

Inundación, Modelos de Flujos con Sedimentos, y Conceptos de Amenazas

Rachel Chisolm, PhD

The University of Texas at Austin
Center for Research in Water Resources

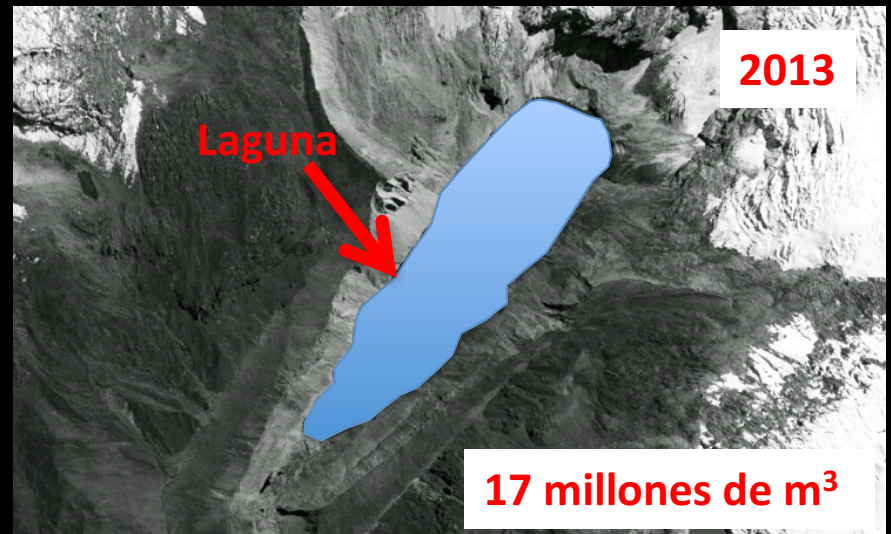
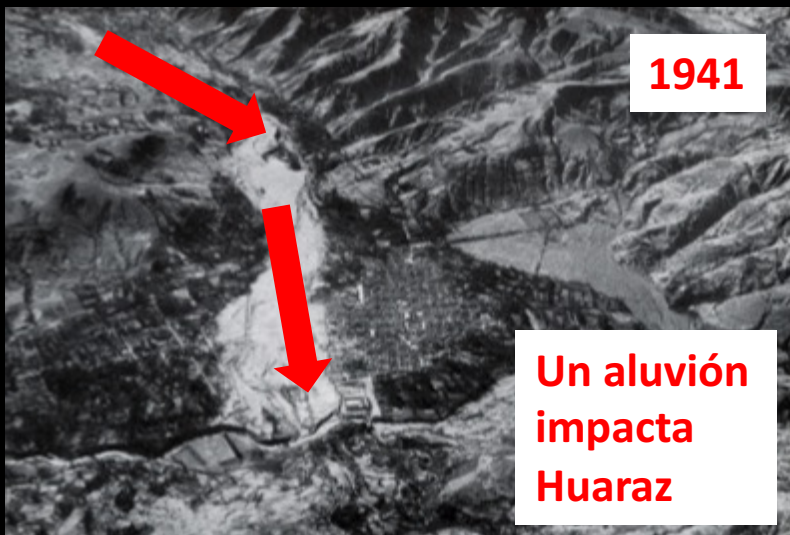
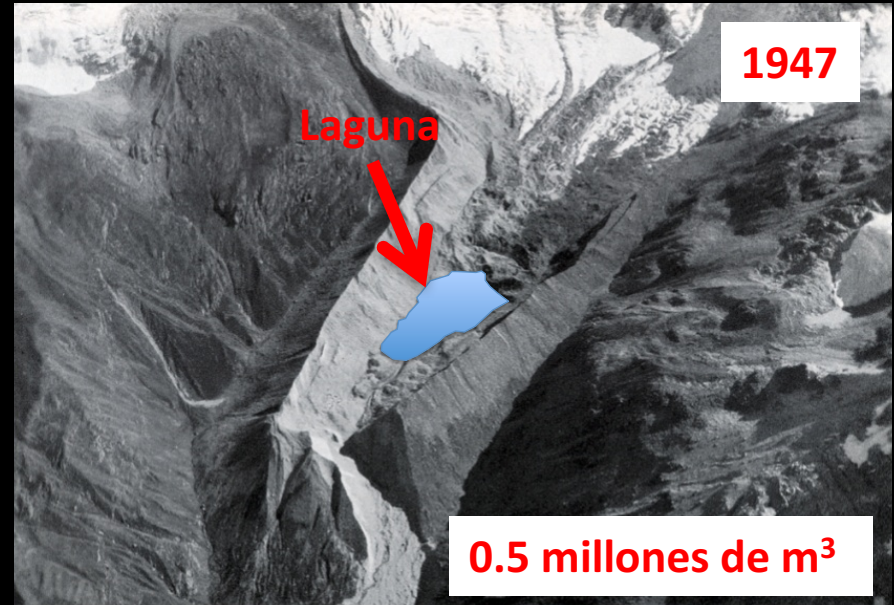
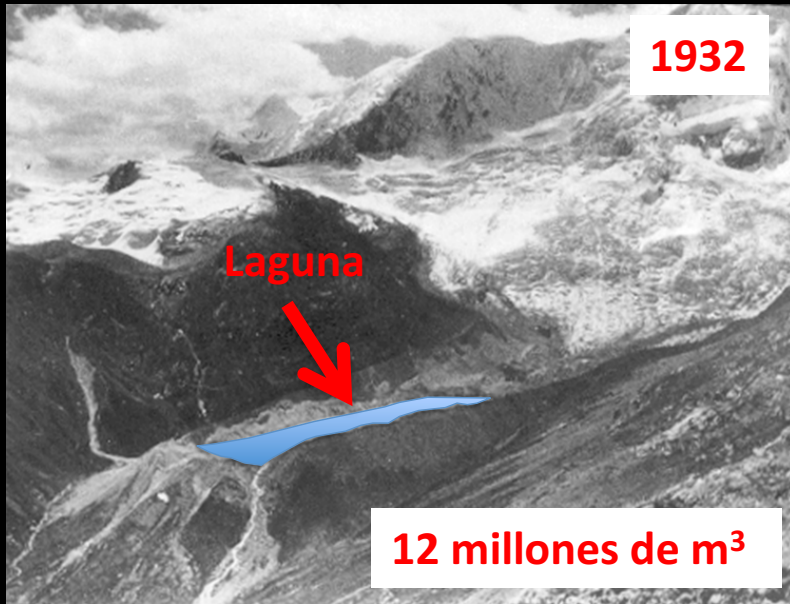
8 de Agosto, 2016



La Cadena de Procesos de un Aluvión

- Avalancha hacia la Laguna
- Oleaje Desbordando la Morrena
- Erosión de la Morrena
- **Inundación Río Abajo**
- **Peligro en la Ciudad**

Laguna Palcacocha



Perfil del Modulo: Inundación y Mapeo de Peligros

- Conceptos/teoría de flujos de sedimentos
 - Mecanismos de iniciación de flujos de sedimentos
 - Factores que influyen el flujo e inundación
 - Impactos de flujos de sedimentos
- Modelos para simular inundaciones
- Conceptos de amenazas y mapeo de peligros

Modelo de la Cadena de Procesos

Simulación de la avalancha

Simulación de oleaje sobre la laguna

Simulación del colapso de la morrena

Simulación de la inundación



Inundación, Modelos de Flujos con Sedimentos, y Conceptos de Amenazas

CONCEPTOS DE FLUJOS DE SEDIMENTOS

Videos: Flujos de Sedimentos

- Un aluvión en Nepal:
- https://youtu.be/8ScHkS_cqk4
- Flujo de un glaciar en Francia:
- <https://youtu.be/SK0ZtaDPzZw?t=50>

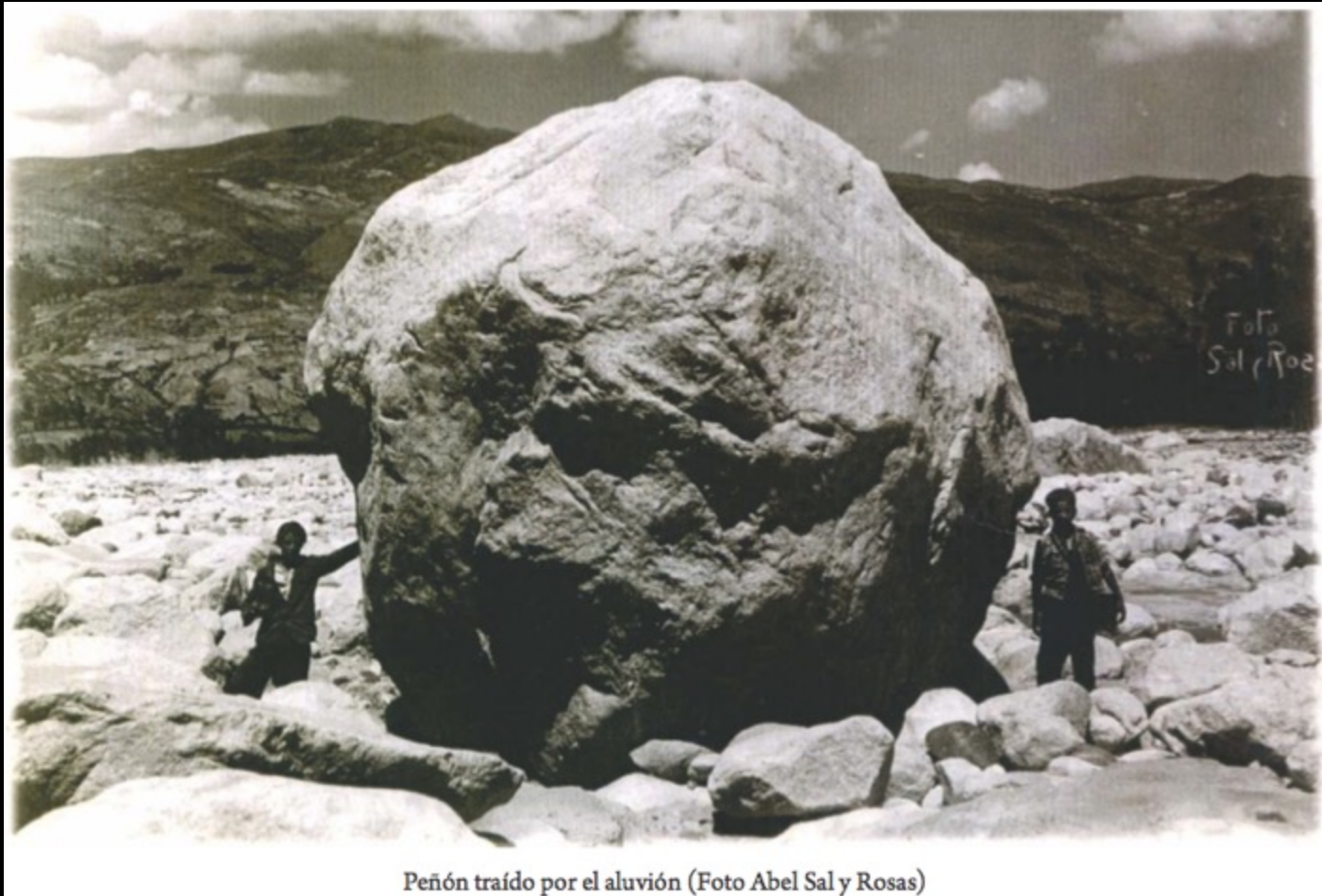
Mecanismos de Iniciación de los Flujos

- Oleajes generados por deslizamientos
 - Eventos repentinos
 - De corta duración (minutos)
 - Caudales picos muy altos
- Colapso de las morenas
 - Volúmenes muy grandes
 - Duración de la descarga (de la laguna) es un poco mas largo (unas horas)
- Brecha de un dique (con LEGO):
https://youtu.be/YdxS_dglPIU?t=47

Flujos de Sedimentos

- Muy destructivos
- Puede aumentar el volumen (hasta doble)
- Pueden llevar rocas grandes
- Difíciles a modelar porque las características precisas dependen de la composición del material
 - Normalmente muchos parámetros son desconocidos

Roca traída por el aluvión de Palcacocha, 1941



Peñón traído por el aluvión (Foto Abel Sal y Rosas)

¿PREGUNTAS?

