



## Departamento de Geofísica, Universidad de Concepción

### Peligro Sísmico

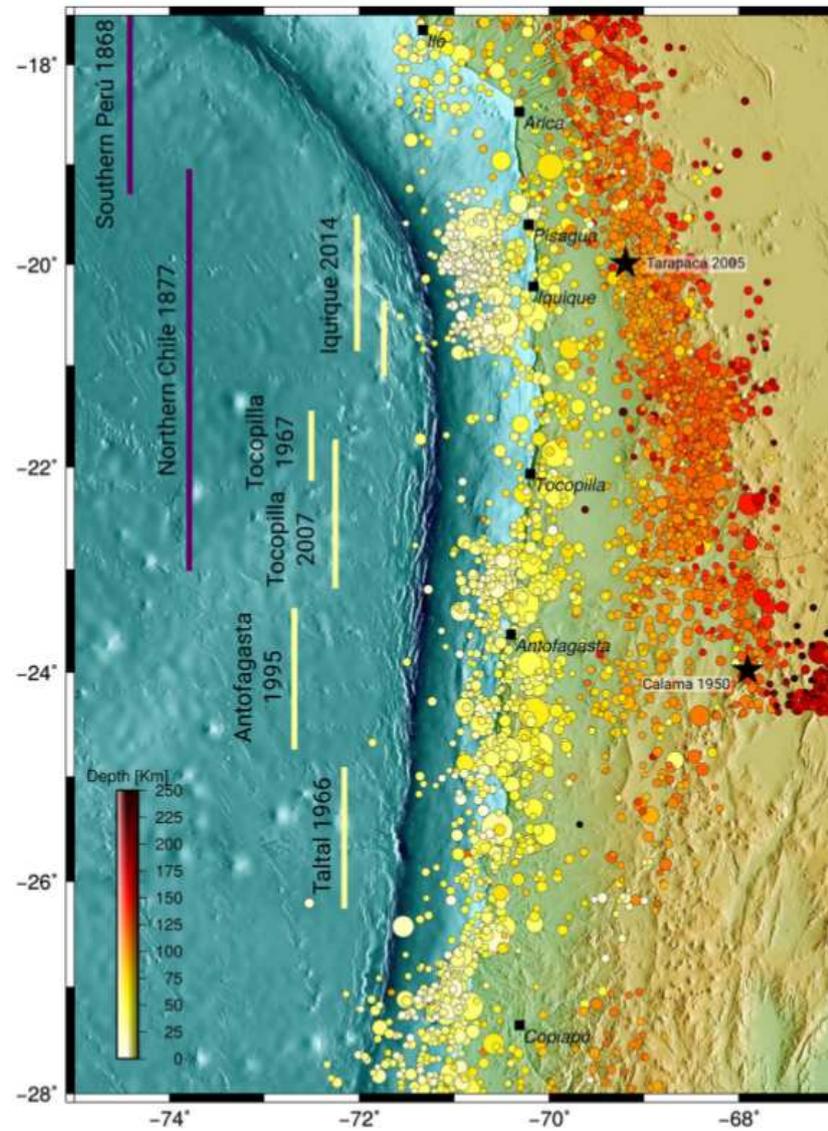
Terremotos históricos en Chile - La red sísmica en Chile - Sismogramas Maule 2010 - Intensidad y Magnitud - La escala de intensidad de Mercalli - La escala de intensidad modificada de Mercalli - Shakemap - Chile 2010 - Shakemap - Valdivia 1960 (aprox.) - Shakemap - Haití 2010 - Shakemap - San Francisco (escenario) - Suelos - Suelos - Daños en Concepción, 2010 - Suelos - Ciudad de México - Suelos - Ciudad de México 1985 - Suelos - Ciudad de México 2017 - Preguntas Pendientes ...

**USGS - Shakemaps** - <https://earthquake.usgs.gov/data/shakemap/>

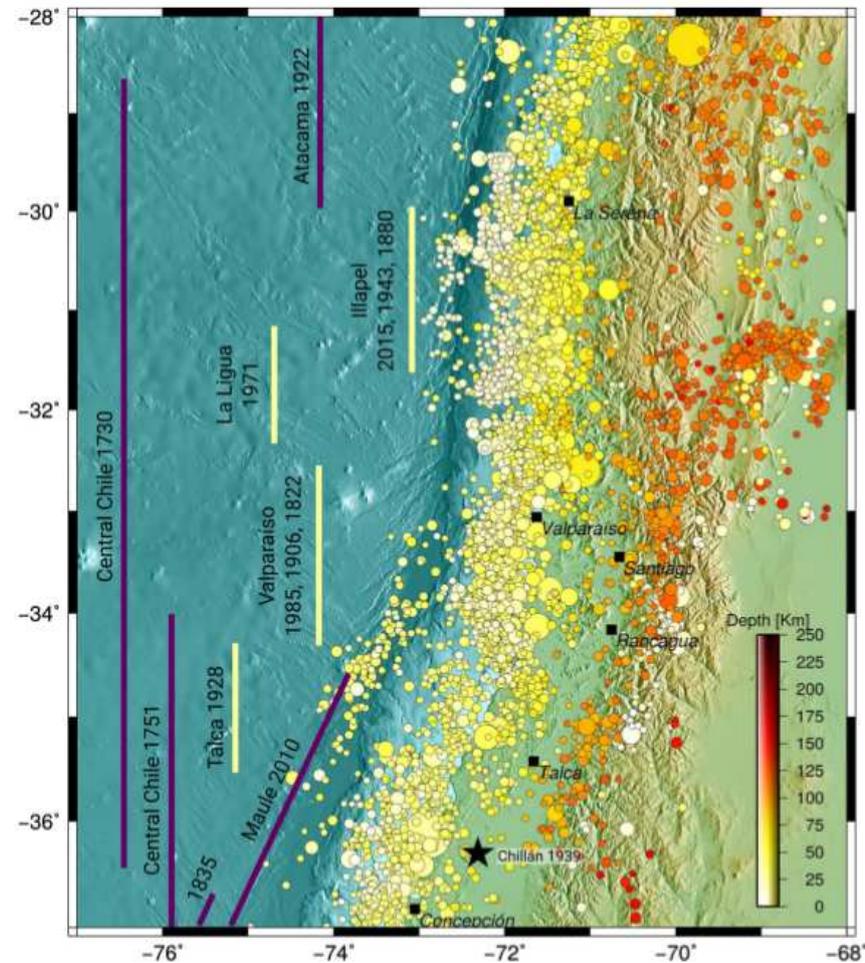
**USGS - PAGER** - <https://earthquake.usgs.gov/data/pager/>

