



# Tarea N°1

Fundamentos de la geodesia y topografía

Valentina Iturra Rosales  
Profesora Denisse Leal  
Fecha de entrega: 4 de noviembre de 2023  
Concepción, Chile

# 1. Introducción

En este informe se presentará un análisis de la deformación de la zona comprendida entre las latitudes  $30^{\circ}\text{S}$  y  $32^{\circ}\text{S}$  en terreno chileno, en un periodo que abarca desde mediados de 2015 a fines de 2020. Esta zona es llamada “Norte Chico”, entre estas latitudes específicamente se encuentra la mayor parte de la región de Coquímbo la cual alcanza latitudes desde los  $29^{\circ}\text{S}$  a los  $32^{\circ}\text{S}$  aproximadamente. Esta región cuya capital regional es la Serena cuenta con tres provincias, Limarí, Choapa y Elqui [1].

El día 16 de septiembre de 2015 se produjo un terremoto frente a la costa de la ciudad de Illapel, capital de la provincia de Choapa, a 48 km aproximadamente de esta ciudad. Este terremoto cuyo hipocentro se ubicó a  $71.654^{\circ}\text{W}$  y  $31.570^{\circ}\text{S}$ , tuvo una ruptura de 280 km en la interfaz entre la placa de Nazca y Sudamericana [2]. Ocurrió a una profundidad de 25 km y se le asignó una magnitud de momento de 8.4 Mw [3]. La zona “offshore” chilena es una de las mas activas debido a la subducción de las placas anteriormente mencionadas, esta ocurre a una tasa de 6,6 cm/año [3]. El tramo específico que estudiamos en este caso, se mantuvo inactivo desde la ruptura del año 1943 en el terremoto de Ovalle, de una magnitud de 7.9 Mw. Esto quiere decir que la zona estaba altamente bloqueada en la interfaz de placas [2].

Por lo tanto, debido al periodo de estudio comprendido en este estudio, se espera obtener un resultado de deformación postsísmica en la zona de estudio debido al evento telúrico mencionado anteriormente.

## 2. Procedimiento y resultados

### 2.1. Velocidad ITRF borde de placa

Inicialmente se descargaron las estaciones a partir del script “pull\_NEVADA\_mouse\_enu”, que descarga datos de estaciones directamente de la web Nevada Geodetic Laboratory. Se buscaron estaciones entre las latitudes  $30^{\circ}\text{S}$  y  $33^{\circ}\text{S}$  y longitudes entre  $70^{\circ}\text{W}$  y  $72^{\circ}\text{W}$  que abarca territorio Chileno. Con estas condiciones se descargaron datos de 19 estaciones en este territorio, sin embargo luego se procedió a recortar los datos para un periodo entre el 1 de Agosto de 2015 y el 31 de Diciembre de 2020.

De esta filtración de datos se conservaron solo las estaciones representadas en la figura (2.1) correspondientes a las estaciones que midieron las velocidades a los menos dos años de corrido luego la fecha del terremoto de Illapel.

