



ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

CUANTIFICACIÓN DE LOS DESPLAZAMIENTOS DE ESTACIONES DE
REFERENCIA COMO CONSECUENCIA DE SISMOS Y SU IMPACTO LAS
COORDENADAS GEODÉSICAS EN CHILE (2017-2024)

Línea de investigación:

**Desarrollo urbano-rural, Catastro, Prevención de riesgos, Hidráulica y
geotecnia**

Tesis para optar el Grado Académico de Doctor en Medio Ambiente y
Desarrollo Sostenible

Autor

Espinoza Oscanoa, Domingo Benjamín

Asesora

Esenarro Vargas, Doris

ORCID: 0000-0002-7186-9614

Jurado

Martínez Albán, Pascual Alejandro

Osorio Rojas, Eberardo Antonio

Cesar Minga, Julio

Lima - Perú

2026

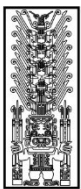
CUANTIFICACION DE LOS DESPLAZAMIENTOS DE ESTACIONES DE REFERENCIA COMO CONSECUENCIA DE SISMOS Y SU IMPACTO LAS COORDENADAS GEODESICAS EN CHILE (2017-2024)

INFORME DE ORIGINALIDAD

12%	12%	1%	2%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net	5%
	Fuente de Internet	
2	www.csn.uchile.cl	2%
	Fuente de Internet	
3	repositorio.conicyt.cl	<1%
	Fuente de Internet	
4	www.dgf.uchile.cl	<1%
	Fuente de Internet	
5	www.dgeo.udec.cl	<1%
	Fuente de Internet	
6	es.wikipedia.org	<1%
	Fuente de Internet	
7	www.memoriachilena.cl	<1%
	Fuente de Internet	
8	repositorio.unfv.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	
9	Submitted to Universidad Internacional SEK	<1%
	Trabajo del estudiante	
10	Submitted to Universidad de Costa Rica	<1%
	Trabajo del estudiante	
11	www.revistaterraaustralis.cl	<1%
	Fuente de Internet	



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

**CUANTIFICACIÓN DE LOS DESPLAZAMIENTOS DE
ESTACIONES DE REFERENCIA COMO CONSECUENCIA DE
SISMOS Y SU IMPACTO LAS COORDENADAS GEODÉSICAS
EN CHILE (2017-2024)**

Línea de investigación:

Desarrollo urbano-rural, Catastro, Prevención de riesgos, Hidráulica y geotecnia

Tesis para optar el Grado Académico de Doctor en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible

Autor

Espinoza Oscanoa, Domingo Benjamín

Asesora

Esenarro Vargas, Doris

ORCID: 0000-0002-7186-9614

Jurado

Martínez Albán, Pascual Alejandro

Osorio Rojas, Eberardo Antonio

Cesar Minga, Julio

Lima – Perú

2026

DEDICATORIA

Dedico el trabajo de investigación a:

DIOS

Por ser creyente en Dios, la fe fortalece espíritu.

MI PAPÁ Y MAMÁ

Los cuales me inculcaron valores, así como la perseverancia que siempre tengo presente. Sus ejemplos de trabajo, dedicación y entrega a la familia llevo presente siempre.

MI SEÑORA

Por sus recomendaciones, ánimo y entendimiento.

MIS HIJOS

Por la animación, satisfacción, estar siempre unidos.

MIS FAMILIARES

En especial a mis hermanos, por sus consejos, recomendaciones, apoyo.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por ser creyente y tener fe espiritual.

A mi familia por condescendencia, bondad y apoyo.

A mi papá y mi mamá, al educarme con valores, perseverancia.

A mi asesora Dra. Doris Esenarro Vargas, por la paciencia, recomendaciones y destacadas cualidades académicas.

A profesores que tuve la oportunidad de participar escuchando sus buenas enseñanzas y ejemplos en los estudios de asignatura del Doctorado, por sus sabidurías y competencias.

A todo el personal de Geoscience Australia, Auspos, Universidad de Chile, de manera especial a colegas del Centro Sismológico Nacional de la Universidad de Chile, a colegas investigadores, por su colaboración y asistencia.

ÍNDICE

RESUMEN.....	xxi
ABSTRACT.....	xxii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Descripción del problema	4
1.3. Formulación del problema	7
1.3.1 <i>Problema general</i>	7
1.3.2 <i>Problemas específicos</i>	7
1.4. Antecedentes	7
1.5. Justificación de la investigación	11
1.5.1 <i>Justificación teórica</i>	12
1.5.2 <i>Justificación práctica</i>	12
1.5.3 <i>Justificación metodológica</i>	13
1.5.4 <i>Justificación social</i>	14
1.5.5 <i>Importancia de la investigación</i>	14
1.6. Limitaciones de la investigación.....	15
1.6.1 <i>Delimitación espacial</i>	16
1.6.2 <i>Delimitación temporal</i>	16
1.7. Objetivos de la investigación	16
1.7.1 <i>Objetivo general</i>	16
1.7.2 <i>Objetivos específicos</i>	16
1.8. Hipótesis	17
1.8.1 <i>Hipótesis general</i>	17
1.8.2 <i>Hipótesis específicas</i>	17
1.8.3 <i>Hipótesis nula</i>	17

II. MARCO TEÓRICO.....	18
2.1. Bases teóricas.....	18
2.2. Marco conceptual.....	25
2.2.1 <i>Distancia epicentral</i>	25
2.2.2 <i>Enjambres sísmicos (swarms)</i>	25
2.2.3 <i>Epicentro</i>	26
2.2.4 <i>Escala de Mercalli modificada</i>	26
2.2.5 <i>Escala de Richter</i>	26
2.2.5 <i>Falla</i>	26
2.2.6 <i>Intensidad</i>	27
2.2.7 <i>Magnitud</i>	27
2.2.8 <i>Magnitud de Momento (Mw)</i>	28
2.2.9 <i>Precursores</i>	29
2.2.10 <i>Réplica</i>	29
2.2.11 <i>Sismo</i>	29
III. MÉTODO.....	31
3.1. Tipo de investigación.....	31
3.2. Población y muestra.....	31
3.2.1 <i>Población</i>	31
3.2.2 <i>Muestra</i>	31
3.3. Operacionalización de variables.....	32
3.4 Instrumentos.....	33
3.4.1 <i>Técnicas de investigación</i>	33
3.4.2 <i>Instrumentos y/o fuentes de recolección de datos</i>	33
3.4.3 <i>Validación de los instrumentos</i>	34
3.5. Procedimientos.....	34
3.6. Análisis de datos	35

IV. RESULTADOS.....	36
4.1. Análisis e interpretación de resultados.....	36
4.1.1. <i>Diagnóstico del proceso</i>	36
4.1.1.1. Sismo del 19.07.2024.....	36
A. Desplazamientos temporales en estación CBAA	39
B. Desplazamientos temporales en la estación SRGD	50
C. Desplazamientos temporales en la estación CRIS.....	63
D. Desplazamientos temporales en estación CDLC.....	75
E. Desplazamientos temporales en estación CJNT.....	87
F. Comparación desplazamientos estaciones próximo al sismo 19.07.2024, periodo 2017-2024.....	100
4.1.1.2 Sismo del 24.04.2017.....	102
A. Desplazamientos temporales en estación QTAY.	104
B. Desplazamientos temporales en estación TRPD.	117
C. Desplazamientos temporales en estación ROB1.	130
D. Desplazamientos temporales en estación CTPC.....	142
E. Comparación desplazamientos estaciones próximo al sismo 19.07.2024, periodo 2017-2024.....	155
4.2. Comparaciones.....	157
4.2.1. Comparaciones de desplazamiento horizontales en 8 años	157
4.2.2. Comparaciones de desplazamientos verticales en 8 años.....	158
4.2.3. Comparaciones de desplazamientos horizontales día previo y posterior a ocurrencia sismos.....	160
4.2.4. Comparaciones de desplazamientos verticales día previo y posterior a ocurrencia sismos.....	162
4.2.5 Comparación adicional referencial de desplazamientos horizontales de estaciones ubicadas en el Sur de Chile, próximas a zona de encuentro entre la Placa Sudamericana (PTAR) y Placa Scotia (PWIL).....	163

4.3. Contratación de la hipótesis.....	179
4.3.1 Contratación de la hipótesis estación QTAY.....	179
4.3.1.1. Componente Latitud.....	179
4.3.1.2. Componente Longitud estación QTAY.....	181
4.3.1.3. Componente Altura Elipsoidal estación QTAY.....	183
4.3.2. Contratación de la hipótesis estación CTPC.....	185
4.3.2.1. Componente Latitud.....	185
4.3.2.2. Componente Longitud estación CTPC.....	187
4.3.2.3. Componente Altura Elipsoidal estación CTPC.....	189
4.3.3. Contratación de la hipótesis estación ROB1.....	191
4.3.3.1. Componente Latitud estación ROBI.....	191
4.3.3.2. Componente Longitud estación ROB1.....	193
4.3.3.3. Componente Altura Elipsoidal estación ROB1.....	195
4.3.4. Contratación de la hipótesis estación TRPD.....	197
4.3.4.1. Componente Latitud estación TRPD.....	197
4.3.4.2. Componente Longitud estación TRPD.....	199
4.3.4.3. Componente Altura Elipsoidal estación TRPD.....	201
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	204
5.1 Análisis e interpretación de resultados.....	204
VI. CONCLUSIONES.....	208
VII. RECOMENDACIONES	213
VIII. REFERENCIAS	217
IX. ANEXOS	233

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Matriz operacionalización de variables.....	32
Tabla 2	Distancias elipsoidales calculadas desde el epicentro del sismo 19.07.2024, a estaciones.	39
Tabla 3	Distancias elipsoidales calculadas desde el epicentro del sismo ocurrido el 24.04.2017, a estaciones.	104
Tabla 4	Desplazamientos horizontales temporales periodo 2017-2024, en estaciones próximas al sismo del 24.04.2017.....	157
Tabla 5	Desplazamientos horizontales temporales periodo 2017-2024, en estaciones próximas al sismo del 19.07.2024.....	157
Tabla 6	Desplazamientos verticales temporales periodo 2017-2024, en estaciones próximas al sismo del 24.04.2017.	158
Tabla 7	Desplazamientos verticales temporales periodo 2017-2024, en estaciones próximas al sismo del 19.07.2024.	159
Tabla 8	Desplazamientos horizontales temporales periodo 18.07.2024 – 20.07.2024, en estaciones próximas al sismo del 19.07.2024.	160
Tabla 9	Desplazamientos horizontales temporales periodo 23.04.2017 – 25.04.2017, en estaciones próximas al sismo del 24.07.2017.	161
Tabla 10	Desplazamientos verticales temporales periodo 18.07.2024 – 20.07.2024, en estaciones próximas al sismo del 19.07.2024.	162
Tabla 11	Desplazamientos verticales temporales periodo 23.04.2017 – 25.04.2017, en estaciones próximas al sismo del 24.04.2017.	163
Tabla 12	Desplazamientos horizontales temporales periodo 2017-2024, en estaciones PTAR y PWIL.....	177
Tabla 13	Desplazamientos verticales temporales periodo 2017-2024, en estaciones PTAR y PWIL.....	179

Tabla 14	Desplazamientos horizontales temporales (metros) periodo 22.04.2017 – 27.04.2017, y variación en la componente Latitud (segundos), en estación QTAY, ubicado próximo al sismo del 24.07.2017.....	180
Tabla 15	Desplazamientos horizontales temporales (metros) periodo 22.04.2017 – 27.04.2017, y variación en la componente Longitud (segundos), en estación QTAY, ubicado próximo al sismo del 24.07.2017.....	182
Tabla 16	Desplazamientos verticales temporales (metros) periodo 22.04.2017 – 27.04.2017, y variación en la componente Altura Elipsoidal (metros), en estación QTAY, ubicado próximo al sismo del 24.07.2017.....	184
Tabla 17	Desplazamientos horizontales temporales (metros) periodo 22.04.2017 – 27.04.2017, y variación en la componente Latitud (segundos), en estación CTPC, ubicado próximo al sismo del 24.07.2017.....	186
Tabla 18	Desplazamientos horizontales temporales (metros) periodo 22.04.2017 – 27.04.2017, y variación en la componente Longitud (segundos), en estación CTPC, ubicado próximo al sismo del 24.07.2017.....	188
Tabla 19	Desplazamientos verticales temporales (metros) periodo 22.04.2017 – 27.04.2017, y variación en la componente Altura Elipsoidal (metros), en estación CTPC, ubicado próximo al sismo del 24.07.2017.....	190
Tabla 20	Desplazamientos horizontales temporales (metros) periodo 22.04.2017 – 27.04.2017, y variación en la componente Latitud (segundos), en estación ROB1, ubicado próximo al sismo del 24.07.2017.....	192
Tabla 21	Desplazamientos horizontales temporales (metros) periodo 22.04.2017 – 27.04.2017, y variación en la componente Longitud (segundos), en estación ROB1, ubicado próximo al sismo del 24.07.2017.....	194
Tabla 22	Desplazamientos verticales temporales (metros) periodo 22.04.2017 – 27.04.2017, y variación en la componente Altura Elipsoidal (metros), en estación ROB1, ubicado próximo al sismo del 24.07.2017.....	196

Tabla 23	Desplazamientos horizontales temporales (metros) periodo 22.04.2017 – 27.04.2017, y variación en la componente Latitud (segundos), en estación TRPD, ubicado próximo al sismo del 24.07.2017.....	198
Tabla 24	Desplazamientos horizontales temporales (metros) periodo 22.04.2017 – 27.04.2017, y variación en la componente Longitud (segundos), en estación TRPD, ubicado próximo al sismo del 24.07.2017.....	200
Tabla 25	Desplazamientos horizontales temporales (metros) periodo 22.04.2017 – 27.04.2017, y variación en la componente Altura Elipsoidal (metros), en estación TRPD, ubicado próximo al sismo del 24.07.2017.....	202

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Mapa Ubicación Estaciones de referencia y epicentro sismo del 19.07.2024.</i>	38
Figura 2	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Este para Estación CBAA, previo y siguiente al sismo ocurrido 19.07.2024.</i>	40
Figura 3	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Norte para Estación CBAA, previo y siguiente al sismo ocurrido 19.07.2024.</i>	41
Figura 4	<i>Representa al vector desplazamiento horizontal, calculado a partir de ubicaciones temporales obtenidas de las soluciones diarias para CBAA del día anterior (18.07.2024) y siguiente (20.07.2024) al sismo ocurrido el 19.07.2024.</i>	42
Figura 5	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Longitud para Estación CBAA, anterior y siguiente al sismo ocurrido 19.07.2024.</i>	43
Figura 6	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente vertical Altura elipsoidal para Estación CBAA, anterior y siguiente al sismo ocurrido 19.07.2024.</i>	44
Figura 7	<i>Representa vector desplazamiento horizontal calculado a partir de ubicaciones temporales obtenidas de las soluciones diarias para la Estación CBAA del 01.01.2017 y 31.12.2024.</i>	45
Figura 8	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Este para Estación CBAA, desde el año 2017 al 2024.</i>	46
Figura 9	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Norte para Estación CBAA, desde el año 2017 al 2024.</i>	47
Figura 10	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Latitud para Estación CBAA, días 01.01.2017 y 31.12.2024.</i>	48
Figura 11	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Longitud para Estación CBAA, días 01.01.2017 y 31.12.2024.</i>	49
Figura 12	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente vertical Altura Elipsoidal para Estación CBAA, desde el año 2017 al 2024.</i>	50

Figura 13	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Este para Estación SRGD, anterior y siguiente al sismo ocurrido 19.07.2024.</i>	51
Figura 14	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Norte para Estación SRGD, anterior y siguiente al sismo ocurrido 19.07.2024.</i>	52
Figura 15	<i>Representa al vector desplazamiento horizontal, calculado a partir de ubicaciones temporales obtenidas de las soluciones diarias para estación SRGD día anterior (18.07.2024) y siguiente (20.07.2024) al sismo ocurrido el 19.07.2024.</i>	53
Figura 16	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Latitud para Estación SRGD, anterior (18.07.2024) y siguiente (20.07.2024) al sismo ocurrido 19.07.2024.</i>	54
Figura 17	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Longitud para Estación SRGD, anterior (18.07.2024) y siguiente (20.07.2024) al sismo ocurrido 19.07.2024.</i>	55
Figura 18	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente vertical Altura Elipsoidal para Estación SRGD, anteriores y siguientes al sismo ocurrido 19.07.2024.</i>	56
Figura 19	<i>Representa al vector desplazamiento horizontal, calculado a partir de ubicaciones temporales obtenidas de las soluciones diarias para estación SRGD, días 01.01.2017 y 31.12.2024.</i>	57
Figura 20	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Este para Estación SRGD, desde el año 2017 al 2024.....</i>	58
Figura 21	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Norte para Estación SRGD, desde el año 2017 al 2024.....</i>	59
Figura 22	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Latitud para Estación SRGD, días 01.01.2017 y 31.12.2024.</i>	60
Figura 23	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Longitud para Estación SRGD, días 01.01.2017 y 31.12.2024.</i>	61

Figura 24	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente vertical Altura Elipsoidal para Estación SRGD, desde el año 2017 al 2024.....</i>	62
Figura 25	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Este para Estación CRIS, anterior y siguiente al sismo ocurrido 19.07.2024.</i>	64
Figura 26	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Norte para Estación CRIS, anterior y siguiente al sismo ocurrido 19.07.2024.</i>	65
Figura 27	<i>Representa al vector desplazamiento horizontal, calculado a partir de ubicaciones temporales obtenidas de las soluciones diarias para estación CRIS día anterior (18.07.2024) y siguiente (20.07.2024) al sismo ocurrido el 19.07.2024.</i>	66
Figura 28	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Latitud para Estación CRIS, anterior (18.07.2024) y siguiente (20.07.2024) al sismo ocurrido 19.07.2024.</i>	67
Figura 29	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Longitud para Estación CRIS, anterior (18.07.2024) y siguiente (20.07.2024) al sismo ocurrido 19.07.2024.</i>	68
Figura 30	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente vertical Altura Elipsoidal para Estación CRIS, anteriores y siguientes al sismo ocurrido 19.07.2024.</i>	69
Figura 31	<i>Representa al vector desplazamiento horizontal, calculado a partir de ubicaciones temporales obtenidas de las soluciones diarias para estación CRIS, días 01.01.2017 y 31.12.2024.</i>	70
Figura 32	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Este para Estación CRIS, desde el año 2017 al 2024.</i>	71
Figura 33	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Norte para Estación CRIS, desde el año 2017 al 2024.</i>	72
Figura 34	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Latitud para Estación CRIS, días 01.01.2017 y 31.12.2024.</i>	73

Figura 35	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Longitud para Estación CRIS, días 01.01.2017 y 31.12.2024.</i>	74
Figura 36	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente vertical Altura Elipsoidal para Estación CRIS, desde el año 2017 al 2024.</i>	75
Figura 37	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Este para Estación CDLC, anterior y siguiente al sismo ocurrido 19.07.2024.</i>	76
Figura 38	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Norte para Estación CDLC, anterior y siguiente al sismo ocurrido 19.07.2024.</i>	77
Figura 39	<i>Representa al vector desplazamiento horizontal, calculado a partir de ubicaciones temporales obtenidas de las soluciones diarias para estación CDLC día anterior (18.07.2024) y siguiente (20.07.2024) al sismo ocurrido el 19.07.2024.</i>	78
Figura 40	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Latitud para Estación CDLC, anterior (18.07.2024) y siguiente (20.07.2024) al sismo ocurrido 19.07.2024.</i>	79
Figura 41	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Longitud para Estación CDLC, anterior (18.07.2024) y siguiente (20.07.2024) al sismo ocurrido 19.07.2024.</i>	80
Figura 42	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente vertical Altura Elipsoidal para Estación CDLC, anterior (18.07.2024) y siguiente (20.07.2024) al sismo ocurrido 19.07.2024.</i>	81
Figura 43	<i>Representa al vector desplazamiento horizontal, calculado a partir de ubicaciones temporales obtenidas de las soluciones diarias para estación CDLC días 01.01.2017 y 31.12.2024.</i>	82
Figura 44	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Este para Estación CDLC, desde el año 2017 al 2024.</i>	83
Figura 45	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Norte para Estación CDLC, desde el año 2017 al 2024.</i>	84

Figura 46	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Latitud para Estación CDLC, días 01.01.2017 y 31.12.2024.</i>	85
Figura 47	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Longitud para Estación CDLC, días 01.01.2017 y 31.12.2024.</i>	86
Figura 48	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente vertical Altura Elipsoidal para Estación CDLC, desde el año 2017 al 2024.</i>	87
Figura 49	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Este para Estación CJNT, anterior y siguiente al sismo ocurrido 19.07.2024.</i>	88
Figura 50	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Norte para Estación CJNT, anterior y siguiente al sismo ocurrido 19.07.2024.</i>	89
Figura 51	<i>Representa al vector desplazamiento horizontal, calculado a partir de ubicaciones temporales obtenidas de las soluciones diarias para estación CJNT día anterior (18.07.2024) y siguiente (20.07.2024) al sismo ocurrido el 19.07.2024.</i>	90
Figura 52	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Latitud para Estación CJNT, anterior (18.07.2024) y siguiente (20.07.2024) al sismo ocurrido 19.07.2024.</i>	91
Figura 53	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Longitud para Estación CJNT, anterior (18.07.2024) y siguiente (20.07.2024) al sismo ocurrido 19.07.2024.</i>	92
Figura 54	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente vertical Altura Elipsoidal para Estación CJNT, anterior y siguiente al sismo ocurrido 19.07.2024.</i>	93
Figura 55	<i>Representa al vector desplazamiento horizontal, calculado a partir de ubicaciones temporales obtenidas de las soluciones diarias para estación CJNT días 19.02.2017 y 21.10.2024.</i>	94
Figura 56	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Este para Estación CJNT, desde el año 2017 al 2024.</i>	95

Figura 57	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Norte para Estación CJNT, desde el año 2017 al 2024.</i>	96
Figura 58	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Latitud para Estación CJNT, días 19.02.2017 y 21.10.2024.</i>	97
Figura 59	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Longitud para Estación CJNT, días 19.02.2017 y 21.10.2024.</i>	98
Figura 60	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente vertical Altura Elipsoidal para Estación CJNT, desde el año 2017 al 2024.</i>	99
Figura 61	<i>Representa a los vectores desplazamiento horizontal, calculado a partir de ubicaciones temporales obtenidas de las soluciones diarias para estaciones CJNT, CBAA, SRGD, CDLC, CRIS, en el periodo 2017 al 2024.</i>	101
Figura 62	<i>Mapa Ubicación Estaciones de referencia y epicentro sismo del 24.04.2017.....</i>	103
Figura 63	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Este para Estación QTAY, anterior y siguiente al sismo ocurrido 24.04.2017.....</i>	105
Figura 64	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Norte para Estación QTAY, anterior y siguiente al sismo ocurrido 24.04.2017.....</i>	106
Figura 65	<i>Representa al vector desplazamiento horizontal, calculado a partir de ubicaciones temporales obtenidas de las soluciones diarias para estación QTAY día anterior (23.04.2017) y siguiente (25.04.2017) al sismo ocurrido el 24.04.2017.</i>	107
Figura 66	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Latitud para Estación QTAY, anterior (23.04.2017) y siguiente (25.04.2017) al sismo ocurrido 24.04.2017.</i>	108
Figura 67	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Longitud para Estación QTAY, anterior (23.04.2017) y siguiente (25.04.2017) al sismo ocurrido 24.04.2017.</i>	109
Figura 68	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente vertical Altura Elipsoidal para Estación QTAY, anterior y siguiente al sismo ocurrido 24.04.2017.</i>	110

Figura 70	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Este para Estación QTAY, desde el año 2017 al 2024.</i>	112
Figura 71	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Norte para Estación QTAY, desde el año 2017 al 2024.</i>	113
Figura 72	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Latitud para Estación QTAY, días 01.01.2017 y 31.12.2024.</i>	114
Figura 73	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Longitud para Estación QTAY, días 01.01.2017 y 31.12.2024.</i>	115
Figura 74	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente vertical Altura Elipsoidal para Estación QTAY, desde el año 2017 al 2024.</i>	116
Figura 75	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Este para Estación TRPD, anterior y siguiente al sismo ocurrido 24.04.2017.</i>	118
Figura 76	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Norte para Estación TRPD, anterior y siguiente al sismo ocurrido 24.04.2017.</i>	119
Figura 77	<i>Representa al vector desplazamiento horizontal, calculado a partir de ubicaciones temporales obtenidas de las soluciones diarias para estación TRPD día anterior (23.04.2017) y siguiente (25.04.2017) al sismo ocurrido el 24.04.2017.</i>	120
Figura 78	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Latitud para Estación TRPD, anterior (23.04.2017) y siguiente (25.04.2017) al sismo ocurrido 24.04.2017.</i>	121
Figura 79	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Longitud para Estación TRPD, anterior (23.04.2017) y siguiente (25.04.2017) al sismo ocurrido 24.04.2017.</i>	122
Figura 80	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente vertical Altura Elipsoidal para Estación TRPD, anterior y siguiente al sismo ocurrido 24.04.2017.</i>	123

Figura 81	<i>Representa al vector desplazamiento horizontal, calculado a partir de ubicaciones temporales obtenidas de las soluciones diarias para estación TRPD días 01.01.2017 y 31.12.2024.</i>	124
Figura 82	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Este para Estación TRPD, desde el año 2017 al 2024.</i>	125
Figura 83	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Norte para Estación TRPD, desde el año 2017 al 2024.</i>	126
Figura 84	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Latitud para Estación TRPD, días 01.01.2017 y 31.12.2024.</i>	127
Figura 85	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Longitud para Estación TRPD, días 01.01.2017 y 31.12.2024.</i>	128
Figura 86	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente vertical Altura Elipsoidal para Estación TRPD, desde el año 2017 al 2024.</i>	129
Figura 87	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Este para Estación ROB1, anterior y siguiente al sismo ocurrido 24.04.2017.</i>	131
Figura 88	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Norte para Estación ROB1, anterior y siguiente al sismo ocurrido 24.04.2017.</i>	132
Figura 89	<i>Representa al vector desplazamiento horizontal, calculado a partir de ubicaciones temporales obtenidas de las soluciones diarias para estación ROB1 día anterior (23.04.2017) y siguiente (25.04.2017) al sismo ocurrido el 24.04.2017.</i>	133
Figura 90	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Latitud para Estación ROB1, anterior (23.04.2017) y siguiente (25.04.2017) al sismo ocurrido 24.04.2017.</i>	134
Figura 91	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Longitud para Estación ROB1, anterior (23.04.2017) y siguiente (25.04.2017) al sismo ocurrido 24.04.2017.</i>	135

Figura 92	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente vertical Altura Elipsoidal para Estación ROB1, anterior y siguiente al sismo ocurrido 24.04.2017.</i>	136
Figura 93	<i>Representa al vector desplazamiento horizontal, calculado a partir de ubicaciones temporales obtenidas de las soluciones diarias para estación ROB1 días 01.01.2017 y 31.12.2024.</i>	137
Figura 94	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Este para Estación ROB1, desde el año 2017 al 2024.</i>	138
Figura 95	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Norte para Estación ROB1, desde el año 2017 al 2024.</i>	139
Figura 96	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Latitud para Estación ROB1, días 01.01.2017 y 31.12.2024.</i>	140
Figura 97	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Longitud para Estación ROB1, días 01.01.2017 y 31.12.2024.</i>	141
Figura 98	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente vertical Altura Elipsoidal para Estación ROB1, desde el año 2017 al 2024.</i>	142
Figura 99	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Este para Estación CTPC, anterior y siguiente al sismo ocurrido 24.04.2017.</i>	143
Figura 100	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Norte para Estación CTPC, anterior y siguiente al sismo ocurrido 24.04.2017.</i>	144
Figura 101	<i>Representa al vector desplazamiento horizontal, calculado a partir de ubicaciones temporales obtenidas de las soluciones diarias para estación CTPC día anterior (23.04.2017) y siguiente (25.04.2017) al sismo ocurrido el 24.04.2017.</i>	146
Figura 102	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Latitud para Estación CTPC, anterior (23.04.2017) y siguiente (25.04.2017) al sismo ocurrido 24.04.2017.</i>	147

Figura 103	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente vertical Altura Elipsoidal para Estación CTPC, anterior y siguiente al sismo ocurrido 24.04.2017.</i>	148
Figura 104	<i>Representa al vector desplazamiento horizontal, calculado a partir de ubicaciones temporales obtenidas de las soluciones diarias para estación CTPC días 01.01.2017 y 31.12.2024.</i>	149
Figura 105	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Este para Estación CTPC, desde el año 2017 al 2024.</i>	150
Figura 106	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Norte para Estación CTPC, desde el año 2017 al 2024.</i>	151
Figura 107	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Latitud para Estación CTPC, días 01.01.2017 y 31.12.2024.</i>	152
Figura 108	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Longitud para Estación CTPC, días 01.01.2017 y 31.12.2024.</i>	153
Figura 109	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente vertical Altura Elipsoidal para Estación CTPC, desde el año 2017 al 2024.</i>	154
Figura 110	<i>Representa a los vectores desplazamiento horizontal, calculado a partir de ubicaciones temporales obtenidas de las soluciones diarias para estaciones QTAY, TRPD, ROBI, CTPC, en el periodo 2017 al 2024.</i>	156
Figura 111	<i>Mapa Ubicación de estaciones PTAR y PWIL, Sur de Chile.</i>	164
Figura 112	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Este para Estación PTAR, desde el año 2017 al 2024.</i>	165
Figura 113	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Norte para Estación PTAR, desde el año 2017 al 2024.</i>	166
Figura 114	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Latitud para Estación PTAR, días 01.01.2017 y 31.12.2024.</i>	167
Figura 115	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Longitud para Estación PTAR, días 01.01.2017 y 31.12.2024.</i>	168

Figura 116	<i>Representa al vector desplazamiento horizontal, calculado a partir de ubicaciones temporales obtenidas de las soluciones diarias para estación PTAR, días 01.01.2017 y 31.12.2024.</i>	169
Figura 117	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente vertical Altura Elipsoidal para Estación PTAR, desde el año 2017 al 2024.</i>	170
Figura 118	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Este para Estación PWIL, desde el año 2017 al 2024.</i>	171
Figura 119	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Norte para Estación PWIL, desde el año 2017 al 2024.</i>	172
Figura 120	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Latitud para Estación PWIL, días 01.01.2017 y 31.12.2024.</i>	173
Figura 121	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Longitud para Estación PWIL, días 01.01.2017 y 31.12.2024.</i>	174
Figura 122	<i>Representa al vector desplazamiento horizontal, calculado a partir de ubicaciones temporales obtenidas de las soluciones diarias para estación PWIL, días 01.01.2017 y 31.12.2024.</i>	175
Figura 123	<i>Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente vertical Altura Elipsoidal para Estación PWIL, desde el año 2017 al 2024.</i>	176
Figura 124	<i>Representa a los vectores desplazamiento horizontal, calculado a partir de ubicaciones temporales obtenidas de las soluciones diarias para estaciones PTAR y PWIL, en el periodo 2017 al 2024.</i>	178

RESUMEN

En el estudio se planteó como objetivo determinar el impacto en las coordenadas geodésicas mediante la cuantificación de desplazamientos ocurridos en estaciones seleccionadas en Chile, territorio ubicado geográfica y geológicamente próximo a zona de subducción Placa de Nazca por debajo de la Placa Sudamericana, donde ocurren la mayoría de sismos; adicional, al Sur de Chile, existe zona interacción entre Placa Scotia y Placa Sudamericana. Se seleccionaron muestra considerando sismos con similares magnitudes ocurridos en Chile en periodo planteado (2017–2024), sismos ocurridos fechas 19.07.2024 y 24.04.2017; observaciones de 11 estaciones seleccionadas fueron obtenidas del Centro Sismológico Nacional de la Universidad de Chile, para los procesamientos de observaciones y resultados apoyaron Geoscience Australia servicio Auspos, basado en el marco de referencia ITRF2020 admitidos por la comunidad internacional. Concordante con resultados, se estimaron desplazamientos, determinando variaciones en las coordenadas geodésicas, componentes Latitud, Longitud y Altura Elipsoidal. De lo observado, sismos ocurridos en distintas fechas con similar magnitud, no producen desplazamientos homogéneos horizontales y verticales; los desplazamientos producen variación en coordenadas geodésicas; la ubicación del hipocentro, profundidad del sismo, distancias al epicentro, condicionan heterogeneidad de desplazamientos superficiales; se estimaron velocidades desplazamientos (diarios, anuales, para 8 años) de estaciones ubicadas en la Placa Sudamericana, dirección vector velocidad desplazamientos, entre otros.

Palabras claves: cuantificación de desplazamientos, coordenadas geodésicas, velocidades de desplazamientos, sismos.

ABSTRACT

The study aimed to determine the impact on geodetic coordinates by quantifying displacements that occurred at selected stations in Chile, a territory located geographically and geologically close to the Nazca Plate subduction zone beneath the South American Plate, where most earthquakes occur; in addition, south of Chile, there is an interaction zone between the Scotia Plate and the South American Plate. A sample was selected considering earthquakes of similar magnitudes that occurred in Chile during the specified period (2017–2024), specifically earthquakes that occurred on 19.07.2024 and 24.04.2017. Observations from 11 selected stations were obtained from the National Seismological Center of the University of Chile, the processing of observations and results was supported by Geoscience Australia Auspos service, based on the ITRF2020 reference framework accepted by the international community. In accordance with the results, displacements were estimated, determining variations in geodetic coordinates, specifically the Latitude, Longitude, and Ellipsoidal Height components. From what was observed, earthquakes occurring on different dates with similar magnitude do not produce homogeneous horizontal and vertical displacements; the displacements produce variation in geodetic coordinates; the location of the hypocenter, depth of the earthquake, distances to the epicenter, condition heterogeneity of surface displacements; displacement velocities (daily, annual, for 8 years) were estimated from stations located on the South American Plate, direction vector displacement velocity, among others.

Keywords: displacement quantification, geodetic coordinates, displacement velocities, earthquakes.

I. INTRODUCCIÓN

Los sismos producidos históricamente en diversas regiones de Chile, han tenido consecuencias variadas, cuyos efectos han sido en algunos casos afectación a la vida y plenitud física de los habitantes, como también daños materiales diversos. Los cambios físicos del relieve luego de producidos los sismos son variados, deformaciones superficiales, desplazamientos físicos superficiales, hundimientos y/o levantamientos, son posibles de cuantificarlos mediante observaciones geodésicas temporales y series de tiempo, procesando con estaciones alejadas relativamente estables. Al producirse desplazamientos, habrá variación en la ubicación de puntos sobre la superficie de la Tierra, es posible calcularlos en el marco de referencia mundial como es el ITRF2020.

Adicionalmente, es importante considerar que valores de coordenadas referidos a un tiempo específico, al compararlos entre soluciones obtenidas en tiempos diferentes para un sitio establecido en la superficie terrestre, mostraran variación cambios temporales en la ubicación con referencia a sistema mundial, podemos estimar vectores de desplazamiento, visualizando su orientación dirección.

Luego de ocurrido los sismos se producen deformaciones relativas en ubicaciones de referencias de control establecidas, manifestados mediante desplazamientos superficiales, trae como consecuencia variaciones en la posición de puntos en espacio terrestre, es posible determinarlos mediante el cálculo de coordenadas temporales en estaciones ubicados próximos al epicentro, antes y después de ocurrido los sismos, visualizados mediante series de tiempo.

Los valores de coordenadas actualizadas de las estaciones, también contribuirán a la georreferenciación adecuada, considerando cambios locales temporales ocurridos.

La disponibilidad de data para realizar el estudio propuesto, se basó en cuanto al tener acceso a la data de observaciones, así como confiabilidad de estos. Es oportuno señalar que no es uniforme en países del mundo, las políticas para la disponibilidad y difusión de data recolectada en estaciones geodésicas de referencia; se detalla que, en el Perú, la data de estaciones de observación geodésica satelital, no son de libre acceso, en algunos casos, para obtenerla requiere realizar solicitudes trámites administrativos.

Los enfoques y resultados que se dan en el presente estudio, permiten comparar resultados, contribuir al entendimiento de desplazamientos locales ocurridos como resultado de la ocurrencia ocasional de sismos.

La magnitud de desplazamientos como consecuencia de sismos y tectónicas placas, impacto en la variación de las coordenadas geodésicas, contribuye con otros estudios especializados que actualmente se realizan en la zona en estudio.

1.1. Planteamiento del problema

En la Tierra se producen sismos de diversa magnitud e intensidad, ocasionan de manera heterogénea diversos daños a la vida, estado físico de las personas, así como afectaciones diversas a estructuras e infraestructura incluidas de servicios básicos.

Algunos de los sismos ocurridos, se tienen registrados con detalles, como el ocurrido el 22.05.1960, en la ciudad de Valdivia, Chile, que trajo como consecuencia cambios visibles en la superficie producida por el evento, citada en testimonios históricos de la Biblioteca Nacional de Chile (2025):

Como resultado de los grandes cambios de elevación que afectaron principalmente la costa y el fondo oceánico a lo largo de la zona de ruptura, se produjo un maremoto de grandes proporciones que arrasó principalmente con las localidades costeras de Corral, Puerto

Saavedra, Isla Mocha, Maullín, Ancud, entre otros. Miles de damnificados se encontraban aislados del resto del país, pues todos los caminos de acceso a Valdivia fueron destruidos.

Las experiencias históricas y enseñanzas, es importante considerarlas y tomarlas en cuenta como lecciones para realizar propuestas oportunas, que minimicen o reduzcan efectos negativos a la vida de los habitantes, así como afectación a servicios diversos, ocasionados luego de ocurrido los sismos.

Es importante la estimación de la convergencia que se produce a través de la Placa Sudamericana con la Placa de Nazca, lo cual actualmente es posible con la recopilación de observaciones satelitales usando técnicas de posicionamiento geodésico estático. Según sostiene Barrientos (2010) “La velocidad de convergencias entre las placas de Nazca y Sudamericana frente a Chile varía entre 6,5 a 7 cm/año” (p. 415).

El proceso de deslizamiento de bordes de la Placa de Nazca por debajo de la Placa Sudamericana, han sido cuantificados y estimados en diversos estudios. Los sismos también producen desplazamientos históricos, en algunos casos opuestos a la de convergencia de subducción entre las placas, como es el caso del sismo del 2010, donde se tienen estimaciones de desplazamientos de 3.8 m., en sentido opuesto al resbalamiento de la Placa de Nazca por debajo de la Placa Sudamericana, según señala Cárdenas (2021):

La placa Sudamericana se mueve en relación de 8 cm/año y comparado con los 3.8 (mts.) de desplazamiento en el terremoto del 2010, nos damos cuenta que la placa continental, en esos puntos se desplazó en dirección opuesta al de convergencia o subducción natural (p.86).

La velocidad de confluencia entre la Placa de Nazca con la Placa Sudamericana, es posible estimarlas por décadas considerando estimaciones anuales, pero advirtiéndose que estas no son

uniformes en toda la zona de confluencia entre placas. Según sostiene Barrientos y el equipo CSN (2017) “En 80 años se acumulan alrededor de 5 m de desplazamiento equivalente, a razón de 6,5 cm/año”.

1.2. Descripción del problema

Actualmente, no es factible vaticinar cuando ocurrirán los sismos, pero si es posible realizar labores oportunas de sensibilización, educación y prevención.

La afectación a vidas humanas e infraestructura, que hayan demandado considerables recursos y tiempo en construirlas, así como su planificación previa, muchas veces por causa de un evento natural inesperado como son los sismos, o por decisiones que acarrearán en conflictos, crisis provocadas por el hombre; en breve tiempo de producido algunos sismos, se pierden valiosas vidas humanas, así como también considerable inversión. Realizar propuestas que contribuyan a reducir estos daños es importante, necesario, oportuno; tener presente lo ocurrido en distintas etapas históricas, posibilita planificar el futuro, tratando de aprender lecciones ocurridos en el pasado.

Es importante tener presente lo planteado en algunos estudios referidos a la probabilidad de ocurrencia de sismos en algunas zonas de Chile, basado en desplazamiento de las placas que algunos autores han logrado estimar, con antigüedad de más de 100 años. Algunos estudios plantean que en lugares donde los desplazamientos no han sido homogéneos y/o han sido inferiores con los estimados, próximos a zonas de contacto a través de la Placa de Nazca con la Placa Sudamericana, estiman previsible se ocasionen sismos de proporciones considerables que liberen la energía acumulada, lo cual producirá notables cambios y desplazamientos, como señala Gonzales (2025a):

Las placas se mueven unos 66 milímetros por año, desde 1877 han pasado 145, y debió haberse desplazado bajo la superficie entre 9 y 10 metros, pero solo lo han hecho, en

promedio, unos 2 a 3 metros durante el sismo de Iquique de 2014 y del orden de 1.5 metros durante el terremoto de Tocopilla en 2007. Por lo tanto, todavía queda una cantidad importante de energía acumulada en la zona de contacto entre las placas de Nazca y Sudamericana, que es lo que denominamos la falla de subducción.

Es importante mencionar, que hay países donde se producen sismos y que tienen implementado instrumentación considerable lo cual contribuye al desarrollado de sistemas alerta temprana basados en información recogida por sensores, siendo posible identificar mediante mediciones probables afectaciones diversas, como es el caso de alzamiento del fondo marino, el cual es posible estimarlo o cuantificarlo. En el Japón, luego de ocurrido sismo el 01.01.2024, se pudo cuantificar cambios en la superficie y desplazamientos considerables en fallas próximas, por la considerable cantidad de sensores diversos, así como su densidad, como indica Gonzales (2025b):

El desplazamiento de esta falla fue de 3.5 metros y su naturaleza es de tipo compresiva, es decir, con ascenso del bloque Suroeste. Debido a este movimiento inverso, se registró un alzamiento del fondo marino que fue responsable del tsunami que afectó 10 minutos después la costa cercana al epicentro.

Los efectos luego de la ocurrencia de sismos de gran magnitud, traspasan límites políticos de localidades y países donde se ubiquen sus epicentros.

Definir ubicaciones históricas espaciales y de observación actualizadas temporalmente, permiten estimar cuantificar desplazamientos; la importancia de acceder a data histórica de observaciones satelitales de estaciones, es apropiado para estimar desplazamientos horizontales y verticales.

Adicionalmente, es importante mencionar que, al Sur de Chile, entre 53° a 56° de Latitud Sur, para el periodo del presente estudio, no se han producido sismos de igual y/o mayor magnitud 6.9. Es pertinente recordar que en el Sur de Chile se ubican límites de la Placa Sudamericana con la Placa Scotia, esta última Placa de menor tamaño; más al Sur, se ubica zona de subducción de la Placa Antártica por debajo de la Placa Scotia. Potencialmente estas zonas podrían también ser fuente de acumulación de energía por estar en zona de límites de Placas, en algún momento la energía acumulada podría liberarse mediante la ocurrencia sismos de diversas y considerables magnitudes.

Es oportuno recordar que en el Sur de Chile históricamente se recuerda la ocurrencia de sismos de Magnitud significativa. Según Chile-catástrofes-tragedias (s.f.), indica “17.12.1949, 02.53, 7.8, 000 Kms. LAT 54.000° S LON 71.000° W. Epicentro: Isla Dawson – Punta Arenas 8M, violento y prolongado”. Es muy importante por la ubicación del sismo citado, su epicentro estaría ubicados próximos a límites de la Placa Scotia y la Placa Sudamericana. Al no detectarse sismos de considerable magnitud desde la fecha citada hasta la actualidad, no necesariamente significa que sea una zona estable, sino podría estarse acumulando energía, podría producir en esta zona sismos de igual o mayor magnitud como el ocurrido el año 1949.

Según Lacentre (2024) “La placa Scotia nexo entre dos placas mayores, la placa Sudamericana al norte, y la placa Antártica al sur y al oeste”. En el periodo de estudio 2017-2024, los sismos ocurridos próximos a límites de la Placa Scotia con Placa Sudamericana no han superado Magnitud 6.9, sin embargo es importante estimar desplazamientos temporales de estaciones ubicadas próximas límite Placa Scotia y Placa Sudamericana.

Los desplazamientos por cambios originados por la subducción entre Placas, también ocurren en otros países, algunos ubicados en Centroamérica, originados debido entre otros a

procesos dinámicos entre: Placa de Cocos y Placa del Caribe, Placa de Norteamérica y Placa del Caribe, asimismo como a fallas regionales y locales.

1.3. Formulación del problema

Determinar la correspondencia entre estimar cuantitativamente los desplazamientos de estaciones de referencia después de acontecidos los sismos, y su impacto en las coordenadas en Chile.

1.3.1 *Problema general*

¿En qué medida la cuantificación de desplazamientos de estaciones de referencia como consecuencia de sismos impacta las coordenadas en Chile? (2017-2024)

1.3.2. Problemas específicos

- ¿En qué medida la cuantificación de desplazamientos en la componente **Latitud** de estaciones geodésicas de referencia como consecuencia de sismos, impacta las coordenadas en Chile?
- ¿En qué medida la cuantificación de desplazamientos en la componente **Longitud** de estaciones geodésicas de referencia como consecuencia de sismos, impacta las coordenadas en Chile?
- ¿En qué medida la cuantificación de desplazamientos en la componente **Altura Elipsoidal** de estaciones geodésicas de referencia como consecuencia de sismos, impacta las coordenadas en Chile?

1.4. Antecedentes

Las modificaciones que ocurren a causas de sismos que históricamente se producen, son posibles cuantificarlos; en Chile han ocurrido y ocurren sismos de distinta magnitud e intensidad,

ubicándose los epicentros en distintas zonas del territorio y litoral. Para calcular la posición de puntos de referencia sobre el espacio terrestre, que permitan verificar temporalmente su ubicación, se utiliza el obtenido mediante el posicionamiento estático permanente, que recolecten observaciones satelitales continuas, permiten tener históricamente registro de cambios temporales que ocurren, así como su correlación entre ellos.

Actualmente, al ocurrir un sismo en algún lugar del planeta, se tienen estaciones administradas por entes gubernamentales, académicos, de investigación, ente otros, que permiten ubicar el epicentro, profundidad, magnitud del evento.

Sobre desplazamientos superficiales, Bernardin (2019) indica “Conforme aumenta la profundidad.....desplazamiento que migra hacia la superficie disminuye” (p.55). Es importante verificar desplazamientos superficiales según profundidades origen de sismos denominados hipocentros, corroborarlos mediante comparaciones que sean posibles efectuarlas.

Con referencia a sismo ocurrido el 2010 en Chile, según Fernández (2024) “La ubicación preferente del parche principal de ruptura podrían corresponder a zonas propensas a romper de manera recurrente” (p.75). En el estudio resalta la importancia de obtener interpretaciones históricas de cambios superficiales como consecuencia de sismos, con ello la probabilidad de ser recurrentes en cada ciclo sísmico. Para interpretar desplazamientos como consecuencia de los sismos, probabilidad que ocurra en algunas zonas, es importante considerar distancias de estaciones de referencia a epicentros sismos, en el presente trabajo se incluyen dichas distancias, contribuirá a futuras investigaciones.

Algunos investigadores plantean estimar desplazamientos co-sísmico, según Camisay et al. (2020) “identificar en cada estación la amplitud máxima del movimiento producido por el sismo y cuantificar la deformación co-sísmica” (p.32). Sobre lo planteado es preciso indicar que la data

geodésica temporal es útil para determinar desplazamientos superficiales por eventos sísmicos; algunos autores hacen referencia a desplazamientos producidos por eventos sísmicos y analizar su correlación con los registros de instrumentos sismológicos, donde señalan la posibilidad a futuro de que su contribución sea mayor. En la actualidad, para la ubicación del hipocentro y epicentro de un sismo, son indispensables equipamiento estaciones con sismógrafos.

Algunos estudios estiman velocidad de convergencia entre placas, según Las Condes (2024) indica “interacción de las placas de Nazca y Sudamericana ... convergen a razón de 9 cm/año” (p.3). Para la estimación de la velocidad de convergencia entre placas, es posible realizarlos con mayor precisión con una mayor densidad de estaciones ubicadas próximas a límites y en ambas placas.

Asimismo, Alarcón y Franco (2010) sostienen “placa de Nazca está siendo subducida bajo la placa suramericana a una velocidad 80 mm al año.” (p.9). Para comparar cuantitativamente con otros estudios, es importante determinar ubicaciones de las zonas donde se ha/n estimado velocidad de subducción.

Es interesante algunas propuestas sobre estimar desplazamientos co-sísmicos, según Camisay et al. (2020) “estimación rápida de los desplazamientos co-sísmicos podría contribuir al conocimiento de la dinámica local” (p.38). Sobre lo planteado, es preciso señalar que la disponibilidad histórica de data de una estación, el acceso a la comunidad científica internacional, así como aplicar estrategias adecuadas para el procesamiento de observaciones, son importantes considerarlas y tomarlas en cuenta. De tener acceso a data, pero realizarse ajustes con estaciones no muy estables, tendrán como resultado soluciones que podrían no ser únicas, que podrían tener variaciones heterogéneas; con referencia al cálculo de soluciones diarias.

Algunos estudios plantean que las coordenadas calculadas previos a un sismo se modifican luego de producido, según Valverde-Calderón (2020) “no son válidas en la actualidad en caso de utilizarlas, se estará introduciendo un error en las coordenadas de puntos nuevos” (p.18). Sobre lo planteado, es oportuno precisar algunos sismos producen considerables desplazamientos sobre la superficie terrestre, los cuales tienen impacto en las posiciones donde se dispongan de coordenadas obtenidas previas a los eventos sísmicos y tomarlas como referencias posteriores al evento en ajustes en red, propagarían errores porque las posiciones de los puntos han variado, por lo que es necesario realizar nuevas observaciones. La advertencia no se debe circunscribirse solo a instituciones encargadas de la producción de cartografía, levantamientos topográficos, vigilancia volcánica, otros; también a la comunidad de investigadores. Podemos trabajar siguiendo requerimientos técnicos adecuados, pero usando referencias datos e información no actualizada, traerá consecuencias que pueden repercutir y afectar de manera considerable la precisión de diversos productos finales.

Experiencias realizadas con series de tiempo como propuestas de Lizarazo et al. (2013) quien señala “describir el comportamiento de la(s) variable(s) determinar la tendencia futura de los datos” (p.42). Los cambios temporales en la posición de referencias ubicadas en la superficie terrestre, al visualizarlas mediante empleo de series de tiempo, permiten también estimar tendencias históricas.

Algunos sismos por su magnitud, producen deformaciones considerables tanto horizontales como verticales; al cuantificarlas y estimar tendencias, pueden contribuir con sistemas de alerta temprana, así como para diseño y construcción de infraestructuras diversas.

Algunos estudios plantean que hubo desplazamientos verticales luego de la ocurrencia sismo del 27.02.2010, Morales (2010) señala “Lebu y la Isla Mocha se elevaron 3,38 m., la isla

Santa María se elevó 2,0 m., Concepción se elevó 1,2 m., Talcahuano 1,5 m.” (p.45). Los cambios y desplazamientos horizontales y verticales ocurridos como consecuencia del sismo del 27.02.2010, no son homogéneos ni siguen una misma dirección en zonas próximas al epicentro; disponer de registros temporales, permiten verificar e identificar históricamente ante la ocurrencia de nuevos sismos deformaciones históricas locales poder compararlas.

Con referencia a desplazamientos superficiales ocurridos en periodo post-sísmico e inter-sísmico, Becerra (2018) sostiene “bajas tasas de desplazamiento cortical superficial al norte de los 19° S”. Es importante lo planteado, se entiende que sin incluir el periodo co-sísmico, en las referencias y/o estaciones ubicadas en dicha latitud y/o más hacia el norte, los desplazamientos superficiales han sido inferiores en relación a estaciones ubicadas en latitudes más al Sur de 19° S, con data histórica y cálculos, se podrá contribuir a verificar y/o corroborar lo sostenido.

Con referencia a desplazamientos ocurridos como consecuencias del sismo del 27.02.2010, tomando como referencia estación próxima al epicentro del sismo, Geoinstitutos (2010) indica “sufrió un desplazamiento de 3.06 m.”. Es muy importante la cuantificación efectuada co-sísmica, y el instrumental disponible con que ha podido ser registrado, permite comparar con otros registros históricos, considerando buen aporte al conocimiento de la dinámica superficial como consecuencia de sismos.

