

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA MITIGACIÓN RIESGO VOLCÁNICO Y GEOLÓGICOS ASOCIADOS. COMUNAS DE VILLARRICA-PUCÓN-CURARREHUE, REGION DE LA ARAUCANÍA.

## Fase de Participación Ciudadana



Ministerio de  
Obras Públicas





ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA MITIGACIÓN RIESGO VOLCÁNICO Y GEOLÓGICOS ASOCIADOS. COMUNAS DE VILLARRICA-PUCÓN-CURARREHUE, REGION DE LA ARAUCANÍA.

## Fase de Participación Ciudadana



Ministerio de  
Obras Públicas



- 3 de junio, Concejo Municipal Pucón
- 7 de agosto, Empresarios Pucón
- 12 y 14 de agosto, comunidades de Pucón y Villarrica
- 20 de agosto, comunidad Indígena
- 21 de agosto, comunidad escolar



# Proyectos Relevantes Instituto Nacional de Hidráulica

R1. Contribuir mediante la investigación aplicada al diseño de proyectos de infraestructura que aporten al desarrollo del país

Proyecto Modelos Físicos  
Parque La Aguada

Proyecto Riesgo Volcánico

Modelo físico y matemático  
Río Mapocho

Mediciones Marítimas de  
campo

Quebradas de Valparaíso

Modelo matemático Canal  
de Chacao

Evaluación de la inundación  
rotura de presas

Modelo Físico, rápido de  
descarga Embalse Ancoa

Proyecto Construcción  
Laboratorio de Tsunamis

Construcción Canal de Olas  
Bidimensional

R2. Contribuir a la mitigación de los efectos de la sequía y el cambio climático.

Proyecto Sistema  
de Información  
para monitorear  
cambio climático  
en Lluta

Recarga artificial  
de acuíferos Río  
San José

Evaluación de la  
vulnerabilidad de  
recurso hídrico  
subterráneo para uso  
agropecuario, Río  
Changaral

R3. Contribuir al aprovechamiento de nuevas fuentes de energías renovables no convencionales.

Proyecto Catastro  
recurso energético  
Undimotriz zona  
centro-sur

Proyecto Catastro  
recurso energético  
Mareomotriz Canal  
de Chacao

R4. Difundir el conocimiento que posee el Servicio.

En estudio  
implementar  
iniciativas de  
capacitación y  
formación  
profesional.

Implementar  
biblioteca y archivo  
técnico digital para  
consulta online

# Medidas de mitigación Flujos laháricos

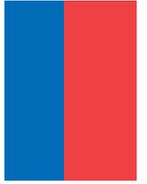


**Gobierno  
de Chile**

**Instituto Nacional de Hidráulica**

**Héctor Hernández Jara**  
*Ingeniero Civil*

# Contenido



- 1. Antecedentes Generales**
- 2. Experiencia Internacional y Tipología de Obras  
(Etapa III)**
- 3. Medidas Mitigación Desarrolladas (Etapa IV)**





# Antecedentes Generales



# Definición de Flujo lahárico



En el cono del Volcán Villarrica los grandes lahares se originan por la violenta fusión de las masas de glaciares y mantos de nieve que persisten en los faldeos del volcán, cuando son alcanzadas por corrientes de lava y por la caída de piroclastos incandescentes.



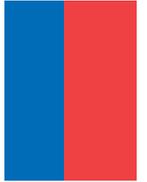
Antecedentes Generales

Experiencia Internacional

Medidas Mitigación Desarrolladas



# Características del Lahar



- Producido por el derretimiento de la Nieve y los Hielos (Glaciar)
- Energía Potencial -> Energía Cinética
- Concentración de Sólidos: Entre un 20% a un 66%.
- Volumen Estimado para las cuencas de estudio: superior a 200 millones de m<sup>3</sup>.
- Tránsito en Ondas (es como una Ola)
- **Velocidades del lahar :**
  - Parte Alta (faldas del Volcán) => 8 a 16 m/s. -> 30 a 60 kmph
  - Parte Baja (Trancura, Planicie) => 4 a 8 m/s -> 16 a 30 kmph
  - Referencia: Tsunami (2 m de prof).=> 5 m/s => 20 kmph



# Problemática en el Volcán Villarrica



En base al estudio Geológico realizado se tiene:

**Escenario 1:** Recurrencia cada **5-10 años**. *Erupción estromboliana o hawaiana* con tasas de emisión de lavas tales que provoquen lahares (se estima el punto crítico en alrededor de 100 m<sup>3</sup>/s).

**Escenario 2:** Recurrencia de **800 años**. Erupción de tipo *sub-pliniano* con emisiones importantes de tefra que afectarían los alrededores del volcán, se generarían flujos y oleadas de piroclásticos que descenderían por todos los flancos del volcán, caída de tefra, fallas y avalanchas debido al movimiento sísmico de la erupción.

**Escenario 3:** Recurrencia se estima en **10.000 años**. Erupción *pliniana* de impacto regional, con volúmenes considerables de tefra, importantes flujos de piroclastos y el probable colapso del edificio volcánico.

Antecedentes Generales

Experiencia Internacional

Medidas Mitigación Desarrolladas



# Problemática en el Volcán Villarrica



## Tipos de Erupciones

IEV	Clasificación	Descripción	Altura columna eruptiva	Volumen material arrojado	Periodicidad	Ejemplo	Total erupciones históricas
0	Erupción hawaiana	no-explosiva	100 m	> 10,000 m <sup>3</sup>	diaria	Kilauea	-
1	Erupción stromboliana	ligera	100-1000 m	> 10,000 m <sup>3</sup>	diaria	Stromboli	-
2	Erupción vulcaniana/ stromboliana	explosiva	1-5 km	> 1.000.000 m <sup>3</sup>	semanal	Galeras, 1993	3477
3	Erupción Vulcaniana (sub-pliniana)	violenta	1-15 km	> 10,000 m <sup>3</sup>	semanal	El Ruiz, 1985	868
4	Vulcaniana (sub-pliniana)/ pliniana	cataclísmica	10-25 km	> 0,1 km <sup>3</sup>	cada 10 años	Galunggung, 1982	278
5	Pliniana	paroxística	25 km	> 10 km <sup>3</sup>	cada 10 años	Pinatubo, 1980	84
6	Pliniana/ Ultra-Pliniana (krakatoana)	colosal	> 25 km	> 10 km <sup>3</sup>	cada 100 años	Krakatoa, 1883 Santa María, 1902	39
7	Ultra-Pliniana (krakatoana)	super-colosal	> 25 km	> 100 km <sup>3</sup>	cada 1.000 años	Tambora, 1815 Maipo, 500.000 a. C.	4
8	Ultra-Pliniana (krakatoana)	mega-colosal	> 25 km	> 1000 km <sup>3</sup>	cada 10.000 años	Toba, 69.000 a. C.	1

Evento Volcánico N°1

Evento Volcánico N°2

Evento Volcánico N°3

Antecedentes Generales

Experiencia Internacional

Medidas Mitigación Desarrolladas



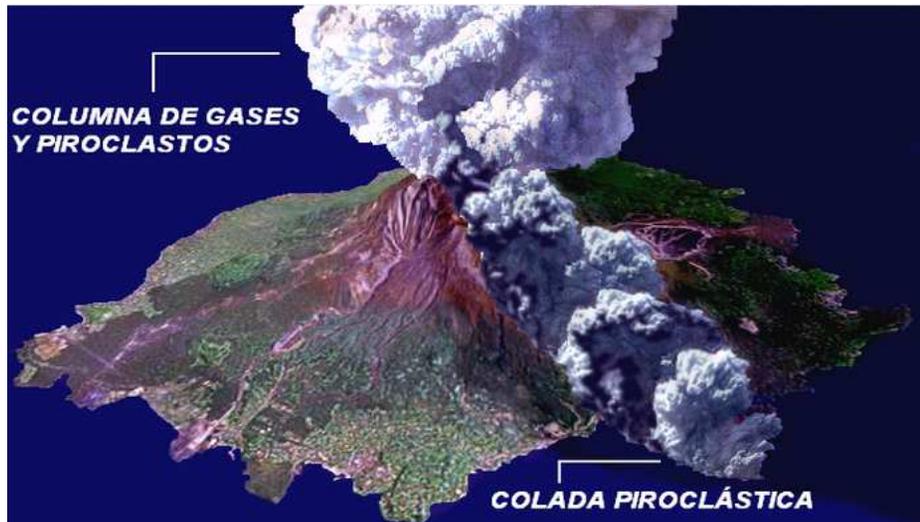
# Problemática en el Volcán Villarrica



Hawaiana



Estromboliana



Pliniana

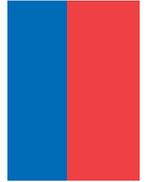
Antecedentes Generales

Experiencia Internacional

Medidas Mitigación Desarrolladas



# Magnitud Evento Diseño



## VOLUMEN DE DESCARGA EVENTO 1:

Cuenca	Vol. de agua solo de hielo (10 <sup>6</sup> *m <sup>3</sup> )	Vol. de agua hielo+ nieve máxima (10 <sup>6</sup> *m <sup>3</sup> )	Vol. lahar con 20% de sólidos y agua solo de hielo (10 <sup>6</sup> *m <sup>3</sup> )	Vol. lahar con 20% de sólidos y agua hielo+ nieve máxima (10 <sup>6</sup> *m <sup>3</sup> )	Vol. lahar con 60% de sólidos y agua solo de hielo (10 <sup>6</sup> *m <sup>3</sup> )	Vol. lahar con 60% de sólidos y agua hielo+ nieve máxima (10 <sup>6</sup> *m <sup>3</sup> )	Vol. lahar con 66% de sólidos y agua solo de hielo (10 <sup>6</sup> *m <sup>3</sup> )	Vol. lahar con 66% de sólidos y agua hielo+ nieve máxima (10 <sup>6</sup> *m <sup>3</sup> )
Estero Chaillupén	25,00	28,50	31,25	35,63	62,51	71,26	73,53	83,82
Estero Seco	11,28	15,76	14,10	19,70	28,19	39,41	33,18	46,35
Río Voipir	5,49	10,01	12,52	13,72	25,03	16,15	29,44	29,44
Estero Huichatío	2,21	5,85	2,76	7,31	5,53	14,62	6,50	17,21
Estero Molco	3,42	9,22	4,27	11,52	8,55	23,05	10,06	27,12
Estero Correntoso	2,94	6,78	3,68	8,48	7,36	16,96	8,65	19,94
Zanjón Seco	5,55	9,69	6,94	12,11	13,88	24,21	16,32	28,50
Río Pedregoso	14,83	20,54	18,54	25,67	37,07	51,34	43,62	60,41
Río Turbio	60,13	69,56	86,95	150,34	173,91	176,85	204,59	204,59
<b>Total</b>	<b>130,86</b>	<b>175,92</b>	<b>163,57</b>	<b>219,9</b>	<b>327,14</b>	<b>293,19</b>	<b>384,85</b>	<b>517,38</b>

Región	Embalse	Capacidad máxima
IV	Puclaro	200
	Recoleta	97
	Cogotí	137
R.M.	El Yeso	256
	Rungue	17
VI	Convento Viejo	237
	Rapel	695
VII	Colbún	1.550
	Laguna del Maule	1.420
	Digua	220
VIII	Ralco	1.174
	Lago Laja	5.582

