



Universidad de
los Andes > INGENIERÍA

DEFINICIÓN Y SIMULACIÓN DE ESCENARIOS SÍSMICOS EN LA FALLA DE SAN RAMÓN MEDIANTE SHAKERMAKER

EDUARDO DAVID TORRES MELO

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
EN OBRAS CIVILES

PROFESOR GUÍA: JOSÉ ANTONIO ABELL MENA

1. MOTIVACIÓN

Es importante que la ingeniería civil considere los estudios de una amenaza latente de la Falla de San Ramón.

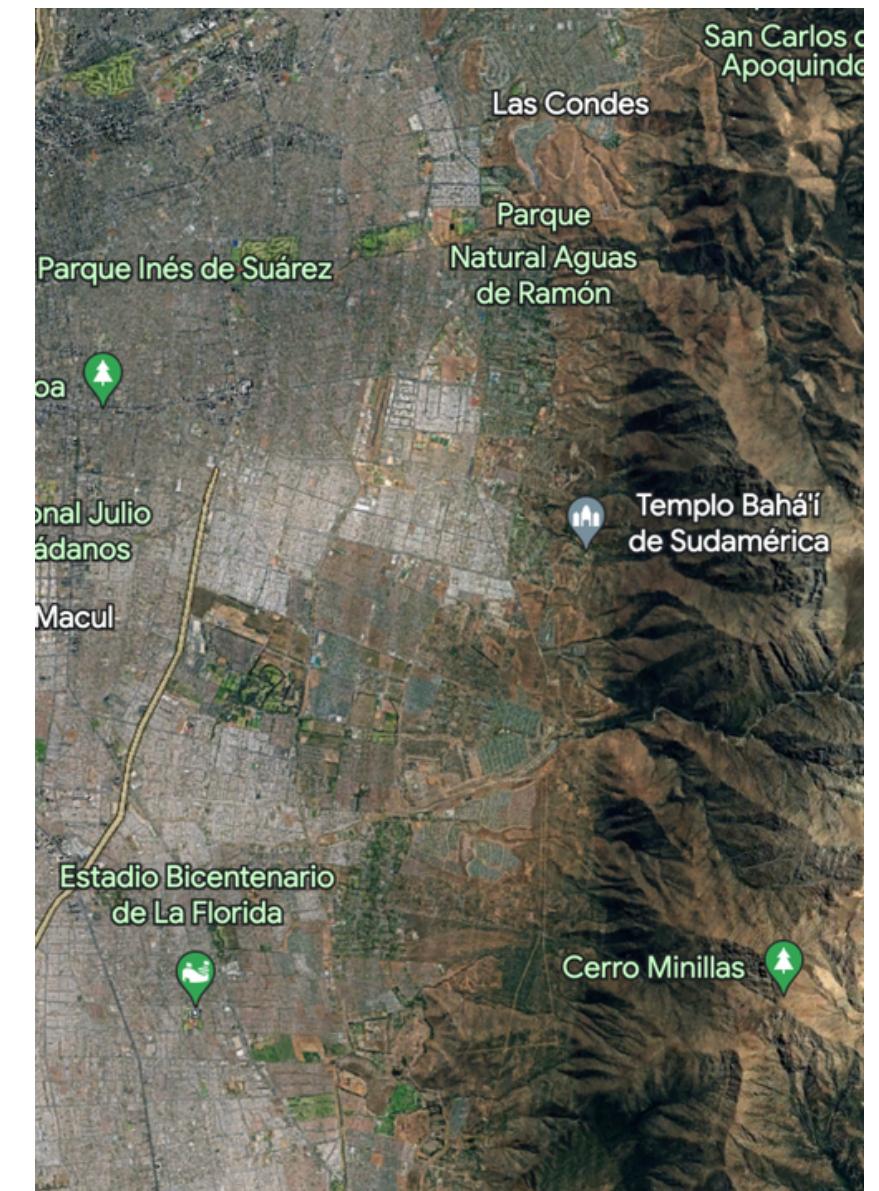
- Ingeniería sísmica → protección → conocimiento de riesgos
- Estudio para proyecto Fondecyt

Viviendo en la Falla de San Ramón: polémico condominio se estaría construyendo justo sobre ella

Templo Bahá'í



Universidad de Los Andes



Fuente: Google Earth

2. OBJETIVOS

Objetivo general

- Postular escenarios sísmicos para la Falla mediante la creación de descripciones cinemáticas del proceso de ruptura, usando el programa ShakerMaker, para simulación de registros sísmicos.

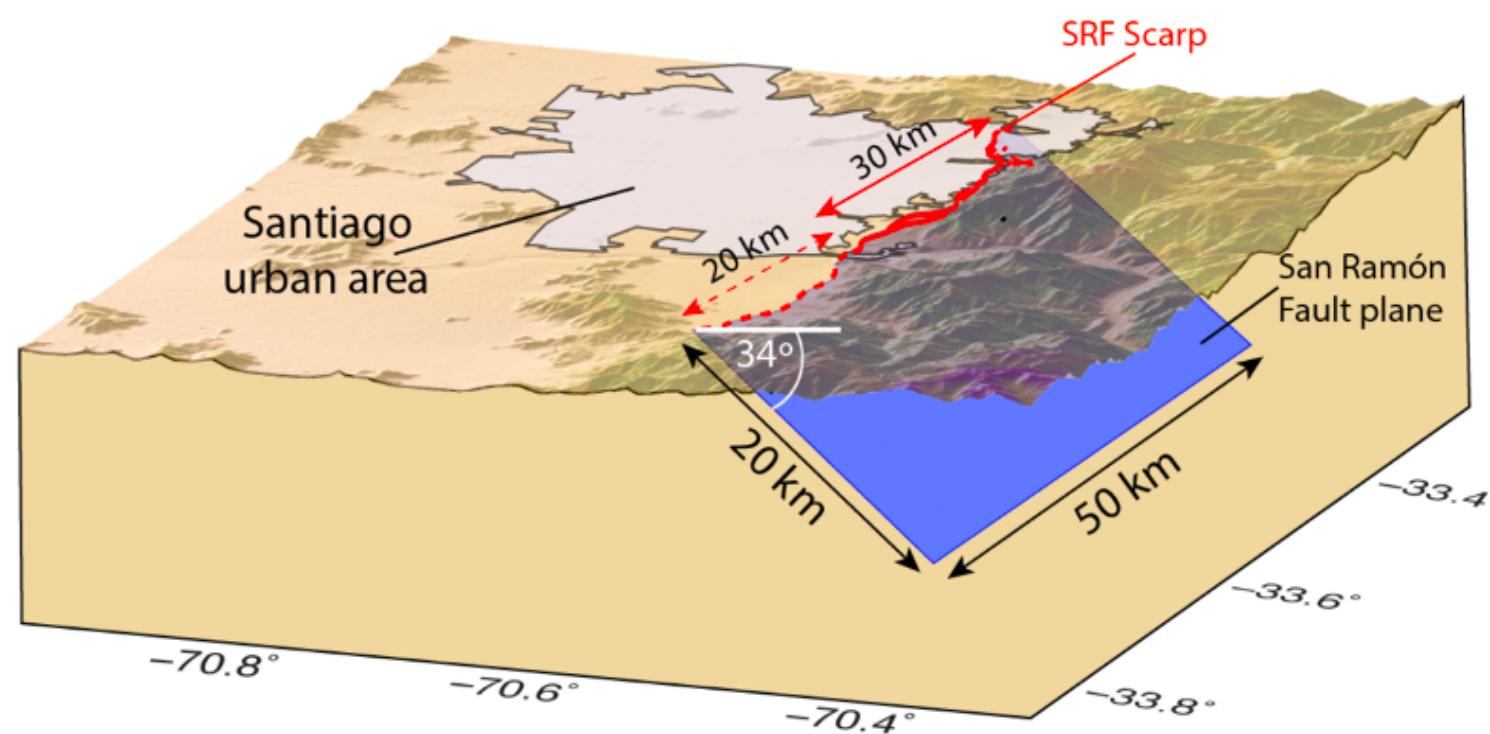
Objetivos específicos

- La descripción de la geología y la Falla en Santiago.
- Simulaciones de valores de los parámetros de corteza utilizando las fallas cinemáticas en distintos sitios de Santiago.
- Recopilar estadísticas de las distintas medidas de intensidad obtenidas mediante las simulaciones, para comparar finalmente con las normas NCh433 y NCh2369.

