

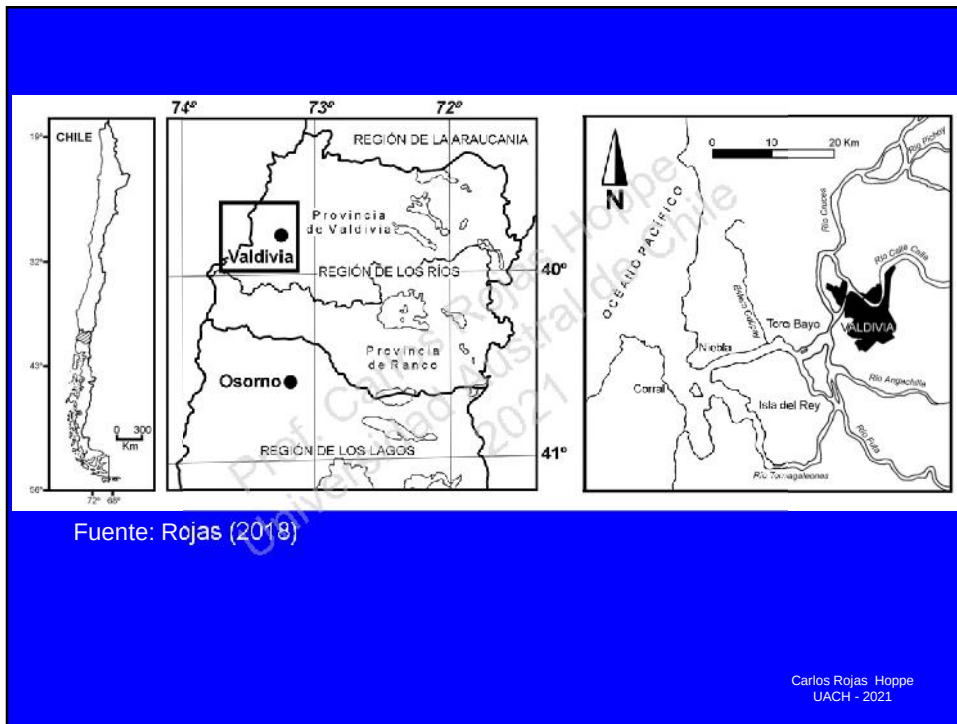


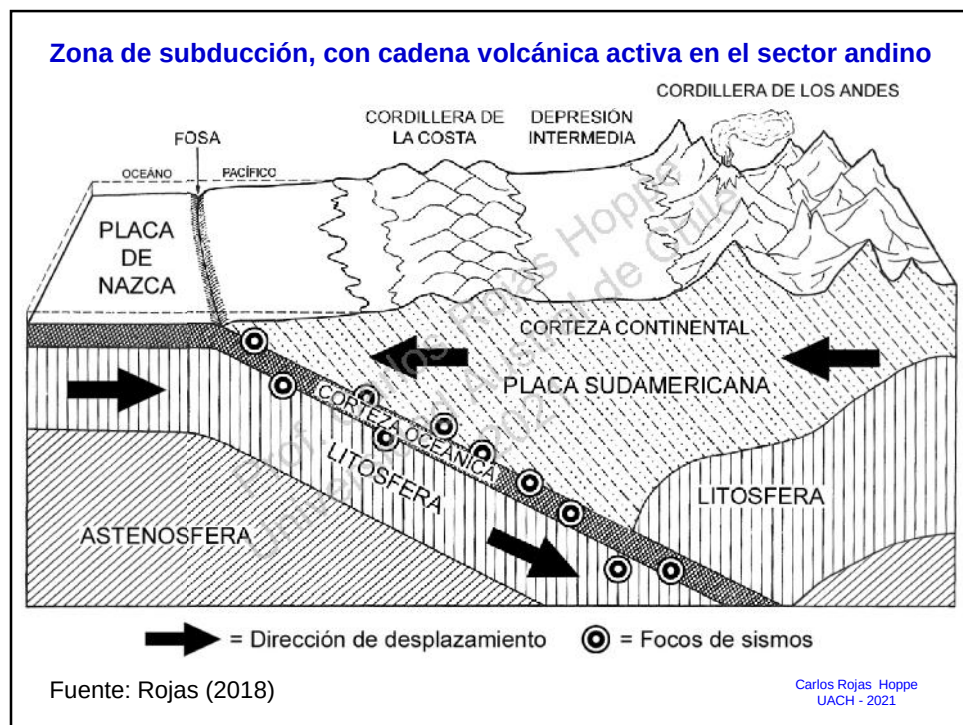
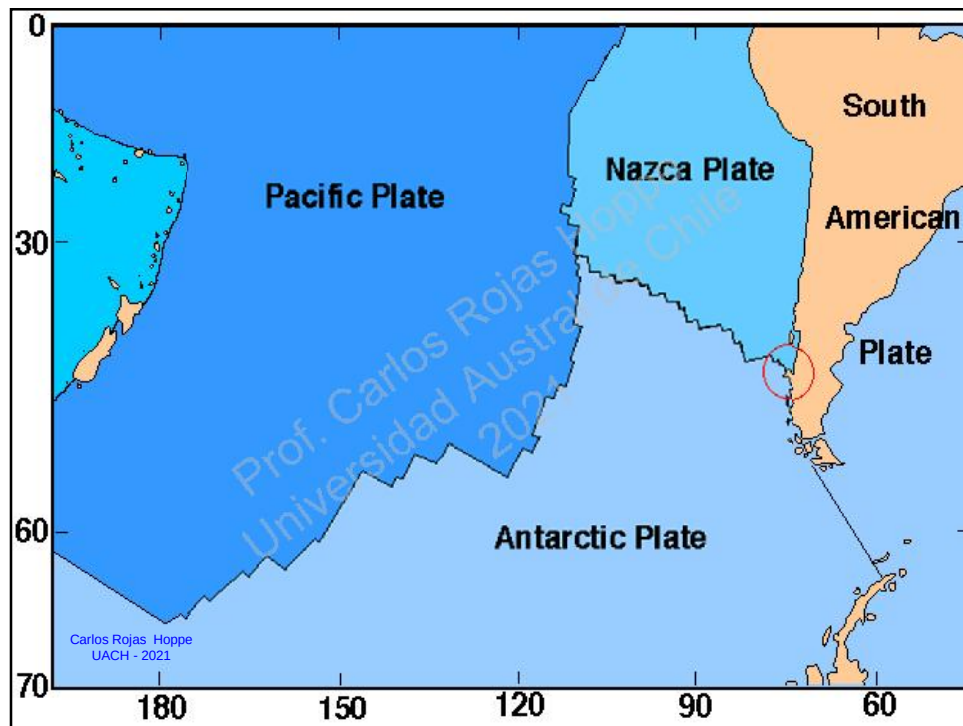
VALDIVIA 1960

REVISITANDO EL MÁS GRANDE DE LOS TERREMOTOS

Prof. Carlos Rojas Hoppe
Instituto de Ciencias de la Tierra
Universidad Austral de Chile
crojas@uach.cl







LOS TERREMOTOS MÁS GRANDES DESDE 1900 ¹

LUGAR	FECHA	MAGNITUD M _w
1. CHILE	MAY 22, 1960	9.5
2. PRINCE WILLIAM SOUND, ALASKA	MARCH 28, 1964	9.2
3. ANDREANOF ISLANDS, ALEUTIAN ISLANDS	MARCH 9, 1957	9.1
4. JAPAN	MARCH 11, 2011	9.0
5. KAMCHATKA	NOV. 4, 1952	9.0
6. OFF WESTERN COAST OF SUMATRA, INDONESIA	DEC. 26, 2004	9.0
7. OFF THE COAST OF ECUADOR	JAN. 31, 1906	8.8
8. OFFSHORE MAULE, CHILE	FEB. 27, 2010	8.8
9. RAT ISLANDS, ALEUTIAN ISLANDS	FEB. 4, 1965	8.7
10. NORTHERN SUMATRA, INDONESIA	MARCH 28, 2005	8.7