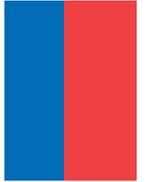
Antecedentes Generales

Experiencia Internacional

Medidas Mitigación Desarrolladas



# Modelos numéricos revisados

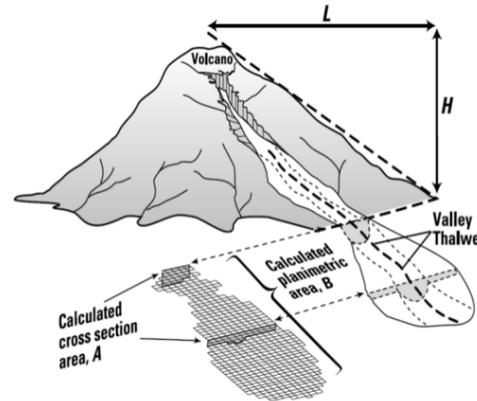


LAHARZ

MSF

FLO2D

TITAN 2D



94	89	91	96
91	88	92	94
85	86	93	93
78	87	90	91

FLO2D

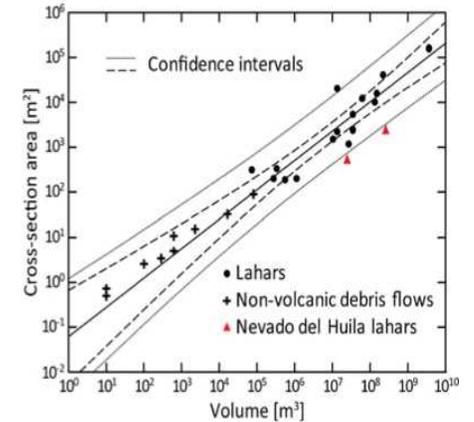
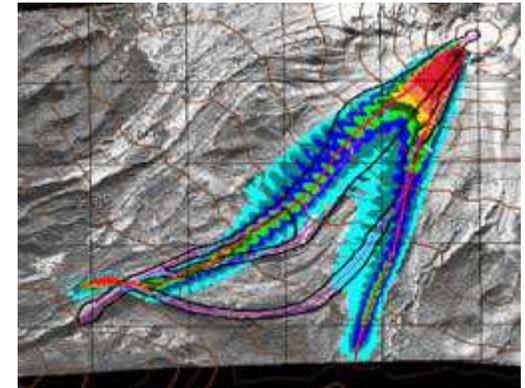


Fig. 8 Mean cross-sectional area versus lahar volume of 27 lahar and debris flow events (black) observed worldwide (Iverson et al. 1998). The cross-sectional areas of the April 2007 and 1994 lahars from Nevado del Huila are plotted against their corresponding volumes (red triangles)



# Modelos numéricos revisados



Resumen de los modelos y sus parámetros de entrada más relevantes.

Parámetros de calibración	LAHARZ	MSF	FLO-2D PRO	TITAN-2D
Selección del cauce de descarga	X			
Pendiente del cono del volcán	X			
Punto inicial de descarga		X	X	X
Zona límite de inundación	X			
Concentración inicial del flujo			X	
Hidrograma de descarga			X	
Rugosidad de las cuencas			X	
Coefficientes Sedimento Hiperconcentrado			X	
Dimensión y coordenada inicial de la pila				X
Ángulo de fricción interna y basal de la pila				X
Tiempo total de la modelación			X	X

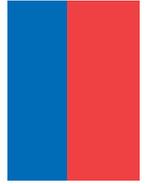
Antecedentes Generales

Experiencia Internacional

Medidas Mitigación Desarrolladas



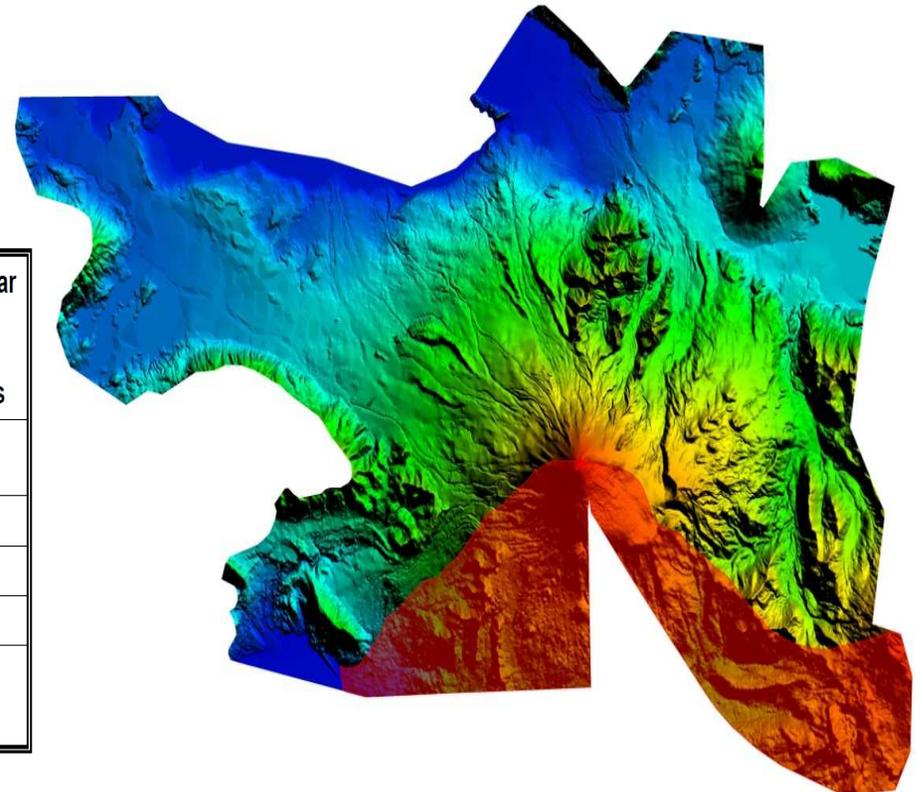
# Input del modelo numérico



## Información necesaria en el Modelo FLO2D:

- Volumen de entrada
- Concentración de sedimentos (Cv)
- Parámetros reológicos
- Modelo elevación digital (MDT)

Cauce	Volumen de depósito estimado (m <sup>3</sup> )	Volumen de lahar estimado (m <sup>3</sup> ) 66% de sólidos	Volumen de lahar estimado (m <sup>3</sup> ) 60% de sólidos	Volumen de lahar estimado (m <sup>3</sup> ) 20% de sólidos
Pedregoso-Turbio	13.685.203	20.735.156	22.717.438	68.426.019
Zanjón Seco	1.875.247	2.841.283	3.112.911	9.376.238
Correntoso	4.682.231	7.094.289	7.772.505	23.411.159
Voipir	19.666.640	29.797.939	32.646.623	98.333.201
Pino Huacho-Estero Seco	5.749.201	8.710.911	9.543.673	28.746.005



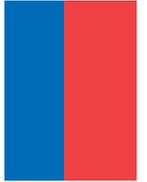
Antecedentes Generales

Experiencia Internacional

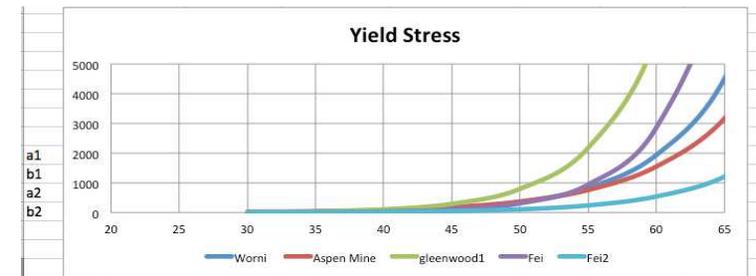
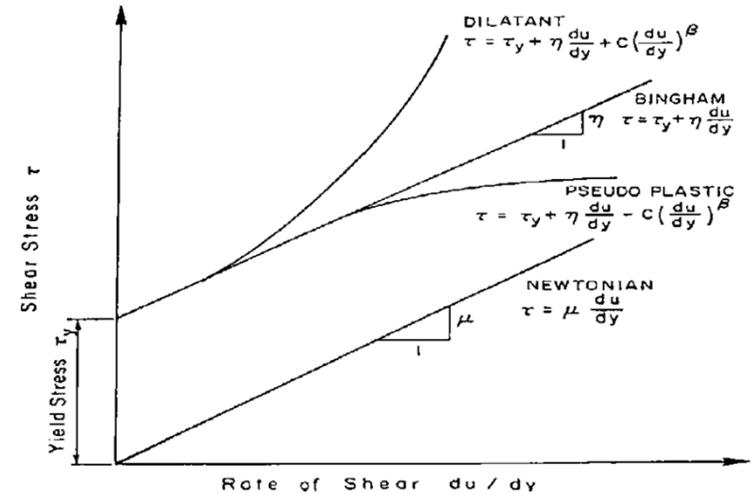
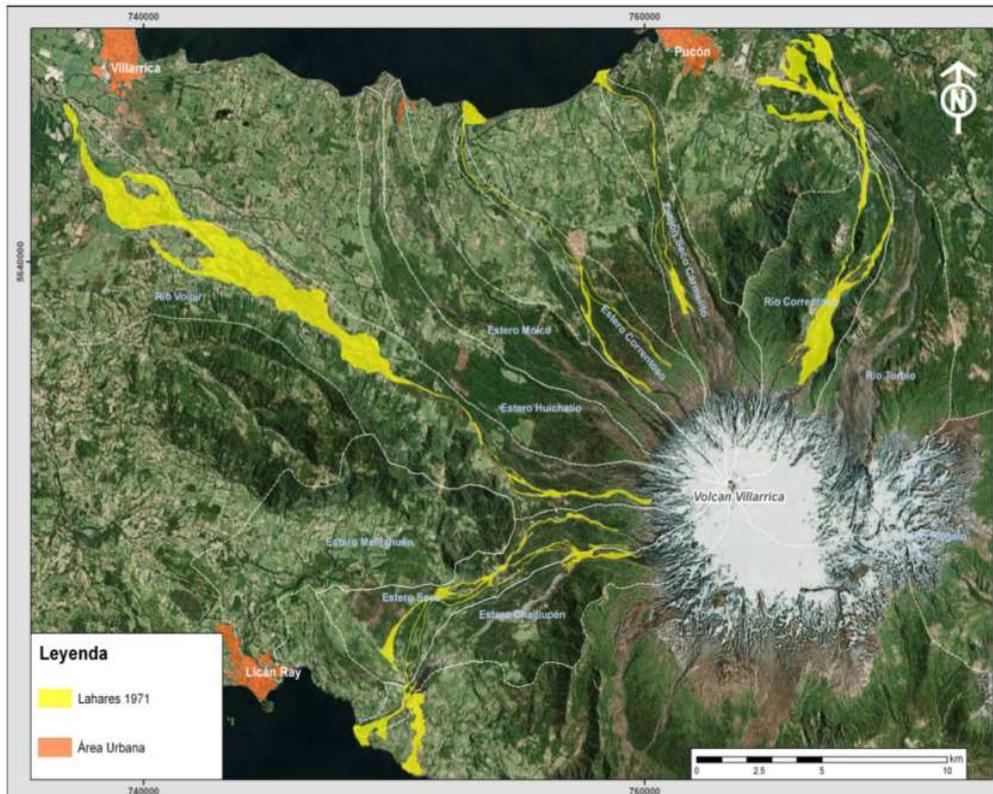
Medidas Mitigación Desarrolladas



# Calibración: Evento 1971



Información a utilizar en el Modelo: Catastro del evento de 1971 de flujo lahárico, para comparar los resultados de los modelos.



YIELD STRESS	0.0765	0.291	3.45E-02	0.0047	3.45E-02
a2					
b2	16.9	14.3	20.1	22.2	16.1
Concentración	Worni	Aspen Mine	gleenwood1	Fei	Fei2
30	12.176836	21.23324233	14.34216851	3.6685894	4.3197781
35	28.3474042	43.4047112	39.18147447	11.131815	9.6620326
40	65.992128	88.72733258	107.0401551	33.777916	21.611035
45	153.62821	181.3752316	292.4237781	102.4943	48.337325
50	357.643064	370.764833	798.8746462	311.00445	108.11593
55	832.585119	757.9125338	2182.451456	943.69897	241.82251
60	1938.23969	1549.314708	5962.255005	2863.5209	540.88357

$$\eta = \alpha_1 e^{\beta_1 C_V}$$

$$\tau = \alpha_2 e^{\beta_2 C_V}$$

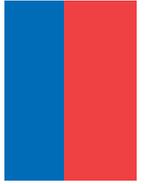




# Experiencia Internacional y Tipología de Obras (Etapa III)



# Consideraciones



## Medidas Técnicas Posibles (Hays, 1981)

### Blandas

1. Evitar la ocupación de áreas donde las probabilidades de ocurrencia de un fenómeno natural sean medias o altas
2. Zonificar suelo para normar el uso del terreno con ciertos fines específicos o emplear sólo edificaciones adecuadas dependiendo del grado existente.