3. MARCO TEÓRICO

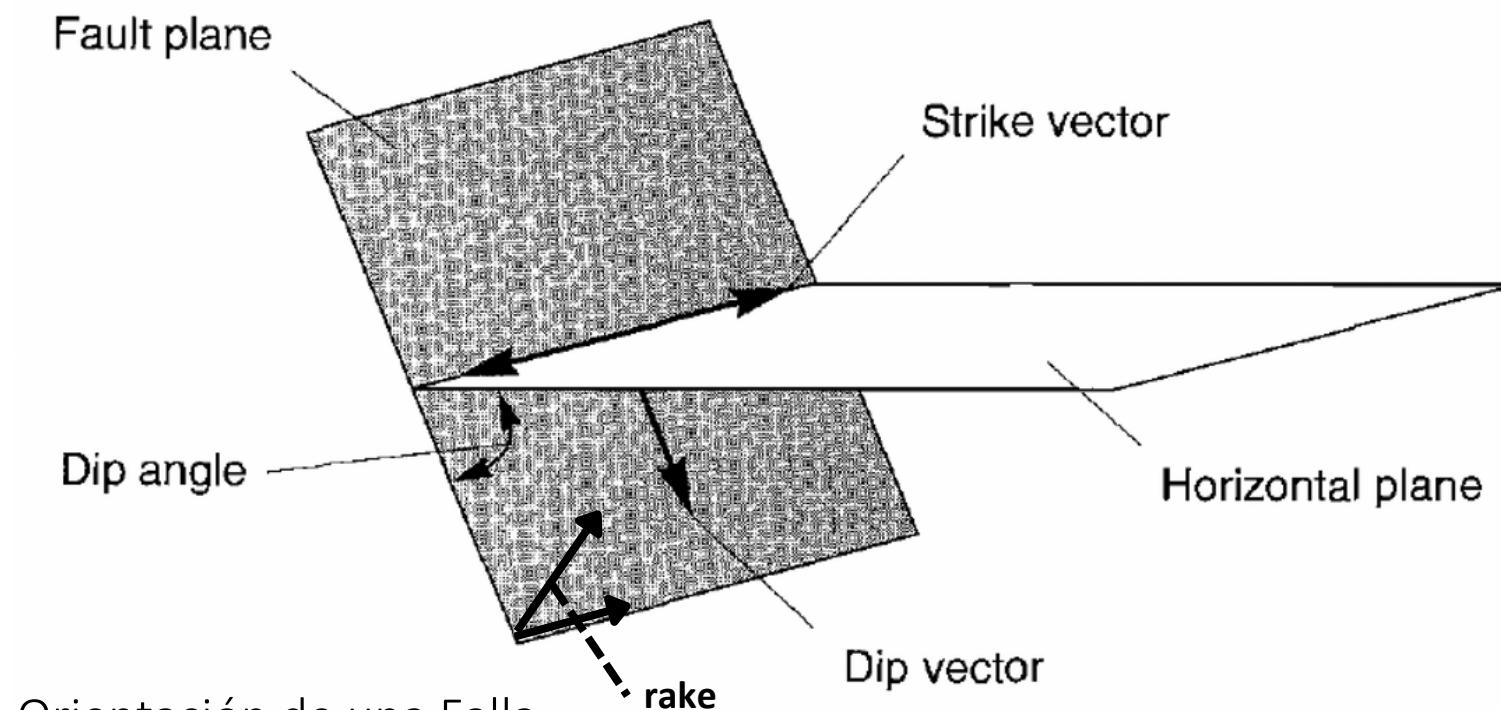
Conceptos clave

- Falla geológica
- Orientación de una falla: rumbo (strike), buzamiento (dip), rake.



Falla de San Ramón

Fuente: Ammirati et al. (2019)

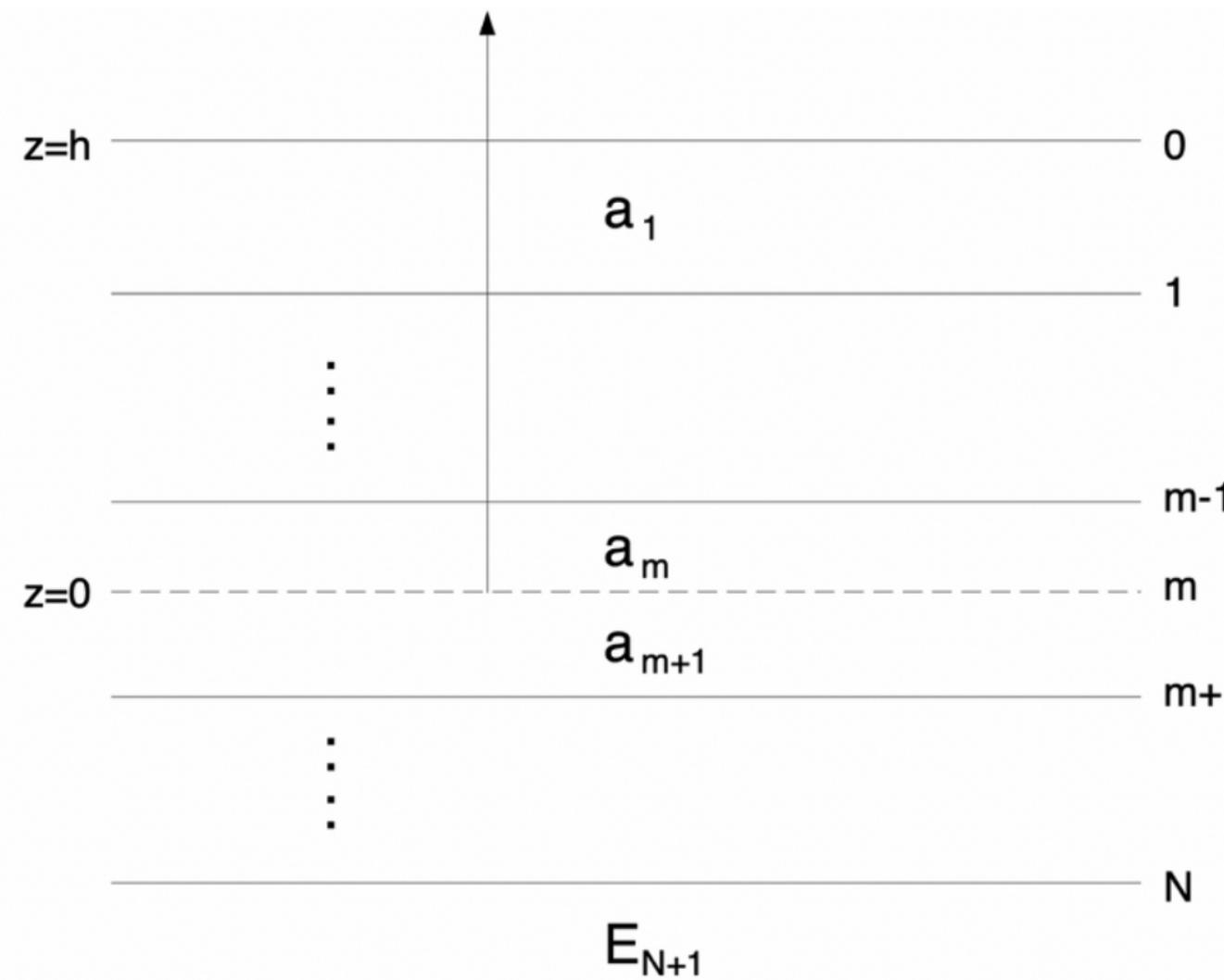


Orientación de una Falla

Fuente: Kramer (1996)

Conceptos clave

- Magnitud sísmica → Magnitud de momento (Mw)
- Método frecuencia - número de onda (F-K)
- Método UCSB (Universidad de California de Santa Bárbara) → strike, dip, rake, slip y pt_rt



Semiespacio de N capas, método F-K
Fuente: Zhu (2011)