1.5. Justificación de la investigación

La presente labor de investigación posibilitara entender los desplazamientos relativos temporales acontecidos en estaciones de referencia geodésicas, su impacto en las coordenadas, cuya cuantificación es posible realizarlos usando procedimientos adecuados.

La oportunidad de acceder a data especializada que proveen entidades gubernamentales, académicas, de investigación, internacionalmente generan una contribución muy importante al permitir realizar investigaciones sobre efectos de los sismos.

Cuando ocurren sismos de considerable magnitud afectan en algunos casos a más de un país en el que se ubica el epicentro, es importante compartir estudios que contribuyan a un mayor conocimiento, cuyos resultados pueden tomarse como referencia para futuras investigaciones.

Expresar numéricamente cambios en la ubicación de las estaciones de referencia y su impacto en las coordenadas en Chile, contribuirá a ser consideradas en la toma de decisiones, también el uso de referencias modernizadas, suministrando información a organismos y funcionarios para considerar en la toma de decisiones adecuadas, como también las referidas a la conservación mantenimiento y operatividad de servicios básicos necesarios, rutas de tránsito, entre otros.

1.5.1. *Justificación teórica*

Conocer los desplazamientos horizontales y verticales, producidos por sismos, haciendo uso de marco de referencia aceptado por la comunidad científica internacional, así como realizar cálculos tomando como referencias las aceptadas internacionalmente por la comunidad científica como es el elipsoide GRS80, marco de referencia ITRF2020, contribuye a definir posiciones temporales más precisas.

El impacto de los desplazamientos en las coordenadas de una estación de referencia, tener ubicaciones actualizadas, contribuiría en el futuro a realizar estimaciones o extrapolar tendencias y probables ubicaciones espaciales, podrían verificarse la fiabilidad de los pronósticos estimados.

1.5.2. *Justificación práctica*

Contribuirá a estimar desplazamientos horizontales y verticales que suceden como resultado de los sismos (magnitud, dirección, entre otros), cambios e impacto en las coordenadas geodésicas, también contribuirá a estimar desplazamientos históricos producidos en el periodo de estudio. En Chile anualmente ocurren un número considerable de sismos de variada magnitud, por lo que el presente estudio permitirá contribuir a entender las variaciones como consecuencia de los sismos, y dinámica de placas tectónicas en algunos casos desplazamientos históricos temporales anuales pueden superar a los ocurridos como consecuencia de sismos.

Adicionalmente, el modelamiento usando series de tiempo incluido en el presente trabajo, facilita visualizar tendencias de desplazamientos, con lo que también puede contribuir a los procedimientos de estimar pronósticos.

1.5.3. *Justificación metodológica*

Se planteó como método calcular soluciones finales diarias, de diversas fechas tomando como referencia el periodo de estudio, así como días previos y posteriores a sucedidos los sismos elegidos.

La disponibilidad y recopilación de data de estaciones, es importante realizarla de manera concurrente a la selección de las mismas, considerando proximidad a sismos ocurridos. No solo se debe advertir y recuperar data archivos de fechas objetivo, también concurrentemente evaluar consistencia de dicha data, para que pueda ser procesada. Se ha tenido casos en las que la data de las estaciones existía de las fechas seleccionadas establecidas, pero no tenían suficiente cantidad registro y/o tiempo de observaciones, motivo por el cual se advertía errores considerables en soluciones finales diarias.

El apoyo de entidades internacionales para el procesamiento de observaciones, es importante así como reportes que verifican soluciones obtenidas.

Las soluciones finales diarias obtenidas, han servido para la elaboración de series de tiempo, visualizando desplazamientos y tendencias.

1.5.4. *Justificación social*

Al conocer desplazamientos temporales horizontales y verticales en estaciones, permitirán a las poblaciones próximas advertir la dinámica temporal local sobre la cual deben considerar incluirlas en los sistemas de alerta, así mismo comparar con la dinámica de otras estaciones próximas.

Al advertirse en el periodo de estudio desplazamientos que en algunos casos pueden superar varios centímetros, considerar referencias actualizadas en cartografía base u otros, contribuirán a mayor precisión en la ubicación y monitoreo de instalaciones críticas (represas, puentes, túneles, vías de comunicación, otros). Es oportuno advertir que el uso de coordenadas de referencia basada en parámetros publicados hace más de 2 décadas, tendrá referencias que al utilizarse para el ajuste de imágenes satelitales, fotografías aéreas, otros; propagaran errores considerables, para un elemento topográfico no perecedero podría tener variadas ubicaciones no precisas.

1.5.5. *Importancia de la investigación*

El actual trabajo, contribuirá a dar a conocer información espacial de la dinámica de los desplazamientos y su impacto en las coordenadas geodésicas, los cuales son útiles para ser considerados por los diversos niveles de gobierno, comunidad académica, de investigación, población en general; verificar cambios espaciales relativos que se producen próximos a las zonas donde desarrollan sus actividades, permitirán considerarse en acciones preventivas así como uso de referencias adecuadas al utilizar cartografía, imágenes satelitales, otros.

También variación temporal de ubicaciones, pueda ser incluido en la normatividad que administra y/o regula actividades de servicios a la población. Es importante señalar, que es

conocido el silencio sísmico en algunas regiones, al conocer cambios anuales y/o diarios en algunos casos, contribuirá a ubicar posibles zonas donde es probable se produzcan sismos de considerable magnitud, que en algunos casos han sido recurrentes históricamente.

También es importante ser considerados en los términos de referencia de obras que se plantean construir, ya que la variación de los desplazamientos temporales en sitios locales próximos, se debe tener en cuenta. Actualmente por las posibilidades tecnológicas y económicas, en países como en China, se construyen edificaciones cuyas bases están en el fondo marino, en algunos casos las pilas, estribos, otros, están instalados en el zócalo marino, edificaciones de comunicaciones y/o viales que atraviesan considerables distancias.

Es importante conocer estimar dinámica de desplazamientos de estaciones de referencia, como resultado de estudios e investigaciones realizadas, contribuirá a estimar probables ocurrencias de sismos y zonas de afectación.

1.6. Limitaciones de la investigación

Las políticas en países que regulan el acceso a data de observaciones geodésicas a nivel internacional son heterogéneas, variables por coyunturas políticas internacionales. De no estar a libre disposición, es necesario solicitarlas la data de estaciones de referencia y/o realizar trámites administrativos, en algunos casos lleva a tiempos considerables. El Centro Sismológico Nacional de la Universidad de Chile, destacada institución brinda apoyo con la data de observaciones que pone a disposición, facilita y permite realizar trabajos de investigación, consideramos un referente importante para todos los países de América.

En el caso del Perú los datos de observaciones recopiladas en estaciones geodésicas permanentes son obtenidos en algunos casos adquiriéndolos ya que tienen costo, en otros vía solicitud a organismos o centros encargados de administrarlas.

Se queda muy agradecido por datos de algunas estaciones proporcionados por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico y el Instituto Geofísico del Perú, al no tener continuidad histórica en data, se tuvo limitación en usar para el presente estudio.

Asimismo, la data de estaciones de referencia administrada por el Instituto Geográfico Nacional, es comercializada, tiene costo. Para la presente investigación no se han conseguido recursos económicos que permitan adquirir dicha data.

1.6.1 *Delimitación espacial*

Se planteó que, para el periodo de estudio, por la accesibilidad a la data, se analicen sismos ocurridos en Chile cuya magnitud sea igual o supere los 6.9 Mww (Magnitud Momento obtenida a partir de la Fase W), por lo que se seleccionaron para el periodo 2017-2024, sismos con dicha magnitud. Asimismo, los cálculos anuales de las soluciones diarias para el periodo de estudio, también contribuyen para evaluar no solo lo que sucedió en días previos y siguientes ha sucedido los sismos, sino tendencia anual de estaciones en el periodo de estudio.

1.6.2 *Delimitación temporal*

Se planteó 8 años que corresponde al periodo comprendido del 2017 al 2024.

1.7. Objetivos de la investigación

1.7.1. *Objetivo general*

Determinar su impacto en las **coordenadas geodésicas** mediante la cuantificación de desplazamientos de estaciones de referencia como consecuencia de sismos en Chile (2017-2024).

1.7.2. *Objetivos específicos*

- Determinar su impacto en la componente Latitud mediante la cuantificación de desplazamientos de estaciones de referencia como consecuencia de sismos en Chile.

- Determinar su impacto en la componente Longitud mediante la cuantificación de desplazamientos de estaciones de referencia como consecuencia de sismos en Chile.
- Determinar su impacto en la componente Altura Elipsoidal mediante la cuantificación de desplazamientos de estaciones de referencia como consecuencia de sismos en Chile.

1.8. Hipótesis

1.8.1. *Hipótesis general*

La cuantificación de los **desplazamientos** de estaciones de referencia como consecuencia de los sismos impacta significativamente en las **coordenadas geodésicas** en Chile. (2017-2024)

1.8.2. *Hipótesis específicas*

- La cuantificación de **desplazamientos** de estaciones de referencia como consecuencia de sismos impacta significativamente en la **componente Latitud**.
- La cuantificación de **desplazamientos** de estaciones de referencia como consecuencia de sismos impacta significativamente en la **componente Longitud**.
- La cuantificación de **desplazamientos** de estaciones de referencia como consecuencia de sismos impacta significativamente en la componente **Altura Elipsoidal**.

1.8.3 *Hipótesis nula*

No existe relación entre **desplazamientos** de estaciones de referencia como consecuencia de los sismos e **impacto** significativo en las **coordenadas geodésicas** en Chile. (2017-2024)

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Bases teóricas

Es importante tomar en consideración lo planteado por algunos investigadores referidos a cuantificar la confluencia entre la Placa de Nazca con la Placa Sudamericana, Barrientos (2010) señala “convergencias entre las placas de Nazca y Sudamericana frente a Chile varía entre 6,5 a 7 cm/año” (p.415). Es importante la densificación de estaciones y redes geodésicas, realizar observaciones geodésicas continuas históricas en estaciones ubicadas en sobre la Placa de Nazca y en estaciones ubicadas en la Placa Sudamericana, contribuye a un mayor conocimiento de ubicaciones temporales y desplazamientos de estaciones materializadas en las Placas tectónicas, aportando a estudios especializados y de geodinámica.

Cálculos del contacto entre Placa de Nazca y Placa Sudamericana activada posterior al sismo del 27.02.2010 han sido estimados, como Barrientos (2010) señala “...placa de Nazca y Sudamericana que se activó..... alcanzó un área del orden de 450 km x 150 km.” (p.412). El sismo inicialmente se origina en el hipocentro, es posible cuantificar los efectos de su propagación tomando en consideración estaciones materializadas próximas las cuales permiten evaluar modificaciones deformaciones producidos en sitios alejados del epicentro.

Para determinar modificaciones superficiales como consecuencia de sismos, es importante considerar lo sostenido por Barrientos (2010) quien señala “El alga coralina *Lithothamnium* sp. al quedar fuera pierde su coloración marcador natural de alzamiento costero” (p.416). El conocimiento y registro de desplazamientos superficiales co-sísmicos, post-sísmico, inter-sísmico, son importantes, como también complementar con información de elementos topográficos visibles y datos de estaciones de referencia próximos.

Con referencia al ciclo sísmico, Herrera (2024) sostiene “series de tiempo junto con los modelos de deslizamiento y ruptura cinemática han proporcionado valiosas interpretaciones...” (p.75). La disponibilidad histórica de data de observaciones geodésicas es importante, contribuye también plantear estudios en ventanas de tiempo cortas (8 años) pueden contribuir al entendimiento de la deformación co-sísmica y post-sísmica, visualizadas en las series de tiempo.

Para determinar la ubicación de un punto en la Tierra mediante satélites, según Cano (2020) “cuatro satélites, se tendría la posición..... coordenadas x , y , z y el parámetro tiempo.” (p.13). Es importante conocer fundamentos de la técnica satelital GPS, permite ubicar puntos sobre la superficie terrestre, replanteo de ubicaciones ante eventuales cambios locales motivados como efecto de desplazamientos co-sísmicos, post-sísmicos.

Con referencia a elipsoides, Cano (2020) sostiene “a nivel práctico, el GRS80 (Geodetic Reference System 1980) y el WGS84, se pueden considerar Idénticos” (p.14). Para cálculos de precisión, luego de definir sobre que elipsoide se están han realizado los cálculos, es oportuno advertir que algunos valores de parámetros de elipsoides citados, tienen ligeras diferencias (semieje menor b , achatamiento $1/f$).

Con referencia a desplazamientos co-sísmicos usando receptores GPS, Rivera (2020) sostiene “reproducir completamente el campo de desplazamiento a distancias cercanas al terremoto.” (p.59). Es posible verificar los desplazamientos si en el procesamiento y ajuste de coordenadas se toman en consideración estaciones alejadas de la zona, que no estén afectadas por las deformaciones temporales producidos por los sismos. Esto es importante tomarlo en cuenta, porque permita estimar desplazamientos temporales con mayor precisión.

En estudio se plantea acrecentar resultados, según Bernardin (2019) señala “que considere el efecto del campo de desplazamiento en las 3 direcciones” (p.53). En el estudio se han planteado

analizar variaciones en cada componente de las coordenadas geodésicas, como son la Latitud, Longitud y Altura elipsoidal, en el periodo del tiempo considerado.

Con referencia al uso de receptores GPS, Robles (2017) indica “al medir directamente el desplazamiento el GPS se encuentra libre de las distorsiones y desfases” (p.70), El cálculo de las diferentes posiciones temporales de puntos ubicados en la superficie terrestre es posible mediante observaciones realizadas con receptores GPS, considerando estrategias adecuadas para el procesamiento como considerar en los ajustes estaciones alejadas de los eventos, relativamente estables, no afectadas al ubicarse en zonas alejadas donde no han ocurrido movimientos sísmicos.

Con referencia a la teoría de la Tectónica de Placas, Cárdenas (2021) sostiene “deformación se debe ... interacción entre las placas tectónicas” (p.75). Es importante cuantificar los desplazamientos co-sísmicos, también previos y posteriores a la ocurrencia de los sismos, realizar estimaciones de desplazamientos anuales históricos, así como velocidades de desplazamientos considerando estaciones ubicadas en las distintas placas tectónicas, contribuirá a una mejor comprensión de la dinámica histórica temporal.

Para sustentar la teoría de la Tectónica de Placas, estudio plantea que la superficie sólida de la Tierra (litosfera) está fraccionada en una cantidad de fragmentos independientes denominadas “placas” las cuales flotan encima de un medio maleable de menor dureza denominado Astenosfera (Bernardin, 2019). La Astenosfera es zona correspondiente al manto terrestre ubicada debajo de la litosfera, en algunas oportunidades se le denomina capa plástica, sobre la cual se deslizan las placas tectónicas, que en su dinámica producen movimientos sísmicos de distinta magnitud, así como en algunos lugares erupciones volcánicas.

Con relación a la teoría de fallas geológicas, algunos estudios plantean que el hundimiento al igual que el alzamiento, son resultado de la liberación accidentada de energía (Bernardin, 2019).

Se entiende que la corteza terrestre está fragmentada y debido a energías internas se mueven, la liberación de energía se manifiesta superficialmente mediante sismos que traen como consecuencias cambios variables en el tiempo que en algunas zonas pueden ser horizontales como también verticales, a su vez pueden producir hundimientos o levantamientos.

En el presente estudio se ha planteado analizar variaciones en cada componente de las coordenadas geodésicas, como son la Latitud, Longitud y Altura Elipsoidal, con lo que se puede apreciar preliminarmente y parcialmente desplazamientos por componente.

Con referencia a la teoría de sismos, en algunos estudios se afirma que la liberación de energía se ocasiona en un reducido tiempo en comparación con la etapa de acumulación, solo en segundos o minutos se puede liberar considerable energía (Bernardin, 2019). Los sismos tienen corta duración de unos pocos minutos o segundos, con referencia al tiempo prolongado de acumulación de la energía en zona interna de la corteza terrestre; en algunos casos al no haber movimientos sísmicos en una región no significa que no haya acumulación de energía, lo cual puede ser variables, por décadas, cientos, o miles de años.

Con referencia a la teoría sobre origen de los sismos, se consideran la teoría de la Tectónica de Placas; se plantea que la mayor cantidad de los epicentros de sismos en toda la Tierra están distribuidos en los bordes de placas, donde tienen tendencia acumularse los esfuerzos por el desplazamiento de las mismas, y donde se localizan las fallas geológicas (Benito, s.f.). Es importante lo afirmado, registro histórico de hipocentros y epicentros se ubican mayormente en bordes de placas; está bien decir la mayor parte, pero no es excluyente que algunos sismos puedan ocurrir en lugares alejados de los bordes de las placas, por lo que es prudente considerar en labores de densificación de estaciones de observación geodésica.

Es posible verificar los desplazamientos si en el procesamiento y ajuste de coordenadas se toman en consideración estaciones alejadas de la zona, que no estén afectadas por las deformaciones temporales locales producidos por los sismos. Esto es importante tomarlo en cuenta, porque permita estimar desplazamientos temporales con mayor precisión.

Sobre la teoría de la Tectónica de Placas, con referencia a Chile Rivera (2020) sostiene “tres placas interactúan entre si generando configuración tectónica del margen chileno. Dos placas oceánicas subducen la placa continental Sudamericana” (p.1). Se entiende que las placas oceánicas son la Placa de Nazca y parte de la Placa Antártica (placa mixta), estimándose para esta última una menor dinámica en los procesos de subducción en relación a la Placa de Nazca, en relación a la zona de contacto con la Placa Sudamericana; es importante que muchos autores resalten en Chile, la activa dinámica entre la Placa Sudamericana con la Placa de Nazca. No obstante, es oportuno complementar afirmando que en parte del Sur de Chile, se ubican también límites de la Placa Scotia y la Placa Sudamericana,

Es bueno reflexionar que la Tierra tiene una antigüedad de aproximadamente 4,600 millones años, tiempo en el cual por registros geológicos han ocurrido diversos eventos ocasionados por fuerzas internas como tectónica placas y fuerzas externas como erosión, meteorización, transporte sedimentos entre otros, los cuales han cambiado la superficie y otros de la Tierra.

En el interior de la Tierra se acumulan tensiones las cuales al llegar a condiciones que sobrepasan su relativa estabilidad, van a producir movimientos no solamente focalizados en un punto sino en algunas oportunidades extensiones considerables, que mediante instrumentos es posible estimarlas.

Con referencia a la teoría de la Tectónica de Placas, Zilio et al. (2022) señala “superficie terrestre parece un gigantesco “rompecabezas” - placas tectónicas - encajan” (p.89). La configuración de las placas tectónicas y su preponderante activa actividad dinámica sísmica en bordes de las mismas, donde acontecen la mayor cantidad de sismos, identificado tipo de dinámica temporal histórica entre placas continuas (subducción, desplazamiento lateral, otros), permitirán contribuir a un mejor conocimiento.

Con referencia a teoría de Tectónica de Placas, también Zilio et al. (2022) señala “Las corrientes convectivas del manto terrestre son el motor de este desplazamiento constante” (p.90). Las placas tectónicas incluyen sostienen o forman parte de continentes y fondos oceánicos, los cuales como consecuencia de las corrientes que se propagan calor al interior de la Tierra por diferente consistencia, hacen dinámicos cambios deformaciones desplazamientos producidos a lo largo de considerables tiempos, recordando que la formación de la Tierra es de hace 4,600 millones de años.

Sobre la teoría de Tectónica de Placas, también se plantea que los movimientos co - sísmicos se vinculan a fractura y por lo tanto ofrece información acerca de la estructura tanto de posición, tamaño, momento, etc., posibilitando construir modelo teórico de estas; para la especificación de los movimientos de la corteza terrestre se necesita considerar metodología que sean precisas, referido a establecer desplazamientos reducidos sobre grandes superficies (Romina, 2017). El movimiento co-símico, entendido como estudio análisis durante y como consecuencia de un sismo, superficialmente calculados, siendo posible determinar orientación y magnitud del vector desplazamiento, luego de la ruptura producida por evento.

Sobre la teoría de subducción, investigadores plantean que la Placa oceánica por el proceso subducción penetran en el manto, por la parte inferior de otra distinta placa inferior en densidad,

en configuración diagonal (Zilio et al., 2022). Introducirse una placa relativamente más compacta por debajo de una placa menos compacta, es base para que en muchas investigaciones estimen ángulos sobre el cual se están produciendo dichas dinámicas, que no son similares en todas las placas, tiene distintos grados de inclinación, repercute o son indicios de actividad sísmica en algunas regiones donde los hipocentros de sismos se concentran redundantemente en algunas áreas.

Con referencia a estimación de magnitud de sismos, entendido como medida del tamaño sismo y energía que libera, investigadores plantean efectos o consecuencias que producen los cuales en todos los países no son homogéneos, por lo que consideran la observación de terremotos prueba que la magnitud no es considerado parámetro que define indispensablemente un desastre (Zilio et al., 2022). En muchos países donde se tiene recursos disponibles invertidos en instrumentación sísmica considerable, hace que tengan modelado con mayor detalle los sucesos sísmicos, con sus correspondientes interpretaciones sobre áreas donde ocurrieron, así como las modificaciones producidas en la superficie, a considerar y tener en cuenta en labores de planificación y organización del territorio, así como en el diseño de infraestructuras diversas. Pero en países cuyos niveles sociales económicos o políticos, se vean limitados para poder adquirir y disponer de instrumentación, así como poder realizar construcciones cuya infraestructura puedan resistir y superar sin colapsar determinados eventos sísmicos. Entonces podemos decir que son desiguales los efectos y consecuencias en vidas e infraestructuras de sismos de igual magnitud ocurrida en países desarrollados, comparado con los ocurridos en países con limitada economía, o que acarrear problemas políticos y sociales que limitan su desarrollo.

Es importante determinar y conocer el foco sísmico o hipocentro, así como también el inicio ruptura que originan sismos. En estudios se plantea que el hipocentro, también denominado

foco, se advierte examinar datos conseguidos por sismogramas para encontrar su localización (Proaño, 2021). Es muy importante lo afirmado, hay ocasiones que este no sea solo un punto, a ser conseguidos ubicaciones hipocentros mediante equipos sismológicos.

Sobre la teoría de la Tectónica de Placas, algunos estudios plantean y estiman que la zona de convergencia inclinado de la placa de Nazca debajo de la placa Sudamericana tiene ubicación en dirección N-S, de forma equidistante de la costa, prolongándose hasta los 46°S de latitud en el que se localiza el Punto Triple situado entre placas Nazca, Sudamericana y Antártica. (Peña, 2021). Es importante determinar la dirección de convergencia entre la Placa de Nazca con la Placa Sudamericana, también con la Placa Antártica, realizar estimaciones del ángulo, velocidad e inclinación de las zonas de subducción.

Relacionados a la teoría de desplazamientos, estudios proponen deformación está referido a todas las modificaciones en dimensiones, configuración, orientación o posición de una materia rocosa. (Romina, 2017). La deformación se entiende como cambios no solo en su orientación o posición, sino también incluye cambios en dimensiones como también en la forma de masas rocosas, ocasionado en algunos casos por sismos.

2.2. Marco conceptual

2.2.1 *Distancia epicentral*

El Centro Sismológico Nacional (CSN, 2025a) señala:

Es la distancia entre un observador o una estación sismológica y el epicentro de un sismo, medida sobre la superficie de la Tierra.

2.2.2 *Enjambres sísmicos (swarms)*

El CSN (2025a) señala:

Es una secuencia de numerosos sismos concentrados en una región durante un periodo de tiempo de días a varios meses. A diferencia de un sismo principal y sus réplicas, en el caso de enjambres los sismos no están asociados a un terremoto mayor, sino a numerosos sismos con magnitud máxima moderada. Son comunes en las regiones volcánicas, pero también suceden en regiones asociadas a actividad tectónica, por ejemplo, Copiapó en 1973.

2.2.3 *Epicentro*

El CSN (2025a) señala:

Es el punto en la superficie de la Tierra ubicado directamente sobre el foco o hipocentro.

2.2.4 *Escala de Mercalli modificada*

El CSN (2025a) señala:

Es una escala de doce grados que mide la intensidad observada en un lugar específico dado los efectos que produce el sismo. Para un mismo temblor habitualmente se reportan varias intensidades las que, en general, decrecen a medida que la distancia epicentral aumenta. Se usa oficialmente en Chile y corresponde a la norma chilena NCh3 of.61.

2.2.5 *Escala de Richter*

El CSN (2025a) señala:

Escala de magnitud de un sismo desarrollada inicialmente por C.F. Richter en 1935 que se conoce como magnitud local (ML). Ha evolucionado en las últimas décadas y en el presente se utiliza preponderantemente la magnitud momento (Mw).

2.2.5 *Falla*

El CSN (2025a) señala:

Es una fractura en las rocas en el interior de la Tierra a lo largo de la cual se mueven los bloques rocosos que son separados por ella, debido a que el esfuerzo acumulado excede la resistencia interna entre los bloques.

2.2.6 *Intensidad*

El CSN (2025a) señala:

Es una medida de los efectos producidos por un sismo en personas, animales, estructuras y terreno en un lugar particular. Existen varias escalas de intensidad. En Chile se utiliza la Escala de Intensidades de Mercalli Modificada (NCh3 of.61). En esta escala, los valores de intensidad se denotan con números romanos que clasifican los efectos sísmicos con doce niveles ascendentes en severidad. La intensidad no solo depende del tamaño del sismo (magnitud) y de la fuerza del sismo (aceleración), sino que también de la distancia epicentral, la geología local, la naturaleza del terreno y el tipo de construcciones en el lugar. Para un mismo temblor habitualmente se reportan varias intensidades las que, en general, decrecen a medida que la distancia epicentral aumenta.

2.2.7 *Magnitud*

El CSN (2025a) señala:

Es una medida del tamaño de un sismo que tiene relación con la cantidad de energía liberada en forma de ondas elásticas (ondas internas o superficiales), como también aquellas ondas de período largo con periodos entre 200 y 1000 segundos (Fase W). Se puede considerar como el tamaño relativo de un sismo y se determina, en el primer caso, considerando la amplitud máxima de movimiento de la onda registrada, a la cual se le aplica una corrección por distancia epicentral y profundidad focal, o utilizando el espectro de amplitud en el dominio de frecuencias de las ondas seleccionadas. En el segundo caso, por

la inversión de la forma de onda de período largo (Fase W), comparada con los registros observados.

2.2.8 *Magnitud de Momento (M_w)*

El CSN (2025a) señala:

Se determina en función del momento sísmico escalar (M_0) del sismo, el que se calcula como el producto del área de la falla (largo por el ancho) asociada con el desplazamiento promedio que se produjo en la ruptura y con el módulo de rigidez. Esta magnitud es de gran utilidad en sismos de mayor tamaño ya que no satura, y es estimada mediante diferentes técnicas:

Modelo de Brüne (M_w): Esta técnica permite estimar la magnitud de momento utilizando el espectro de desplazamiento en función de la frecuencia de las ondas de internas. Es de gran utilidad para sismos de mediana magnitud ya que utiliza registros sismológicos cercanos a la fuente sísmica.

Fase W (M_{ww}): Esta técnica utiliza una onda de período largo denominada Fase W, de entre 200 y 1000 segundos, para estimar M_w en eventos de gran magnitud. Esta fase se observa a distancias superiores a los 5 grados, en sismogramas de banda ancha, entre la llegada de la onda P y la onda S.

Tipos magnitudes más comunes:

ML: Magnitud Local.

M_w : Magnitud Momento.

M_{ww} : Magnitud Momento obtenida a partir de la Fase W.

M_{wp} : Magnitud Momento obtenida a partir del espectro de ondas P.

M_b : Magnitud determinada a partir de la amplitud de las ondas internas.

Ms: Magnitud determinada a partir de la amplitud de las ondas superficiales.

MB, MS: igual que las dos anteriores pero estimadas en registros producidos por instrumentos de banda ancha.

2.2.9 Precursores

El CSN (2025a) señala:

En ciertos casos, es posible observar - en la región epicentral - algunos temblores pequeños con anterioridad a la ocurrencia del sismo principal. A éstos se les denomina “precursores”.

Sin embargo, éstos no suceden con la suficiente regularidad como para ser utilizados a modo de predecir terremotos de mayor magnitud.

2.2.10 Réplica

El CSN (2025a) señala:

Después de que se produce un terremoto, es posible esperar que ocurran muchos sismos de menor magnitud en la zona de ruptura asociada al sismo principal. A estos temblores se les denomina “réplicas”. La duración de las réplicas es función de la magnitud del sismo principal y pueden ocurrir por varios años. La zona que cubre los epicentros de las réplicas se llama “área de réplicas” y sus dimensiones, principalmente de las réplicas tempranas (algunos días de ocurrido el evento), son una indicación del área de ruptura en la falla asociada con el terremoto principal.

2.2.11 Sismo

El CSN (2025a) señala:

Corresponde al proceso de liberación súbita de energía, generando ondas elásticas y su posterior propagación por el interior de la Tierra. Al llegar a la superficie de la Tierra, estas ondas producen movimiento y vibración del suelo. En Chile, se usa el término Terremoto

para un sismo que genera daños estructurales, esto es, que sea reportado con Intensidad en la Escala de Mercalli Modificada con grado VII o superior.

Dependiendo del proceso de generación de ondas elásticas, los sismos se pueden clasificar en:

- **Sismos Tectónicos**, asociados a la activación de ruptura en una falla geológica o parte de ella.
- **Sismos Volcánicos**, asociados a cambios de presión y oscilaciones de magma, fluidos y gases en regiones volcánicas.
- **Sismos Inducidos**, asociados a acción humana (e.g. explotación minera, inyección de fluidos en la corteza, carga de agua en embalses), o procesos externos sobre la superficie de la Tierra (e.g. impacto de meteoritos).

III. MÉTODO

3.1. Tipo de investigación

Aplicada, interesa adaptar la competencia para solucionar condiciones de desplazamientos espaciales superficiales anteriores y siguientes a la ocurrencia de sismos, así como su impacto en las coordenadas geodésicas.

Nivel de investigación

Se considera Descriptiva-Correlacional, se explora centra en comprender el comportamiento de una variable comportar una variable con las variables vinculadas.

Es correlacional, por motivo se explora relación entre variables.

Diseño de investigación

Es no experimental, correlacional.

Es longitudinal, a lo largo del tiempo se reúne información histórica temporal en puntos y etapas especificados, que permitirá elaborar detalles del cambio, sus resultados.

3.2. Población y muestra

3.2.1 Población

Para el presente estudio, se consideró universo estaciones de referencia operativas próximos a epicentros de sismos (20), que están disponibles y operativas, administrada por el Centro Sismológico Nacional perteneciente a la Universidad de Chile, donde se verificara dispongan data útil para el periodo de estudio 2017.2024.

3.2.2 Muestra

Se eligió 9 estaciones de referencia, las cuales han sido seleccionadas por su proximidad a epicentros de sismos seleccionados, consistencia de la data, disponibilidad de data histórica anual 2017-2024, siendo la unidad para el análisis el de una estación de referencia.

3.3. Operacionalización de variables

Es posible medir y analizar las variables, indicadores de datos observables, contrastar dimensiones, contribuyen a ubicar la situación en la que se halla la problemática a estudiar.

Tabla 1

Matriz operacionalización de variables

VARIABLE 1	VARIABLE 2
Desplazamientos en estaciones	Coordenadas geodésicas.
Definición conceptual: Distancias en la superficie continental, medidas desde una ubicación en un tiempo inicial a un tiempo final, previo y siguiente a la ocurrencia de un sismo.	Definición conceptual: Coordenadas curvilíneas ortogonales, basadas en un elipsoide, y marco de referencia. Sus componentes son latitud, longitud y altura elipsoidal.
Definición operacional: Cálculo de desplazamientos de estaciones de referencia, en base a la variación espacial de sus posiciones en diferentes tiempos; cálculo de las distancias desde posición temporal inicial a posición temporal final, luego de producidos sismos.	Definición operacional: Latitud geodésica , mide la proximidad ángulo de un punto desde el plano imaginario del ecuador a recta normal al elipsoide en meridiano, medido hacia los polos de -90* a +90. Indicador: medido en grados, minutos, segundos. Longitud geodésica , mide ángulo de rotación de un punto desde el meridiano partida (meridiano de Greenwich), en un elipsoide de referencia, medido de -180* a +180. Indicador: medido en grados, minutos, segundos.

VARIABLE 1	VARIABLE 2
	Altura elipsoidal , distancia de un punto ubicado en la superficie terrestre, ortogonal a la superficie elipsoidal de referencia. Indicador: medido en metros.
Dimensiones: Distancia	Dimensiones: Latitud geodésica, longitud geodésica, altura elipsoidal.
Indicadores: Milímetros, centímetros, metros	Indicadores: Latitud geodésica, longitud geodésica, en grados, minutos, segundos. Altura elipsoidal en metros.

3.4 Instrumentos

3.4.1. Técnicas de investigación

Se ha recopilado la data, mediante acceso a la base de datos del Centro Sismológico Nacional de Chile, en algunas estaciones no tienen disponibilidad de data histórica observada de manera continua; dejaron de operar eventualmente en algunos periodos de tiempo, podrían haber estado en mantenimiento, u otros motivos.

Se seleccionó y examino la data de estaciones de referencia disponibles en red.

3.4.2. Instrumentos y/o fuentes de recolección de datos

- Verificación de los epicentros de los sismos seleccionados, ubicándolos espacialmente.
- Se realizó búsqueda de estaciones próximas a epicentros sismos en la base de datos del Centro Sismológico Nacional de la Universidad de Chile.
- Selección estaciones de referencia.
- Comprobación de existencia y consistencia de data.
- Adquisición de la data de estaciones de referencia.
- Construcción del marco teórico.

3.4.3. Validación de los instrumentos

La fidelidad de los instrumentos que calculan las variables concordantes con los indicadores, gracias al apoyo de institución científica internacional Geoscience Australia, que disponen de programas científicos especializados, cuyos productos son validados internacionalmente.

3.5. Procedimientos

La secuencia empleados para los procesamientos utilizados en el análisis de la Información en el desarrollo del estudio fueron:

- Recopilación de archivos de observaciones de la base de datos disponible del Centro Sismológico Nacional de la Universidad de Chile;
- Organizar archivos, comprobar formatos concordantes, marca, modelo y altura de antena estación referencia;
- Envío y traslado de archivos de observaciones estaciones de referencia a centros de análisis y procesamiento;
- Procesamiento de datos con software científico por parte de centros de análisis y procesamiento con reconocimiento internacional;
- Ingreso de reportes del procesamiento y ajuste, soluciones diarias con indicadores.
- Elaborar cuadros con coordenadas cartesianas y geodésicas, comparaciones, cálculo de desplazamientos.
- Realizar cuadros componentes coordenadas geodésicas, soluciones finales diarias.
- Modelamiento de las series de tiempo;
- Clasificación e identificación de sismos ocurridos entre los años 2017-2024, incluye desplazamientos;

- Cálculo de desplazamientos horizontales y verticales.
- Reunión con Asesor, para verificación de la información recolectada y análisis.
- Se llevó a cabo procesamiento de resultados descritas en los ítems anteriores.
- Preparación del Informe preliminar
- Preparación de Informe Final, Sustentación y Presentación.

3.6. Análisis de datos

Se utiliza control estadístico, series de tiempo, coordenadas geodésicas, que admita vincular los desplazamientos horizontales y verticales, impacto con las coordenadas geodésicas, análisis de gráficos y reportes.

Diseño estadístico

Luego de recopilar la data de estaciones de referencia, se seleccionaron y prepararon para ser sometidos al procesamiento de cooperante perteneciente a la Comunidad científica internacional Geoscience Australia, que dispone servicio procesamiento de datos GPS Auspos, cálculos realizan con el software Bernese. Fueron enviados para procesamiento y recibidos por correo reportes soluciones finales, ITRF2020, verificándose datos y parámetros concordantes con la configuración de la estación.

Las soluciones finales son diarias, las cuales son el resultado de 24 horas de observación continua en estaciones de referencia. Son considerados información extraída de los archivos, modelo de antena, altura, modelo, entre otros.

IV. RESULTADOS

4.1. Análisis e interpretación de resultados

4.1.1. *Diagnóstico del proceso*

Nos permitió analizar el problema, las estaciones seleccionadas instaladas y mantenidas por el Centro Sismológico Nacional de la Universidad de Chile, que se ubican próximos a epicentros de sismos seleccionados.

Se realizó el proceso de verificación de la data, parámetros de receptores y antenas.

Luego se sometió al procesamiento de observaciones, facilitado por apoyo cooperante perteneciente a la Comunidad científica internacional Geoscience Australia, que dispone servicio procesamiento de datos GPS Auspos, para obtener soluciones finales diarias.

En el estudio, se analizaron 9 estaciones ubicadas en Chile, próximas a epicentros de dos sismos de igual o mayor magnitud 6.9, ocurridos en el periodo de estudio.

Adicionalmente, se estimaron desplazamientos anuales en 2 estaciones ubicados al Sur de Chile, próximo a límite de la Placa Scotia con la Placa Sudamericana.

4.1.1.1. Sismo del 19.07.2024

El día 19.07.2024 a las 01:50:47 (hora GMT, UTC), ocurrió un sismo con las siguientes características según el Centro Sismológico Nacional (CSN, 2025b):

Latitud : -23.122°

Longitud : -68.061°

Profundidad : 145 Km.

Magnitud : 7.4 Mww (Magnitud momento obtenido a partir de la Fase W)

La hora UTC corresponde a las 01:50:47 del 19.07.2024. La **hora local es 21.50.47 (hora de Santiago, GMT -4) del 18.07.2024**.

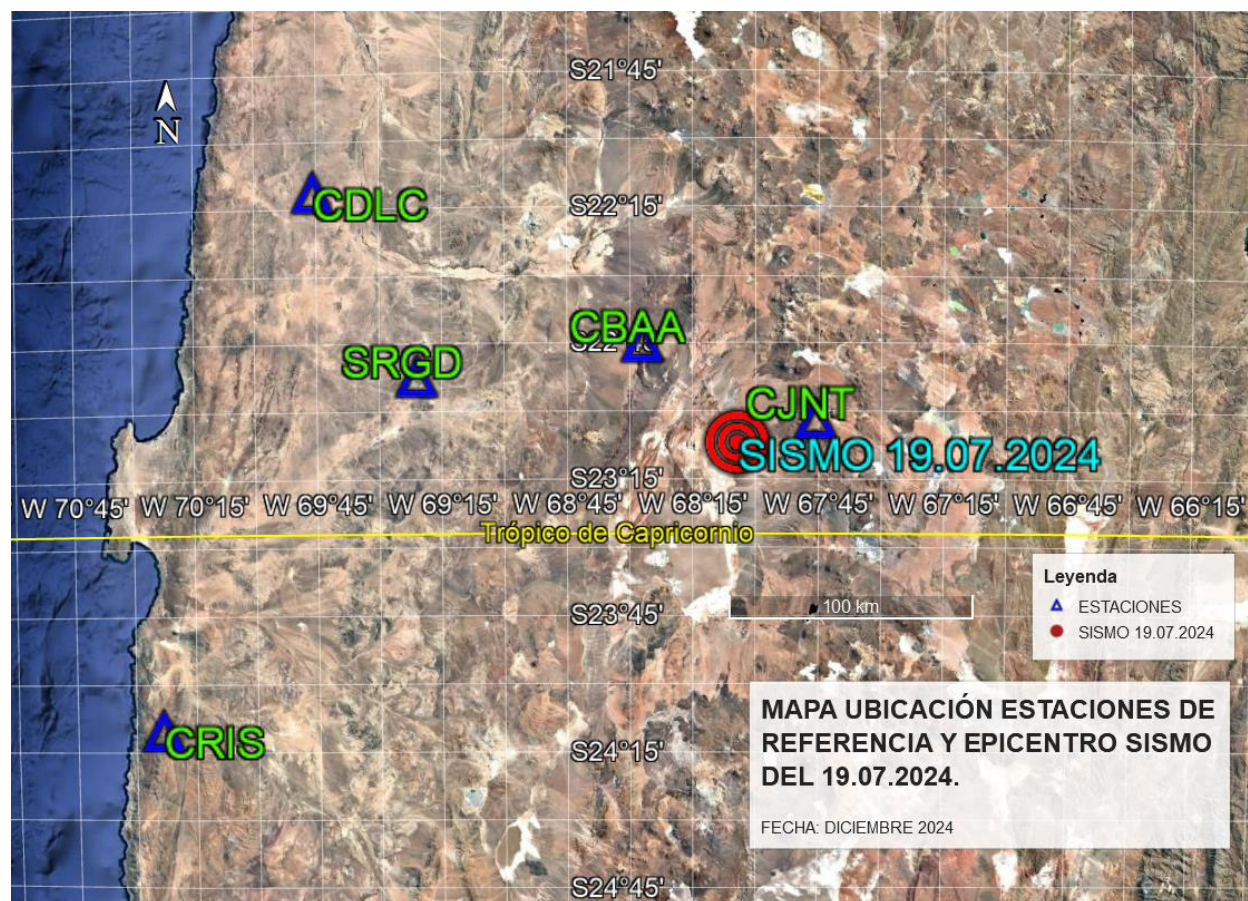
En las localidades de la Región de Antofagasta, como **San Pedro de Atacama**, ubicado a **29 km** del epicentro, y **Calama** ubicado a **114 km.** del epicentro, el sismo debería haberse sentido como un ligero temblor.

El Centro Sismológico Nacional de la Universidad de Chile informó de múltiples réplicas cerca de San Pedro de Atacama, cuyas magnitudes han fluctuado de entre 3.1 y 4.8.

Próximo al epicentro del sismo se ubicaron 15 estaciones, de las cuales con data de días previos y posteriores al sismo del 19.07.2024, se tienen 7 estaciones. De estas estaciones, por cercanía al epicentro se seleccionaron 5 estaciones (CBAA, CDLC, CJNT, CRIS, SRGD).

Figura 1

Mapa Ubicación Estaciones de referencia y epicentro sismo del 19.07.2024.



Nota. Las ubicaciones de estaciones CBAA, CDLC, CJNT, CRIS, SRGD, obtenidas de las soluciones finales día 20.07.2026 en coordenadas geodésicas GRS80, ITRF2020; la ubicación del epicentro obtenida de coordenadas publicitadas por CSN (2025b), insertados referencialmente en Google Earth.

Tabla 2

Distancias elipsoidales calculadas desde el epicentro del sismo 19.07.2024, a estaciones.

FUENTES INFORMATIVAS DE UBICACIÓN Y COORDENADAS		DISTANCIA ELIPSOIDAL		
EPICENTRO SISMO 19.07.2024 (A)	ESTACION (B)	(m.) DESDE (A) - (B)	AZIMUT DIRECTO	DIRECCION
CSN (2025b)	CBAA (*)	56,714.715	316° 46' 35.19"	Nor Oeste
CSN (2025b)	SRGD (*)	133,877.769	281° 37' 47.35"	Nor Oeste
CSN (2025b)	CRIS (*)	263,331.567	243° 23' 16.63"	Sur Oeste
CSN (2025b)	CDLC (*)	202,088.133	300° 19' 23.49"	Nor Oeste
CSN (2025b)	CJNT (*)	33,320.198	72° 9' 12.16"	Nor Este

Nota. Las coordenadas del epicentro del Sismo del 19.07.2024 fueron obtenidas del CSN (2025b). Las coordenadas geodésicas de las estaciones CBAA, SRGD, CRIS, CDLC, CJNT, identificadas con (*) fueron obtenidas en el presente trabajo de soluciones finales día 20.07.2024, elipsoide GRS80, ITRF2020.

A. Desplazamientos temporales en estación CBAA.

La estación CBAA se ubica a aproximadamente 57 km. del epicentro del sismo del 19.07.2024.

Tomando como referencia datos coordenadas del epicentro proporcionado por CSN (2025b) y coordenadas geodésicas de la estación CBAA (solución día 20.07.2024), se obtiene:

Distancia elipsoidal (D) del epicentro (Sismo 19.07.2024) a la estación CBAA (solución día 20.07.2024):

D=56,714.715 m., azimut directo 316° 46' 35.19"

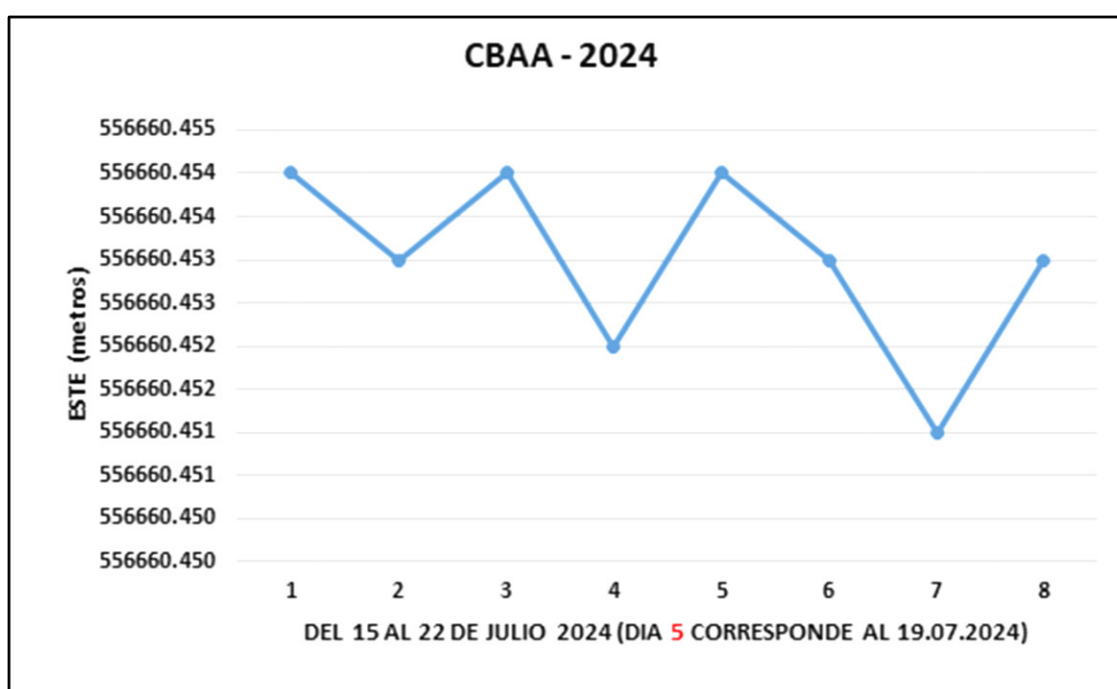
Se tomó como referencia observaciones de días previos y siguientes al sismo del 19.07.2024. Se sometieron al procesamiento, obteniéndose soluciones diarias coordenadas elipsoide GRS80, marco de referencia ITRF2020, incluyen las alturas elipsoidales. Las

coordenadas geodésicas obtenidas, para fines de visualización se utilizaron la proyección UTM, zona 19, presentándose componentes Este y Norte.

Considerando día previo y siguientes al sismo del 19.07.2024, se visualiza en la componente **Este** variación mínima 0.1 cm. (1mm.).

Figura 2

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Este para Estación CBAA, previo y siguiente al sismo ocurrido 19.07.2024.

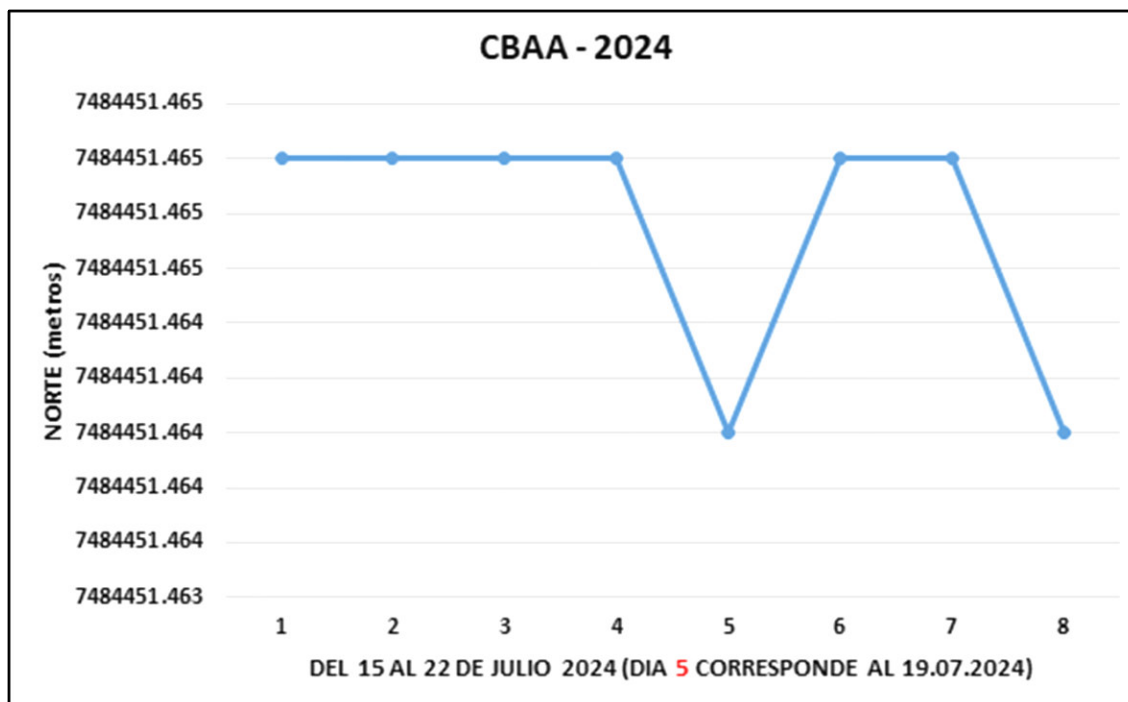


Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 15 al 22 de julio 2024, donde los números representan a los días: **1** al 15.07.2024; **2** al 16.07.2024; **3** al 17.07.2024; **4** al 18.07.2024; **5** al 19.07.2024; **6** al 20.07.2024; **7** al 21.07.2024; **8** al 22.07.2024. La componente **ordenada**, indica valores de la componente **Este**, proyección UTM, zona 19, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Considerando día previo y siguiente al sismo del 19.07.2024, no se visualiza variación en la componente **Norte**.

Figura 3

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Norte para Estación CBAA, previo y siguiente al sismo ocurrido 19.07.2024.



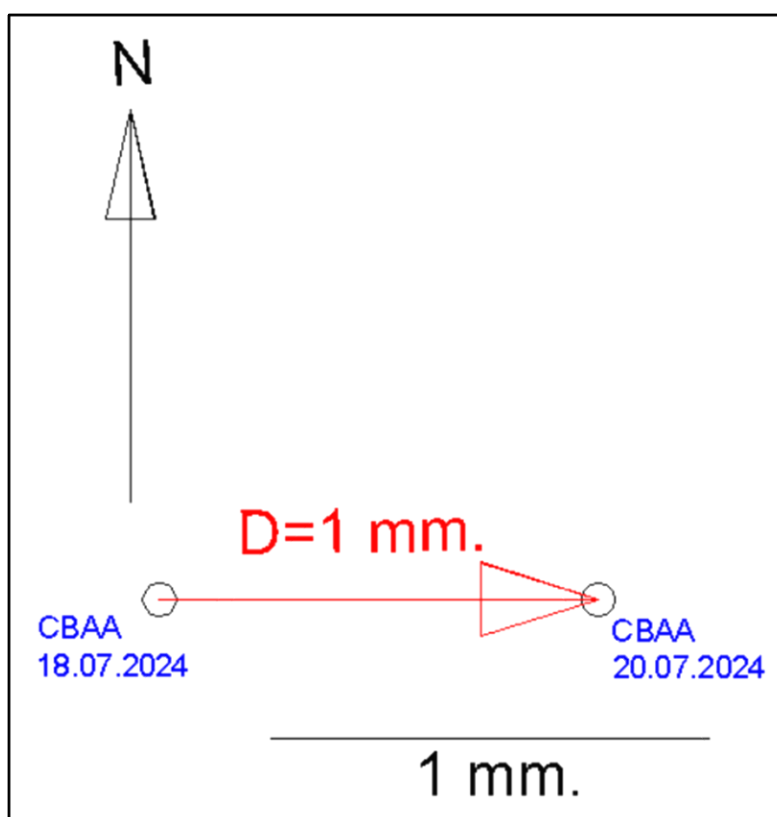
Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 15 al 22 de julio 2024, donde los números representan a los días: 1 al 15.07.2024; 2 al 16.07.2024; 3 al 17.07.2024; 4 al 18.07.2024; 5 al 19.07.2024; 6 al 20.07.2024; 7 al 21.07.2024; 8 al 22.07.2024. La componente **ordenada**, indica valores de la componente **Norte**, proyección UTM, zona 19, obtenida de coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Desplazamientos temporales horizontales en la estación CBAA días anterior y siguiente al sismo 19.07.2024.