### Duras

Materializar [medidas estructurales](#) relacionadas con el diseño y construcción de obras que permitan reducir los riesgos

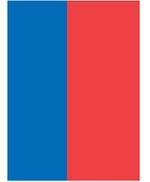
Antecedentes Generales

Experiencia Internacional

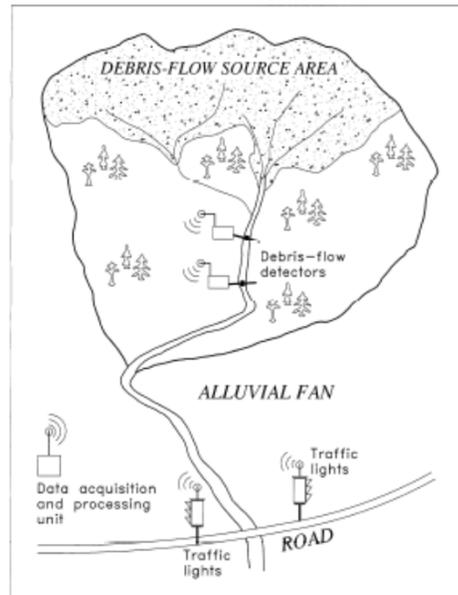
Medidas Mitigación Desarrolladas



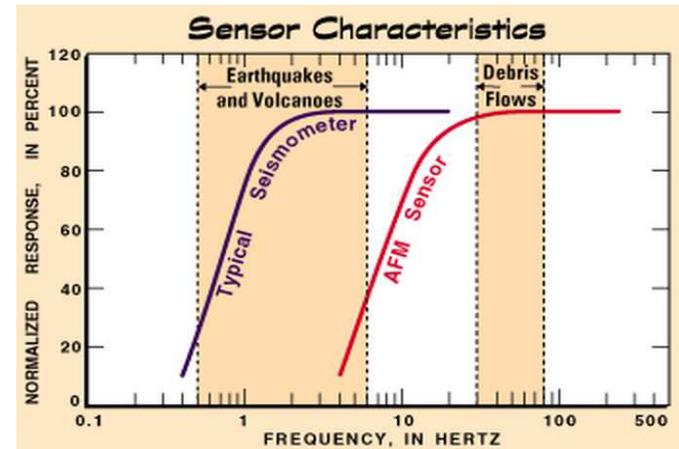
# Medidas Blandas



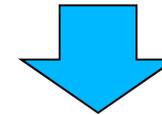
Blandas  
Monitoreo



Wire sensor



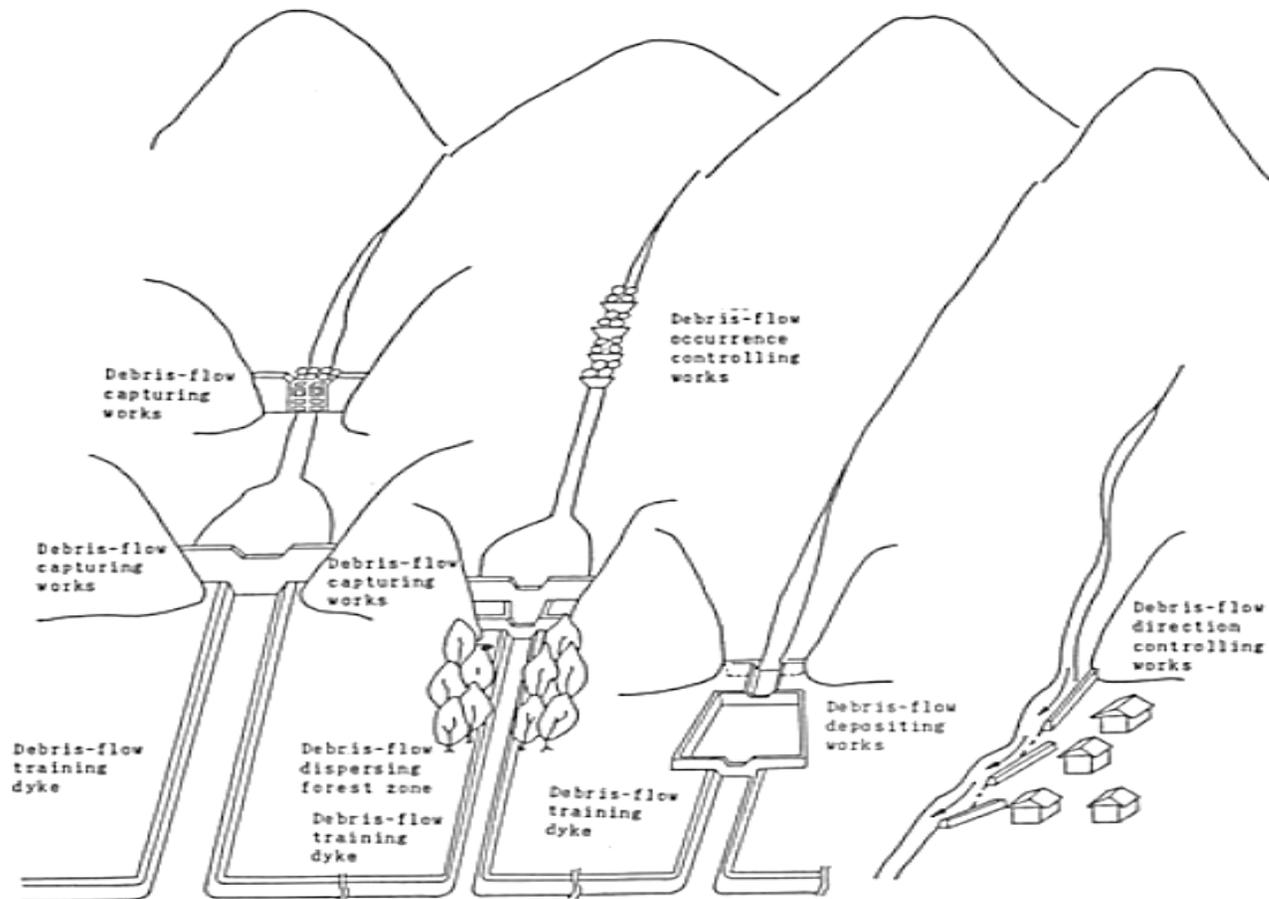
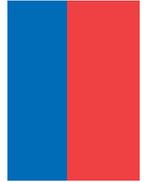
Monitor de Flujo Acústico (AFM)



Similar a Instrumentos  
OVDAS-SERNAGEOMIN



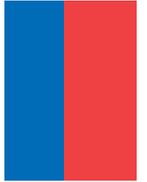
# Configuraciones Estructurales Propuestas en Literatura



Esquema de Configuraciones Posibles Estructuras de Mitigación Debris Flow (Mizuyama, 2008)



# Medidas de Mitigación Duras

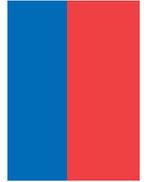


## Obras Comúnmente Utilizadas (Europa y Asia) Flujos tipo Debris Flow

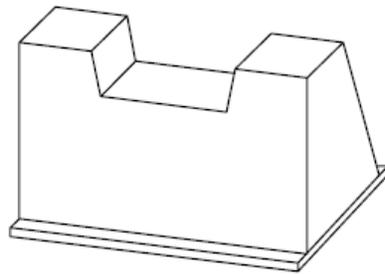
1. **Presas Tradicionales** (depositación pared superior, controlan pendiente, forzadas a grandes impactos)
2. **Presas Abiertas** (selección de clastos mayores, mayor tiempo uso)
3. **Dispositivo Clauzel** (depositación, separación de fases, bajo impacto, bajo costo de mantención, difícil colapso)



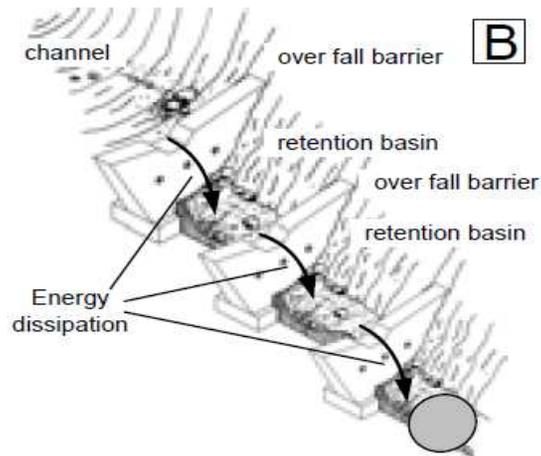
# Medidas de Mitigación Duras (Rev. Etapa III)



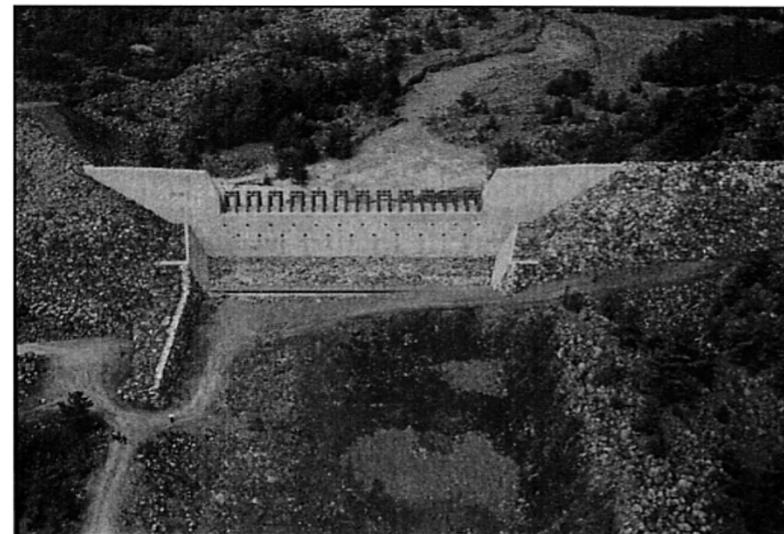
## 1. Presas Tradicionales



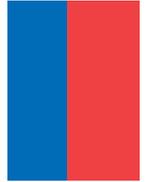
(a)  
Check Dams



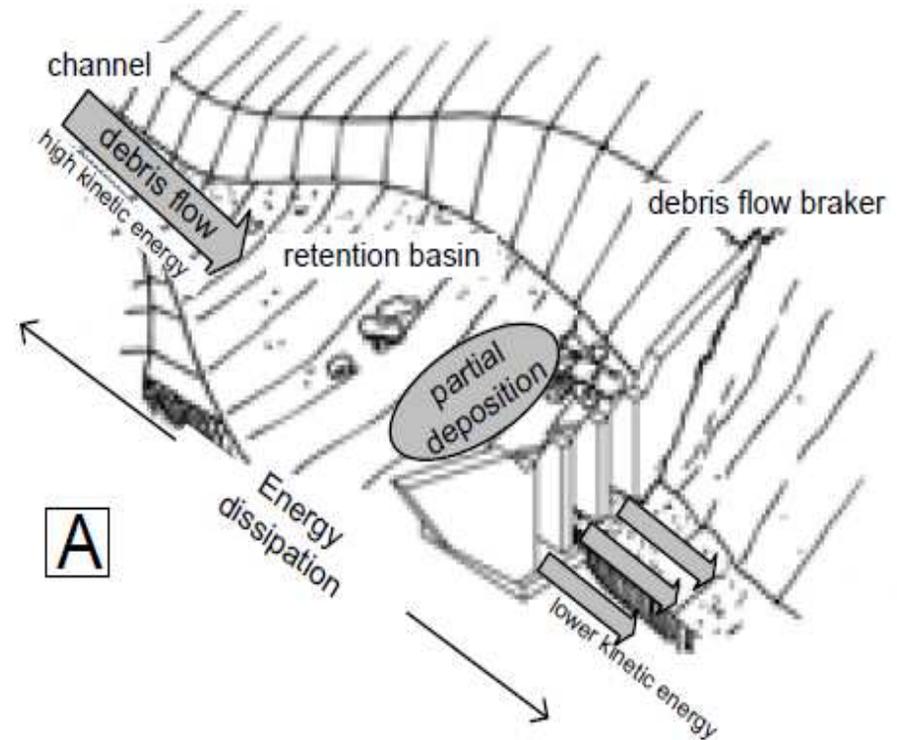
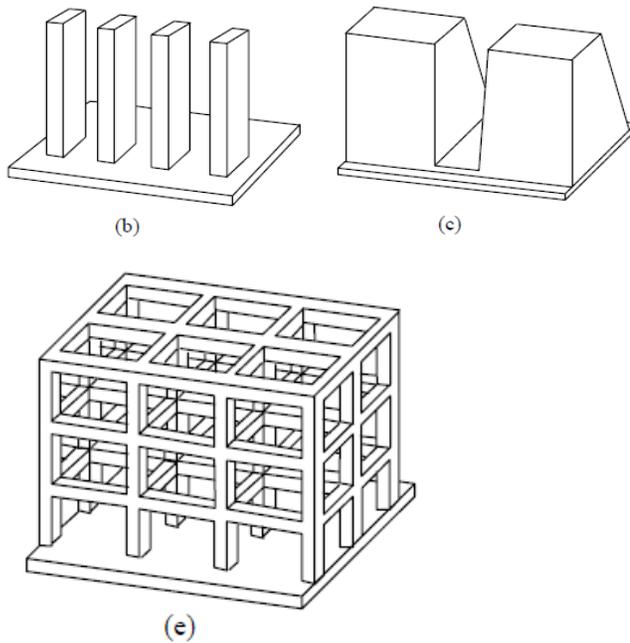
B) of overfall barriers with retention basins