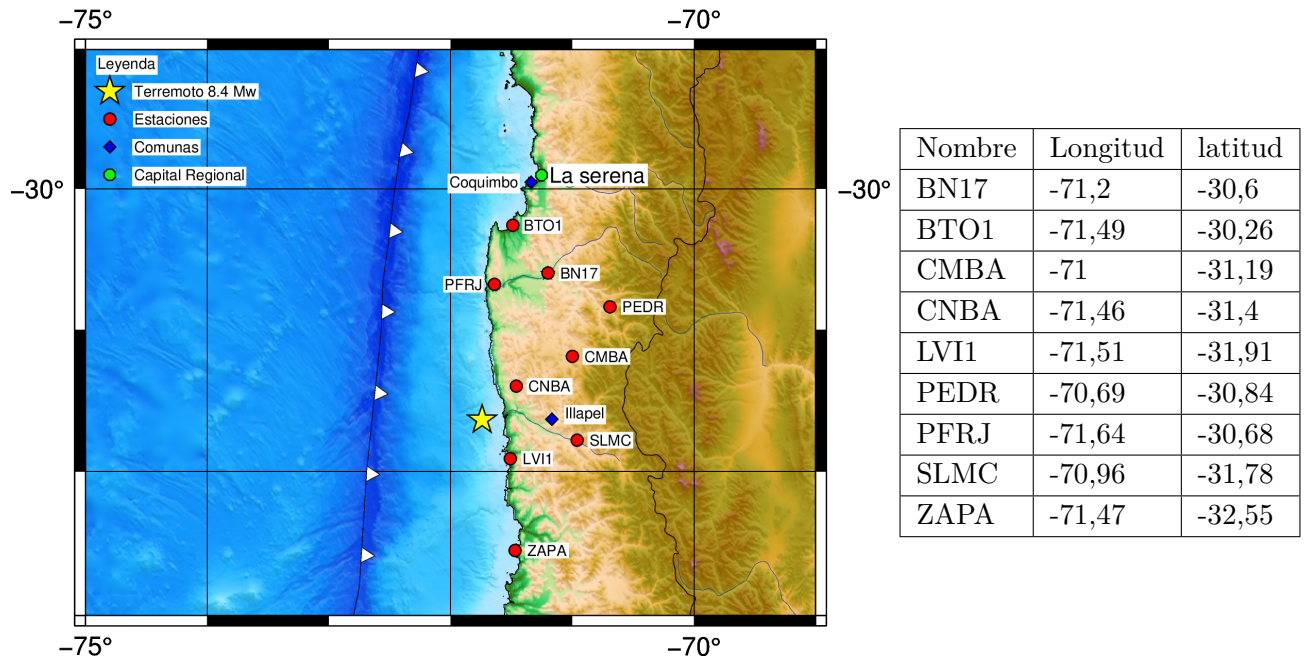


Figura 2.1: A la izquierda: Mapa de la zona estudiada. A la derecha: Tabla con estaciones y sus respectivas coordenadas.

Con estas estaciones se utilizó el modelo de trayectoria que a través de una suma de funciones caracteriza la posición de cada estación en función de tiempo. Con este modelo obtuvimos las velocidades de movimiento en el eje este-oeste (EW), norte-sur (NS) y up-down (UP), además de su respectivo error como se puede ver en la tabla (2.1).

Nombre	Longitud	Latitud	$V_{ew}$	$V_{ns}$	$V_{up}$	$W_{ew}$	$W_{ns}$	$W_{up}$
BN17	-71,2	-30,6	10,425	20,3221	-0,5861	3,4323	2,1209	5,0793
BTO1	-71,49	-30,26	-2,8369	15,5262	1,2424	3,903	1,808	4,1677
CMBA	-71	-31,19	12,38	20,1825	-1,6746	3,5081	1,8691	4,6236
CNBA	-71,46	-31,4	19,3835	22,8942	-0,9438	1,6531	2,0006	5,0571
LVI1	-71,51	-31,91	14,0141	17,7186	-2,3827	2,0225	2,0759	5,6258
PEDR	-70,69	-30,84	7,0733	19,5538	0,5456	3,1705	1,9523	6,5562
PFRJ	-71,64	-30,68	18,8358	14,736	-6,8492	3,426	3,0763	6,1666
SLMC	-70,96	-31,78	5,9647	18,6571	-2,6787	1,6088	1,8075	4,3262
ZAPA	-71,47	-32,55	21,9234	19,0451	-0,0156	2,941	3,0176	12,636

Tabla 2.1: Tabla de resultados obtenidos al aplicar el modelo de trayectoria.

Además, de este modelo se obtuvieron también gráficos de las deformaciones en estas tres componentes para cada estación, sin embargo se hará un análisis de estos para zonas representativas tanto de la costa como del valle, así también de zonas mas alejadas y cercanas al epicentro.