**SEA LEVEL STATION MONITORING FACILITY** - <http://www.ioc-sealevelmonitoring.org/map.php>

# Terremotos históricos en Chile

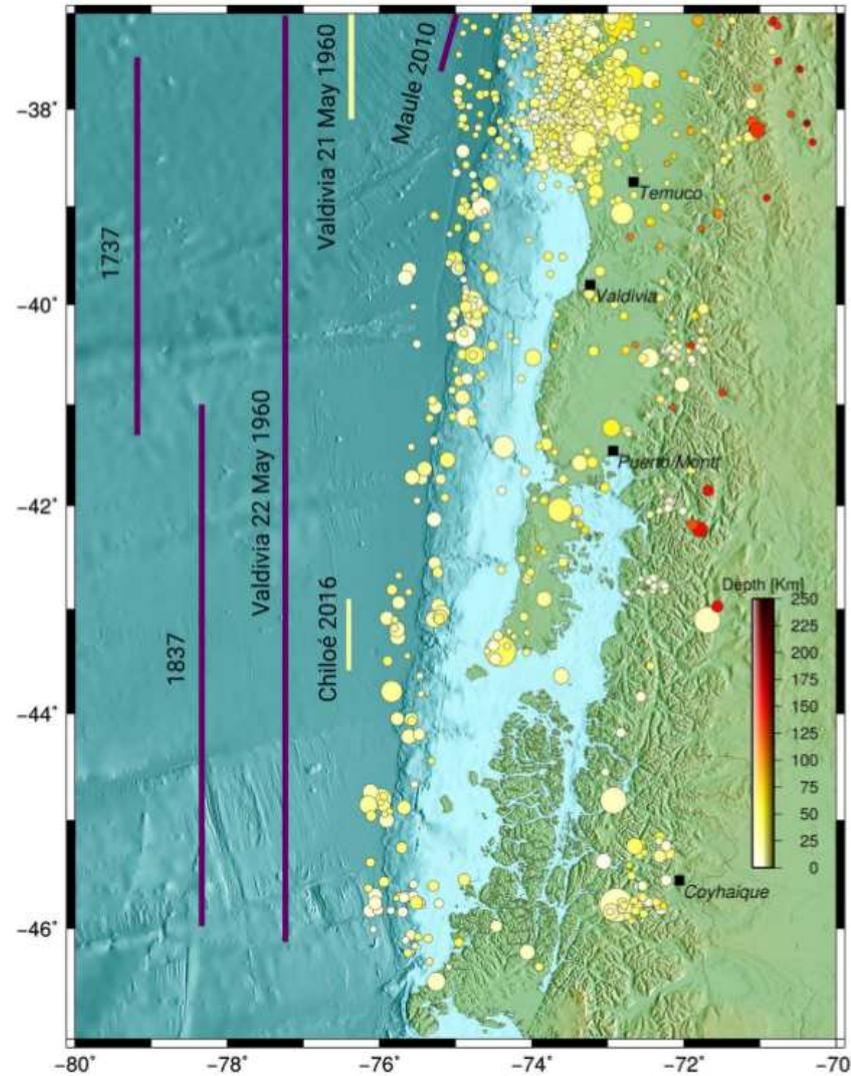


# Terremotos históricos en Chile



Fuente: Ruiz, S. and Madariaga, R. (2018). Historical and Recent Large Megathrust Earthquakes in Chile. *Tectonophysics*.

# Terremotos históricos en Chile



# *Terremotos históricos en Chile*

---

En los gráficos, se puede ver:

- Los círculos son los epicentros de eventos mas grande que M 4.5 del catalogo de NEIC (1900 – 2017).
- Las líneas moradas son las estimaciones de los largos de ruptura para los terremotos gigantes (ejemplo: Valdivia 1960).
- Las líneas amarillas son las estimaciones de los largos de ruptura para eventos menores que rompieron solo una parte del contacto interplaca (ejemplo: Iquique 2014).
- Las estrellas negras indican los epicentros de los grandes terremotos a profundidades intermedias (ejemplo: Chillan 1939).

# *La red sísmica en Chile*



- La red sismológica en Chile (C1 - <http://ds.iris.edu/gmap/#network=C1>) ha sido instalada en Chile aproximadamente durante 2012 – presente.
- Hasta 2020, esta red consiste en 97 estaciones.