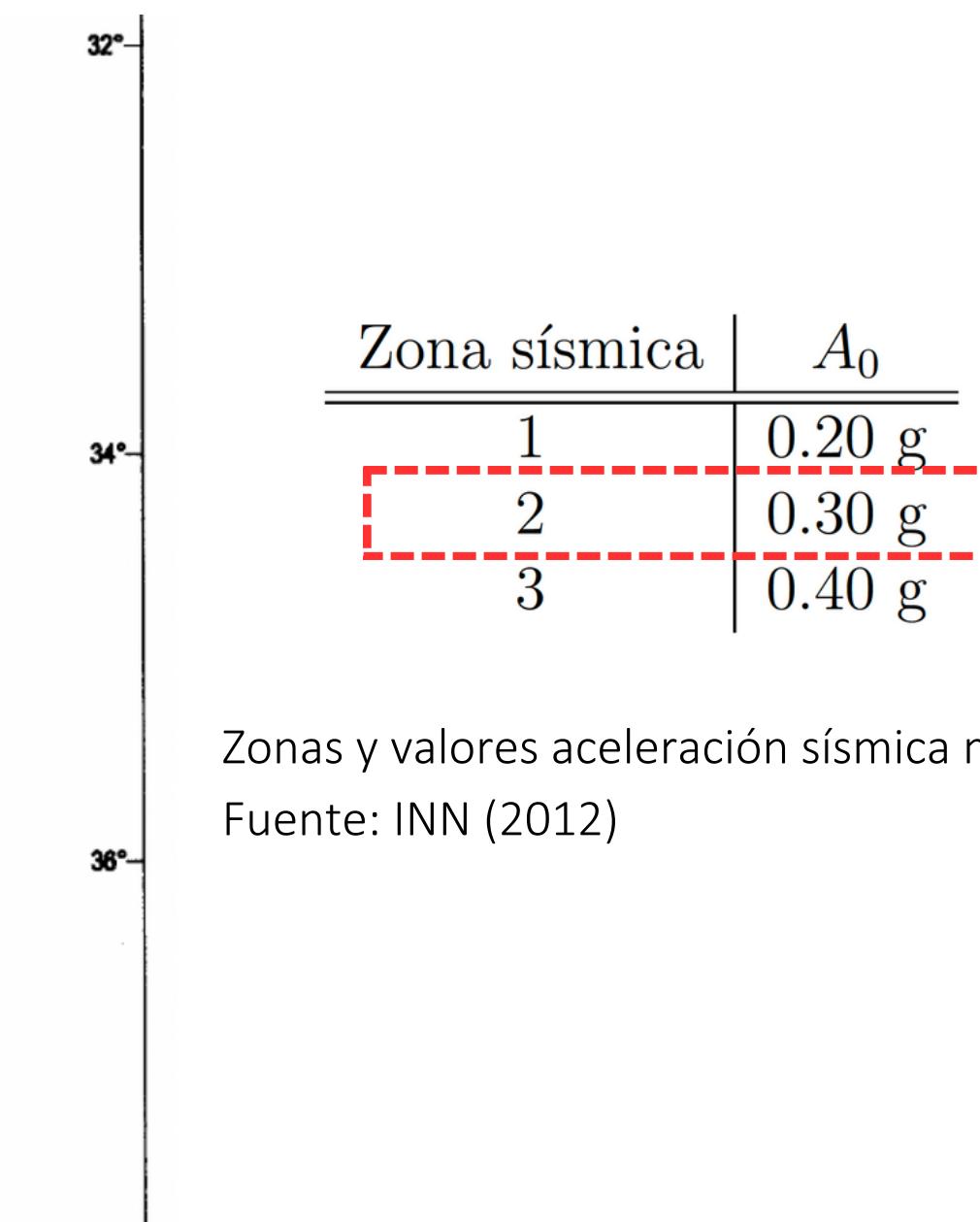
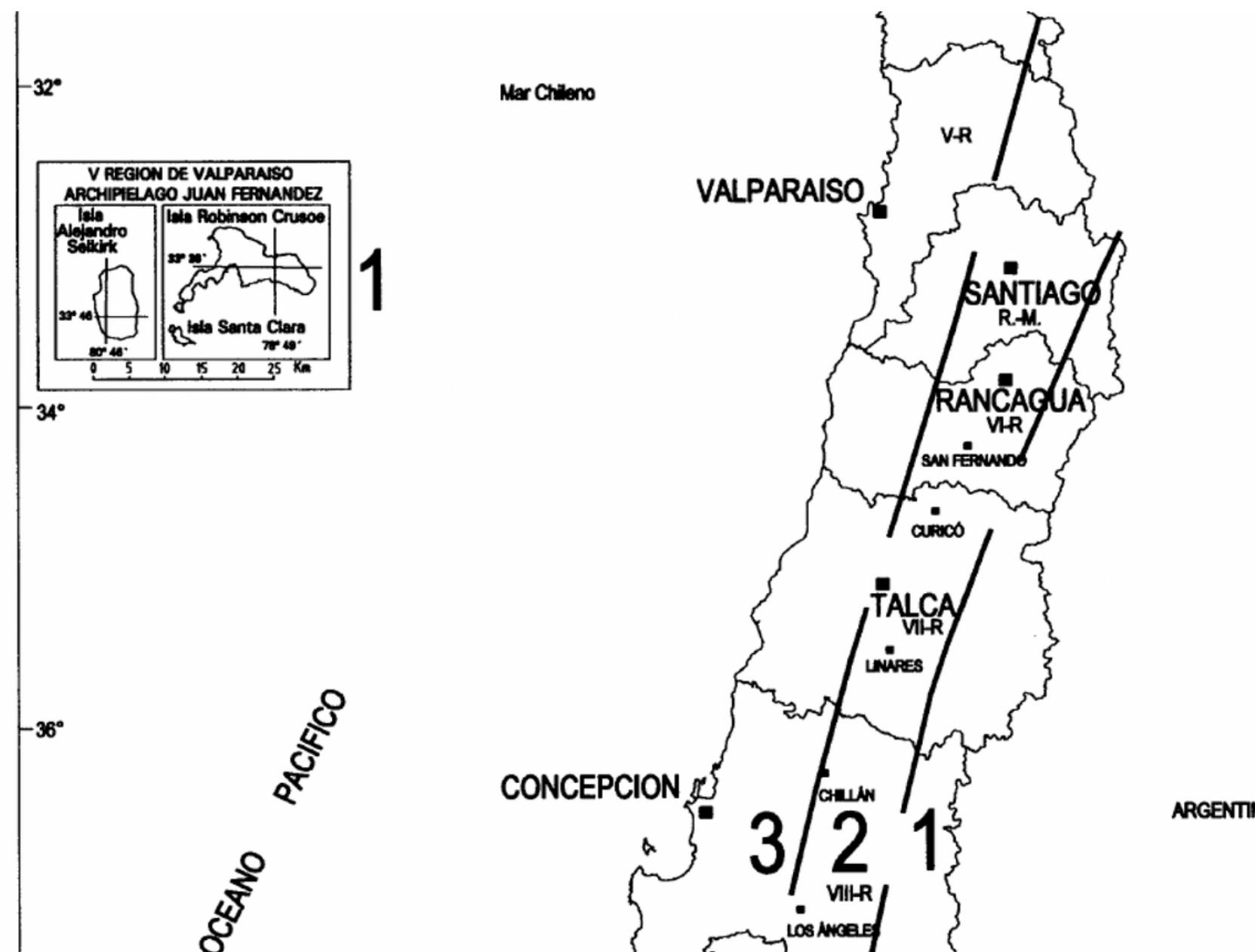
Conceptos clave

- Método UCSB → De todos los parámetros, solo pt_rt es “libre”, el cual representa la razón entre el momento en que ocurre el peak de la función de velocidad y su duración total.
- Otros estudios previos que han simulado aceleraciones de la FSR han logrado valores de aceleraciones máximas de ≈ 0.7 g cerca de la escarpa de la falla, para sismos entre $6.7 < Mw < 7.0$ (Ammirati)

$$pt_{rt} = 0.055 \rightarrow 0.8 \text{ g}$$

Conceptos clave

- ShakerMaker → incorpora método F-K y UCSB → Sismogramas
- Normas NCh433 y NCh2369



Zonas y valores aceleración sísmica máxima
Fuente: INN (2012)

4. METODOLOGÍA

4.1 Simulación de procesos de ruptura

- Implementación del método UCSB

| | | | |
|---|---------|----------|--------|
| 1 | 3 | 2.0 | |
| 2 | 5.50000 | 3.140000 | 2.5000 |
| 3 | 7.00000 | 4.000000 | 2.6700 |
| 4 | 8.00000 | 4.570000 | 2.8000 |

Estructura de velocidades

Fuente: Elaboración propia

| | | | | |
|----|------------|-----------|------------|----------|
| 1 | 8 | 0.01 | 24.0 | |
| 2 | 30.000000 | 16.000000 | | |
| 3 | 15. | 8. | 8. | |
| 4 | 0. | 0. | | |
| 5 | 7.0 | 0.090000 | 3.000000 | 3.000000 |
| 6 | 0.300000 | | | |
| 7 | 358.000000 | 40.000000 | 113.000000 | |
| 8 | 15.000000 | 30.000000 | | |
| 9 | 256 | 128 | | 32.768 |
| 10 | 5 | 5 | 5 | 5 |

Segundo archivo de entrada

Fuente: Elaboración propia

4.1 Simulación de procesos de ruptura

- Configuración inicial de ShakerMaker

```
470 model = shakermaker.ShakerMaker(crust, fault, stations) ←.....  
471 model.run()  
472     dt=dt,  
473     nfft=nfft,  
474     dk=dk,  
475     tb=tb,
```

Modelo de ShakerMaker y variables
Fuente: Elaboración propia

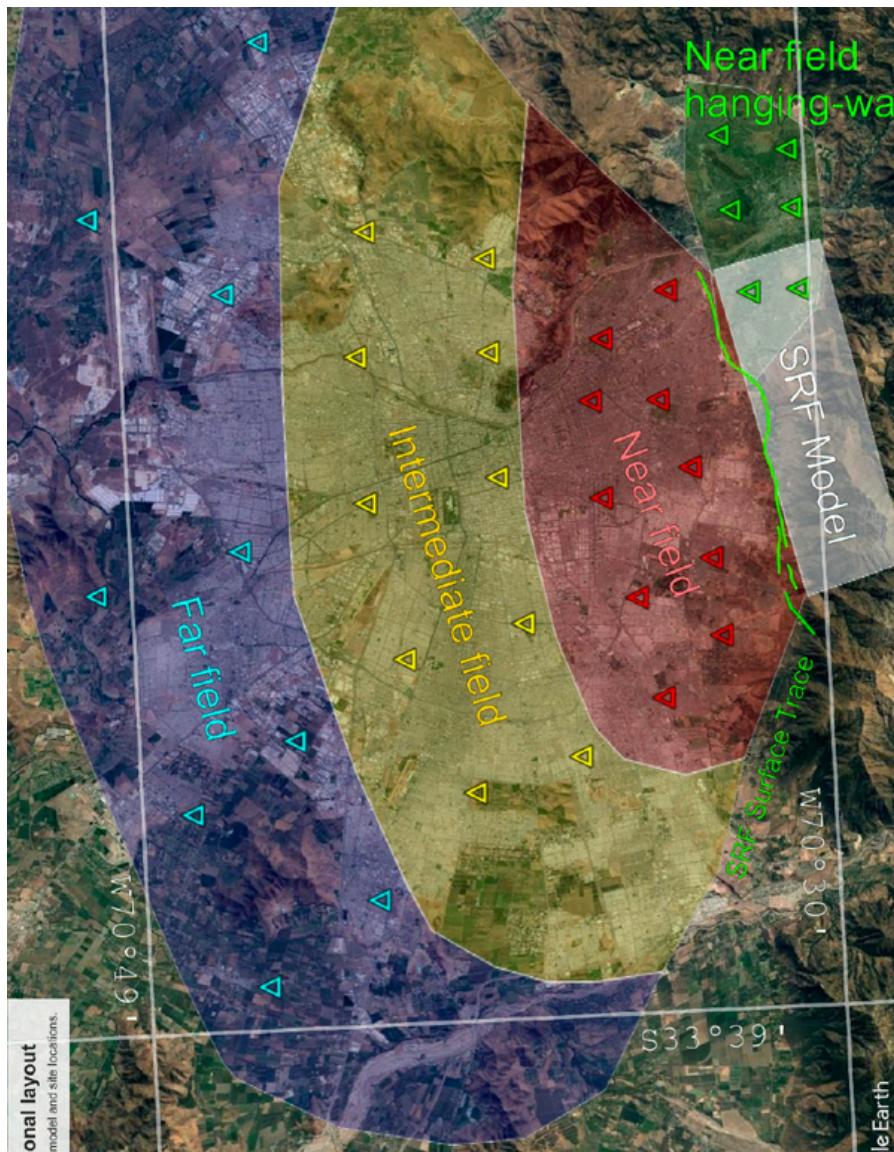
```
242 if corteza_compleja:  
243     crust = CrustModel(3)  
244  
245     vp,vs,rho,thick,Qa,Qb = 2.75, 1.57, 2.5 , 1.0,  
246     crust.add_layer(thick, vp, vs, rho, Qa, Qb)  
247  
248     vp,vs,rho,thick,Qa,Qb = 5.5, 3.14, 2.5000 , 14.5  
249     crust.add_layer(thick, vp, vs, rho, Qa, Qb)  
250  
251     vp,vs,rho,thick,Qa,Qb = 7.0, 4.0, 2.6700 , 0.0,  
252     crust.add_layer(thick, vp, vs, rho, Qa, Qb)
```