# Medidas de Mitigación Duras (Rev. Etapa III)



## 2. - a) Presas Abiertas - Rígidas



- b) Slit dam
- c) Dam with rectangular slit
- e) Grid Dam



# Medidas de Mitigación Duras (Rev. Etapa III)

## 2. - a) Presas Abiertas - Rígidas

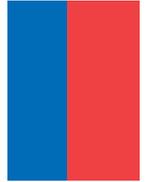


Antecedentes Generales

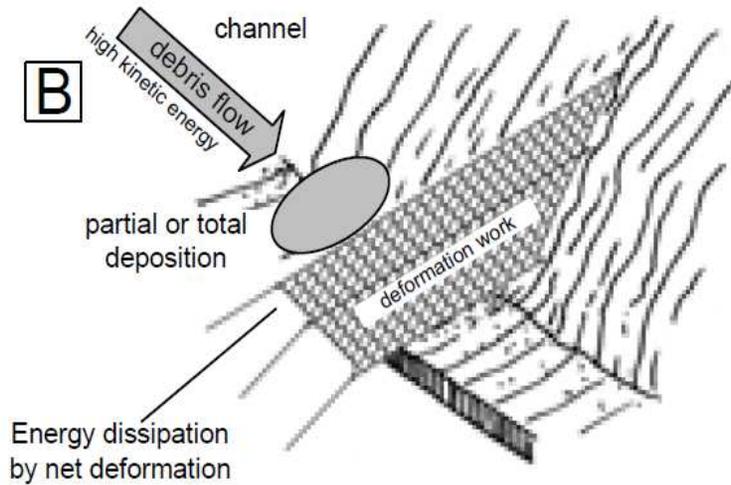
Experiencia Internacional

Medidas Mitigación Desarrolladas

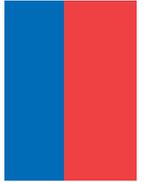
# Medidas de Mitigación Duras (Rev. Etapa III)



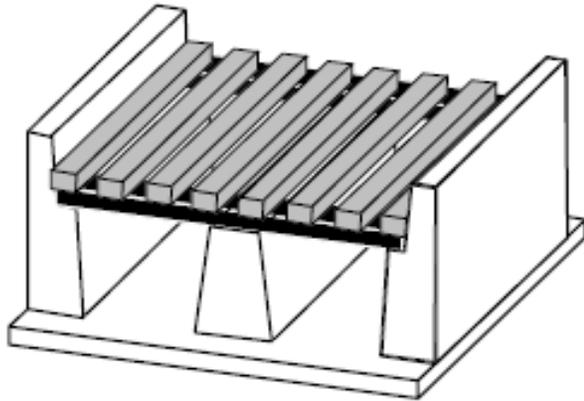
## 2.- b) Presas Abiertas - Flexibles



# Medidas de Mitigación Duras (Rev. Etapa III)



## 3.- Dispositivo Clauzel



Pueden reducir peak hasta en un 50%  
(Yeonjoong et al, 2012)

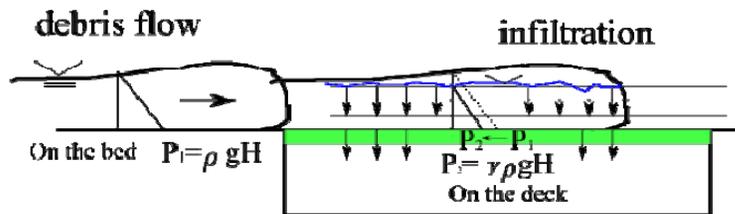
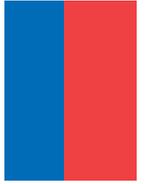


Fig.4 Pore water pressure distribution on the debris flow



# Medidas de Mitigación Duras (Rev. Etapa III)



## Limitaciones de aplicaciones revisadas

- Grandes volúmenes para los lahares de diseño.
- En la parte superior del volcán hay un bajo número de zonas de contracción del cauce, difícil apoyo fundación de las obras (anchos > 50 - 100 metros)
- Aumento del peligro por inminente colapso de obras

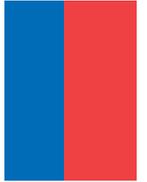
Antecedentes Generales

Experiencia Internacional

Medidas Mitigación Desarrolladas



## MESAS DE TRABAJO (DIC 2013 – ENERO 2014)



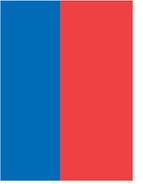
- Se desarrollaron en Diciembre del 2013, tratando los temas de **Estudio Geológico, Caracterización de Flujos Laháricos, Medidas de Mitigación, Plan de Participación Ciudadana y Estudio Ambiental.**
- Invitados correspondieron principalmente a representantes del consultor (INH), Inspección Fiscal, expertos nacionales, organismos de gobierno y municipalidades.
- Se concluyó, en gran medida por las recomendaciones de geólogo Sr. Hugo Moreno (SERNAGEOMIN), que las obras planteadas inicialmente podrían implicar un riesgo mayor, se planteo entonces **utilizar obras que permitan un rápido tránsito de los laháres hacia el lago.**

Antecedentes Generales

Experiencia Internacional

Medidas Mitigación Desarrolladas

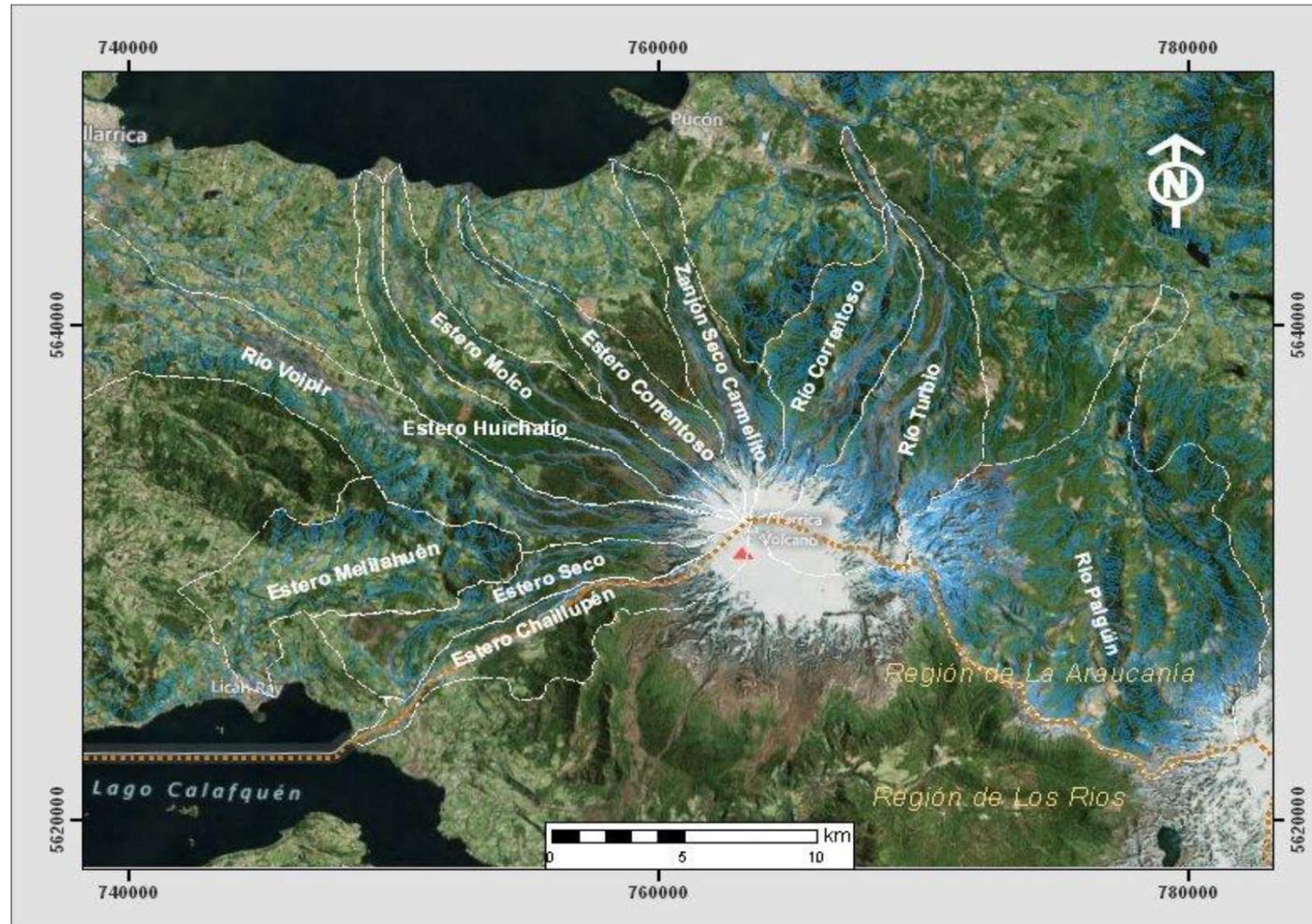
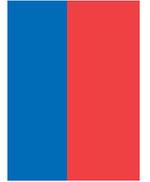




# Medidas Mitigación Desarrolladas (Etapa IV)



# Modelación FLO 2D



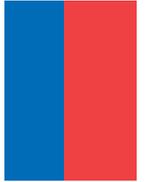
Antecedentes Generales

Experiencia Internacional

Medidas Mitigación Desarrolladas



# Proposición de Aplicación Medidas



Medidas Duras o Intervención	Medidas Blandas o gestión del riesgo
Turbio-Correntoso-Trancura	Molco
Zanjón Seco – Carmelito	Huichatío
Correntoso	Voipir
Melilahuén-Seco-Challupén	

**Rio Palguín no se modelo debido a que en informe de Geoestudios (2013) no se reconocieron depósitos laháricos actuales**

**Importante: Las alternativas que se presentarán se encuentra en revisión técnica (etapa IV) por parte de la IF (DOH), pudiendo sufrir algunas modificaciones posteriores.**

