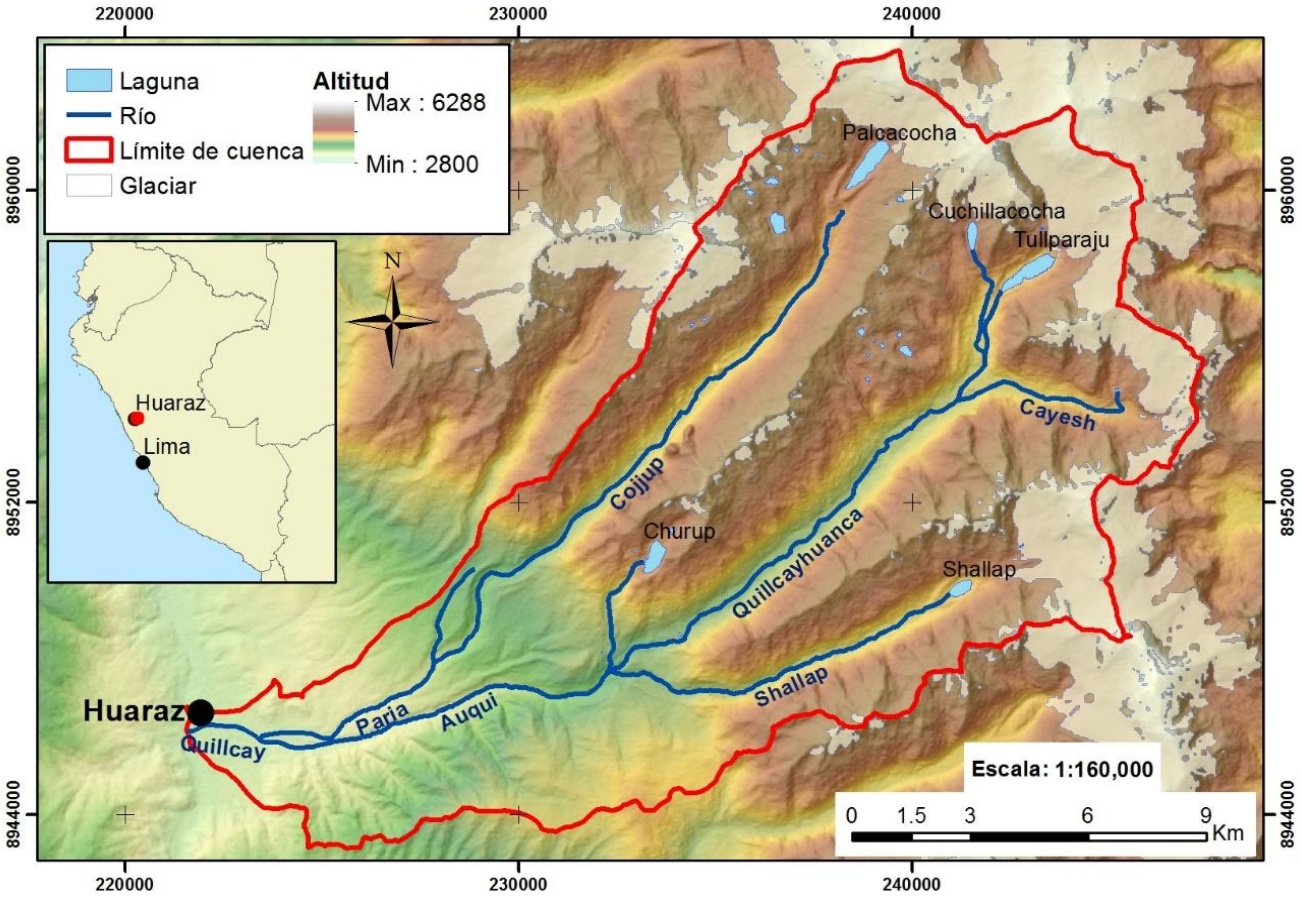
- Eventos registrados en la región Ancash
- Secuencia del evento de aluvión Palcacocha (1941)
- Aplicación de modelo numérico
- Mapa de peligro basado en resultados de modelo numérico
- Conclusiones