Se observa desplazamiento muy mínima variación 0.1 cm. (1 mm.), en dirección Este.

Figura 4

Representa al vector desplazamiento horizontal, calculado a partir de ubicaciones temporales obtenidas de las soluciones diarias para CBAA del día anterior (18.07.2024) y siguiente (20.07.2024) al sismo ocurrido el 19.07.2024.



Nota. Componentes horizontales Este (*abscisa*) y Norte (*ordenada*), proyección UTM, zona 19, obtenida de coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Variaciones coordenadas geodésicas, desplazamientos

Tomando como referencia componente coordenadas geodésicas obtenidas de soluciones días previo y posterior al sismo del 19.07.2024, para la estación CBAA, se obtiene:

Día 18.07.2024: -22° 44' 46.91847", -68° 26' 53.32977"

Día 20.07.2024: -22° 44' 46.91847", -68° 26' 53.32975"

Componente Latitud

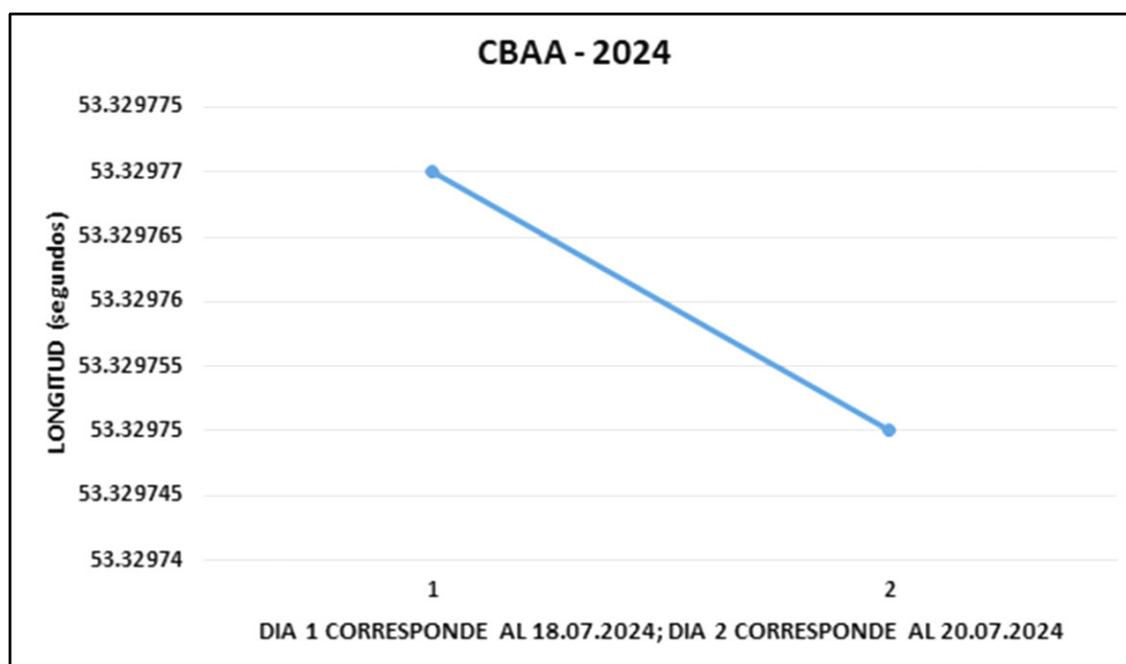
No varía

Componente Longitud

Varia 0.00002"

Figura 5

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Longitud para Estación CBAA, anterior y siguiente al sismo ocurrido 19.07.2024.



Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones, donde los números representan a días: **1** al **18.07.2024**; **2** al **20.07.2024**. La componente **ordenada**, indica valores parte de la componente **Longitud (segundos)**, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020; para lectura completa, a todos los valores numéricos en segundos, anteponer valor en grados y minutos siguiente: $-68^{\circ} 26'$ (ejemplo: $-68^{\circ} 26' 53.329755''$).

Distancia elipsoidal:

Obtenida entre la solución día 18.07.2024 y 20.07.2024.

$D=0.001$ m. (1 mm.), Azimut directo 90°

Considerando día anterior y siguiente al sismo del 19.07.2024, se visualiza en la componente **Altura Elipsoidal** no ha variado. La solución del día 19.07.2024 fecha del sismo, en su componente Altura Elipsoidal se visualiza variación mínima (2 mm.), vuelve a su ubicación inicial.

Componente Altura Elipsoidal

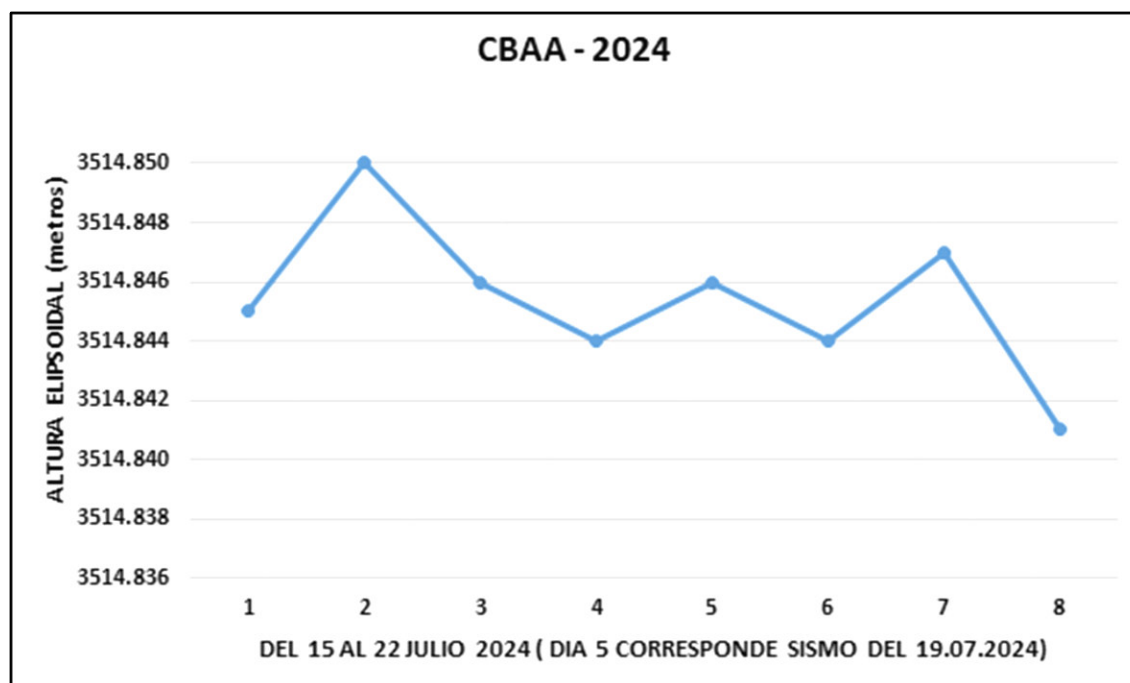
Día 18.07.2024: 3,514.844 m.

Día 20.07.2024: 3,514.844 m.

No varía

Figura 6

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente vertical Altura Elipsoidal para Estación CBAA, anterior y siguiente al sismo ocurrido 19.07.2024.



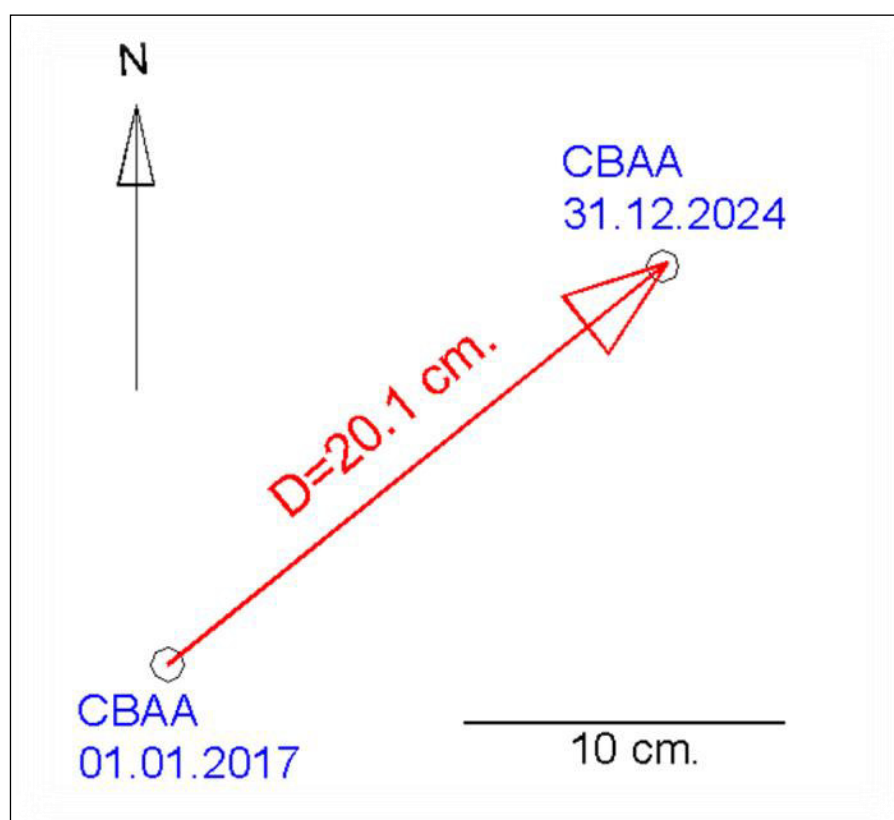
Nota. En la componente de la **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 15 al 22 de julio 2024, donde los números representan a los días: **1** al **15.07.2024**; **2** al **16.07.2024**; **3** al **17.07.2024**; **4** al **18.07.2024**; **5** al **19.07.2024**; **6** al **20.07.2024**; **7** al **21.07.2024**; **8** al **22.07.2024**. La componente **ordenada**, indica valores de la Altura Elipsoidal de coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Desplazamientos temporales en estación CBAA, en los últimos 8 años.

De las soluciones históricas diarias obtenidas en el actual estudio, se han comparado ubicaciones de la estación CBAA para el día 01.01.2017 con la obtenida para el día 31/12/2024, visualizándose desplazamientos horizontales en dirección Nor Este, de aproximadamente **20.1 cm.**; aproximadamente en promedio **2.5 cm./año.**, aproximadamente en promedio **0.2 cm./mes.**

Figura 7

Representa vector desplazamiento horizontal calculado a partir de ubicaciones temporales obtenidas de las soluciones diarias para la Estación CBAA del 01.01.2017 y 31.12.2024.

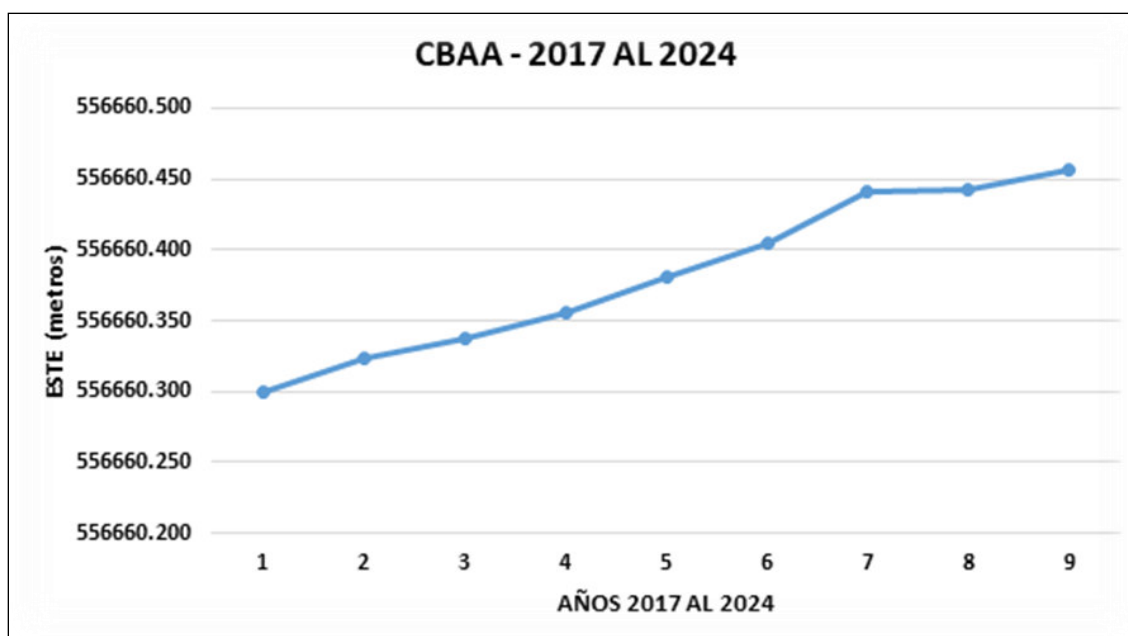


Nota. Considerando coordenadas geodésicas GRS80, ITRF2020, obtenidas a partir de las soluciones diarias para la estación **CBA**A del 01.01.2017 y 31.12.2024, se calcularon Distancia geodésica, obteniéndose $D = 0.201$ m. (**20.1 cm.**), Azimut directo $51^{\circ} 20' 50.61''$.

Considerando solución del día 01.01.2017 y la solución del día 31.12.2024, se visualiza en la componente **Este** variación de **15.7 cm.**

Figura 8

*Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Este para Estación CBA*A, desde el año 2017 al 2024.

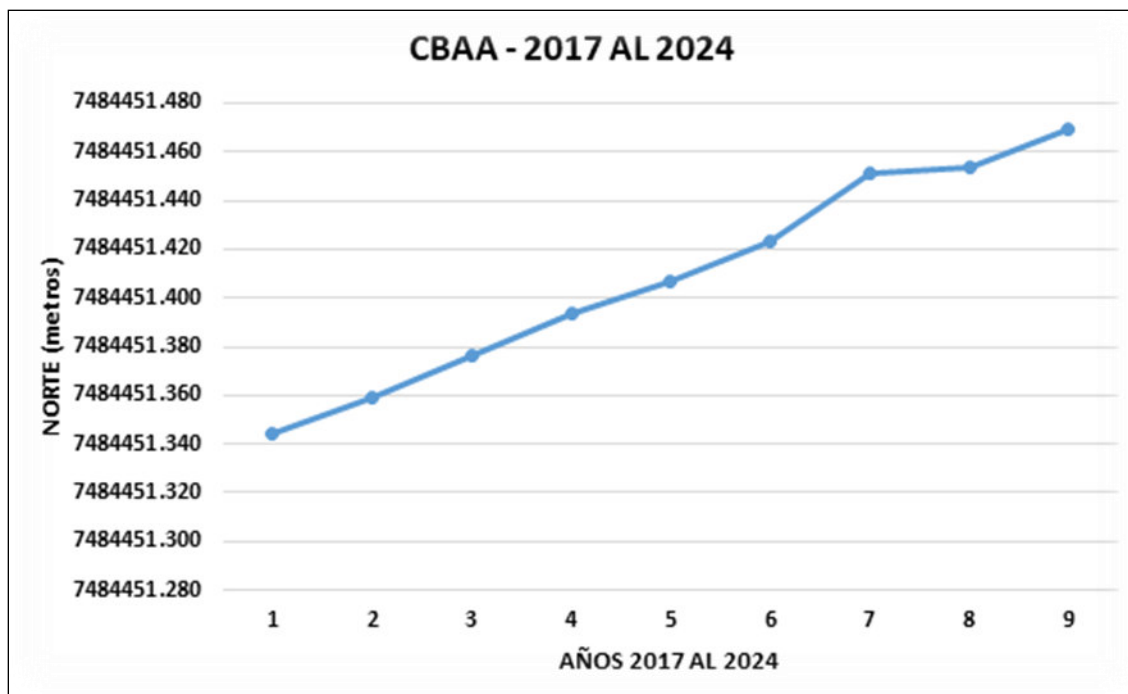


Nota. En la componente de la **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 2017 al 2024, donde los números representan a los días: **1** al **01.01.2017**; **2** al **01.01.2018**; **3** al **01.01.2019**; **4** al **01.01.2020**; **5** al **01.01.2021**; **6** al **01.01.2022**; **7** al **16.10.2023**; **8** al **01.01.2024**; **9** al **31.12.2024**. La componente **ordenada**, indica valores de la componente **Este**, proyección UTM, zona 19, obtenida de coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Considerando solución del día 01.01.2017 y la solución del día 31.12.2024, se visualiza en la componente **Norte** variación aproximada de **12.5 cm**.

Figura 9

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Norte para Estación CBAA, desde el año 2017 al 2024.



Nota. En la componente de la **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 2017 al 2025, donde los números representan a las siguientes fechas: **1** al **01.01.2017**; **2** al **01.01.2018**; **3** al **01.01.2019**; **4** al **01.01.2020**; **5** al **01.01.2021**; **6** al **01.01.2022**; **7** al **16.10.2023**; **8** al **01.01.2024**; **9** al **31.12.2024**. La componente **ordenada**, indica valores de la componente **Norte**, proyección UTM, zona 19, obtenida de coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Variaciones coordenadas geodésicas, desplazamientos CBAA del 01.01.2017, y 31.12.2024.

Tomando como referencia componente coordenadas geodésicas obtenidas 01.01.2017 y 31.12.2024, para la estación CBAA, se obtiene:

Día 01.01.2017: $-22^{\circ} 44' 46.92244''$, $-68^{\circ} 26' 53.33510''$

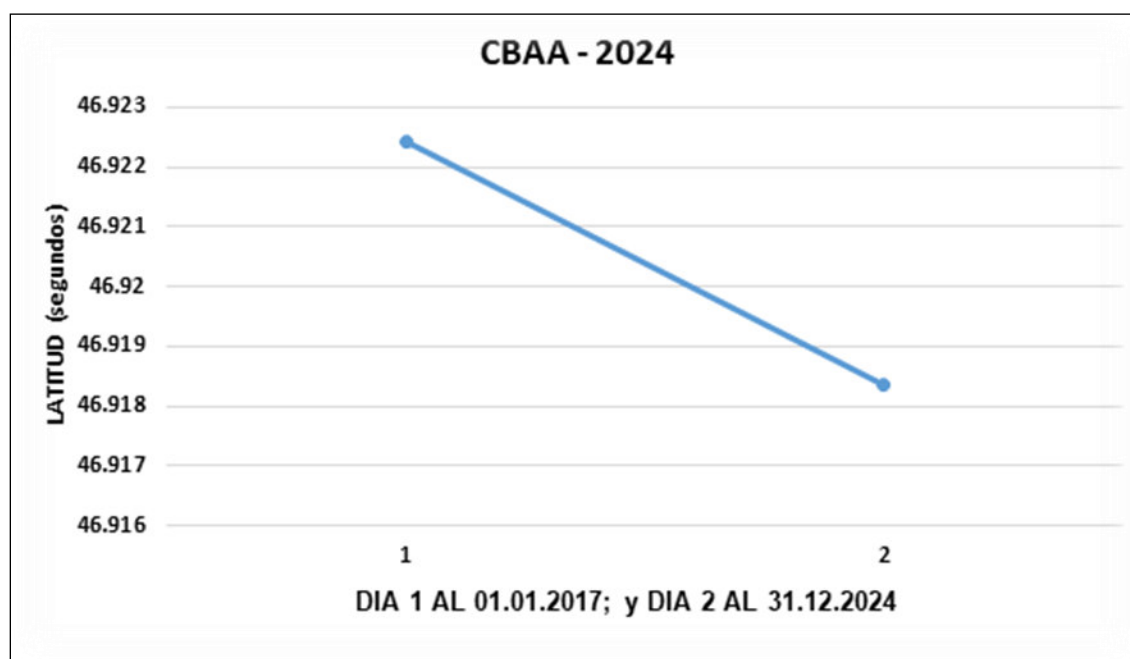
Día 31.12.2024: $-22^{\circ} 44' 46.91836''$, $-68^{\circ} 26' 53.32960''$

Componente Latitud

Varia $0.00408''$

Figura 10

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Latitud para Estación CBAA, días 01.01.2017 y 31.12.2024.



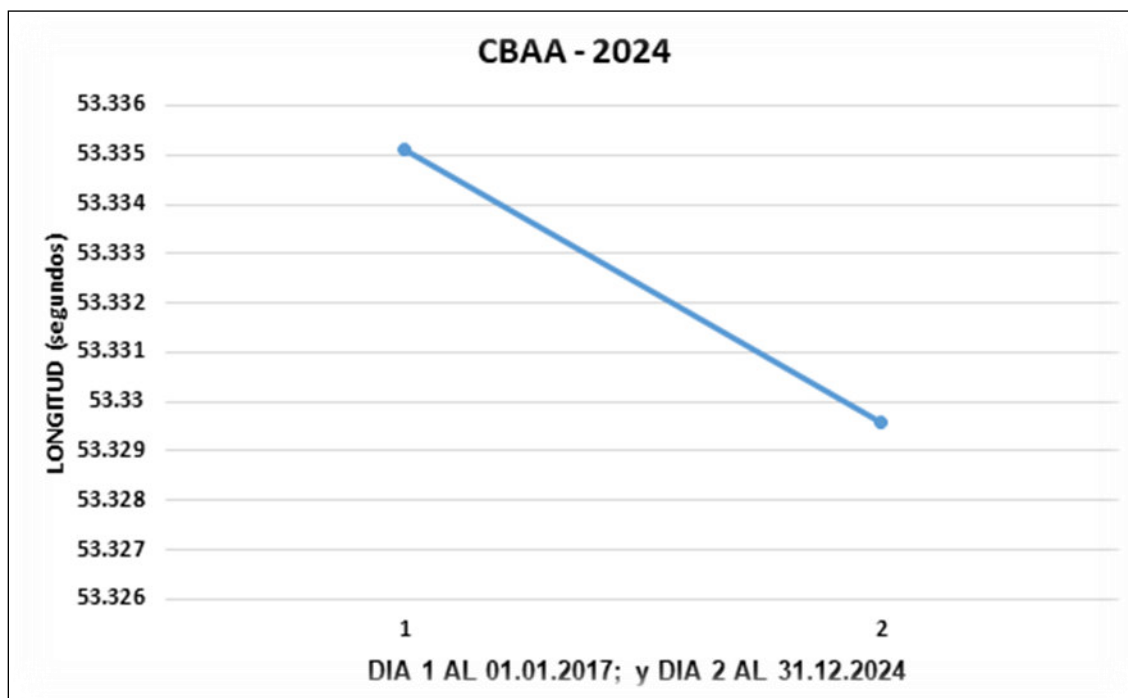
Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones donde se representa: **1** al día **01.01.2017**; **2** al día **31.12.2024**. La componente **ordenada**, indica valores parte de la componente **Latitud (segundos)**, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020; para lectura completa, a todos los valores numéricos en segundos, anteponer valor en grados y minutos siguiente: $-22^{\circ} 44'$ (ejemplo: $-22^{\circ} 44' 46.918''$).

Componente Longitud

Varia $0.00550''$

Figura 11

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Longitud para Estación CBAA, días 01.01.2017 y 31.12.2024.



Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones donde se representa: **1** al día **01.01.2017**; **2** al día **31.12.2024**. La componente **ordenada**, indica valores parte de la componente **Longitud (segundos)**, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020; para lectura completa, a todos los valores numéricos en segundos, anteponer valor en grados y minutos siguiente: $-68^{\circ} 26'$ (ejemplo: $-68^{\circ} 26' 53.329''$).

Distancia elipsoidal

Obtenida entre las soluciones: días 01.01.2017 y 31.12.2024.

D= 0.201 m. (**20.1 cm.**), Azimut directo $51^{\circ} 20' 50.61''$

En la **componente vertical**, representado por la Altura Elipsoidal, se visualiza muy ligera variación de 0.1 cm. entre la solución del día 01.01.2017 y 31.12.2024.

Figura 12

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente vertical Altura Elipsoidal para Estación CBAA, desde el año 2017 al 2024.



Nota. En la componente de **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 2017 al 2025, donde los números representan a las siguientes fechas: **1** al **01.01.2017**; **2** al **01.01.2018**; **3** al **01.01.2019**; **4** al **01.01.2020**; **5** al **01.01.2021**; **6** al **01.01.2022**; **7** al **16.10.2023**; **8** al **01.01.2024**; **9** al **31.12.2024**. La componente **ordenada**, indica valores de la **Altura Elipsoidal**, de coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

B. Desplazamientos temporales en la estación SRGD.

La estación SRGD, se ubica a aproximadamente 133 km. al epicentro sismo del 19.07.2024.

Tomando como referencia datos coordenadas del epicentro proporcionado por CSN (2025b) y coordenadas geodésicas de la estación SRGD (solución día 20.07.2024), se obtiene:

Distancia elipsoidal (D) del epicentro (Sismo 19.07.2024) a la estación SRGD (solución día 20.07.2024):

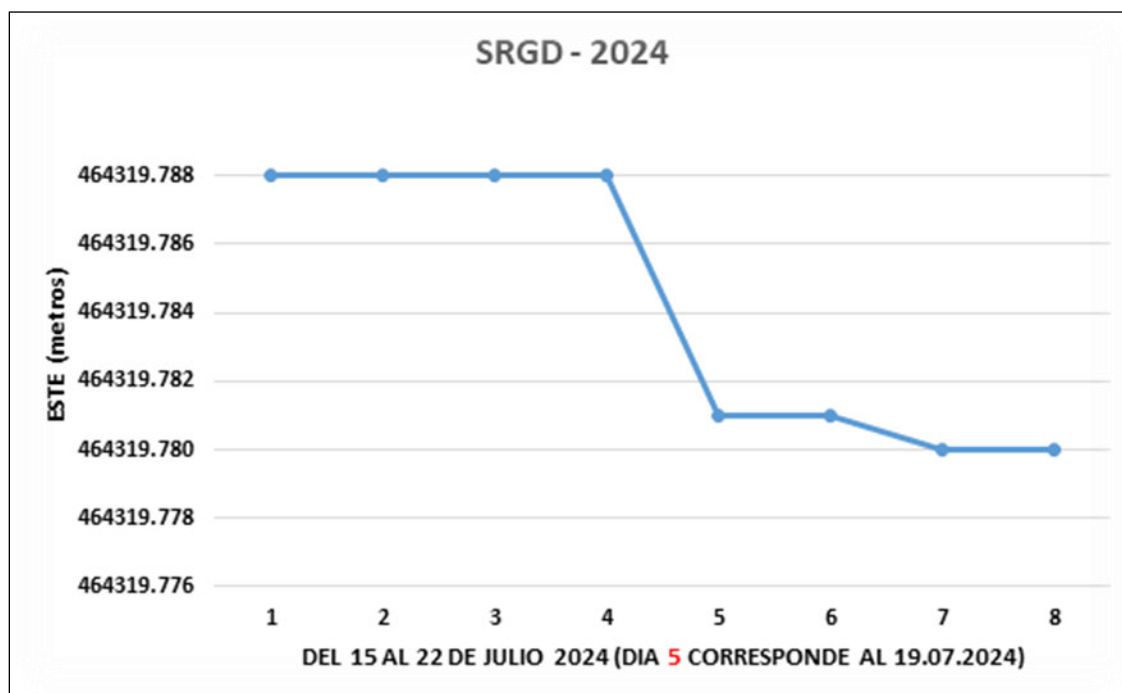
$D = 133,877.769 \text{ m-}$, Azimut directo $281^{\circ} 37' 47.35''$

Se tomó como referencia observaciones de días previos y siguientes al sismo del 19.07.2024. Se sometieron al procesamiento, obteniéndose soluciones diarias coordenadas elipsoide GRS80, marco de referencia ITRF2020, incluyen las alturas elipsoidales. Las coordenadas geodésicas obtenidas, para fines de visualización se utilizaron la proyección UTM, zona 19, presentándose componentes Este y Norte.

Considerando día previo y posterior al sismo del 19.07.2024, se visualiza en la componente **Este** variación aproximada de 0.7 cm. (7 mm.).

Figura 13

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Este para Estación SRGD, anterior y siguiente al sismo ocurrido 19.07.2024.

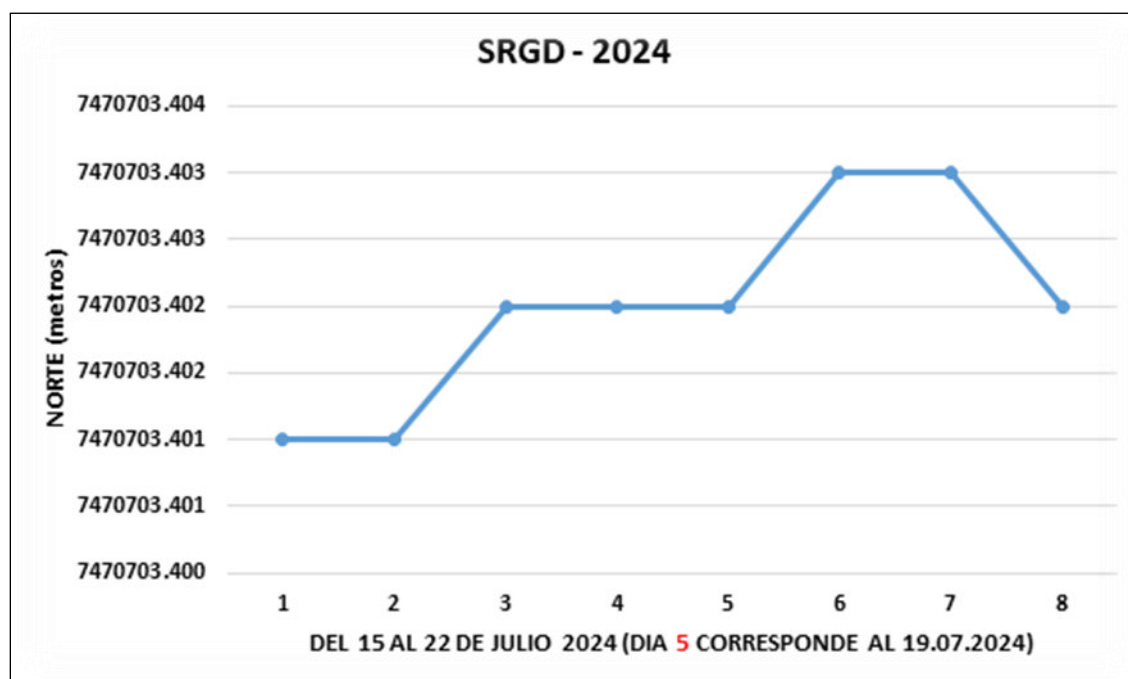


Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 15 al 22 de julio 2024, donde los números representan a los días: **1** al 15.07.2024; **2** al 16.07.2024; **3** al 17.07.2024; **4** al 18.07.2024; **5** al 19.07.2024; **6** al 20.07.2024; **7** al 21.07.2024; **8** al 22.07.2024. La componente **ordenada**, indica valores de la componente **Este**, proyección UTM, zona 19, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Considerando día previo y posterior al sismo del 19.07.2024, se visualiza en la componente **Norte** variación mínima 0.1 cm. (1 mm.).

Figura 14

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Norte para Estación SRGD, anterior y siguiente al sismo ocurrido 19.07.2024.



Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 15 al 22 de julio 2024, donde los números representan a los días: **1** al 15.07.2024; **2** al 16.07.2024; **3** al 17.07.2024; **4** al 18.07.2024; **5** al 19.07.2024; **6** al 20.07.2024; **7** al 21.07.2024; **8** al 22.07.2024. La componente

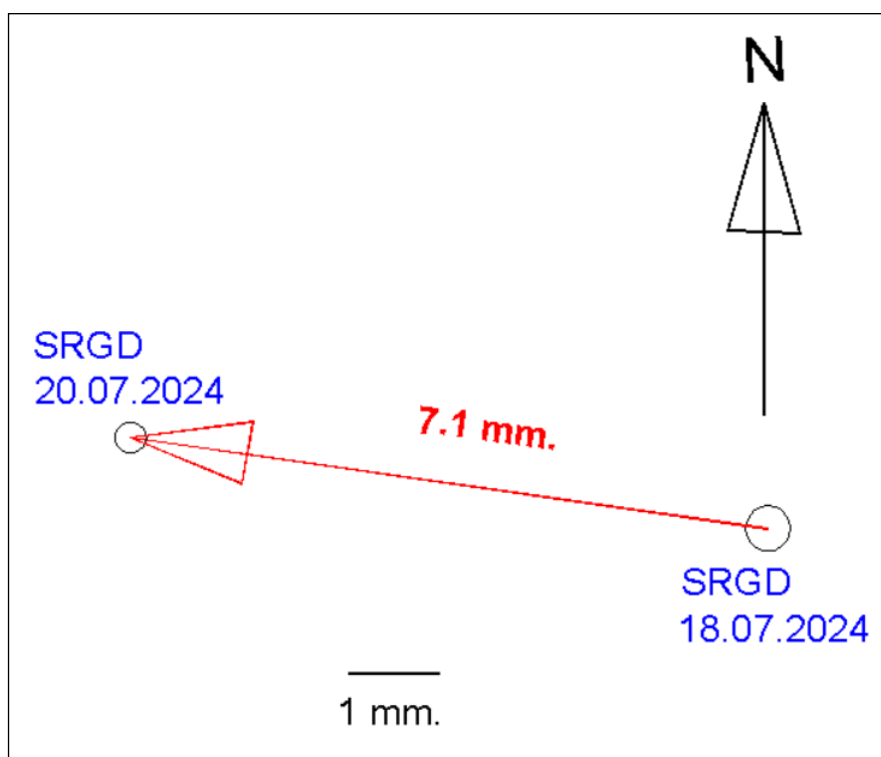
ordenada, indica valores de la componente **Norte**, proyección UTM, zona 19, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Desplazamientos temporales horizontales en la estación SRGD día anterior y siguiente al sismo 19.07.2024.

Se observa que el desplazamiento horizontal ha sido muy mínimo 0.7 cm. (7.1 mm.).

Figura 15

Representa al vector desplazamiento horizontal, calculado a partir de ubicaciones temporales obtenidas de las soluciones diarias para estación SRGD día anterior (18.07.2024) y siguiente (20.07.2024) al sismo ocurrido el 19.07.2024.



Nota. Componentes horizontales Este (*abscisa*) y Norte (*ordenada*), proyección UTM, zona 19, obtenida de coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Variaciones coordenadas geodésicas, desplazamientos.

Tomando como referencia componente coordenadas geodésicas obtenidas días previo y siguiente al sismo del 19.07.2024, para la estación SRGD, se obtiene:

Día 18.07.2024: $-22^{\circ} 52' 16.08416''$, $-69^{\circ} 20' 52.19364''$

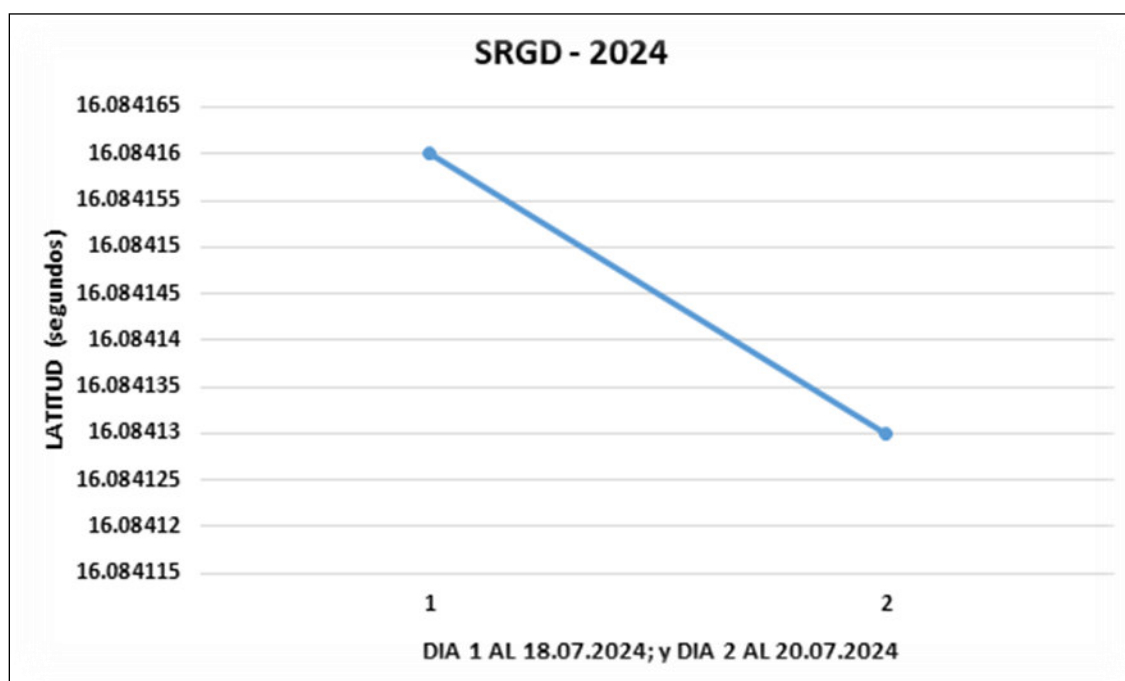
Día 20.07.2024: $-22^{\circ} 52' 16.08413''$, $-69^{\circ} 20' 52.19389''$

Componente Latitud

Varia $0.00003''$

Figura 16

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Latitud para Estación SRGD, anterior (18.07.2024) y siguiente (20.07.2024) al sismo ocurrido 19.07.2024.



Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones donde se representa: **1** al día **18.07.2024**; **2** al día **20.07.2024**. La componente **ordenada**, indica valores parte de la componente **Latitud (segundos)**, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020; para

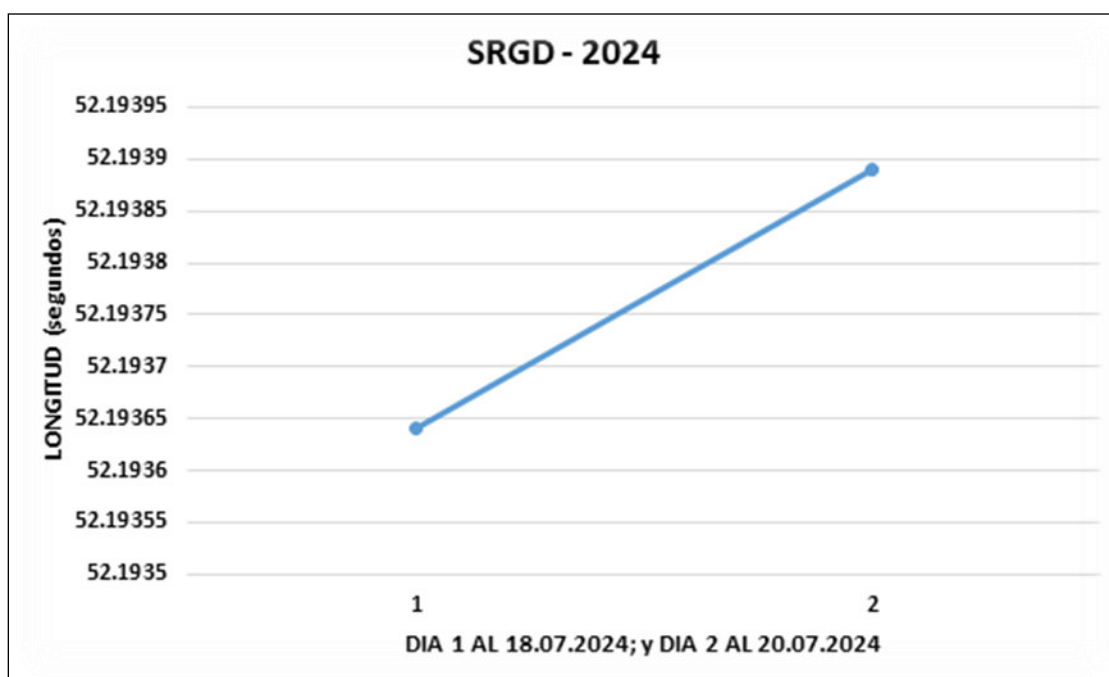
lectura completa, a todos los valores numéricos en segundos, anteponer valor en grados y minutos siguiente: $-22^{\circ} 52'$ (ejemplo: $-22^{\circ} 52' 16.08413''$).

Componente Longitud

Varia 0.00025"

Figura 17

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Longitud para Estación SRGD, anterior (18.07.2024) y siguiente (20.07.2024) al sismo ocurrido 19.07.2024.



Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones donde se representa: **1** al día **18.07.2024**; **2** al día **20.07.2024**. La componente **ordenada**, indica valores parte de la componente **Longitud (segundos)**, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020; para lectura completa, a todos los valores numéricos en segundos, anteponer valor en grados y minutos siguiente: $-69^{\circ} 20'$ (ejemplo: $-69^{\circ} 20' 53.329755''$).

Distancia elipsoidal:

Obtenida entre las soluciones días 18.07.2024 y 20.07.2024.

D= 0.007 m., Azimut directo= 277° 22' 43.09"

Componente Altura Elipsoidal

Día 18.07.2024: 1,899.395 m.

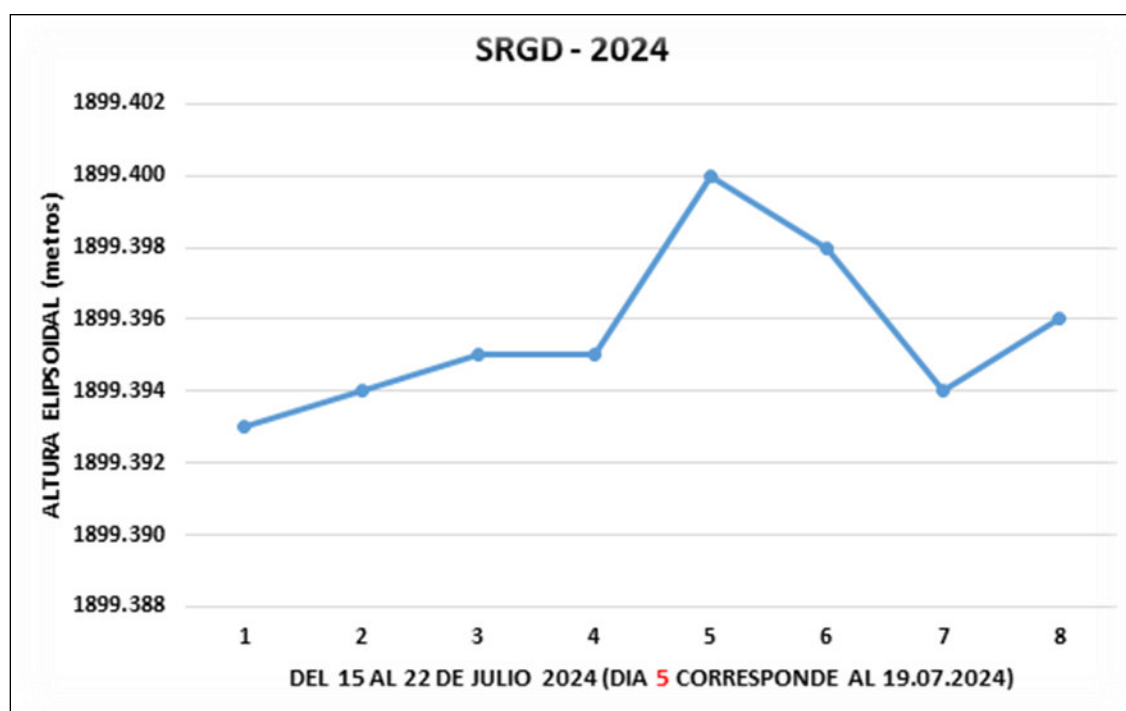
Día 20.07.2024: 1,899.398 m.

Varía 0.003 m.

Considerando día previo y siguiente al sismo del 19.07.2024, se visualiza en la componente **Altura elipsoidal** (HAE) muy ligera deformación **levantamiento vertical** variación de **0.3 cm.** (aproximadamente 3 mm.). Días posteriores tiende a volver a referencia inicial.

Figura 18

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente vertical Altura Elipsoidal para Estación SRGD, anteriores y siguientes al sismo ocurrido 19.07.2024.



Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 15 al 22 de julio 2024, donde los números representan a los días: **1** al 15.07.2024; **2** al 16.07.2024; **3** al 17.07.2024; **4** al

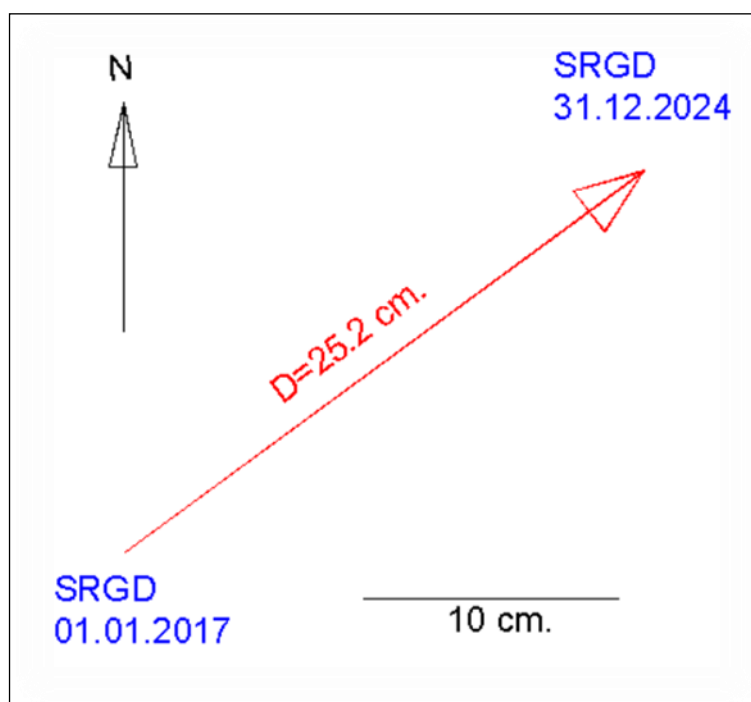
18.07.2024; 5 al 19.07.2024; 6 al 20.07.2024; 7 al 21.07.2024; 8 al 22.07.2024. La componente *ordenada*, indica valores de la componente Altura Elipsoidal, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Desplazamientos temporales en estación SRGD, en los últimos 8 años.

De las soluciones históricas diarias obtenidas en el actual estudio, se han comparado ubicaciones de la estación SRGD para el día 01.01.2017 con la obtenida para el día 31.12.2024, visualizándose desplazamientos horizontales en dirección Nor Este, de aproximadamente **25.2 cm.**; aproximadamente en promedio **3.2 cm./año**, aproximadamente en promedio **0.3 cm./mes.**

Figura 19

Representa al vector desplazamiento horizontal, calculado a partir de ubicaciones temporales obtenidas de las soluciones diarias para estación SRGD, días 01.01.2017 y 31.12.2024.

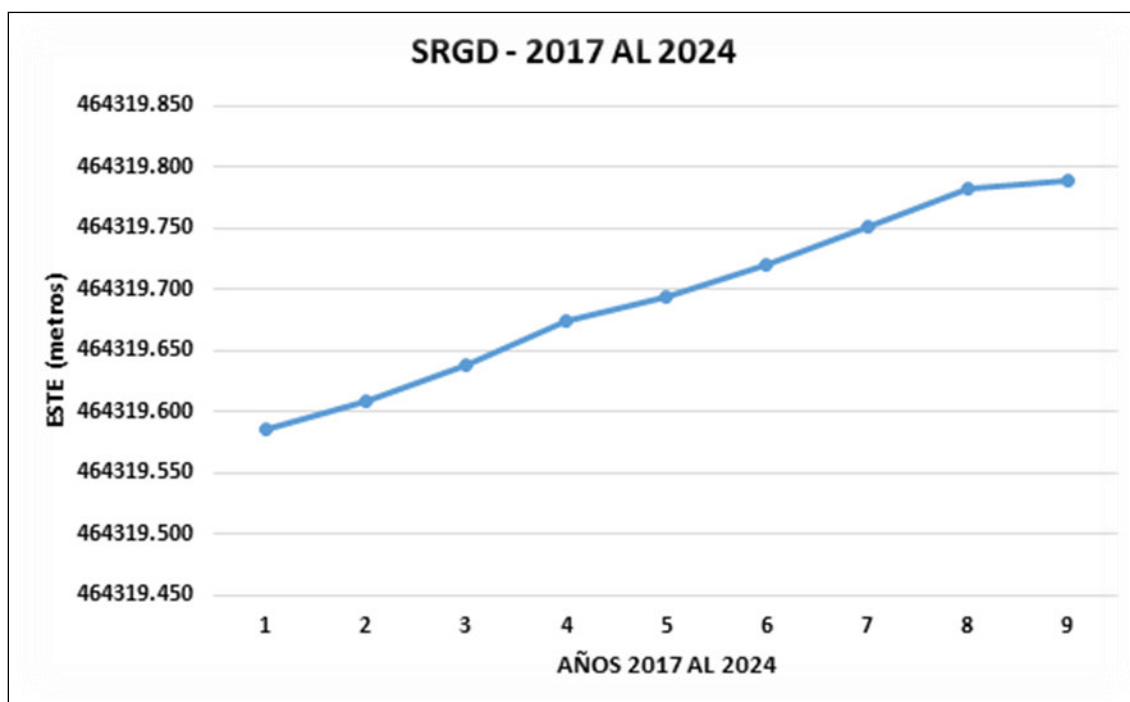


Nota. Considerando coordenadas GRS80, ITRF2020, obtenidas a partir de las soluciones diarias para la estación SRGD del 01.01.2017 y 31.12.2024, se calcularon Distancias geodésica, obteniéndose $D = 0.252$ m. (25.2 cm.), Azimut directo $53^{\circ} 48' 48.75''$.

Comparando la solución del 01.01.2017 y del 31.12.2024, en la componente **Este** se visualiza variación aproximada de **20.3 cm.**

Figura 20

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Este para Estación SRGD, desde el año 2017 al 2024.

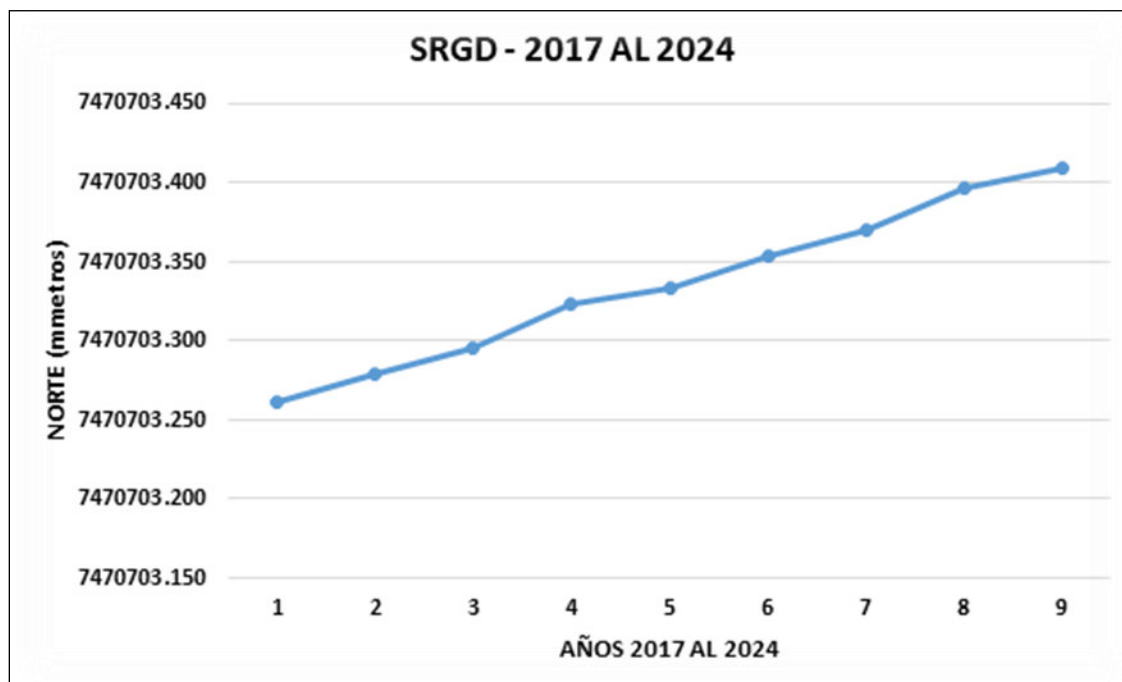


Nota. En la componente de la **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 2017 al 2024, donde los números representan a las siguientes fechas: **1** al **01.01.2017**; **2** al **15.01.2018**; **3** al **01.01.2019**; **4** al **25.04.2020**; **5** al **01.01.2021**; **6** al 01.01.2022; **7** al **01.01.2023**; **8** al **12.04.2024**; **9** al **31.12.2024**. La componente **ordenada**, indica valores de la componente **Este**, proyección UTM, zona 19, obtenida de coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Comparando solución del 01.01.2017 con la del 31.12.2024, en componente **Norte** se visualiza variación aproximada de **14.9 cm**.