Modelo de corteza de ShakerMaker
Fuente: Elaboración propia

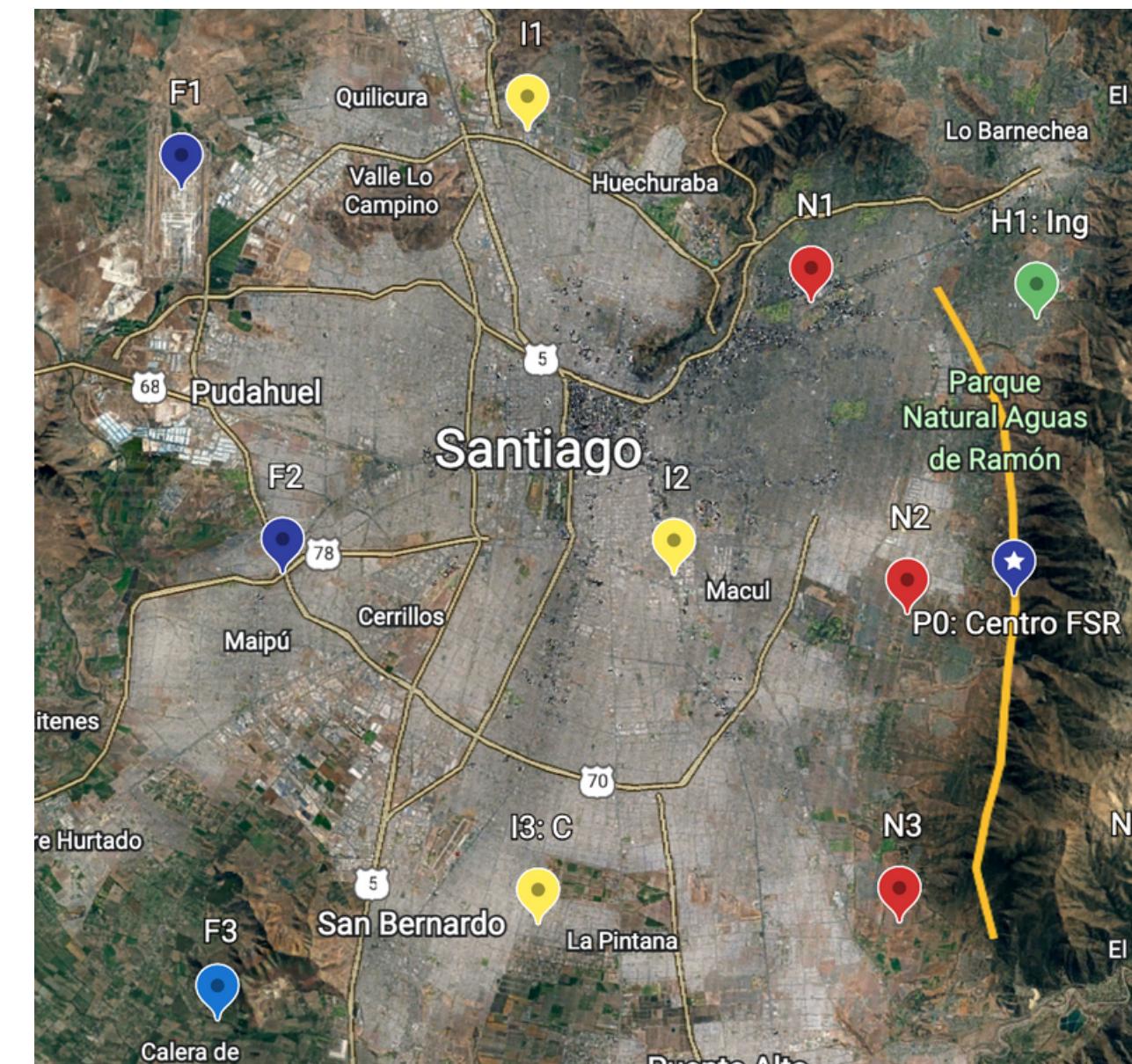
4.1 Simulación de procesos de ruptura

- Sitios escogidos de la FSR

Fuente: Elaboración propia

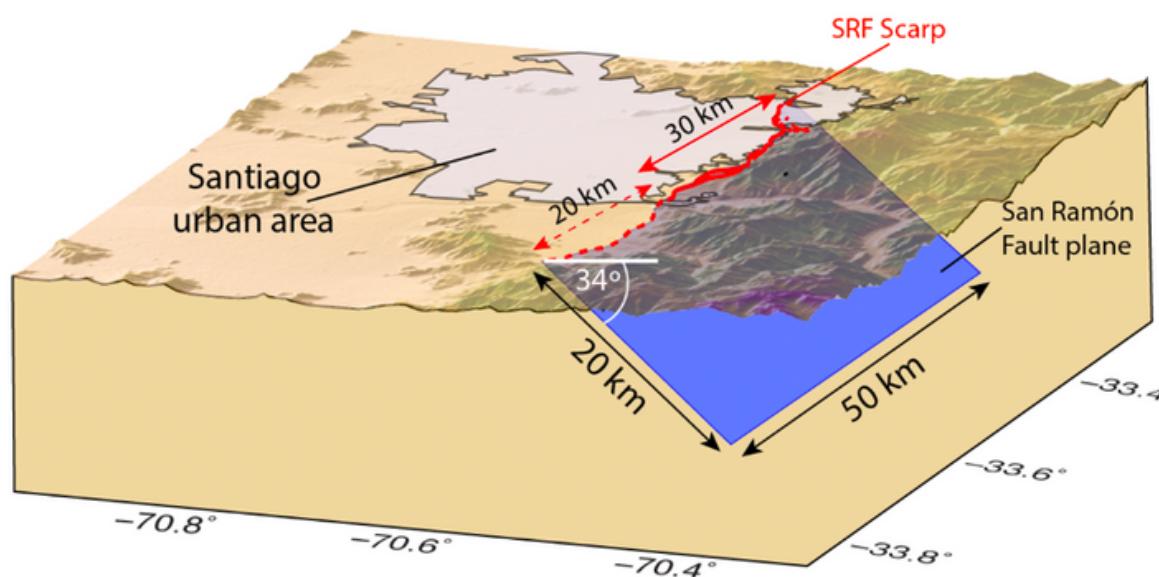


Fuente: Elaboración propia



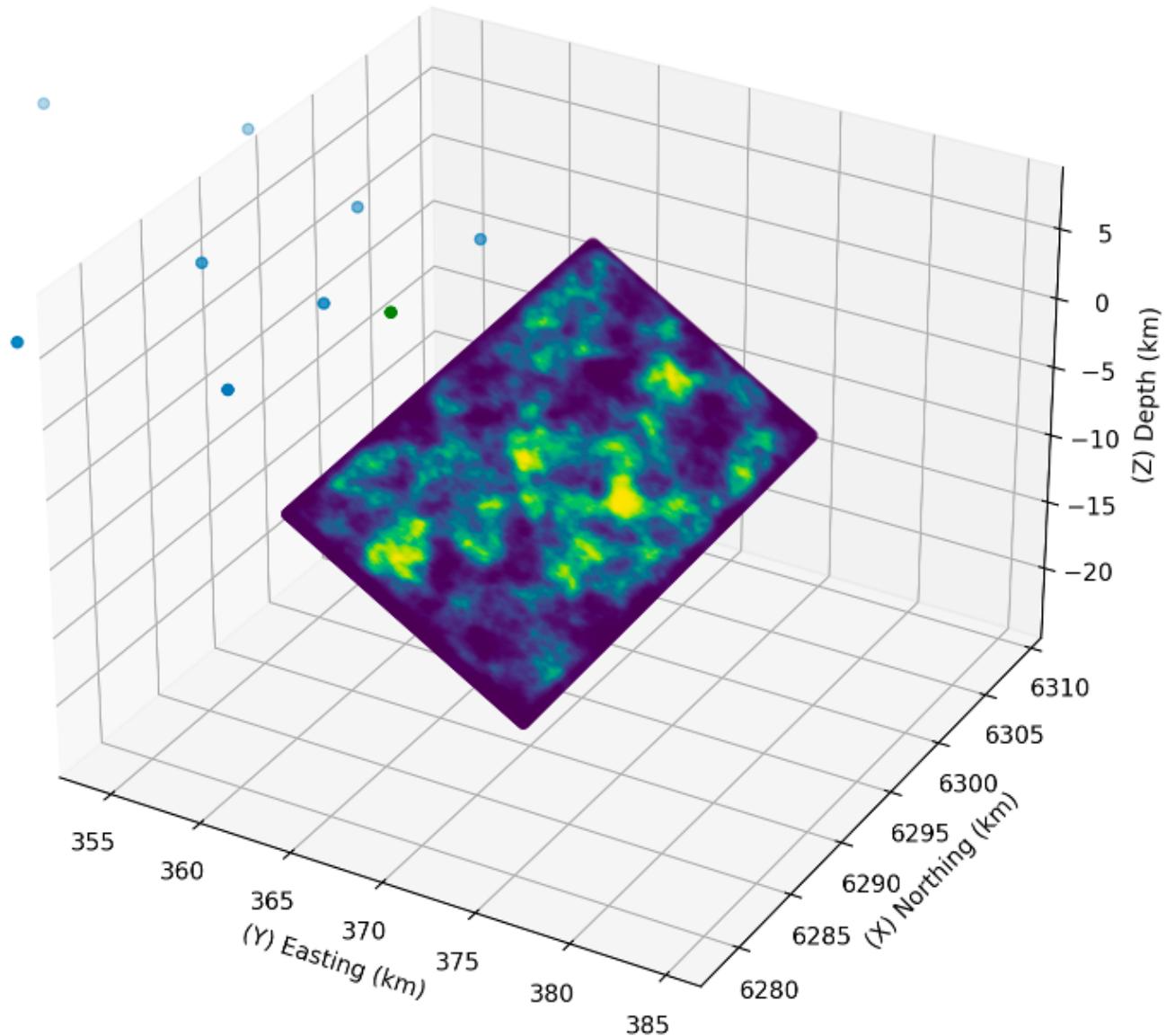
4.1 Simulación de procesos de ruptura

- Visualización del área de la FSR simulada



Falla de San Ramón

Fuente: Ammirati et al. (2019)