Sedimentación y Erosión

- Depende de
 - La topografía
 - El caudal
 - La velocidad del flujo

Área de Erosión de Sedimentos



Áreas de Deposición de Sedimentos



Impactos de los Flujos de Detritos



Huaraz en 1941



Fuente: Wegner, 2014

Huaraz Después del Aluvión de 1941



La Alameda Grau y el Colegio de La Libertad, inundados con una a dos metros de agua en el extremo sur de la zona afectada por el Aluvión.
(Foto Rodolfo Cabello, 1941)

Avenida Raimondi Después del Aluvión de 1941



La destrucción de casi todos los edificios en la parte baja de la avenida Raimondi. En la distancia se ve la casa del Sr. Moisés Estremadoyro, Senador por Ancash.
(Foto Abel Sal y Rosas, 1941)

¿PREGUNTAS?

Inundación, Modelos de Flujos con Sedimentos, y Conceptos de Amenazas

MODELOS PARA SIMULAR INUNDACIONES

Modelamiento de la Inundación

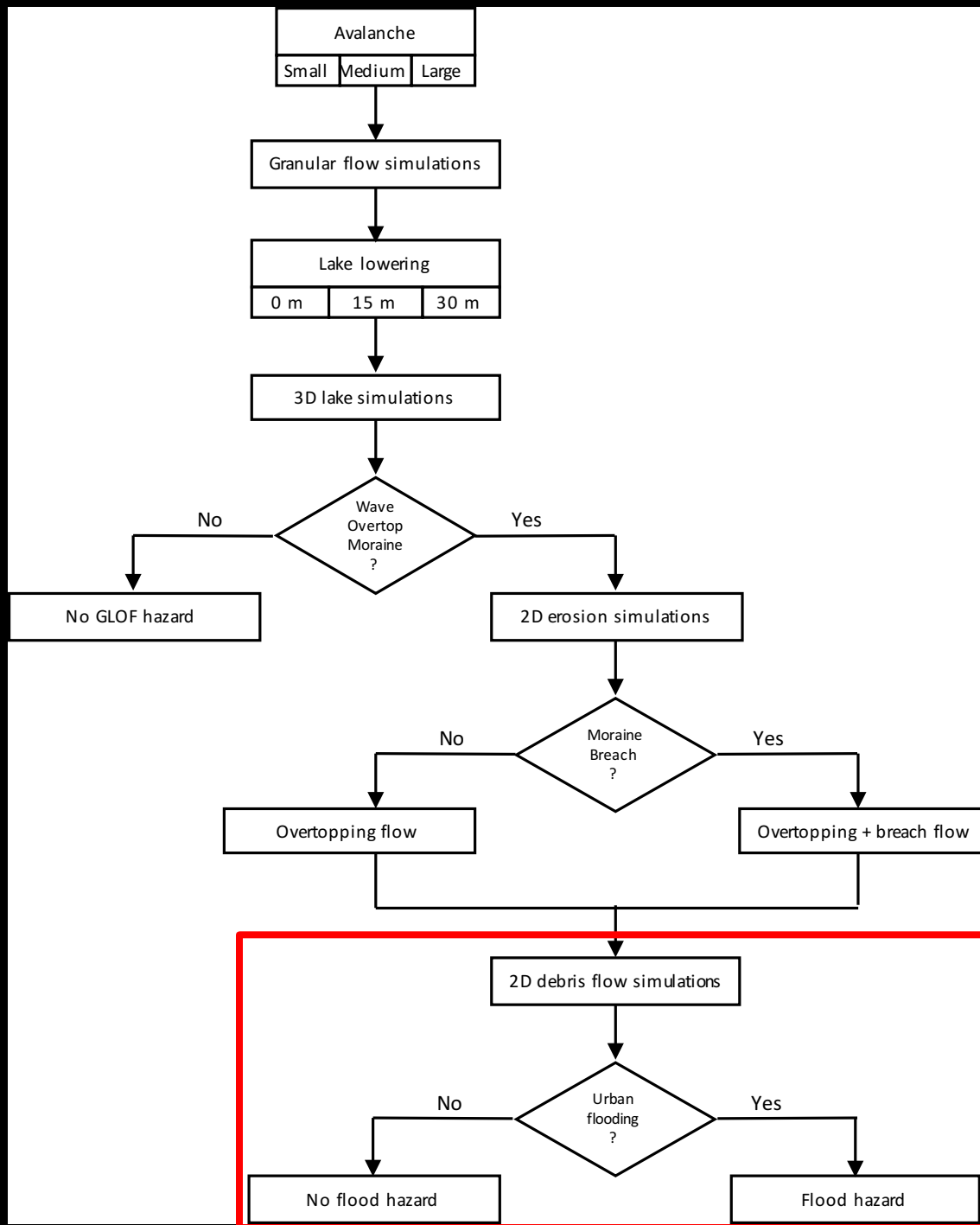
- Modelos hidráulicos/hidrodinámicos
 - Modelar el movimiento de agua
- Representación de los sedimentos
 - Características del fluido (concentración constante de sedimentos)
 - Modelos morfodinámicos (simulan la erosión y deposición de sedimentos en el modelo mismo)

Entradas a los Modelos

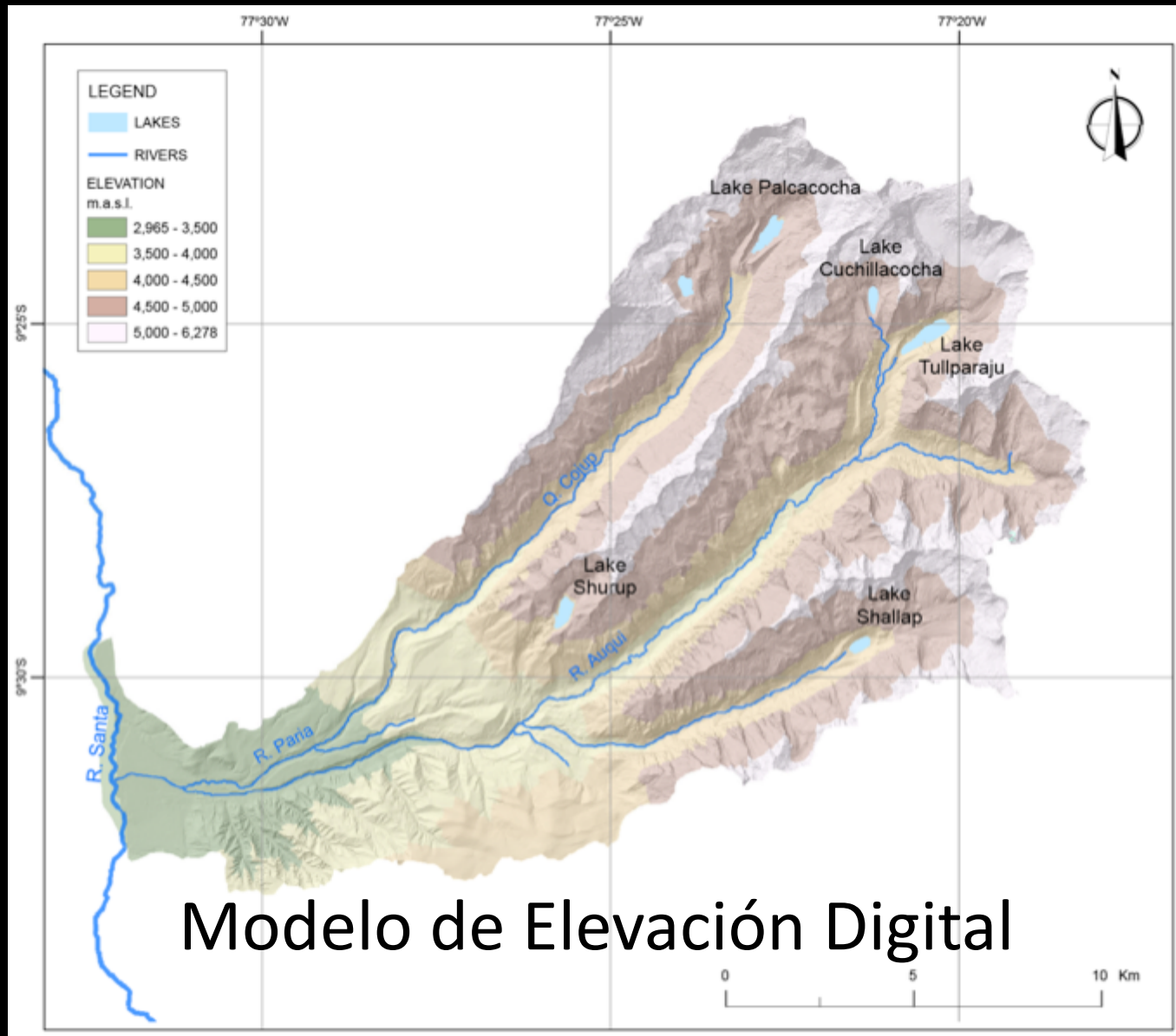
- Modelo topográfico
- Rugosidad del terreno
- Características del fluido
- Resolución de la malla
- Como representar las estructuras y los edificios
- Hidrograma de descarga de la laguna

Simulación de la Inundación de Palcacocha

- FLO2D- Modelo 2D basado en las ecuaciones de St. Venant (1D) con un modelo “pour point” en 8 direcciones (que lo hace 2D)
- Considera características de sedimentos
 - Concentración de sedimentos: 50 %
 - Concentración de sedimentos influye en el limite elástico y la viscosidad
- Resolución de la malla: 20 m x 20 m
- Coeficiente de rugosidad determinado por la cobertura de suelo, derivado del índice de vegetación (NDVI) de Landsat 7
- Factor de reducción del área (por los edificios en la ciudad): 20 %



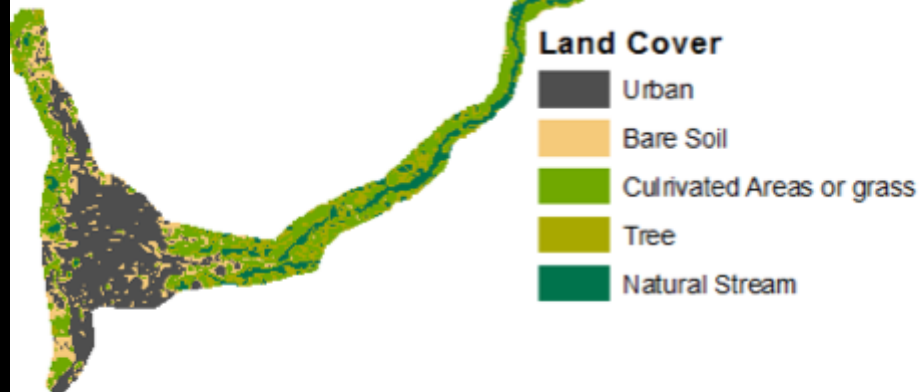
Entradas al Modelo de Inundación de Palcacocha