Figura 21

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Norte para Estación SRGD, desde el año 2017 al 2024.



Nota. En la componente de la **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 2017 al 2024, donde los números representan a las siguientes fechas: **1** al **01.01.2017**; **2** al **15.01.2018**; **3** al **01.01.2019**; **4** al **25.04.2020**; **5** al **01.01.2021**; **6** al **01.01.2022**; **7** al **01.01.2023**; **8** al **12.04.2024**; **9** al **31.12.2024**. La componente **ordenada**, indica valores de la componente **Norte**, proyección UTM, zona 19, obtenida de coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Variaciones coordenadas geodésicas, desplazamientos SRGD del 01.01.2017, y 31.12.2024.

Tomando como referencia componente coordenadas geodésicas obtenidas 01.01.2017 y 31.12.2024, para la estación SRGD, se obtiene:

Día 01.01.2017: $-22^{\circ} 52' 16.08874''$, $-69^{\circ} 20' 52.20072''$

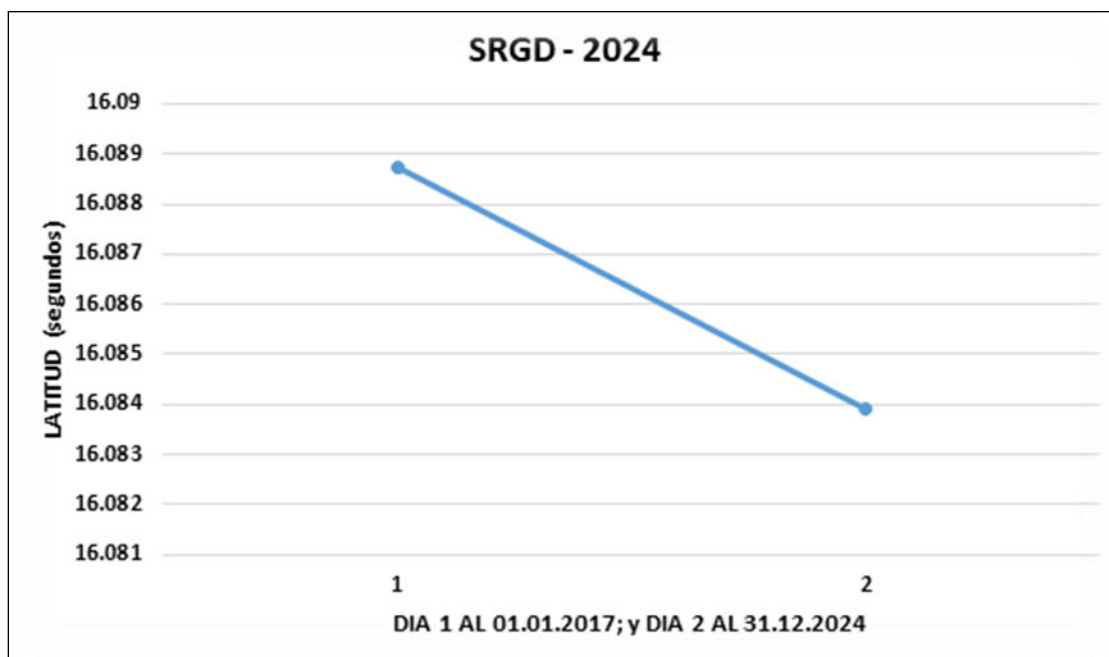
Día 31.12.2024: $-22^{\circ} 52' 16.08390''$, $-69^{\circ} 20' 52.19358''$

Componente Latitud

Varia $0.00484''$

Figura 22

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Latitud para Estación SRGD, días 01.01.2017 y 31.12.2024.



Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones donde se representa: **1** al día **01.01.2017**; **2** al día **31.12.2024**. La componente **ordenada**, indica valores parte de la componente **Latitud (segundos)**, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020; para

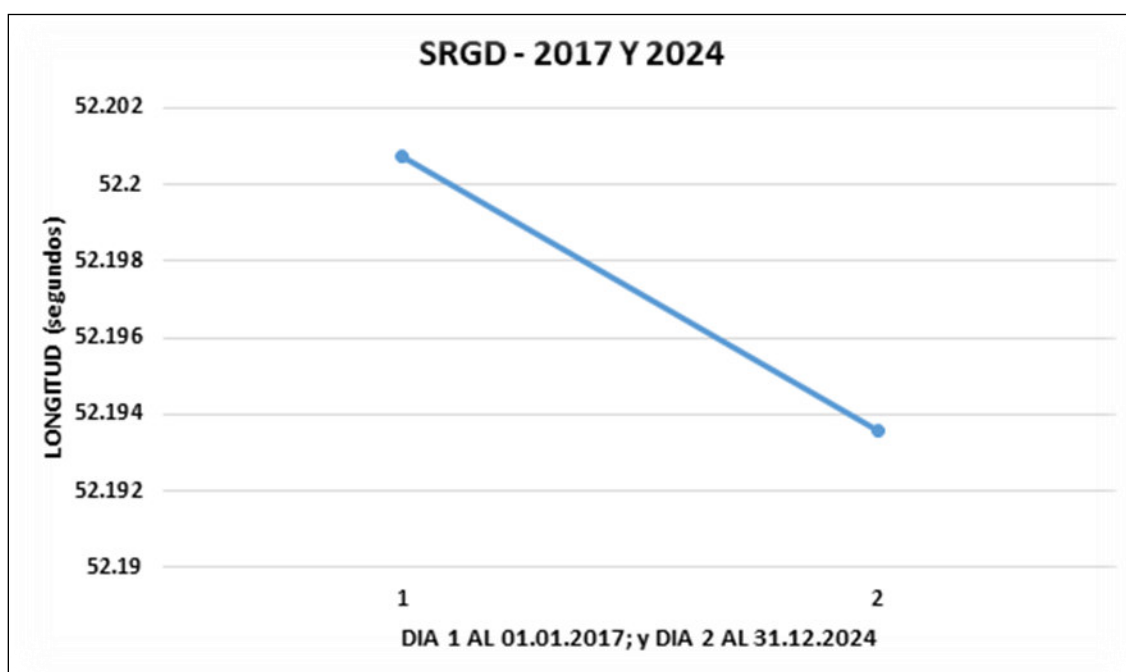
lectura completa, a todos los valores numéricos en segundos, anteponer valor en grados y minutos siguiente: $-22^{\circ} 52'$ (ejemplo: $-22^{\circ} 52' 16.084''$).

Componente Longitud

Varia 0.00714"

Figura 23

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Longitud para Estación SRGD, días 01.01.2017 y 31.12.2024.



Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones donde se representa: **1** al día **01.01.2017**; **2** al día **31.12.2024**. La componente **ordenada**, indica valores parte de la componente **Longitud (segundos)**, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020; para lectura completa, a todos los valores numéricos en segundos, anteponer valor en grados y minutos siguiente: $-69^{\circ} 20'$ (ejemplo: $-69^{\circ} 20' 52.194''$).

Distancia elipsoidal

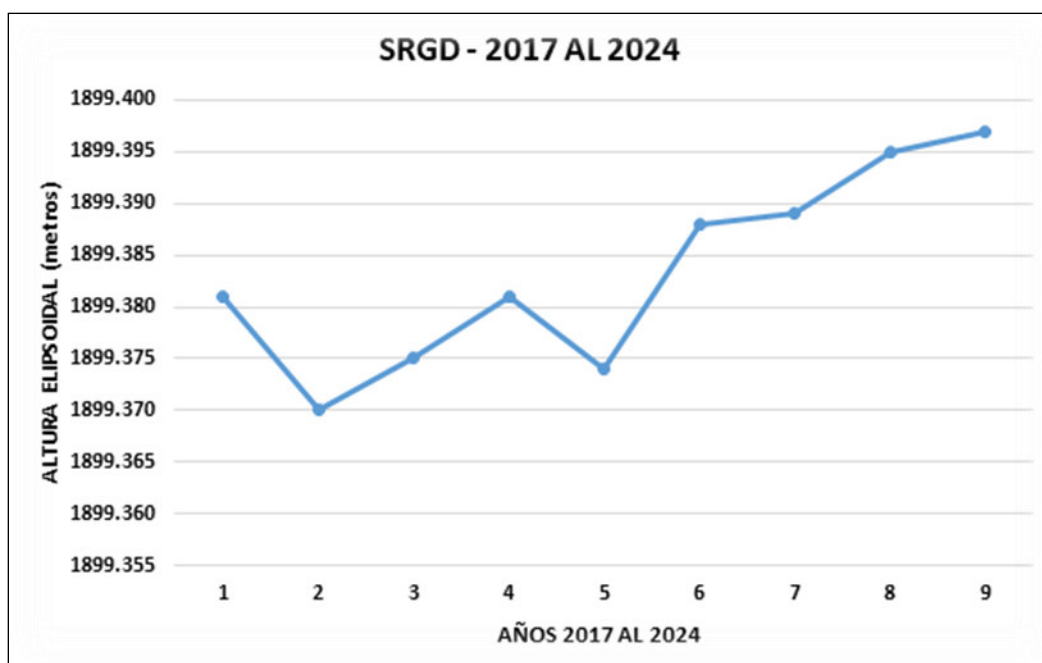
Obtenida entre las soluciones: días 01.01.2017 y 31.12.2024.

D= 0.252 m. (**25.2 cm.**), Azimut directo 53° 48' 48.75"

En la **componente vertical**, representada por la Altura Elipsoidal, se visualiza ligera variación, deformación levantamiento entre la solución del día 01.01.2017 y 31.12.2024. Comparando la solución del 01.01.2017 y del 31.12.2024, en la componente **Altura Elipsoidal** se visualiza levantamiento de aproximadamente **1.6 cm.**, con tendencia irregular hasta el 2021. La tendencia es regular desde el 01.01.2022 hasta el 2024.

Figura 24

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente vertical Altura Elipsoidal para Estación SRGD, desde el año 2017 al 2024.



Nota. En la componente de la **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 2017 al 2024, donde los números representan a las siguientes fechas: **1** al **01.01.2017**; **2** al **15.01.2018**; **3** al **01.01.2019**; **4** al **25.04.2020**; **5** al **01.01.2021**; **6** al **01.01.2022**; **7** al **01.01.2023**; **8** al **12.04.2024**;

9 al 31.12.2024. La componente *ordenada*, indica valores de la componente **Altura Elipsoidal**, obtenida de coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

C. Desplazamientos temporales en la estación CRIS.

La estación CRIS, se ubica a aproximadamente 263 km. al epicentro sismo del 19.07.2024.

Tomando como referencia datos coordenadas del epicentro del sismo proporcionado por CSN (2025b) y coordenadas geodésicas de la estación CRIS (solución día 20.07.2024), se obtiene:

Distancia elipsoidal (D) del epicentro (Sismo 19.07.2024) a la estación CRIS (solución día 20.07.2024):

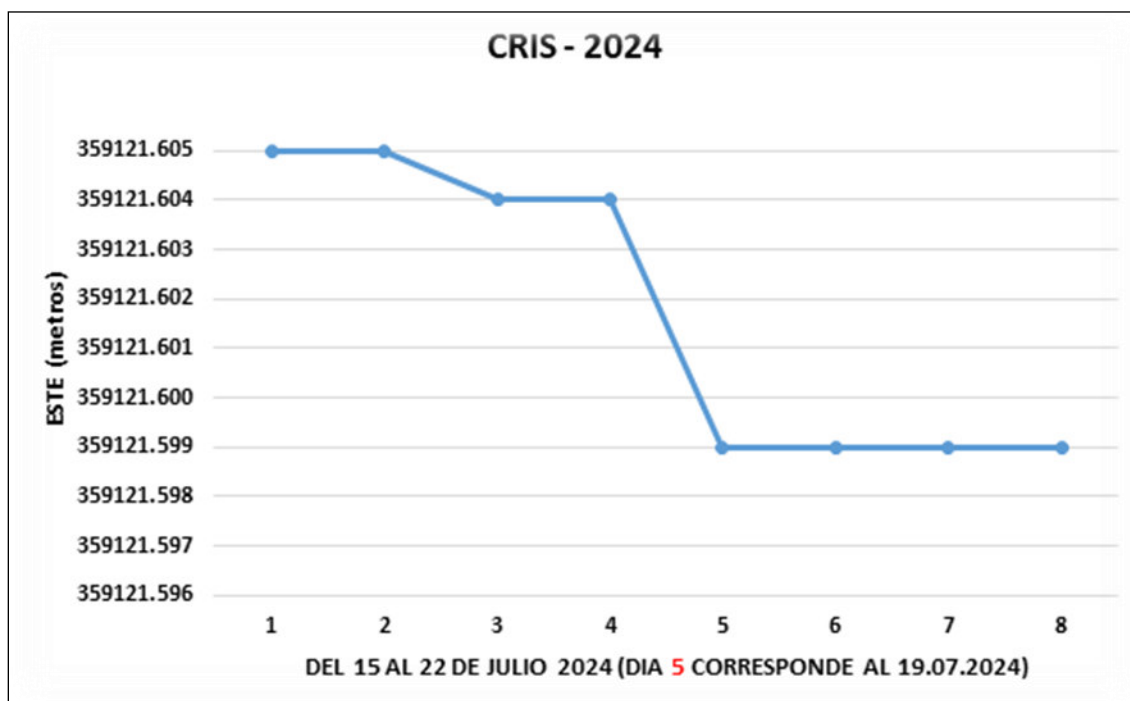
D= 263,331.567 m., Azimut directo: 243° 23' 16.63"

Se tomó como referencia observaciones de días previos y siguientes al sismo del 19.07.2024. Se sometieron al procesamiento, obteniéndose soluciones diarias el elipsoide GRS80, ITRF2020, incluyen las alturas elipsoidales. Las coordenadas geodésicas obtenidas, para fines de visualización, se utilizaron proyección UTM, zona 19, presentándose para una mejor visualización componentes Este, Norte.

Considerando día previo y posterior al sismo del 19.07.2024, se visualiza en la componente **Este** variación aproximada de 5 mm.

Figura 25

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Este para Estación CRIS, anterior y siguiente al sismo ocurrido 19.07.2024.

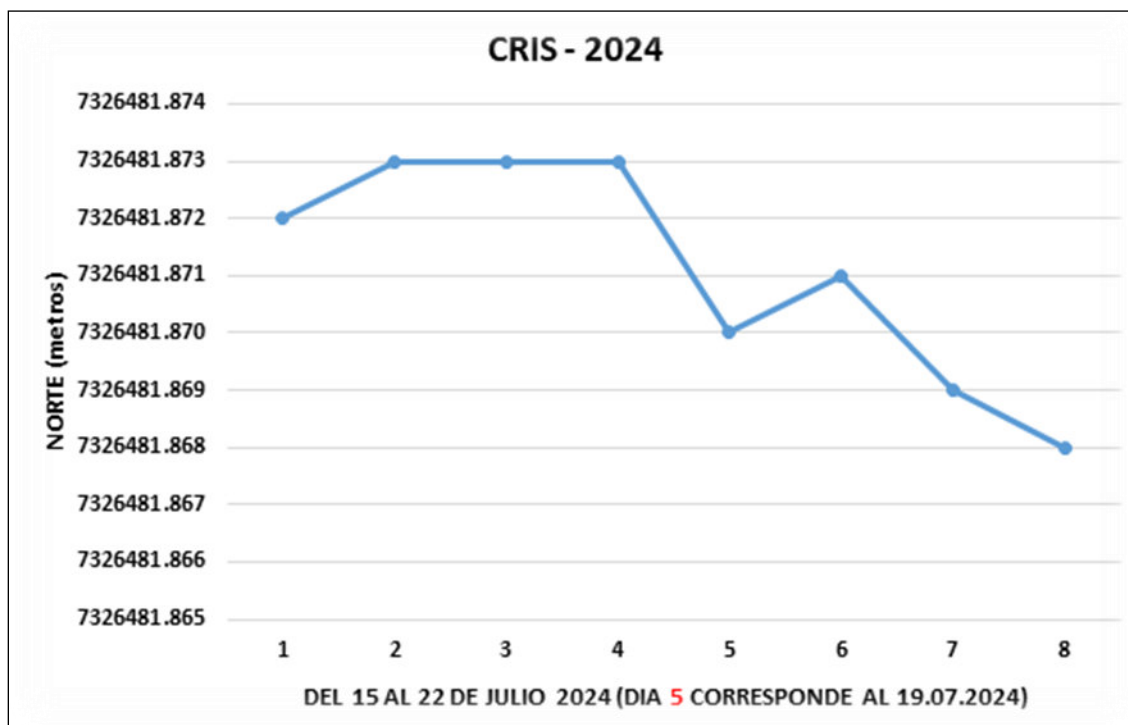


Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 15 al 22 de julio 2024, donde los números representan a los días: **1** al 15.07.2024; **2** al 16.07.2024; **3** al 17.07.2024; **4** al 18.07.2024; **5** al 19.07.2024; **6** al 20.07.2024; **7** al 21.07.2024; **8** al 22.07.2024. La componente **ordenada**, indica valores de la componente **Este**, proyección UTM, zona 19, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Considerando día previo y siguiente al sismo del 19.07.2024, se visualiza en la componente **Norte** variación aproximada de 0.2 cm. (2 mm.).

Figura 26

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Norte para Estación CRIS, anterior y siguiente al sismo ocurrido 19.07.2024.



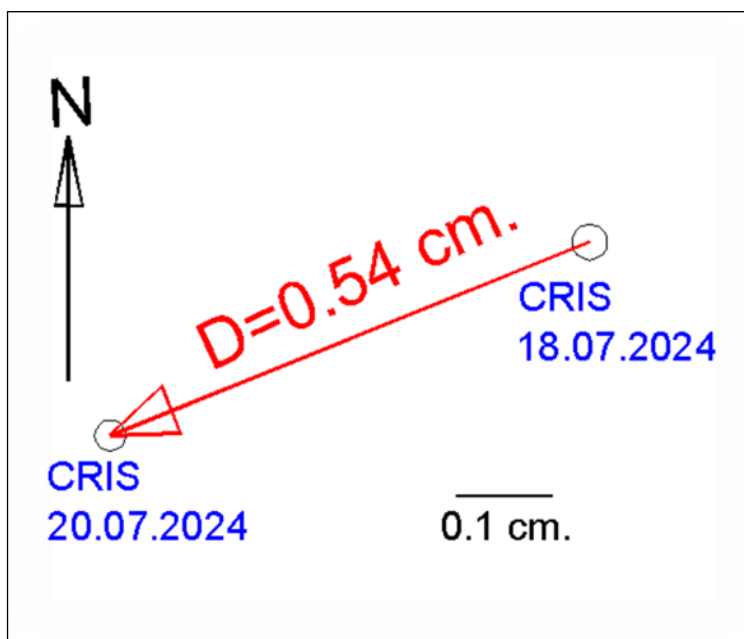
Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 15 al 22 de julio 2024, donde los números representan a los días: **1** al 15.07.2024; **2** al 16.07.2024; **3** al 17.07.2024; **4** al 18.07.2024; **5** al 19.07.2024; **6** al 20.07.2024; **7** al 21.07.2024; **8** al 22.07.2024. La componente **ordenada**, indica valores de la componente **Norte**, proyección UTM, zona 19, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Desplazamientos temporales horizontales en la estación CRIS días anterior y siguiente al sismo 19.07.2024.

Se observa que el desplazamiento horizontal tomando como referencia días previo y siguiente al sismo, ha sido mínimo **0.54 cm.**, en dirección Sur Oeste.

Figura 27

Representa al vector desplazamiento horizontal, calculado a partir de ubicaciones temporales obtenidas de las soluciones diarias para estación CRIS día anterior (18.07.2024) y siguiente (20.07.2024) al sismo ocurrido el 19.07.2024.



Nota. Componentes horizontales Este (*abscisa*) y Norte (*ordenada*), proyección UTM, zona 19, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Variaciones coordenadas geodésicas, desplazamientos

Tomando como referencia componente coordenadas geodésicas obtenidas días previo y siguiente al sismo de 19.07.2024, para la estación CRIS, se obtiene:

Día 18.07.2024: -24° 10' 04.58336", -70° 23' 12.47719"

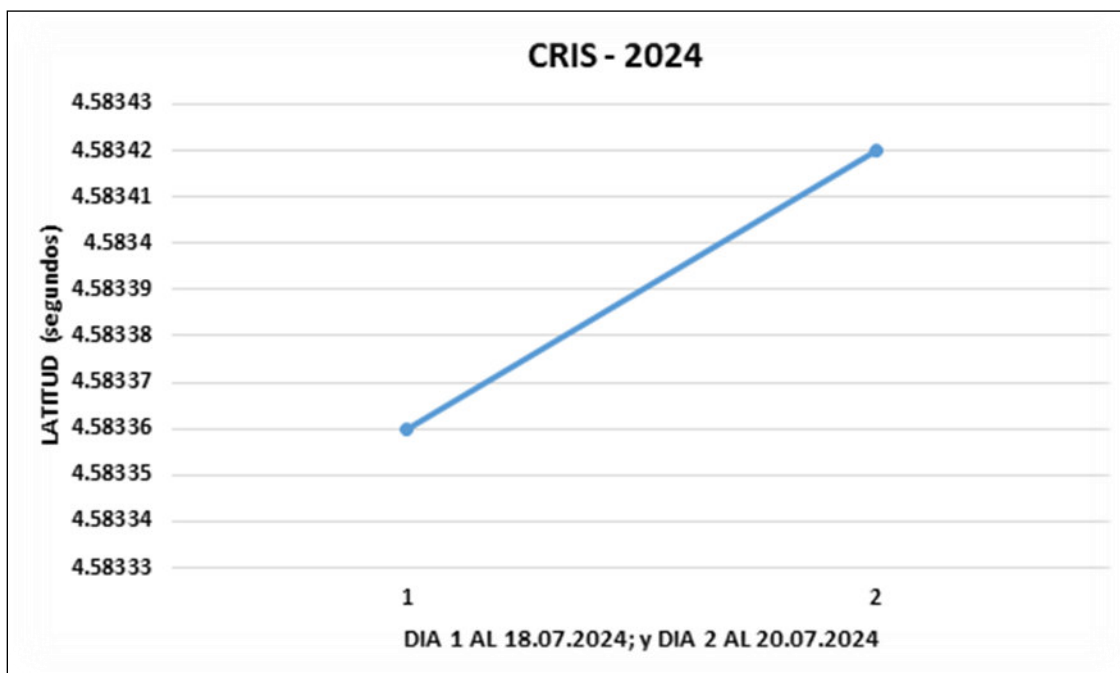
Día 20.07.2024: -24° 10' 04.58342", -70° 23' 12.47737"

Componente Latitud

Varia 0.00006"

Figura 28

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Latitud para Estación CRIS, anterior (18.07.2024) y siguiente (20.07.2024) al sismo ocurrido 19.07.2024.



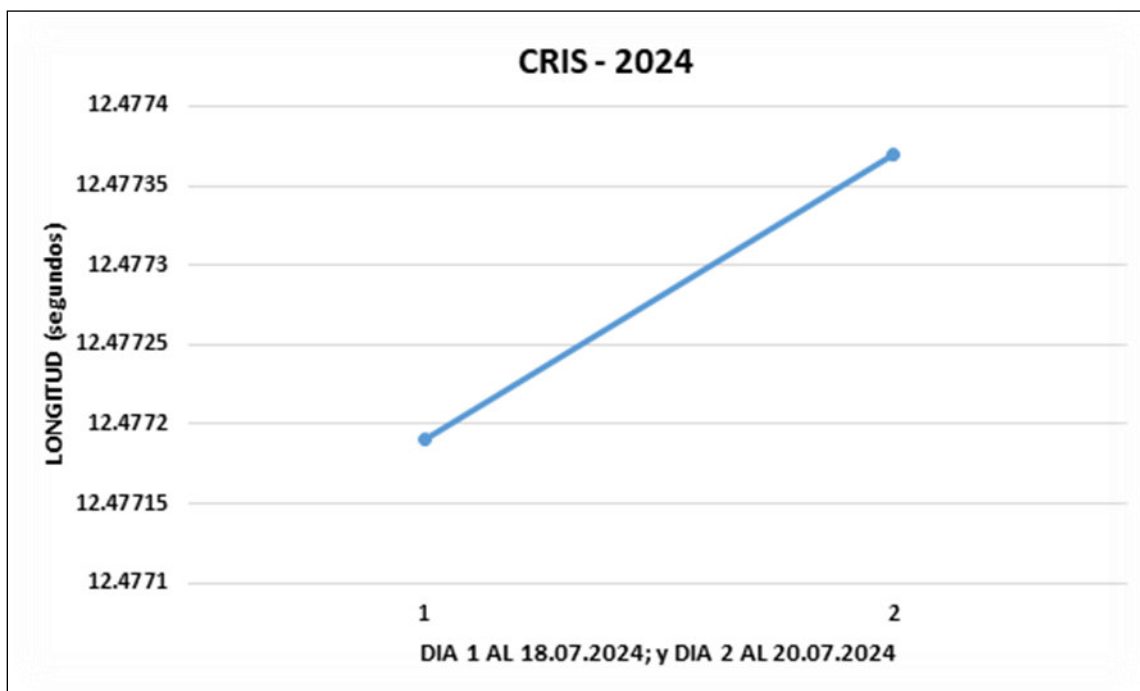
Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones del 18.07.2024 y 20.07.2024, donde los números representan a días: **1** al 18.07.2024; **2** al 20.07.2024. La componente **ordenada**, indica valores parte de la componente **Latitud (segundos)**, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020; para lectura completa, a todos los valores numéricos en segundos, anteponer valor en grados y minutos siguiente: -24° 10' (ejemplo: -24° 10' 04.58336").

Componente Longitud

Varia 0.00018"

Figura 29

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Longitud para Estación CRIS, anterior (18.07.2024) y siguiente (20.07.2024) al sismo ocurrido 19.07.2024.



Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones del 18.07.2024 y 20.07.2024, donde los números representan a días: **1** al 18.07.2024; **2** al 20.07.2024. La componente **ordenada**, indica valores parte de la componente **Longitud (segundos)**, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020; para lectura completa, a todos los valores numéricos en segundos, anteponer valor en grados y minutos siguiente: -70° 23' (ejemplo: -70° 23' 12.47715").

Distancia elipsoidal

Obtenida de la solución día 18.07.2024 y 20.07.2024.

D= 0.005 m., Azimut directo= 250° 01' 58.62"

Componente Altura Elipsoidal

Día 18.07.2024: 1,909.326 m.

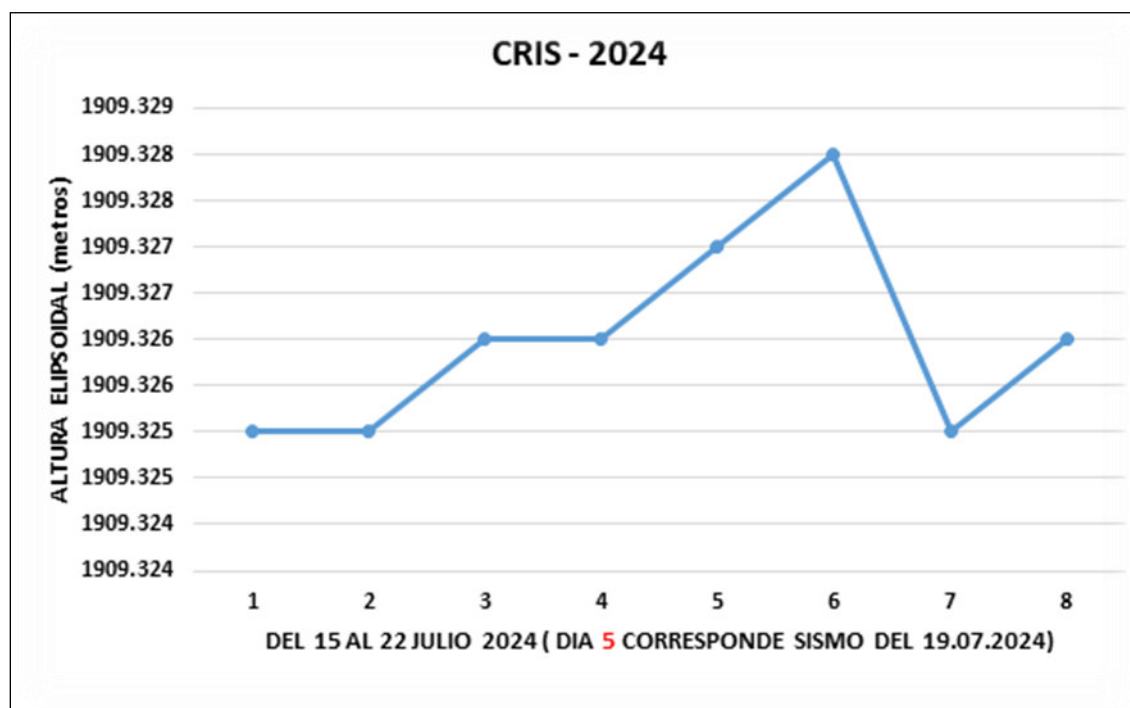
Día 20.07.2024: 1,909.328 m.

Varía 0.002 m.

Considerando días anterior y siguiente al sismo del 19.07.2024, en la estación CRIS se visualiza en la componente **Altura Elipsoidal** muy ligera deformación **levantamiento vertical** variación de **0.2 cm.** (aproximadamente 2 mm.). Días posteriores tiende a volver a referencia inicial.

Figura 30

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente vertical Altura Elipsoidal para Estación CRIS, anteriores y siguientes al sismo ocurrido 19.07.2024.



Nota. En la componente de la **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 15 al 22 de julio 2024, donde los números representan a los días: **1** al 15.07.2024; **2** al 16.07.2024; **3** al 17.07.2024;

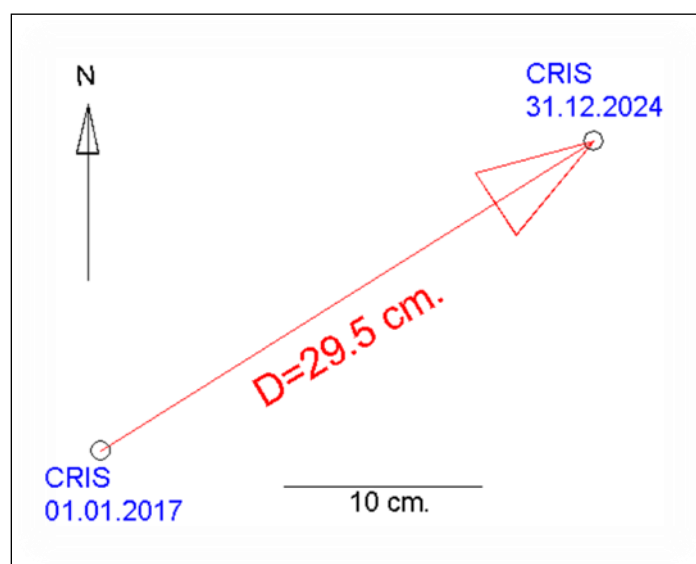
4 al 18.07.2024; 5 al 19.07.2024; 6 al 20.07.2024; 7 al 21.07.2024; 8 al 22.07.2024. La componente *ordenada*, indica valores de la Altura Elipsoidal de coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Desplazamientos temporales en estación CRIS, en los últimos 8 años.

De las soluciones históricas diarias obtenidas en el actual estudio, se han comparado ubicaciones de la estación CBAA para el día 01.01.2017 con la obtenida para el día 31.12.2024, visualizándose desplazamientos horizontales en dirección Nor Este, de aproximadamente **29.5 cm.**; aproximadamente en promedio **3.7 cm./año.**, aproximadamente en promedio **0.3 cm./mes.**

Figura 31

Representa al vector desplazamiento horizontal, calculado a partir de ubicaciones temporales obtenidas de las soluciones diarias para estación CRIS, días 01.01.2017 y 31.12.2024.

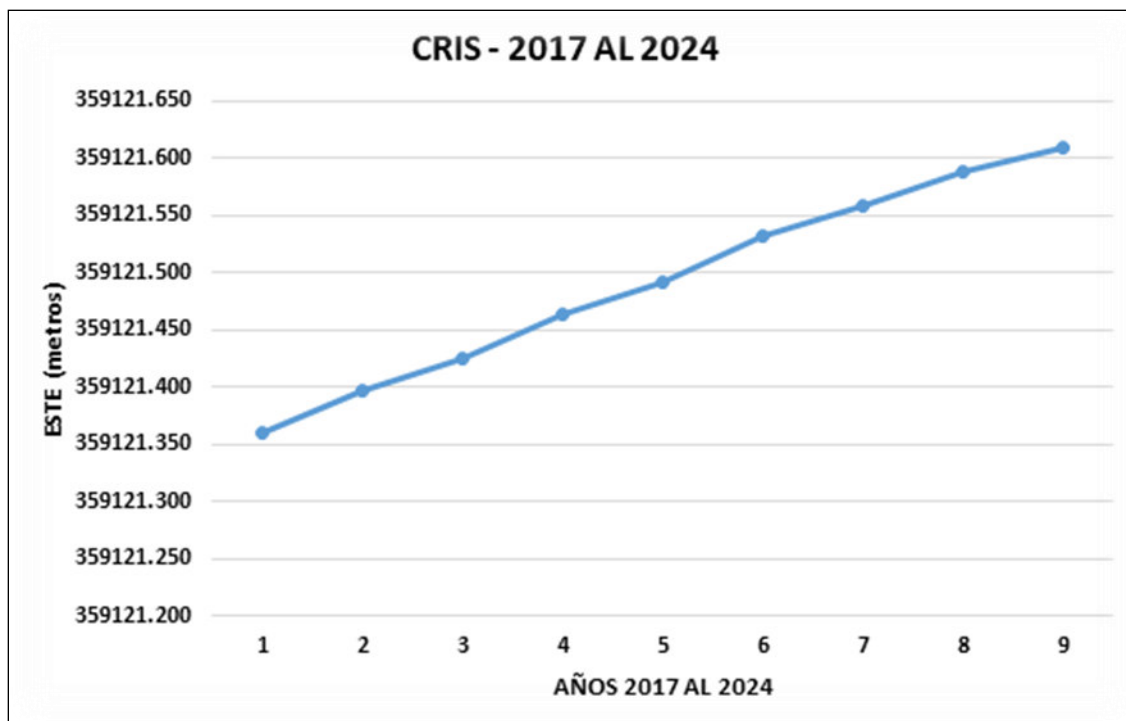


Nota. Considerando coordenadas GRS80, ITRF2020, obtenidas a partir de las soluciones diarias para la estación CRIS del 01.01.2017 y 31.12.2024, se calcularon Distancias geodésicas, obteniéndose $D = 0.295 \text{ m. (29.5 cm.)}$, Azimut directo $58^\circ 29' 49.41''$

Considerando solución días 01.01.2017 y 31.12.2024, se visualiza en la componente **Este** variación aproximada de 25 cm.

Figura 32

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Este para Estación CRIS, desde el año 2017 al 2024.

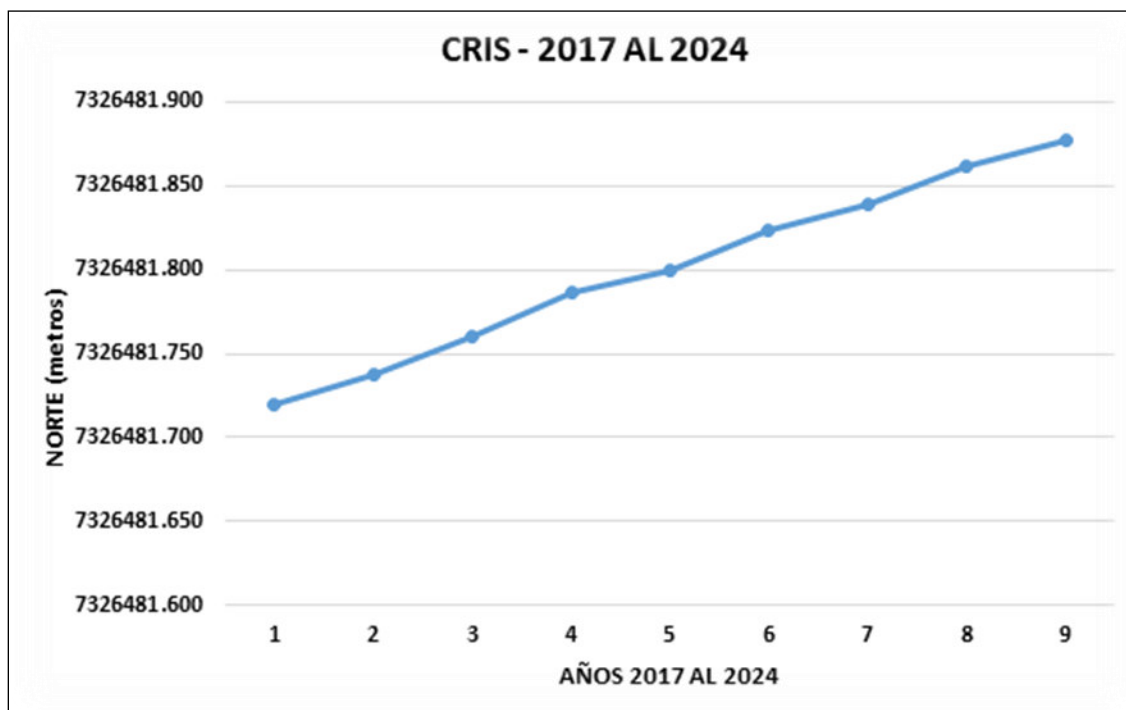


Nota. En la componente de la **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 2017 al 2024, donde los números representan a los días: 1 al 01.01.2017; 2 al 01.01.2018; 3 al 01.01.2019; 4 al 17.03.2020; 5 al 01.01.2021; 6 al 01.01.2022; 7 al 01.01.2023; 8 al 21.02.2024; 9 al 31.12.2024. La componente **ordenada**, indica valores de la componente **Este**, proyección UTM, zona 19, obtenida de coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Considerando solución días 01.01.2017 y 31.12.2024, se visualiza en la componente **Norte** variación aproximada de 15.7 cm.

Figura 33

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Norte para Estación CRIS, desde el año 2017 al 2024.



Nota. En la componente de la **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 2017 al 2024, donde los números representan a los días: **1** al **01.01.2017**; **2** al **01.01.2018**; **3** al **01.01.2019**; **4** al **17.03.2020**; **5** al **01.01.2021**; **6** al **01.01.2022**; **7** al **01.01.2023**; **8** al **21.02.2024**; **9** al **31.12.2024**. La componente **ordenada**, indica valores de la componente **Norte**, proyección UTM, zona 19, obtenida de coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Variaciones coordenadas geodésicas, desplazamientos CRIS del 01.01.2017, y 31.12.2024.

Tomando como referencia coordenadas geodésicas obtenidas 01.01.2017 y 31.12.2024, para la estación CRIS, se obtiene:

Día 01.01.2017: -24° 10' 04.58824, -70° 23' 12.48587"

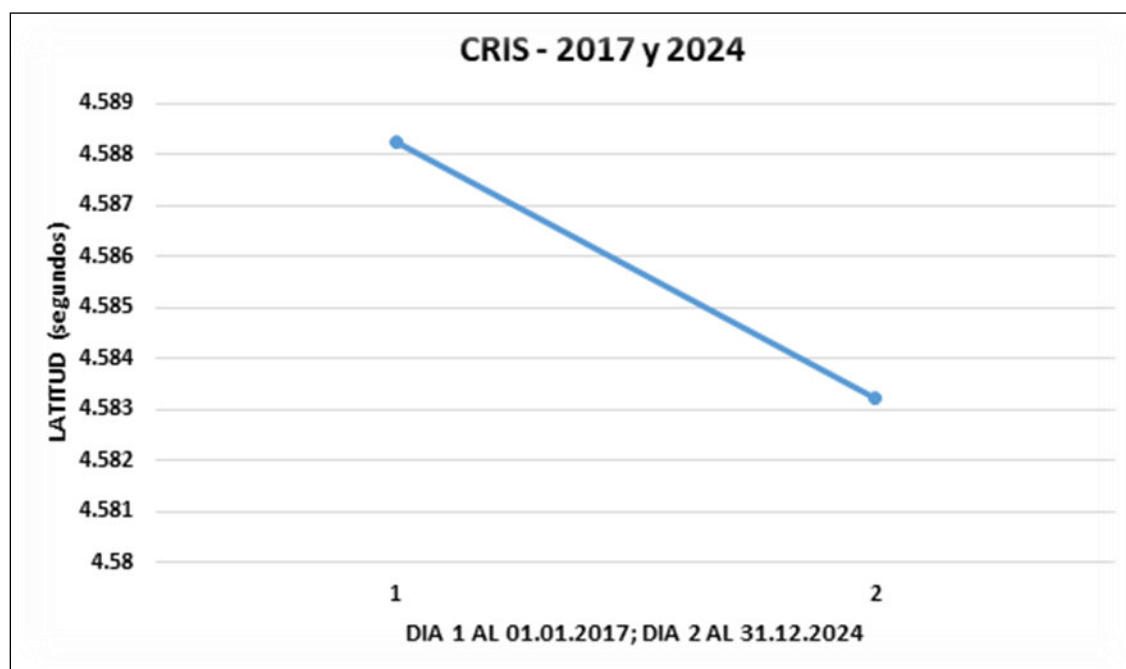
Día 31.12.2024: -24° 10' 04.58323, -70° 23' 12.47696"

Componente Latitud

Varia 0.00501"

Figura 34

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Latitud para Estación CRIS, días 01.01.2017 y 31.12.2024.



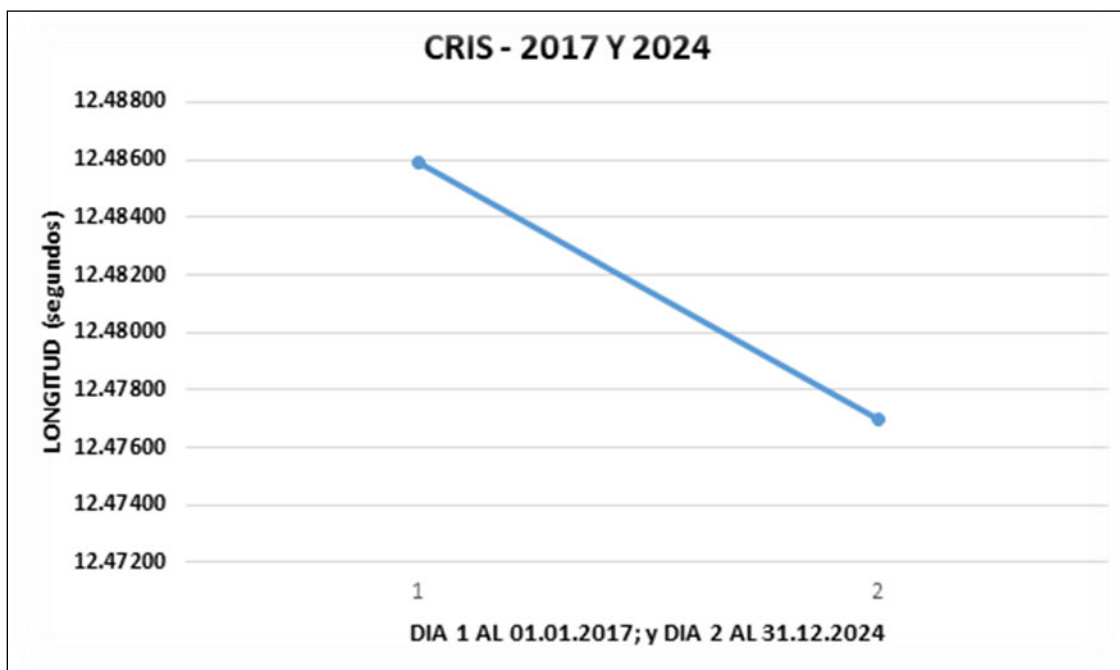
Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones donde se representa: **1** al día **01.01.2017**; **2** al día **31.12.2024**. La componente **ordenada**, indica valores parte de la componente **Latitud (segundos)**, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020; para lectura completa, a todos los valores numéricos en segundos, anteponer valor en grados y minutos siguiente: -24° 10' (ejemplo: -24° 10' 04.583").

Componente Longitud

Varia 0.00891"

Figura 35

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Longitud para Estación CRIS, días 01.01.2017 y 31.12.2024.



Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones donde se representa: **1** al día **01.01.2017**; **2** al día **31.12.2024**. La componente **ordenada**, indica valores parte de la componente **Longitud (segundos)**, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020; para lectura completa, a todos los valores numéricos en segundos, anteponer valor en grados y minutos siguiente: -70° 23' (ejemplo: -70° 23' 12.47600").

Distancia elipsoidal

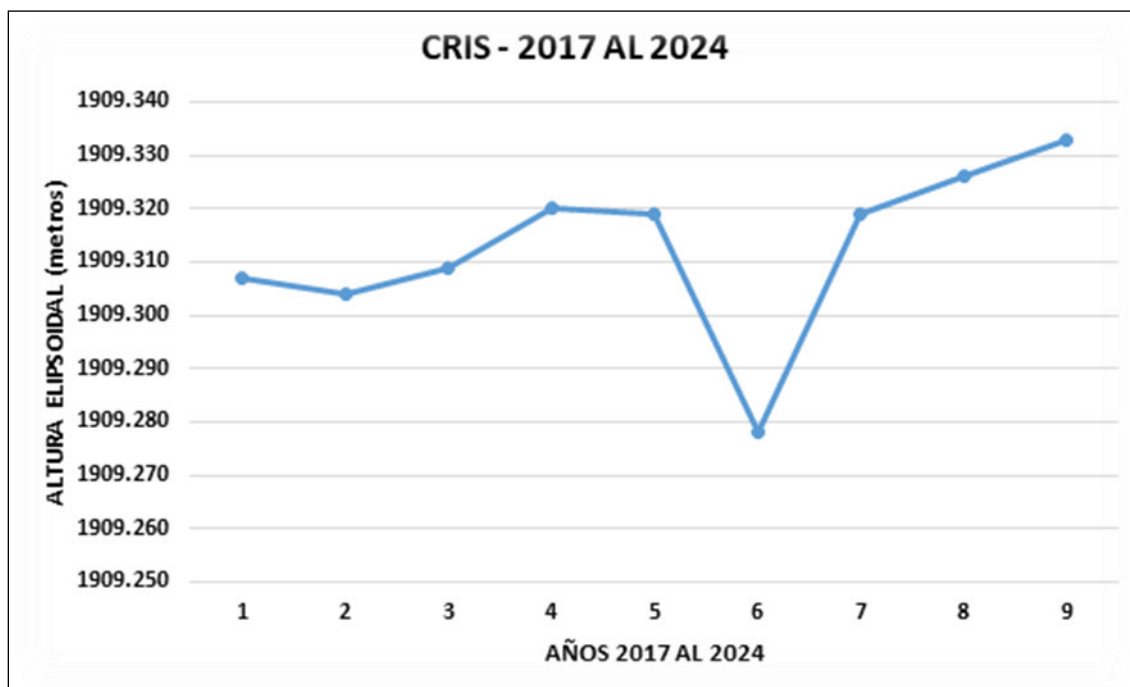
Obtenida entre las soluciones: días 01.01.2017 y 31.12.2024.

D= 0.295 m. (29.5 cm.), Azimut directo 58° 29' 49.41"

En la **componente vertical**, representado por la **Altura Elipsoidal**, se visualiza muy ligera variación de 2.6 cm. entre la solución del día 01.01.2017 y 31.12.2024.

Figura 36

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente vertical Altura Elipsoidal para Estación CRIS, desde el año 2017 al 2024.



Nota. En la componente de la **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 2017 al 2024, donde los números representan a los días: **1** al **01.01.2017**; **2** al **01.01.2018**; **3** al **01.01.2019**; **4** al **17.03.2020**; **5** al **01.01.2021**; **6** al **01.01.2022**; **7** al **01.01.2023**; **8** al **21.02.2024**; **9** al **31.12.2024**. La componente **ordenada**, indica valores de la **Altura Elipsoidal** de coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

D. Desplazamientos temporales en estación CDLC.

La estación CDLC, se ubica a aproximadamente 202 km. al epicentro sismo del 19.07.2024.

Tomando como referencia datos coordenadas del epicentro proporcionado por CSN (2025b) y coordenadas geodésicas de la estación CDLC (solución día 20.07.2024), se obtiene:

Distancia elipsoidal (D) del epicentro (Sismo 19.07.2024) a la estación CDLC (solución día 20.07.2024):

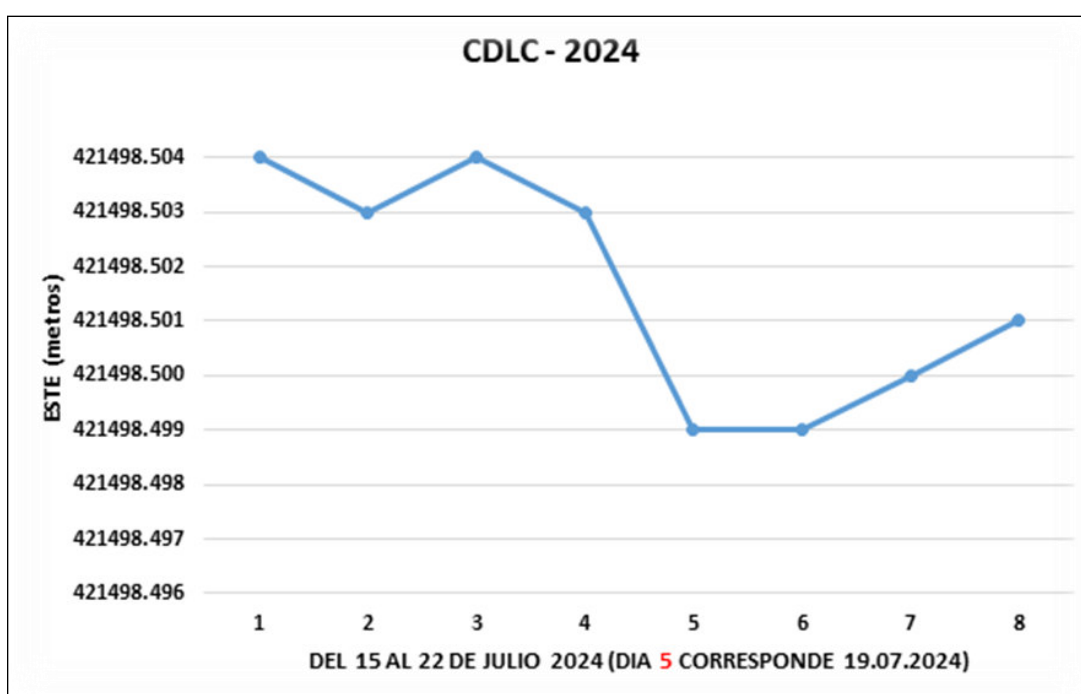
D= 202,088.133 m., Azimut directo: 300° 19' 23.49"

Se tomó como referencia observaciones de días previos y siguientes al sismo del 19.07.2024. Se sometieron al procesamiento, obteniéndose soluciones diarias el elipsoide GRS80, ITRF2020, incluyen las alturas elipsoidales. Las coordenadas geodésicas obtenidas, para fines de visualización, se utilizaron proyección UTM, zona 19, presentándose para una mejor visualización componentes Este, Norte.

Considerando día previo y posterior al sismo del 19.07.2024, se visualiza en la componente **Este** variación aproximada de 0.4 cm. (4 mm.).

Figura 37

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Este para Estación CDLC, anterior y siguiente al sismo ocurrido 19.07.2024.