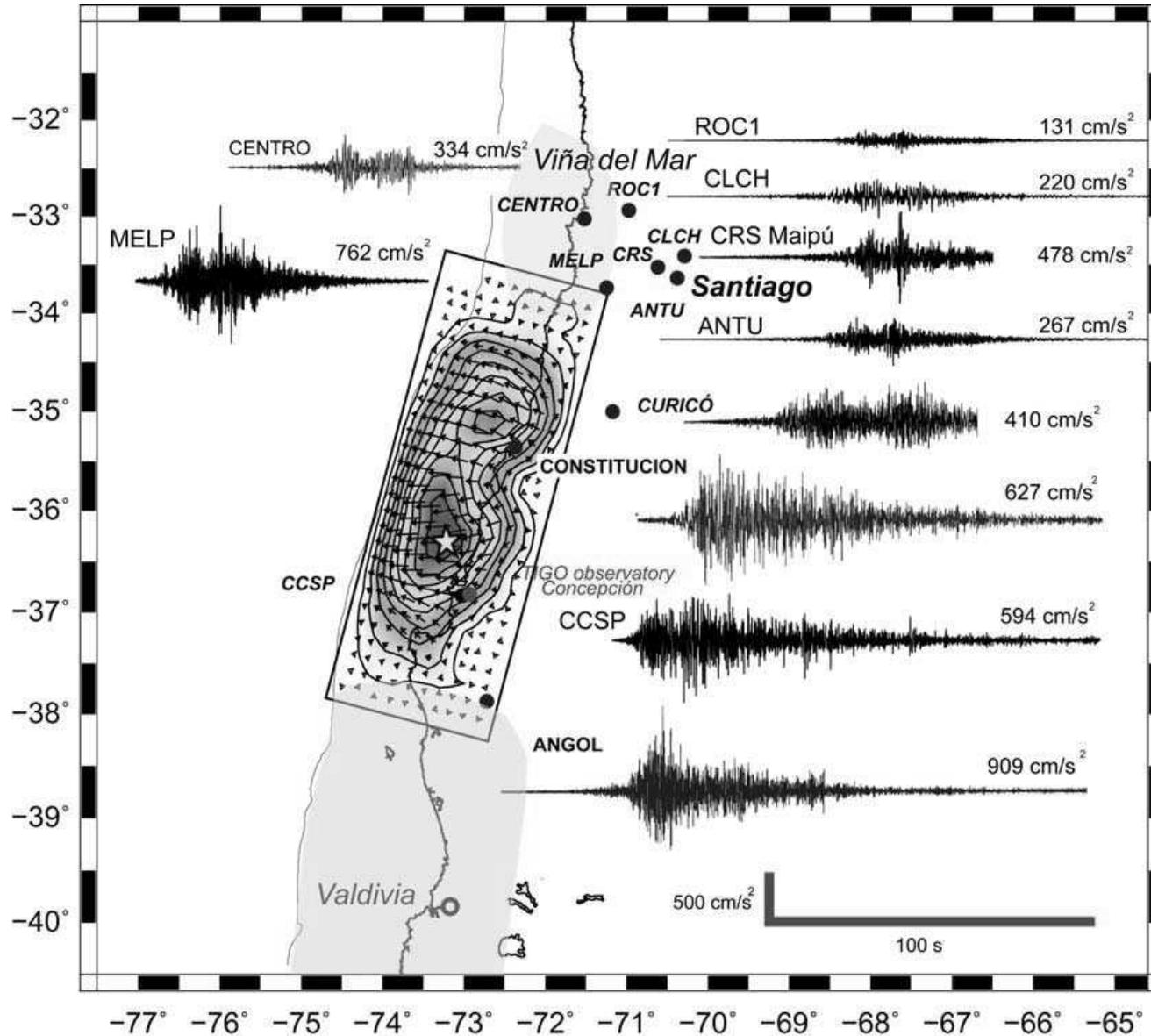
# *La red sísmica en Chile*



Station **GO04** (Tololo Observatory, Chile) during its installation

- Cada estación tiene instalada un sismómetro, un instrumento muy sensible para registrar movimientos de intensidad menor que no perciban los humanos.
- Cada estación tiene instalada un acelerómetro, un instrumento que puede registrar y resistir aceleraciones grandes ( $> 1$  g) de los eventos mayores.
- Además el CSN usa estaciones GNSS (GPS) para medir deformación permanente en la corteza continental.

# Acelerogramas Maule 2010



# ***Acelerogramas Maule 2010***

---

La diapositiva anterior muestra diferentes aceleraciones medidas en estaciones sísmicas durante el terremoto del Maule, 2010. Los registros son de un componente horizontal, en unidades de cm/s/s.

- ¿Qué estación mide la mayor aceleración?
- ¿Por qué existe diferencias entre las mediciones en Santiago?
- Noten que la magnitud de este evento fue 8.8, mientras que las aceleraciones varían sobre la zona afectada.
- ¿Cómo podemos mostrar una representación de las aceleraciones del suelo en la zona afectada? (Necesitamos una diferente manera de representar la fuerza del evento que simplemente una magnitud).

# *Intensidad y Magnitud*

- Una representación de la energía total liberada durante un terremoto → magnitud.
- Una representación de que tan dañino es un terremoto en una ubicación particular → intensidad.



<http://www.onemi.cl/noticia/onemi-capacita-informantes-en-escala-de-mercalli/>

# ***La escala de intensidad de Mercalli***

---

## **INTENSIDAD I**

No se advierte sino por unas **pocas personas** y en condiciones de **perceptibilidad** especialmente **favorables**.

## **INTENSIDAD II**

Se **percibe sólo** por algunas personas en reposo, particularmente por quienes están en **pisos superiores** de los edificios.

## **INTENSIDAD III**

Se **percibe al interior de edificios y casas**. No se distingue claramente que la naturaleza sea sísmica por su semejanza al paso de un vehículo liviano.

## **INTENSIDAD IV**

Los **objetos colgantes oscilan visiblemente**. Son **percibidos por todos al interior** de edificios y casas. La sensación es similar al paso de un vehículo pesado. En el **exterior, la percepción no es tan general**.

# ***La escala de intensidad de Mercalli***

---

## **INTENSIDAD V**

**Percibido por casi todos, aun en el exterior.** Durante la noche muchas personas despiertan. **Los líquidos oscilan** dentro de sus recipientes e incluso **pueden derramarse.** **Los objetos inestables se mueven o vuelcan.**

## **INTENSIDAD VI**

Lo perciben todas las personas. **Se siente inseguridad para caminar. Se quiebran vidrios de ventanas,** vajillas y objetos frágiles. **Los muebles se desplazan y se vuelcan.** Se producen **grietas** en algunos estucos. Se hace visible el movimiento de los árboles y arbustos.

# La escala de intensidad de Mercalli

## INTENSIDAD VII

Se experimenta **dificultad para mantenerse en pie**. Se percibe en automóviles en marcha. Causa daños en estructuras de albañilería mal construidas. **Caen trozos de estucos**, ladrillos, cornisas y diversos elementos arquitectónicos.

## INTENSIDAD VIII

Se hace difícil e **inseguro el manejo de vehículos**. Se producen **daños** de consideración y **derrumbes parciales** en estructuras de albañilería bien construidas. **Caen** chimeneas, monumentos, columnas, torres y estanques elevados. Las **casas de madera se desplazan** y se salen totalmente de sus bases.

## INTENSIDAD IX

Se produce **pánico general**. Las estructuras corrientes de albañilería bien construidas se dañan y a veces se **derriban** totalmente. Las estructuras de madera son **removidas de sus cimientos**. Se **quiebran** las **cañerías** subterráneas.

## INTENSIDAD X

Se **destruye** gran parte de las **estructuras de albañilería** de toda especie. Algunas **estructuras de madera** bien construidas, incluso **puentes**, **se destruyen**. Se producen grandes **daños en represas, diques y malecones**. Los rieles de ferrocarril se **deforman** levemente.

# *La escala de intensidad de Mercalli*

## **INTENSIDAD XI**

Muy pocas estructuras de albañilería quedan en pie. Los rieles de ferrocarril quedan fuertemente **deformados**. Las cañerías quedan totalmente **fuera de servicio**.