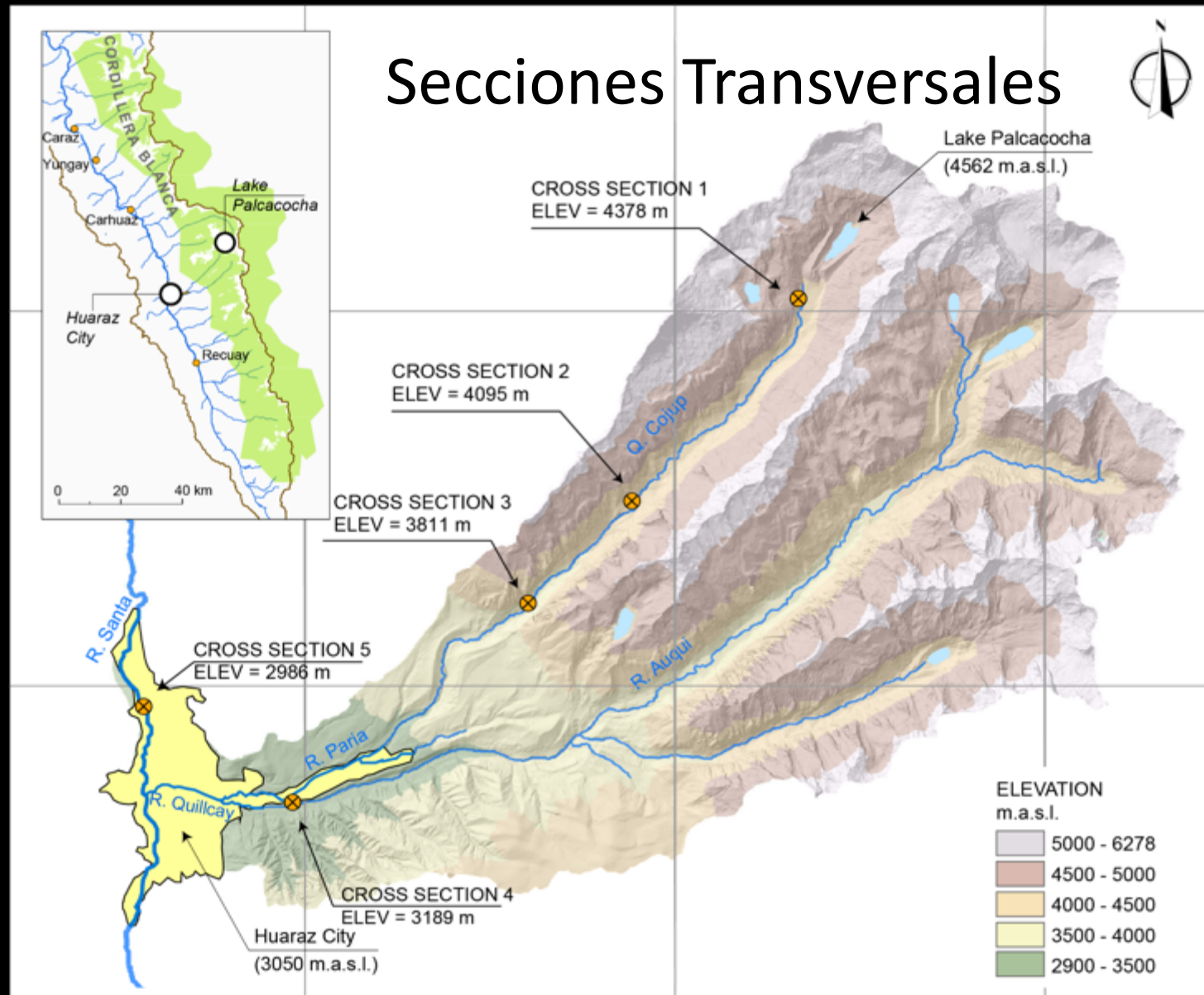
Entradas al Modelo de Inundación de Palcacocha

- NDVI from Landsat 7 image
- ISODATA land cover classification and
- assignment of Manning roughness coefficient

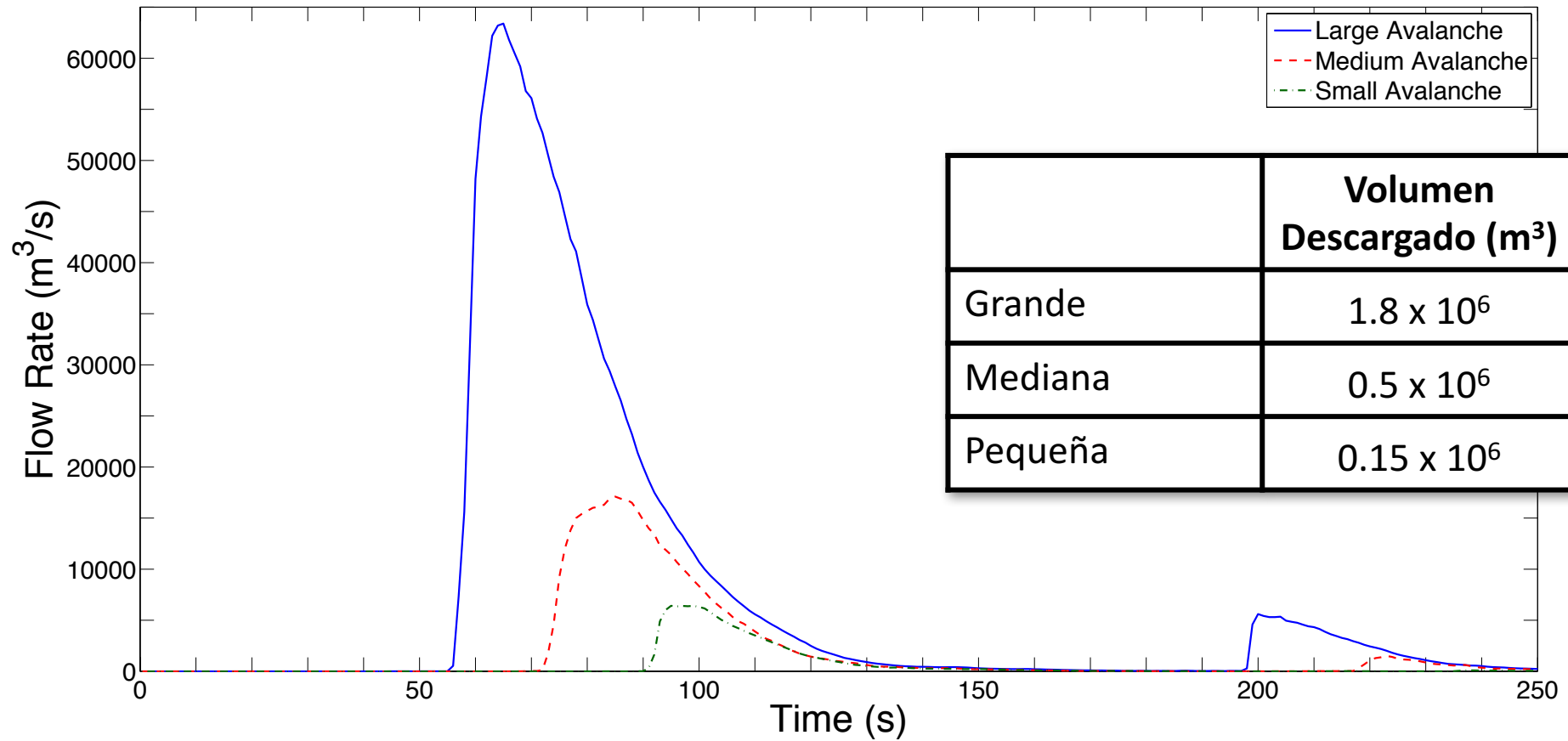
Clasificación de la Cobertura Vegetal y la Rugosidad del Terreno



Entradas al Modelo de Inundación de Palcacocha



Entradas al Modelo de Inundación de Palcacocha

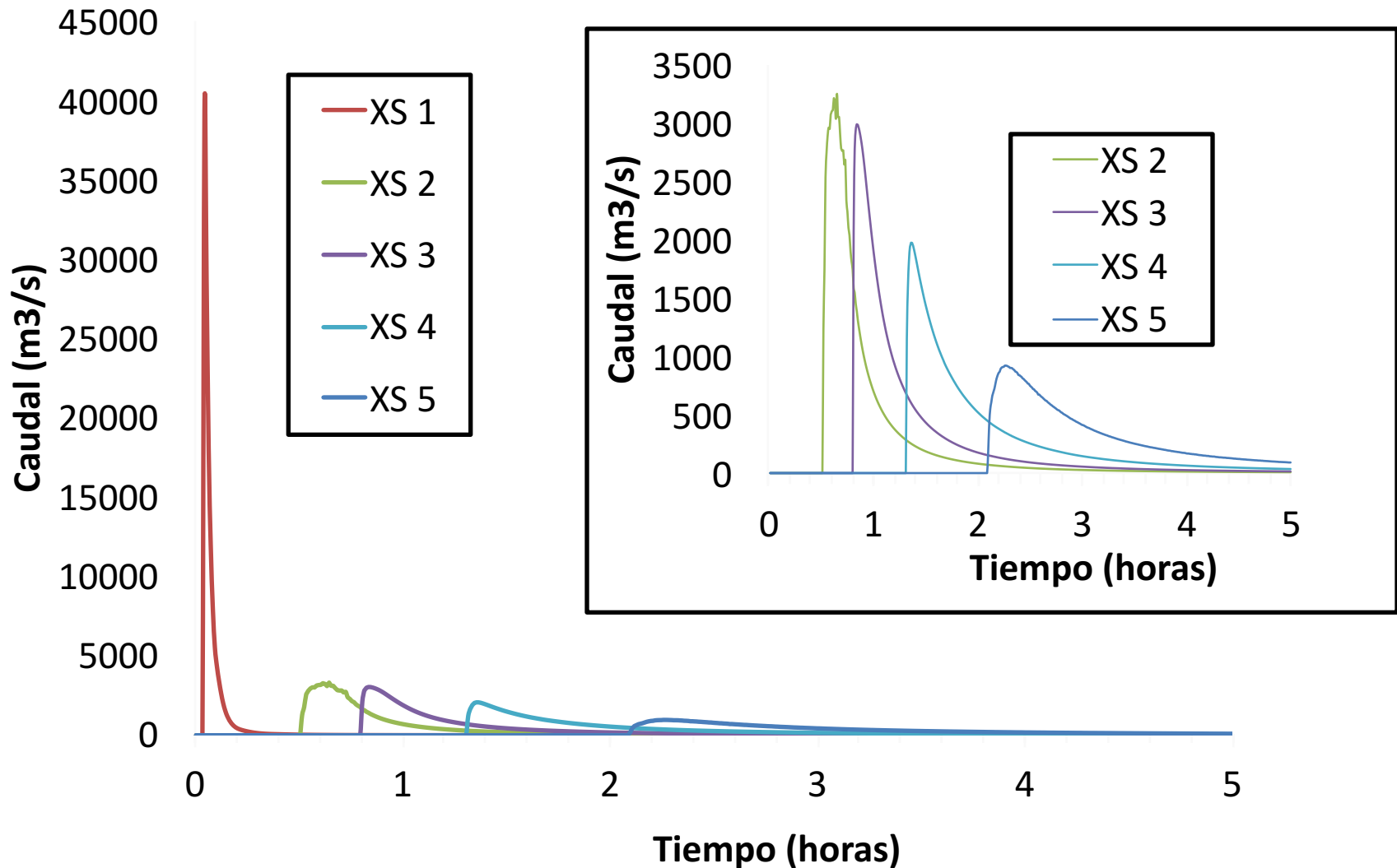


Hidrograma del Oleaje

Resultados de Modelos de Inundación

- Hidrogramas en las secciones transversales
- Velocidades del flujo
- Profundidades de inundación