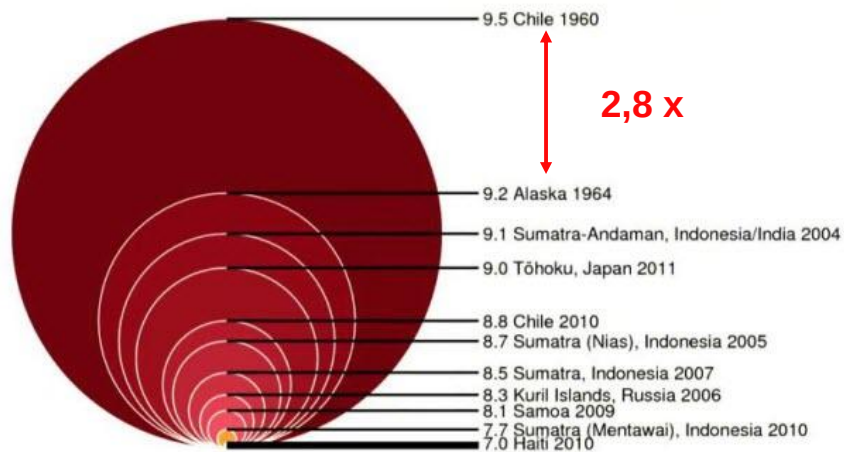
1. Con respecto a la magnitud

2. Magnitud del Momento Sísmico

FUENTE: National Earthquake Information Center, U.S.G.S.

Carlos Rojas Hoppe
UACH - 2021

Comparison of Recent and Historic Earthquakes by Energy Release



Carlos Rojas Hoppe
UACH - 2021

❖ Mayo 21, 1960

06:02 AM $M_w = 8,1$

❖ Mayo 22, 1960 (¡ Domingo !)

14:45 PM $M_L = 7,8$

15:11 PM $M_L = 8,5$ $M_w = 9,5$

Energía: $7,4 \times 10^{27}$ erg

Epicentro : $38,16^\circ\text{S}$ y $72,20^\circ\text{W}$ - Cañete

Profundidad focal : 33 km

Longitud de la ruptura: 1000 Km

Carlos Rojas Hoppe
UACH - 2021

En las 33 horas previas al evento principal:

Sismos precursores:

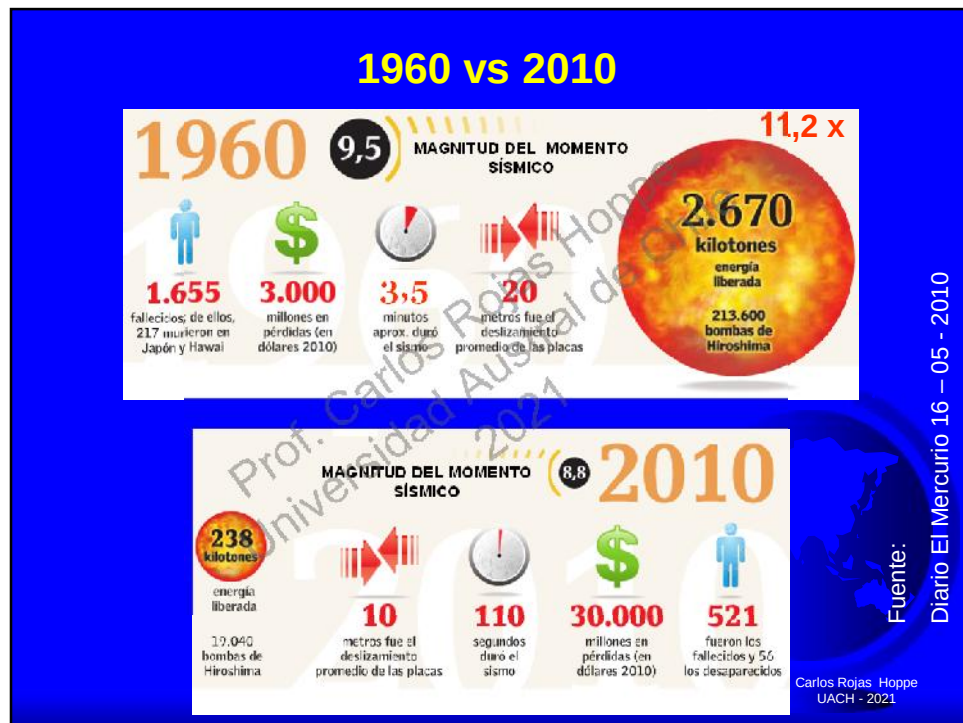
1 sismo de magnitud **8,1**

6 sismos de magnitud **> 6**

1 sismo de magnitud **7,8** (15' antes evento ppal.)

Tabla 1: Comparación con otros terremotos en Chile				
Características	1939 (24 de enero)	1960 (21 y 22 de mayo)	1985 (3 de marzo)	2010 (27 de febrero)
Magnitud	8.3	9.6	7.7	8.8
Epicentro	Chillán	Valdivia y Concepción (2 terremotos y 1 maremoto)	San Antonio	Cobquecura
Área afectada	Provincias de Talca a Angol = VII-IX	13 de 25 provincias del país (entre Talca y Chiloé) = VII-X	Principalmente V, VI y RM	Desde la V a la IX región
Víctimas Fatales	30.000	6.000	177	521 ²
Damnificados	n/a	2 millones	979.792	2 millones ³
Viviendas destruidas	95% de las viviendas de Chillán	45.000	142.489	200.000
Superficie afectada (km ²) ⁴	99.207	166.220	48.186	131.006
Superficie afectada (%)	4.9%	8.3%	2.4%	6.5%
Habitantes zona terremoto	1.261.623	2.780.213	6.114.846	12.800.000 ⁷
Población Total Chile	4.930.000	7.374.115	12.102.174	17.094.275
Población afectada (%)	26%	38%	50%	75%
Daño total (millones de US\$ corrientes)	1.450	3.089	2.106	30 mil millones ⁸

Carlos Rojas Hoppe
UACH - 2021





**INTENSIDADES DEL TERREMOTO DEL 22 DE MAYO DE 1960
(ESCALA DE MERCALLI)**

Concepción	VIII		La Unión	VII
Pitrufquén	VI		Osorno	VII - VIII
Loncoche	VI		Río Bueno	VII
Lanco	VI		Río Negro	VIII - IX
Máfil	V		Purranque	VII
Temuco	V		Llanquihue	VI - X
Mariquina	VI		Totoral	IX
Cayumapu	VII		Frutillar	VIII
Valdivia	VIII - X		Alerce	X
Pelchuquín	VI		Puerto Varas	VII
Riñihue	X		Puerto Montt	VIII - X
Los Lagos	VII - VIII		Ancud	VII
Huellethue	VII			

Carlos Rojas Hoppe
UACH - 2021

GRANDES TERREMOTOS Y TSUNAMIS EN VALDIVIA

FECHA	TSUNAMI	INTENSIDAD (MM)	MAGNITUD RICHTER	MAGNITUD Mw
1562 OCT. 28	<i>escasa información disponible</i>			
• 1575 DIC. 16	+	X - XI	8,5 *	
1737 DIC. 24	--	IX - X	7,5 - 8,0 *	
• 1837 NOV. 07	+	X	8,0 *	
1907 JUN. 13	+	VII - VIII	6,8 *	
• 1960 MAY 22	+	XI	8,5	9,5