## **INTENSIDAD XII**

El daño es casi total. Se **desplazan grandes masas de rocas**. Los **objetos saltan al aire**. Los **niveles y perspectivas** quedan **distorsionados**.



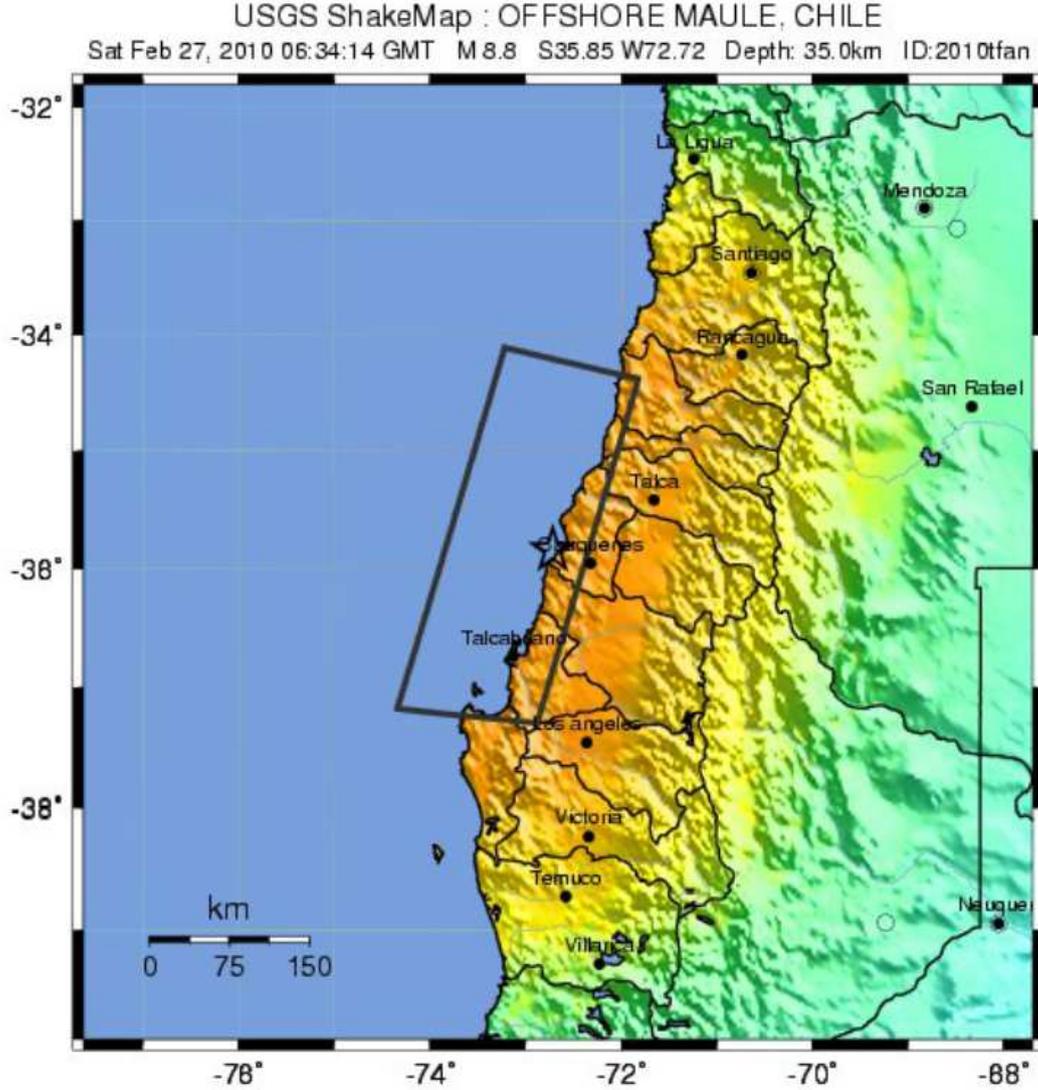
# La escala modificada de Mercalli

<b>PERCEIVED SHAKING</b>	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
<b>POTENTIAL DAMAGE</b>	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Mod./Heavy	Heavy	Very Heavy
<b>PEAK ACC.(%g)</b>	<0.05	0.3	2.8	6.2	12	22	40	75	>139
<b>PEAK VEL.(cm/s)</b>	<b>&lt;0.02</b>	<b>0.1</b>	<b>1.4</b>	<b>4.7</b>	<b>9.6</b>	<b>20</b>	<b>41</b>	<b>86</b>	<b>&gt;178</b>
<b>INSTRUMENTAL INTENSITY</b>	<b>I</b>	<b>II-III</b>	<b>IV</b>	<b>V</b>	<b>VI</b>	<b>VII</b>	<b>VIII</b>	<b>IX</b>	<b>X+</b>