Resultados: Simulación de la Inundación



Características de los Hidrogramas de Inundación Resultantes

Sección Transversal	Tiempo de Llegada (hr)	Tiempo al Caudal Pico (hr)	Caudal Pico (m ³ /s)
1	0.05	0.05	39,349
2	0.51	0.65	3,246
3	0.81	0.84	2,989
4	1.32	1.36	1,980
5	2.10	2.26	920

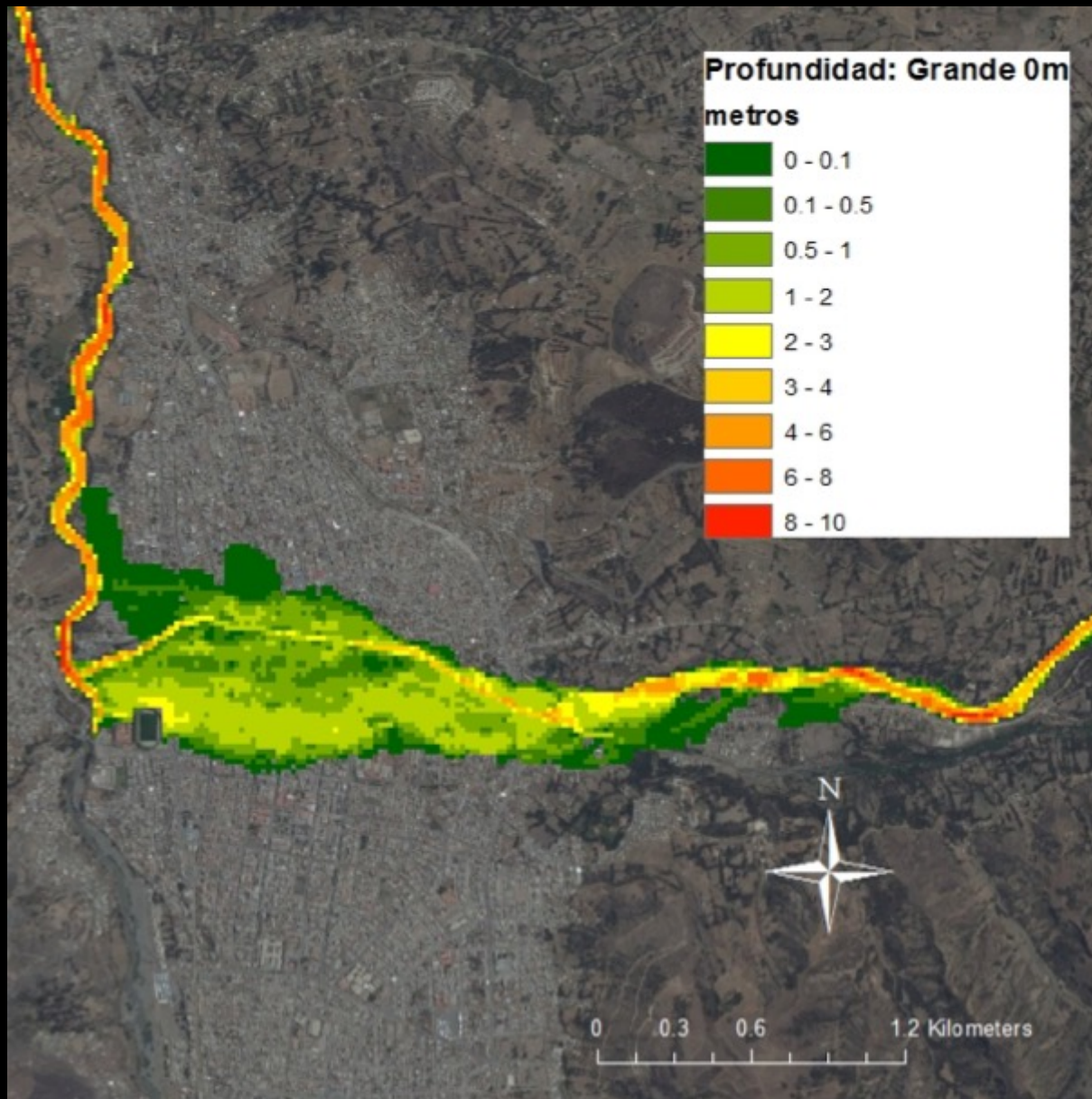
Características de la Inundación: Avalancha Grande

Sección Transversal	Tiempo de Llegada (hr)	Tiempo al Caudal Pico (hr)	Caudal Pico (m ³ /s)
Descarga de la ola	0.05	0.05	63,400
Entrada a la ciudad	1.32	1.36	1,980
Salida de la ciudad	2.10	2.26	920

Tiempo de llegada a la ciudad

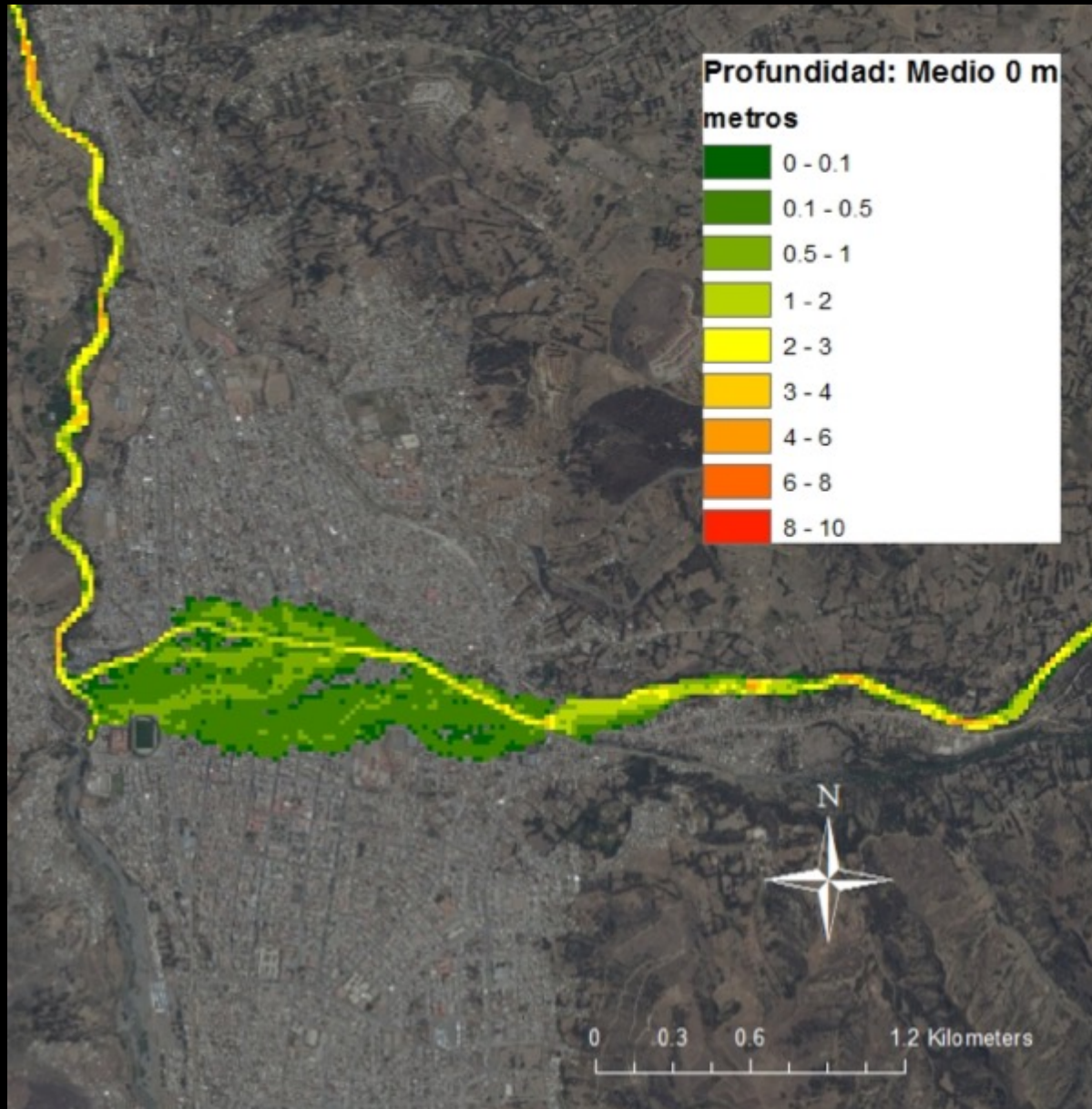
- Avalancha Mediana: 2.9 hr
- Avalancha Pequeña: 8.68 hr