* MAGNITUD ESTIMADA
 + PRESENTE
 -- AUSENTE

FUENTE: ROJAS (2000)

Carlos Rojas Hoppe
UACH - 2021

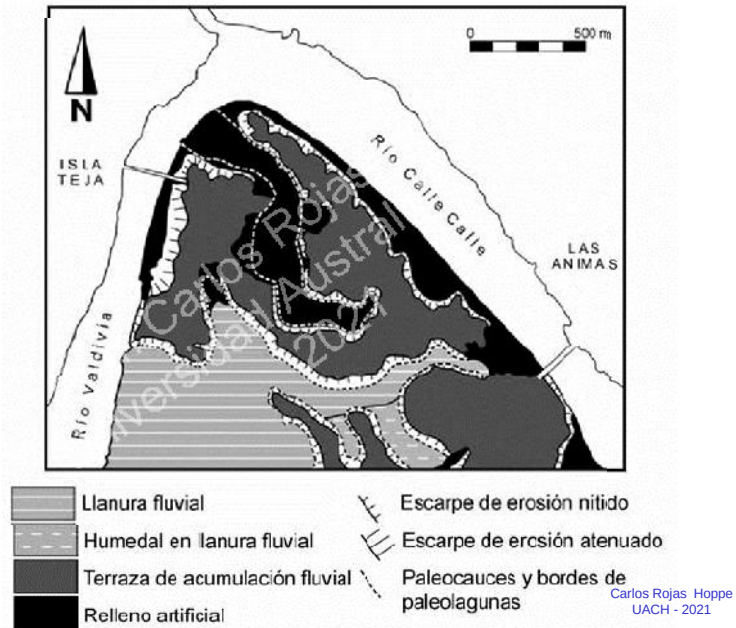






Fuente: ROJAS (2003). "Geomorfología del sitio de la ciudad de Valdivia". XXIV Congreso Nacional y IX Internacional de Geografía. 10 - 14 de noviembre de 2003. Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso.

Geomorfología del sector céntrico de la ciudad de Valdivia



Valdivia 1960: 61.334 habitantes

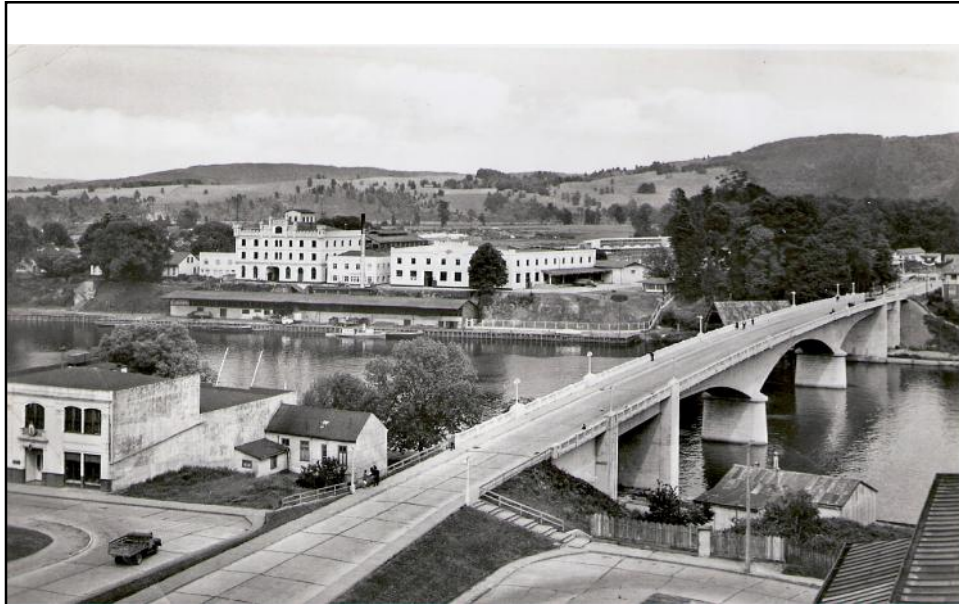
Carlos Rojas Hoppe
UACH - 2021



Carlos Rojas Hoppe
UACH - 2021



Carlos Rojas Hoppe
UACH - 2021



VALDIVIA ANTES DE 1960

Carlos Rojas Hoppe
UACH - 2021



Carlos Rojas Hoppe
UACH - 2021

FENÓMENO SÍSMICO DEL 22.05.60

Implicancias para Valdivia y la región de Los Ríos

- ◆ **TERREMOTO**
- ◆ **TSUNAMI**
- ◆ **INUNDACIÓN ("Riñihúazo" – valle del río Calle - Calle)**
- ◆ **ERUPCIÓN VOLCÁNICA DEL CORDÓN CAULLE**

Carlos Rojas Hoppe
UACH - 2021

TERREMOTO DEL 22 DE MAYO 1960

210 SEGUNDOS DE INTERMINABLE PESADILLA



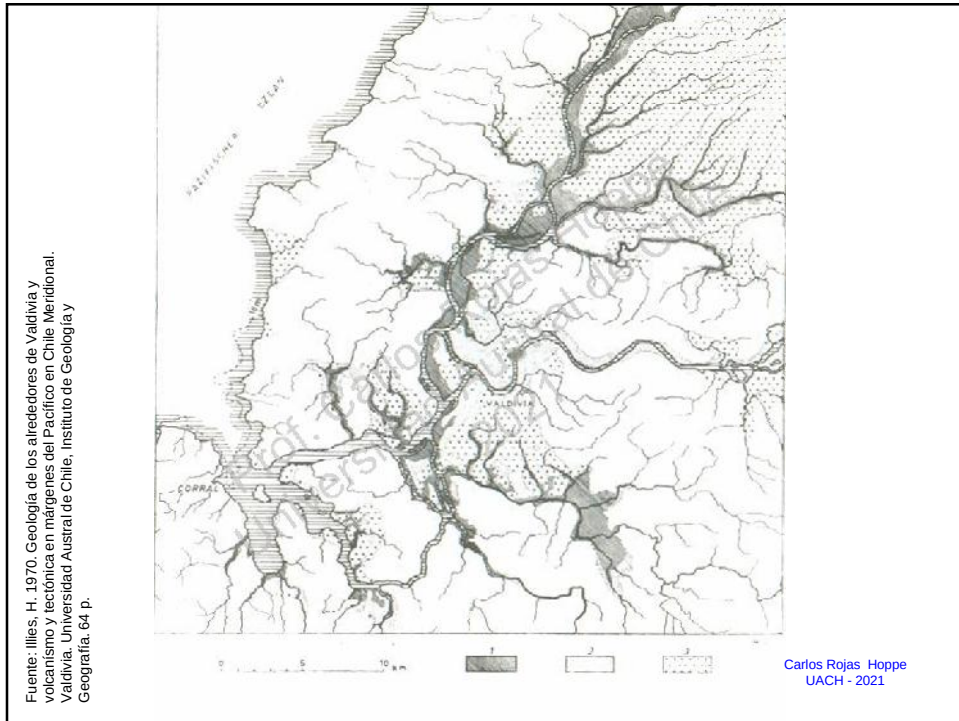
Carlos Rojas Hoppe
UACH - 2020

ALGUNAS CONSECUENCIAS EN LA ZONA AFECTADA

- ❖ Víctimas fatales: 5.700
- ❖ Daños en la región: 3.000 millones de dólares
- ❖ Viviendas y otras construcciones dañadas: 450.000
(10% de ellas sin posibilidad de reparación)
- ❖ Terrenos perdidos por hundimiento del terreno e inundación: 50.000 hectáreas