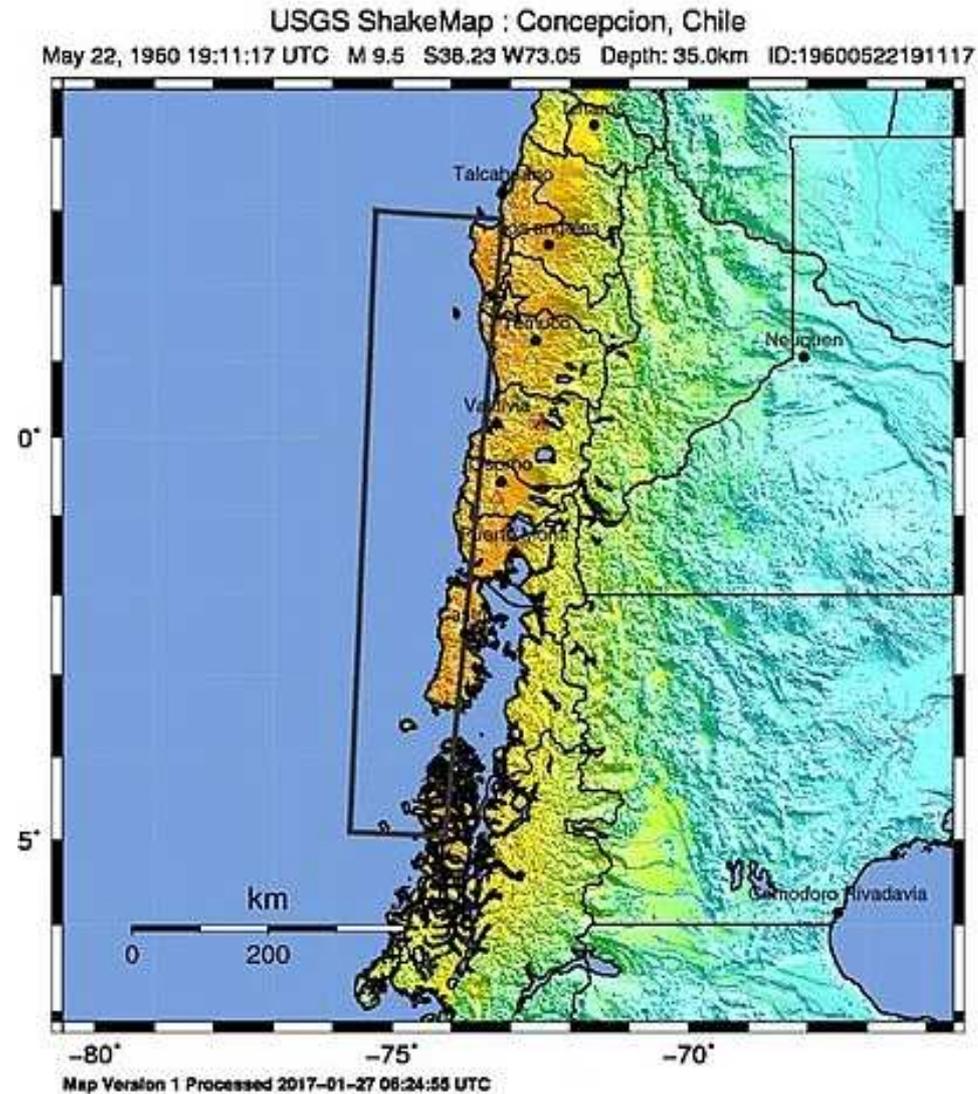
Scale based upon Worden et al. (2012)

La escala de intensidad modificada de Mercalli es un intento de comparar la aceleración del suelo registrado en acelerómetros con la escala tradicional de intensidad de Mercalli. Si hay suficientes instrumentos registrando el terremoto, estas intensidades instrumentales pueden estar interpolado sobre una área y representada en un mapa. En esta manera, tenemos shakemaps.