Resultados: Profundidad Máxima de Inundación



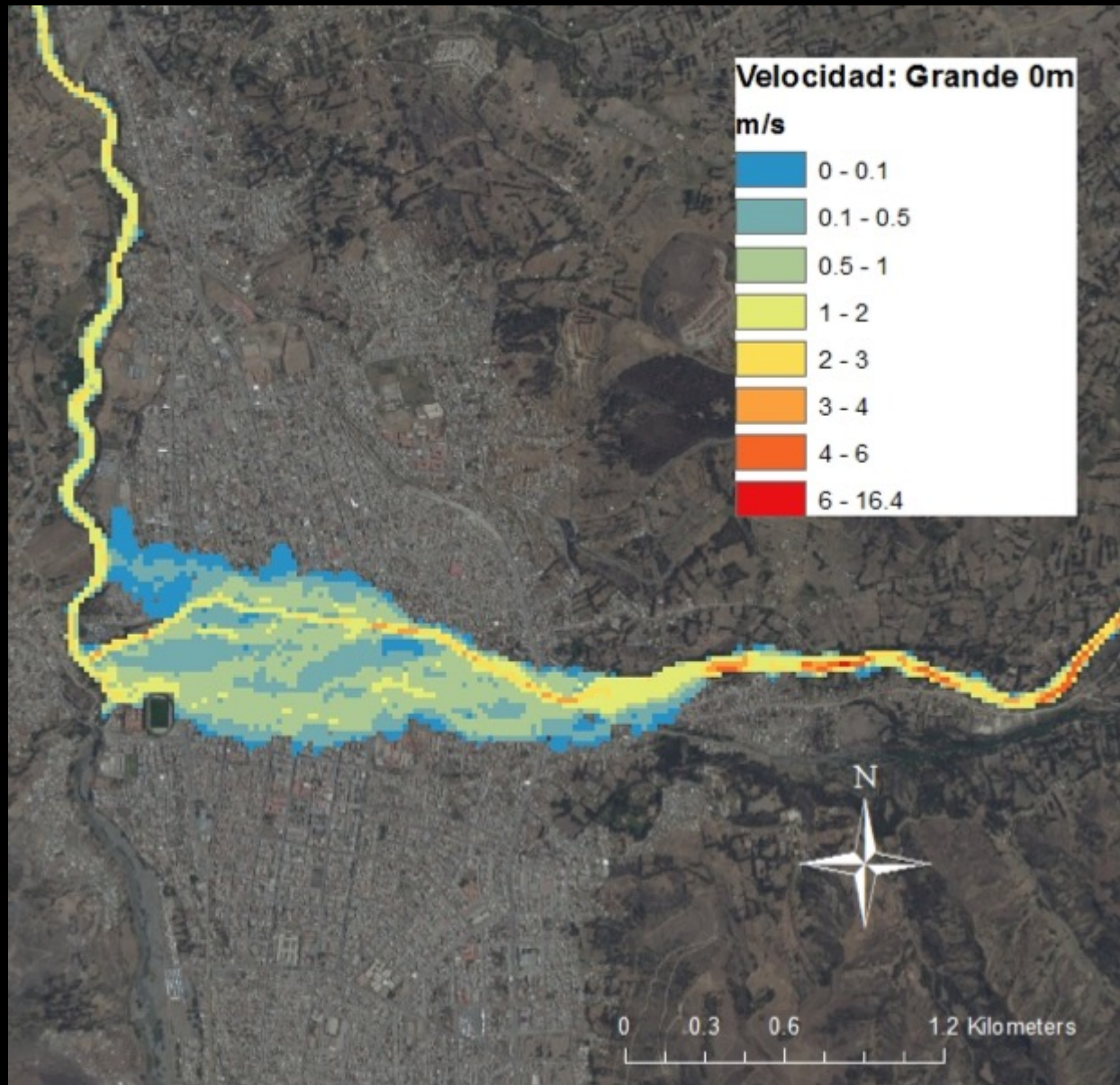
Avalancha
Grande

Resultados: Profundidad Máxima de Inundación



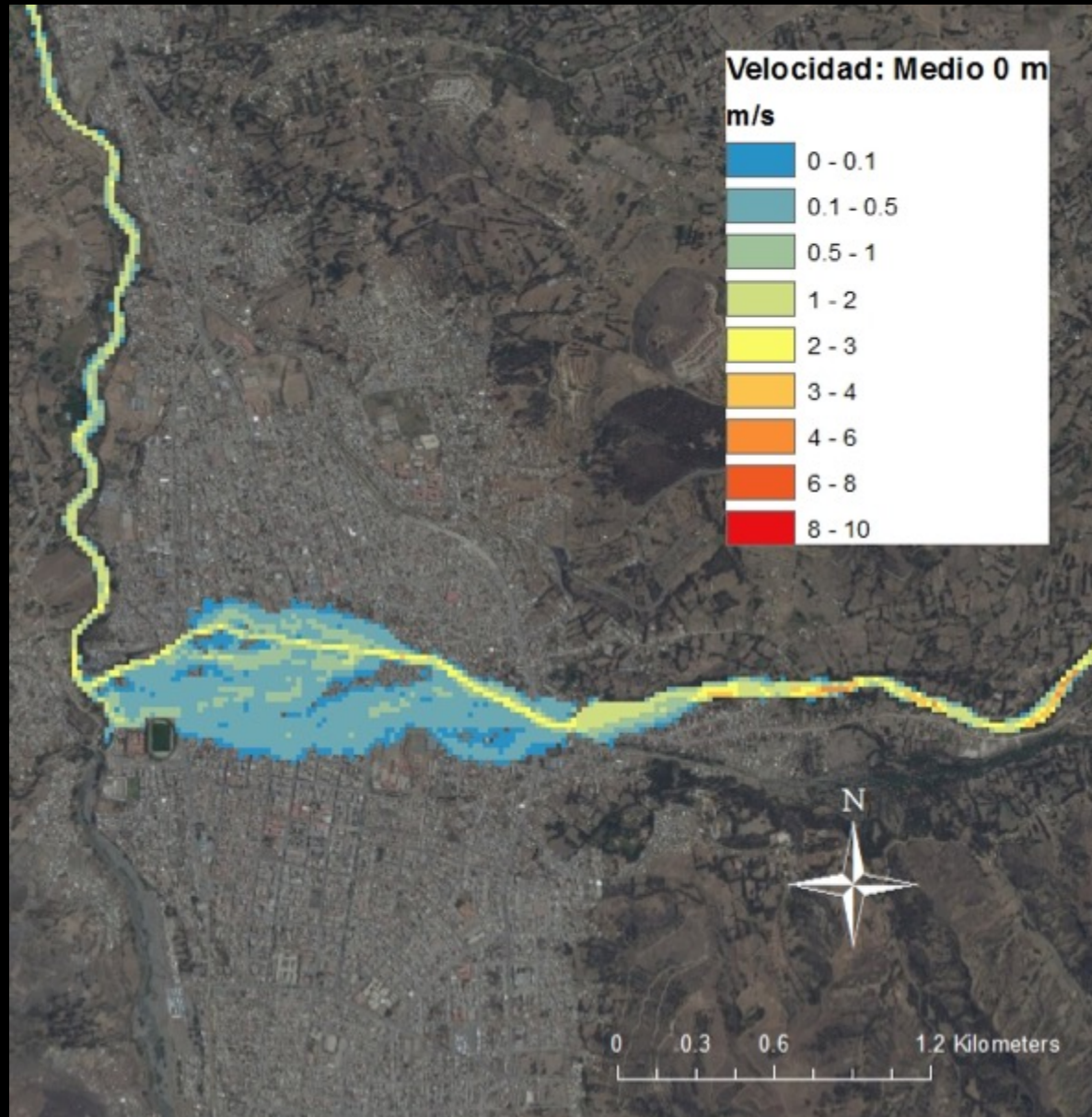
Avalancha
Media

Resultados: Velocidad Máxima de Inundación



Avalancha
Grande

Resultados: Velocidad Máxima de Inundación



Avalancha
Media

¿PREGUNTAS?

Inundación, Modelos de Flujos con Sedimentos, y Conceptos de Amenazas

CONCEPTOS DE AMENAZAS Y MAPEO DE PELIGROS

Peligro, Vulnerabilidad y Riesgo

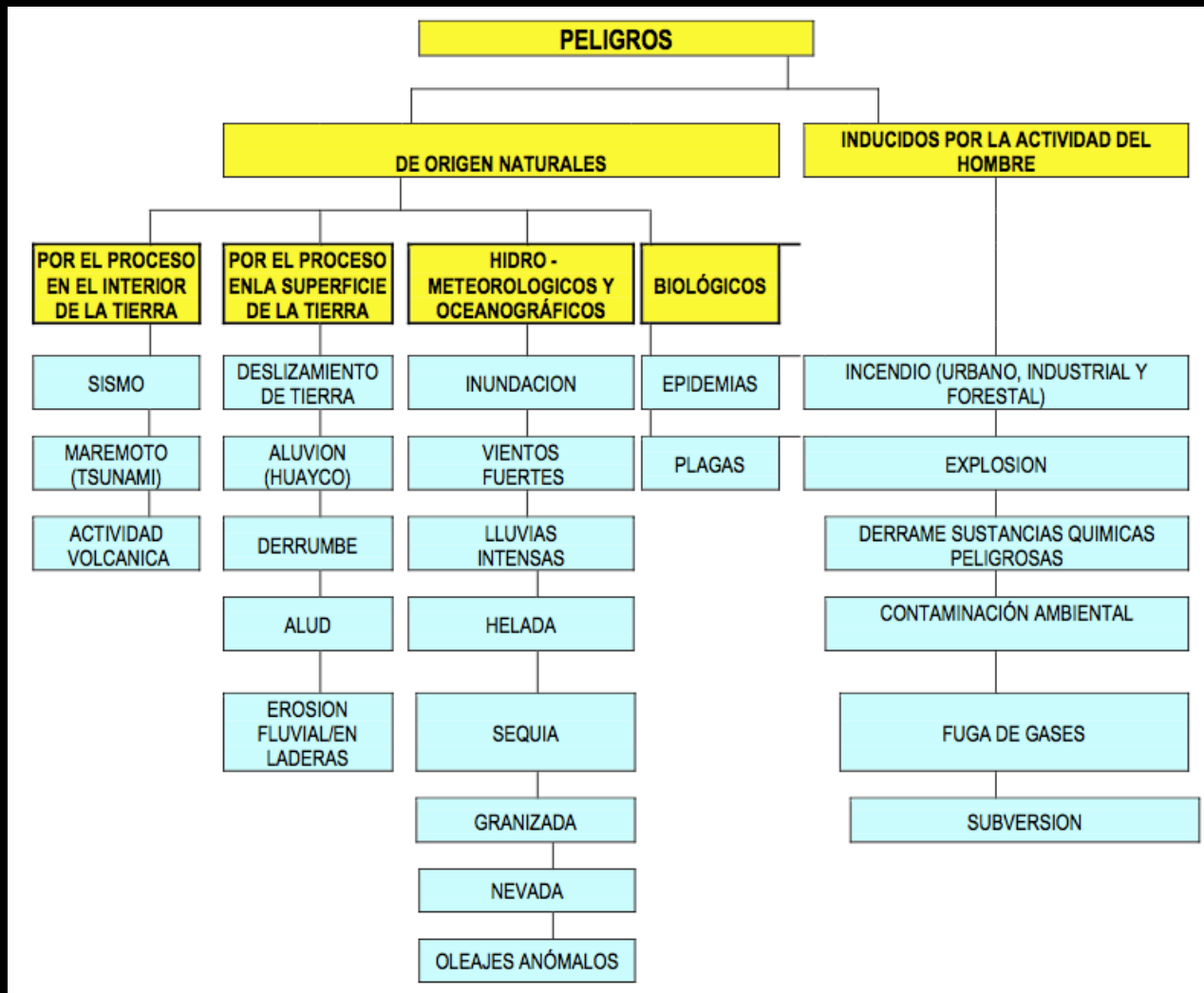
Definiciones de INDECI:

- **Peligro**: Es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural o tecnológico potencialmente dañino, para un periodo específico y una localidad o zona conocidas
- **Amenaza**: Peligro Inminente
- **Vulnerabilidad**: Grado de resistencia y/o exposición de un elemento o conjunto de elementos frente a la ocurrencia de un peligro. Puede ser física, social, cultural, económica, institucional y otros
- **Riesgo**: Estimación o evaluación matemática de probables pérdidas de vidas, de daños a los bienes materiales, a la propiedad y la economía, para un periodo específico y área conocidos, de un evento específico de emergencia. Se evalúa en función del peligro y la vulnerabilidad