Carlos Rojas Hoppe
UACH - 2021







Carlos Rojas Hoppe
UACH - 2021



Fuente: <https://elrobledal.cl/wp-content/uploads/2019/08/Santuario-4-1024x585.jpg>

Carlos Rojas Hoppe
UACH - 2021

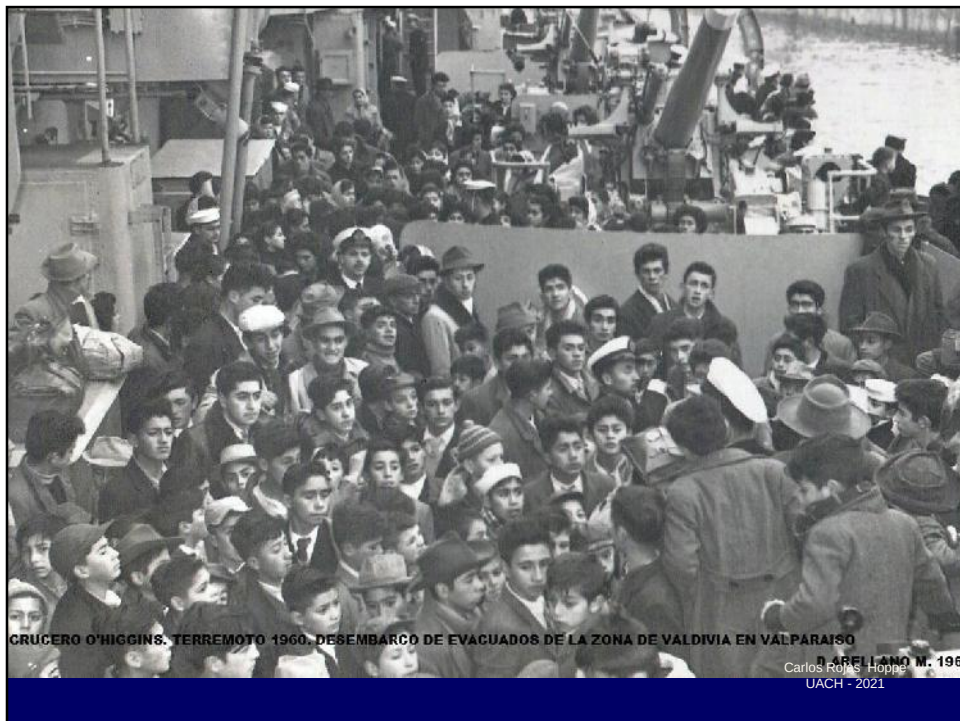




VALDIVIA

- ❖ 80% de la ciudad fue dañada
 - 90 % Industrias
 - 80 % Locales comerciales
 - 53 % Viviendas
- ❖ 15 víctimas fatales en la ciudad de Valdivia
- ❖ 235 víctimas fatales en la provincia de Valdivia

Carlos Rojas Hoppe
UACH - 2021







TSUNAMI DEL 22 DE MAYO 1960

LAS INQUIETAS AGUAS DEL PACÍFICO SUR

Carlos Rojas Hoppe
UACH - 2021

CORRAL



Carlos Rojas Hoppe
UACH - 2021

10' después del sismo, el nivel del mar descendió lentamente

1ª ola 3 - 5 m altura ≈ 15' después del sismo
 → inundó Corral

2ª ola 8,5 m altura → destrucción hasta 10 m s.n.m.

3ª ola 8,5 m altura → destrucción hasta 10 m s.n.m.



Corral 80 víctimas (?)