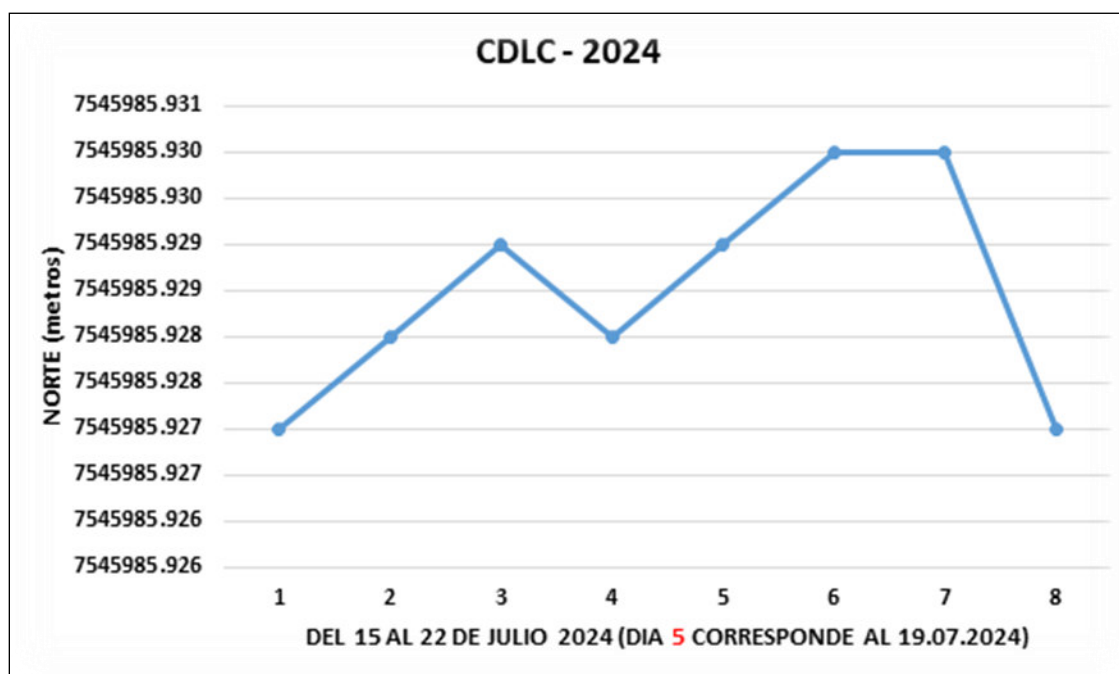


Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 15 al 22 de julio 2024, donde los números representan a los días: **1** al 15.07.2024; **2** al 16.07.2024; **3** al 17.07.2024; **4** al 18.07.2024; **5** al 19.07.2024; **6** al 20.07.2024; **7** al 21.07.2024; **8** al 22.07.2024. La componente **ordenada**, indica valores de la componente **Este**, proyección UTM, zona 19, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Considerando día previo y siguiente al sismo del 19.07.2024, se visualiza en la componente **Norte** variación mínima de 0.2 cm. (2 mm.).

Figura 38

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Norte para Estación CDLC, anterior y siguiente al sismo ocurrido 19.07.2024.



Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 15 al 22 de julio 2024, donde los números representan a los días: **1** al 15.07.2024; **2** al 16.07.2024; **3** al 17.07.2024; **4** al 18.07.2024; **5** al 19.07.2024; **6** al 20.07.2024; **7** al 21.07.2024; **8** al 22.07.2024. La componente

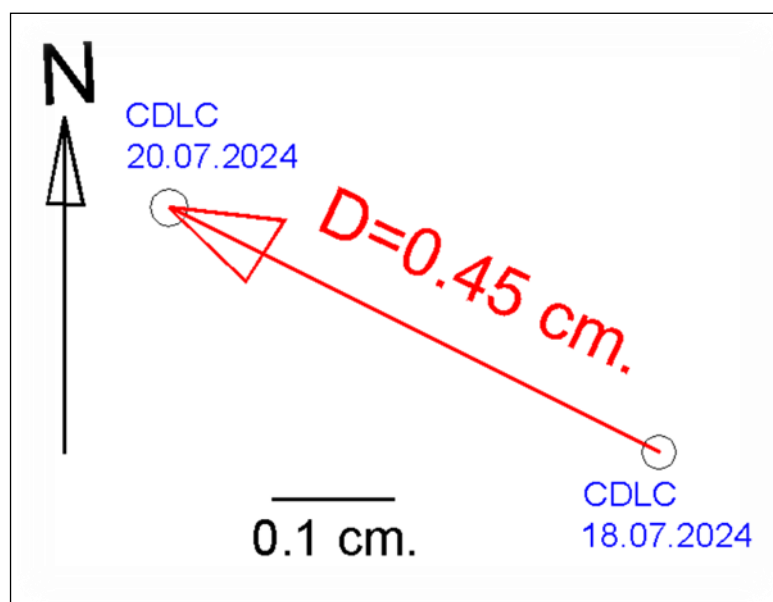
ordenada, indica valores de la componente **Norte**, proyección UTM, zona 19, obtenida de coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Desplazamientos temporales horizontales en la estación CDLC días anterior y siguiente al sismo 19.07.2024.

Se observa que el desplazamiento horizontal ha sido mínimo **0.45 cm.**, en dirección Nor Oeste.

Figura 39

Representa al vector desplazamiento horizontal, calculado a partir de ubicaciones temporales obtenidas de las soluciones diarias para estación CDLC día anterior (18.07.2024) y siguiente (20.07.2024) al sismo ocurrido el 19.07.2024.



Nota. Componentes horizontales Este (*abscisa*) y Norte (*ordenada*), proyección UTM, zona 19, obtenida de coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Variaciones coordenadas geodésicas, desplazamientos

Tomando como referencia componente coordenadas geodésicas obtenidas días previo y siguiente al sismo del 19.07.2024, para la estación CDLC, se obtiene:

Día 18.07.2024: $-22^{\circ} 11' 22.68279''$, $-69^{\circ} 45' 41.47312''$

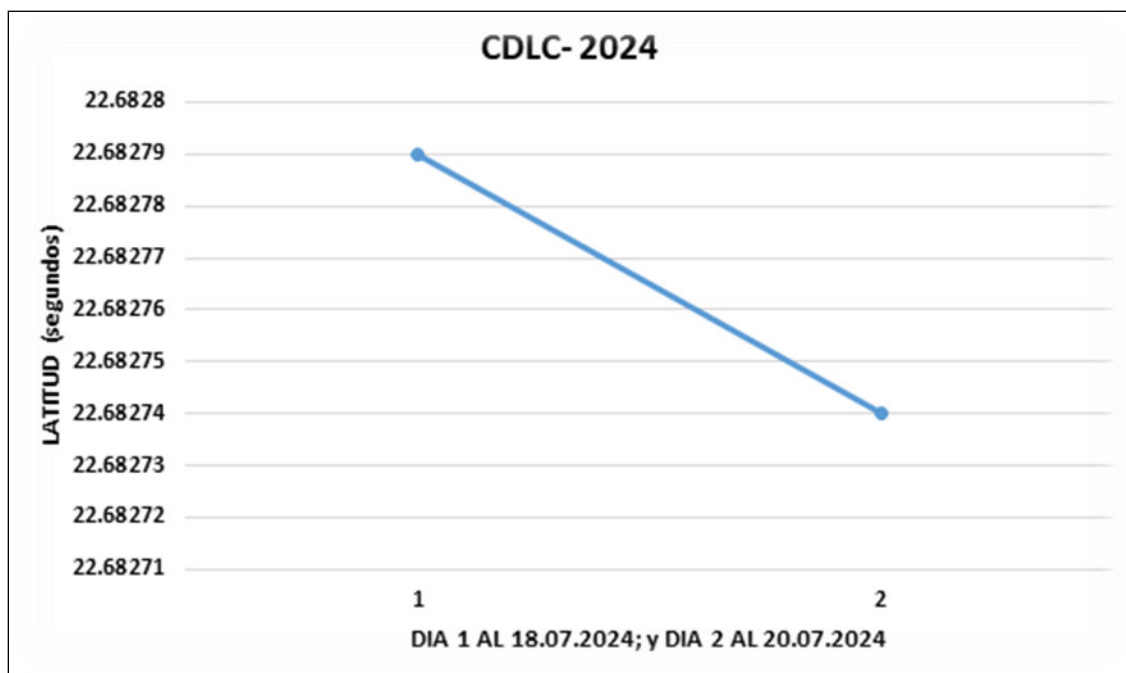
Día 20.07.2024: $-22^{\circ} 11' 22.68274''$, $-69^{\circ} 45' 41.47326''$

Componente Latitud

Varia $0.00005''$

Figura 40

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Latitud para Estación CDLC, anterior (18.07.2024) y siguiente (20.07.2024) al sismo ocurrido 19.07.2024.



Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones donde se representa: **1** al día **18.07.2024**; **2** al día **20.07.2024**. La componente **ordenada**, indica valores parte de la componente **Latitud (segundos)**, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020; para

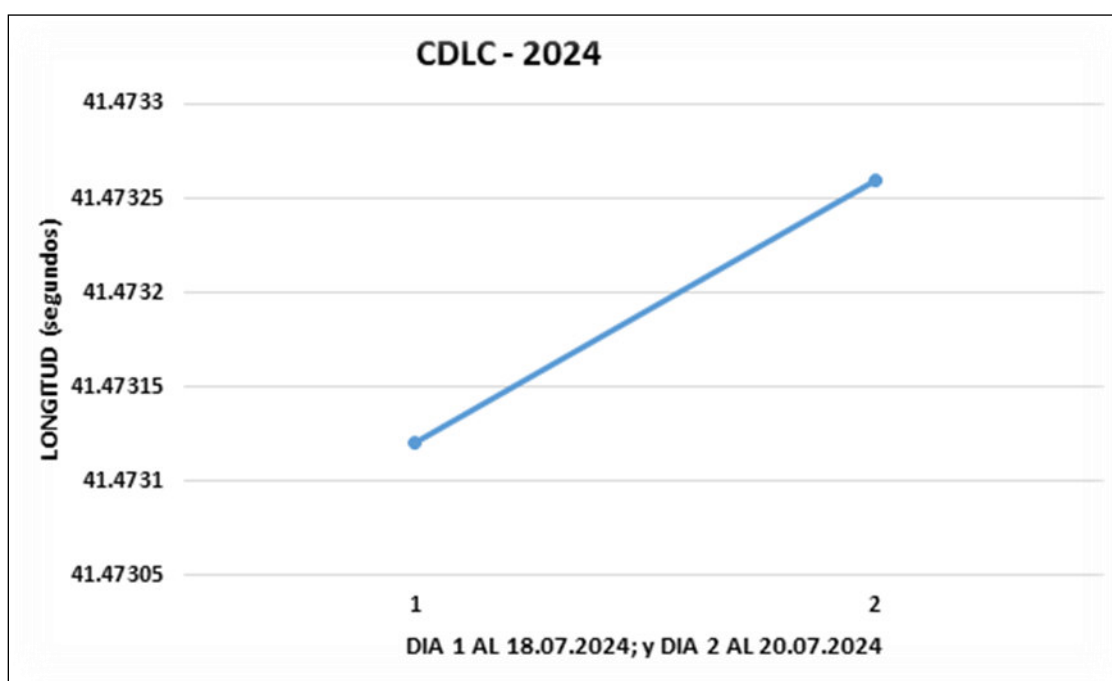
lectura completa, a todos los valores numéricos en segundos, anteponer valor en grados y minutos siguiente: $-22^{\circ} 11'$ (ejemplo: $-22^{\circ} 11' 22.68274''$).

Componente Longitud

Varia $0.00014''$

Figura 41

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Longitud para Estación CDLC, anterior (18.07.2024) y siguiente (20.07.2024) al sismo ocurrido 19.07.2024.



Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones donde se representa: **1** al día **18.07.2024**; **2** al día **20.07.2024**. La componente **ordenada**, indica valores parte de la componente **Longitud (segundos)**, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020; para lectura completa, a todos los valores numéricos en segundos, anteponer valor en grados y minutos siguiente: $-69^{\circ} 45'$ (ejemplo: $-69^{\circ} 45' 41.47315''$).

Distancia elipsoidal

Obtenida de la solución día 18.07.2024 y 20.07.2024.

D= 0.004 m., Azimut directo 290° 58' 53.29"

Componente Altura Elipsoidal

Día 18.07.2024: 1,998.342 m.

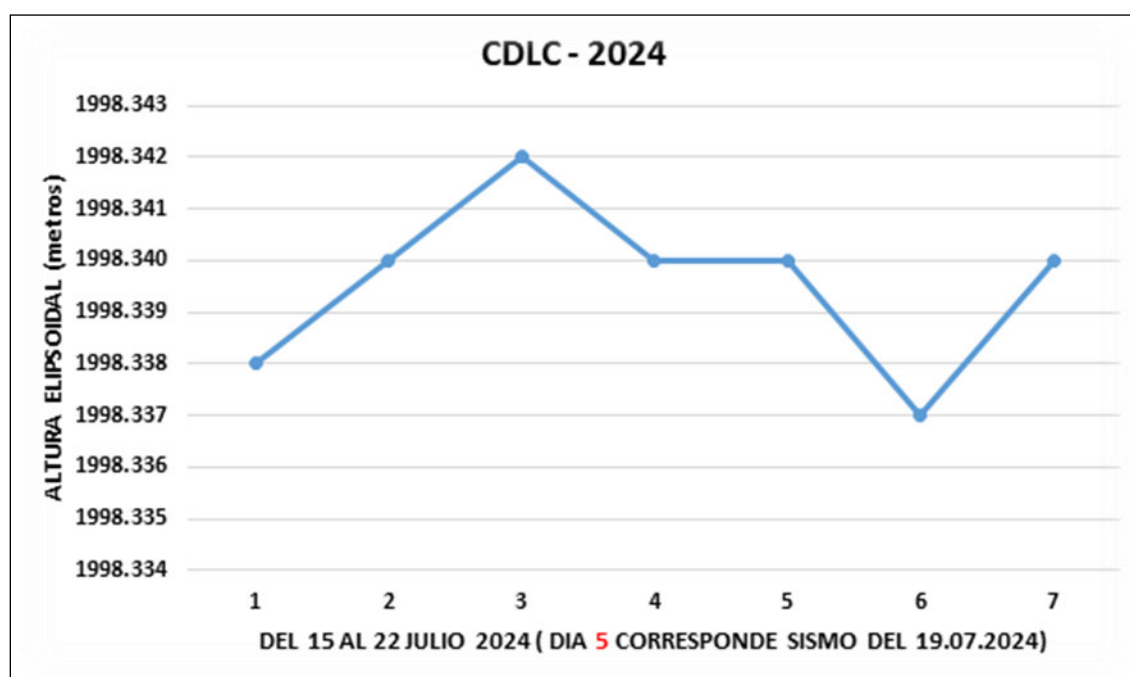
Día 20.07.2024: 1,998.340 m.

Varía 0.002 m.

Considerando días anterior y siguiente al sismo del 19.07.2024, en la estación CDLC se visualiza en la componente **Altura Elipsoidal** muy ligera deformación **hundimiento vertical** variación de **0.2 cm.** (2 mm.). Días posteriores tiende a volver a referencia inicial.

Figura 42

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente vertical Altura Elipsoidal para Estación CDLC, anterior (18.07.2024) y siguiente (20.07.2024) al sismo ocurrido 19.07.2024.



Nota. En la componente de la **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 15 al 22 de julio 2024, donde los números representan a los días: **1** al 15.07.2024; **2** al 16.07.2024; **3** al 17.07.2024;

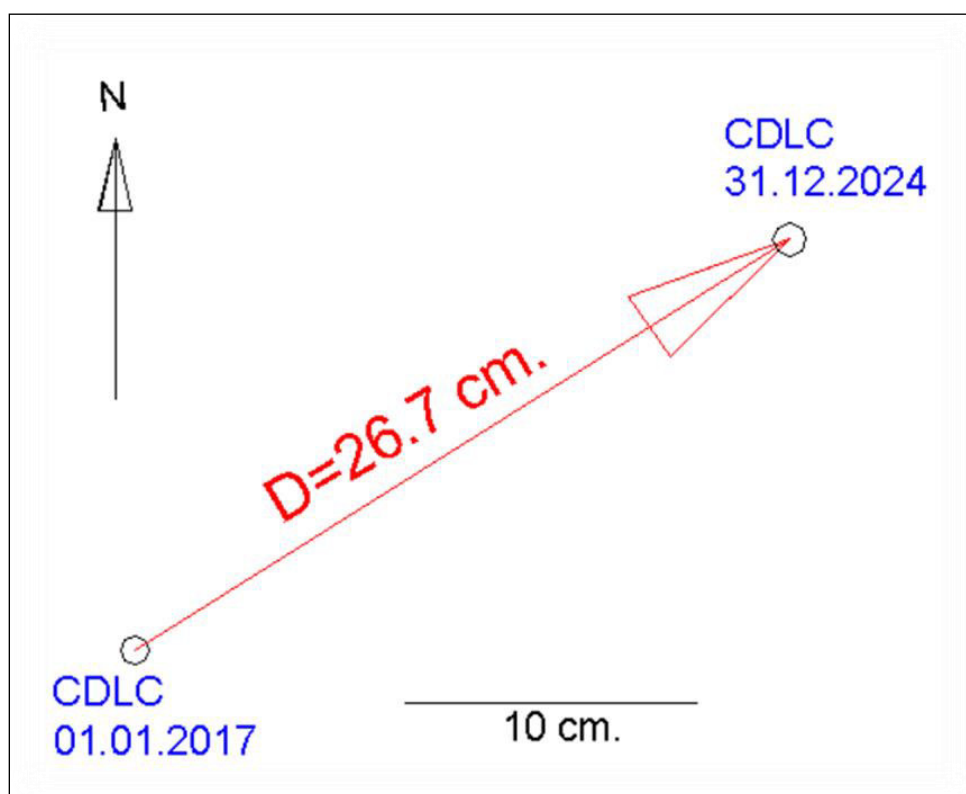
4 al 18.07.2024; 5 al 19.07.2024; 6 al 20.07.2024; 7 al 21.07.2024; 8 al 22.07.2024. La componente *ordenada*, indica valores de la Altura Elipsoidal de coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Desplazamientos temporales en estación CDLC, en los últimos 8 años.

De las soluciones históricas diarias obtenidas en el actual estudio, se han comparado ubicaciones de la estación CDLC para el día 01.01.2017 con la obtenida para el día 01.01.2025, visualizándose desplazamientos horizontales en dirección Nor Este, de aproximadamente 26.7 cm.; aproximadamente en promedio **3.3 cm./año.**, aproximadamente en promedio **0.3 cm./mes.**

Figura 43

Representa al vector desplazamiento horizontal, calculado a partir de ubicaciones temporales obtenidas de las soluciones diarias para estación CDLC días 01.01.2017 y 31.12.2024.

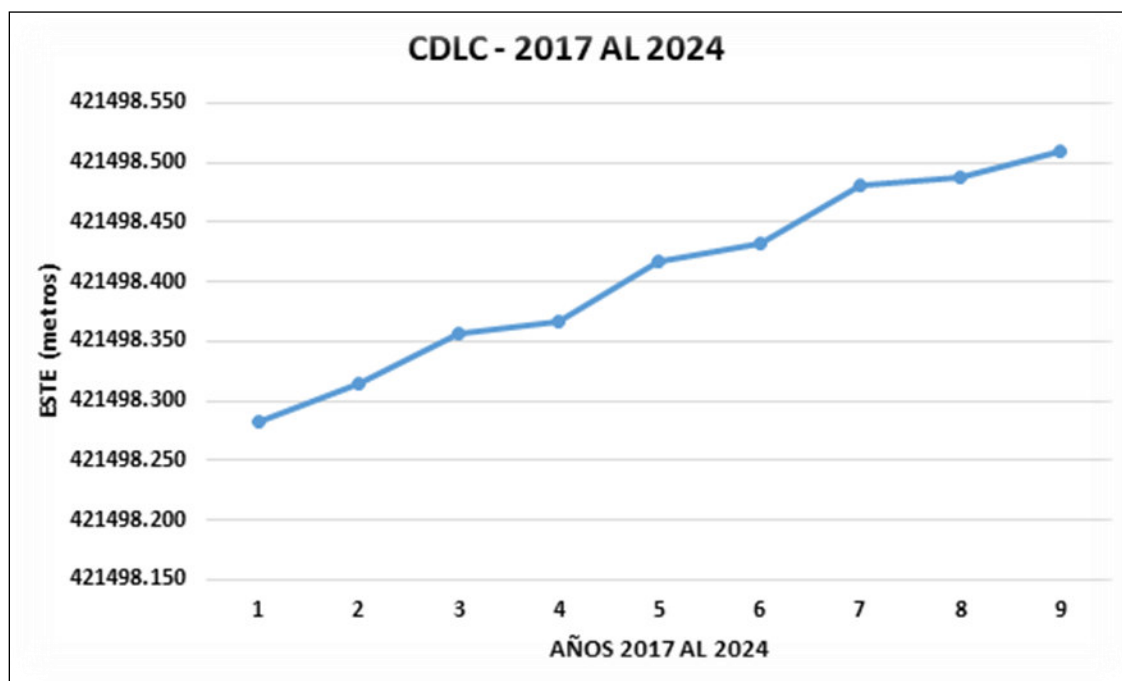


Nota. Considerando coordenadas GRS80, ITRF2020, obtenidas a partir de las soluciones diarias para la estación CDLC del 01.01.2017 y 31.12.2024, se calcularon Distancias geodésicas, obteniéndose $D = 0.267$ m. (26.7 cm.), Azimut directo $58^{\circ} 36' 12.89''$.

Considerando solución del día 01.01.2017 y la solución del día 31.12.2024, se visualiza en la componente **Este** variación aproximada de **22.8 cm.**

Figura 44

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Este para Estación CDLC, desde el año 2017 al 2024.

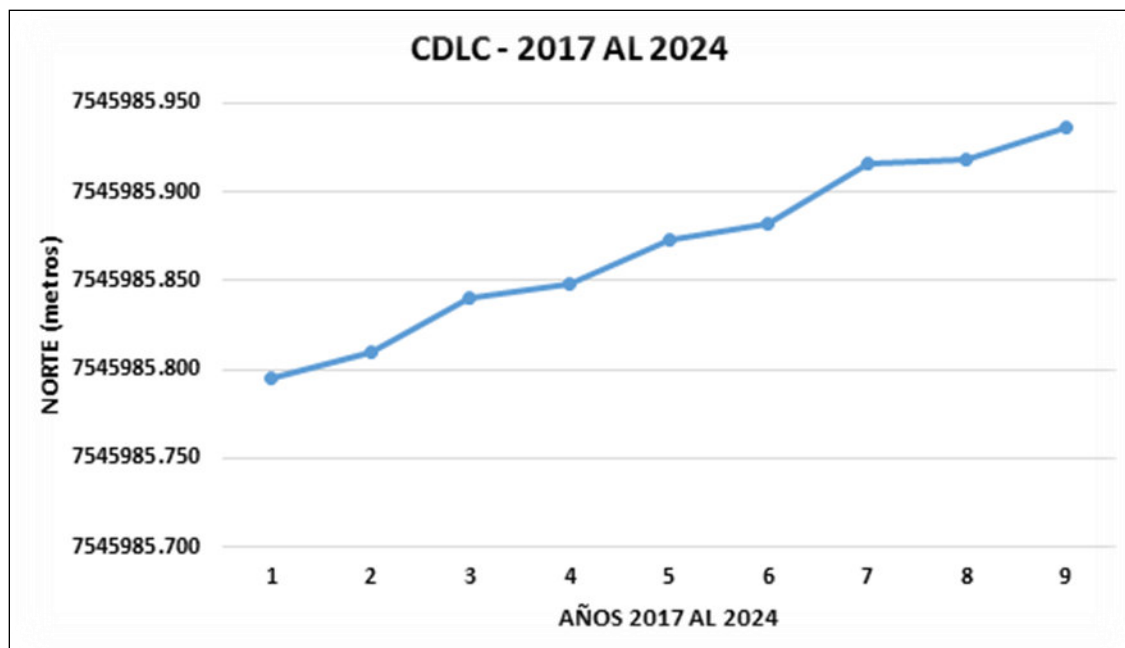


Nota. En la componente de la **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 2017 al 2025, donde los números representan a los días: **1** al **01.01.2017**; **2** al **01.01.2018**; **3** al **09.08.2019**; **4** al **01.01.2020**; **5** al **11.05.2021**; **6** al **07.01.2022**; **7** al **18.10.2023**; **8** al **01.01.2024**; **9** al **31.12.2024**. La componente **ordenada**, indica valores de la componente **Este**, proyección UTM, zona 19, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Considerando solución del día 01.01.2017 y la solución del día 31.12.2024, se visualiza en la componente **Norte** variación aproximada de **14.1 cm**.

Figura 45

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Norte para Estación CDLC, desde el año 2017 al 2024.



Nota. En la componente de la **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 2017 al 2025, donde los números representan a los días: 1 al **01.01.2017**; 2 al **01.01.2018**; 3 al **09.08.2019**; 4 al **01.01.2020**; 5 al **11.05.2021**; 6 al **07.01.2022**; 7 al **18.10.2023**; 8 al **01.01.2024**; 9 al **31.12.2024**. La componente **ordenada**, indica valores de la componente **Norte**, proyección UTM, zona 19, obtenida de coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Variaciones coordenadas geodésicas, desplazamientos CDLC del 01.01.2017, y 31.12.2024.

Tomando como referencia componente coordenadas geodésicas obtenidas 01.01.2017 y 31.12.2024, para la estación CDLC, se obtiene:

Día 01.01.2017: $-22^{\circ} 44' 46.92244''$, $-68^{\circ} 26' 53.33510''$

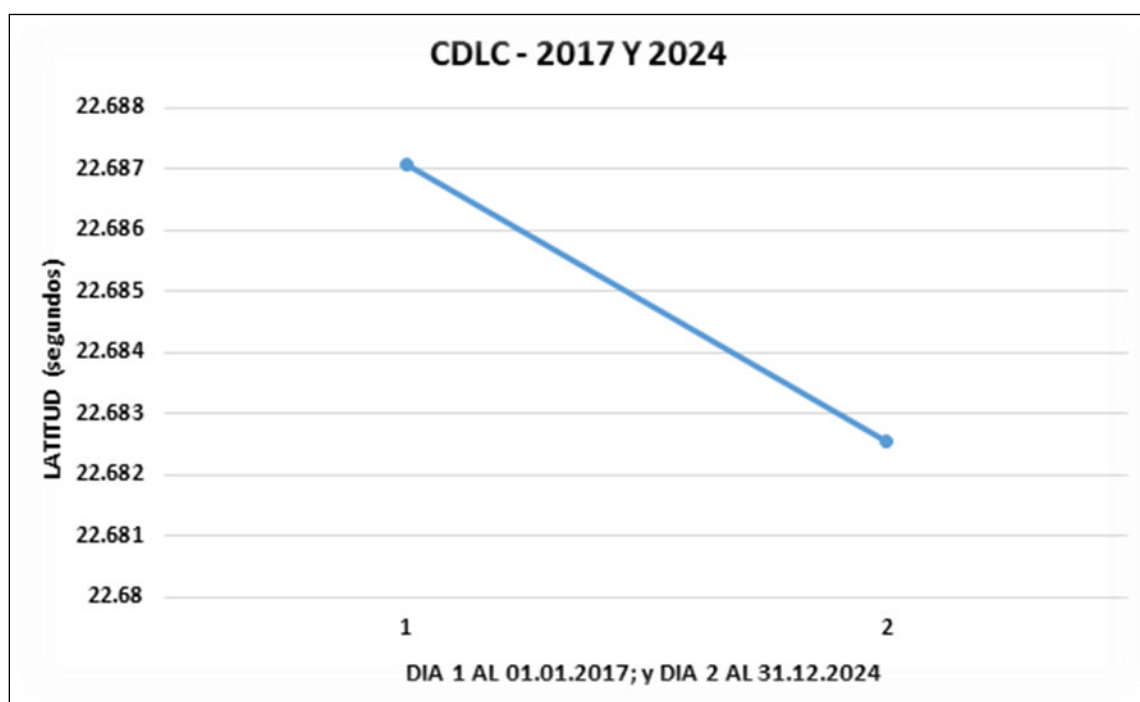
Día 31.12.2024: $-22^{\circ} 44' 46.91836''$, $-68^{\circ} 26' 53.32960''$

Componente Latitud

Varia $0.00453''$

Figura 46

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Latitud para Estación CDLC, días 01.01.2017 y 31.12.2024.



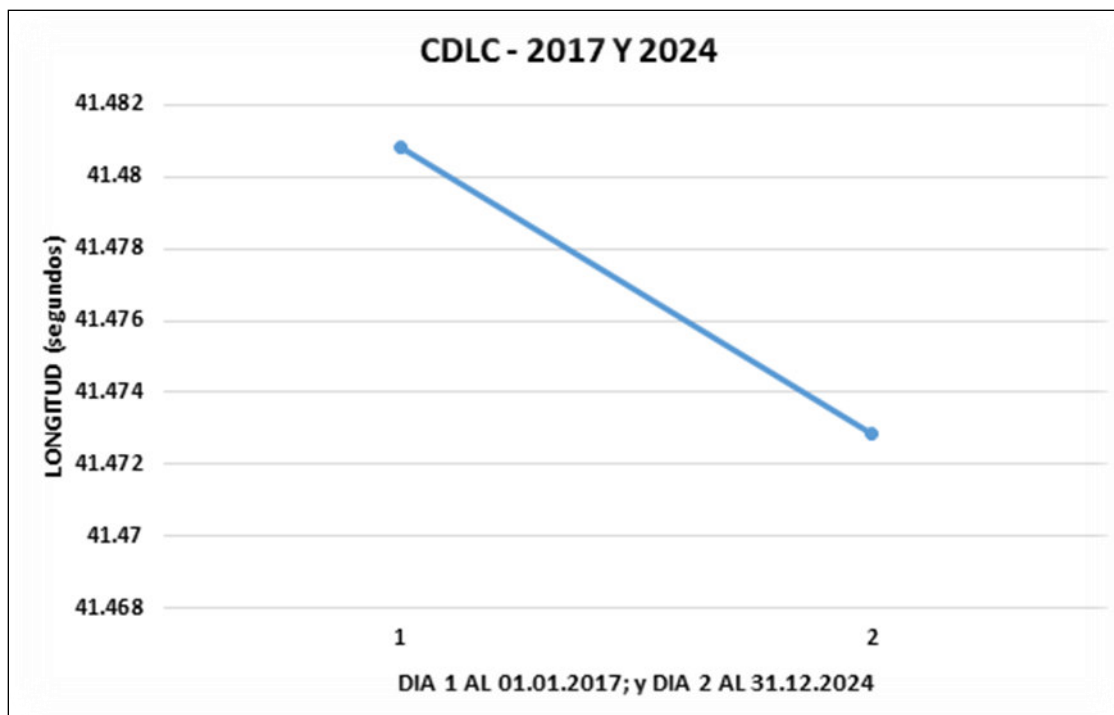
Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones donde se representa: **1** al día **01.01.2017**; **2** al día **31.12.2024**. La componente **ordenada**, indica valores parte de la componente **Latitud (segundos)**, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020; para lectura completa, a todos los valores numéricos en segundos, anteponer valor en grados y minutos siguiente: $-22^{\circ} 44'$ (ejemplo: $-22^{\circ} 44' 22.682''$).

Componente Longitud

Varia 0.00797"

Figura 47

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Longitud para Estación CDLC, días 01.01.2017 y 31.12.2024.



Nota: En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones donde se representa: **1** al día **01.01.2017**; **2** al día **31.12.2024**. La componente **ordenada**, indica valores parte de la componente **Longitud (segundos)**, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020; para lectura completa, a todos los valores numéricos en segundos, anteponer valor en grados y minutos siguiente: -68° 26' (ejemplo: -68° 26' 41.472").

Distancia elipsoidal

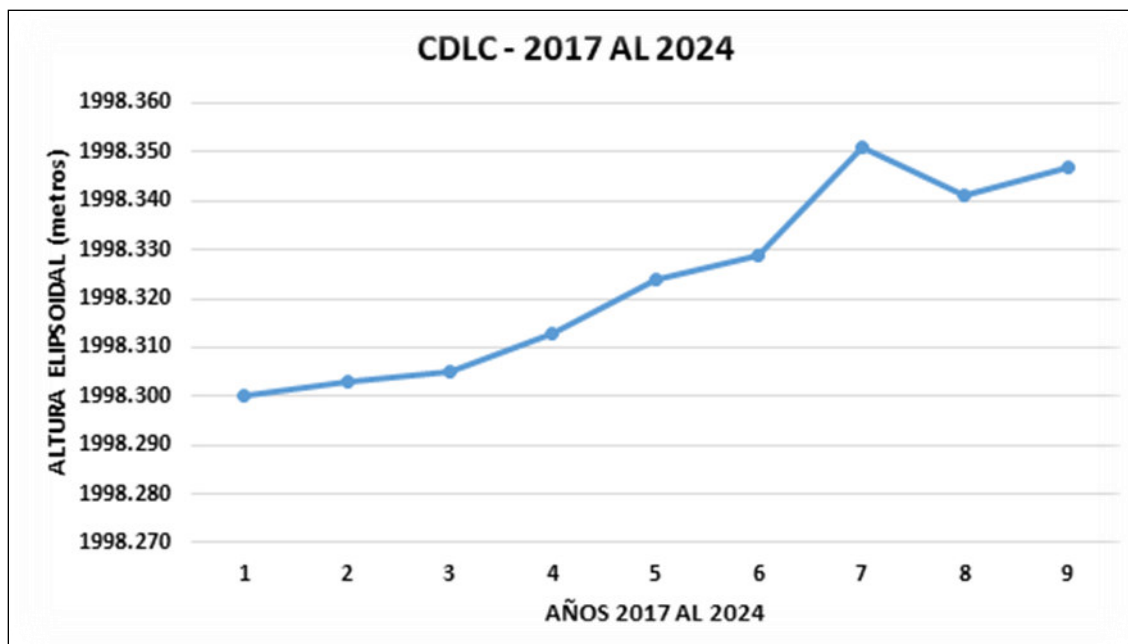
Obtenida entre las soluciones: días 01.01.2017 y 31.12.2024.

D= 0.267 m. (26.7 cm.), Azimut directo: 58° 36' 12.89"

En la **componente vertical**, representado por la **Altura Elipsoidal**, se visualiza muy ligera variación de 4.8 cm. entre la solución del día 01.01.2017 y 31.12.2024.

Figura 48

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente vertical Altura Elipsoidal para Estación CDLC, desde el año 2017 al 2024.



Nota: En la componente de la **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 2017 al 2025, donde los números representan a los días: **1** al **01.01.2017**; **2** al **01.01.2018**; **3** al **09.08.2019**; **4** al **01.01.2020**; **5** al **11.05.2021**; **6** al **07.01.2022**; **7** al **18.10.2023**; **8** al **01.01.2024**; **9** al **01.01.2025**. La componente **ordenada**, indica valores de la **Altura Elipsoidal**, de coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

E. Desplazamientos temporales en estación CJNT.

La estación CJNT se ubica aproximadamente 33 km. del epicentro del sismo del 19.07.2024.

Tomando como referencia datos coordenadas del epicentro proporcionado por CSN (2025b) y coordenadas geodésicas de la estación CJNT (solución día 31.12.2024), se obtiene:

Distancia elipsoidal (D) del epicentro (Sismo 19.07.2024) a la estación CJNT (solución día 20.07.2024):

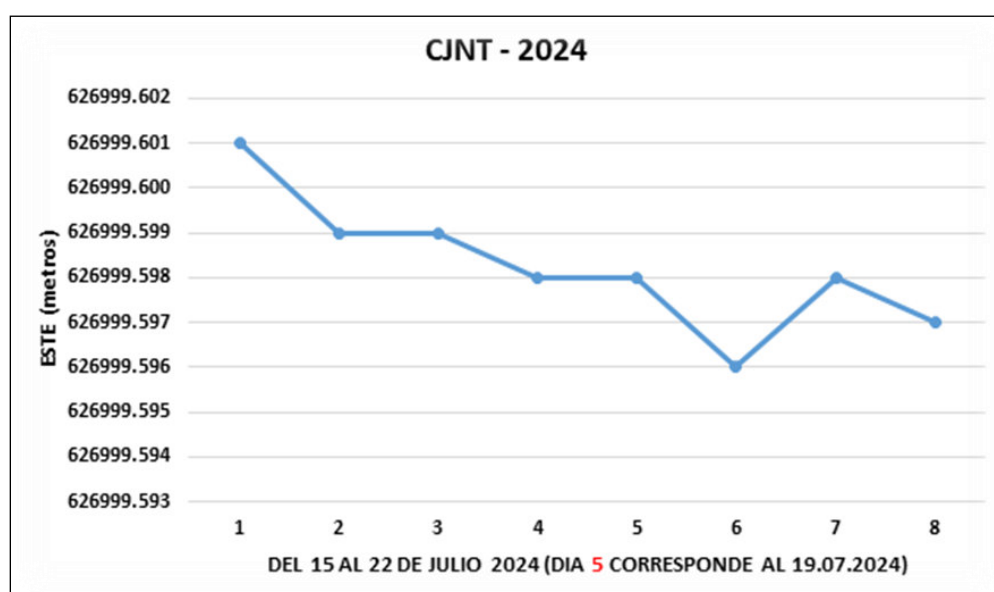
$D = 33,320.198 \text{ m.}$, Azimut directo: $72^\circ 9' 12.16''$

Se tomó como referencia observaciones de días previos y siguientes al sismo del 19.07.2024. Se sometieron al procesamiento, obteniéndose soluciones diarias el elipsoide GRS80, ITRF2020, incluyen las alturas elipsoidales. Las coordenadas geodésicas obtenidas, para fines de visualización, se utilizaron proyección UTM, zona 19, presentándose para una mejor visualización componentes Este, Norte.

Considerando día previo y siguiente al sismo del 19.07.2024, se visualiza en la componente Este variación mínima 0.2 cm. (2 mm.).

Figura 49

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Este para Estación CJNT, anterior y siguiente al sismo ocurrido 19.07.2024.

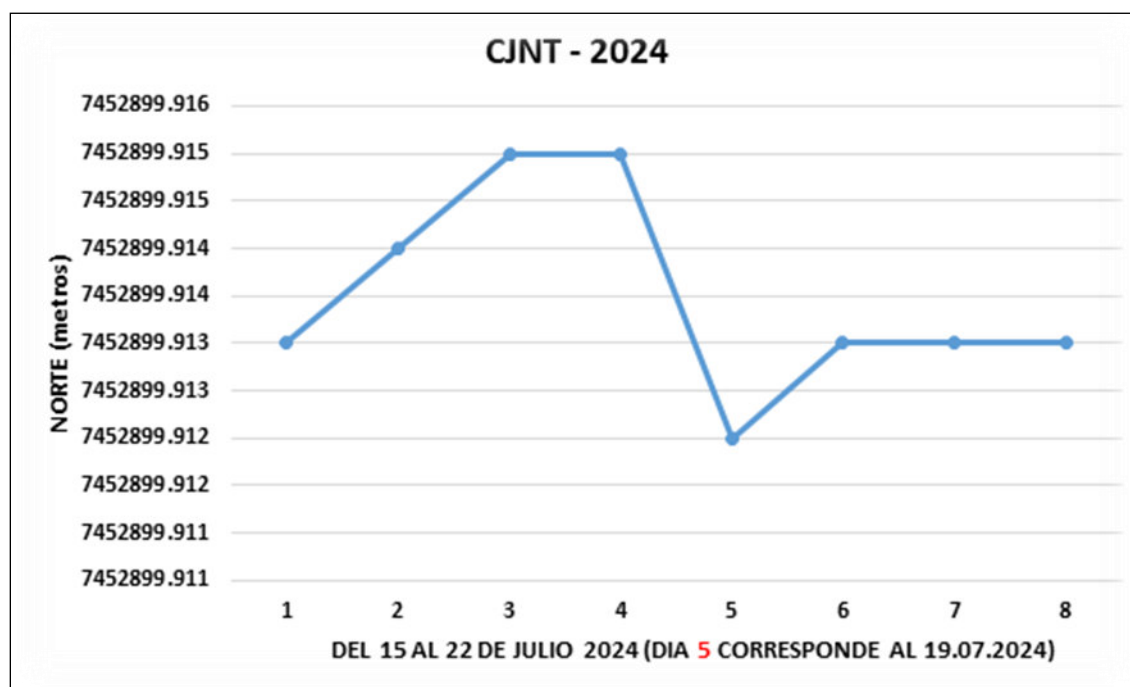


Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 15 al 22 de julio 2024, donde los números representan a los días: **1** al 15.07.2024; **2** al 16.07.2024; **3** al 17.07.2024; **4** al 18.07.2024; **5** al 19.07.2024; **6** al 20.07.2024; **7** al 21.07.2024; **8** al 22.07.2024. La componente **ordenada**, indica valores de la componente **Este**, proyección UTM, zona 19, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Considerando día previo y posterior al sismo del 19.07.2024, se visualiza en la componente **Norte** variación mínima 0.2 cm. (2 mm.).

Figura 50

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Norte para Estación CJNT, anterior y siguiente al sismo ocurrido 19.07.2024.



Nota: En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 15 al 22 de julio 2024, donde los números representan a los días: **1** al 15.07.2024; **2** al 16.07.2024; **3** al 17.07.2024; **4** al 18.07.2024; **5** al 19.07.2024; **6** al 20.07.2024; **7** al 21.07.2024; **8** al 22.07.2024. La componente

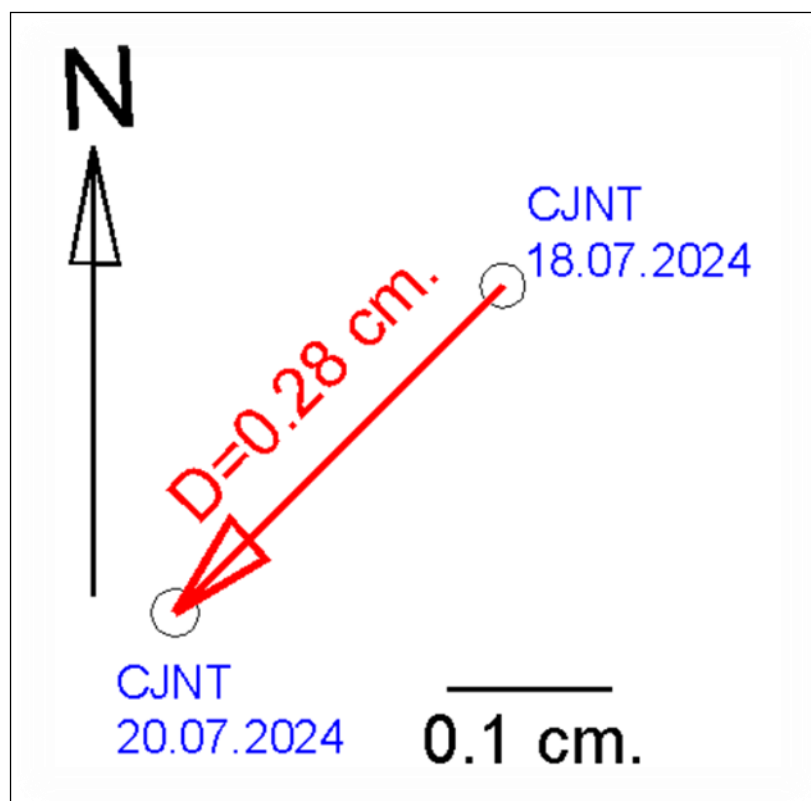
ordenada, indica valores de la componente **Norte**, proyección UTM, zona 19, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Desplazamientos temporales horizontales en la estación CJNT días anterior y siguiente al sismo 19.07.2024.

Se observa que el desplazamiento horizontal ha sido mínimo **0.28 cm.**, en dirección Sur Oeste.

Figura 51

Representa al vector desplazamiento horizontal, calculado a partir de ubicaciones temporales obtenidas de las soluciones diarias para estación CJNT día anterior (18.07.2024) y siguiente (20.07.2024) al sismo ocurrido el 19.07.2024.



Nota. Componentes horizontales Este (*abscisa*) y Norte (*ordenada*), proyección UTM, zona 19, obtenida de coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Variaciones coordenadas geodésicas, desplazamientos CJNT

Tomando como referencia componente coordenadas geodésicas obtenidas días previo y siguiente al sismo del 19.07.2024, para la estación CJNT, se obtiene:

Día 18.07.2024: $-23^{\circ} 01' 38.95738''$, $-67^{\circ} 45' 38.06140''$

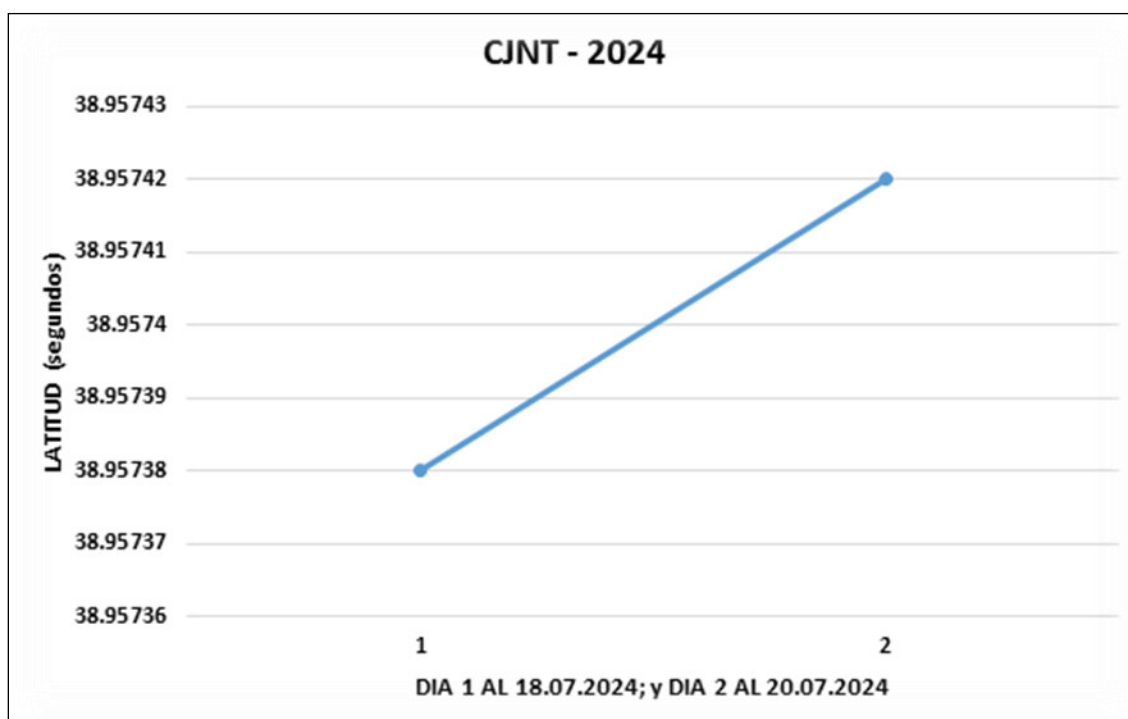
Día 20.07.2024: $-23^{\circ} 01' 38.95742''$, $-67^{\circ} 45' 38.06148''$

Componente Latitud

Varia $0.00004''$

Figura 52

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Latitud para Estación CJNT, anterior (18.07.2024) y siguiente (20.07.2024) al sismo ocurrido 19.07.2024.



Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones donde se representa: **1** al día **18.07.2024**; **2** al día **20.07.2024**. La componente **ordenada**, indica valores parte de la componente **Latitud (segundos)**, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020; para

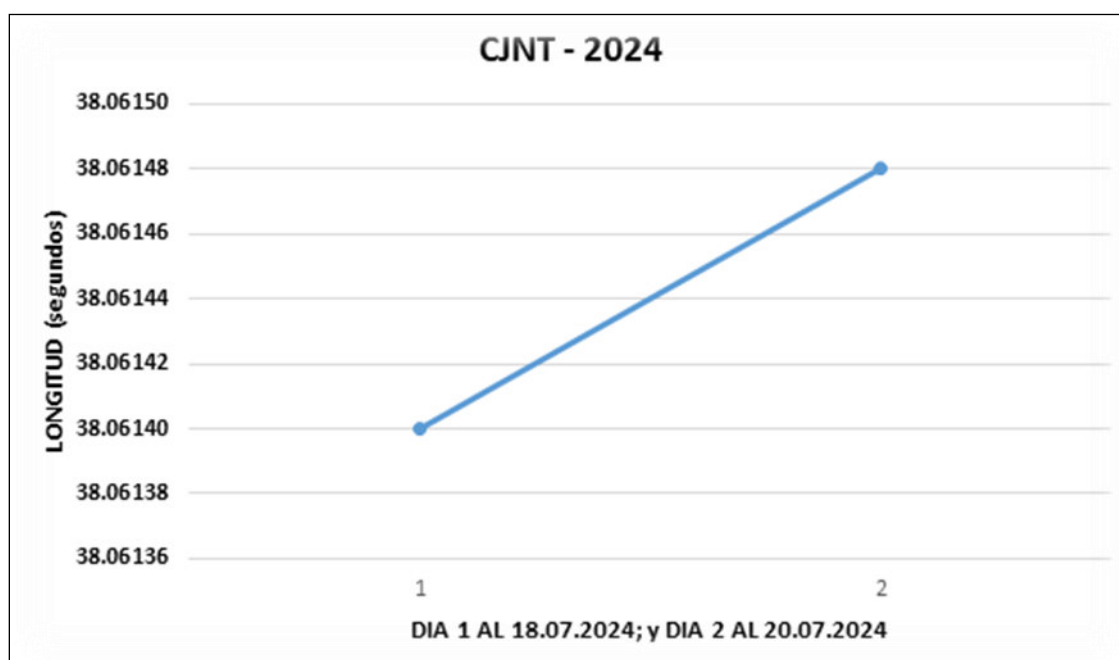
lectura completa, a todos los valores numéricos en segundos, anteponer valor en grados y minutos siguiente: $-23^{\circ} 01'$ (ejemplo: $-23^{\circ} 01' 38.95738''$).

Componente Longitud

Varia 0.00008"

Figura 53

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Longitud para Estación CJNT, anterior (18.07.2024) y siguiente (20.07.2024) al sismo ocurrido 19.07.2024.



Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones donde se representa: **1** al día **18.07.2024**; **2** al día **20.07.2024**. La componente **ordenada**, indica valores parte de la componente **Longitud (segundos)**, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020; para lectura completa, a todos los valores numéricos en segundos, anteponer valor en grados y minutos siguiente: $-67^{\circ} 45'$ (ejemplo: $-67^{\circ} 45' 38.06140''$).

Distancia elipsoidal

Obtenida de la solución día 18.07.2024 y 20.07.2024.

D= 0.003 m. Azimut directo 241° 37' 18.37"

Componente Altura Elipsoidal

Día 18.07.2024: 5,074.060 m.

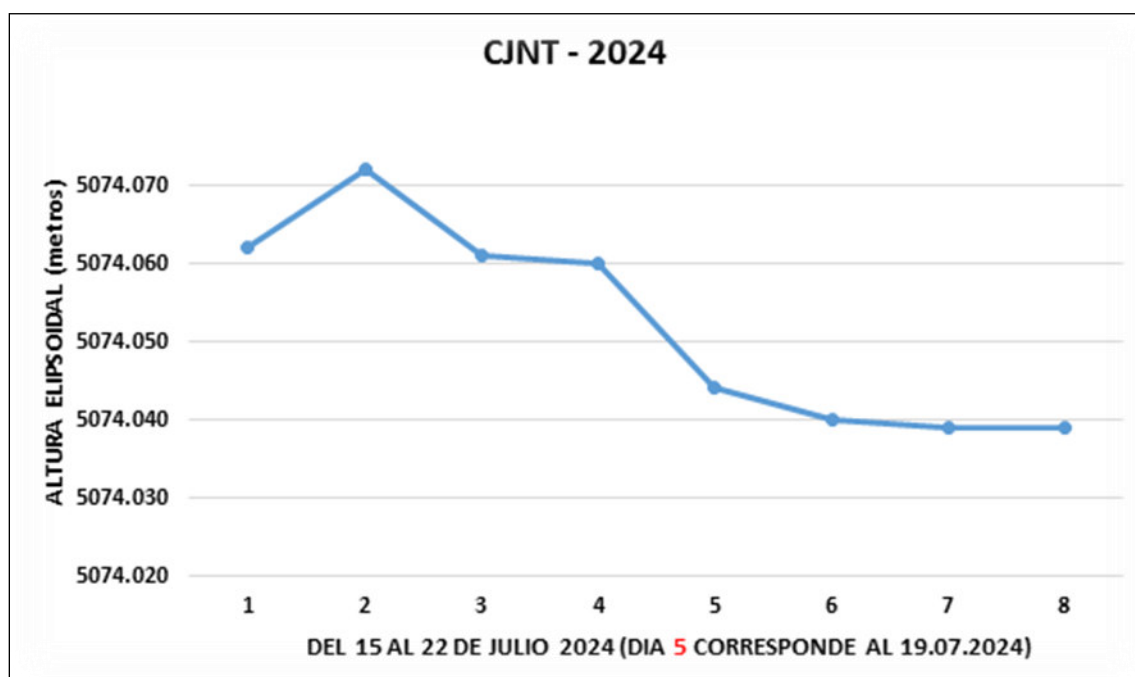
Día 20.07.2024: 5,074.040 m.