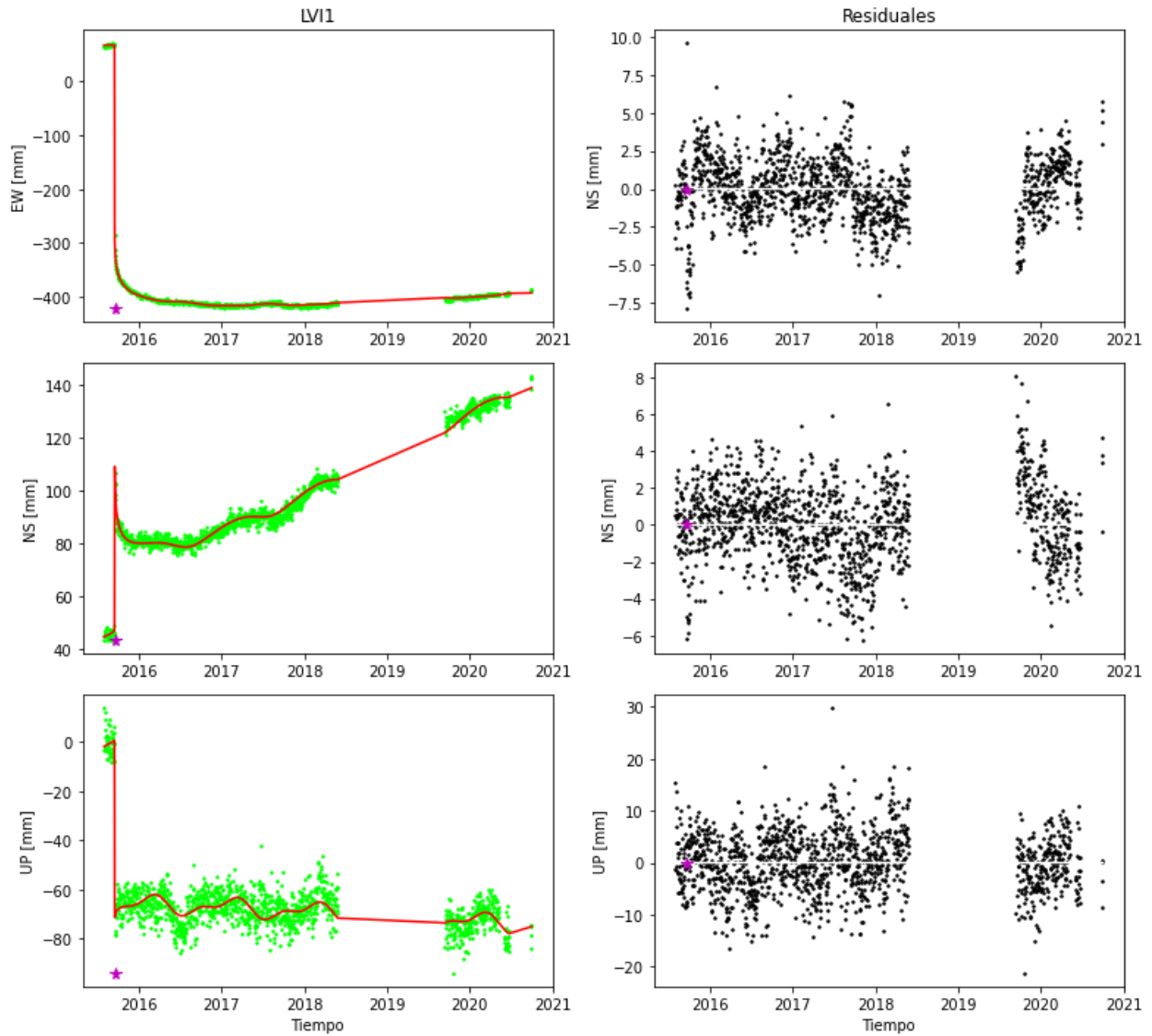


Figura 2.2: Gráfico de deformación estación LVI1.

La estación LVI1 se encuentra en la costa de la región y es una de las mas cercanas al epicentro por el sur, podemos notar en ella que en la componente este-oeste se marca el cosísmico seguido de un postsísmico que duró apenas un año aproximadamente, desde ahí sigue un intersísmico con bajas deformaciones.