Definición de Riesgo



Clasificación de los Principales Peligros



Fuente: INDECI Manual Básico de Estimación de Riesgo

Estratificación de Peligros

ESTRATO/NIVEL	DESCRIPCION O CARACTERISTICAS	VALOR
PB (Peligro Bajo)	<p>Terrenos planos o con poca pendiente, roca y suelo compacto y seco, con alta capacidad portante.</p> <p>Terrenos altos no inundables, alejados de barrancos o cerros deleznales. No amenazados por peligros, como actividad volcánica, maremotos, etc.</p> <p>Distancia mayor a 500 m. desde el lugar del peligro tecnológico.</p>	1 < de 25%
PM (Peligro Medio)	<p>Suelo de calidad intermedia, con aceleraciones sísmicas moderadas. Inundaciones muy esporádicas, con bajo tirante y velocidad.</p> <p>De 300 a 500 m. desde el lugar del peligro tecnológico.</p>	2 De 26% a 50%
PA (Peligro Alto)	<p>Sectores donde se esperan altas aceleraciones sísmicas por sus características geotécnicas.</p> <p>Sectores que son inundados a baja velocidad y permanecen bajo agua por varios días.</p> <p>Ocurrencia parcial de la licuación y suelos expansivos.</p> <p>De 150 a 300 m. desde el lugar del peligro tecnológico</p>	3 De 51% a 75% ^o
PMA (Peligro Muy Alto)	<p>Sectores amenazados por alud- avalanchas y flujos repentinos de piedra y lodo ("lloclla").</p> <p>Áreas amenazadas por flujos piroclásticos o lava.</p> <p>Fondos de quebrada que nacen de la cumbre de volcanes activos y sus zonas de deposición afectables por flujos de lodo.</p> <p>Sectores amenazados por deslizamientos o inundaciones a gran velocidad, con gran fuerza hidrodinámica y poder erosivo.</p> <p>Sectores amenazados por otros peligros: maremoto, heladas, etc.</p> <p>Suelos con alta probabilidad de ocurrencia de licuación generalizada o suelos colapsables en grandes proporciones.</p> <p>Menor de 150 m. desde el lugar del peligro tecnológico</p>	4 De 76% a 100%

Fuente: INDECI Manual Básico de Estimación de Riesgo

Tipos de Vulnerabilidad

- Vulnerabilidad Ambiental y Ecológica
- Vulnerabilidad Física
- Vulnerabilidad Económica
- Vulnerabilidad Social
- Vulnerabilidad Educativa
- Vulnerabilidad Cultural e Ideológica
- Vulnerabilidad Política e Institucional
- Vulnerabilidad Científica y Tecnológica

Vulnerabilidad Ambiental y Ecológica

VARIABLE	NIVEL DE VULNERABILIDAD			
	VB	VM	VA	VMA
	< 25 %	26 a 50 %	51 a 75 %	76 a 100 %
Condiciones Atmosféricas	Niveles de temperatura al promedio normales	Niveles de temperatura ligeramente superior al promedio normal	Niveles de temperatura superiores al promedio normal	Niveles de temperatura superiores estables al promedio normal
Composición y calidad del aire y el agua	Sin ningún grado de contaminación	Con un nivel moderado de contaminación	Alto grado de contaminación	Nivel de contaminación no apto
Condiciones Ecológicas	Conservación de los recursos naturales, crecimiento poblacional planificado, no se practica la deforestación y contaminación	Nivel moderado de explotación de los recursos naturales; ligero crecimiento de la población y del nivel de contaminación	Alto nivel de explotación de los recursos naturales, incremento de la población y del nivel de contaminación.	Explotación indiscriminada de recursos naturales; incremento de la población fuera de la planificación, deforestación y contaminación

VB (Vulnerabilidad Baja)
VA (Vulnerabilidad Alta)

VM (Vulnerabilidad Media)
VMA (Vulnerabilidad Muy Alta)

Vulnerabilidad Física

VARIABLE	NIVEL DE VULNERABILIDAD			
	VB	VM	VA	VMA
	< 25 %	26 a 50 %	51 a 75 %	76 a 100 %
Material de construcción utilizada en viviendas	Estructura sismorresistente con adecuada técnica constructiva(de concreto o acero)	Estructura de concreto. acero o madera, sin adecuada técnica constructiva	Estructuras de adobe, piedra o madera, sin refuerzos estructurales	Estructuras de adobe, caña y otros de menor resistencia, en estado precario
Localización de viviendas (*)	Muy alejada > 5 Km	Medianamente cerca 1 – 5 Km	Cercana 0.2 – 1 Km	Muy cercana 0.2 – 0 Km
Características geológicas, calidad y tipo de suelo	Zonas sin fallas ni fracturas, suelos con buenas características geotécnicas	Zona ligeramente fracturada, suelos de mediana capacidad portante	Zona medianamente fracturada, suelos con baja capacidad portante	Zona muy fracturada, fallada, suelos colapsables (relleno, mapa freática alta con turba, material inorgánico, etc.)
Leyes existentes	Con leyes estrictamente cumplidas	Con leyes medianamente cumplidas	Con leyes sin cumplimiento	Sin ley

(*) Es necesario especificar la distancia, de acuerdo a la ubicación del tipo de vulnerabilidad

Vulnerabilidad Científica y Tecnológica




VARIABLE	NIVEL DE VULNERABILIDAD			
	VB	VM	VA	VMA
	< 25 %	26 a 50 %	51 a 75 %	76 a 100 %
Existencia de trabajos de investigación sobre Desastres naturales en la localidad	La totalidad de los peligros naturales fueron estudiados	La mayoría de los peligros naturales fueron estudiados	Existen pocos estudios de los peligros naturales	No existen estudios de ningún tipo de los peligros.
Existencia de Instrumentos para medición (sensores) de fenómenos completos.	Población totalmente instrumentada	Población parcialmente instrumentada	Población con escasos instrumentos	Población sin instrumentos
Conocimiento sobre la existencia de estudios	Conocimiento total de los estudios existentes	Conocimiento parcial de los estudios	Mínimo conocimiento de los estudios existentes	No tienen conocimiento de los estudios
La Población cumple las conclusiones y recomendaciones	La totalidad de la población cumplen las conclusiones y recomendaciones	La mayoría de la población cumple las conclusiones y recomendaciones	Se cumple en mínima proporción las conclusiones y recomendaciones	No cumplen las conclusiones y recomendaciones

Riesgo = Peligro x Vulnerabilidad

CUADRO N° 11 MATRIZ DE PELIGRO Y VULNERABILIDAD

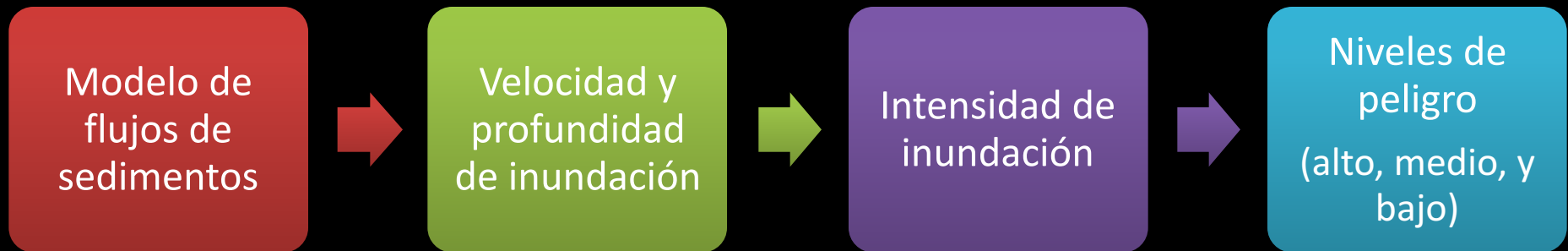
Peligro Muy Alto	Riesgo Alto	Riesgo Alto	Riesgo Muy Alto	Riesgo Muy Alto
Peligro Alto	Riesgo Medio	Riesgo Medio	Riesgo Alto	Riesgo Muy Alto
Peligro Medio	Riesgo Bajo	Riesgo Medio	Riesgo Medio	Riesgo Alto
Peligro Bajo	Riesgo Bajo	Riesgo Bajo	Riesgo Medio	Riesgo Alto
	Vulnerabilidad Baja	Vulnerabilidad Media	Vulnerabilidad Alta	Vulnerabilidad Muy Alta

LEYENDA:

-  Riesgo Bajo (< de 25%)
-  Riesgo Medio (26% al 50%)
-  Riesgo Alto (51% al 75%)
-  Riesgo Muy Alto (76% al 100%)

¿PREGUNTAS?

Mapeo de Peligros



Mapeo de Peligros

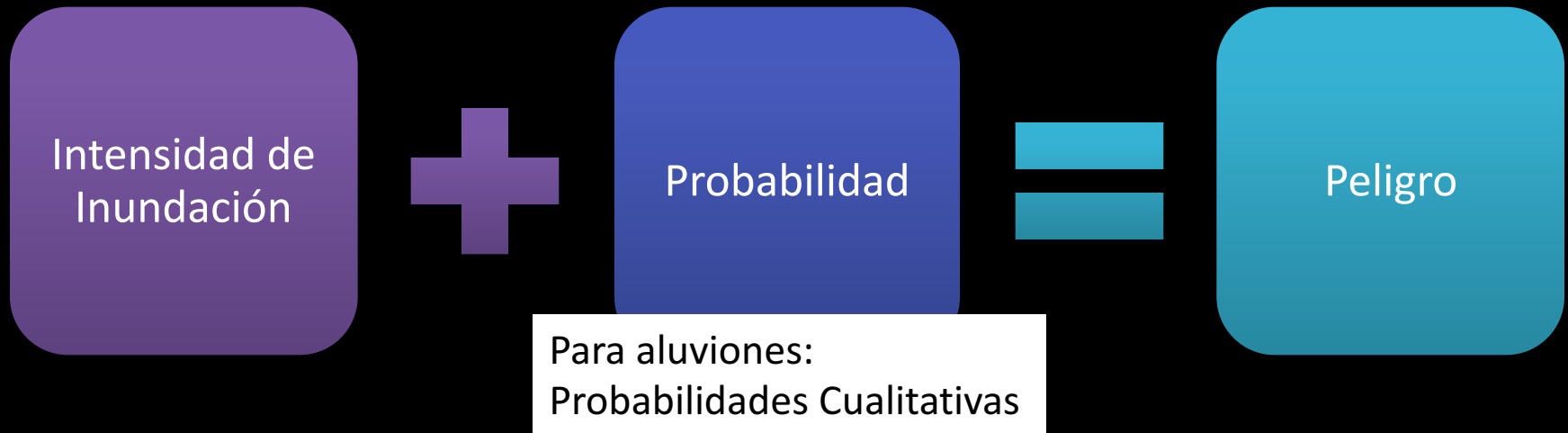
- Peligro = Intensidad x Probabilidad
- Intensidad
 - Combinación de profundidad y velocidad máxima (nuestro método)
 - o
 - Función únicamente de profundidad de inundación
- Probabilidades cualitativas vinculadas al tamaño del evento

Intensidad de Inundación

		Intensidad de	Descripción			
			Velocidad Máxima (m/s) x Profundidad Máxima (m)			
Intensidad			> 1.0	0.2 - 1.0	< 0.2	Intensidad de Inundación
Profundidad Máxima (m)	> 1.0	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
	0.2 - 1.0	Alta	Media	Baja	Media	Media
	< 0.2	Alta	Baja	Baja	Baja	Baja
Alta		Las personas están en peligro tanto dentro como afuera de sus casas. Las estructuras están en peligro de ser destruidas.				

Definición de Peligro

En el contexto de riesgo de desastres



¡No es posible tener cero riesgo!