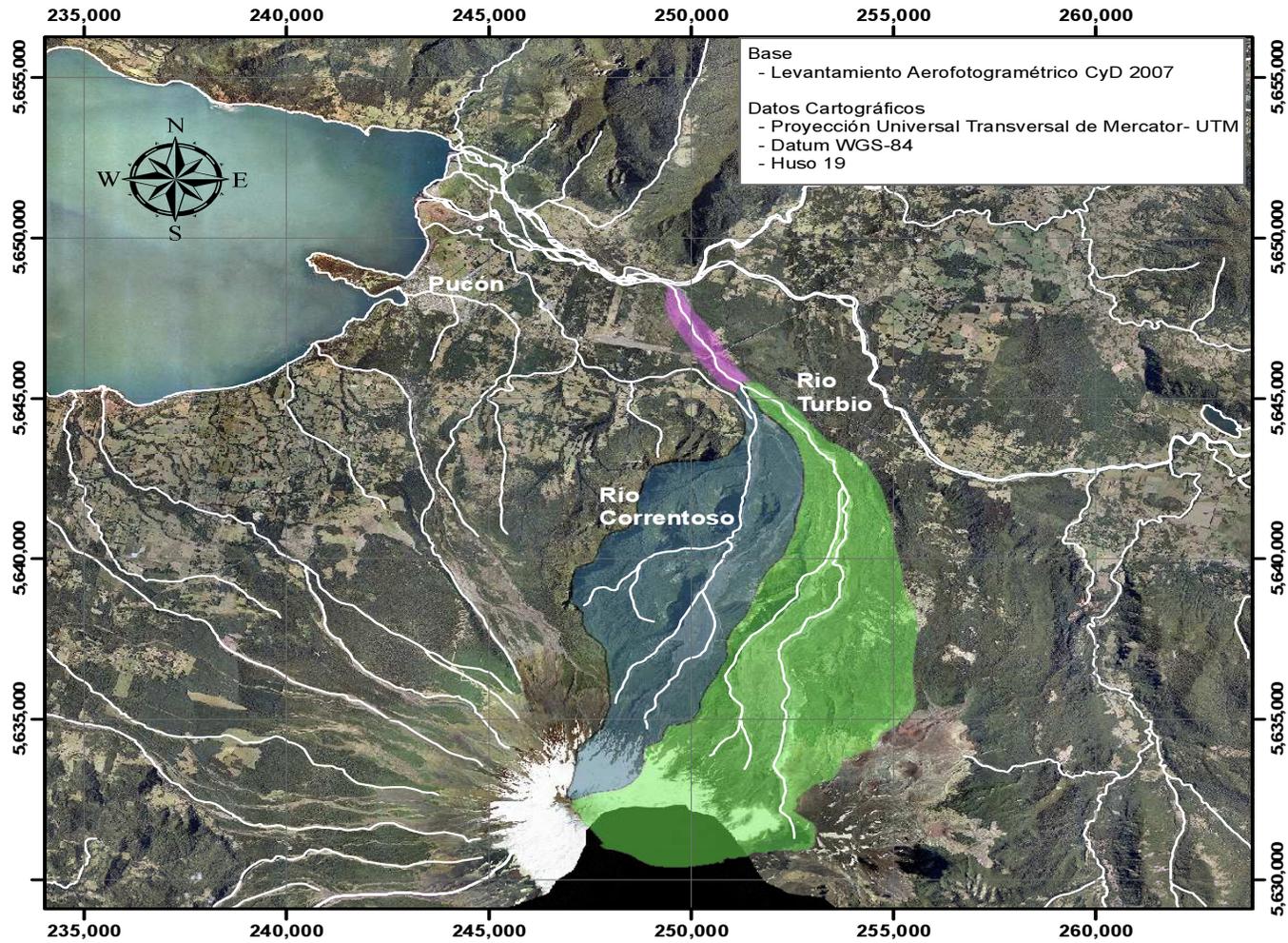
Antecedentes Generales

Experiencia Internacional

Medidas Mitigación Desarrolladas



# (1) Turbio Correntoso Trancura



Antecedentes Generales

Experiencia Internacional

Medidas Mitigación Desarrolladas



## (1) Turbio Correntoso Trancura

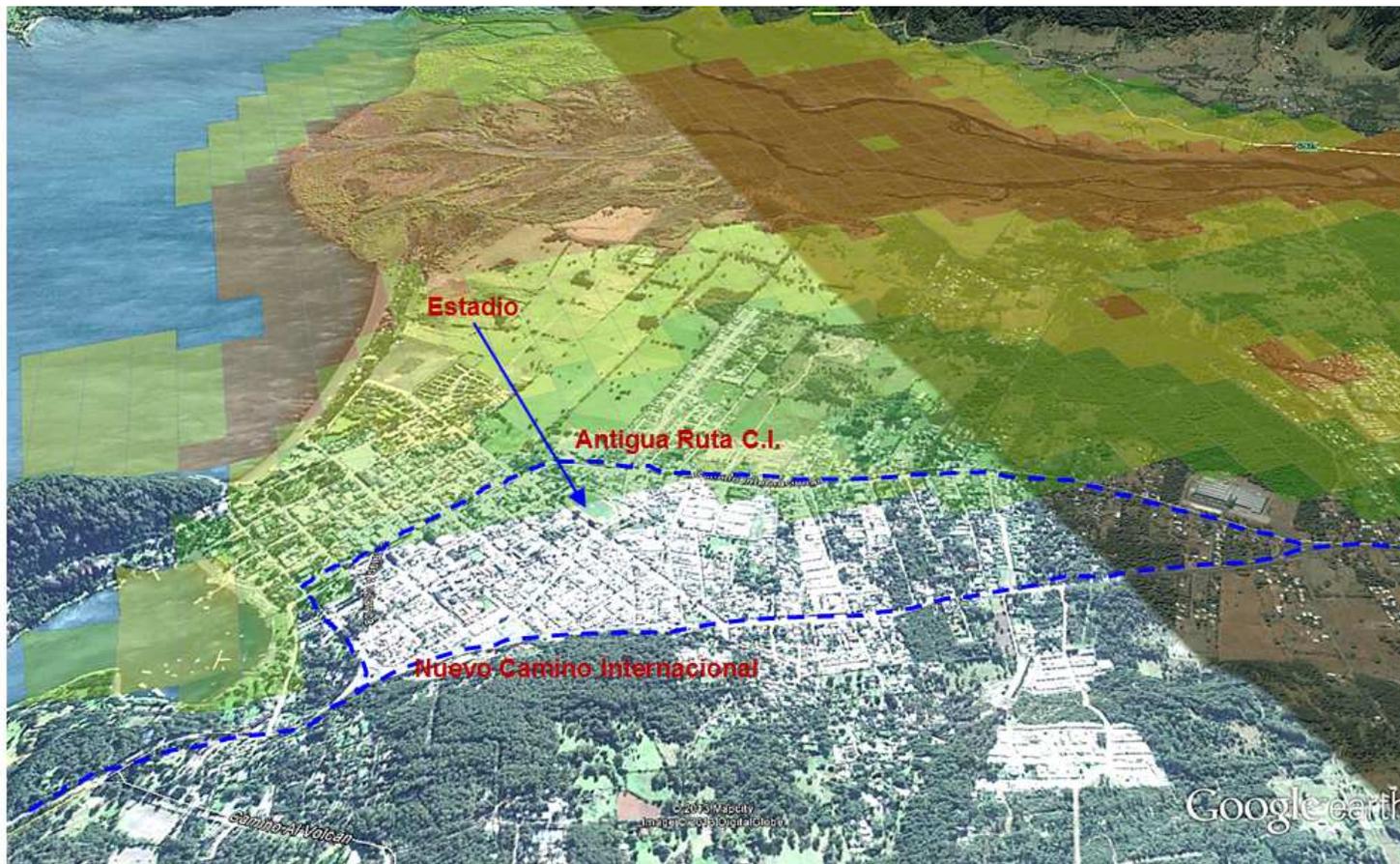


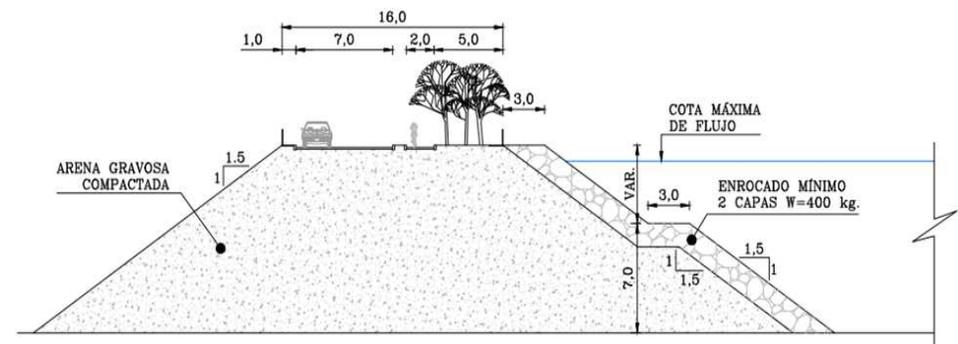
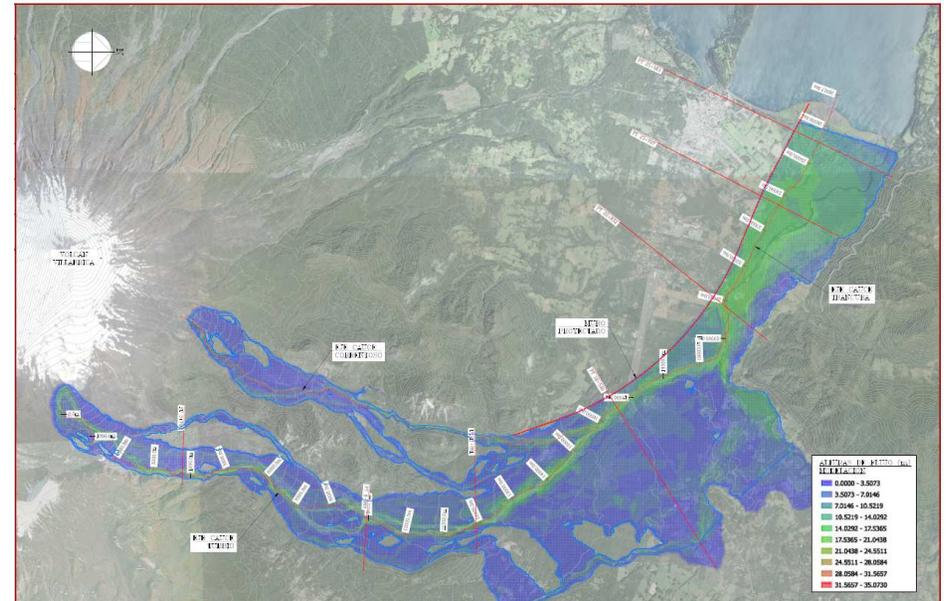
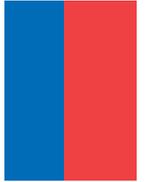
Figura 3-4 Inundación en zona urbana consolidada Pucón