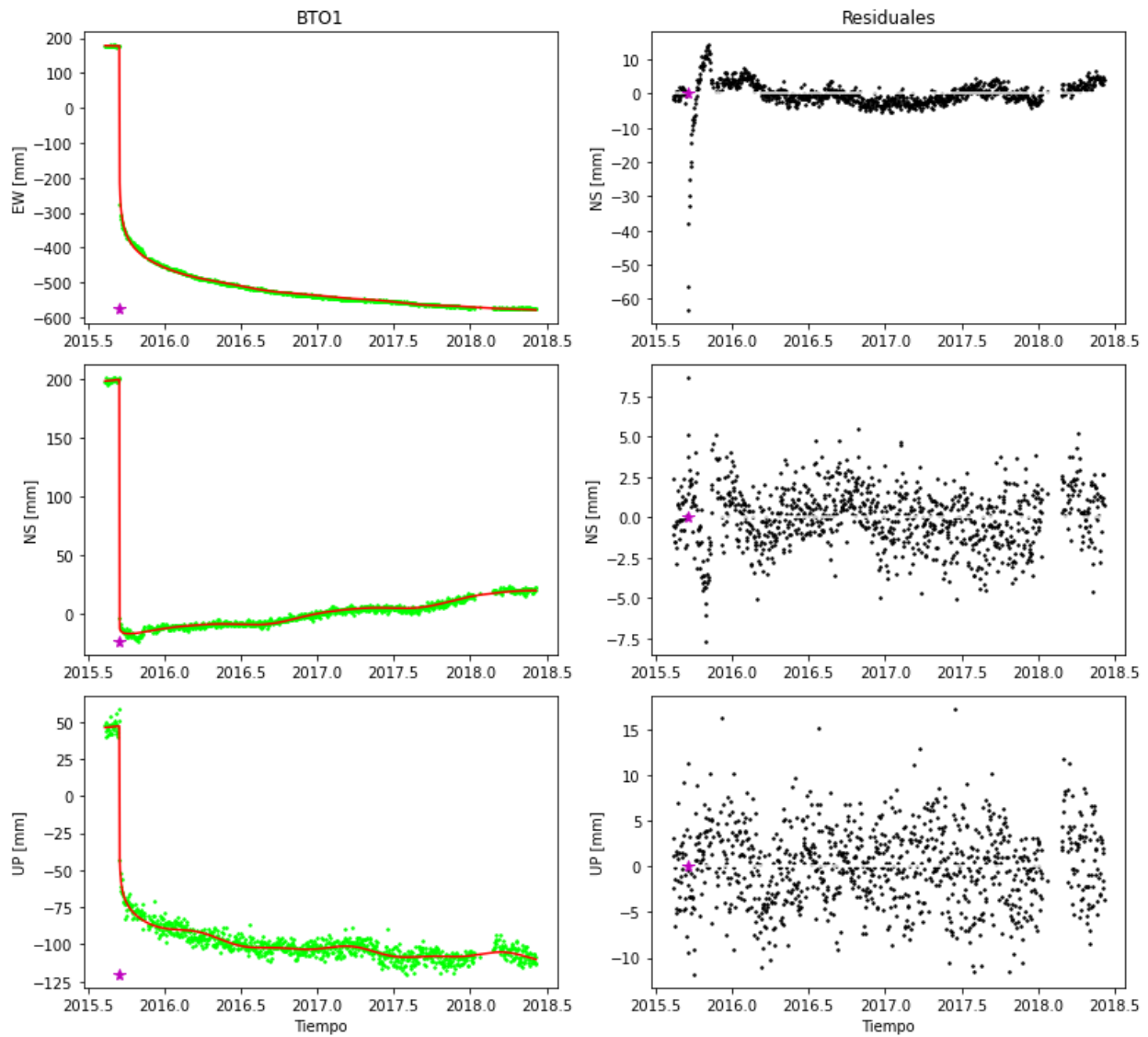


Figura 2.3: Gráfico de deformación estación BTO1.

La estación BTO1 muestra en la componente EW un postsísmico, no hay indicios de la gráfica vuelva a elevarse en un intersísmico. Podemos ver comparado con el gráfico anterior que esta zona donde se encontraba la estación pudo estar mucho mas bloqueado antes del sismo, dado que la deformación en milímetros es mucho mayor.