Varía 0.020 m.

Considerando días anterior y siguiente al sismo del 19.07.2024, en la estación CJNT se visualiza en la componente **Altura Elipsoidal** muy ligera deformación **hundimiento vertical** variación de **2 cm**.

Figura 54

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente vertical Altura Elipsoidal para Estación CJNT, anterior y siguiente al sismo ocurrido 19.07.2024.



Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 15 al 22 de julio 2024, donde los números representan a los días: **1** al 15.07.2024; **2** al 16.07.2024; **3** al 17.07.2024; **4** al

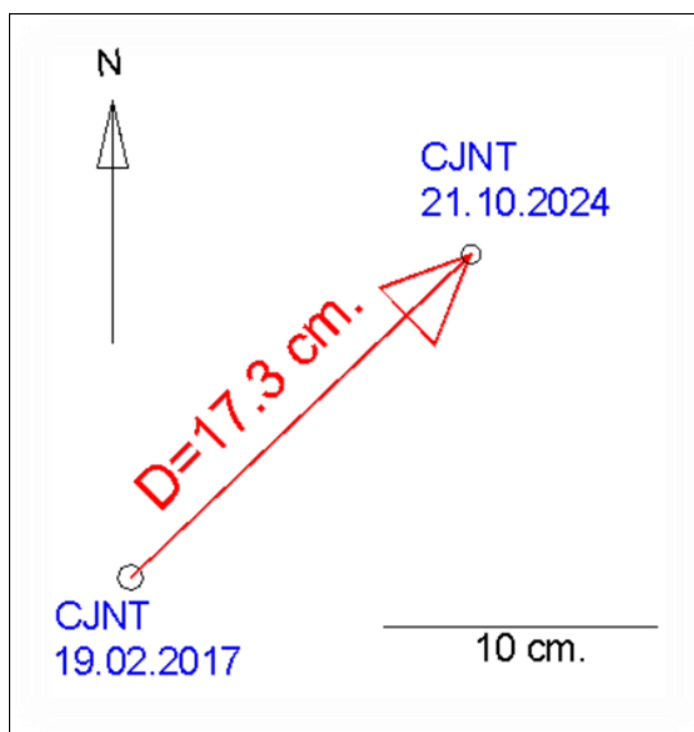
18.07.2024; 5 al 19.07.2024; 6 al 20.07.2024; 7 al 21.07.2024; 8 al 22.07.2024. La componente *ordenada*, indica valores de la componente Altura Elipsoidal, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITEF2020.

Desplazamientos temporales en estación CJNT, en los últimos 8 años.

De las soluciones históricas diarias obtenidas en el actual estudio, se han comparado ubicaciones de la estación CJNT para el día 19.02.2017 con la obtenida para el día 21.10.2024, visualizándose desplazamientos horizontales en dirección Nor Este, de aproximadamente **17.3 cm.**; aproximadamente en promedio **2.2 cm./año.**

Figura 55

Representa al vector desplazamiento horizontal, calculado a partir de ubicaciones temporales obtenidas de las soluciones diarias para estación CJNT días 19.02.2017 y 21.10.2024.

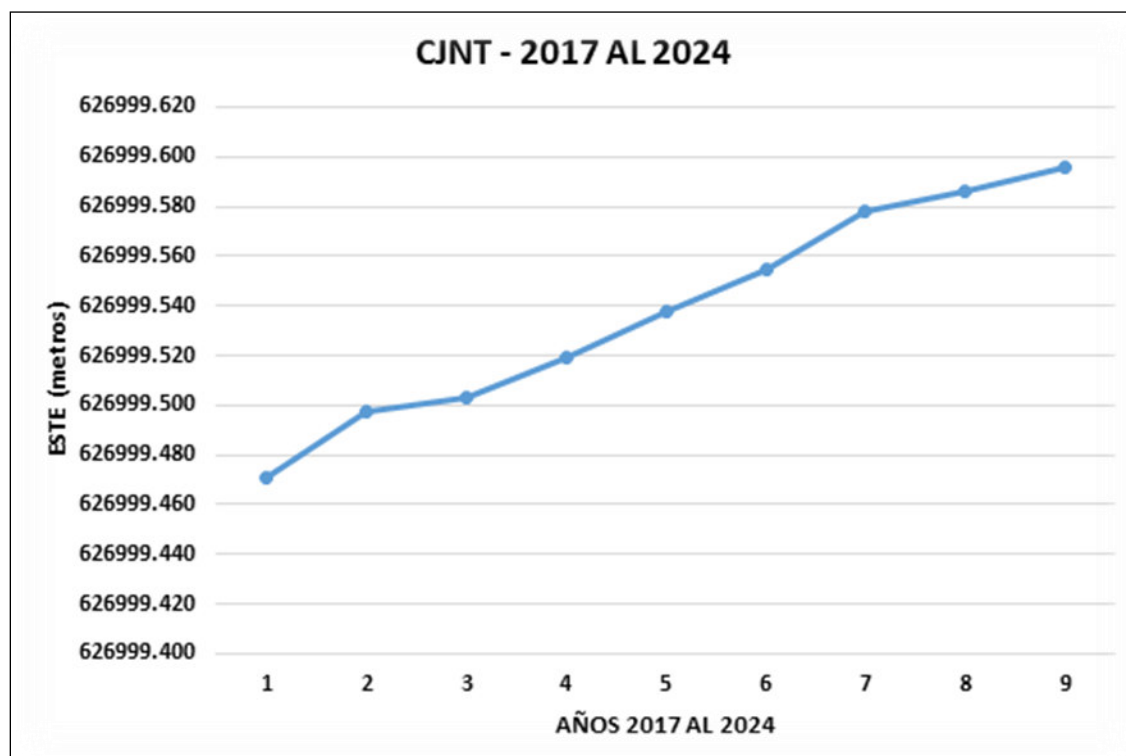


Nota. . Considerando coordenadas geodésicas GRS80, ITRF2020, obtenidas a partir de las soluciones diarias para la estación CJNT del 19.02.2017 y 21.10.2024, se calcularon Distancias geodésicas, obteniéndose $D = 0.173 \text{ m. (17.3 cm.)}$, Azimut directo $45^\circ 53' 50.26''$.

Comparando la solución del 19.02.2017 y del 21.10.2024, en la componente **Este** se visualiza variación aproximada de **12.5 cm.**

Figura 56

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Este para Estación CJNT, desde el año 2017 al 2024.



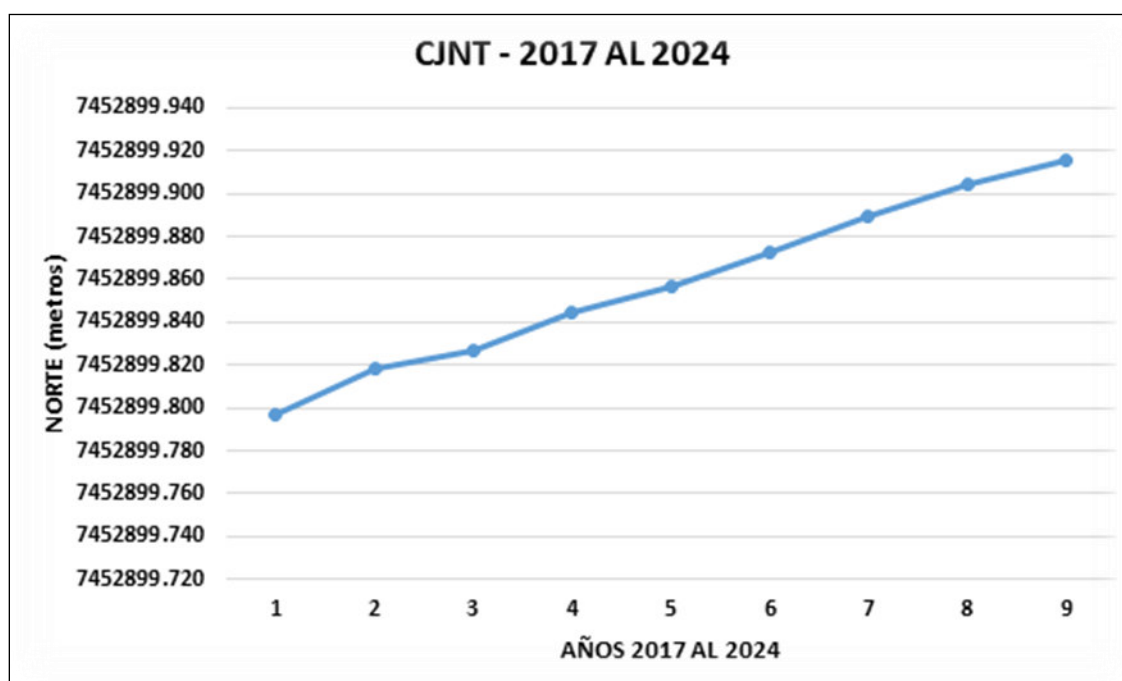
Nota. En la componente de la **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 2017 al 2024, donde los números representan a las siguientes fechas: **1** al **19.02.2017**; **2** al **11.05.2018**; **3** al **01.01.2019**; **4** al **01.01.2020**; **5** al **01.01.2021**; **6** al **01.01.2022**; **7** al **01.01.2023**; **8** al **02.01.2024**;

9 al 21.10.2024. La componente *ordenada*, indica valores de la componente **Este**, proyección UTM, zona 19, obtenida de coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Comparando la solución del 19.02.2017 y del 21.10.2024, en la componente **Norte** se visualiza variación aproximada de 11.9 **cm**.

Figura 57

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Norte para Estación CJNT, desde el año 2017 al 2024.



Nota. En la componente de la *abscisa*, se representan fechas soluciones diarias del 2017 al 2024, donde los números representan a las siguientes fechas: **1** al **19.02.2017**; **2** al **11.05.2018**; **3** al **01.01.2019**; **4** al **01.01.2020**; **5** al **01.01.2021**; **6** al **01.01.2022**; **7** al **01.01.2023**; **8** al **02.01.2024**; **9** al **21.10.2024**. La componente *ordenada*, indica valores de la componente **Norte**, proyección UTM, zona 19, obtenida de coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Variación coordenadas geodésicas, desplazamientos CJNT del 19.02.2017, y 21.10.2024.

Tomando como referencia componente coordenadas geodésicas obtenidas 19.02.2017 y 21.10.2024, para la estación CJNT, se obtiene:

Día 19.02.2017: $-23^{\circ} 01' 38.96124''$, $-67^{\circ} 45' 38.06584''$

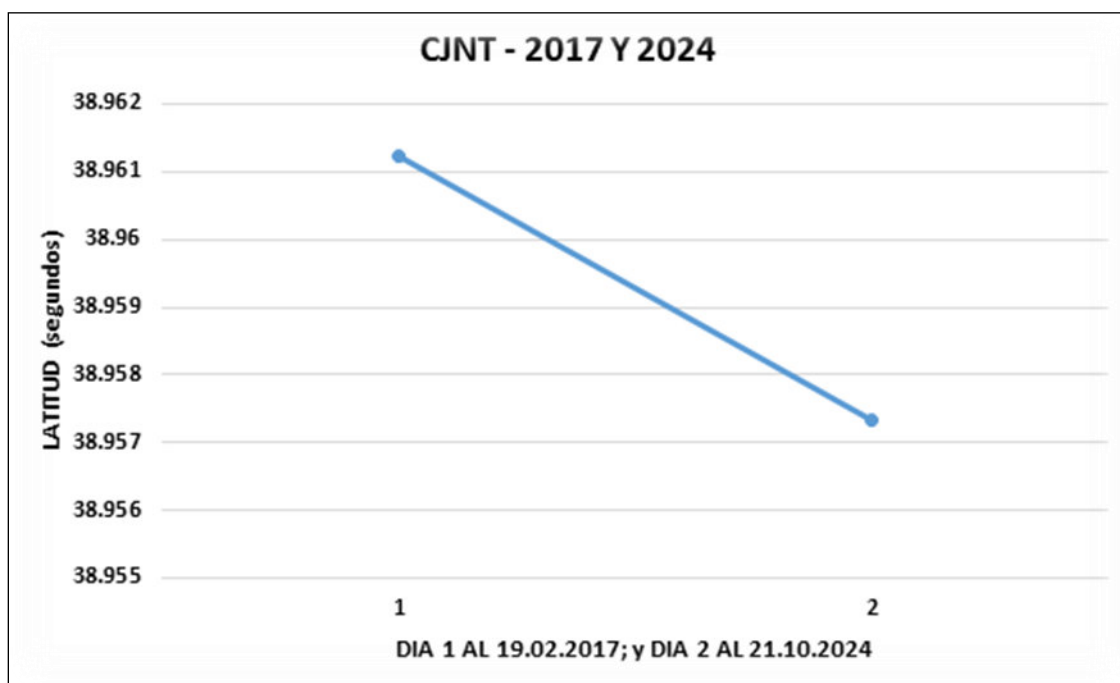
Día 21.10.2024: $-23^{\circ} 01' 38.95732''$, $-67^{\circ} 45' 38.06147''$

Componente Latitud

Varia $0.00608''$

Figura 58

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Latitud para Estación CJNT, días 19.02.2017 y 21.10.2024.



Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones donde se representa: **1** al día 19.02.2017; **2** al día 21.10.2024. La componente **ordenada**, indica valores parte de la componente **Latitud (segundos)**, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020; para

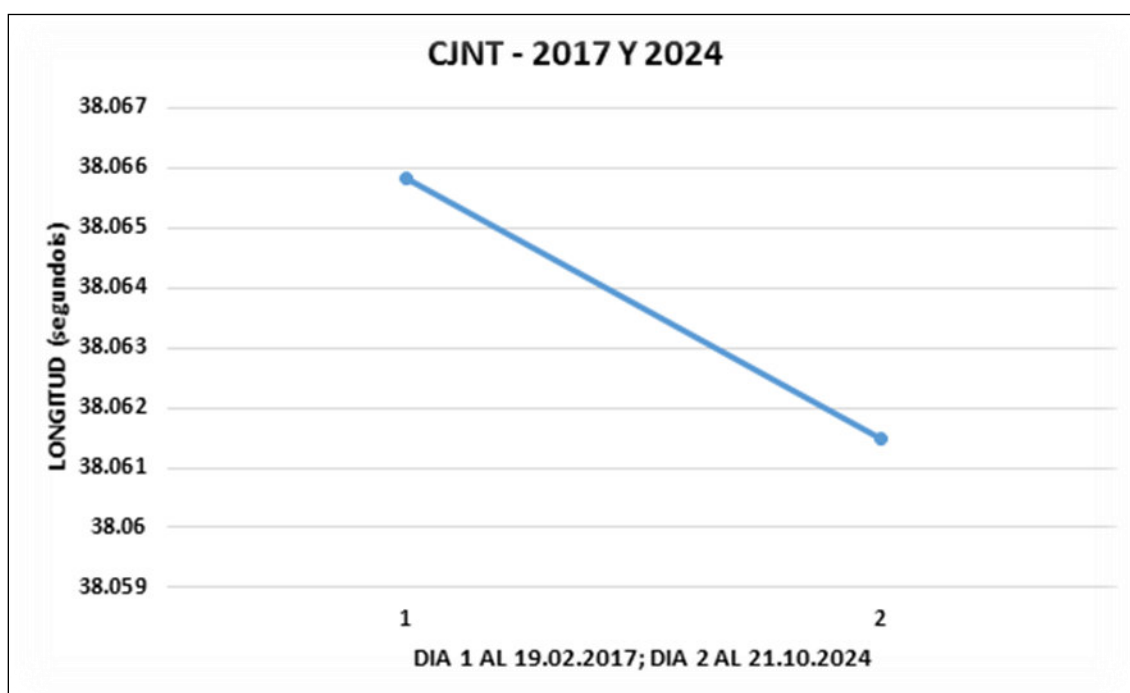
lectura completa, a todos los valores numéricos en segundos, anteponer valor en grados y minutos siguiente: $-23^{\circ} 01'$ (ejemplo: $-23^{\circ} 01' 38.957''$).

Componente Longitud

Varia 0.00437"

Figura 59

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Longitud para Estación CJNT, días 19.02.2017 y 21.10.2024.



Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones donde se representa: **1** al día **19.02.2017**; **2** al día **21.10.2024**. La componente **ordenada**, indica valores parte de la componente **Longitud (segundos)**, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020; para lectura completa, a todos los valores numéricos en segundos, anteponer valor en grados y minutos siguiente: $-67^{\circ} 45'$ (ejemplo: $-67^{\circ} 45' 38.361''$).

Distancia elipsoidal

Obtenida entre las soluciones: días 19.02.2017 y 21.10.2024.

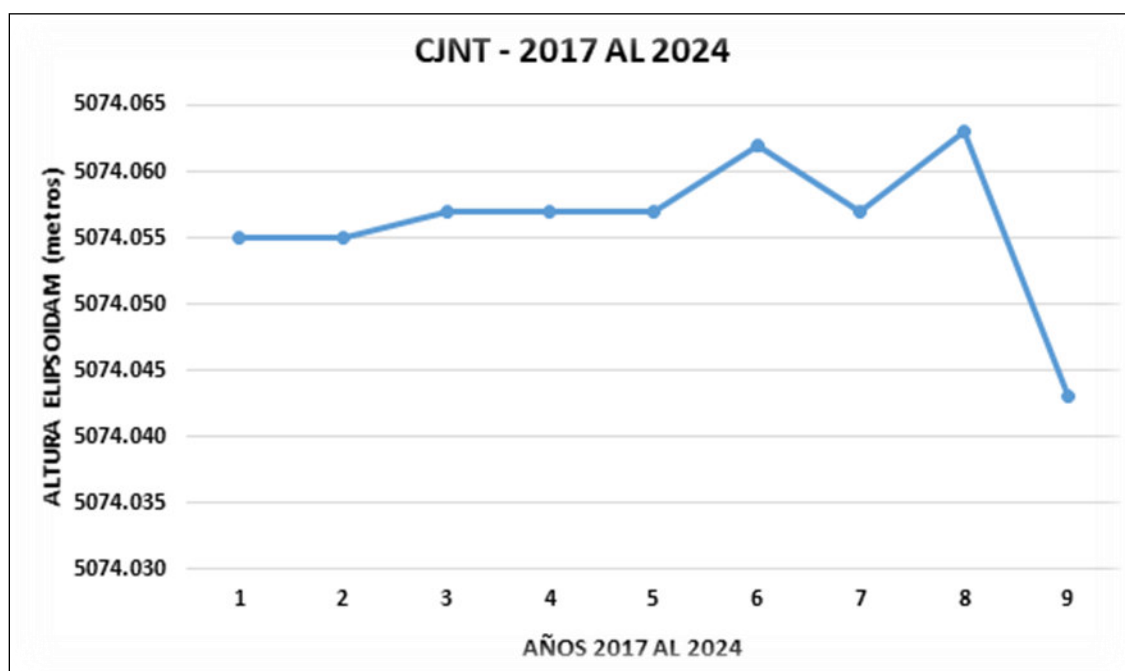
D= 0.173 m., Azimut directo: 45° 53' 50.26"

En la **componente vertical**, representado por la **Altura Elipsoidal**, se visualiza muy ligera variación deformación hundimiento de 1.2 cm. entre la solución del día **19.02.2017** y **21.10.2024**.

Comparando la solución del 19.02.2017 y del 21.10.2024, en la componente **Altura Elipsoidal** se visualiza hundimiento de aproximadamente **1.2 cm.**, con tendencia irregular 2021. La tendencia es regular desde el 01.01.2022 hasta el 2024.

Figura 60

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente vertical Altura Elipsoidal para Estación CJNT, desde el año 2017 al 2024.



Nota. En la componente de la **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 2017 al 2024, donde los números representan a las siguientes fechas: **1** al **19.02.2017**; **2** al **11.05.2018**; **3** al

01.01.2019; 4 al 01.01.2020; 5 al 01.01.2021; 6 al 01.01.2022; 7 al 01.01.2023; 8 al 02.01.2024; 9 al 21.10.2024. La componente *ordenada*, indica valores de la componente **Altura Elipsoidal**, obtenida de coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

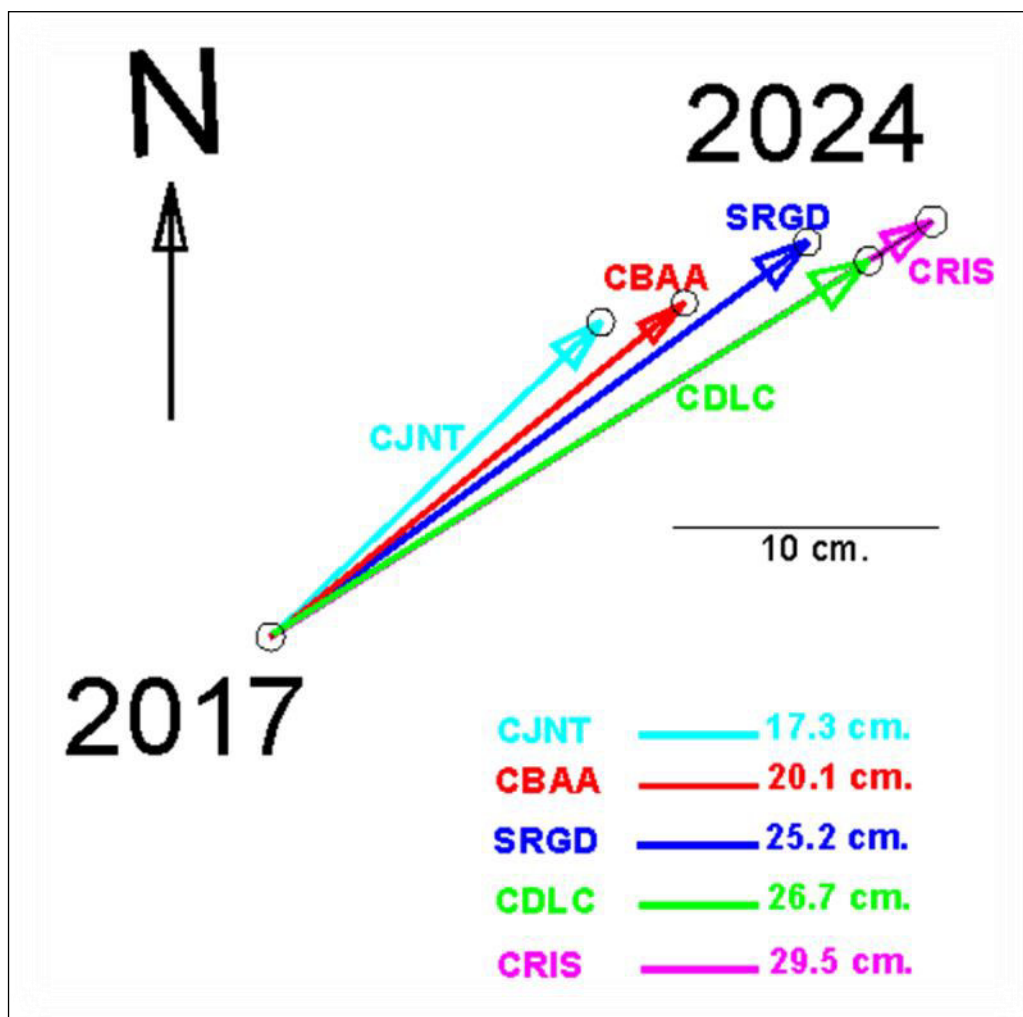
F. Comparación desplazamientos estaciones próximo al sismo 19.07.2024, periodo 2017-2024.

Conforme al análisis y productos obtenidos en las estaciones evaluadas, los desplazamientos entre los años 2017 al 2024, han sido heterogéneos en cuanto a su magnitud. En el periodo 2017-2024, en las estaciones CJNT, CBAA, SRGD, CDLC, CRIS, se obtuvieron distintos desplazamientos.

La orientación del desplazamiento de la estación CRIS y CDLC son similares, a pesar de estar distantes 228 Km. aproximadamente entre sí. La orientación de desplazamientos de las estaciones CJNT, CBAA, SRGD, ligeramente difieren en comparación con estaciones CDLC, CRIS.

Figura 61

Representa a los vectores desplazamiento horizontal, calculado a partir de ubicaciones temporales obtenidas de las soluciones diarias para estaciones CJNT, CBAA, SRGD, CDLC, CRIS, en el periodo 2017 al 2024.



Nota. Tomando como referencias coordenadas geodésicas GRS80, ITRF2020, obtenidas de soluciones diarias para cada estación, según disponibilidad de data histórica. Con fines de visualización referencial, se presenta comparación de magnitud y orientación de los desplazamientos, representados por distancias geodésicas calculadas para cada estación, comparaciones vectores de desplazamientos.

4.1.1.2 Sismo del 24.04.2017.

El día 24.04.2017 a las 21:38:28 (hora GMT, UTC) ocurrió un sismo con las siguientes características según CSN (2025b):

Latitud: -33.09

Longitud: -72.12

Profundidad: 24 Km.

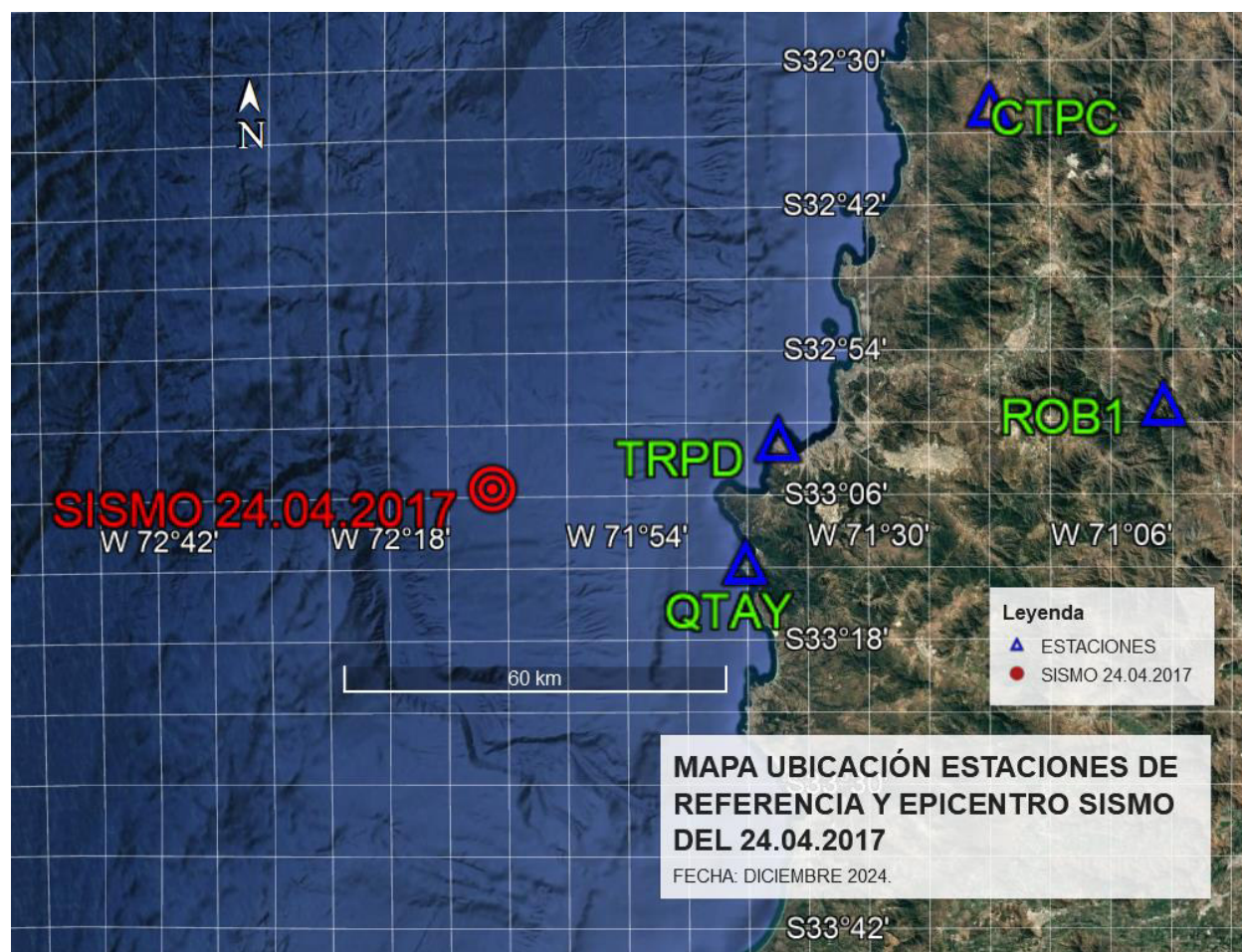
Magnitud: 6.9 Mww (Magnitud Momento obtenida a partir de la Fase W).

La hora UTC corresponde a las 21.38:28 del 24.04.2017. La hora local 18:38:28 (GMT – 3) del 24.04.2017.

Próximo al epicentro del sismo se ubicaron 18 estaciones, de las cuales con data de días anteriores y siguientes al sismo del 24.04.2017. De estas estaciones, por cercanía al epicentro se seleccionaron 4 estaciones (QTAY, ROB1, TRPD, CTPC).

Figura 62

Mapa Ubicación Estaciones de referencia y epicentro sismo del 24.04.2017.



Nota. Las ubicaciones de estaciones CTPC, ROB1, QTAY, TRPD, obtenidas de las soluciones finales día 25.04.2017 en coordenadas geodésicas GRS80, ITRF2020; la ubicación del epicentro obtenida de coordenadas publicitadas por CSN (2025b), insertados en Google Earth.

Tabla 3

Distancias elipsoidales calculadas desde el epicentro del sismo ocurrido el 24.04.2017, a estaciones.

FUENTES INFORMATIVAS				
DE UBICACIÓN Y				
COORDENADAS				
EPICENTRO		DISTANCIA		
SISMO	ESTACION	ELIPSOIDAL (m.)	AZIMUT	
24.04.2017 (A)	(B)	DESDE (A) - (B)	DIRECTO	DIRECCION
CSN (2025b)	QTAY (*)	37,930.473	107° 35' 6.00"	Sur Este
CSN (2025b)	TRPD (*)	41,996.12	79° 54' 1.00"	Nor Este
CSN (2025b)	ROB1 (*)	101,141.22	83° 6' 3.33"	Nor Este
CSN (2025b)	CTPC (*)	94,578.715	51° 53' 23.25"	Nor Este

Nota. Las coordenadas del epicentro del Sismo del 24.04.2017 fueron proporcionadas por el CSN (2025b). Las coordenadas geodésicas de las estaciones QTAY, TRPD, ROB1, CTPC, identificadas con (*) fueron obtenidas en el presente trabajo de soluciones finales día 25.04.2017, elipsoide GRS80, ITRF2020.

A. Desplazamientos temporales en estación QTAY.

La estación QTAY se ubica aproximadamente a 38 km. del epicentro sismo del 24.04.2017.

Tomando como referencia datos coordenadas del epicentro proporcionado por CSN (2025b) y coordenadas geodésicas de la estación QTAY (solución día 25.04.2017), se obtiene:

Distancia elipsoidal (D) del epicentro (Sismo 24.04.2017) a la estación QTAY (solución día 25.04.2017):

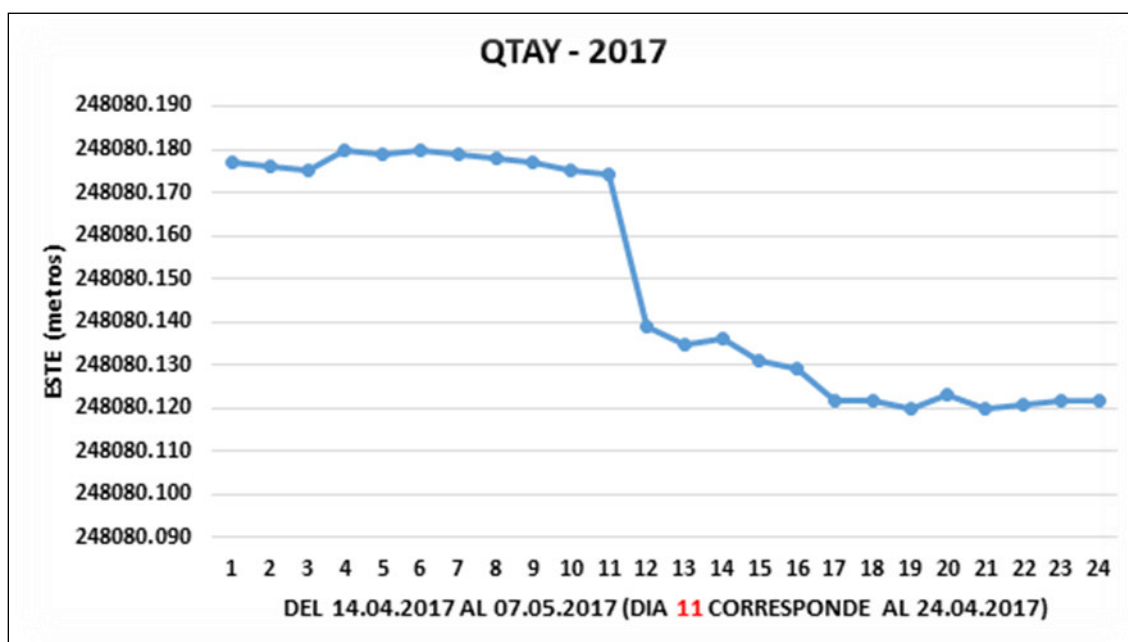
D= 37,930.473 m., Azimut directo: 107° 35' 6.00"

Se tomó como referencia observaciones de días previos y siguientes al sismo del 24.04.2017. Se sometieron al procesamiento, obteniéndose soluciones diarias coordenadas geodésicas elipsoide GRS80, ITRF2020, incluyen las aturas elipsoidales. Las coordenadas geodésicas obtenidas, para fines de visualización, se utilizaron proyección UTM, zona 19, presentándose para una mejor visualización componentes Este, Norte.

Considerando día previo y siguiente al sismo del 24.04.2017, se visualiza en la componente **Este** variación 3.6 cm.

Figura 63

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Este para Estación QTAY, anterior y siguiente al sismo ocurrido 24.04.2017.



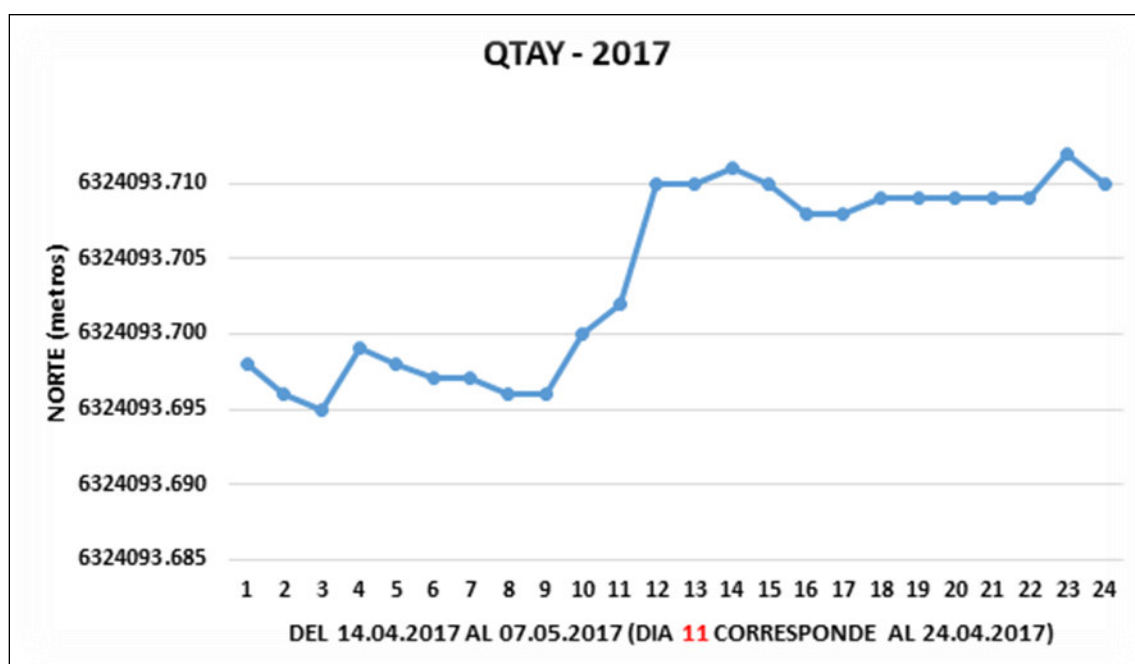
Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 14.04.2017 al 07.05.2017, donde los números representan a los días: **1** al 14.04.2017; **2** al 15.04.2017; **3** al 16.04.2017; **4** al 17.04.2017; **5** al 18.04.2017; **6** al 19.04.2017; **7** al 20.04.2017; **8** al 21.04.2017; **9** al 22.04.2017; **10** al 23.04.2017; **11** al 24.04.2017; **12** al 25.04.2017; **13** al 26.04.2017; **14** al

27.04.2017; 15 al 28.04.2017; 16 al 29.04.2017; 17 al 30.04.2017; 18 al 01.05.2017; 19 al 02.05.2017; 20 al 03.05.2017; 21 al 04.05.2017; 22 al 05.05.2017; 23 al 06.05.2017; 24 al 07.05.2017. La componente *ordenada*, indica valores de la componente **Este**, proyección UTM, zona 19, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Considerando día previo y posterior al sismo del 24.04.2017, se visualiza en la componente **Norte** variación de 1 cm.

Figura 64

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Norte para Estación QTAY, anterior y siguiente al sismo ocurrido 24.04.2017.



Nota. En componente *abscisa*, se representan fechas soluciones diarias del 14.04.2017 al 07.05.2017, donde los números representan a los días: 1 al 14.04.2017; 2 al 15.04.2017; 3 al 16.04.2017; 4 al 17.04.2017; 5 al 18.04.2017; 6 al 19.04.2017; 7 al 20.04.2017; 8 al 21.04.2017; 9 al 22.04.2017; 10 al 23.04.2017; 11 al 24.04.2017; 12 al 25.04.2017; 13 al 26.04.2017; 14 al 27.04.2017; 15 al 28.04.2017; 16 al 29.04.2017; 17 al 30.04.2017; 18 al 01.05.2017; 19 al

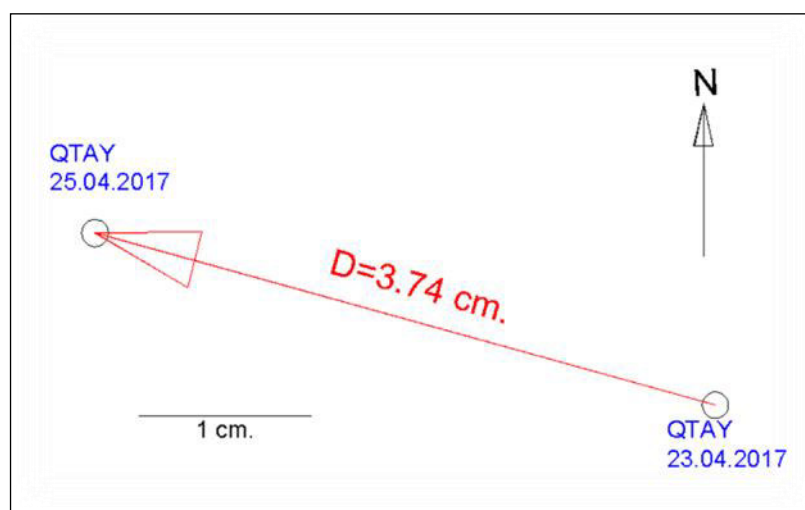
02.05.2017; 20 al 03..05.2017; 21 al 04.05.2017; 22 al 05.05.2017; 23 al 06.05.2017; 24 al 07.05.2017. La componente *ordenada*, indica valores de la componente **Norte**, proyección UTM, zona 19, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Desplazamientos temporales horizontales en la estación QTAY días anterior y siguiente al sismo 24.04.2017.

Se observa que el desplazamiento horizontal tomando como referencia días previo y siguiente al sismo, ha sido mínimo **3.74 cm.**, en dirección Nor Oeste.

Figura 65

Representa al vector desplazamiento horizontal, calculado a partir de ubicaciones temporales obtenidas de las soluciones diarias para estación QTAY día anterior (23.04.2017) y siguiente (25.04.2017) al sismo ocurrido el 24.04.2017.



Nota. Componentes horizontales Este (*abscisa*) y Norte (*ordenada*), proyección UTM, zona 19, obtenida de coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Variaciones coordenadas geodésicas, desplazamientos

Tomando como referencia componente coordenadas geodésicas obtenidas días previo y siguiente al sismo del 19.07.2024, para la estación QTAY, se obtiene:

Día 23/04/2017: $-33^{\circ} 11' 33.80348''$, $-71^{\circ} 42' 08.07780''$

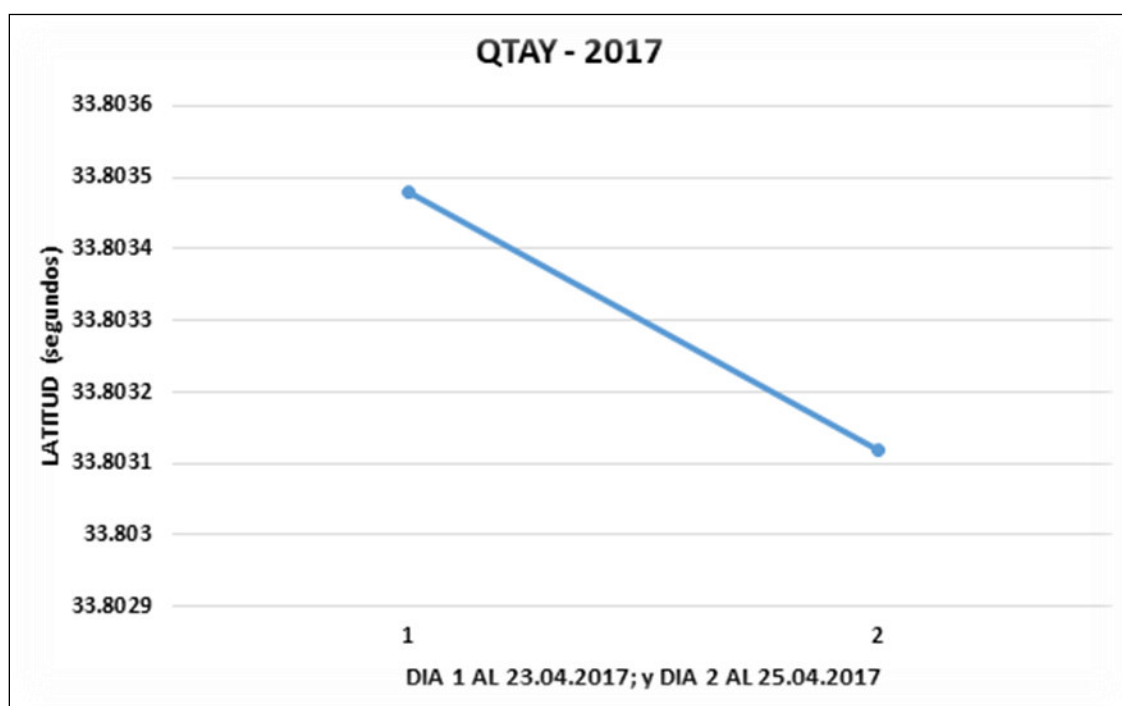
Día 25/04/2017: $-33^{\circ} 11' 33.80312''$, $-71^{\circ} 42' 08.07917''$

Componente Latitud

Varia $0.00036''$

Figura 66

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Latitud para Estación QTAY, anterior (23.04.2017) y siguiente (25.04.2017) al sismo ocurrido 24.04.2017.



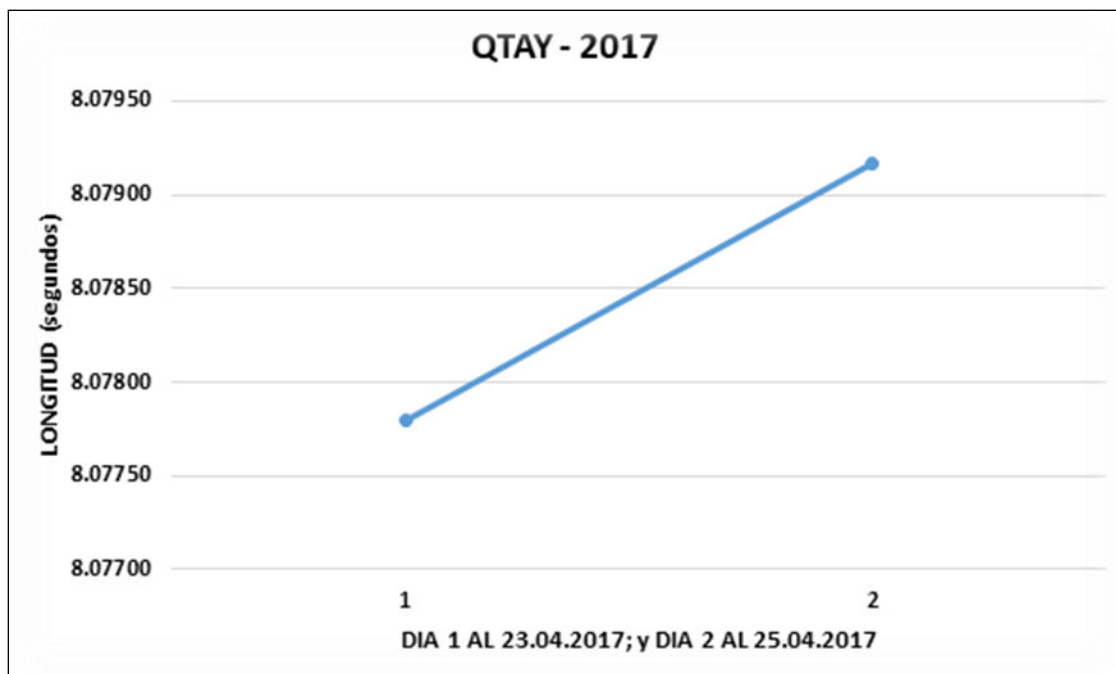
Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones donde se representa: **1** al día **23.04.2017**; **2** al día **25.04.2017**. La componente **ordenada**, indica valores parte de la componente **Latitud (segundos)**, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020; para lectura completa, a todos los valores numéricos en segundos, anteponer valor en grados y minutos siguiente: $-33^{\circ} 11'$ (ejemplo: $-33^{\circ} 11' 33.8031''$).

Componente Longitud

Varia 0.00137"

Figura 67

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Longitud para Estación QTAY, anterior (23.04.2017) y siguiente (25.04.2017) al sismo ocurrido 24.04.2017.



Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones donde se representa: **1** al día **23.04.2017**; **2** al día **25.04.2017**. La componente **ordenada**, indica valores parte de la componente **Longitud (segundos)**, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020; para lectura completa, a todos los valores numéricos en segundos, anteponer valor en grados y minutos siguiente: -71° 42' (ejemplo: -71° 42' 08.07750").

Distancia elipsoidal

Obtenida de la solución día 18.07.2024 y 20.07.2024.

D = 0.037 m., Azimut directo 287° 21' 20.96"

Componente Altura Elipsoidal

Día 23.04.2017: 39.767 m.

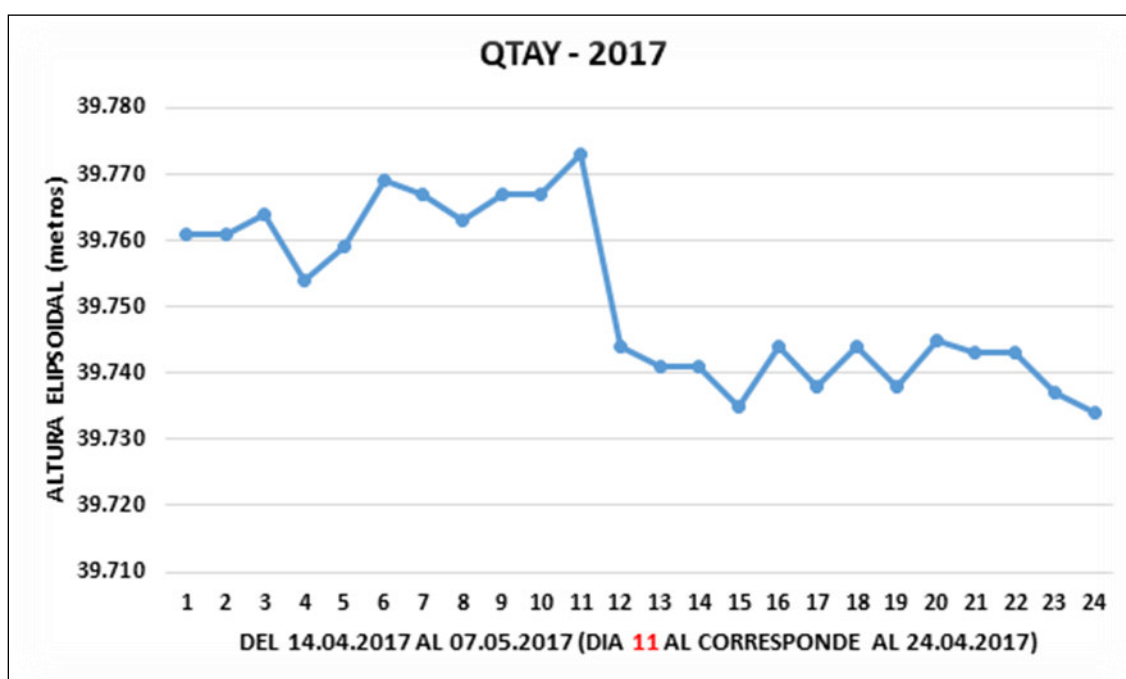
Día 25.04.2017: 39.744 m.

Varía 0.023 m.

Considerando días anterior y siguiente al sismo del 19.07.2024, en la estación QTAY se visualiza en la componente **Altura Elipsoidal** muy ligera deformación **hundimiento vertical** variación de **2.3 cm**.

Figura 68

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente vertical Altura Elipsoidal para Estación QTAY, anterior y siguiente al sismo ocurrido 24.04.2017.



Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 14.04.2017 al 07.05.2017, donde los números representan a los días: **1** al **14.04.2017**; **2** al **15.04.2017**; **3** al **16.04.2017**; **4** al **17.04.2017**; **5** al **18.04.2017**; **6** al **19.04.2017**; **7** al **20.04.2017**; **8** al **21.04.2017**; **9** al **22.04.2017**; **10** al **23.04.2017**; **11** al **24.04.2017**; **12** al **25.04.2017**; **13** al **26.04.2017**; **14** al

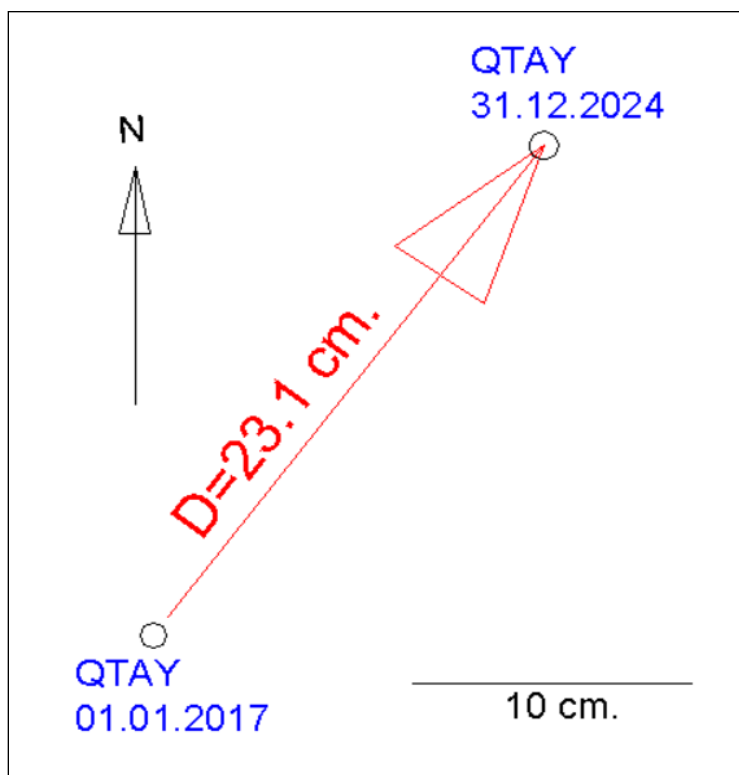
27.04.2017; 15 al 28.04.2017; 16 al 29.04.2017; 17 al 30.04.2017; 18 al 01.05.2017; 19 al 02.05.2017; 20 al 03.05.2017; 21 al 04.05.2017; 22 al 05.05.2017; 23 al 06.05.2017; 24 al 07.05.2017. La componente *ordenada*, indica valores de la Altura Elipsoidal de coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Desplazamientos temporales en estación QTAY, en los últimos 8 años.