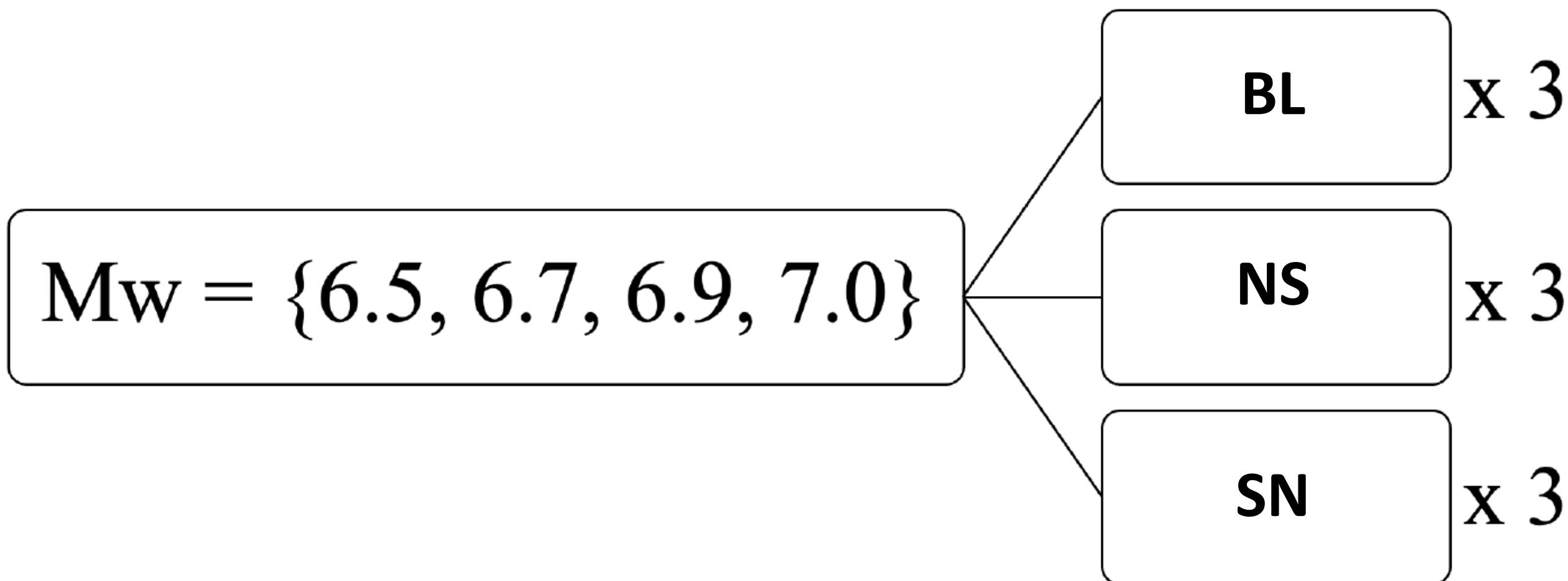


Falla de San Ramón Simulada

Fuente: Elaboración propia

4.2 Simulación de registros sísmicos

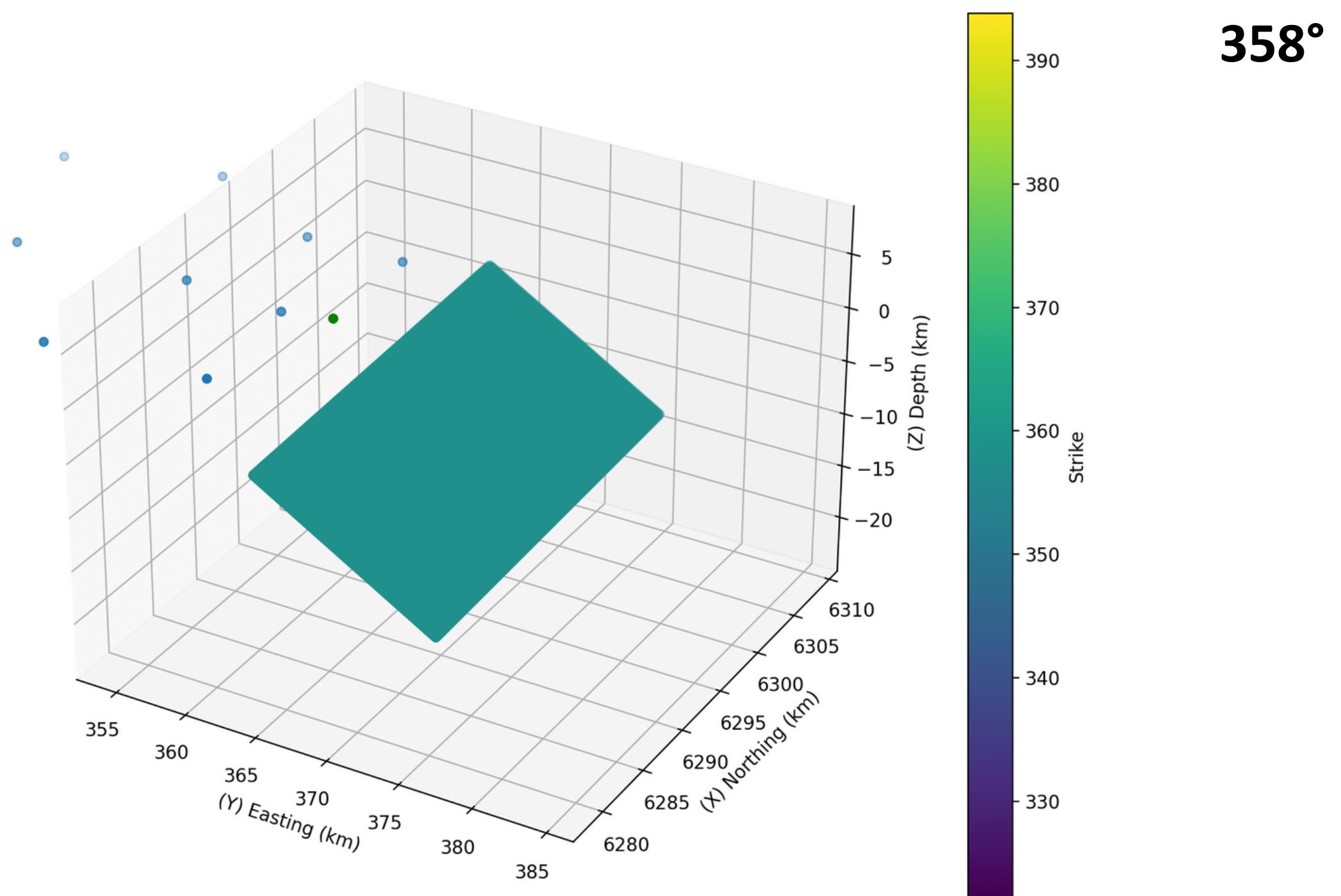
- Resultados iniciales de las realizaciones



4.2 Simulación de registros sísmicos

- Resultados iniciales de las realizaciones

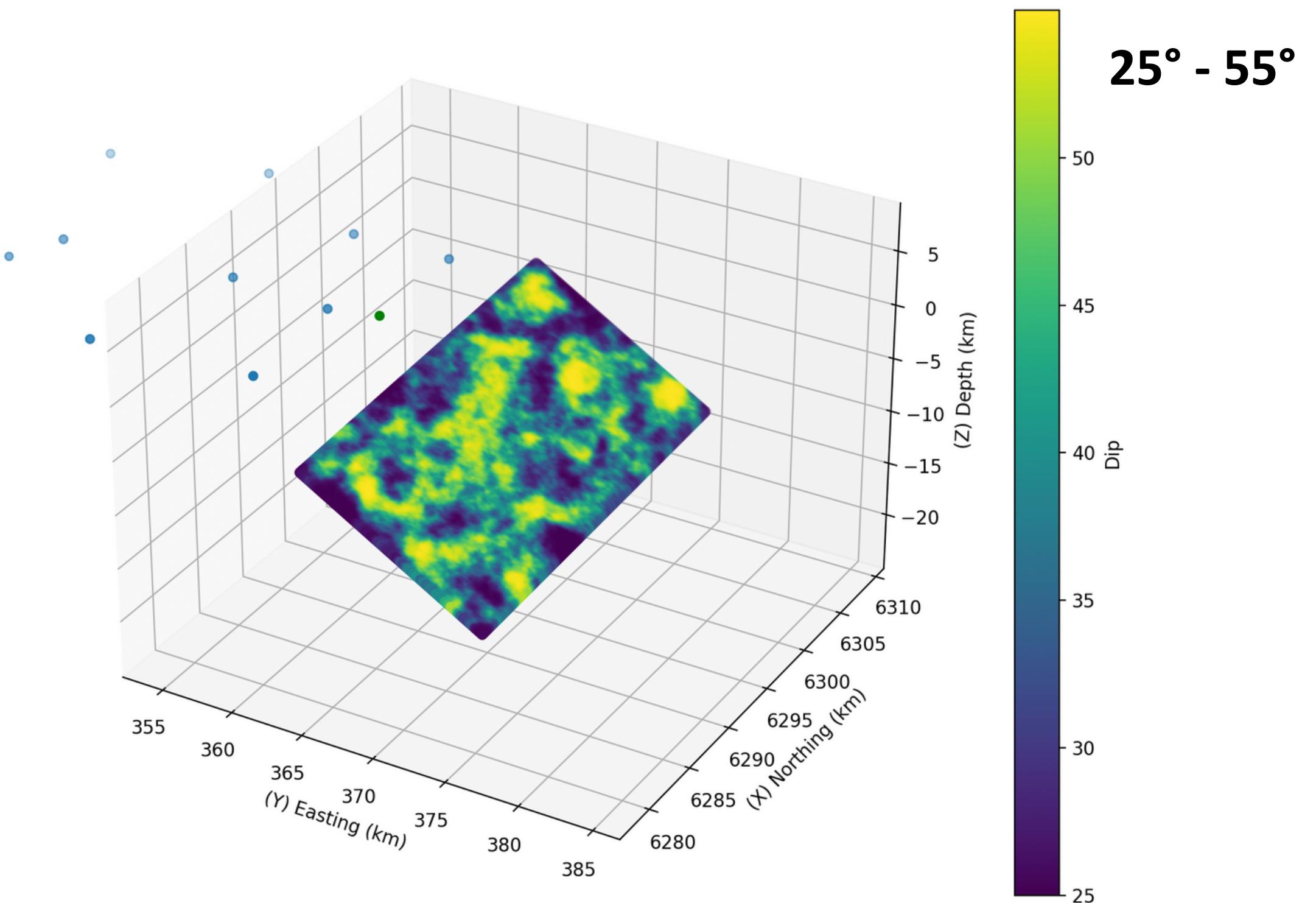
Strike:



4.2 Simulación de registros sísmicos

- Resultados iniciales de las realizaciones

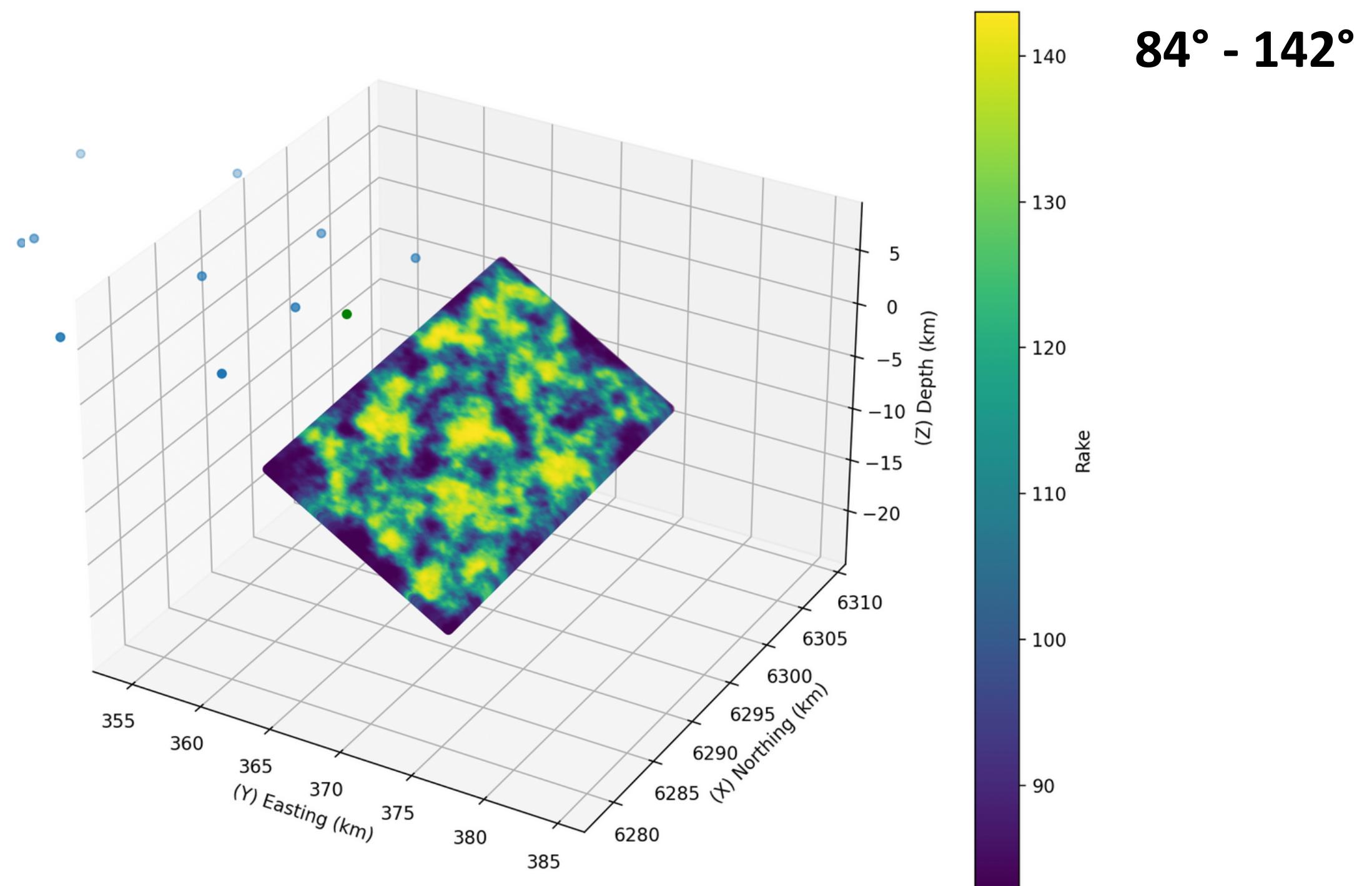
Dip:



4.2 Simulación de registros sísmicos

- Resultados iniciales de las realizaciones

Rake:

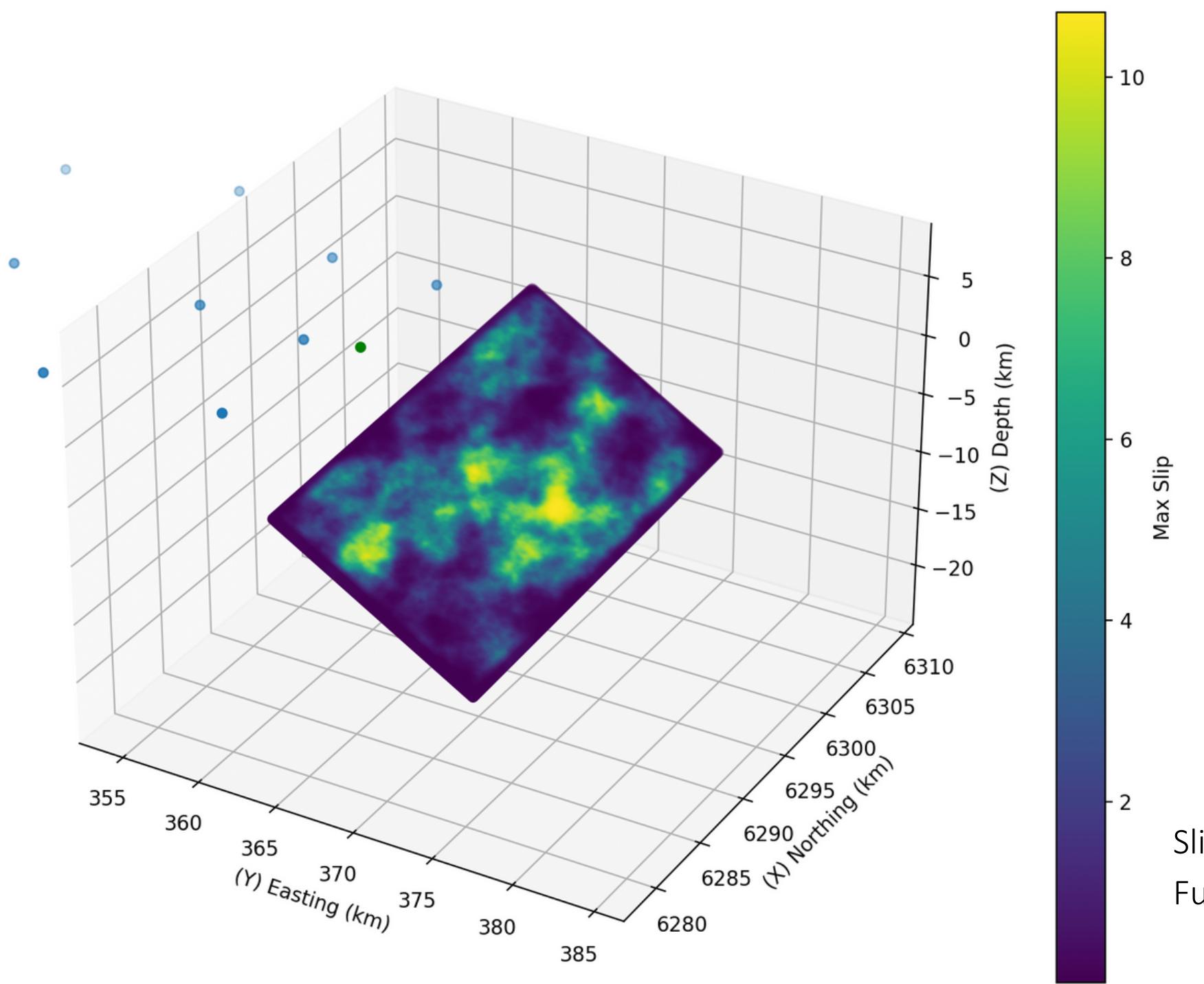


4.2 Simulación de registros sísmicos

- Resultados iniciales de las realizaciones

Slip:

| | |
|---------------|-------------------|
| 6.5 Mw | 0 - 1.8 m |
| 6.7 Mw | 0 - 3.8 m |
| 6.9 Mw | 0 - 7.5 m |
| 7.0 Mw | 0 - 10.6 m |