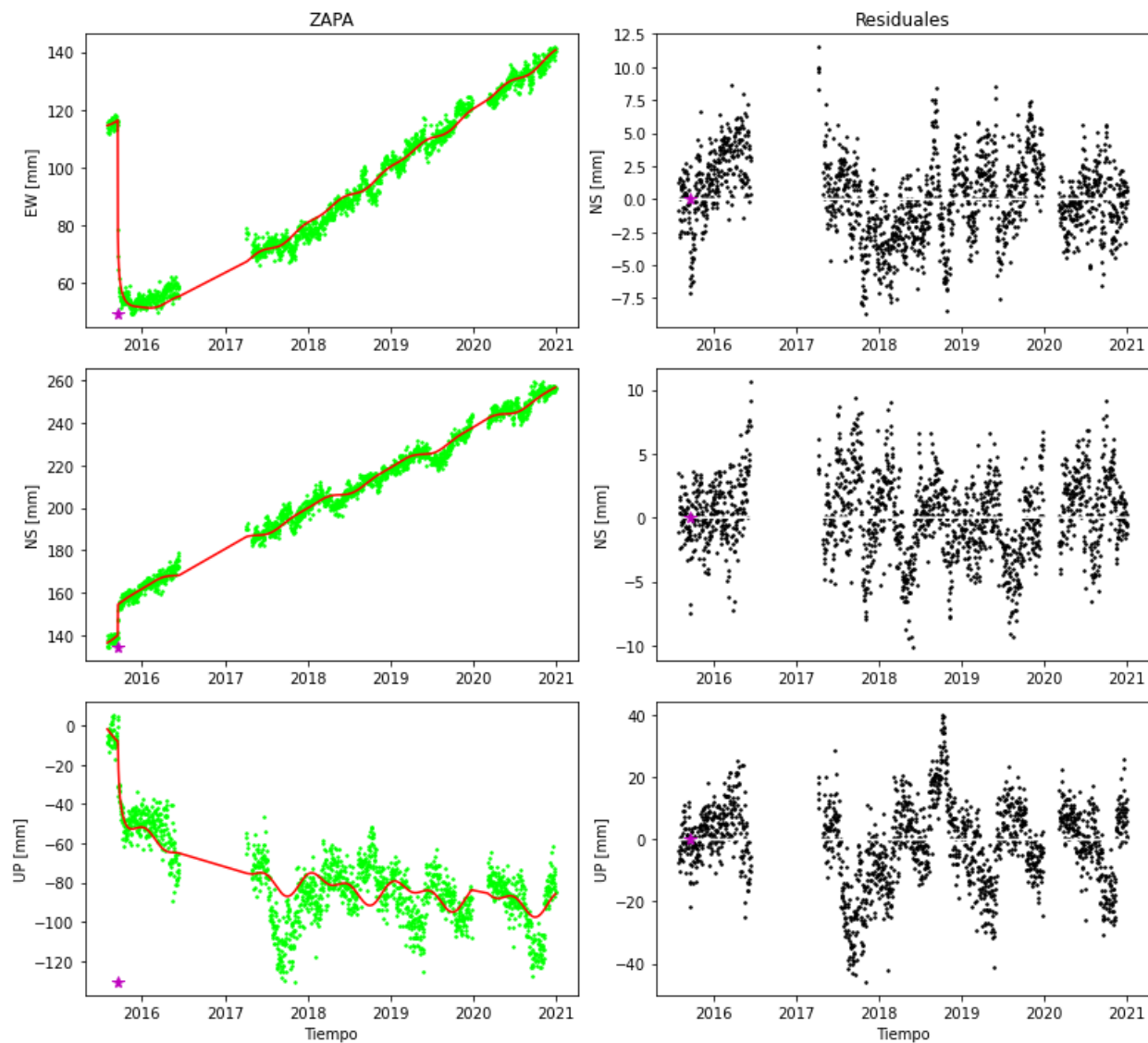


Figura 2.4: Gráfico de deformación estación ZAPA.

La estación ZAPA también se encuentra en la costa pero esta bastante alejada del epicentro, podemos notar que postsísmico duró muy poco en esta zona, 1 año aproximadamente, además la deformación en milímetros fue mucho mas pequeña que las anteriores, lo que podría indicar que esta zona no tenía un grado tan alto de bloqueo. Si bien esta estación tiene falta de datos entre mediados de 2016 y mediados de 2017, que fue una de las características para descartar estaciones, se decidió conservar ésta debido a que grafica bastante bien el postsísmico además de un intersísmico con mucha deformación.