Antecedentes Generales

Experiencia Internacional

Medidas Mitigación Desarrolladas

# (1) Turbio Correntoso-Trancura



Antecedentes Generales

Experiencia Internacional

Medidas Mitigación Desarrolladas



## (2) Zanjón Seco-Carmelito

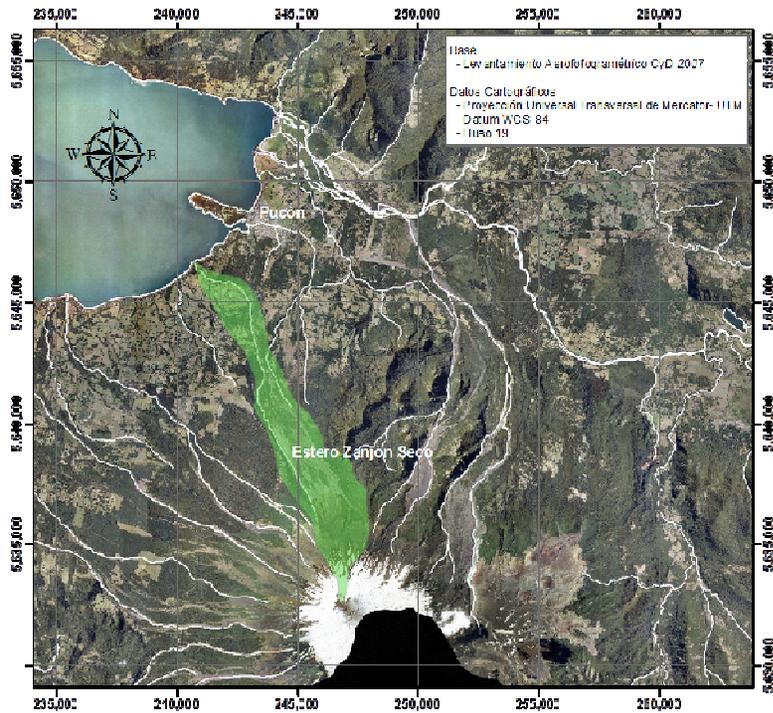
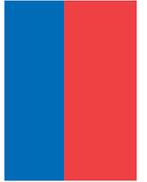
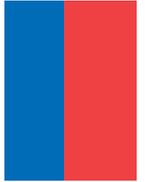
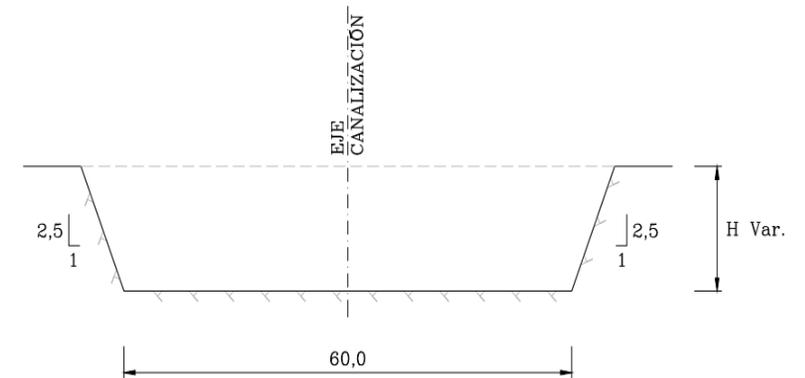
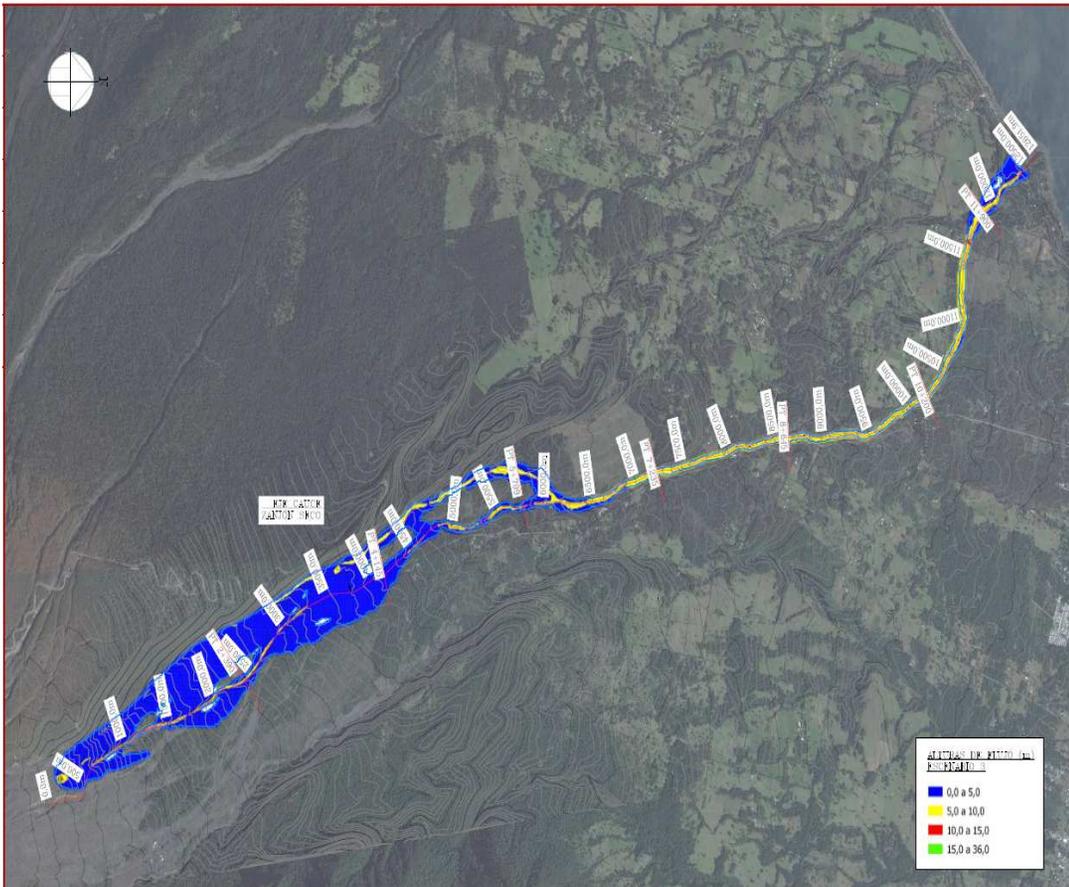


Figura 3-8 Esquema de zona de inundación en zona urbana consolidada de Pucón

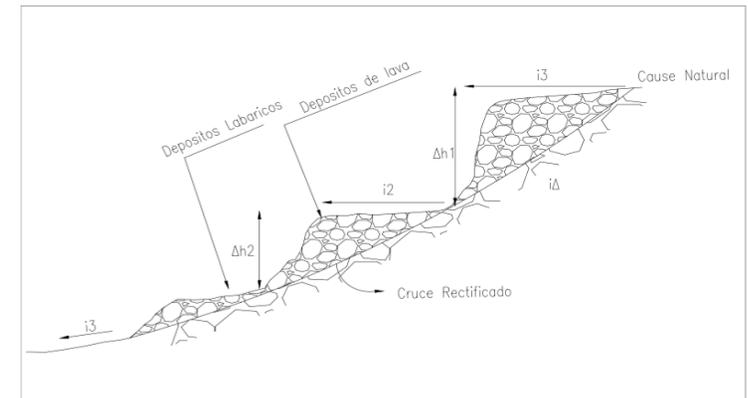




## (2) Zanjón Seco-Carmelito



Sección Tipo Canalización Zanjón Seco



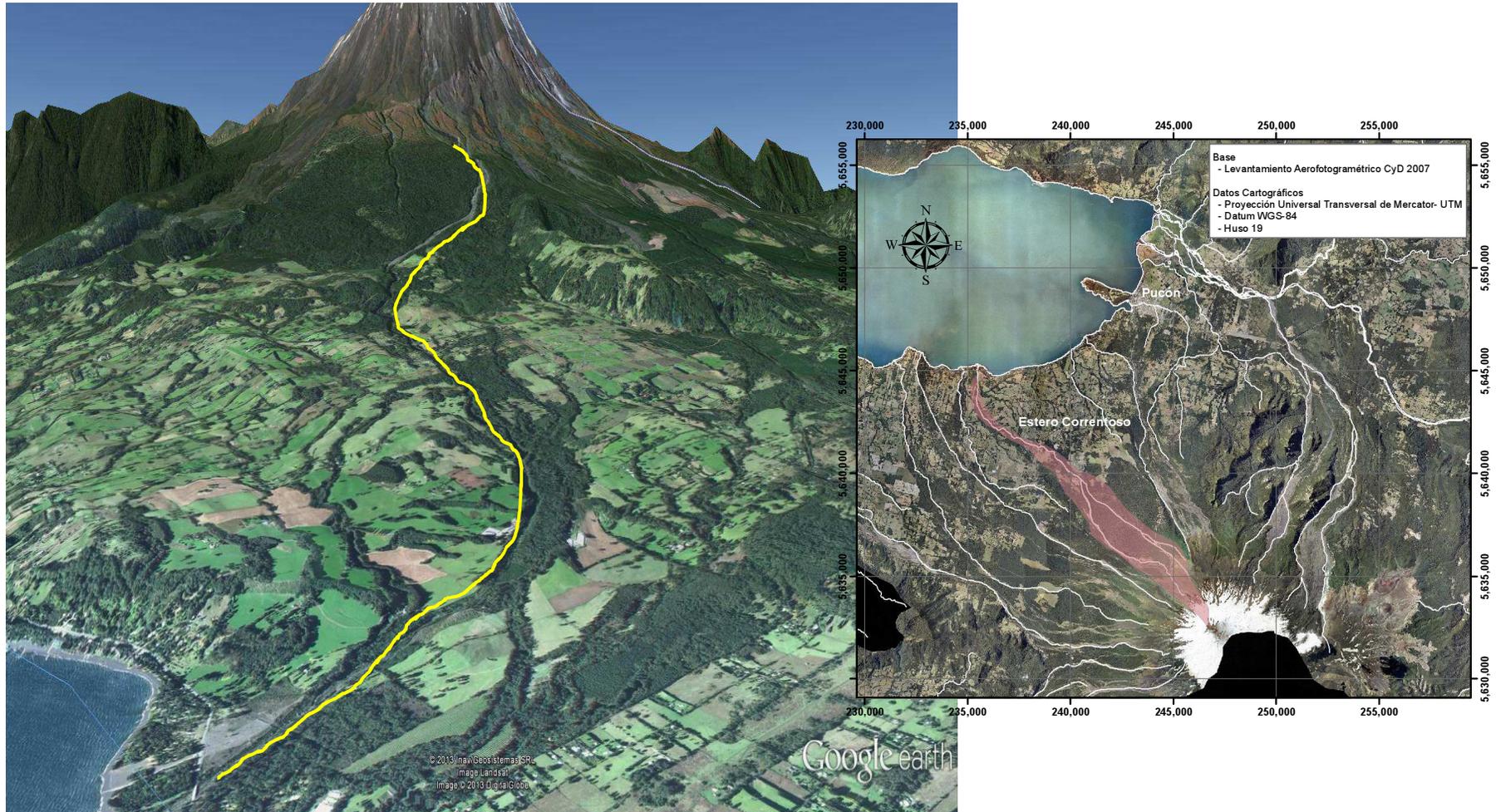
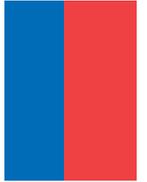
Antecedentes Generales

Experiencia Internacional

Medidas Mitigación Desarrolladas



### (3) Estero Correntoso



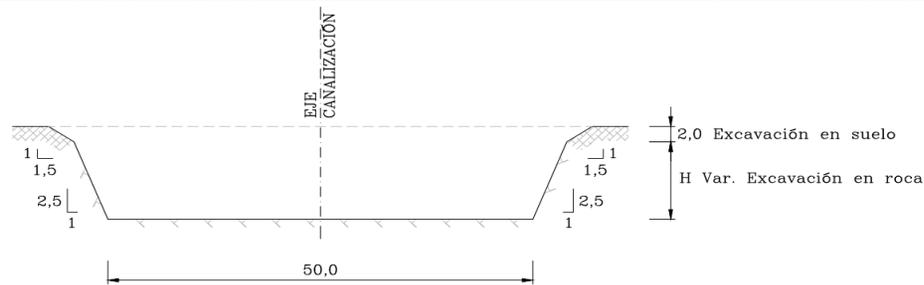
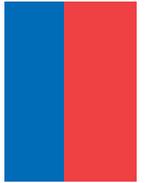
Antecedentes Generales