Slip de un sismo de **7.0 Mw**
Fuente: Elaboración propia

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5. Análisis de resultados

$$\begin{array}{ccc} 9 & \times & 4 \\ \text{Simulaciones} & & \text{Magnitudes} \end{array} = \begin{array}{c} 36 \\ \text{Simulaciones} \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc} 36 & \times & 10 \\ \text{Simulaciones} & & \text{Estaciones} \end{array} = \begin{array}{c} 360 \\ \text{Resultados} \end{array}$$

5. Análisis de resultados

- Clúster virtual

Welcome to



HPC Cluster @ Universidad de los Andes

More info> www.joseabell.com/pages/esmeralda
Administrator> jaabell@uandes.cl

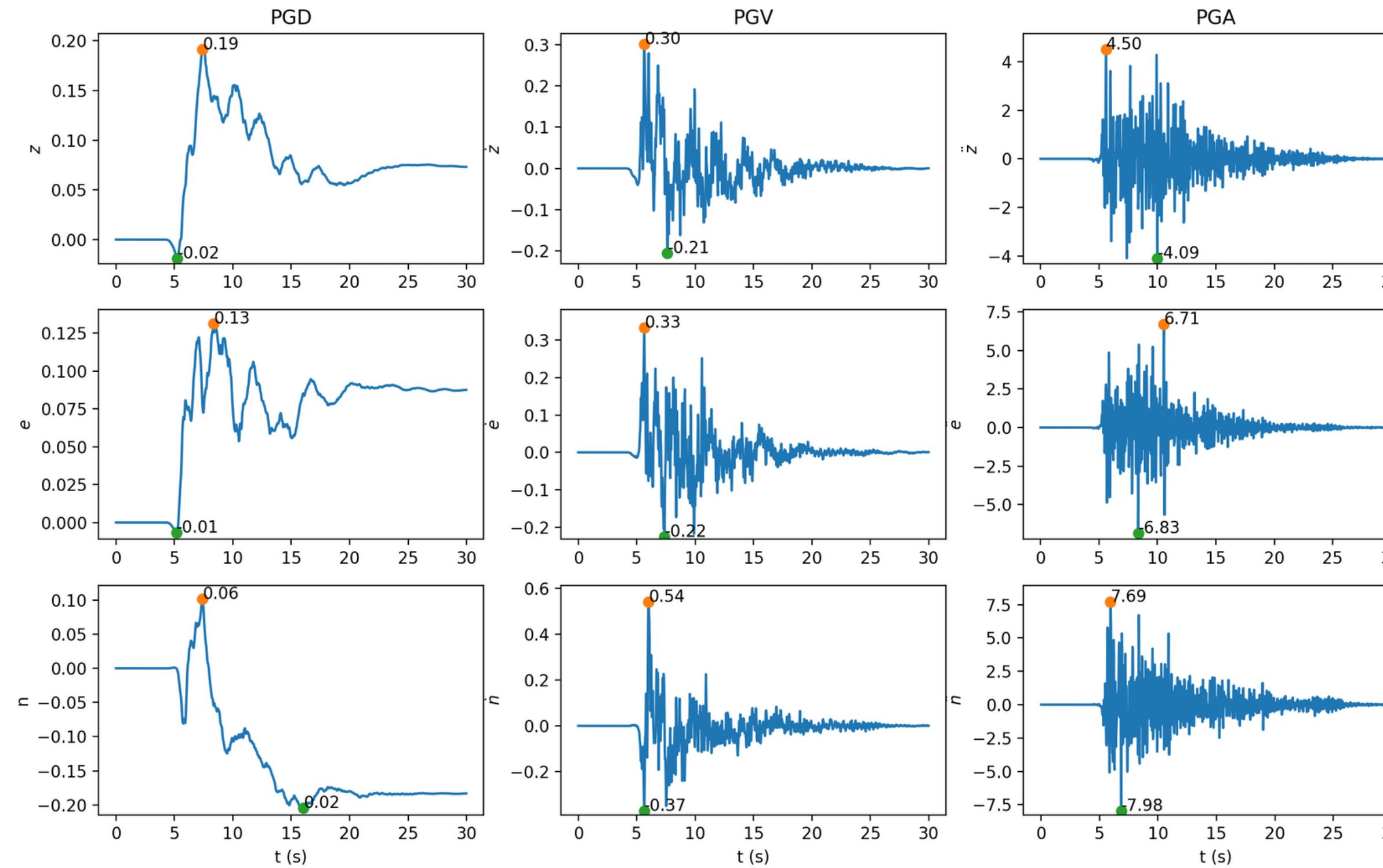
Please acknowledge ANID – Fondecyt project number 11220530 on all research results that have benefitted from the cluster.

Al abordaje muchachos!

- Tiempo de simulaciones

$$36 \times 5 = 180$$

5.1 Valores PGD, PGV y PGA obtenidos



PGD, PGV Y PGA de un sismo **6.5 Mw bilateral**

Fuente: Elaboración propia

5.1 Valores PGD, PGV y PGA obtenidos

| Estación | PGD [m] | PGV [m/s] | PGA [g] | Distancia al centro de la FSR [km] |
|----------|---------|-----------|---------|------------------------------------|
| H1 | 0.19 z | 0.54 n | 0.79 n | 8.5 |
| N1 | 0.23 e | 0.28 n | 0.46 e | 10.9 |
| N2 | 0.32 e | 0.30 n | 0.46 n | 3.3 |
| N3 | 0.20 e | 0.32 n | 0.41 n | 10.6 |
| I1 | 0.14 z | 0.15 n | 0.28 n | 20.7 |
| I2 | 0.13 e | 0.24 n | 0.36 n | 10.4 |
| I3 | 0.04 e | 0.10 n | 0.20 e | 17.7 |
| F1 | 0.08 z | 0.14 n | 0.31 n | 28.5 |
| F2 | 0.05 e | 0.10 n | 0.26 n | 22.5 |
| F3 | 0.04 e | 0.10 e | 0.17 e | 28.6 |

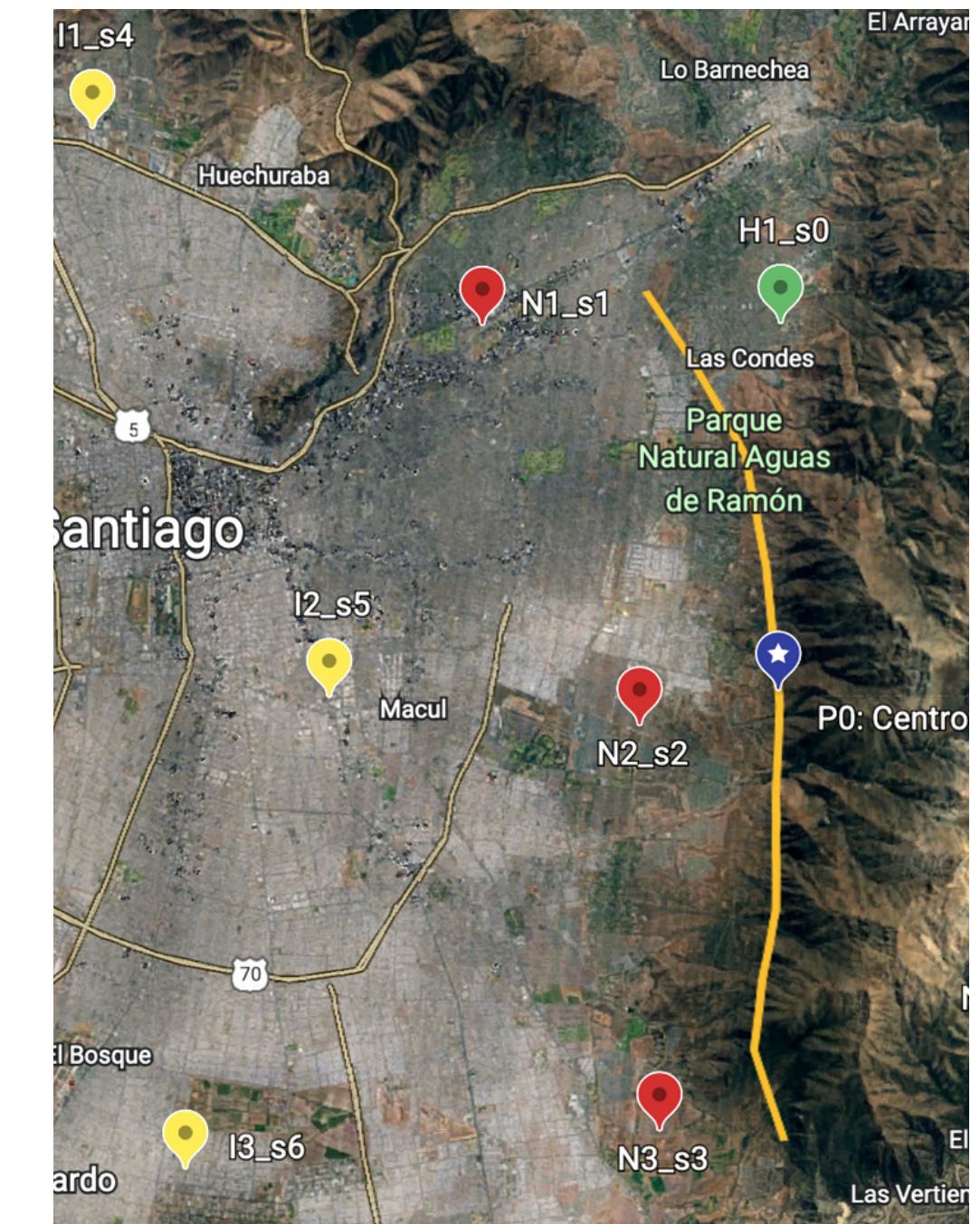
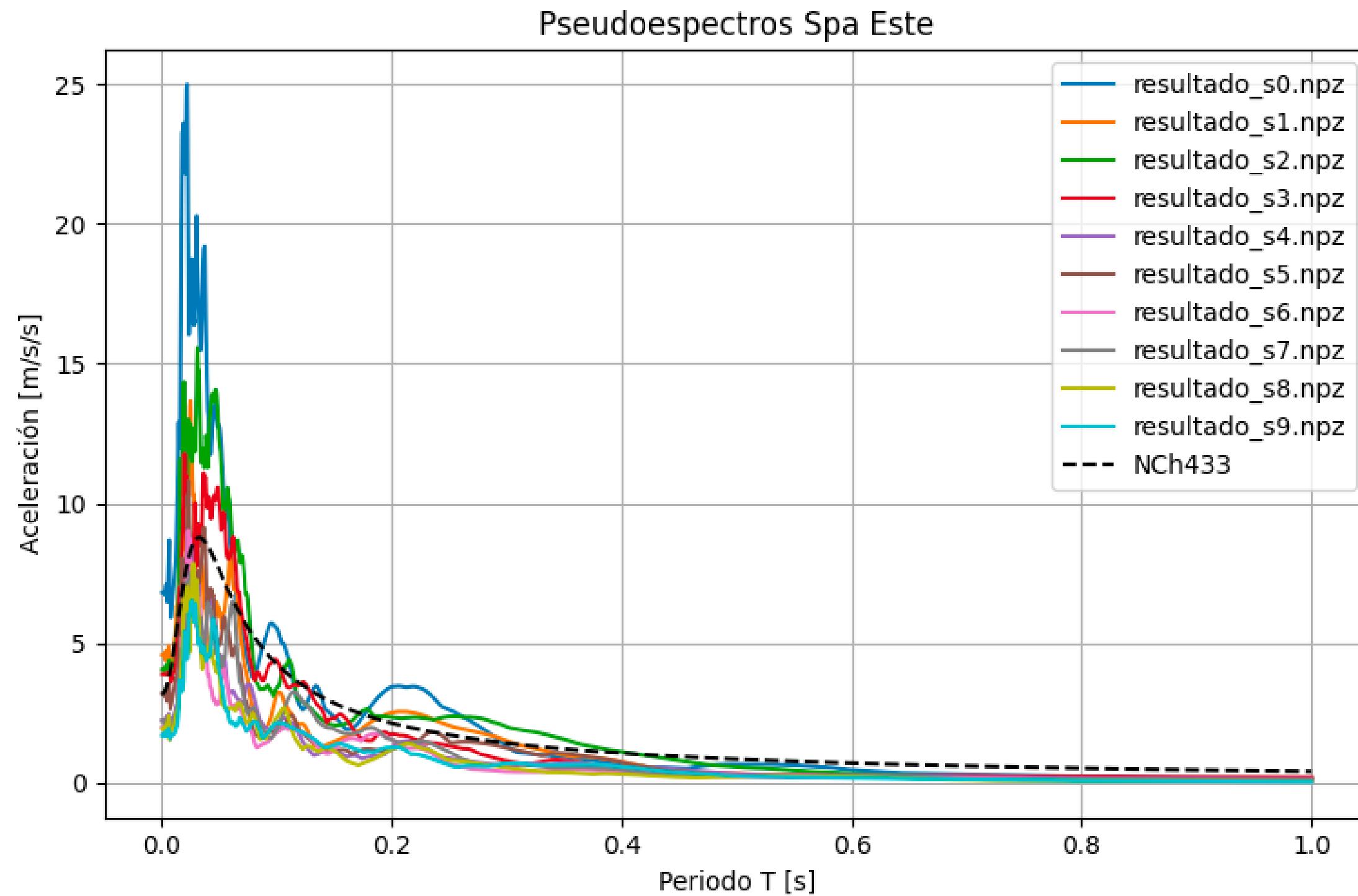
Valores máximos para **Mw = 6.5 BL**