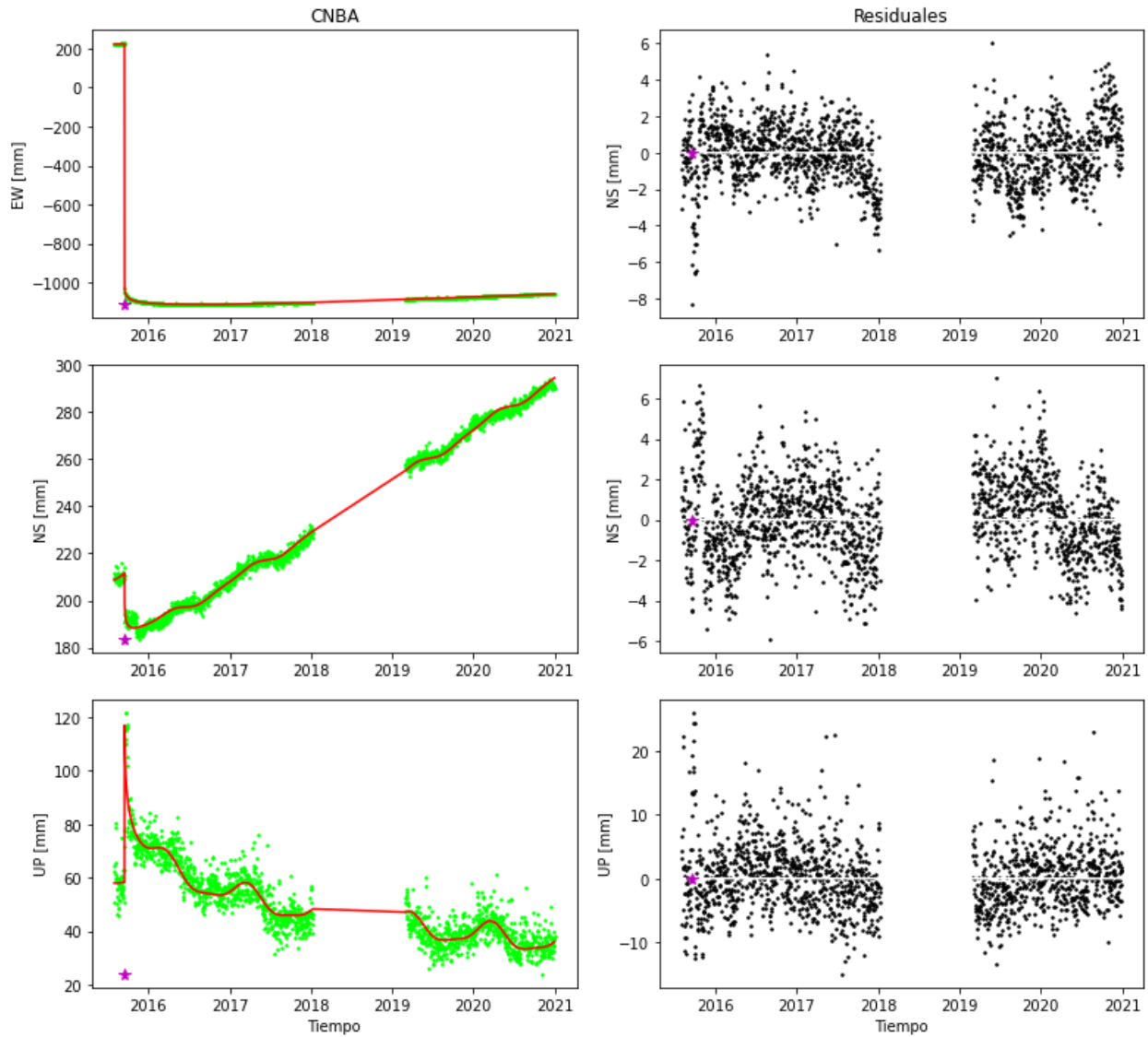


Figura 2.5: Gráfico de deformación estación CNBA.

La estación CNBA se encuentra en la precordillera de la región, se puede notar que el salto en deformación fue muy alto, el mayor visto hasta ahora. Se puede notar en la componente EW que hay un postsísmico bastante marcado hasta el año 2016 aproximadamente, luego de eso comienza a haber una deformación pero casi imperceptible en este gráfico, la razón de esto es que al estar más lejos de epicentro la característica viscoelástica del manto hace que esta zona se mantenga en una deformación postsísmica por un tiempo mas largo que las zonas mas cercanas a la ruptura. Esto se puede notar ya que es el gráfico con la pendiente mas plana comparado con las demás.