Carlos Rojas Hoppe
UACH - 2021



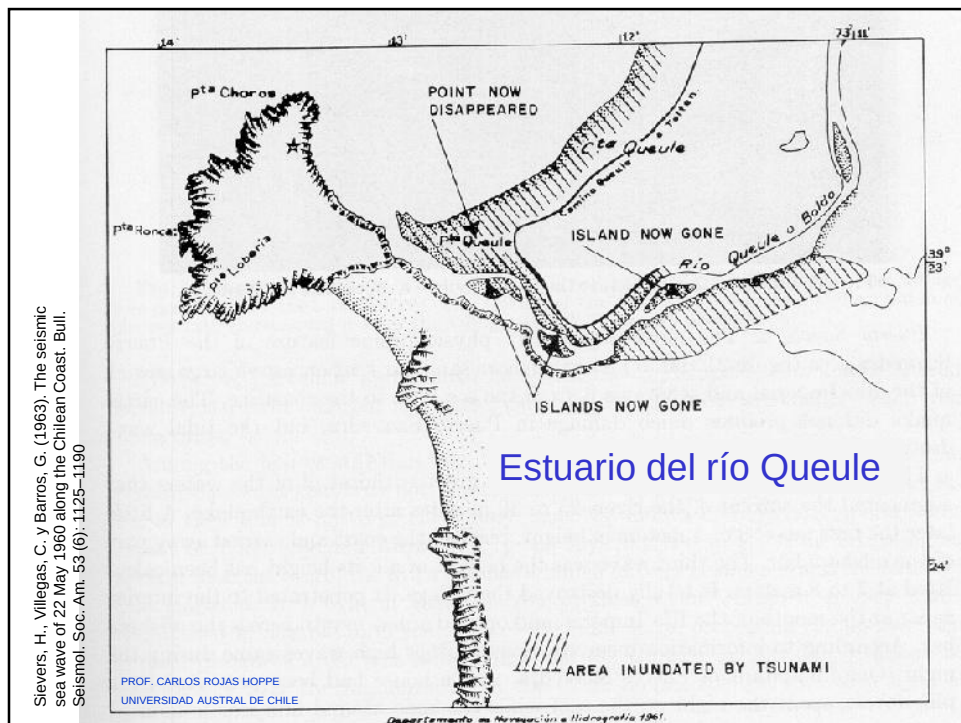
Carlos Rojas Hoppe
UACH - 2021



Carlos Rojas Hoppe
UACH - 2021



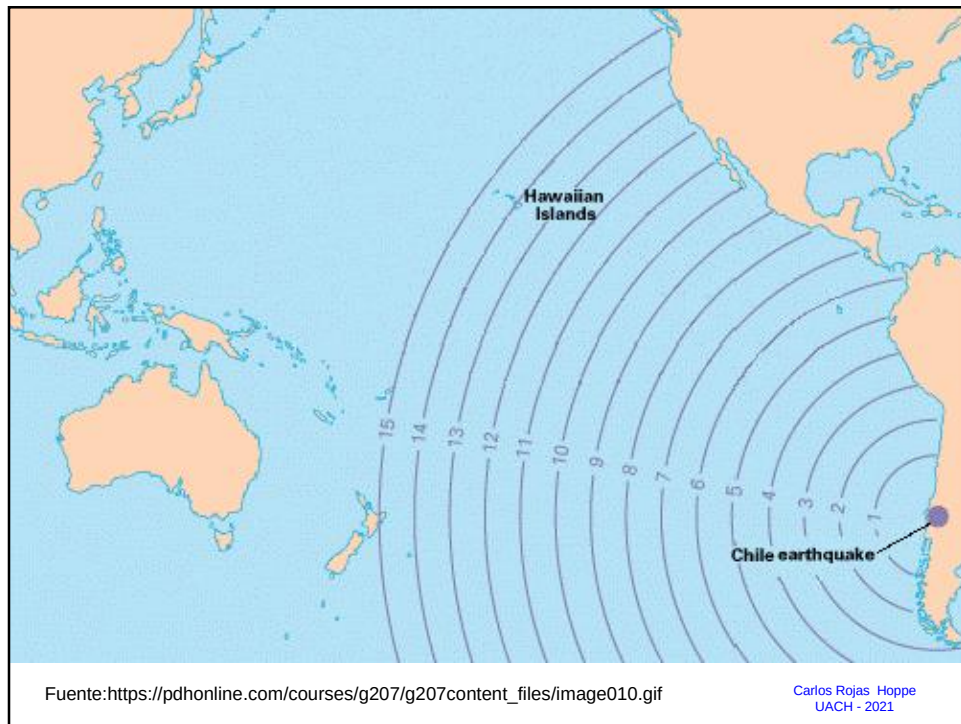
Carlos Rojas Hoppe
UACH - 2021











Isla de Hawaii

Tsunami 23.05.60

Run-up máximo

1 pie = 0,3048 m

Hawaii: 61 víctimas

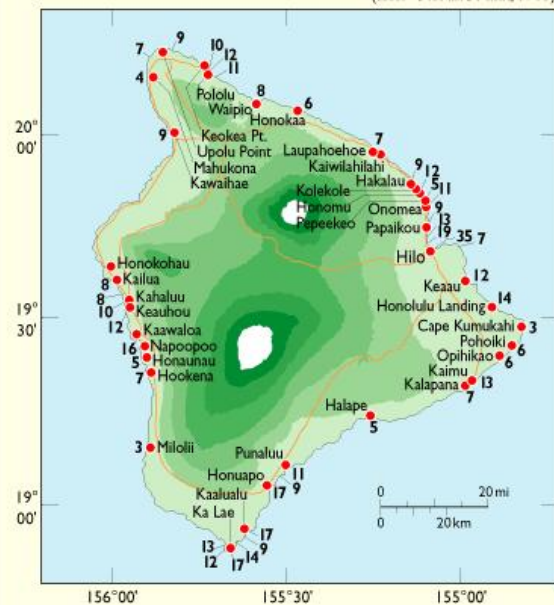
Japón: 185 víctimas

Filipinas: 32 víctimas

PROF. CARLOS ROJAS HOPPE
UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE

Maximum runups reported for Hawai'i (in feet)
1960 earthquake in Chile

(after Cox and Mink, 1963)





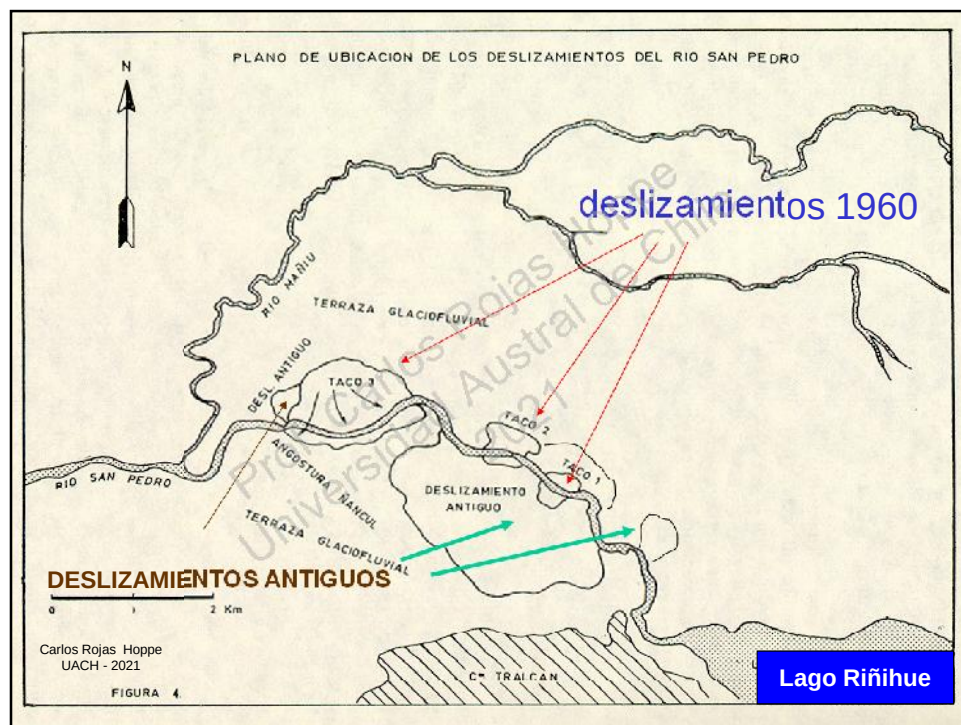




CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS DESLIZAMIENTOS

- Interrupción del río San Pedro por 3 grandes deslizamientos sucesivos, 4 km aguas abajo del lago
- Deslizamientos multirotacionales compuestos mayoritariamente por sedimentos arcillosos
- Altura de los depósitos: N° 1 = 16 m; N° 2 = 19 m; N° 3 = 60 m

Carlos Rojas Hoppe
UACH - 2021





- El río permaneció bloqueado por 63 días
- Cota del lago subió 26,5 m sobre su nivel normal
- Volumen de agua almacenada: 2.500 millones m³
- Se excavaron canales artificiales
- El caudal alcanzó a 7.500 m³/seg

→ Inundación a lo largo de todo el valle del
río Calle – Calle / Valdivia (25 – 29
julio)

Carlos Rojas Hoppe
UACH - 2021



Alturas máximas del sobrenivel del río:

- ❖ **14 m** dentro del cañón del curso superior del río San Pedro (localidad de Malihue).
- ❖ Los Lagos: **7,2 m** (inundando 70 % - 80 % de la superficie urbana de la época)
- ❖ Antilhue y Huellethue: **6 m**
- ❖ Valdivia
 - Chumpulloy Collico: **3,5 m**
 - Miraflores, Las Mulatas: **2,15 m**