Experiencia Internacional

Medidas Mitigación Desarrolladas



### (3) Estero Correntoso



**Sección Tipo Canalización Estero Correntoso**

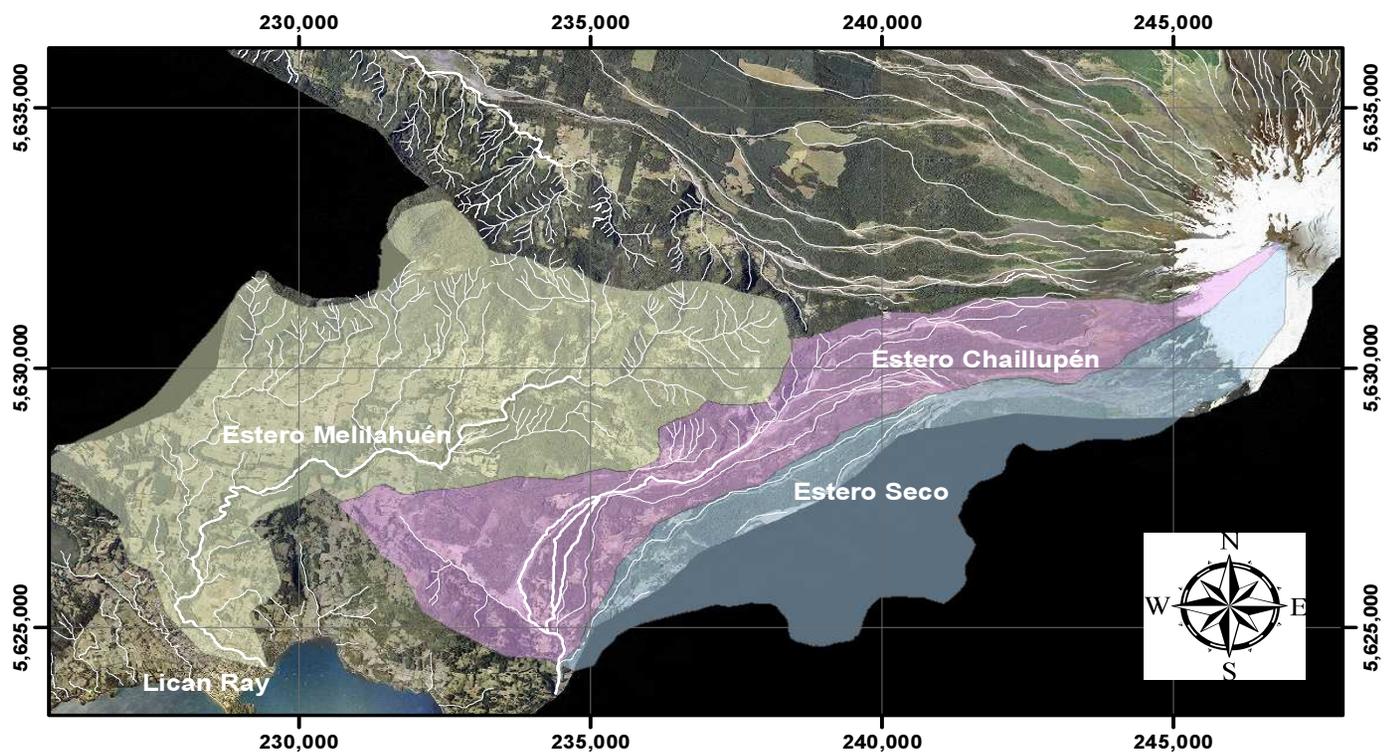
Antecedentes Generales

Experiencia Internacional

Medidas Mitigación Desarrolladas



## (4) Melilahuén – Challupén- Seco



Base  
- Levantamiento Aerofotogramétrico CyD 2007

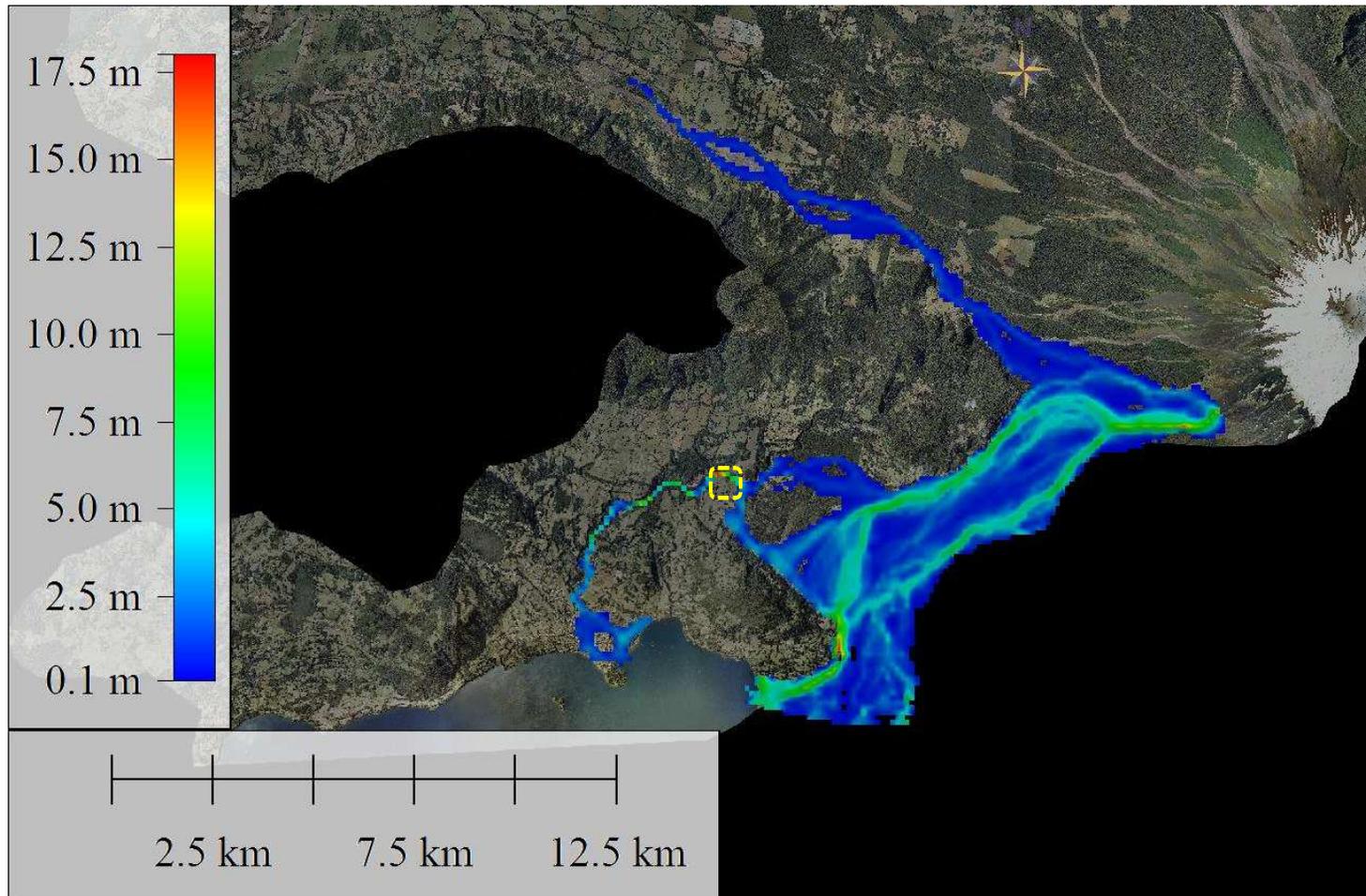
Datos Cartográficos  
- Proyección Universal Transversal de Mercator- UTM  
- Datum WGS-84  
- Huso 19

Antecedentes Generales

Experiencia Internacional

Medidas Mitigación Desarrolladas

## (4) Melilahuén – Challupén- Seco

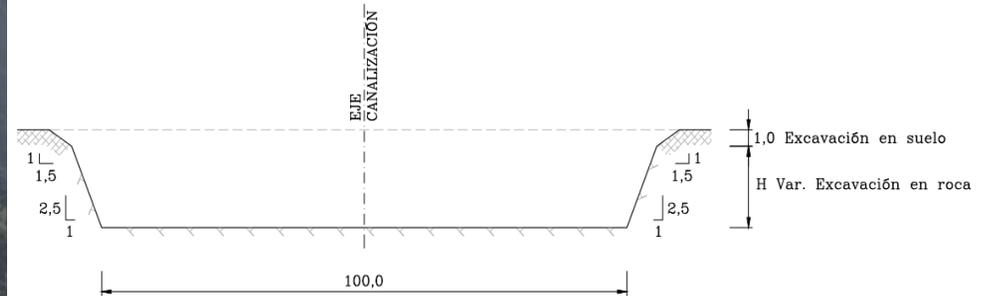
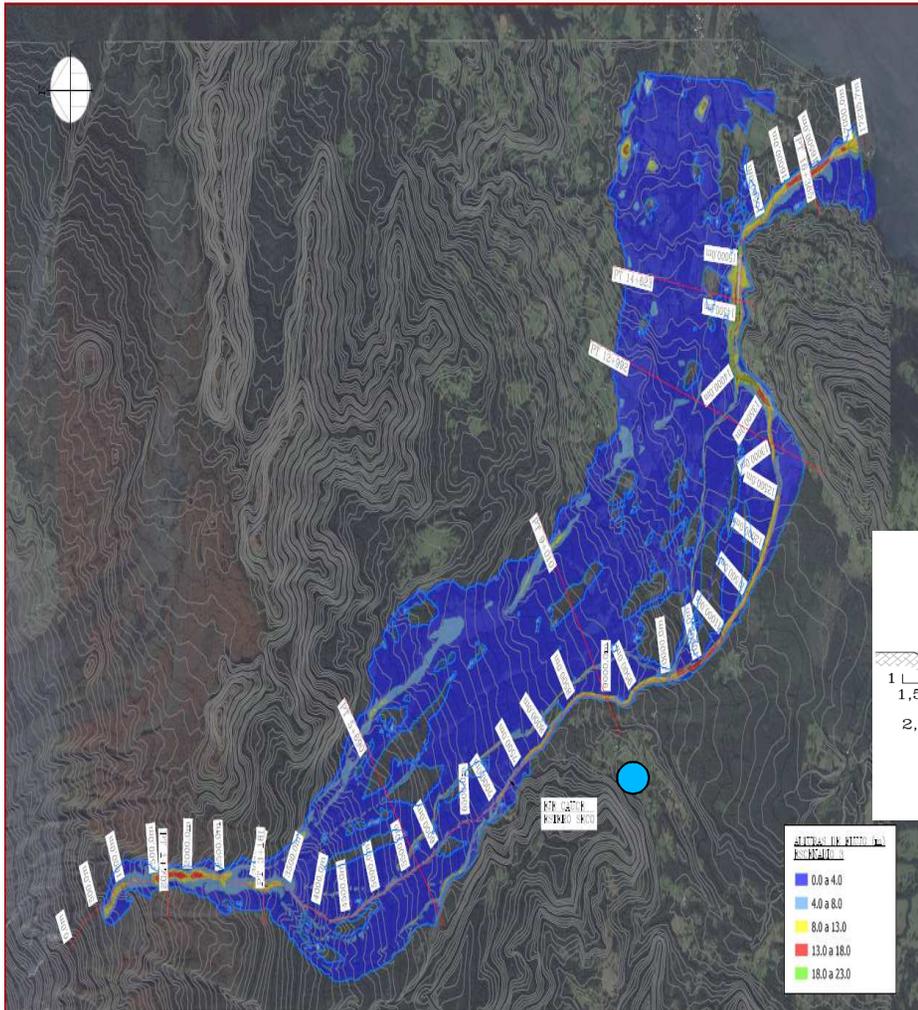
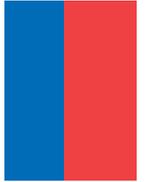