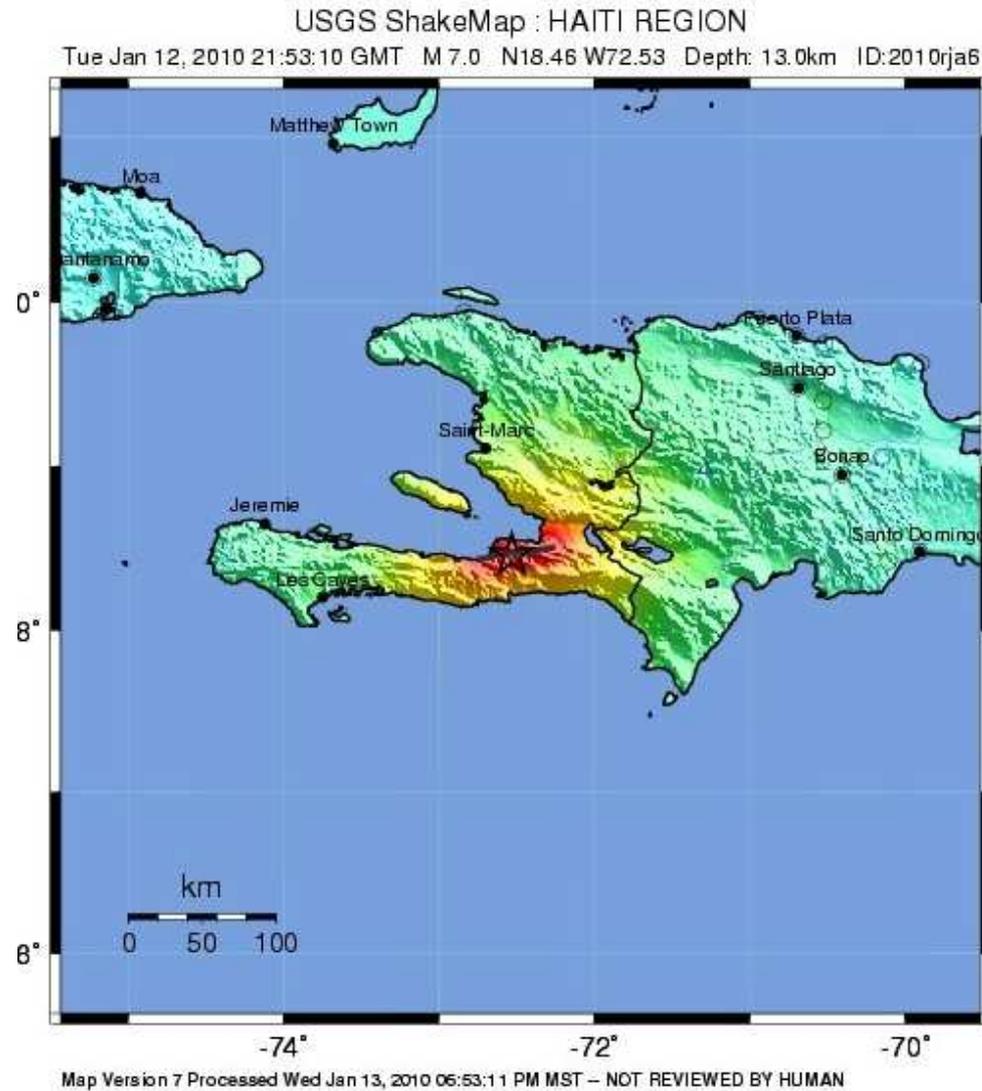
# Shakemap - Chile 2010



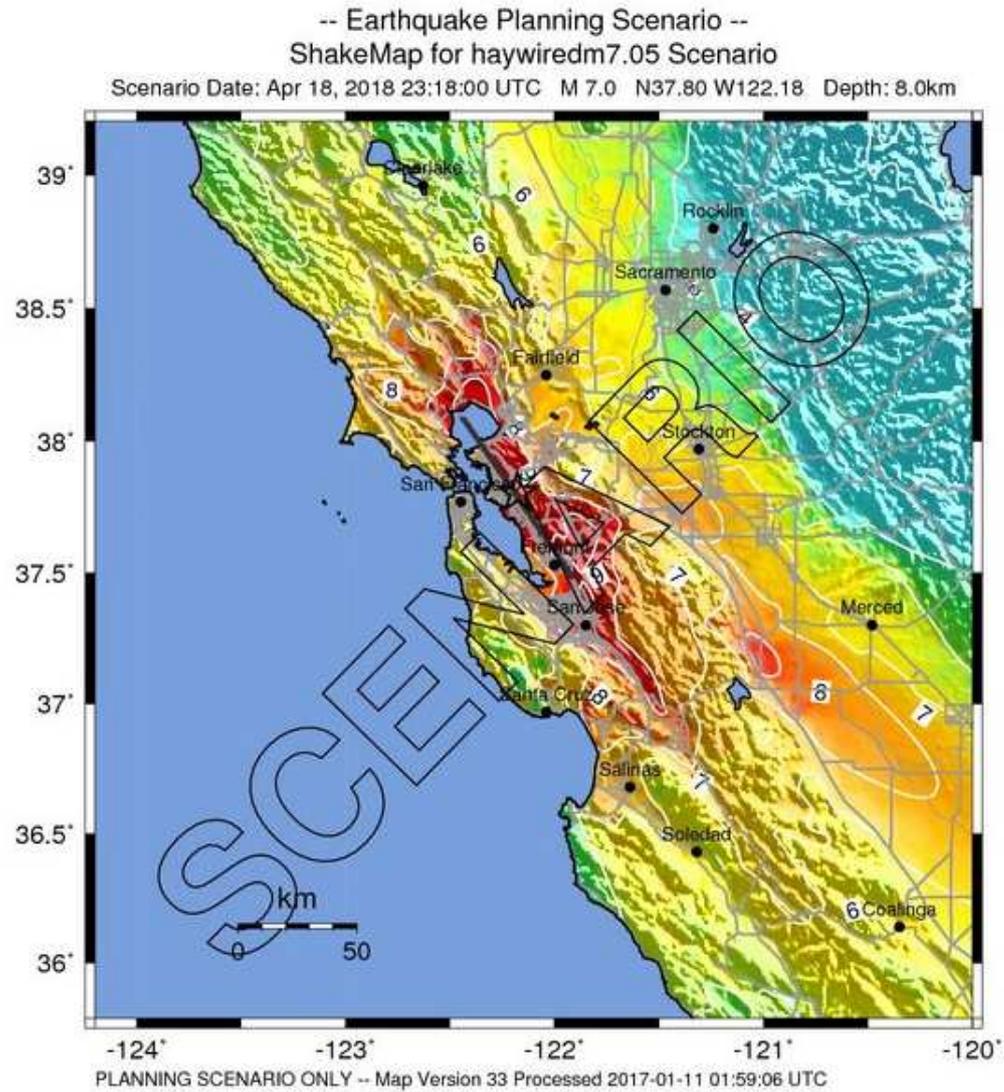
# *Shakemap - Valdivia 1960 (aprox.)*



# Shakemap - Haiti 2010



# Shakemap - San Francisco (escenario)



Considere una simple oscilación de un resorte, constante de resorte  $k_1$ , amplitud  $A_1$ . La energía contenida en la oscilación es

$$E = \frac{1}{2} k_1 A_1^2$$

Si este resorte esta conectada a otro resorte, con constante de resorte  $k_2$ , conservación de energía significa que cuando la oscilación pasa al segundo resorte, su amplitud cambiará:

$$\frac{1}{2} k_1 A_1^2 = \frac{1}{2} k_2 A_2^2$$

Si el segundo resorte es más “blando”, es decir  $k_2 < k_1$ , este significa que  $A_2 > A_1$ . La oscilación aumenta su amplitud cuando pasa al medio mas blando. En la misma manera, suelos blandos, típicamente sedimentos poco consolidados, amplifican las ondas sísmicas que vienen desde la roca madre abajo.