Carlos Rojas Hoppe
UACH - 2021

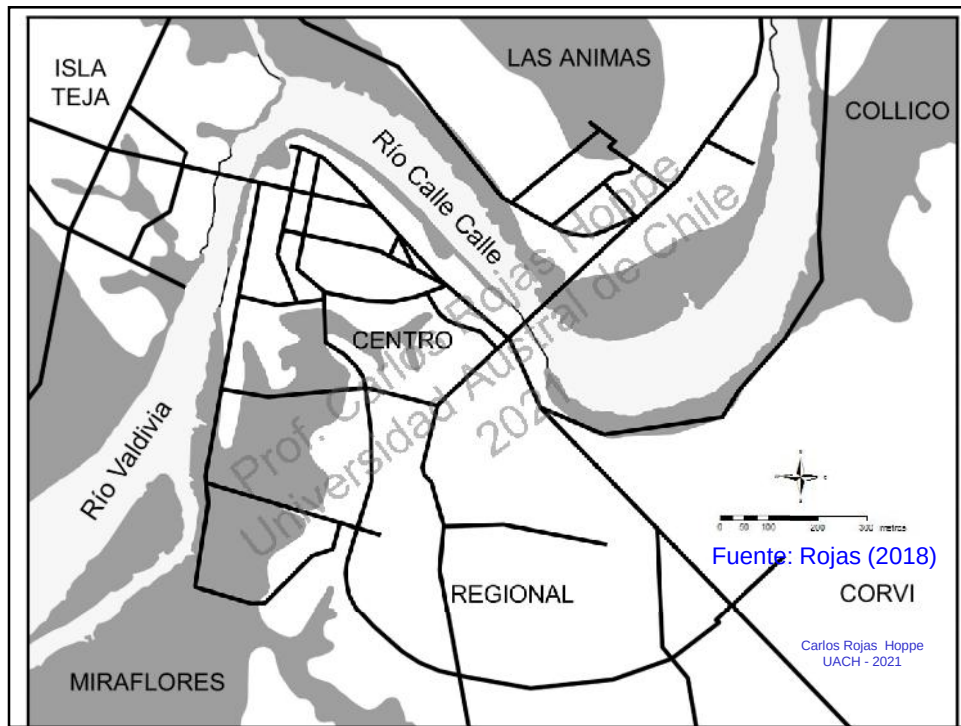


Carlos Rojas Hoppe
UACH - 2021



Carlos Rojas Hoppe
UACH - 2021

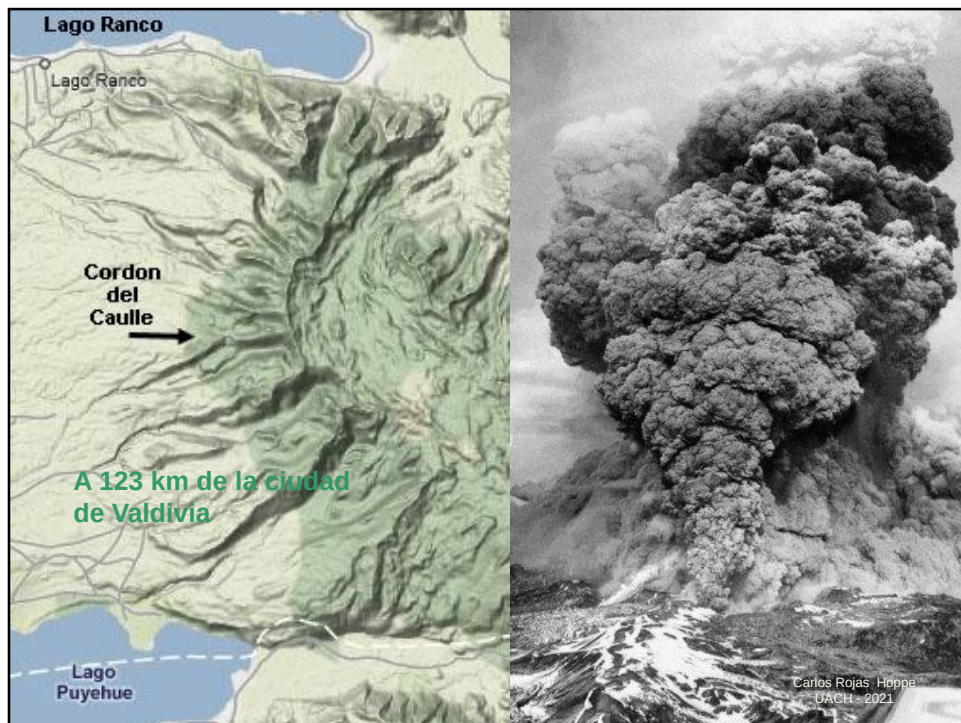
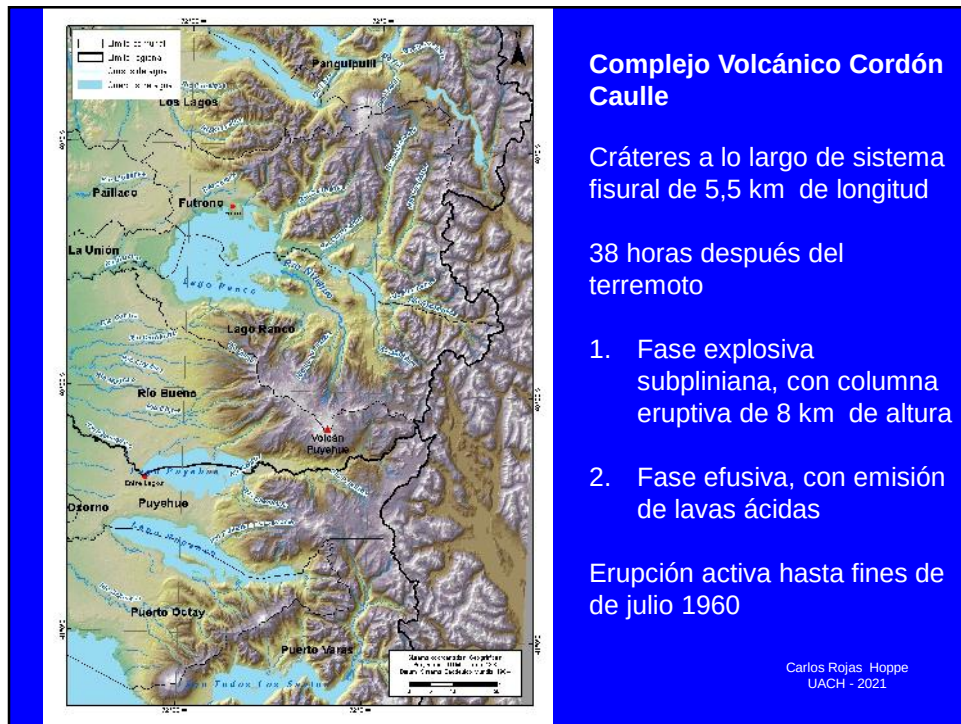