## 2.2. Estimación polo de Euler

Para estimar el polo de Euler se utilizaron estaciones de la zona más estable de la placa sudamericana, es decir la parte más alejada de la zona de subducción. En un inicio se descargaron datos de

52 estaciones en esta zona, sin embargo dos de ellas debieron descartarse debido a que presentaban errores de medición.

Luego con estas 50 estaciones se hizo un filtro para el período de estudio, para a continuación estimar las velocidades de todas las estaciones y cada componente mediante el modelo de trayectoria. Siguiendo, se utilizó el método indirecto para poder estimar la ubicación del polo de Euler y la velocidad angular de este a partir de los resultados del modelo de trayectoria aplicado, estos resultados se pueden observar en la tabla (2.2).

Latitud	Longitud	$\bar{\Omega}$
-19.31	-136.56	0.12

Tabla 2.2: Parámetros polo de Euler.

### 2.3. Estimación movimientos relativos

Ya teniendo las coordenadas del polo de Euler y la magnitud de la velocidad angular se puede aplicar el método directo a cada estación para estimar sus velocidades relativas teniendo las coordenadas de cada una de ellas. Con esto obtendremos velocidades que nos indicarán cuanto de la deformación del borde de la placa se relaciona con el movimiento de la ésta, cuyos resultados se muestran en la tabla (2.3).

Nombre	Longitud	Latitud	$V_{ns}$	$V_{ew}$	$V_{up}$
BN17	-71,2	-30,6	11,7398	-1,1535	0
BTO1	-71,49	-30,26	11,7124	-1,1648	0
CMBA	-71	-31,19	11,7586	-1,1032	0
CNBA	-71,46	-31,4	11,7153	-1,0288	0
LVI1	-71,51	-31,91	11,7105	-0,9611	0
PEDR	-70,69	-30,84	11,7873	-1,1781	0
PFRJ	-71,64	-30,68	11,6981	-1,0979	0
SLMC	-70,96	-31,78	11,7623	-1,0363	0
ZAPA	-71,47	-32,55	11,7143	-0,887	0

Tabla 2.3: Resultados de velocidades obtenidos al aplicar el método directo.

### 2.4. Cambio marco de referencia

Finalmente para terminar con el cambio de referencia de ITRF a placa fija se deben restar las velocidades obtenidas en el modelo directo a las velocidades obtenidas en el modelo de trayectoria del borde de la placa. Este procedimiento nos entregará los datos del movimiento que se relaciona únicamente a la deformación causada por la subduccion.



Nombre	Longitud	Latitud	$V_{ew}$	$V_{ns}$	$W_{ew}$	$W_{ns}$
BN17	-71,2	-30,6	11,5785	8,5823	3,4323	2,1209
BTO1	-71,49	-30,26	-1,6721	3,8138	3,903	1,808
CMBA	-71	-31,19	13,4832	8,4239	3,5081	1,8691
CNBA	-71,46	-31,4	20,4123	11,1789	1,6531	2,0006
LVI1	-71,51	-31,91	14,9752	6,0081	2,0225	2,0759
PEDR	-70,69	-30,84	8,2514	7,7665	3,1705	1,9523
PFRJ	-71,64	-30,68	19,9337	3,0379	3,426	3,0763
SLMC	-70,96	-31,78	7,001	6,8948	1,6088	1,8075
ZAPA	-71,47	-32,55	22,8104	7,3308	2,941	3,0176

Tabla 2.4: Resultados del cambio de marco de referencia

Si graficamos los resultados obtenidos dados por la tabla (2.4), obtendremos el siguiente mapa cuyos vectores representan la magnitud, dirección y sentido de la velocidad en cada estación.