# Registro histórico de eventos catastróficos en el departamento de Ancash

- 1702, Inundación de la ciudad de Huaraz
- 1725, Sismo ocasiona avalanchas de hielo y ruptura de lagunas que destruyen Huaraz
- 06 enero 1725, Avalancha de hielo y roca del nevado Huandoy, mov. sísmico, sobre el pueblo de Ancash.
- 1869, Inundación sobre los baños Brioso (Monterrey), desborde de las cimas del cerro san Cristóbal.
- 1870, Deslizamiento de pueblo de Rampac Chico – Carhuaz, sepulta 600 personas.
- 1883, Desborde laguna Tambillo (Rajucolta), sobre el poblado de Macashca (Prov. Huaraz).
- 1917, Alud del Huascarán hacia el cerro de Puchgoj arrasó poblados de Shacsha y Ranrahirca.
- 1932, Ruptura de la laguna Solterococha.
- 1938, Ruptura de la laguna Artesa - quebrada de Ulta Carhuaz.
- 1938, Ruptura de la laguna magistral - Conchucos, destruyendo 32 casas y 13 puentes.
- 1941, Ruptura de la laguna Suerococha en el Alto Pativilca (Cordillera Huayhuash).
- **13/12/1941, ruptura de la laguna Acoshacocha (Palcacocha) y Jircacocha - Cojup hacia Huaraz.**
- 1945, Ruptura lags Ayhuinyaraju y Carhuacocha por avalancha de hielo y roca del nevado Ayhuinya,
- 1950, Ruptura de la laguna Jancarurish en la quebrada los Cedros.
- 6 de junio y 28 de octubre de 1951, desborde de la laguna Artesoncocha sobre la laguna Parón.
- 1953, Desborde de la laguna Tullparaju - Quillcayhuanca, por deslizamiento de la morrena lateral.
- **1962, Avalancha y aluvión proveniente del Huascarán Norte destruyó Ranrahirca.**
- **31 de mayo de 1970, Sismo ocasiona, avalancha de roca-hielo y aluvión proveniente del Huascarán Norte, sepultó la ciudad de Yungay y parte del poblado de Ranrahirca.**
- 1982, Avalancha del lado Sur Oeste del nevado Tocllaraju provoca desborde de la laguna Pacliash.
- 1987, Avalancha de hielo y roca del nevado Huascarán Norte, represamiento del río Shacsha
- 1997, Ruptura del dique morrénico frontal de la laguna Artizon bajo.
- 2001, Desborde de la laguna Mullaca, por avalancha de hielo, glaciar Vallunaraju Sur.
- Abril del 2002, avalancha de roca y material de escombros sobre la laguna Safuna Alta.
- 19 de Marzo 2003, derrumbe de la morrena lateral izquierda de la laguna Palcacocha.
- 14 de Octubre del 2003, avalancha de hielo del nevado Huandoy, registrándose 9 víctimas.
- 2006, Desborda de la laguna Matara, Huari, por colapso de la represa, construido en el mismo año.
- **11 de Abril del 2010**, Avalancha del nevado Hualcán, desborde de la laguna 513 . Chucchun.
- 30 de diciembre del 2010, Avalancha del lado Sur Este del Nevado Huascaran a la quebrada Ulta.
- 27 de febrero 2011, Avalancha lado Sur Oeste del Nevado Huandoy a la Qda. Rajuhuayuna – Qda. Ancash
- 08 de febrero 2012, Deslizamiento de material sobre laguna Artizón alto, ruptura de dique de la laguna Artizón bajo y afecta a la laguna Jatuncocha.
- 12 de febrero 2015, avalancha de hielo y roca del nevado Chequiaraju sobre la laguna Huallcacocha.

Más de 30 eventos catastróficos de origen glaciar, ocurridos en el departamento de Áncash