# Suelos - Daños en Concepción, 2010

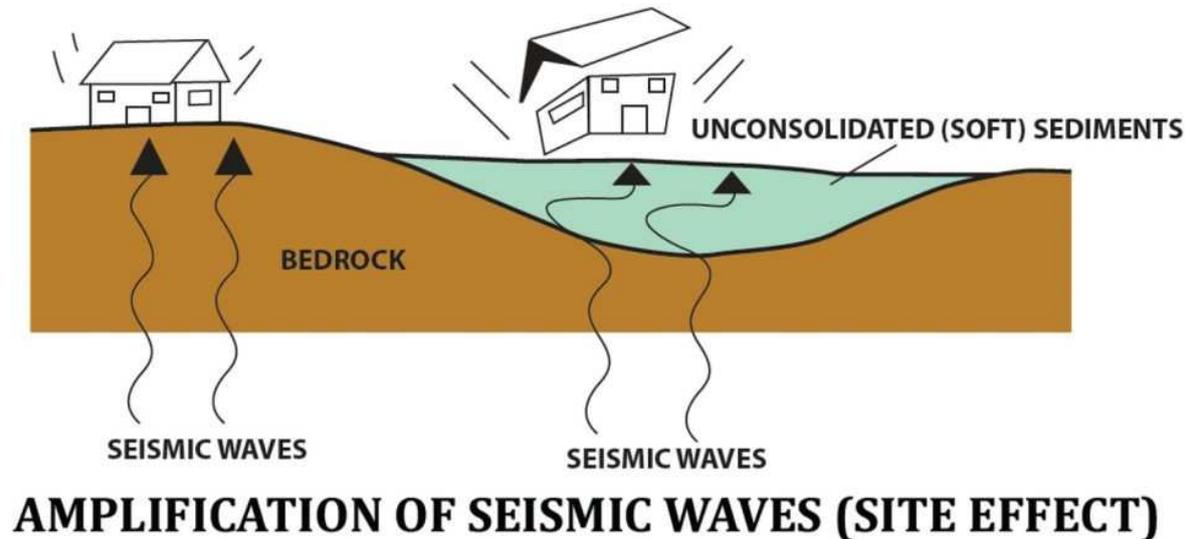
## DAMAGE MAP CONCEPCION CHILE



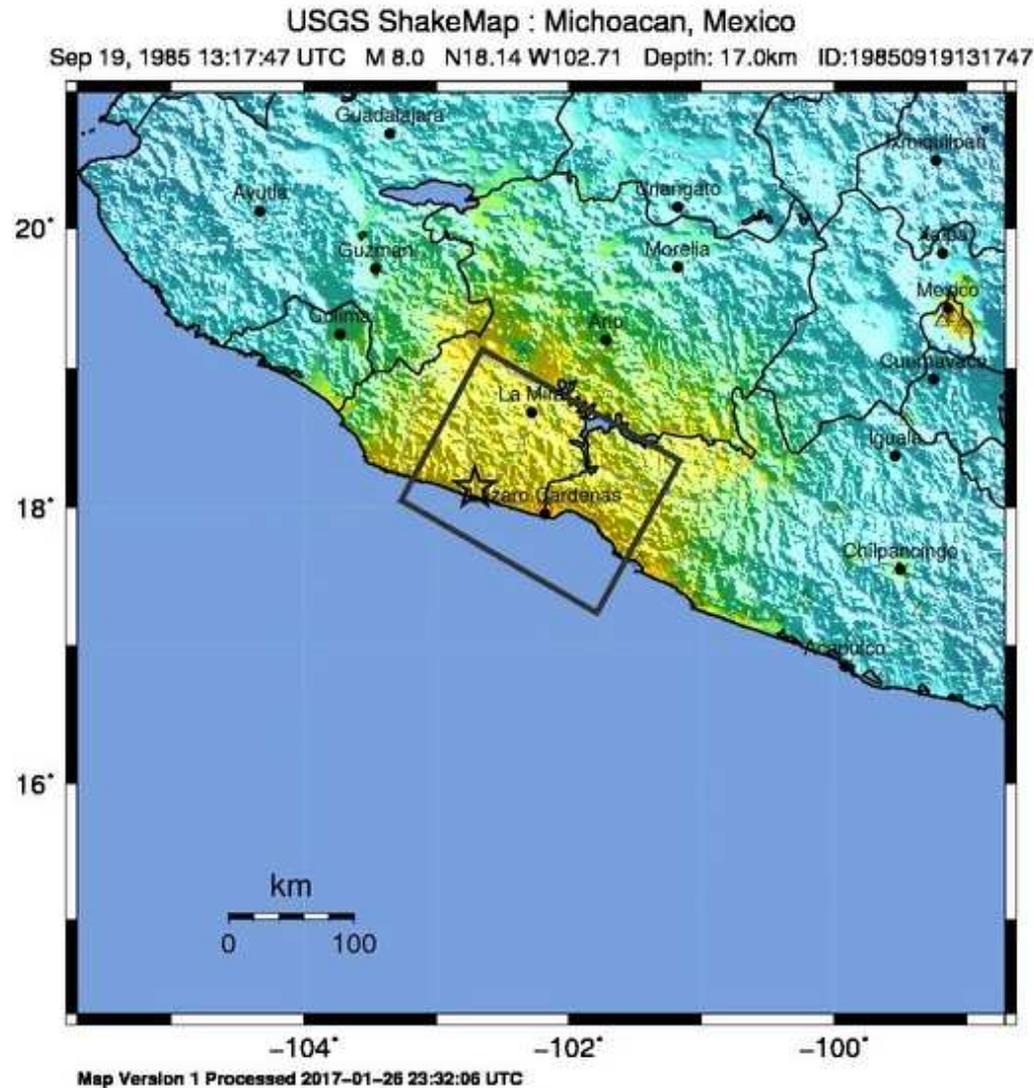
■ LEVEL 5    ■ LEVEL 4    ■ LEVEL 3    ■ LEVEL 2    □ LEVEL 1

# Suelos - Ciudad de Mexico

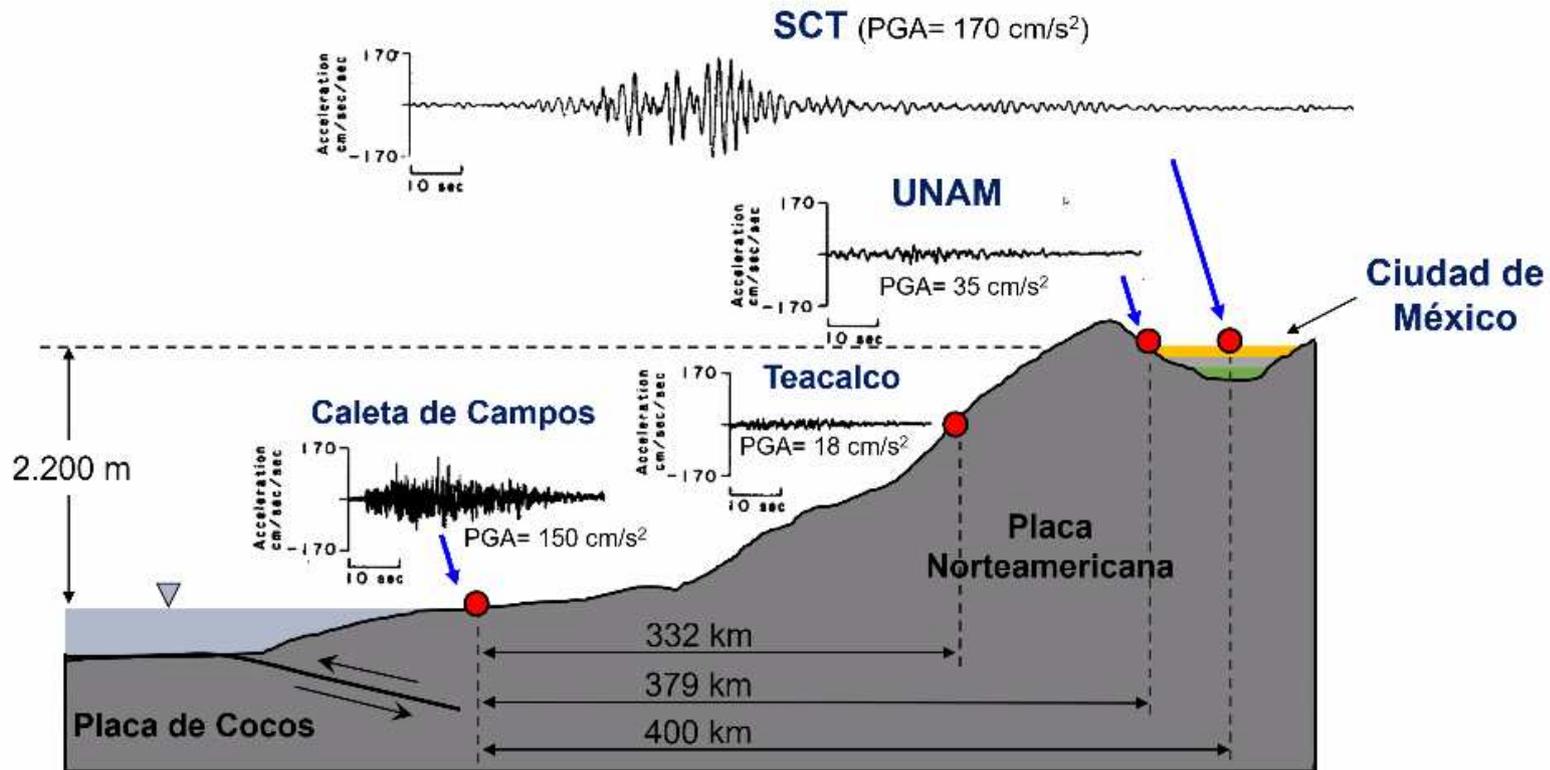
La Ciudad de Mexico esta construida encima de los sedimentos del Lago Texcoco - cientos de metros de sedimentos poco consolidados. Esta ciudad fue bastante dañada en terremotos en 1985 y 2017. Peor - la frecuencia de resonancia de los sedimentos esta igual a la frecuencia de resonancia de edificios de  $\sim 5$  pisos, amplificando el movimiento del suelo aun más. Si los edificios no son suficientemente fortificados, van a caer. Comportamiento de suelos es fundamental cuando uno considere códigos de construcción.