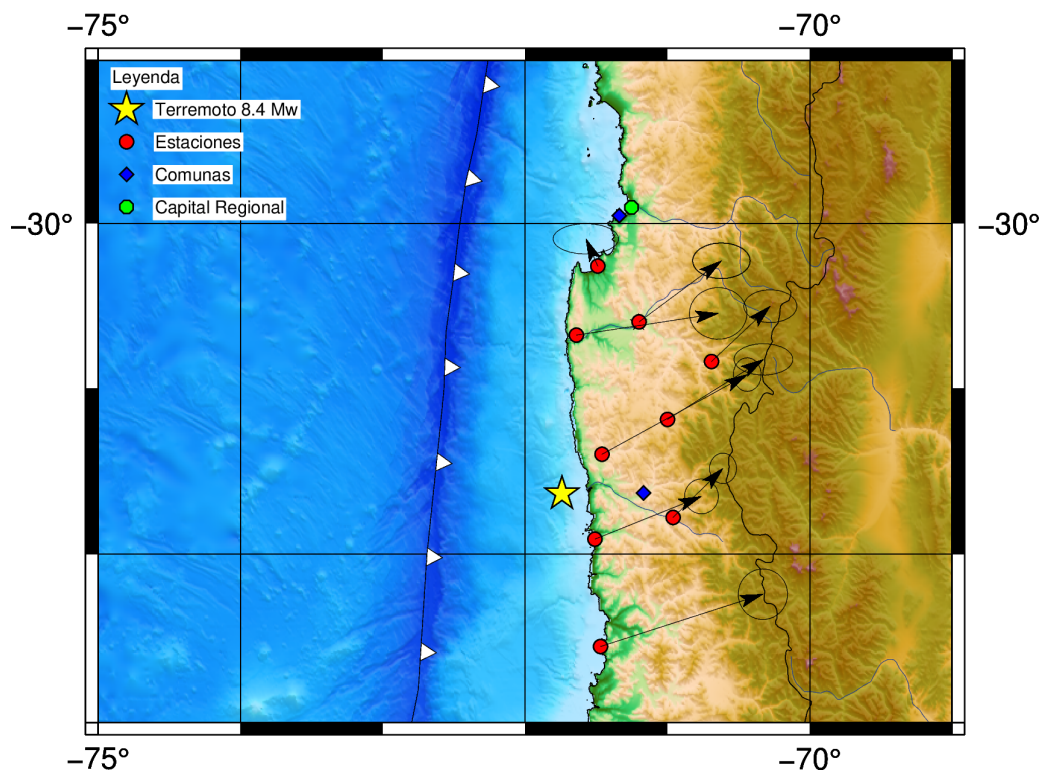


Figura 2.6: Mapa de la zona, incluyendo vectores de velocidad.

### 3. Discusión y conclusión

A partir de la última figura presentada, podemos notar que los vectores de velocidad están apuntando hacia el este, lo que indica que muchas de las zonas se han vuelto a bloquear en una fase intersísmica. Si bien a un inicio esperábamos notar resultados tendiendo hacia el oeste, que representarían la ruptura en la zona, moviéndose en esa dirección por el movimiento acumulado de la placa sudamericana. Sin embargo es importante notar que nuestro período de estudio abarcó hasta 5 años después del deslizamiento por el terremoto, razón por la que en nuestro mapa se demuestra una tendencia hacia el intersísmico. En este último mapa podemos notar también lo comentado anteriormente sobre ciertas estaciones, tales como ZAPA que es una de las que muestra uno de los vectores más grandes en magnitud, dándonos a entender tal como se comentó anteriormente que esa estación tuvo un corto postsísmico y se bloqueó para dar fase a un intersísmico mucho más rápidamente que las demás. Del mismo modo para la estación BTO1, comentamos anteriormente que en la componente EW no parecía mostrar indicios del inicio de un intersísmico, argumento que se puede apoyar al ver la figura (2.6), dado que el vector de velocidad es muy pequeño y aún parece apuntar en una dirección noroeste, podemos decir que aún no se ha generado el suficiente bloqueo para que esa zona pase a un intersísmico o que por otro lado, la zona no está lo suficientemente bloqueada para generar una deformación notoria hacia el este.

## Referencias

- [1] Del Congreso Nacional Siit, B. (s.f.). Región de Coquimbo. bcn.cl.  
<https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region4>
- [2] Rivera Jofre, F., Jünemann, R., Candia, G., Favier, P., Fernández, C., Chacón, M., ... Poulos, A. (2017, January). Reconnaissance observations by Cigiden after the 2015 Illapel, Chile earthquake and tsunami. In Proceedings of the 16th World Conference on Earthquake Engineering. WCEE.
- [3] Heidarzadeh, M., Murotani, S., Satake, K., Ishibe, T., Gusman, A. R. (2016). Source model of the 16 September 2015 Illapel, Chile, Mw 8.4 earthquake based on teleseismic and tsunami data. Geophysical Research Letters, 43(2), 643-650.