# UBICACIÓN DE LA LAGUNA PALCACOCHA Y LA CIUDAD DE HUARAZ



# Procesos de evento de aluvión Palcacocha (1941)



## 1941– Aluvión

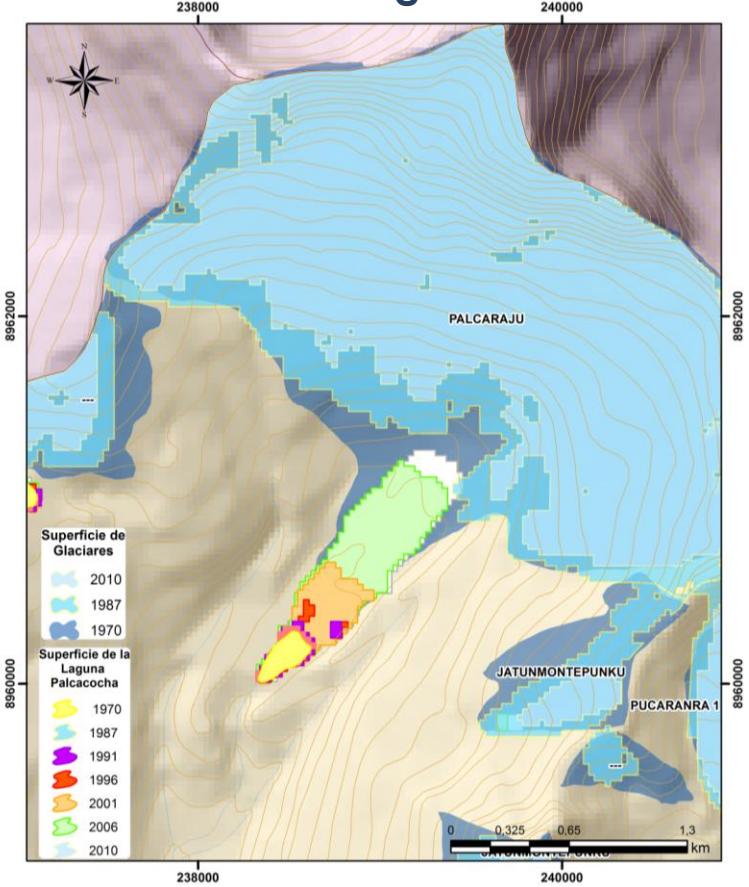
El 13 de diciembre, la caída de un bloque de hielo del nevado produjo la **ruptura del dique frontal de la laguna Palcacocha,** originando un aluvión que destruyó casi la tercera parte de la ciudad de Huaraz.

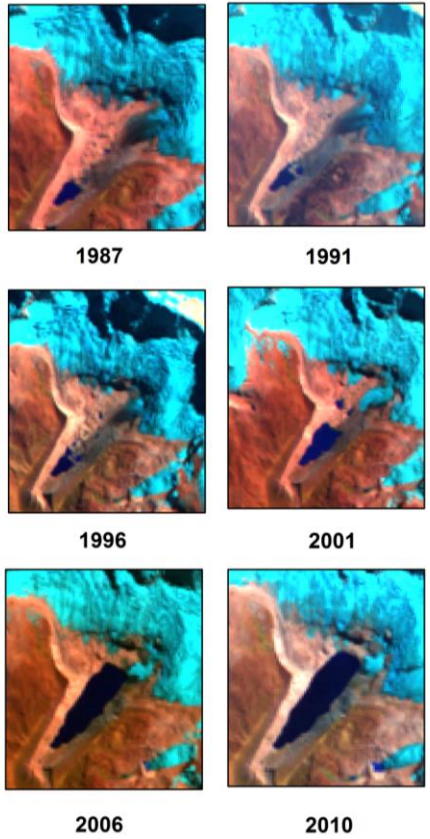
La ciudad de Huaraz mostrando la extensa huella blanca del Aluvión de 1941.
*a la derecha, la parte antigua de la ciudad quedó intacta.

Laguna Palcacocha en 1947, mostrando la gran brecha en su morrena terminal por donde salieron unos cinco millones de metros cúbicos de agua en 1941. (Foto Arnold Heim, 7. IX. 1947)

Laguna Palcacocha en 1940, al tope de su morrena terminal (Foto Hans Kinzl y Erwin Schneider, 1950)

# Evolución de la laguna Palcacocha (1987 al 2010)




**Batimetría de la laguna Palcacocha**

| | |
|---|---|
| Área del Espejo de Agua | 514 157,38 $m^2$. |
| Altitud del Espejo de Agua | 4 562,88 msnm |
| Volumen Almacenado | 17 403 353,24 $m^3$. |
| Profundidad Máxima | 71,10 m. |
| Largo Máximo | 1 589,82 m. |
| Ancho Máximo | 433,72 m. |

***Fuente:*** *Batimetría del 12 de febrero de 2016 - UGRH*

**Aplicación de modelo numérico**

Software RAMMS

RAMMS (Rapid Mass Movements Simulation-Simulación de movimientos rápidos de masa) es un modelo numérico basado en ecuaciones mecánicas bidimensional continuo, que se resuelven para el esquema reológico propuesto por Voellmy.
En una descripción bidimensional (2D), como hace RAMMS, el dominio de trabajo se discretiza en celdas (malla de cálculo). En ambas aproximaciones se emplea la descripción espacial (coordenadas curvilíneas) y el fluido se considera como un continuo.