# Suelos - Ciudad de Mexico 1985



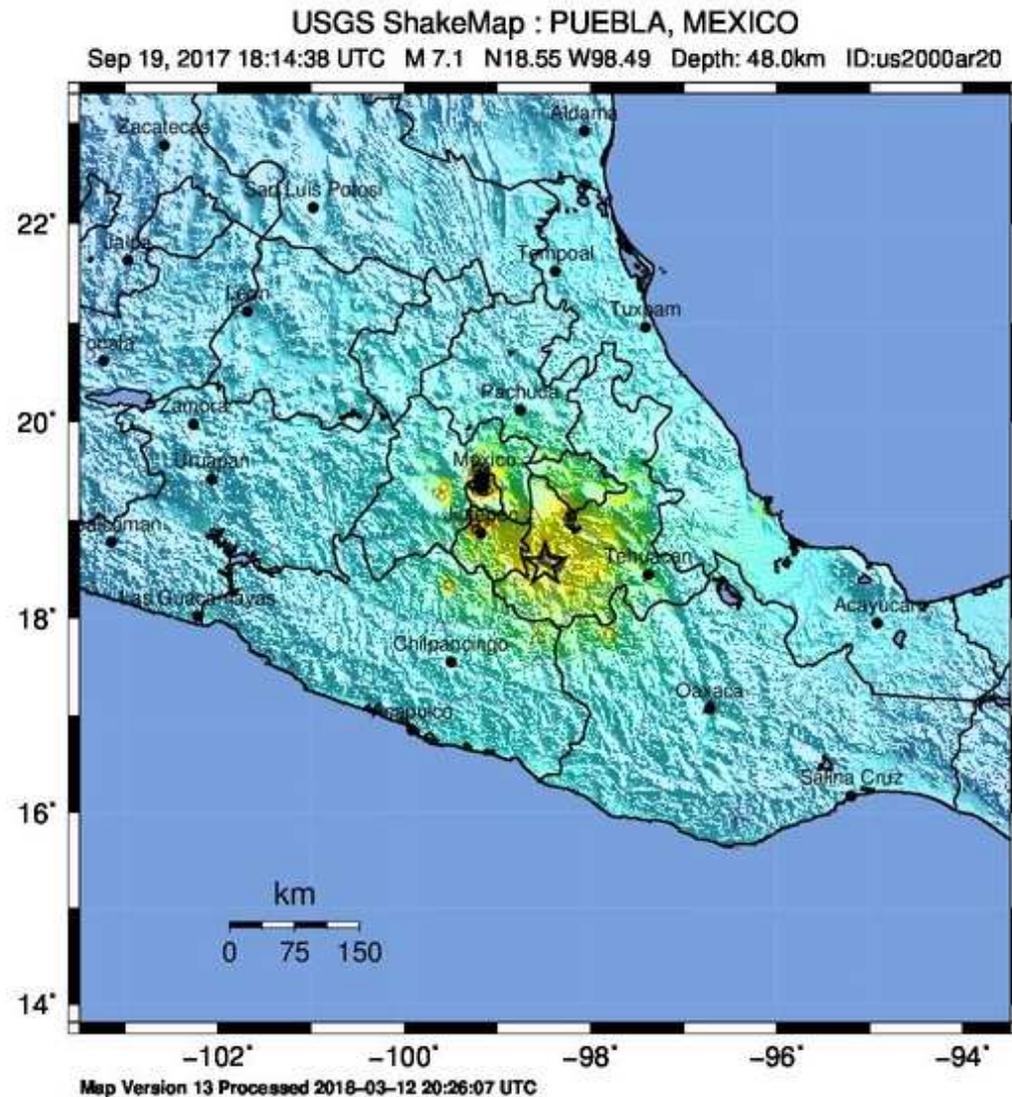
# Suelos - Ciudad de Mexico 1985



*Área de Ruptura  $\approx 150 \times 70 \text{ km}^2$*

Modificado de Celebi et al. (1987)

# Suelos - Ciudad de Mexico 2017



# *Preguntas Pendientes ...*

---

1. Mire los mapas de los terremotos históricos en Chile. Aparte de Valdivia 1960, ¿qué otro terremoto histórico fue un gigante con magnitud superior al 9?
2. ¿Qué falla cerca de Santiago es similar a la falla que se fracturó en el terremoto en Haití en 2010? Contempla un terremoto similar en esta falla, y estimar las zonas de Santiago que recibirán movimientos severos y violentos.
3. Mire los shakemaps presentados en esta presentación, y explique ¿cómo un terremoto con magnitud 7 puede generar más daños que un terremoto con magnitud 8.8?
4. Explique cómo los daños del terremoto de 1939 resultaron severos gracias a la ubicación geográfica de Chillán.
5. ¿Qué consejo tienen para construcciones en tierra reclamada en el borde costero o en los bordes de los ríos?