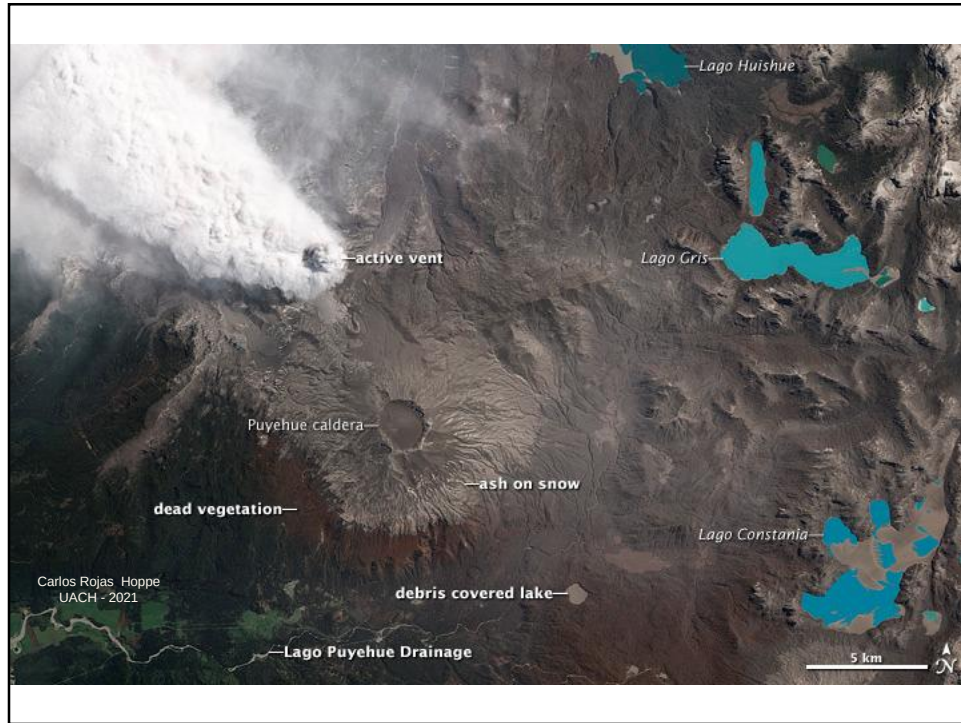


LA ERUPCIÓN DEL CORDÓN CAULLE

EL REPENTINO DESPERTAR DE UN VOLCÁN ANDINO

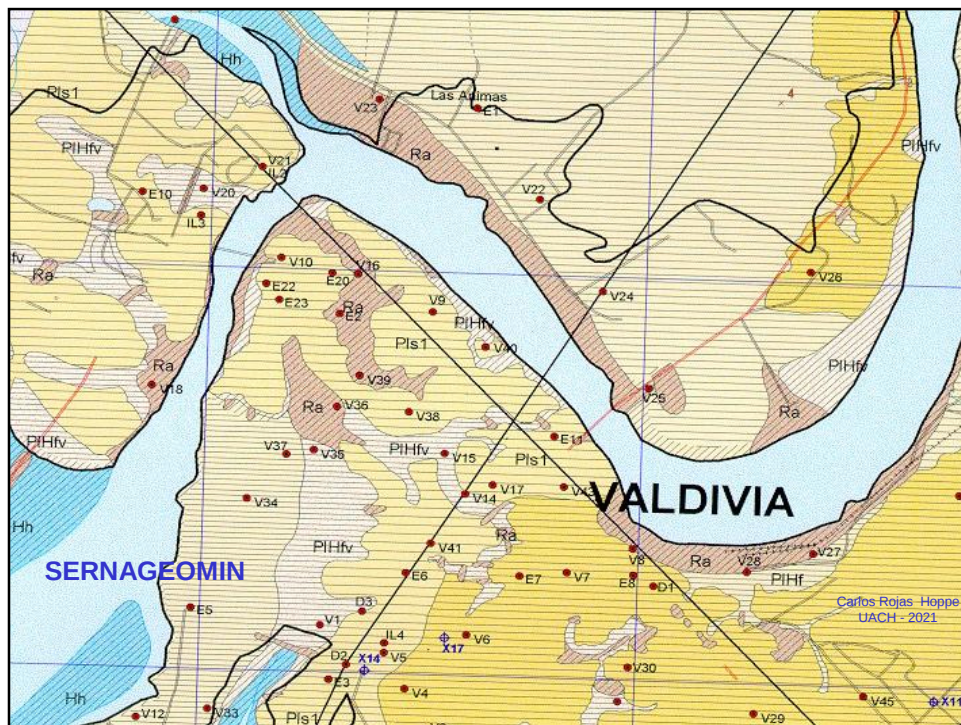
Carlos Rojas Hoppe
UACH - 2021





LECCIONES DEL TERREMOTO

Carlos Rojas Hoppe
UACH - 2021



Estudio (*) de 4.016 estructuras de las cuales el 65% no sufrió daño, el 21% resultó inclinado o agrietado y el 14% fue destruido.

- casas de madera 1 y 2 pisos
- casas de albañilería no confinadas y confinadas de 1 y 2 pisos
- edificios de hormigón armado

Causas de las fallas estructurales

- estructuras de hormigón armado, albañilería con columnas y vigas de hormigón armado (**confinada**) y bloques de hormigón hueco reforzado, se desempeñaron **satisfactoriamente** cuando estaban construidas con los **materiales adecuados y bien diseñados**
- Muchos edificios de **albañilería no reforzada** sufrieron **grandes daños**, pero en los casos en los que estos edificios presentaban paredes transversales interiores atadas a la albañilería exterior los daños fueron mucho menores.

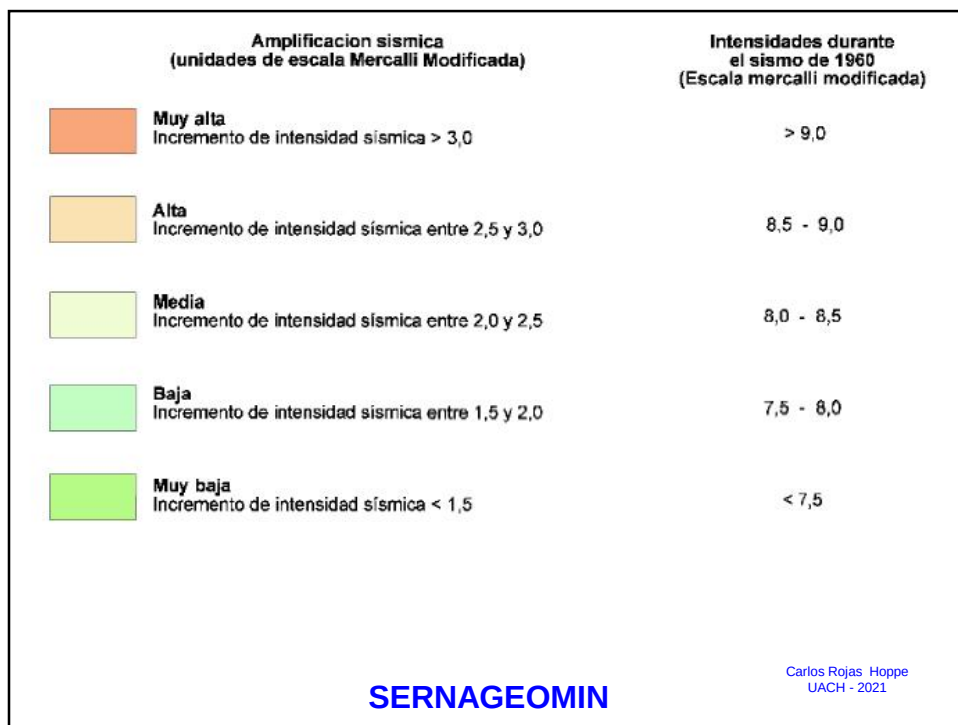
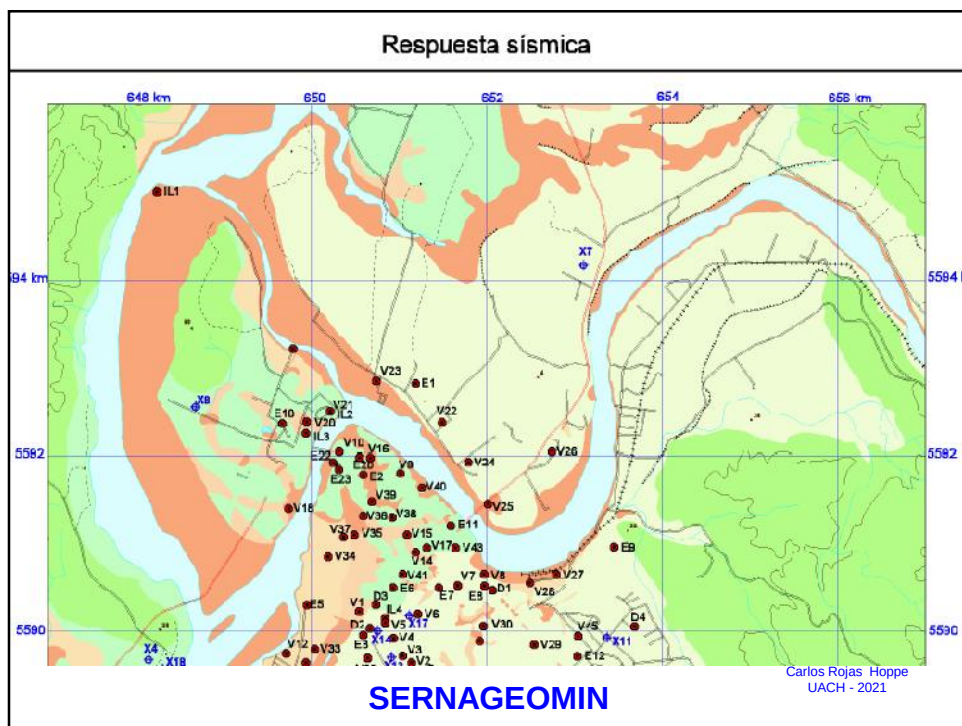
* Campos et al. (2019). "Efectos de sitio producto del Terremoto Megathrust Mw 9.5 de 1960 en la ciudad de Valdivia". En XII Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Sísmica, 1-12. Valdivia: ACHISINA, 2019