- RAMMS (Movimientos de masa rápidos):
- Desarrollado por WSL-SLF (Instituto Federal Suizo de Investigaciones sobre bosques, nieve y paisajes)
- Modelo de flujo numérico dinámico basado en la física
- Resuelve ecuaciones 2D de aguas poco profundas para flujos granulares
- La resistencia a la fricción: Fricción seca de Coulomb y Fricción turbulenta (fluido Voellmy)

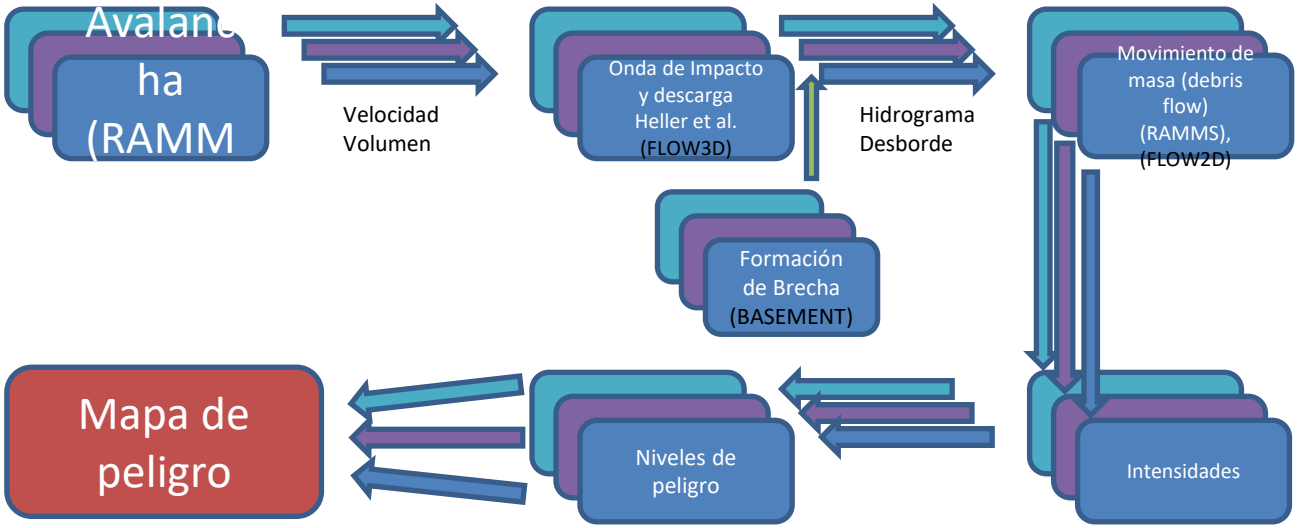
Modelo de fricción física; basado en la ley de fricción de Voellmy

$$S = \mu\rho H g cos(\phi) + \frac{\rho g U^2}{\xi},$$

Donde:

S Resistencia de fricción
$\rho$ Densidad
g Aceleración de la gravedad
$\phi$ Angulo de pendiente
H Altura del flujo
U Velocidad del flujo
$\xi$ Fricción viscosa-turbulenta
$\mu$ Fricción seca de Coulomb

# Interacción del Modelo Numérico




3 escenarios

Baja/mediana/alta probabilidad

=

Pequeña/media/grande magnitud

Resultados desde el modelo al mapa de peligro

Fuente: Frey Holger, (2018)