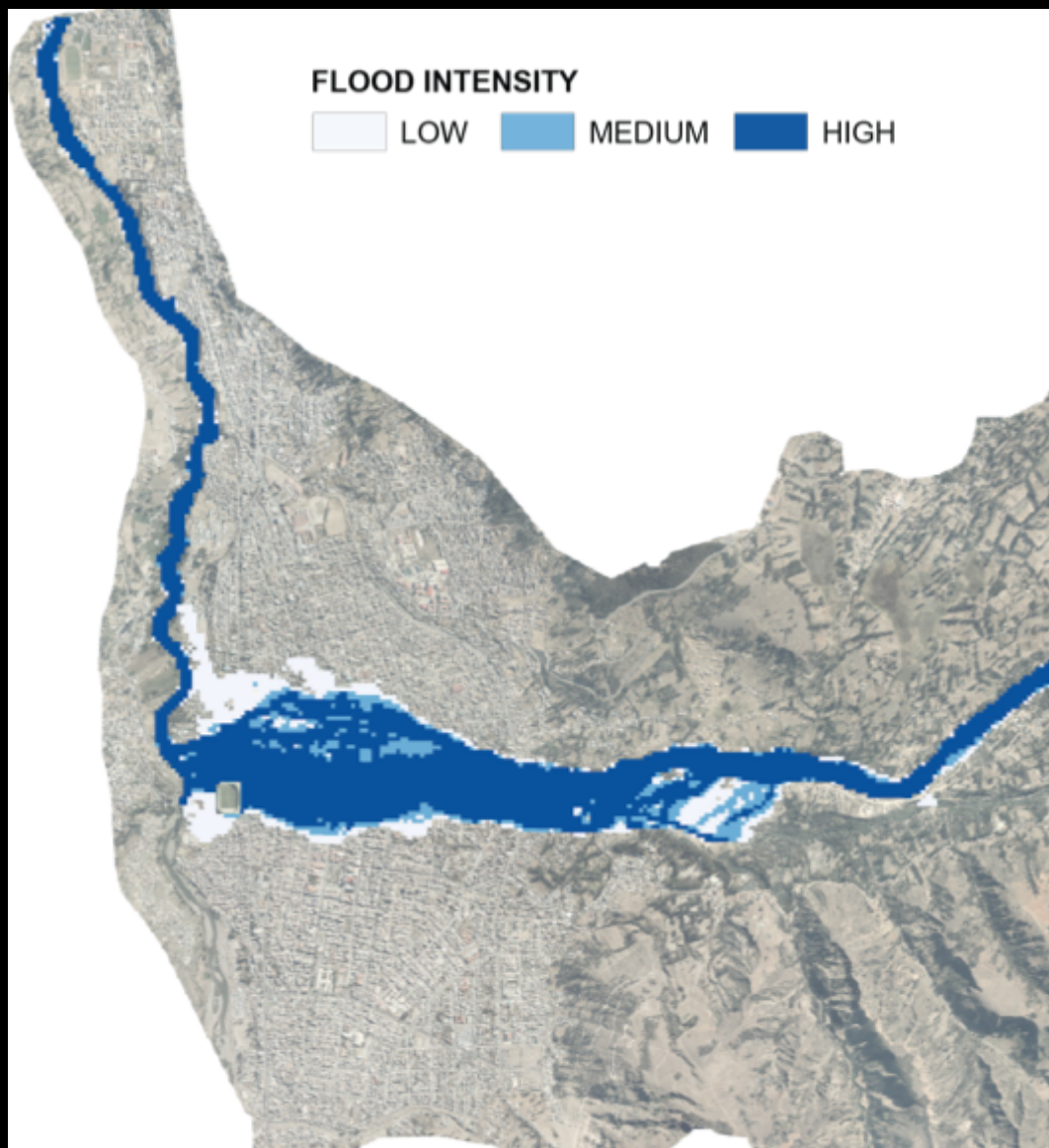
Siempre hay un peligro, y hay que hablar del nivel de ***peligro aceptable***.

Nivel de Peligro

Peligro		Probabilidad			Nivel de Peligro
		Alta	Media	Baja	
		Tamaño de Avalancha			
		Pequeño	Mediano	Grande	
Intensidad	Alta	Alto	Alto	Alto	Alto
	Media	Alto	Medio	Bajo	Medio
	Baja	Medio	Bajo	Bajo	Bajo

Intensidad de Inundación

Avalancha Grande
No hay Colapso de la Morrena
Volumen Total de Inundación:
 $1.8 \times 10^6 \text{ m}^3$