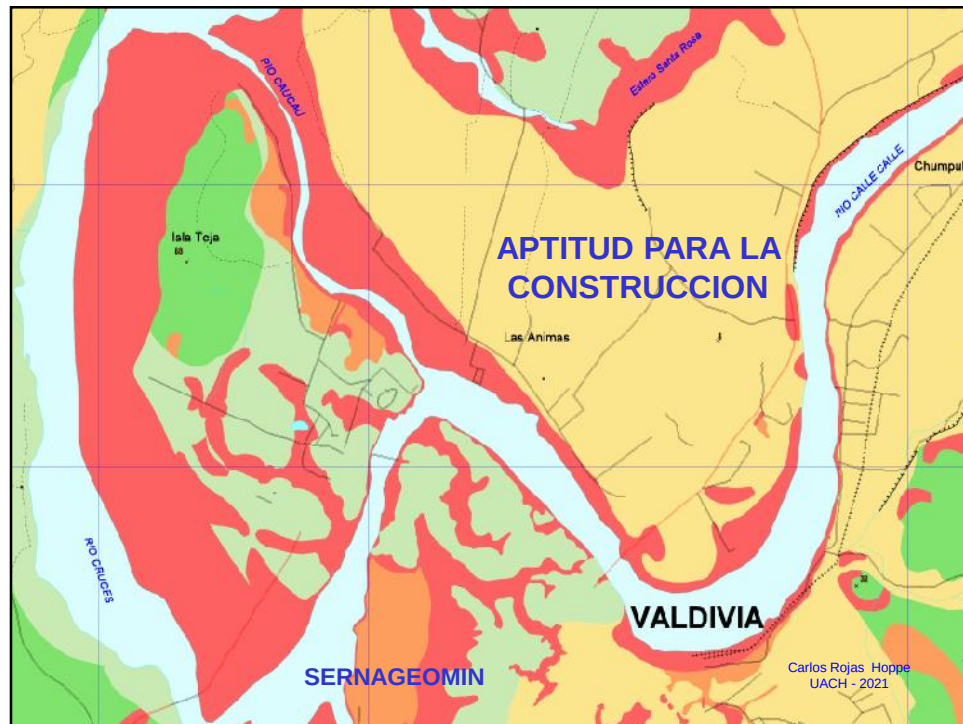
- El daño en estructuras de **hormigón armado** fue causado por **problemas de diseño estructural y de construcción**.
- La falla de gran parte de las **estructuras de madera** fue causada por **problemas de calidad en la construcción y el mantenimiento deficiente** de las fundaciones en ambientes de alta humedad.
- Estructuras **mixtas** (madera con hormigón ligeramente armado o albañilería no confinada), utilizadas como tabiques interiores o paredes exteriores, tuvieron un **mal comportamiento**.

Estructuras construidas sobre **relleno artificial**:

- El 32% de las casas de albañilería de 2 pisos destruidas
- El 42% de las casas de madera de 1 piso y el 32% de las casas de 2 pisos destruidas

* Campos et al. (2019). "Efectos de sitio producto del Terremoto Megathrust Mw 9.5 de 1960 en la ciudad de Valdivia". En XII Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Sísmica, 1-12. Valdivia: ACHISINA, 2019





APTITUD PARA LA CONSTRUCCION

Descripción	Problemas asociados
Muy Mala Corresponde principalmente, a las zonas de humedales, vegas, rellenos artificiales y zonas de peligro de remociones en masa.	Mejores daños a infraestructura y edificios durante el terremoto de 1960. Sobrecarga puede causar subsidencias, licuefacción de los sedimentos, debido a exceso de presión de agua, y estrujación lateral de sedimentos. En las riberas de los ríos se pueden producir deslizamientos debido a la falta de confinamiento y el alto grado de saturación.
Mala Corresponde principalmente, a zonas de sedimentos fluviales y estuarinos recientes y a algunas zonas de peligro de remociones en masa en rocas metamórficas.	Sobrecarga puede causar subsidencias y licuefacción de los sedimentos debido a exceso de presión de agua. En las riberas de los ríos se pueden producir deslizamientos debido a la falta de confinamiento y el alto grado de saturación.
Regular Principalmente sedimentos fluvio-estuarinos antiguos, algunas zonas de depósitos fluviales y estuarinos recientes y zonas de peligro de remociones en masa.	Sobrecarga puede causar subsidencias, licuefacción de los sedimentos, debido a exceso de presión de agua, y estrujación lateral de sedimentos.
Buena Corresponde a depósitos fluvio-estuarinos antiguos con niveles de arena limosa cementada (calicagua).	Capacidad de carga de la arena limosa cementada es limitada. Sobrecarga de los estratos superiores puede causar subsidencias. Se pueden producir deslizamientos en laderas y taludes de pendientes fuertes, debido a falta de confinamiento.
Muy Buena Corresponde a las unidades de rocas metamórficas, sedimentaria e ígneas, en ausencia de zonas de peligro de remociones en masa.	Alto de grado de fracturación y meteorización puede limitar la capacidad de carga. Se pueden producir remociones en masa en taludes y laderas de alta pendiente, asociadas a planos de esquistosidad favorables, alto grado de fracturación y zonas de falla.

SERNAGEOMIN

Carlos Rojas Hoppe
UACH - 2021







Carlos Rojas Hoppe
UACH - 2021

Sin autorización:

DE NUEVO INTENTAN RELLENAR HUMEDAL

Camiones fantasmas descargan tierra en sitio de Isla Teja sin ningún permiso, mientras pobladores liderados por un concejal candidato presionan al Concejo Municipal

A-12

RELLENO DE HUMEDALES

agosto 2000

En forma sorpresiva el humedal de la Isla Teja ubicado entre Los Laureles y Los Lingües- empezó a ser rellenado, aunque no existe ninguna autorización para hacerlo. Al respecto el Concejo Municipal acordó hacer un estudio, el que pasa por el Plan Regulador y la decisión de Corema.

Carlos Rojas Hoppe
UACH - 2021

DOMINGO 4 DE ABRIL DE 2010

RELLENO DE HUMEDALES

abril 2010

notas /crónica



Vecinos denuncian intervención sobre humedal de Angachilla

Como una acción atentatoria contra el medio ambiente y la ciudadanía. Así calificó el presidente de la junta de vecinos de Villa Claro de Luna, Jaime Rosales, la extracción de tierra que se efectuó desde el humedal Angachilla.

Según explicó el dirigente, una empresa "hizo una intervención grotesca en el humedal, retirando tierra del lugar y pasando maquinaria de una manera desproporcionada, interviniendo este lugar que merece la máxima protección", sostuvo. Por el significado que implica para el sector este lugar natural, el dirigente aseguró que solicitarán al SERVIU y a CONAMA que se inicien las investigaciones para sancionar a la empresa responsable. Igualmente, le enviarán una carta al intendente Juan Andrés Varas para que se informe y adopte las medidas que permitan avanzar en la protección de este humedal urbano.

Los humedales urbanos, como el de Angachilla, son sitios prioritarios de protección dada la importancia en la conservación de la biodiversidad, de su flora y fauna silvestre. Además, constituyen sectores que poseen restricciones porque forman parte del patrimonio ambiental de la comuna.

Carlos Rojas Hoppe
UACH - 2021