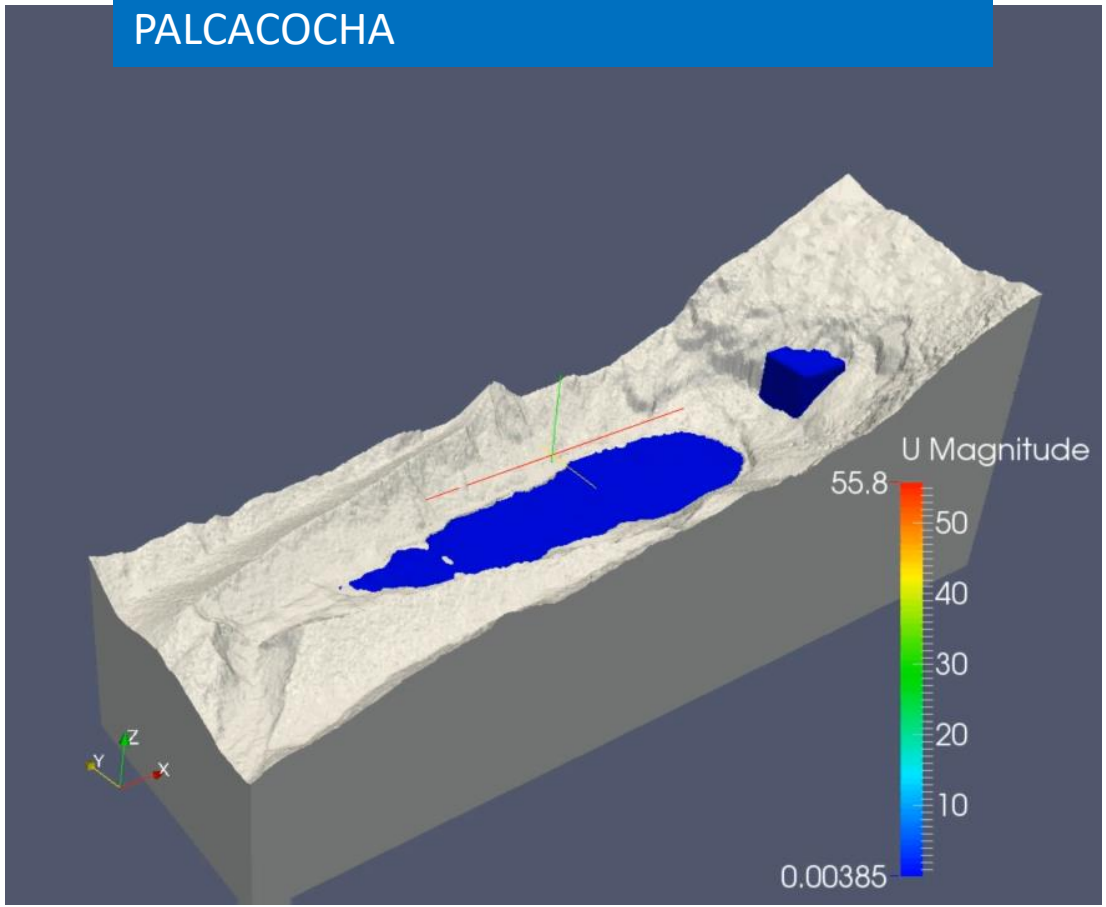
# RESULTADOS: CARACTERISTICAS DE LAS OLAS

| Laguna/Características | Avalancha | Parámetros | Escenario pequeño | Escenario medio | Escenario grande |
|---|---|---|---|---|---|
| Palcacocha | | | | | |
| Área = 514 100 $m^2$ | Hielo y roca | Volumen de Avalancha [x$10^6$ $m^3$] | 0.5 | 1 | 3 |
| Volumen = 17 x $10^6$ $m^3$ | | Altura de Ola Ho [m] | 8.8 | 21.1 | 42.2 |
| Borde libre F=8 m | | Altura de ola sobre dique R [m] | 15.1 | 20 | 29.7 |
| | | Volumen de desborde V [x$10^6$ $m^3$] | 0.15 | 0.5 | 1.8 |
| Cuchillacocha | | | | | |
| Área = 145 700 $m^2$ | Hielo y roca | Volumen de Avalancha [x$10^6$ $m^3$] | 0.2 | 0.75 | 1.3 |
| Volumen = 2 x $10^6$ $m^3$ | | Altura de Ola Ho [m] | 5 | 11.3 | 14.8 |
| Borde libre F=16 m | | Altura de ola sobre dique R [m] | 13.7 | 35.7 | 48.8 |
| | | Volumen de desborde V [x$10^6$ $m^3$] | - | 2 | 2 |
| Tullparaju | | | | | |
| Área = 463 700 $m^2$ | | Volumen de Avalancha [x$10^6$ $m^3$] | 0.3 | 0.75 | 3 |
| Volumen = 12 x $10^6$ $m^3$ | Hielo y roca | Altura de Ola Ho [m] | 3.1 | 6.1 | 13.4 |
| Borde libre F=18 m | | Altura de ola sobre dique R [m] | 7.4 | 16.5 | 41.3 |
| | | Volumen de desborde V [x$10^6$ $m^3$] | - | - | 1 |

Fuente: Frey H, (2018)