Intensidad de Inundación: Escenarios de Simulación

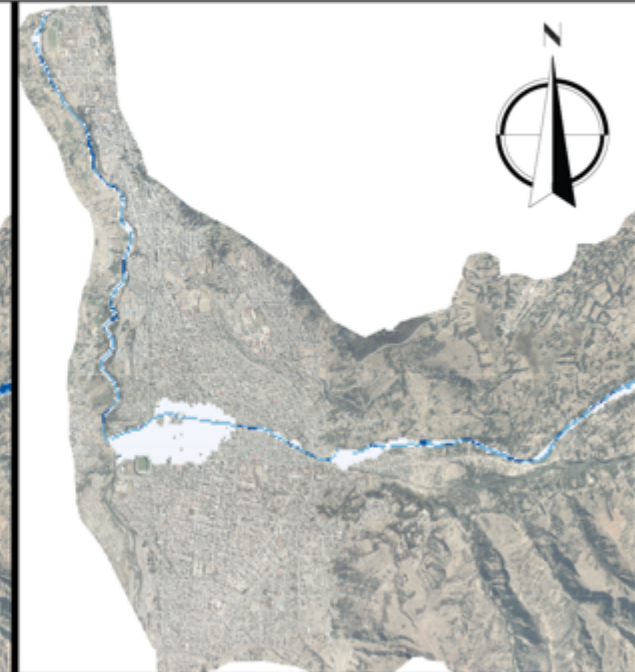
Avalancha Grande



Avalancha Mediana



Avalancha Pequeña

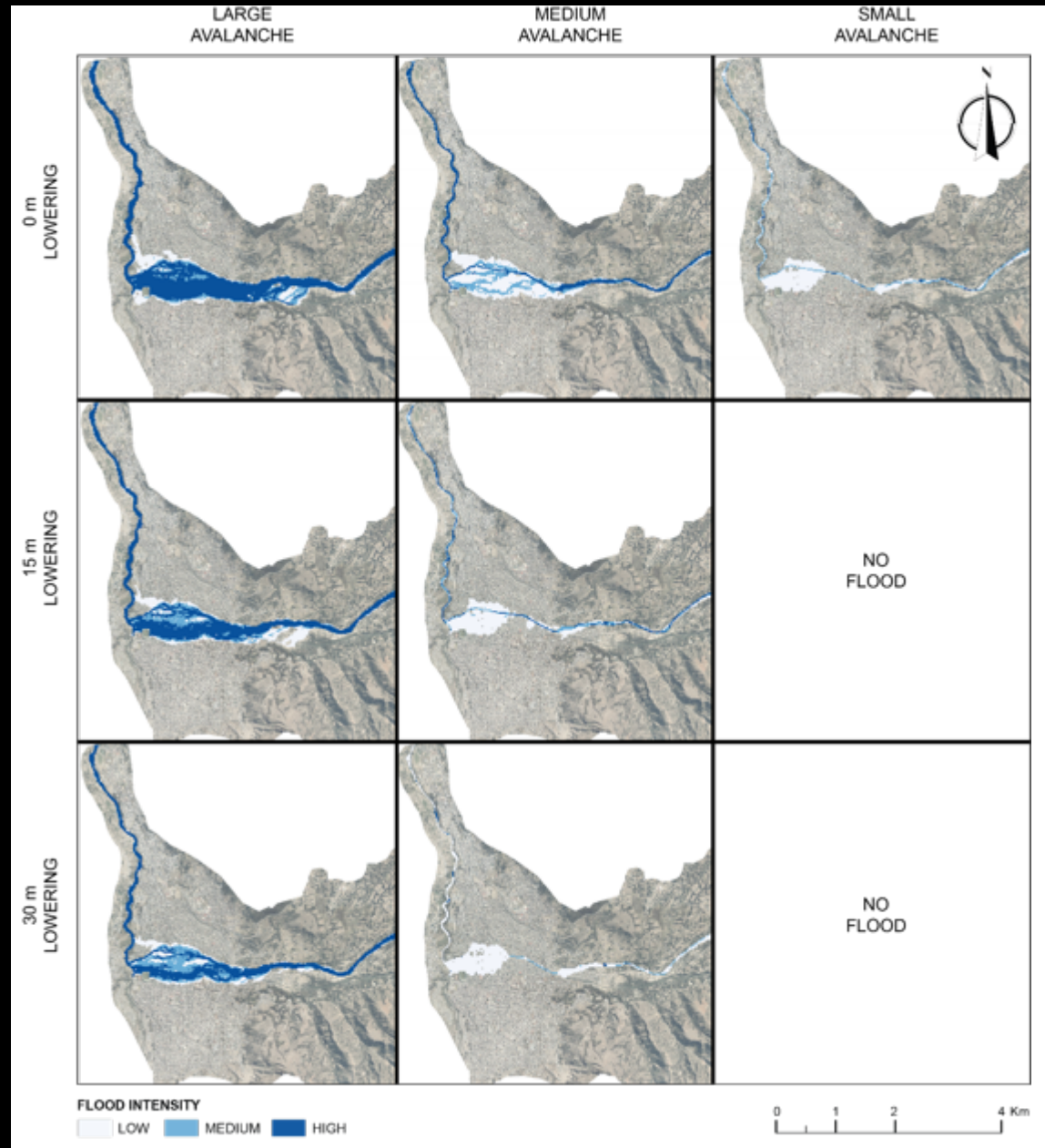


Nivel Actual de la Laguna

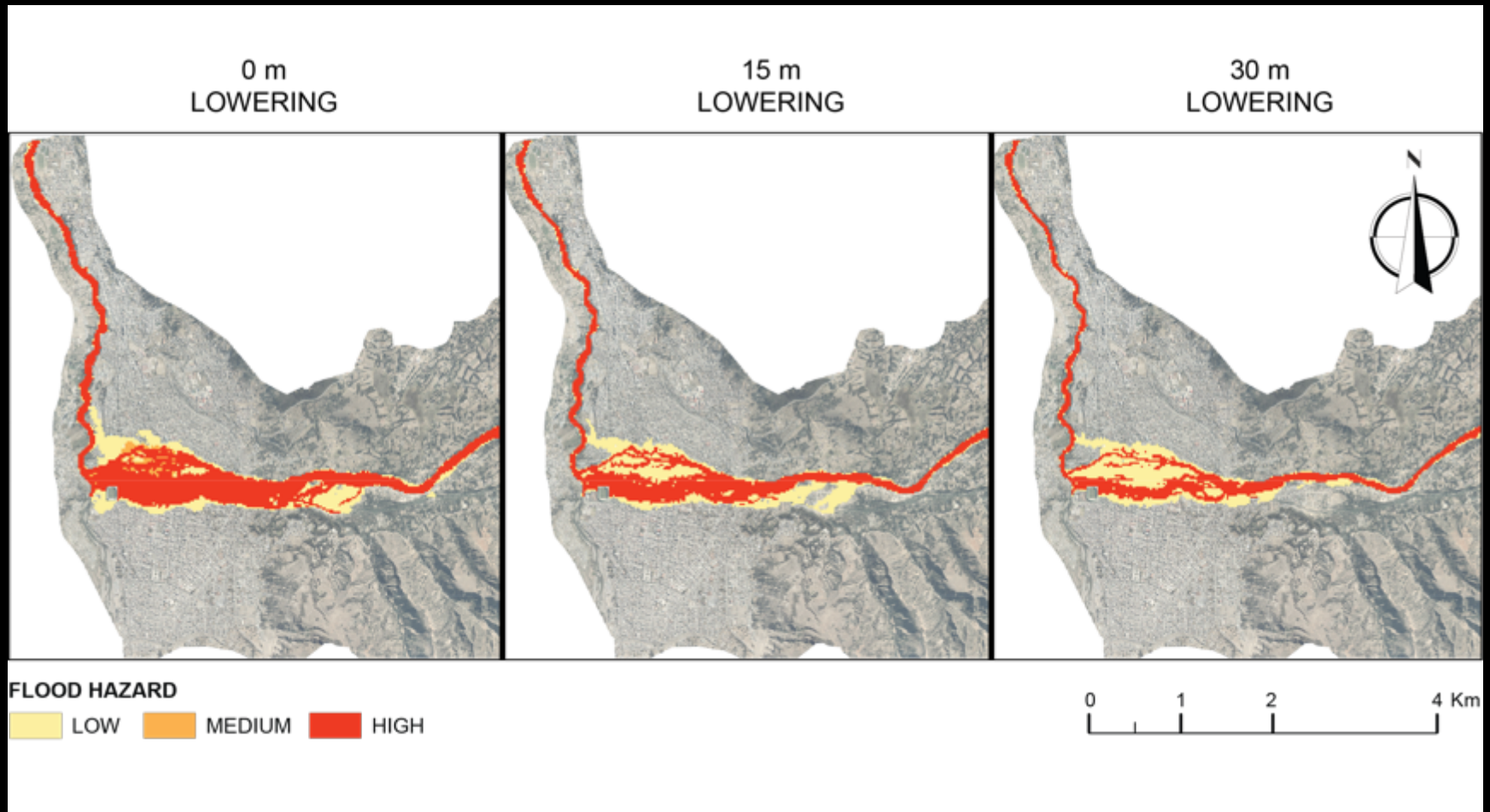
FLOOD INTENSITY

LOW MEDIUM HIGH

Intensidad de Inundación: Escenarios de Mitigación



Intensidad de Inundación → Mapa de Peligros

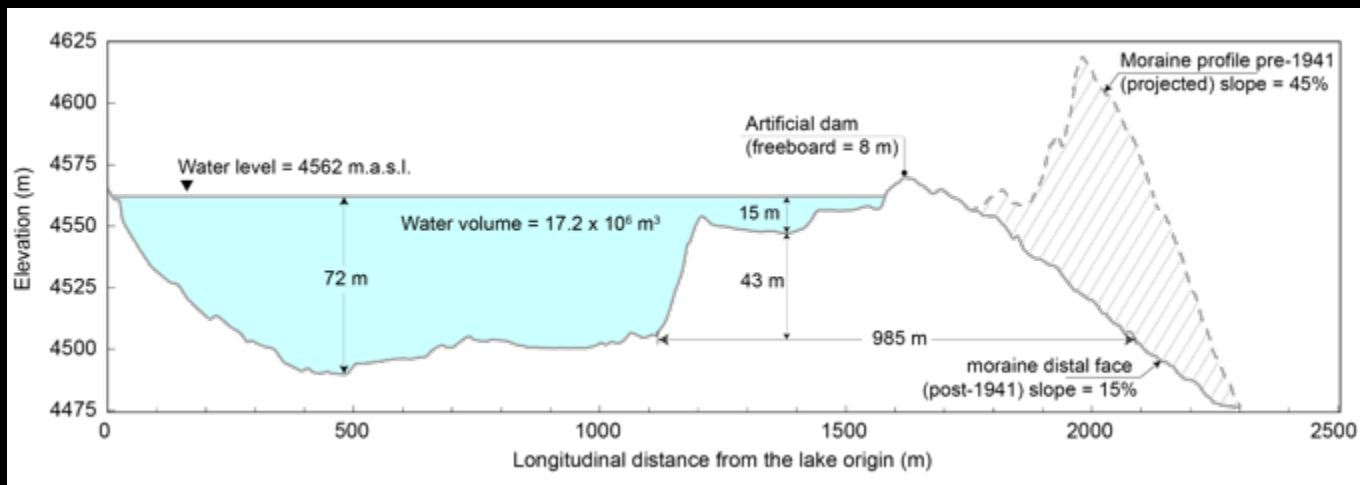


Zonas de Peligro

Nivel de la Laguna	Área de Intensidad Baja (km²)	Área de Intensidad Media (km²)	Área de Intensidad Alta (km²)	Área Total Afectada (km²)
Nivel Actual	0.52	0.05	1.43	2.01
Reducción 15 m	0.61	0.00	1.04	1.65
Reducción 30 m	0.61	0.00	0.79	1.40

Peor Caso: Inundación Máxima Posible

- Escenario de un colapso total de la morrena (el dique)
 - Drenando la mayoría del volumen almacenado en la laguna
 - Muy improbable
 - Requiere una brecha de 56 m de profundidad y 985 m de largo para abrir una desembocadura continua de la laguna



Peor Caso: Impactos en Huaraz

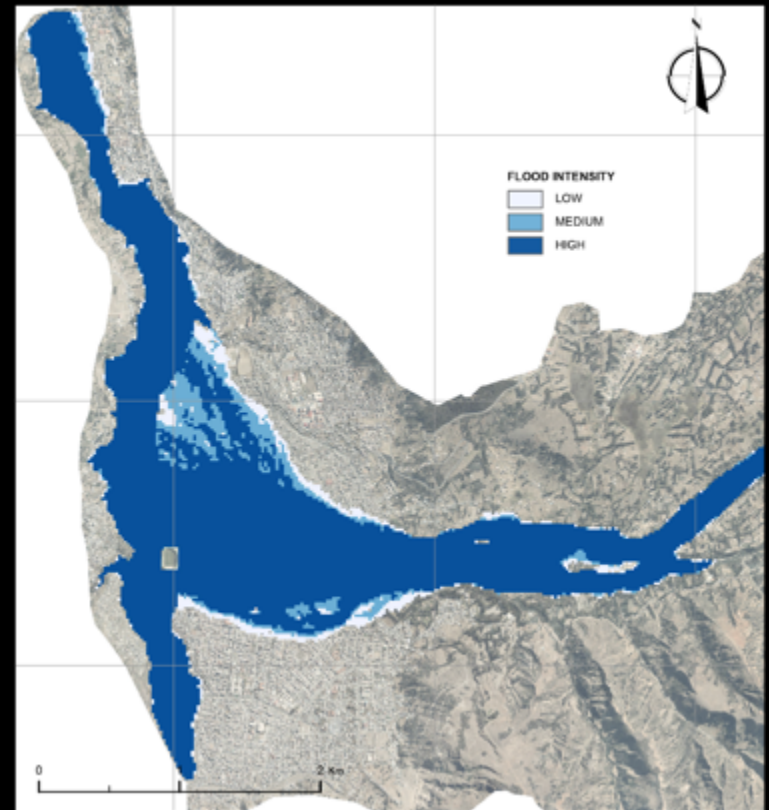
Nivel Actual de la Laguna

No hay Colapso de la Morrena,
Avalancha Grande



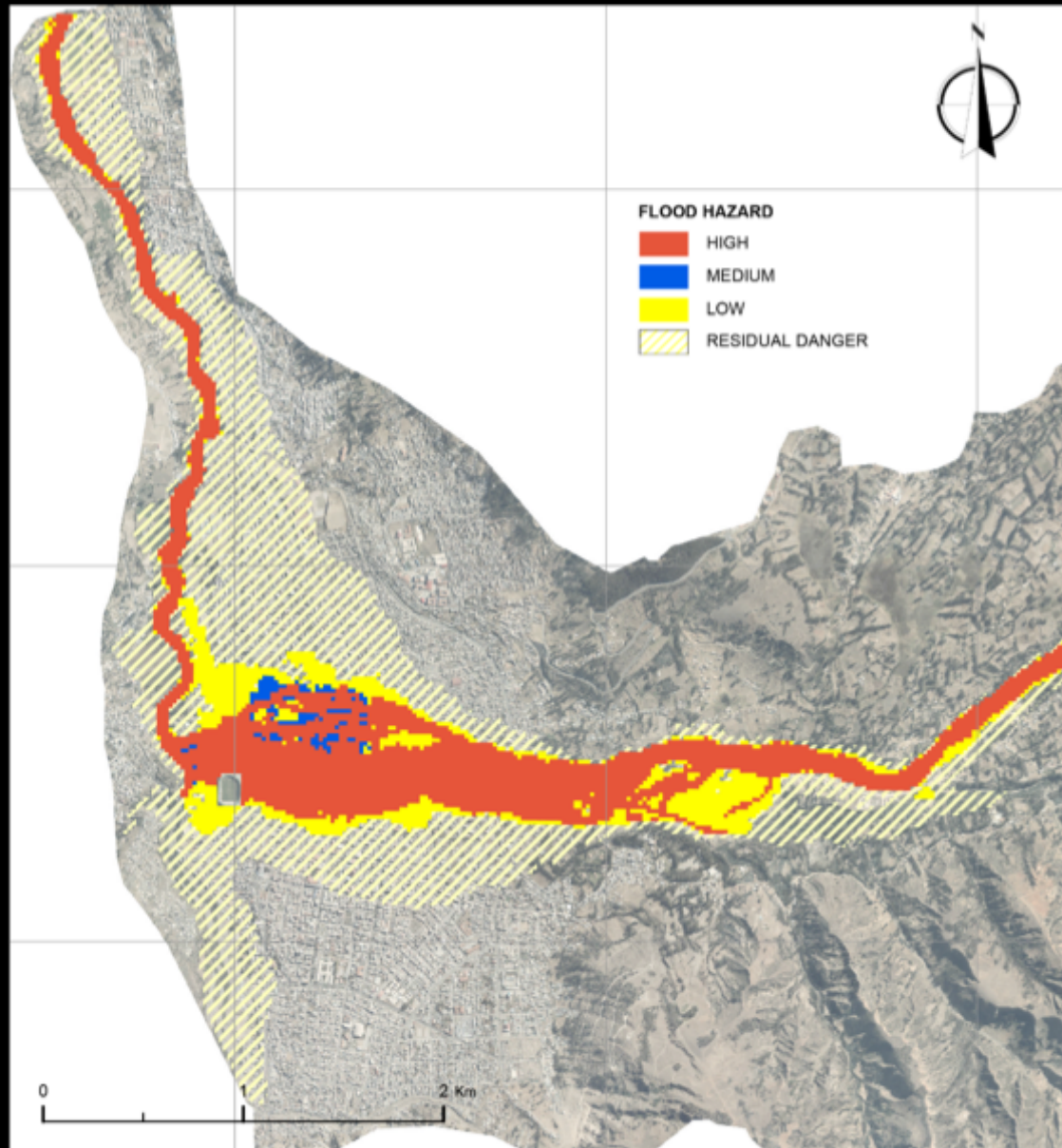
Volumen Total de Inundación:
 $1.8 \times 10^6 \text{ m}^3$

Peor Caso: Colapso Total de la
Morrena, Avalancha Grande



Volumen Total de Inundación:
 $18.2 \times 10^6 \text{ m}^3$

¿Como se considera el peor caso?



¿PREGUNTAS?

Resumen: Modelos de Flujos con Sedimentos

- Flujos de sedimentos y detritos son mas destructivos que flujos de agua
- Modelos de inundación requieren
 - Datos del terreno
 - Hidrograma de descarga
 - Características de los sedimentos
- Resultados de los modelos de inundación incluyen
 - Profundidades
 - Velocidades
 - Tiempo de Llegada

Resumen: Conceptos de Riesgos

- **Peligro** = **Intensidad** x **Probabilidad**
 - Para aluviones se usan probabilidades cualitativas
- **Riesgo** = **Peligro** x **Vulnerabilidad**
 - Hay muchos tipos de vulnerabilidad

¿PREGUNTAS?