Antecedentes Generales

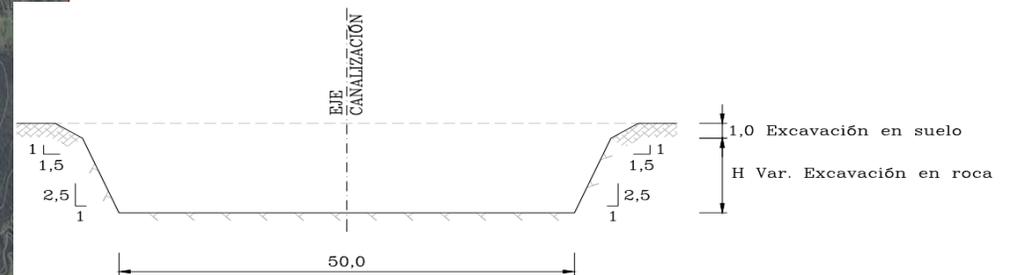
Experiencia Internacional

Medidas Mitigación Desarrolladas

## (4) Melilahuén - Challupén



**Sección Tipo Canalización Estero Seco (PT 16+000 hasta PT 17+000)**



**Sección Tipo Canalización Estero Seco (PT 7+400 hasta PT 16+000)**

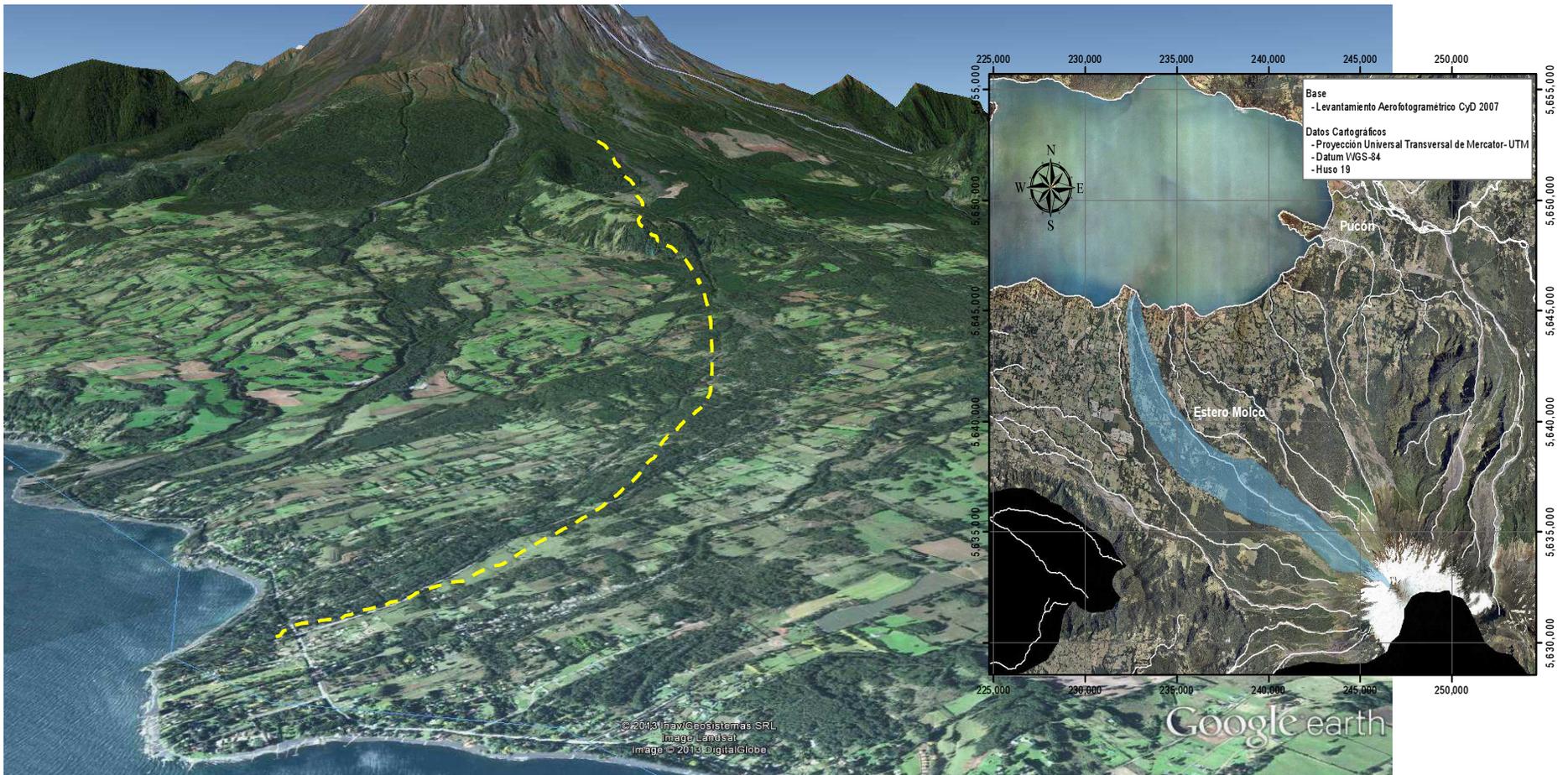
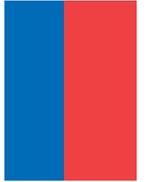
Antecedentes Generales

Experiencia Internacional

Medidas Mitigación Desarrolladas



## (5) Estero Molco



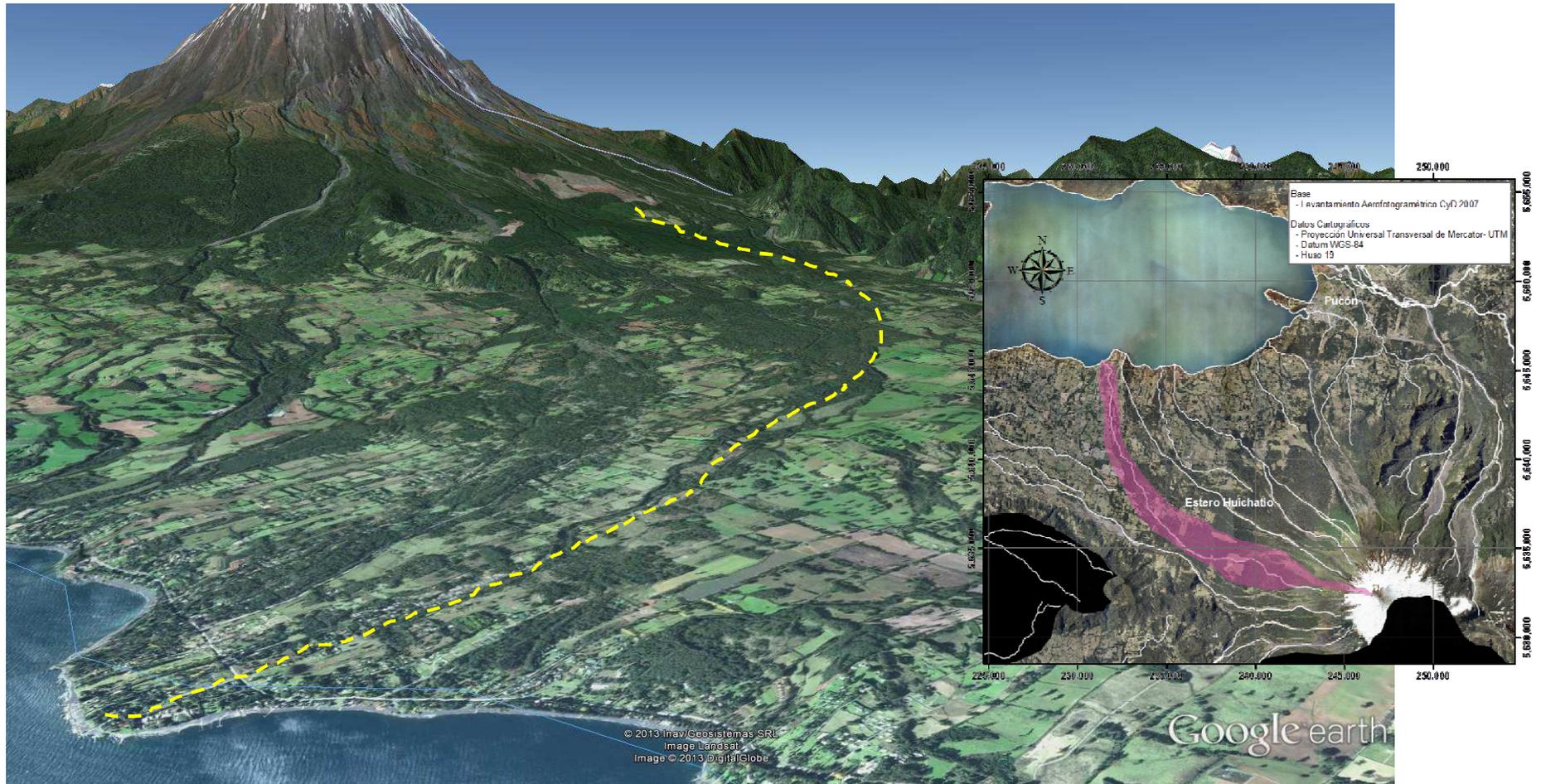
Antecedentes Generales

Experiencia Internacional

Medidas Mitigación Desarrolladas



## (6) Estero Huichatío



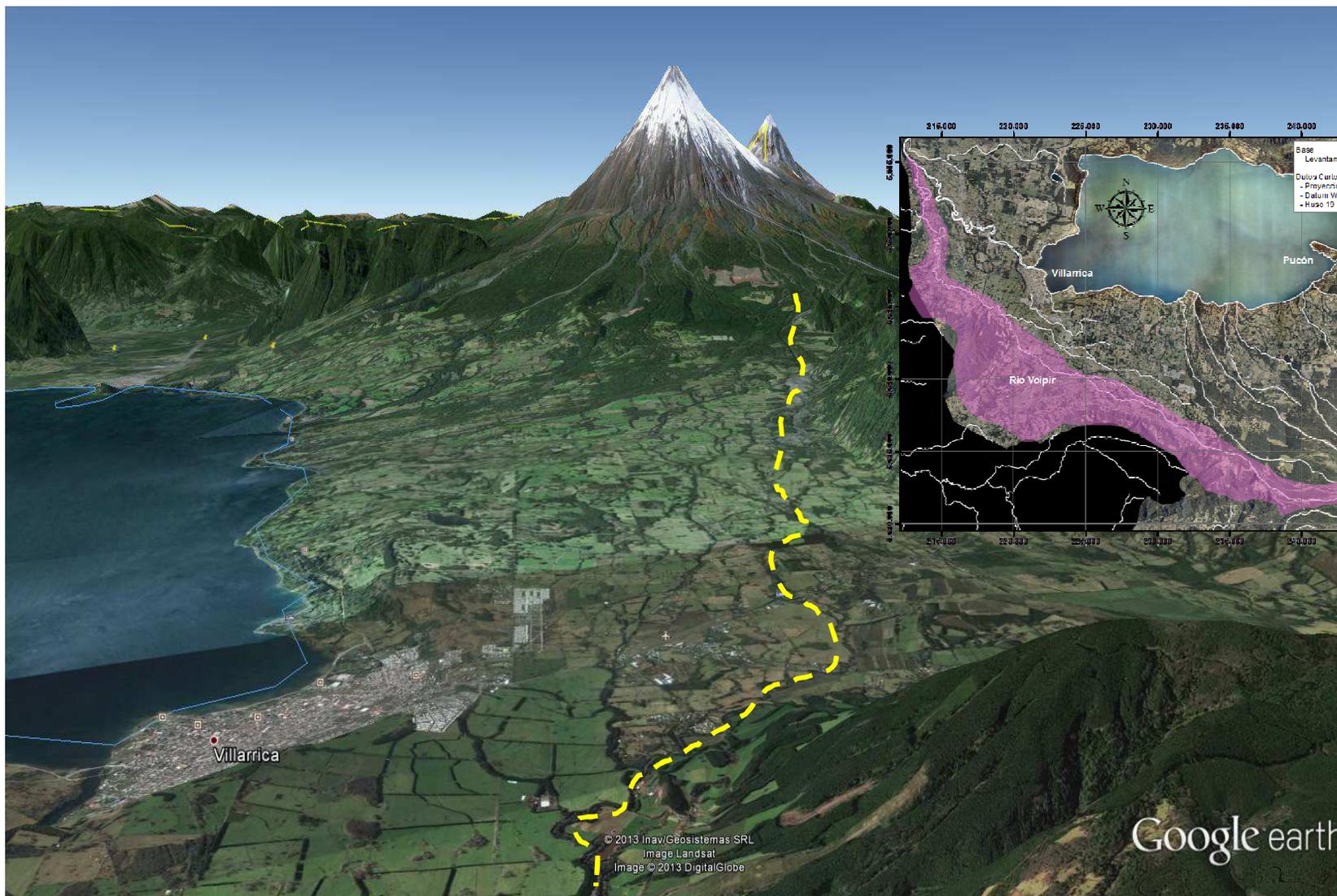
Antecedentes Generales

Experiencia Internacional

Medidas Mitigación Desarrolladas



## (7) Río Voipir



Antecedentes Generales

Experiencia Internacional

Medidas Mitigación Desarrolladas



# Medidas de Mitigación Blandas

- **Estudio Modificación Marco Regulatorio**
  - Planes Comunal Pucón
  - Plan Intercomunal Villarrica Pucón

Aplicación de restricciones de uso de suelo

- **Sistema de alerta temprana (SAT)**
- **Vías de Evacuación**
- **Recomendaciones a otras instituciones públicas en el desarrollo de sus propios proyectos en el área.**

Antecedentes Generales

Experiencia Internacional

Medidas Mitigación Desarrolladas

## **Julio Burgos Arratía**

Jefe Departamento Cauce y Drenaje Urbano

Dirección de Obras Hidráulicas

Región de la Araucanía

Fono: (56-45) 2 462151



**Gobierno  
de Chile**