# MODELAMIENTO DE AVALANCHA LAGUNA PALCACOCHA

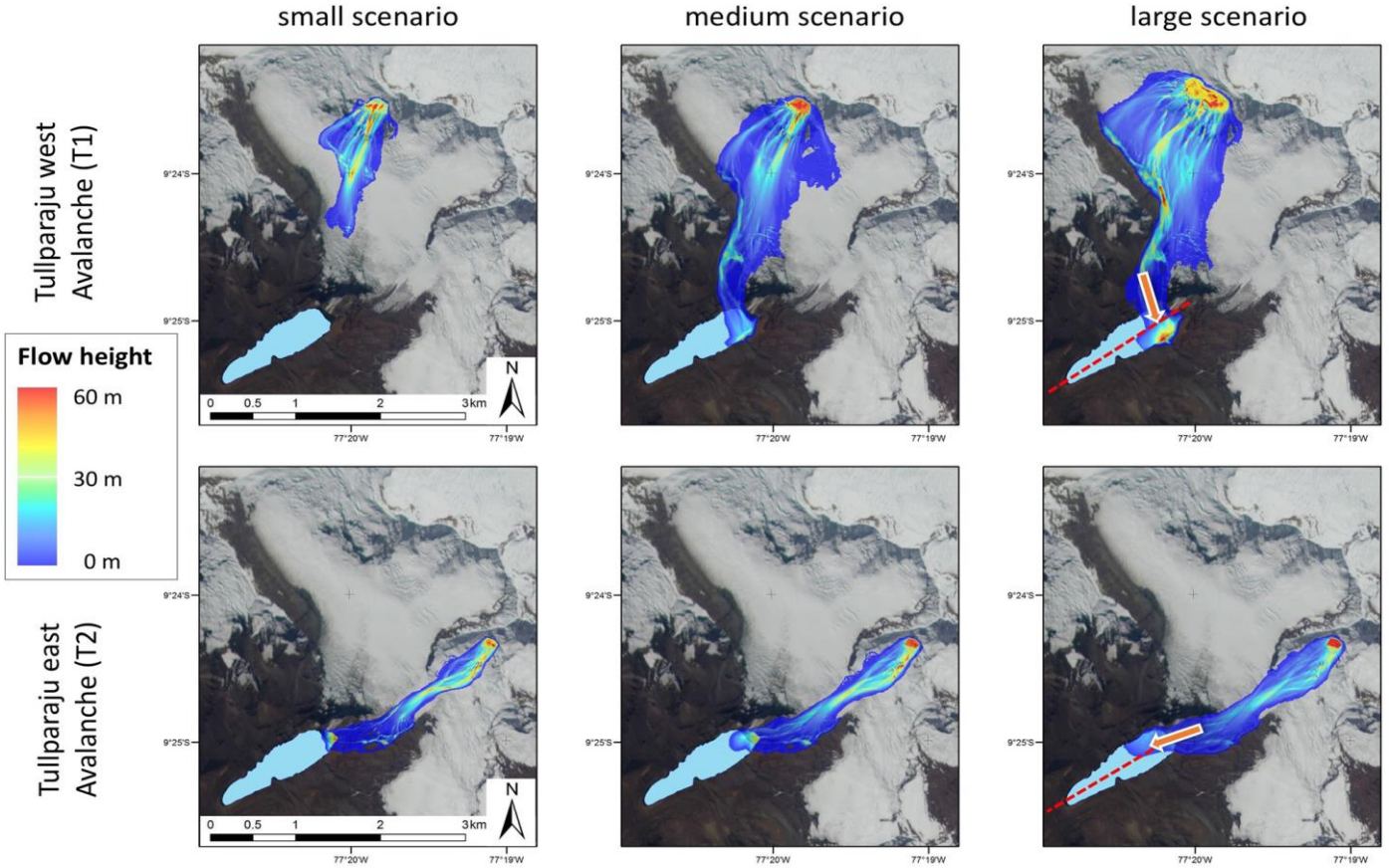




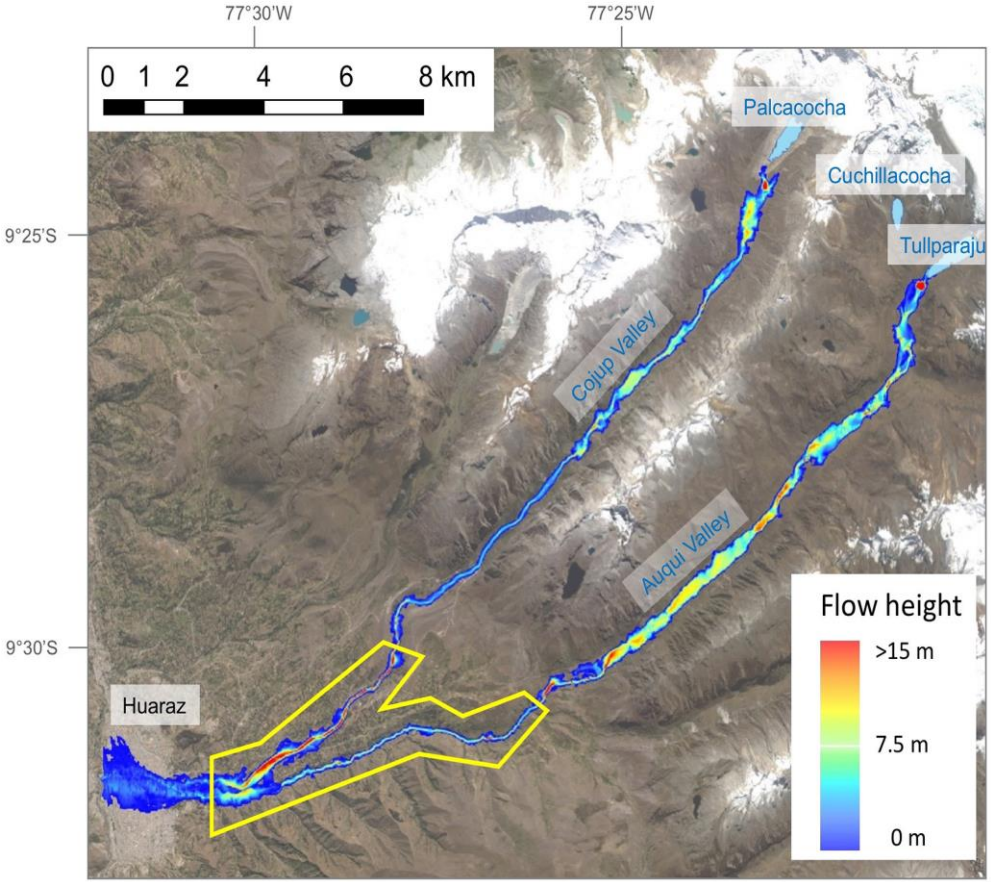

Fuente: Universidad de Texas
https://vimeo.com/147138748

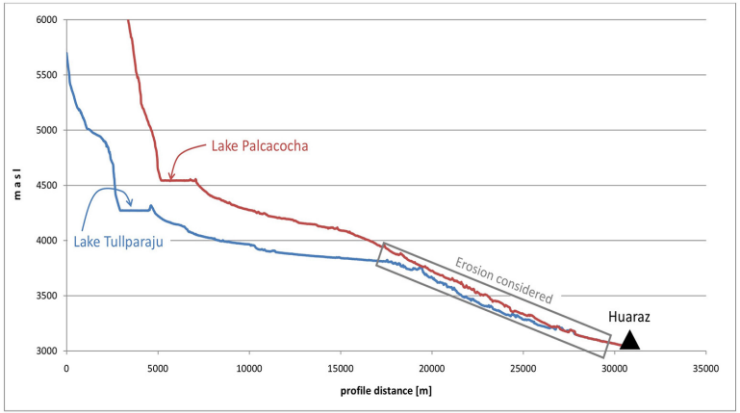
# Modelamiento de avalancha de dos zonas del nevado Tullparaju