5.1 Valores PGD, PGV y PGA obtenidos

| Estación | PGD [m] | PGV [m/s] | PGA [g] | Distancia al centro de la FSR [km] |
|----------|---------|-----------|---------|------------------------------------|
| H1 | 1.35 z | 1.84 n | 2.14 n | 8.5 |
| N1 | 1.17 e | 0.47 e | 0.58 n | 10.9 |
| N2 | 1.20 e | 0.68 e | 0.98 n | 3.3 |
| N3 | 0.54 z | 0.62 e | 0.86 e | 10.6 |
| I1 | 0.71 e | 0.43 e | 0.56 n | 20.7 |
| I2 | 0.62 e | 0.47 e | 0.62 n | 10.4 |
| I3 | 0.24 e | 0.25 n | 0.40 n | 17.7 |
| F1 | 0.30 e | 0.31 e | 0.42 e | 28.5 |
| F2 | 0.18 e | 0.37 n | 0.35 n | 22.5 |
| F3 | 0.14 z | 0.19 e | 0.27 e | 28.6 |

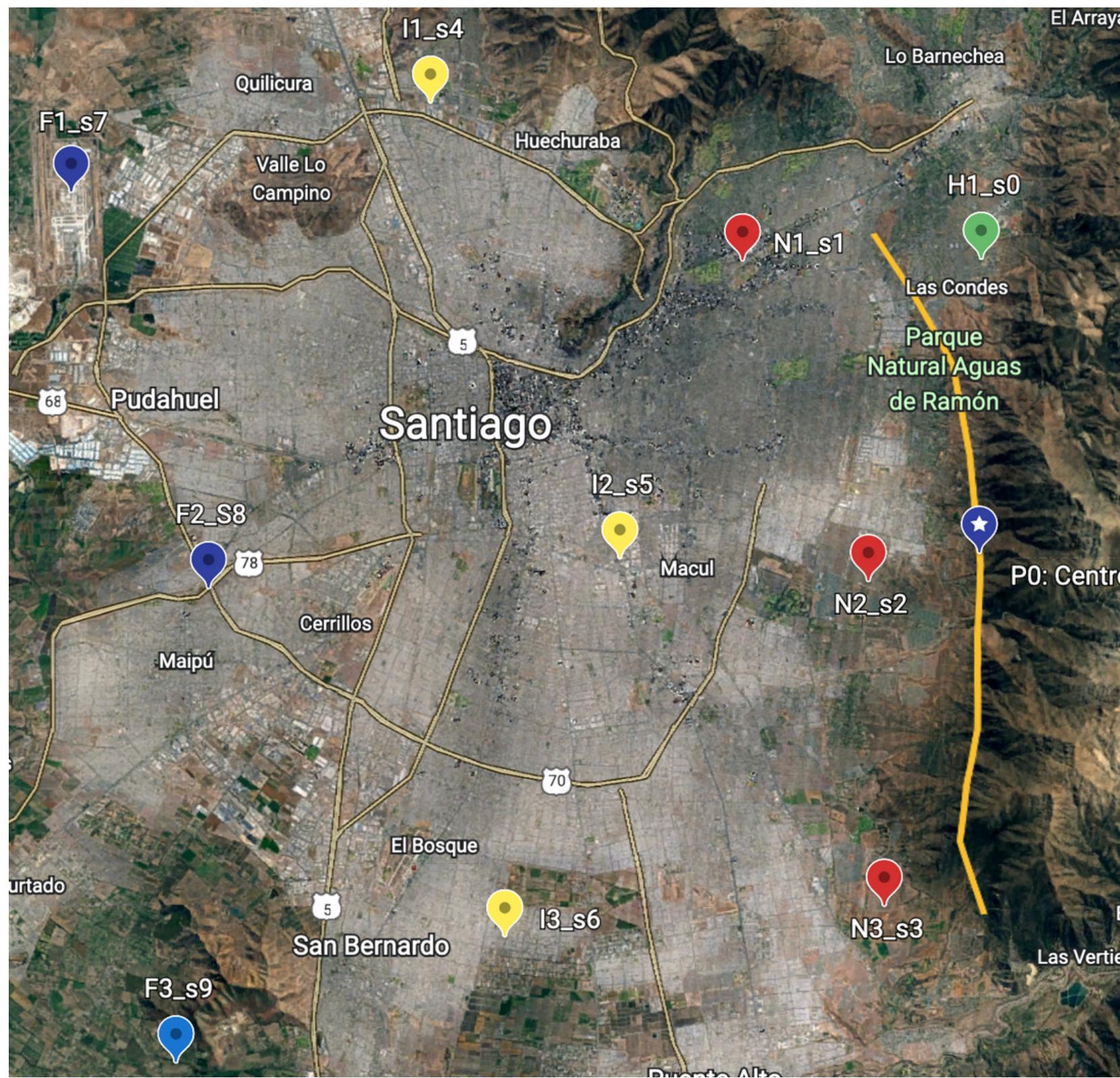
Valores máximos para **Mw = 6.9 SN**

5.2 Pseudeospectros obtenidos



Pseudeospectros dirección **Este** de sismo **6.5 Mw (BL)**

5.2 Pseudeoespectros obtenidos



Fuente: Elaboración propia

6. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

Conclusiones

- Se ha logrado crear un modelo de corteza terrestre complejo de Santiago y se ha obtenido información importante, utilizando 10 sitios de análisis.
- Los resultados del estudio indican que los valores de PGD, PGV y PGA aumentan con la intensidad del sismo, salvo en la zona de hanging-wall.

Conclusiones

- Las **estructuras flexibles** estarían **menos afectadas** por sismos en la zona de la Falla, **como los edificios altos**, mientras que **las rígidas, como edificios bajos**, sentirían intensidades de aceleración por encima de **las normas chilenas**, especialmente en la zona de **hanging-wall**. Esto no ocurriría con los edificios en las **zonas intermedias o lejanas a la falla**, ya que **estarían seguras**, debido a que están **bajo la norma**.

Conclusiones

- Se debe continuar investigando y actualizando las normas de construcción sismorresistentes para garantizar la seguridad en caso de un sismo en la Falla.
- Para finalizar, este estudio ha demostrado la viabilidad de la metodología de postular escenarios sísmicos a través del programa ShakerMaker, lo que puede mejorar la capacidad de predicción de los sismos para la seguridad estructural en la Falla.

Gracias por su atención