PERÚ Ministerio de Agricultura y Riego



# RESULTADOS



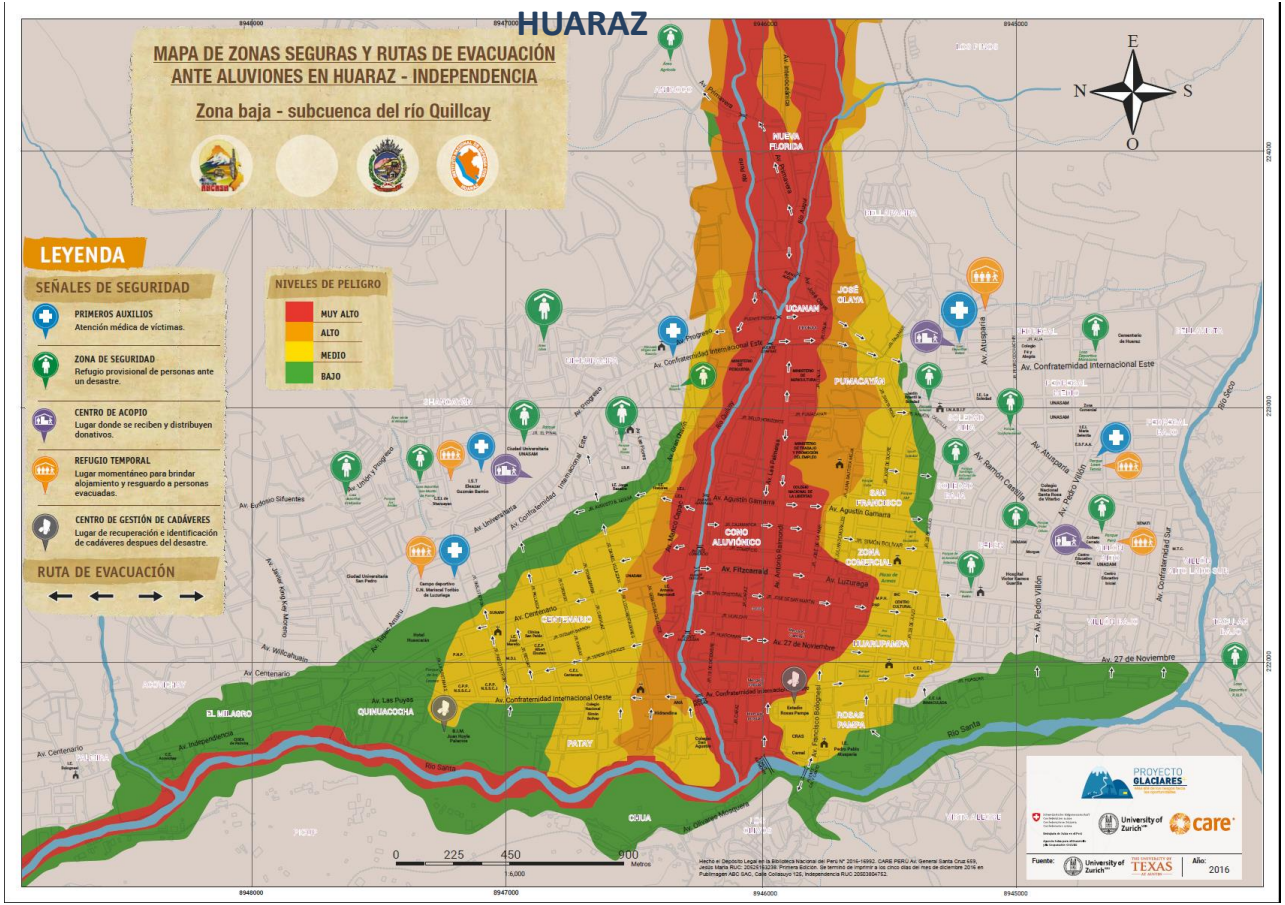




Perfiles longitudinales Cojup (rojo) con la laguna Palcacocha y Auqui (azul) con el laguna Tullparaju, a lo largo de la quebrada la pendiente es suave, las secciones más empinadas es próximo a la ciudad de Huaraz, indicada por el rectángulo gris, donde se origina mayor erosión lo cual se se considera en el modelado GLOF.

Fuente: Frey H, (2018)

# MAPA DE PELIGRO BASADO EN RESULTADOS DE MODELO NUMERICO - CIUDAD DE HUARAZ

PERÚ | Ministerio de Agricultura y Riego



# Conclusiones:

- Los modelamientos de cadenas de procesos complejos necesitan una metodología interactiva con modelos que interactúan.
- Para conseguir resultados de la simulación de un evento de aluvión que se aproximen a la realidad, es importante contar como insumo principal, un modelo digital de terreno con paso de malla de 2 m.
- La calibración del modelo de fricción de Voellmy, es un paso importante para obtener resultados realistas y útiles. Eventos históricos con información ayudan para calibrar.
- Para la realización del mapa de peligro o amenaza basado en modelamientos numéricos, se consideró 3 escenarios de avalancha de hielo en cada una de las lagunas (Palcacocha, Tullparaju y Cuchillacocha)

PERÚ Ministerio de Agricultura y Riego

EL PERÚ PRIMERO