De las soluciones históricas diarias obtenidas en el actual estudio, se han comparado ubicaciones de la estación QTAY para el día 01.01.2017 con la obtenida para el día 31/12/2024, visualizándose desplazamientos horizontales en dirección Nor Este, de aproximadamente 23.1 **cm.**; aproximadamente en promedio 2.8 **cm. /año.**, aproximadamente en promedio 0.2 **cm. /mes.**

Figura 69

Representa al vector desplazamiento horizontal, calculado a partir de ubicaciones temporales obtenidas de las soluciones diarias para estación QTAY días 01.01.2017 y 31.12.2024.

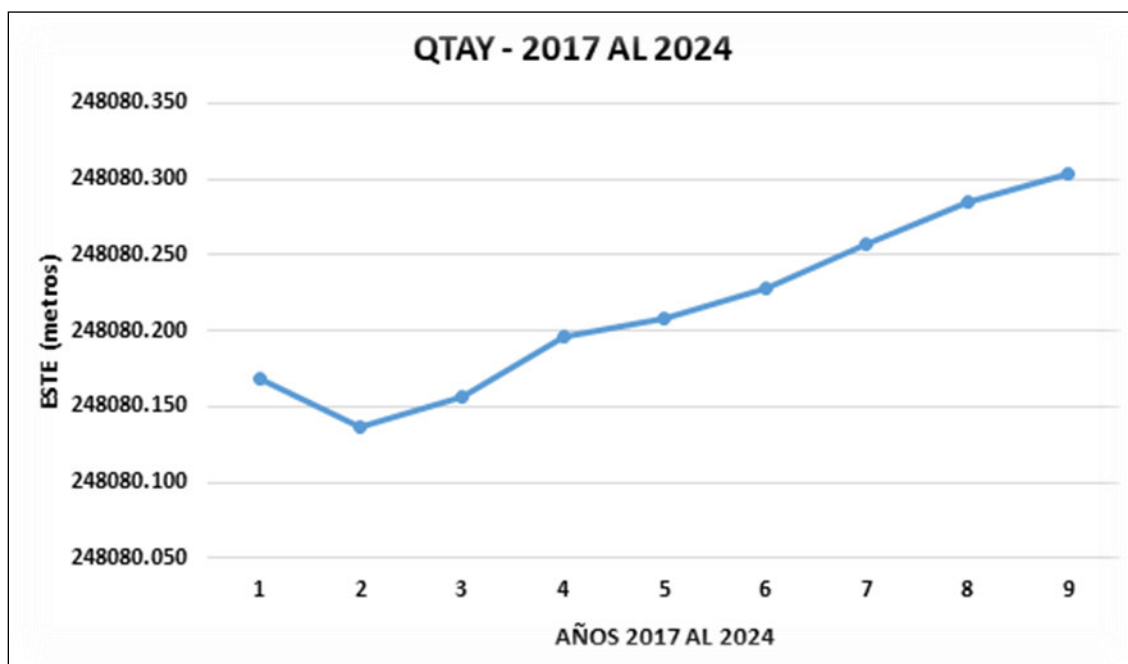


Nota. Considerando coordenadas GRS80, ITRF2020, obtenidas a partir de las soluciones diarias para la estación QTAY del 01.01.2017 y 31.12.2024, se calcularon Distancia geodésica, obteniéndose $D = 0.231$ m. (23.1 cm.), Azimut directo $37^{\circ} 14' 54.15''$.

Considerando solución del día 01.01.2017 y la solución del día 31.12.2024, se visualiza en la componente **Este** variación aproximada de 13.5 cm.

Figura 70

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Este para Estación QTAY, desde el año 2017 al 2024.

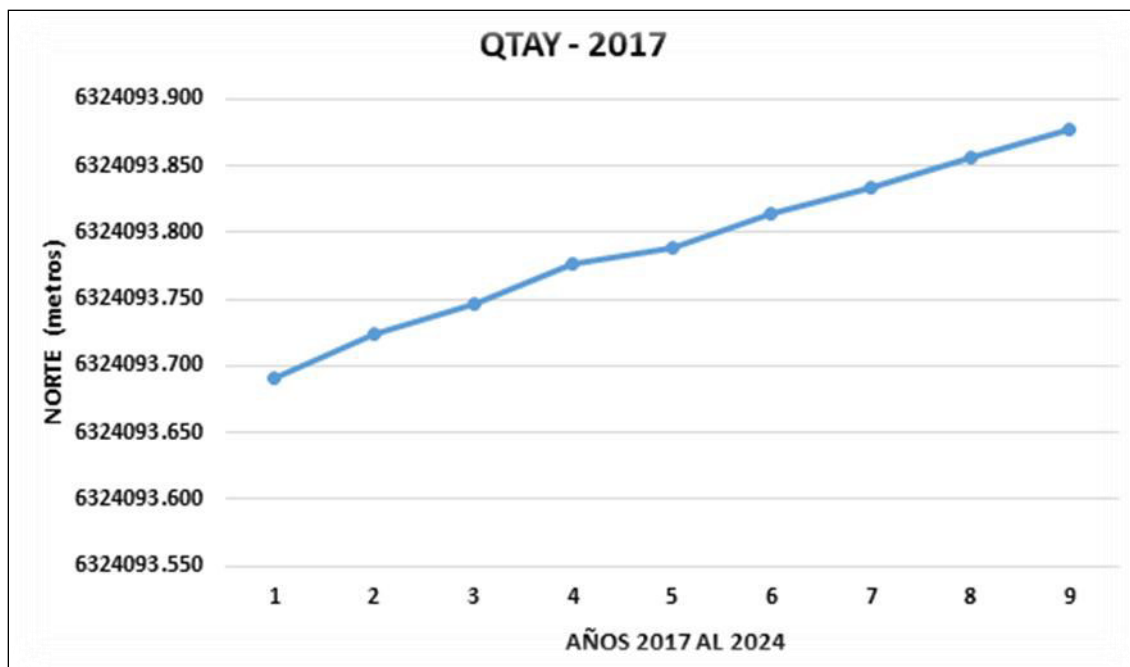


Nota. En la componente de la **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 2017 al 2024, donde los números representan a los días: 1 al 01.01.2017; 2 al 01.01.2018; 3 al 01.01.2019; 4 al 06.06.2020; 5 al 01.01.2021; 6 al 01.01.2022; 7 al 01.01.2023; 8 al 01.01.2024; 9 al 31.12.2024. La componente **ordenada**, indica valores de la componente **Este**, proyección UTM, zona 19, obtenida de coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Considerando solución del día 01.01.2017 y la solución del día 31.12.2024, se visualiza en la componente **Norte** variación aproximada de **18.7 cm**.

Figura 71

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Norte para Estación QTAY, desde el año 2017 al 2024.



Nota. En la componente de la **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 2017 al 2024, donde los números representan a los días: 1 al 01.01.2017; 2 al 01.01.2018; 3 al 01.01.2019; 4 al 06.06.2020; 5 al 01.01.2021; 6 al 01.01.2022; 7 al 01.01.2023; 8 al 01.01.2024; 9 al 31.12.2024. La componente **ordenada**, indica valores de la componente **Norte**, proyección UTM, zona 19, obtenida de coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Variaciones coordenadas geodésicas, desplazamientos QTAY del 01.01.2017, y 31.12.2024.

Tomando como referencia componente coordenadas geodésicas obtenidas 01.01.2017 y 31.12.2024, para la estación QTAY, se obtiene:

Día 01.01.2017: $-33^{\circ} 11' 33.80378''$, $-71^{\circ} 42' 08.07807''$

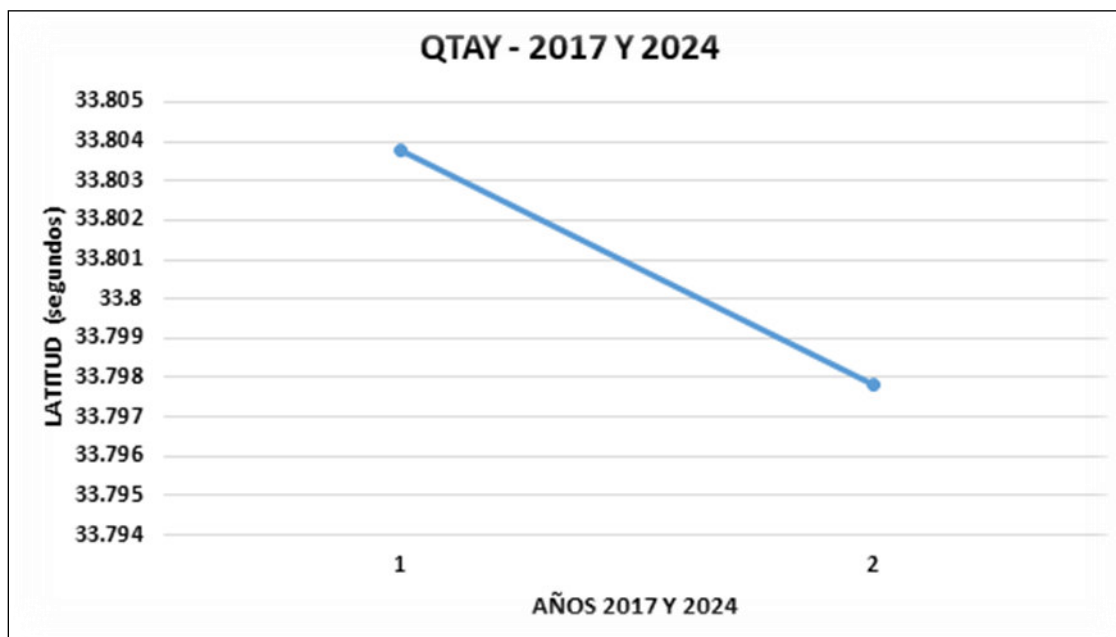
Día 31.12.2024: $-33^{\circ} 11' 33.79782''$, $-71^{\circ} 42' 08.07268''$

Componente Latitud

Varia $0.00596''$

Figura 72

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Latitud para Estación QTAY, días 01.01.2017 y 31.12.2024.



Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones donde se representa: **1** al día **01.01.2017**; **2** al día **31.12.2024**. La componente **ordenada**, indica valores parte de la componente **Latitud (segundos)**, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020; para

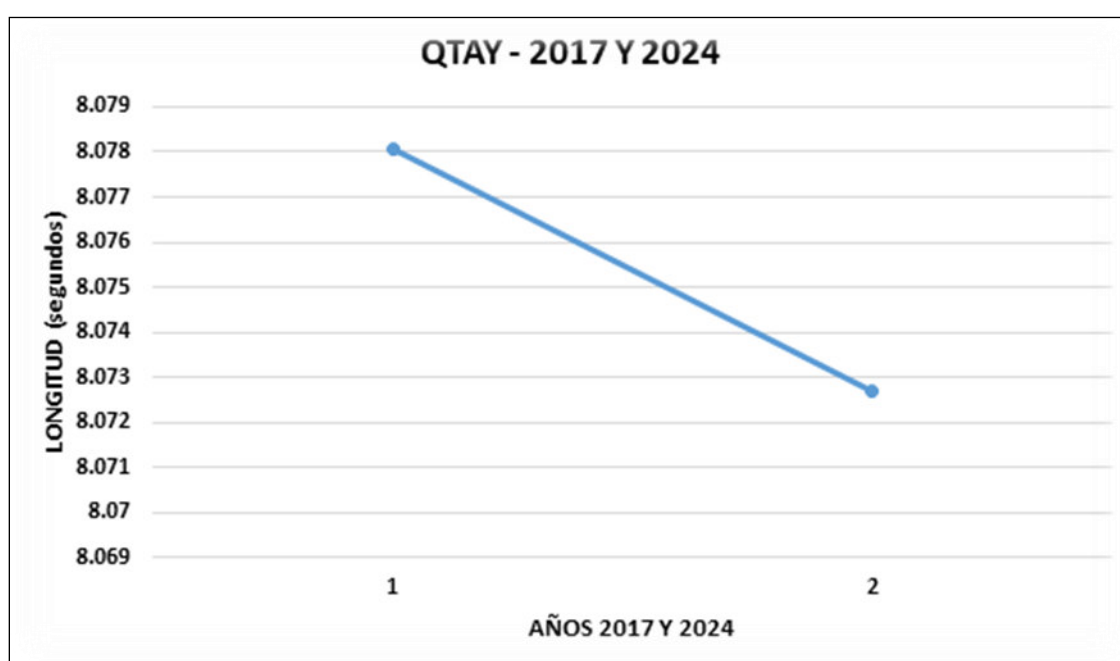
lectura completa, a todos los valores numéricos en segundos, anteponer valor en grados y minutos siguiente: $-33^{\circ} 11'$ (ejemplo: $-33^{\circ} 11' 33.797''$).

Componente Longitud

Varia 0.00539"

Figura 73

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Longitud para Estación QTAY, días 01.01.2017 y 31.12.2024.



Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones donde se representa: **1** al día **01.01.2017**; **2** al día **31.12.2024**. La componente **ordenada**, indica valores parte de la componente **Longitud (segundos)**, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020; para lectura completa, a todos los valores numéricos en segundos, anteponer valor en grados y minutos siguiente: $-71^{\circ} 42'$ (ejemplo: $-71^{\circ} 42' 08.072''$).

Distancia elipsoidal

Obtenida entre las soluciones: días 01.01.2017 y 31.12.2024.

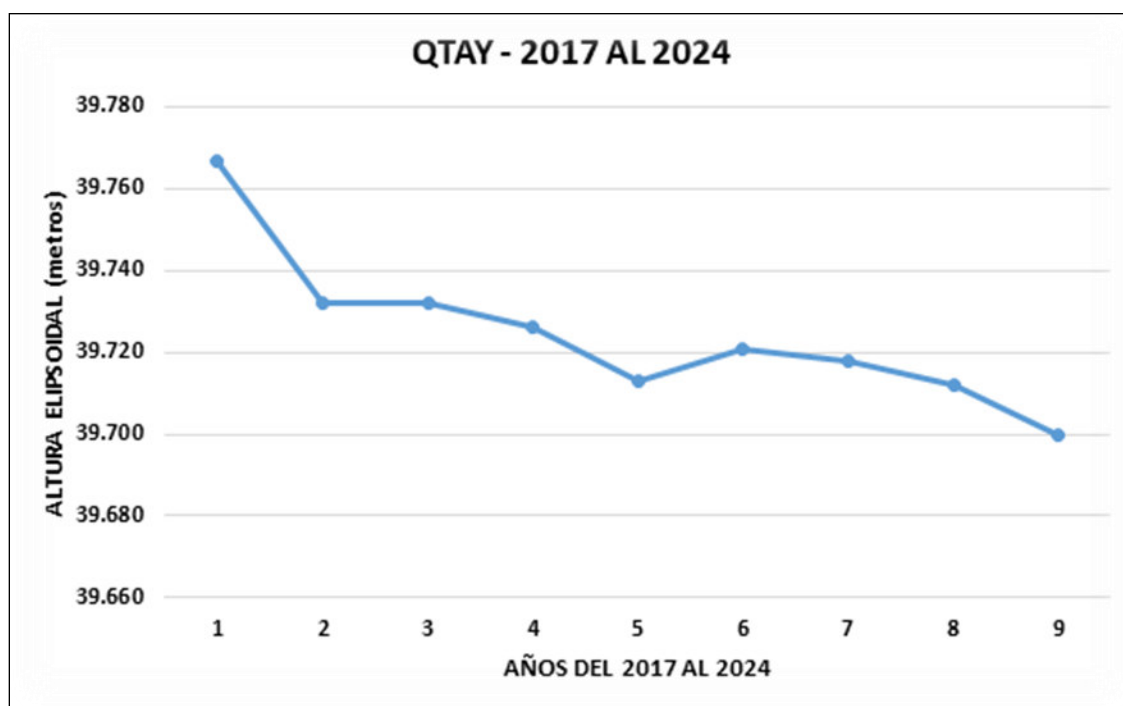
D= 0.231 m., Azimut directo: 37° 14' 54.15"

En la **componente vertical**, representado por la **Altura Elipsoidal**, se visualiza muy ligera variación de deformación hundimiento de 6.7 cm. entre la solución del día 01.01.2017 y 31.12.2024.

Considerando solución del día 01.01.2017 y la solución del día 31.12.2024, se visualiza en la componente **Altura Elipsoidal**, hundimiento en la estación QTAY de aproximada de **6.7 cm.** en periodo citado.

Figura 74

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente vertical Altura Elipsoidal para Estación QTAY, desde el año 2017 al 2024.



Nota. En la componente de la **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 2017 al 2024, donde los números representan a los días: 1 al 01.01.2017; 2 al 01.01.2018; 3 al 01.01.2019; 4 al 06.06.2020; 5 al 01.01.2021; 6 al 01.01.2022; 7 al 01.01.2023; 8 al 01.01.2024; 9 al 31.12.2024.

La componente *ordenada*, indica valores de la componente **Altura Elipsoidal**, obtenida de coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

B. Desplazamientos temporales en estación TRPD.

La estación TRPD, se ubica aproximadamente a 42 km. del epicentro sismo del 24.04.2017.

Tomando como referencia datos coordenadas del epicentro proporcionado por CSN (2025b) y coordenadas geodésicas de la estación TRPD (solución día 25.04.2017), se obtiene:

Distancia elipsoidal (D) del epicentro (Sismo 19.07.2024) a la estación TRPD (solución día 25.04.2017):

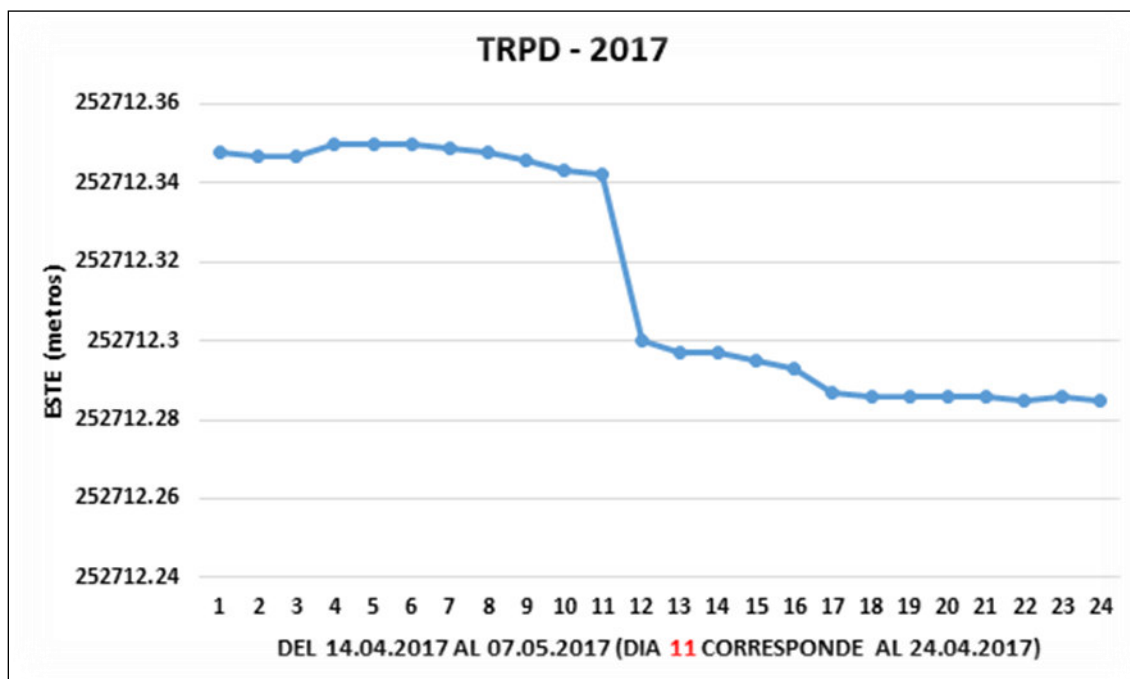
D= 41,996.124 m., Azimut directo: 79° 54' 1.00"

Se tomó como referencia observaciones de días previos y siguientes al sismo del 24.04.2017. Se sometieron al procesamiento, obteniéndose soluciones diarias coordenadas elipsoide GRS80, ITRF2020, incluyen las alturas elipsoidales. Las coordenadas geodésicas obtenidas, para fines de visualización, se utilizaron proyección UTM, zona 19, presentándose para una mejor visualización componentes Este, Norte.

Considerando día previo y siguiente al sismo del 24.04.2017, se visualiza en la componente **Este** variación aproximada de 4.3 cm.

Figura 75

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Este para Estación TRPD, anterior y siguiente al sismo ocurrido 24.04.2017.

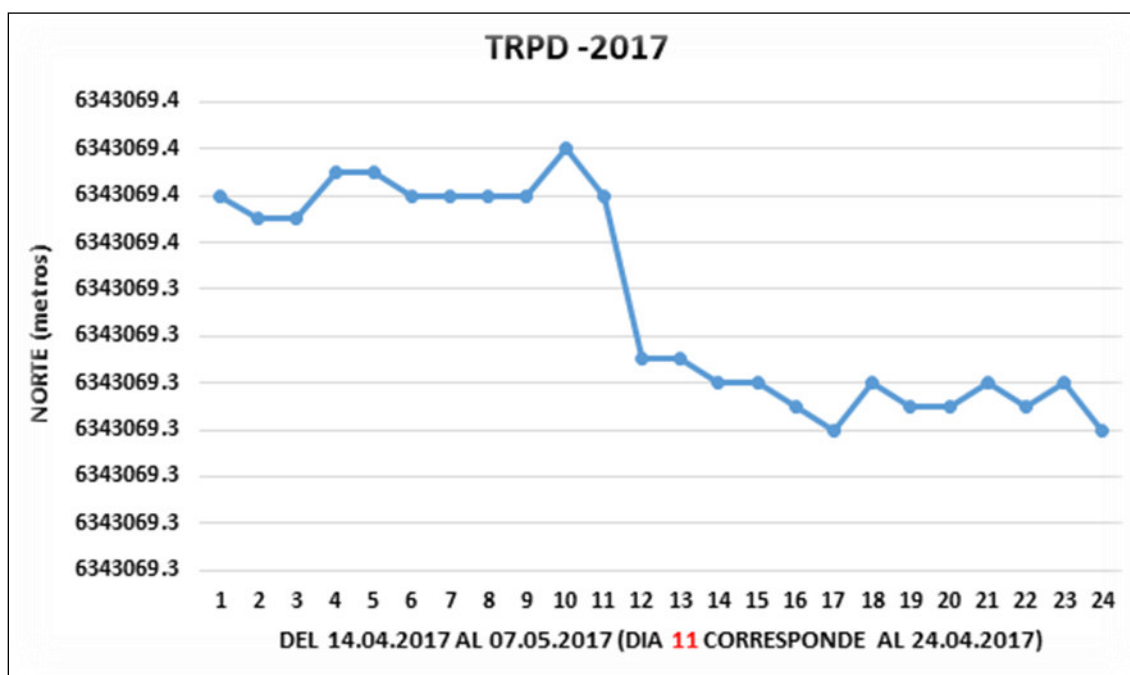


Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 14.04.2017 al 07.05.2017, donde los números representan a los días: 1 al 14.04.2017; 2 al 15.04.2017; 3 al 16.04.2017; 4 al 17.04.2017; 5 al 18.04.2017; 6 al 19.04.2017; 7 al 20.04.2017; 8 al 21.04.2017; 9 al 22.04.2017; 10 al 23.04.2017; 11 al 24.04.2017; 12 al 25.04.2017; 13 al 26.04.2017; 14 al 27.04.2017; 15 al 28.04.2017; 16 al 29.04.2017; 17 al 30.04.2017; 18 al 01.05.2017; 19 al 02.05.2017; 20 al 03.05.2017; 21 al 04.05.2017; 22 al 05.05.2017; 23 al 06.05.2017; 24 al 07.05.2017. La componente **ordenada**, indica valores de la componente **Este**, proyección UTM, zona 19, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Considerando día previo y siguiente al sismo del 24.04.2017, se visualiza en la componente **Norte** variación 0.9 cm, se visualiza:

Figura 76

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Norte para Estación TRPD, anterior y siguiente al sismo ocurrido 24.04.2017.



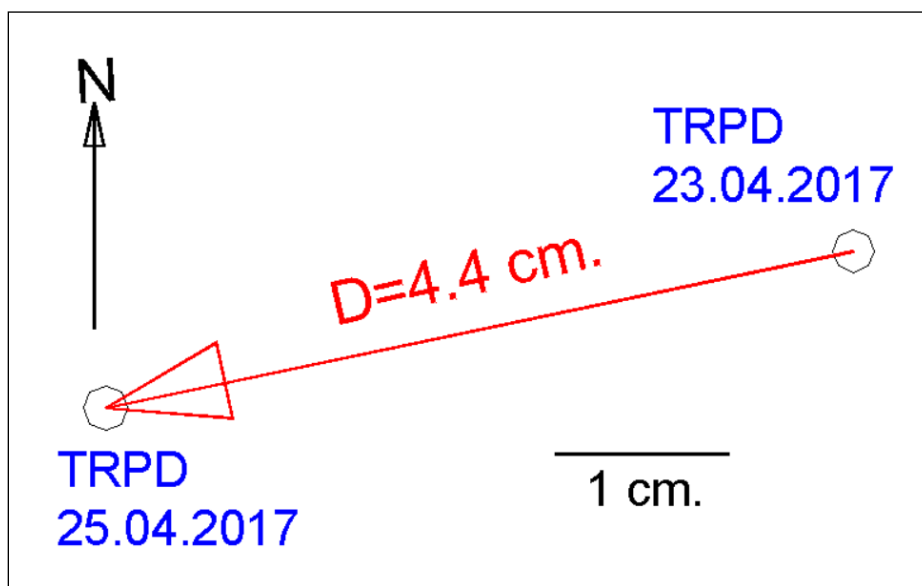
Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 14.04.2017 al 07.05.2017, donde los números representan a los días: 1 al 14.04.2017; 2 al 15.04.2017; 3 al 16.04.2017; 4 al 17.04.2017; 5 al 18.04.2017; 6 al 19.04.2017; 7 al 20.04.2017; 8 al 21.04.2017; 9 al 22.04.2017; 10 al 23.04.2017; 11 al 24.04.2017; 12 al 25.04.2017; 13 al 26.04.2017; 14 al 27.04.2017; 15 al 28.04.2017; 16 al 29.04.2017; 17 al 30.04.2017; 18 al 01.05.2017; 19 al 02.05.2017; 20 al 03.05.2017; 21 al 04.05.2017; 22 al 05.05.2017; 23 al 06.05.2017; 24 al 07.05.2017. La componente **ordenada**, indica valores de la componente Norte, proyección UTM, zona 19, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Desplazamientos temporales horizontales en la estación TRPD días anterior y siguiente al sismo 24.04.2017.

Se observa que el desplazamiento horizontal tomando como referencia días previo y posterior al sismo, ha sido mínimo **4.4 cm.**, en dirección Nor Este.

Figura 77

Representa al vector desplazamiento horizontal, calculado a partir de ubicaciones temporales obtenidas de las soluciones diarias para estación TRPD día anterior (23.04.2017) y siguiente (25.04.2017) al sismo ocurrido el 24.04.2017.



Nota. Componentes horizontales Este (*abscisa*) y Norte (*ordenada*), proyección UTM, zona 19, obtenida de coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Variaciones coordenadas geodésicas, desplazamientos

Tomando como referencia componente coordenadas geodésicas obtenidas días previo y siguiente al sismo del 19.07.2024, para la estación TRPD, se obtiene:

Día 23/04/2017: -33° 01' 22.11880", -71° 38' 50.88030"

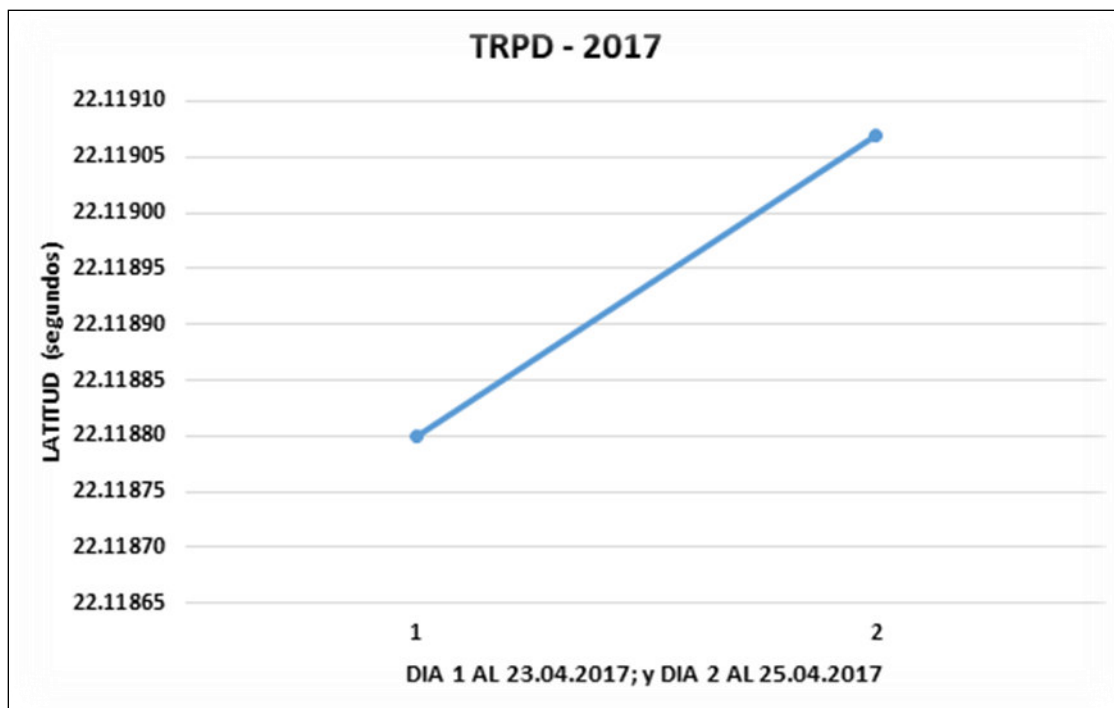
Día 25/04/2017: -33° 01' 22.11907", -71° 38' 50.88197"

Componente Latitud

Varia 0.00027"

Figura 78

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Latitud para Estación TRPD, anterior (23.04.2017) y siguiente (25.04.2017) al sismo ocurrido 24.04.2017.



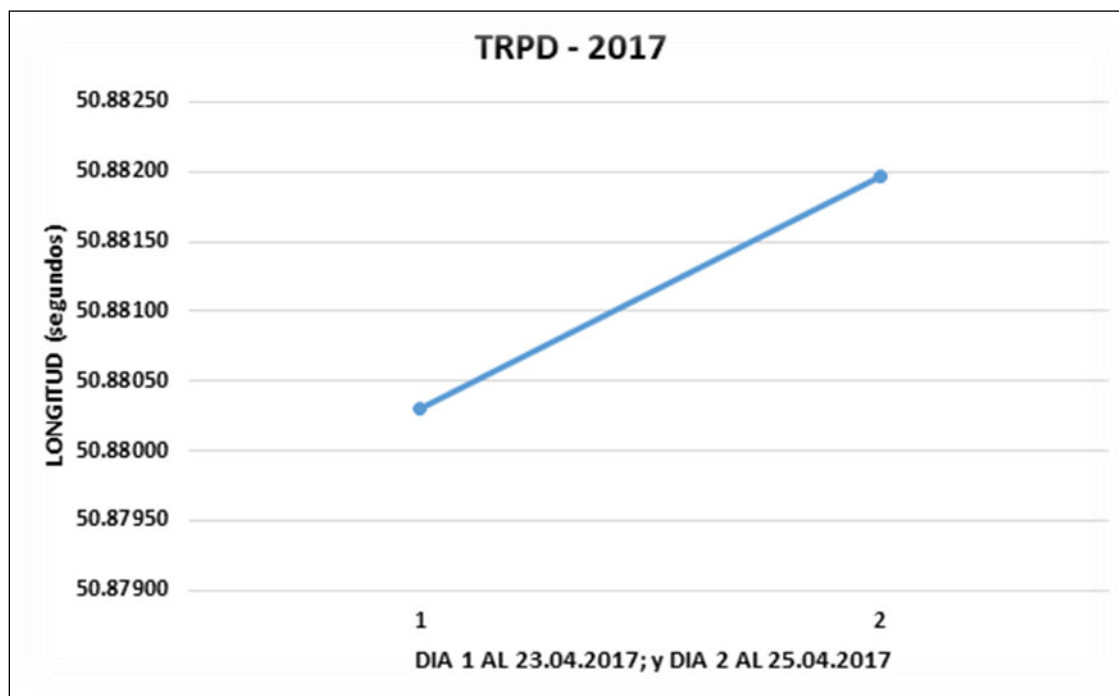
Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones donde se representa: **1** al día **23.04.2017**; **2** al día **25.04.2017**. La componente **ordenada**, indica valores parte de la componente **Latitud (segundos)**, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020; para lectura completa, a todos los valores numéricos en segundos, anteponer valor en grados y minutos siguiente: -33° 01' (ejemplo: -33° 01' 22.11880").

Componente Longitud

Varia 0.00167"

Figura 79

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Longitud para Estación TRPD, anterior (23.04.2017) y siguiente (25.04.2017) al sismo ocurrido 24.04.2017.



Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones donde se representa: **1** al día **23.04.2017**; **2** al día **25.04.2017**. La componente **ordenada**, indica valores parte de la componente **Longitud (segundos)**, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020; para lectura completa, a todos los valores numéricos en segundos, anteponer valor en grados y minutos siguiente: -71° 38' (ejemplo: -71° 38' 50.88050").

Distancia elipsoidal

Obtenida de la solución día 23.04.2017 y 25.04.2017.

D = 0.044 m. Azimut directo 259° 8' 9.64"

Componente Altura Elipsoidal

Día 23.04.2017: 61.761 m.

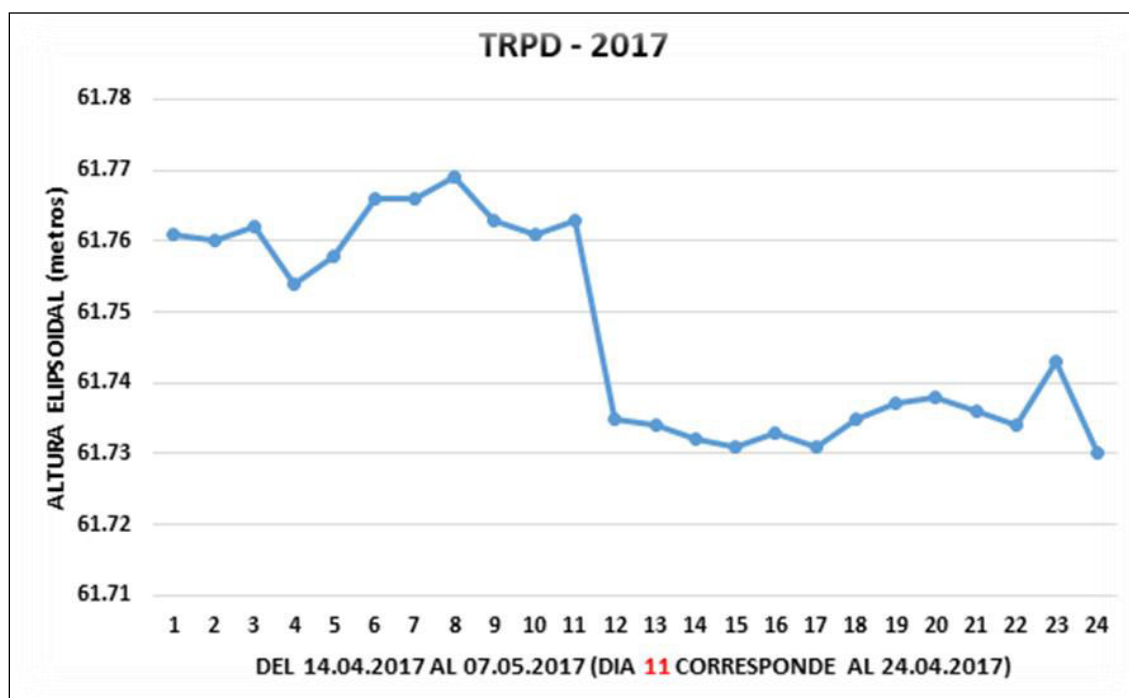
Día 25.04.2017: 61.735 m.

Varía 0.026 m.

Considerando días anterior y siguiente al sismo del 24.04.2017, en la estación TRPD se visualiza en la componente **Altura Elipsoidal** muy ligera deformación **hundimiento vertical** variación de **2.6 cm**.

Figura 80

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente vertical Altura Elipsoidal para Estación TRPD, anterior y siguiente al sismo ocurrido 24.04.2017.



Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 14.04.2017 al 07.05.2017, donde los números representan a los días: **1** al **14.04.2017**; **2** al **15.04.2017**; **3** al **16.04.2017**; **4** al **17.04.2017**; **5** al **18.04.2017**; **6** al **19.04.2017**; **7** al **20.04.2017**; **8** al **21.04.2017**; **9** al **22.04.2017**; **10** al **23.04.2017**; **11** al **24.04.2017**; **12** al **25.04.2017**; **13** al **26.04.2017**; **14** al **27.04.2017**; **15** al **28.04.2017**; **16** al **29.04.2017**; **17** al **30.04.2017**; **18** al **01.05.2017**; **19** al

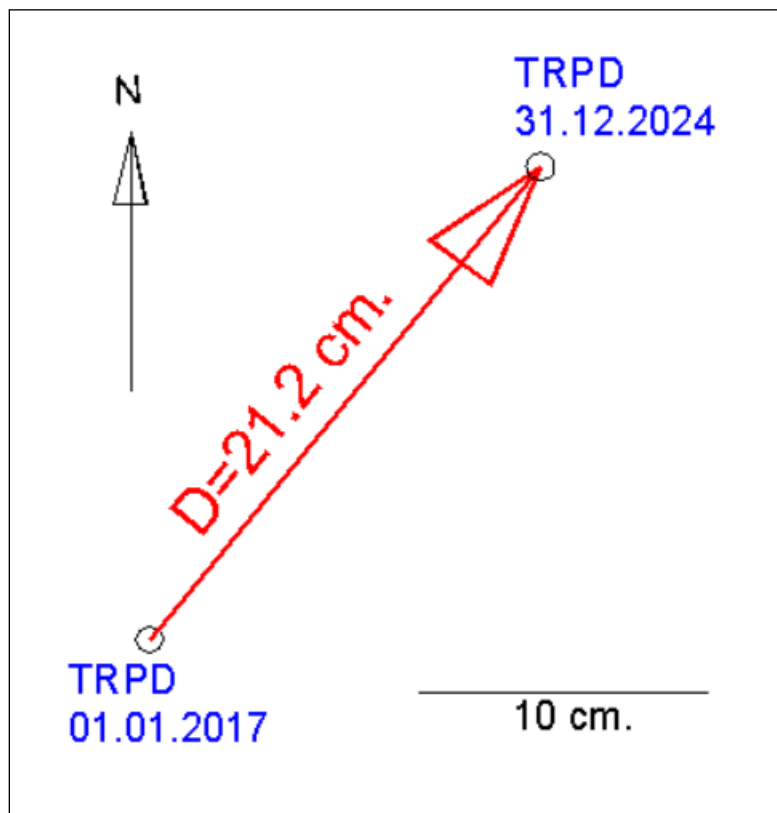
02.05.2017; 20 al 03..05.2017; 21 al 04.05.2017; 22 al 05.05.2017; 23 al 06.05.2017; 24 al 07.05.2017. La componente *ordenada*, indica valores de la Altura Elipsoidal de coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Desplazamientos temporales en estación TRPD, en los últimos 8 años.

De las soluciones históricas diarias obtenidas en el actual estudio, se han comparado ubicaciones de la estación TRPD para el día 01.01.2017 con la obtenida para el día 31.12.2024, visualizándose desplazamientos horizontales en dirección Nor Este, de aproximadamente 21.2 cm.; aproximadamente en promedio 2.6 cm./año., aproximadamente en promedio 0.2 cm./mes.

Figura 81

Representa al vector desplazamiento horizontal, calculado a partir de ubicaciones temporales obtenidas de las soluciones diarias para estación TRPD días 01.01.2017 y 31.12.2024.



Nota. Considerando coordenadas geodésicas GRS80, ITRF2020, obtenidas a partir de las soluciones diarias para la estación TRPD del 01.01.2017 y 31.12.2024, se calcularon Distancias geodésicas, obteniéndose $D = 0.212 \text{ m. (21.2 cm.)}$, Azimut directo $40^\circ 9' 55.43''$.

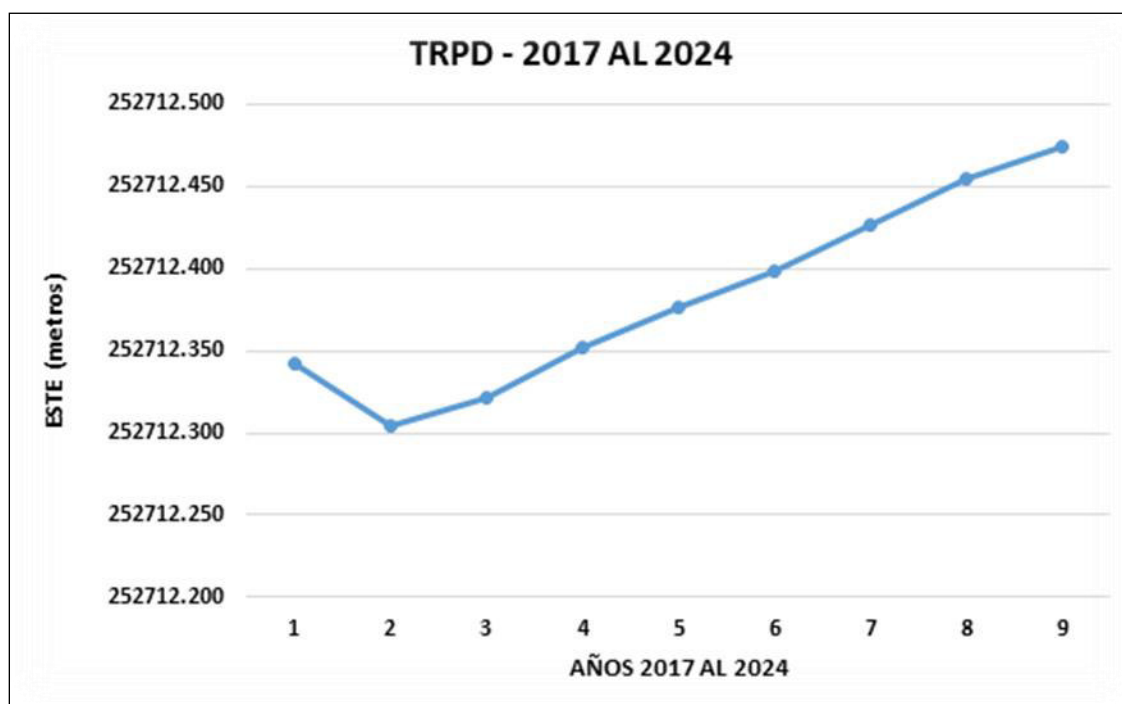
Días 01.01.2017: $-33^\circ 01' 22.11912''$, $-71^\circ 38' 50.88037''$

Días 31.12.2024: $-33^\circ 01' 22.11387''$, $-71^\circ 38' 50.87511''$

Comparando la solución del 01.01.2017 y del 31.12.2024, en la componente **Este** se visualiza variación de **13.2 cm.**

Figura 82

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Este para Estación TRPD, desde el año 2017 al 2024.



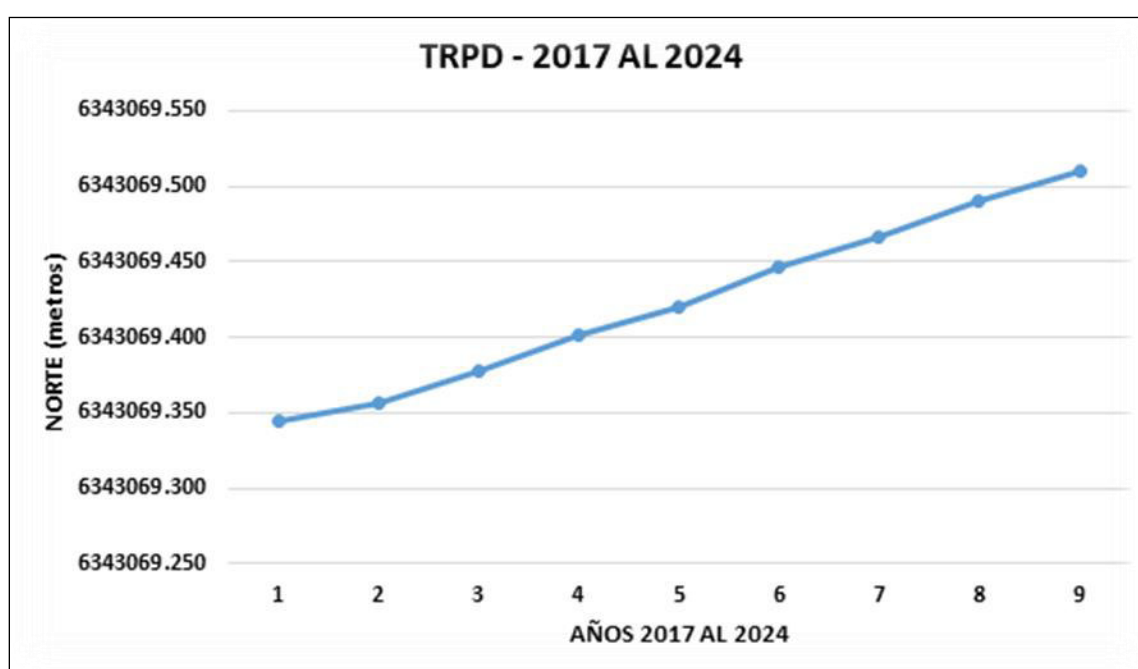
Nota. En la componente de la **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 2017 al 2024, donde los números representan a los días: **1** al **01.01.2017**; **2** al **01.01.2018**; **3** al **01.01.2019**; **4** al **01.01.2020**; **5** al **01.01.2021**; **6** al **01.01.2022**; **7** al **01.01.2023**; **8** al **01.01.2024**; **9** al **31.12.2024**.

La componente *ordenada*, indica valores de la componente **Este**, proyección UTM, zona 19, obtenida de coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Comparando solución del 01.01.2017 con la del 31.12.2024, en componente **Norte** se visualiza variación de 16.5 cm.

Figura 83

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Norte para Estación TRPD, desde el año 2017 al 2024.



Nota. En la componente de la *abscisa*, se representan fechas soluciones diarias del 2017 al 2024, donde los números representan a los días: 1 al **01.01.2017**; 2 al **01.01.2018**; 3 al **01.01.2019**; 4 al **01.01.2020**; 5 al **01.01.2021**; 6 al **01.01.2022**; 7 al **01.01.2023**; 8 al **01.01.2024**; 9 al **31.12.2024**.

La componente *ordenada*, indica valores de la componente **Norte**, proyección UTM, zona 19, obtenida de coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Variaciones coordenadas geodésicas, desplazamientos TRPD del 01.01.2017, y 31.12.2024.

Tomando como referencia componente coordenadas geodésicas obtenidas 01.01.2017 y 31.12.2024, para la estación TRPD, se obtiene:

Día 01.01.2017: $-33^{\circ} 01' 22.11912''$, $-71^{\circ} 38' 50.88037''$

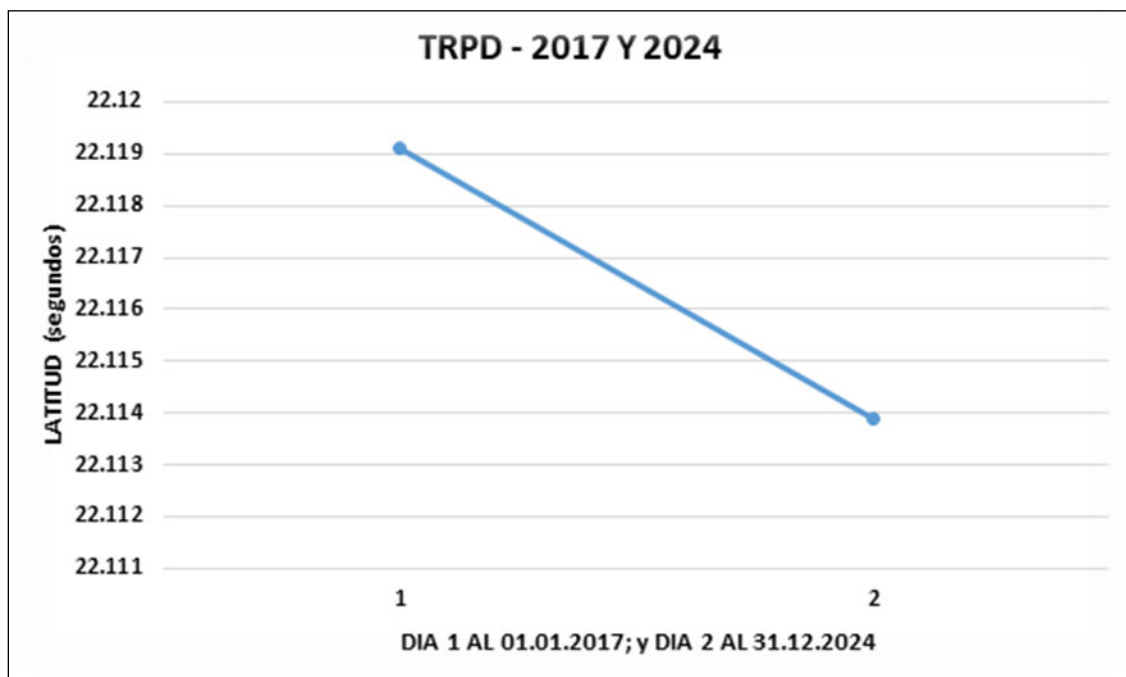
Día 31.12.2024: $-33^{\circ} 01' 22.11387''$, $-71^{\circ} 38' 50.87511''$

Componente Latitud

Varia $0.00525''$

Figura 84

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Latitud para Estación TRPD, días 01.01.2017 y 31.12.2024.



Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones donde se representa: **1** al día **01.01.2017**; **2** al día **31.12.2024**. La componente **ordenada**, indica valores parte de la componente **Latitud (segundos)**, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020; para

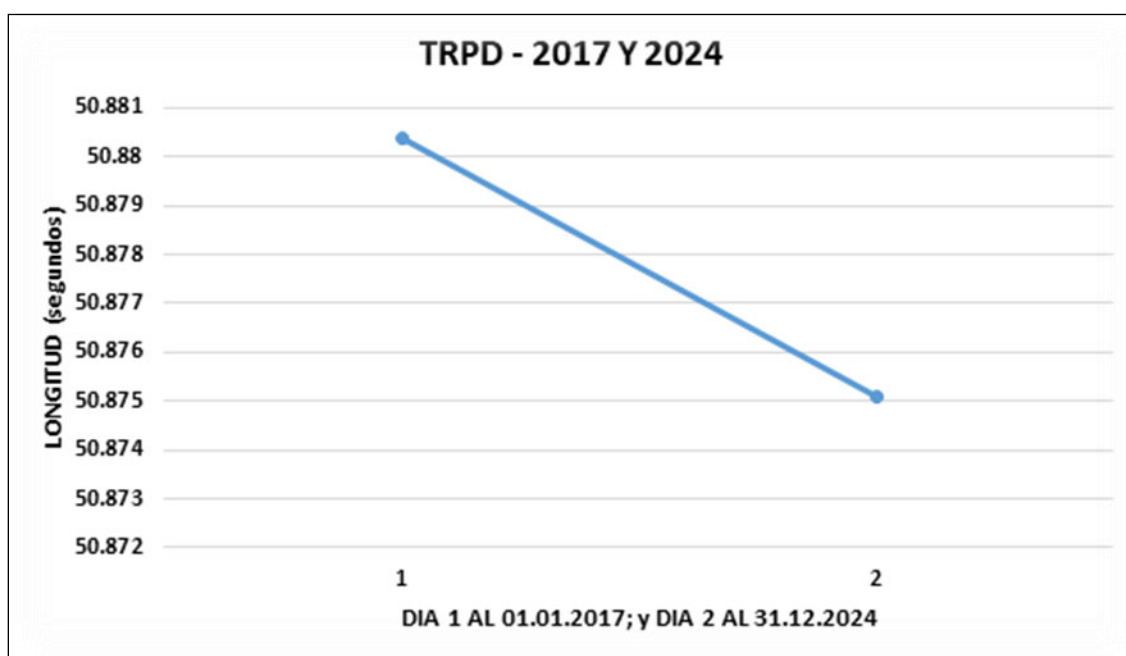
lectura completa, a todos los valores numéricos en segundos, anteponer valor en grados y minutos siguiente: $-33^{\circ} 01'$ (ejemplo: $-33^{\circ} 01' 22.114''$).

Componente Longitud

Varia 0.00526"

Figura 85

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Longitud para Estación TRPD, días 01.01.2017 y 31.12.2024.



Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones donde se representa: **1** al día **01.01.2017**; **2** al día **31.12.2024**. La componente **ordenada**, indica valores parte de la componente **Longitud (segundos)**, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020; para lectura completa, a todos los valores numéricos en segundos, anteponer valor en grados y minutos siguiente: $-71^{\circ} 38'$ (ejemplo: $-71^{\circ} 38' 50.875''$).

Distancia elipsoidal

Obtenida entre las soluciones: días 01.01.2017 y 31.12.2024.

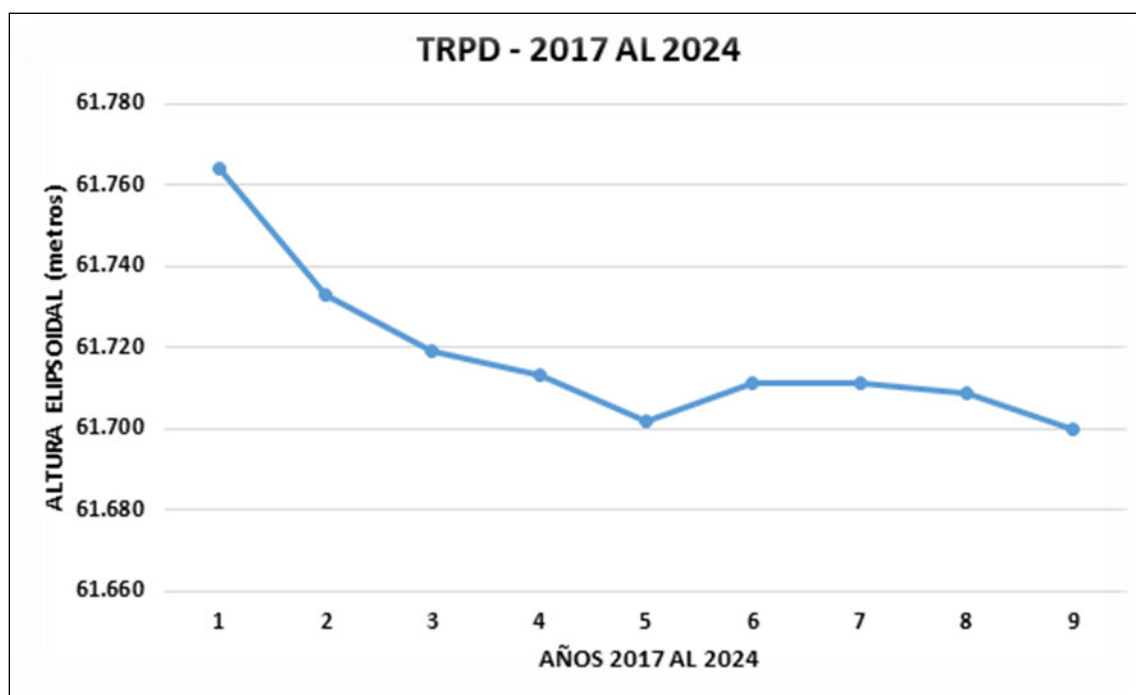
$D = 0.212$ m., Azimut directo = $40^{\circ} 9' 55.43''$

En la **componente vertical**, representado por la **Altura Elipsoidal**, se visualiza muy ligera variación deformación hundimiento de 6.7 cm. entre la solución del día 01.01.2017 y 31.12.2024.

Comparando la solución del 01.01.2017 y del 31.12.2024, en la componente **Altura Elipsoidal**, se visualiza hundimiento de 6.4 cm.

Figura 86

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente vertical Altura Elipsoidal para Estación TRPD, desde el año 2017 al 2024.



Nota. En la componente de la **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 2017 al 2024, donde los números representan a los días: 1 al 01.01.2017; 2 al 01.01.2018; 3 al 01.01.2019; 4 al 01.01.2020; 5 al 01.01.2021; 6 al 01.01.2022; 7 al 01.01.2023; 8 al 01.01.2024; 9 al 31.12.2024.

La componente *ordenada*, indica valores de la componente **Altura Elipsoidal**, obtenida de coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

C. Desplazamientos temporales en estación ROB1.

La estación ROB1, se ubica aproximadamente a 101 km. del epicentro sismo del 24.04.2017.

Tomando como referencia datos coordenadas del epicentro proporcionado por CSN (2025b) y coordenadas geodésicas de la estación ROB1 (solución día 25.04.2017), se obtiene:

Distancia elipsoidal (D) del epicentro (Sismo 24.04.2017) a la estación ROB1 (solución día 25.04.2017):

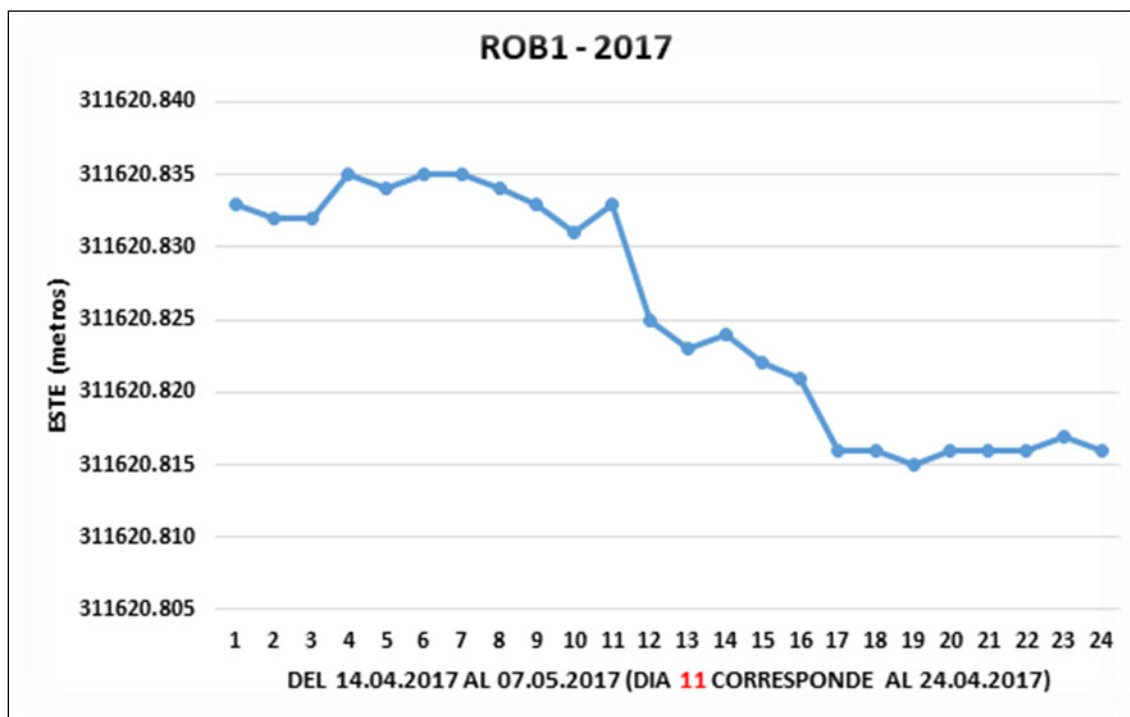
D= 101,141.224 m., Azimut directo: 83° 6' 3.33"

Se tomó como referencia observaciones de días previos y siguientes al sismo del 24.04.2017. Se sometieron al procesamiento, obteniéndose soluciones diarias el elipsoide GRS80, ITRF2020, incluyen las alturas elipsoidales. Las coordenadas geodésicas obtenidas, para fines de visualización, se utilizaron proyección UTM, zona 19, presentándose para una mejor visualización componentes Este, Norte.

Considerando día previo y posterior al sismo del 19.07.2024, se visualiza en la componente **Este** variación aproximada de 0.6 cm. (6 mm.).

Figura 87

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Este para Estación ROB1, anterior y siguiente al sismo ocurrido 24.04.2017.

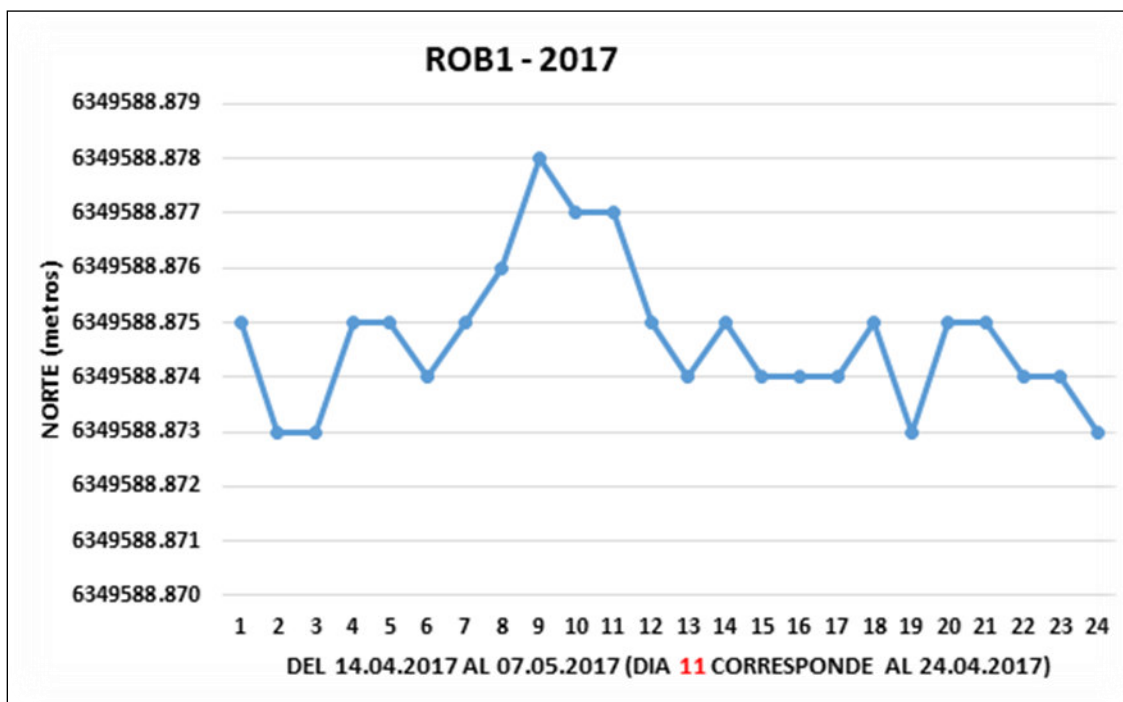


Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 14.04.2017 al 07.05.2017, donde los números representan a los días: 1 al 14.04.2017; 2 al 15.04.2017; 3 al 16.04.2017; 4 al 17.04.2017; 5 al 18.04.2017; 6 al 19.04.2017; 7 al 20.04.2017; 8 al 21.04.2017; 9 al 22.04.2017; 10 al 23.04.2017; 11 al 24.04.2017; 12 al 25.04.2017; 13 al 26.04.2017; 14 al 27.04.2017; 15 al 28.04.2017; 16 al 29.04.2017; 17 al 30.04.2017; 18 al 01.05.2017; 19 al 02.05.2017; 20 al 03.05.2017; 21 al 04.05.2017; 22 al 05.05.2017; 23 al 06.05.2017; 24 al 07.05.2017. La componente **ordenada**, indica valores de la componente **Este**, proyección UTM, zona 19, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Considerando día previo y siguiente al sismo del 24.04.2017, se visualiza en la componente **Norte** variación aproximada de 0.2 cm.

Figura 88

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Norte para Estación ROB1, anterior y siguiente al sismo ocurrido 24.04.2017.



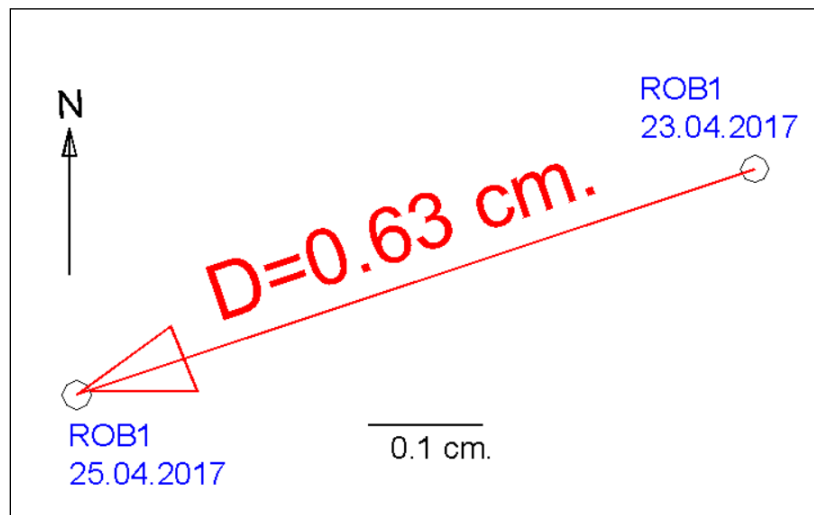
Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 14.04.2017 al 07.05.2017, donde los números representan a los días: **1** al 14.04.2017; **2** al 15.04.2017; **3** al 16.04.2017; **4** al 17.04.2017; **5** al 18.04.2017; **6** al 19.04.2017; **7** al 20.04.2017; **8** al 21.04.2017; **9** al 22.04.2017; **10** al 23.04.2017; **11** al 24.04.2017; **12** al 25.04.2017; **13** al 26.04.2017; **14** al 27.04.2017; **15** al 28.04.2017; **16** al 29.04.2017; **17** al 30.04.2017; **18** al 01.05.2017; **19** al 02.05.2017; **20** al 03.05.2017; **21** al 04.05.2017; **22** al 05.05.2017; **23** al 06.05.2017; **24** al 07.05.2017. La componente **ordenada**, indica valores de la componente **Norte**, proyección UTM, zona 19, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Desplazamientos temporales horizontales en la estación ROB1 días anterior y siguiente al sismo del 24.04.2017.

Se observa que el desplazamiento horizontal tomando como referencia días previo y posterior al sismo, ha sido muy mínimo aproximadamente 0.63 cm., en dirección Nor Este.

Figura 89

Representa al vector desplazamiento horizontal, calculado a partir de ubicaciones temporales obtenidas de las soluciones diarias para estación ROB1 día anterior (23.04.2017) y siguiente (25.04.2017) al sismo ocurrido el 24.04.2017.



Nota. Considerando soluciones finales observaciones día previo (23.04.2017) y posterior (25.04.2017) al sismo ocurrido el 24.04.2017. Componentes horizontales Este (*abscisa*) y Norte (*ordenada*), proyección UTM, zona 19, obtenida de coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Variaciones coordenadas geodésicas, desplazamientos

Tomando como referencia componente coordenadas geodésicas obtenidas días previo y posterior a sismo 24.04.2017, para la estación ROB1, se obtiene:

Día 23.04.2017: -32° 58' 32.97213", -71° 00' 57.04307"

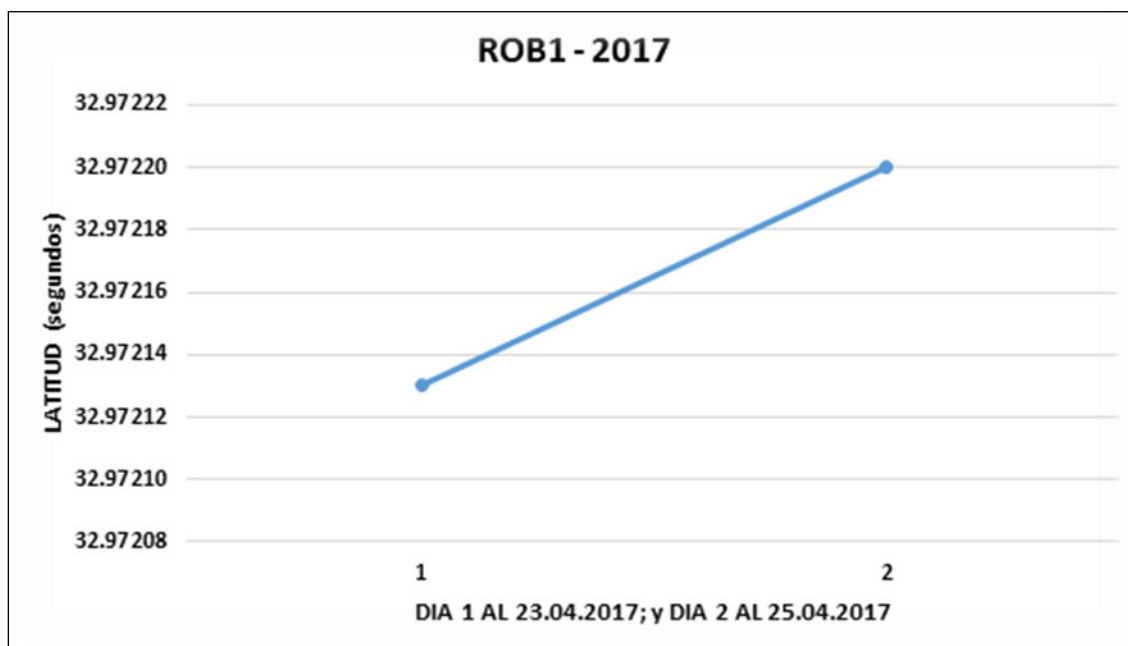
Día 25.04.2017: -32° 58' 32.97220", -71° 00' 57.04330"

Componente Latitud

Varia 0.00007"

Figura 90

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Latitud para Estación ROB1, anterior (23.04.2017) y siguiente (25.04.2017) al sismo ocurrido 24.04.2017.



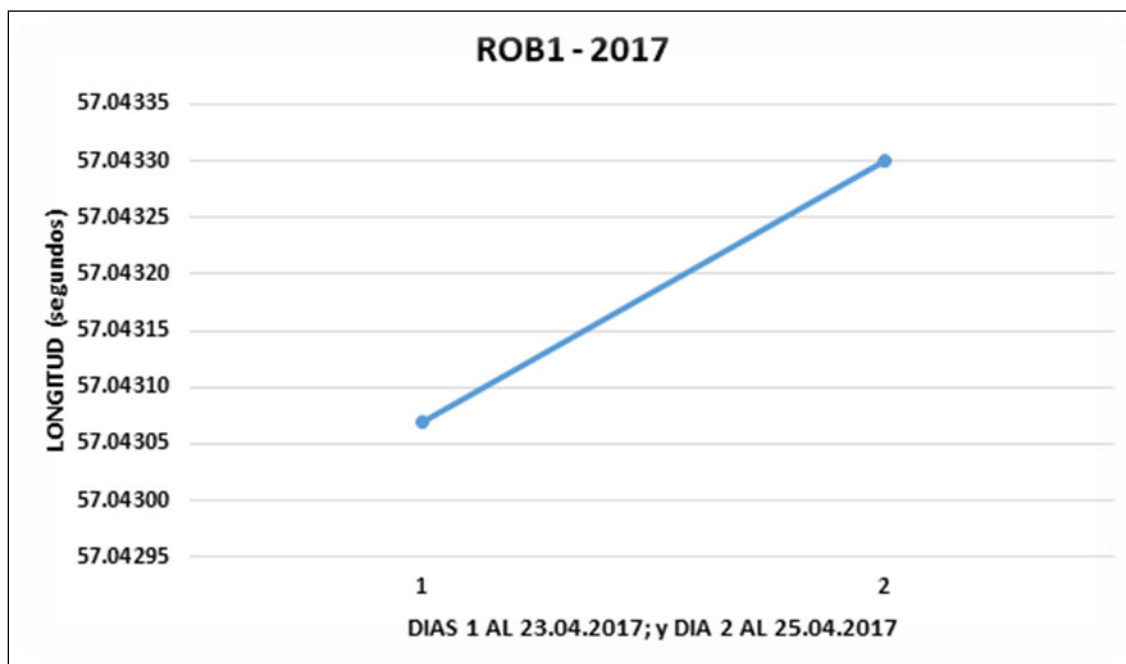
Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones donde se representa: **1** al día **23.04.2017**; **2** al día **25.04.2017**. La componente **ordenada**, indica valores parte de la componente **Latitud (segundos)**, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020; para lectura completa, a todos los valores numéricos en segundos, anteponer valor en grados y minutos siguiente: -32° 58' (ejemplo: -32° 58' 32.97214").

Componente Longitud

Varia 0.00023"

Figura 91

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Longitud para Estación ROB1, anterior (23.04.2017) y siguiente (25.04.2017) al sismo ocurrido 24.04.2017.



Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones donde se representa: **1** al día **23.04.2017**; **2** al día **25.04.2017**. La componente **ordenada**, indica valores parte de la componente **Longitud (segundos)**, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020; para lectura completa, a todos los valores numéricos en segundos, anteponer valor en grados y minutos siguiente: -71° 00' (ejemplo: -71° 00' 57.04305").

Distancia elipsoidal

Obtenida de la solución día 23.04.2017 y 25.04.2017.

D = 0.006 m., Azimut directo 250° 08' 46.67"

Componente Altura Elipsoidal

Día 23.04.2017: 2,208.687 m.

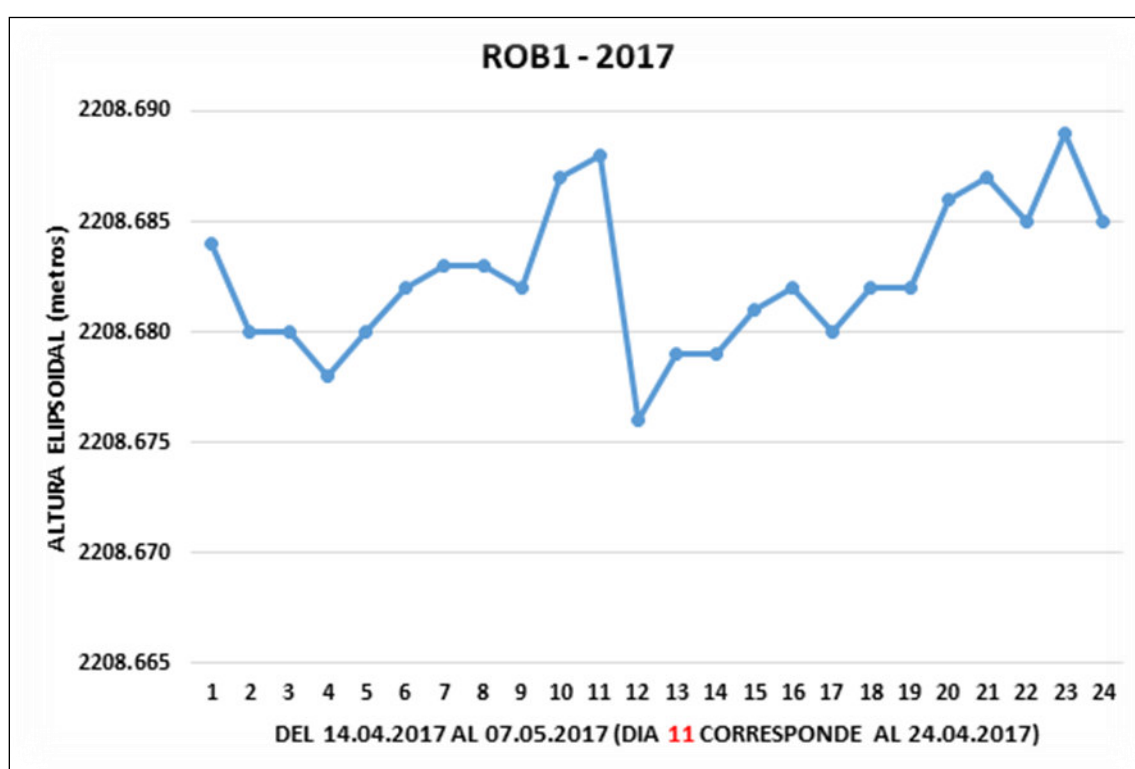
Día 25.04.2017: 2,208.676 m.

Varía **0.011 m.**

Considerando días anterior y siguiente al sismo del 19.07.2024, en la estación ROB1 se visualiza en la componente **Altura Elipsoidal** muy ligera deformación **hundimiento vertical** variación de **1.1 cm.**

Figura 92

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente vertical Altura Elipsoidal para Estación ROB1, anterior y siguiente al sismo ocurrido 24.04.2017.



Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 14.04.2017 al 07.05.2017, donde los números representan a los días: **1** al **14.04.2017**; **2** al **15.04.2017**; **3** al **16.04.2017**; **4** al **17.04.2017**; **5** al **18.04.2017**; **6** al **19.04.2017**; **7** al **20.04.2017**; **8** al **21.04.2017**; **9** al **22.04.2017**; **10** al **23.04.2017**; **11** al **24.04.2017**; **12** al **25.04.2017**; **13** al **26.04.2017**; **14** al **27.04.2017**; **15** al **28.04.2017**; **16** al **29.04.2017**; **17** al **30.04.2017**; **18** al **01.05.2017**; **19** al **02.05.2017**; **20** al **03.05.2017**; **21** al **04.05.2017**; **22** al **05.05.2017**; **23** al **06.05.2017**; **24** al

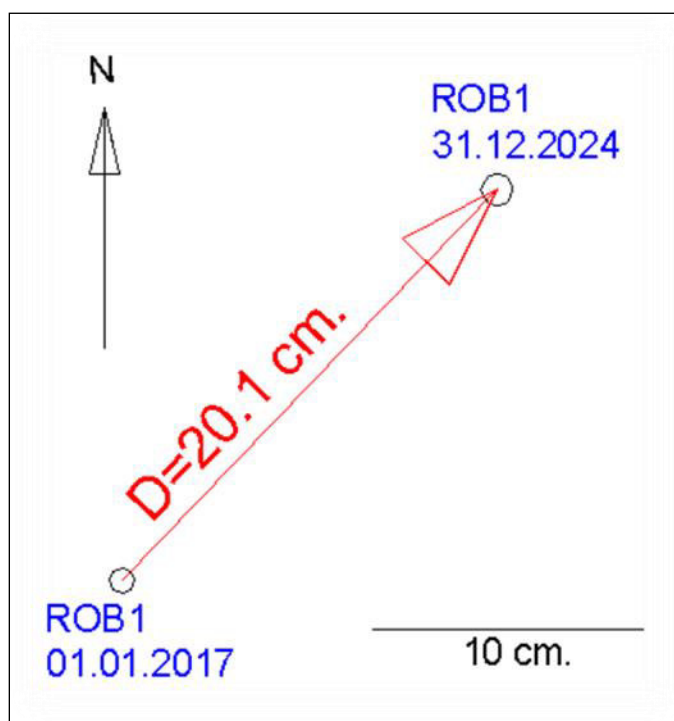
07.05.2017. La componente *ordenada*, indica valores de la Altura Elipsoidal de coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Desplazamientos temporales en estación ROB1, en los últimos 8 años.

De las soluciones históricas diarias obtenidas en el actual estudio, se han comparado ubicaciones de la estación ROB1 para el día 01.01.2017 con la obtenida para el día 31.12.2024, visualizándose desplazamientos horizontales en dirección Nor Este, de aproximadamente 20.1 cm.; aproximadamente en promedio 2.5 cm./año., aproximadamente en promedio 0.2 cm./mes.

Figura 93

Representa al vector desplazamiento horizontal, calculado a partir de ubicaciones temporales obtenidas de las soluciones diarias para estación ROB1 días 01.01.2017 y 31.12.2024.

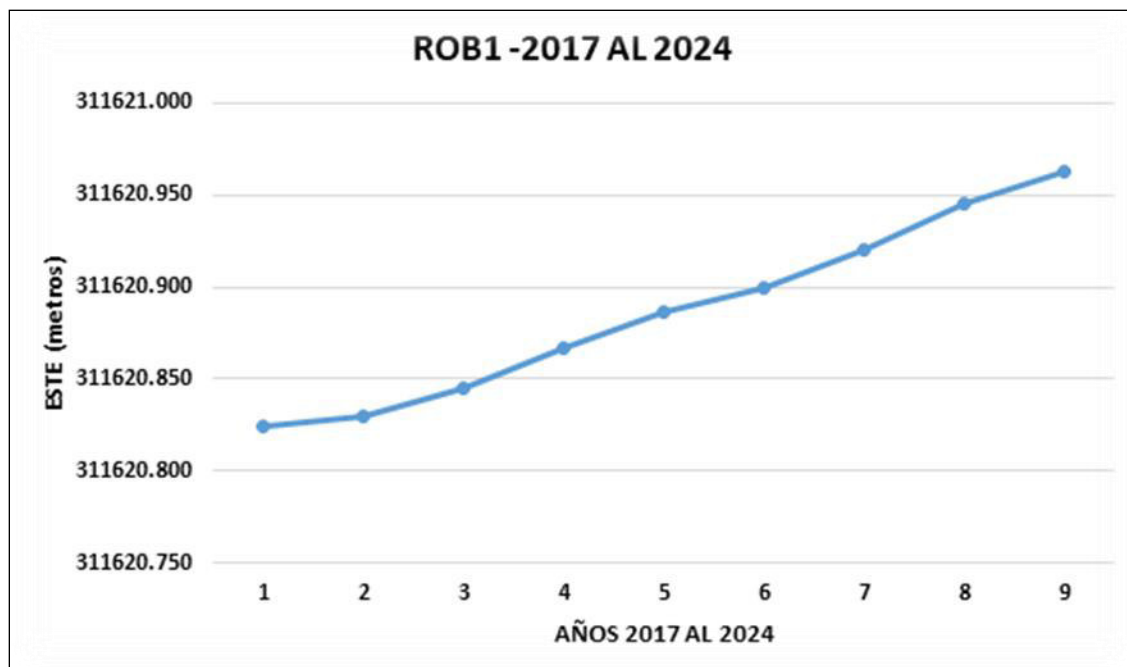


Nota. Considerando coordenadas GRS80, ITRF2020, obtenidas a partir de las soluciones diarias para la estación ROB1 del 01.01.2017 y 31.12.2024, se calcularon Distancias geodésicas, obteniéndose $D = 0.201 \text{ m.}$ (20.1 cm.), Azimut directo $44^\circ 43' 18.65''$.

Considerando solución del día 01.01.2017 y la solución del día 31.12.2024, se visualiza en la componente **Este** variación aproximada de **13.9 cm.**

Figura 94

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Este para Estación ROB1, desde el año 2017 al 2024.

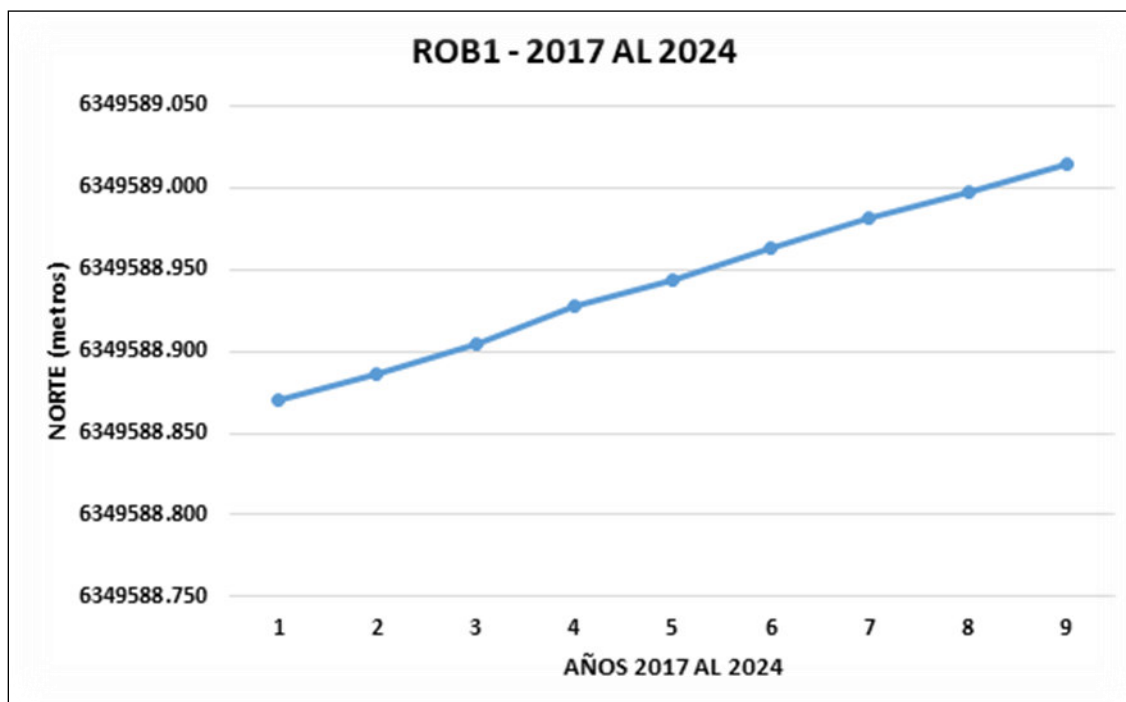


Nota. En la componente de la **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 2017 al 2024, donde los números representan a los días: 1 al **01.01.2017**; 2 al **01.01.2018**; 3 al **01.01.2019**; 4 al **01.01.2020**; 5 al **01.01.2021**; 6 al **01.01.2022**; 7 al **01.01.2023**; 8 al **01.01.2024**; 9 al **31.12.2024**. La componente **ordenada**, indica valores de la componente **Este**, proyección UTM, zona 19, obtenida de coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Considerando solución del día 01.01.2017 y la solución del día 31.12.2024, se visualiza en la componente **Norte** variación de **14.5 cm.**

Figura 95

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Norte para Estación ROB1, desde el año 2017 al 2024.



Nota. En la componente de la **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 2017 al 2024, donde los números representan a los días: **1 al 01.01.2017; 2 al 01.01.2018; 3 al 01.01.2019; 4 al 01.01.2020; 5 al 01.01.2021; 6 al 01.01.2022; 7 al 01.01.2023; 8 al 01.01.2024; 9 al 31.12.2024.** La componente **ordenada**, indica valores de la componente **Norte**, proyección UTM, zona 19, obtenida de coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Variaciones coordenadas geodésicas, desplazamientos ROB1 del 01.01.2017, y 31.12.2024.

Tomando como referencia componente coordenadas geodésicas obtenidas 01.01.2017 y 31.12.2024, para la estación ROB1, se obtiene:

Día 01.01.2017: -32° 58' 32.97237, -71° 00' 57.04335"

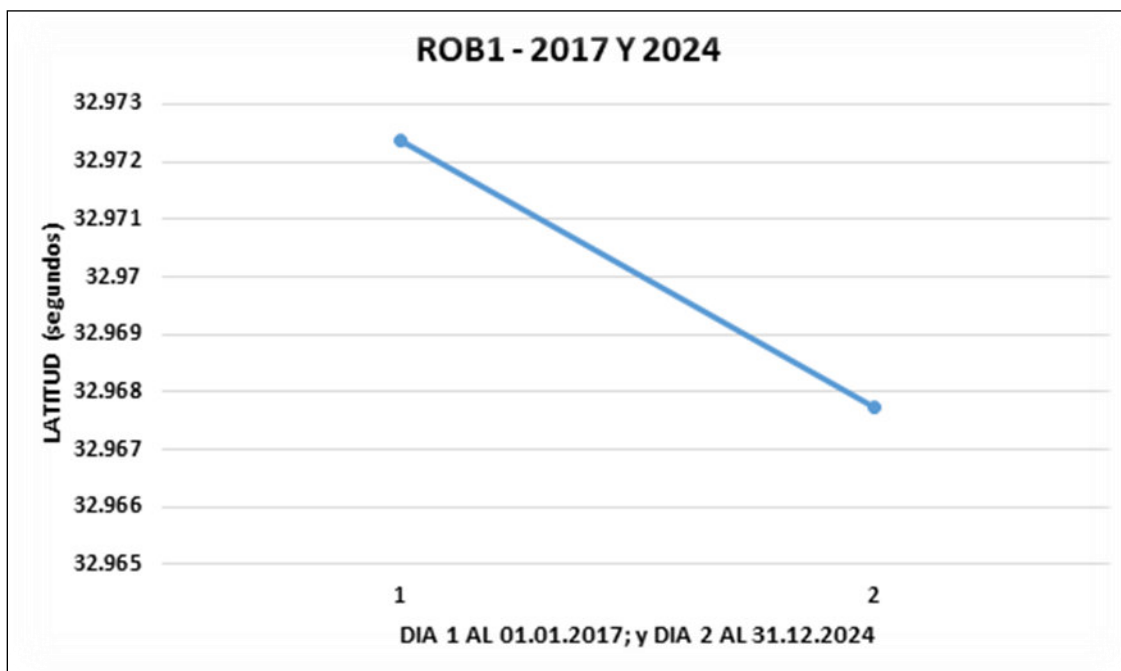
Día 31.12.2024: $-32^{\circ} 58' 32.96774$, $-71^{\circ} 00' 57.03791''$

Componente Latitud

Varia $0.00463''$

Figura 96

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Latitud para Estación ROB1, días 01.01.2017 y 31.12.2024.



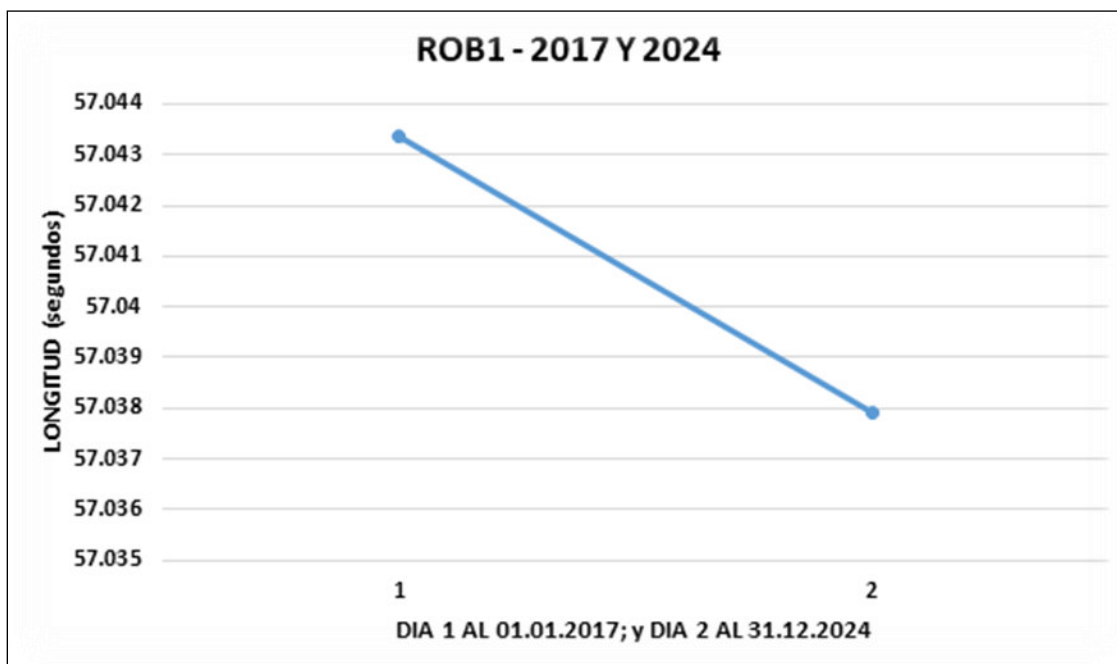
Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones donde se representa: **1** al día **01.01.2017**; **2** al día **31.12.2024**. La componente **ordenada**, indica valores parte de la componente **Latitud (segundos)**, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020; para lectura completa, a todos los valores numéricos en segundos, anteponer valor en grados y minutos siguiente: $-32^{\circ} 58'$ (ejemplo: $-32^{\circ} 58' 32.968''$).

Componente Longitud

Varia $0.00544''$

Figura 97

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Longitud para Estación ROB1, días 01.01.2017 y 31.12.2024.



Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones donde se representa: **1** al día **01.01.2017**; **2** al día **31.12.2024**. La componente **ordenada**, indica valores parte de la componente **Longitud (segundos)**, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020; para lectura completa, a todos los valores numéricos en segundos, anteponer valor en grados y minutos siguiente: -71° 00' (ejemplo: -71° 00' 57.038").

Distancia elipsoidal

Obtenida entre las soluciones: días 01.01.2017 y 31.12.2024.

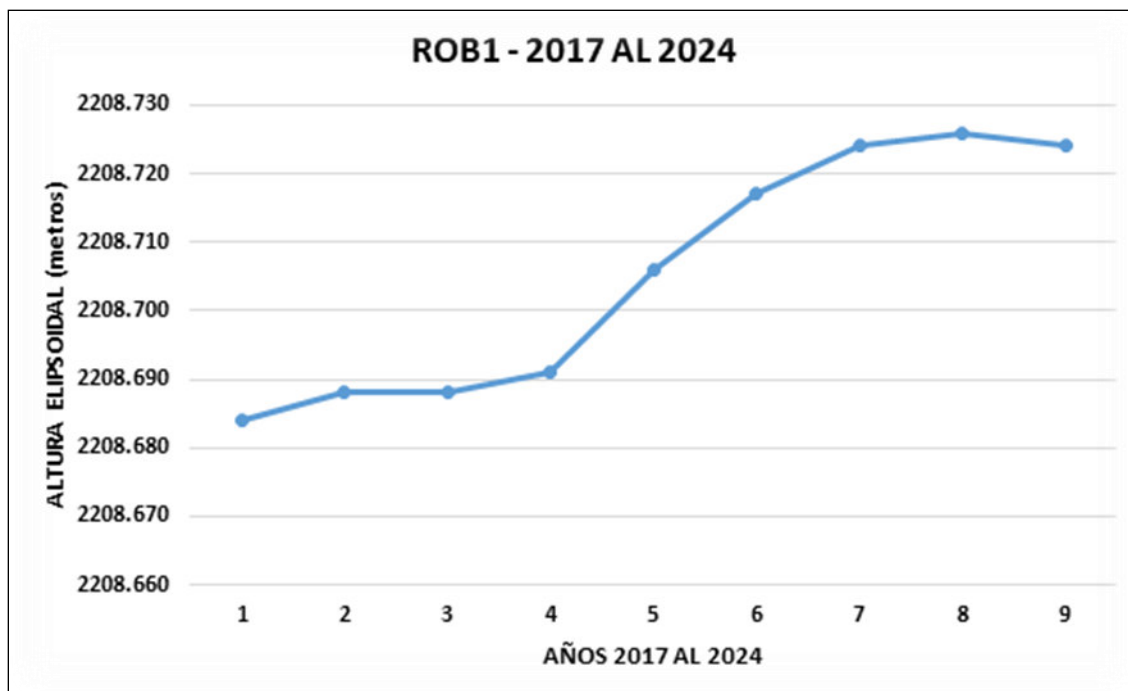
D = 0.201 m., Azimut directo: 44° 43' 18.65"

En la **componente vertical**, representado por la Altura Elipsoidal, se visualiza muy ligera variación deformación levantamiento de 4 cm. entre la solución del día 01.01.2017 y 31.12.2024.

Comparando la solución del 01.01.2017 y del 31.12.2024, en la componente **Altura Elipsoidal** se visualiza levantamiento de aproximadamente 4 cm.

Figura 98

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente vertical Altura Elipsoidal para Estación ROB1, desde el año 2017 al 2024.



Nota. En la componente de la **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 2017 al 2024, donde los números representan a los días: 1 al 01.01.2017; 2 al 01.01.2018; 3 al 01.01.2019; 4 al 01.01.2020; 5 al 01.01.2021; 6 al 01.01.2022; 7 al 01.01.2023; 8 al 01.01.2024; 9 al 31.12.2024. La componente **ordenada**, indica valores de la componente **Altura Elipsoidal**, obtenida de coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

D. Desplazamientos temporales en estación CTPC.

La estación CTPC, se ubica a aproximadamente 94 km. del epicentro sismo del 19.07.2024.

Tomando como referencia datos coordenadas del epicentro proporcionado por CSN (2025b) y coordenadas geodésicas de la estación CTPC (solución día 25.04.2017), se obtiene:

Distancia elipsoidal (D) del epicentro (Sismo 24.04.2017) a la estación CTPC (solución día 25.04.2017):

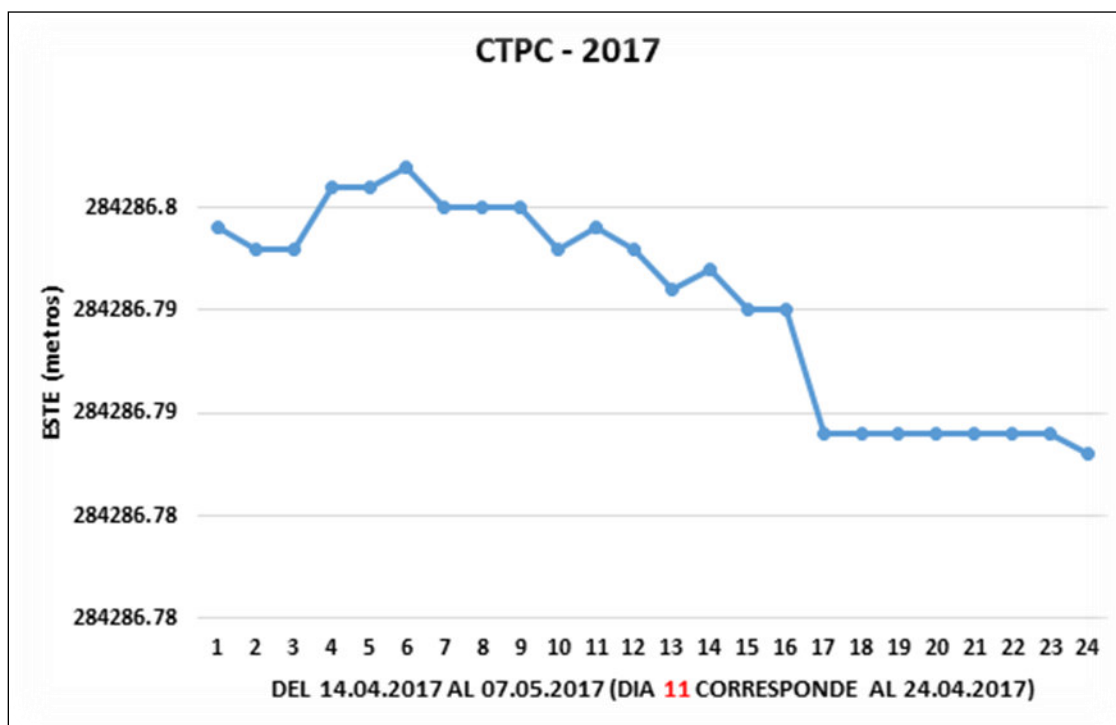
$D = 94,578.715 \text{ m.}$, Azimut directo: $51^{\circ} 53' 23.25''$

Se tomó como referencia observaciones de días previos al sismo del 24.04.2017. Se sometieron al procesamiento, obteniéndose soluciones diarias coordenadas elipsoide GRS80, ITRF2020, incluyendo las alturas elipsoidales. Las coordenadas geodésicas obtenidas, para fines de visualización, se utilizaron proyección UTM, zona 19, presentándose para una mejor visualización componentes Este, Norte.

Considerando día previo y posterior al sismo del 19.07.2024, se visualiza en la componente **Este** sin variación.

Figura 99

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Este para Estación CTPC, anterior y siguiente al sismo ocurrido 24.04.2017.

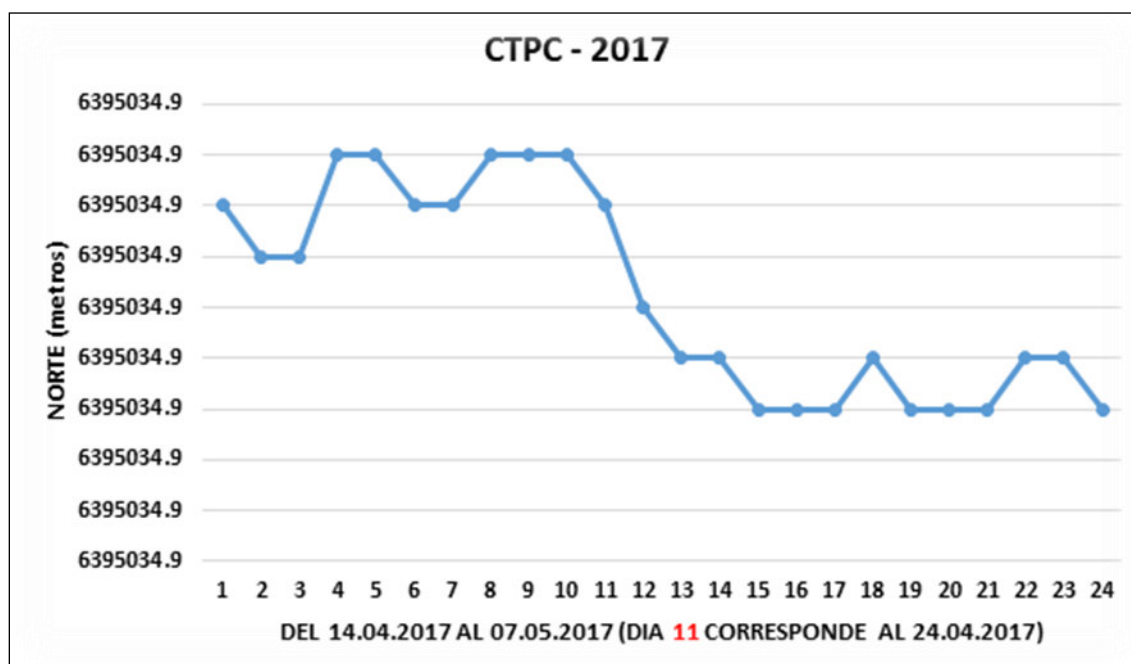


Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 14.04.2017 al 07.05.2017, donde los números representan a los días: **1** al **14.04.2017**; **2** al **15.04.2017**; **3** al **16.04.2017**; **4** al **17.04.2017**; **5** al **18.04.2017**; **6** al **19.04.2017**; **7** al **20.04.2017**; **8** al **21.04.2017**; **9** al **22.04.2017**; **10** al **23.04.2017**; **11** al **24.04.2017**; **12** al **25.04.2017**; **13** al **26.04.2017**; **14** al **27.04.2017**; **15** al **28.04.2017**; **16** al **29.04.2017**; **17** al **30.04.2017**; **18** al **01.05.2017**; **19** al **02.05.2017**; **20** al **03.05.2017**; **21** al **04.05.2017**; **22** al **05.05.2017**; **23** al **06.05.2017**; **24** al **07.05.2017**. La componente **ordenada**, indica valores de la componente **Este**, proyección UTM, zona 19, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Considerando día previo y posterior al sismo del 19.07.2024, se visualiza en la componente Norte muy ligera variación de 0.3 cm.

Figura 100

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Norte para Estación CTPC, anterior y siguiente al sismo ocurrido 24.04.2017.



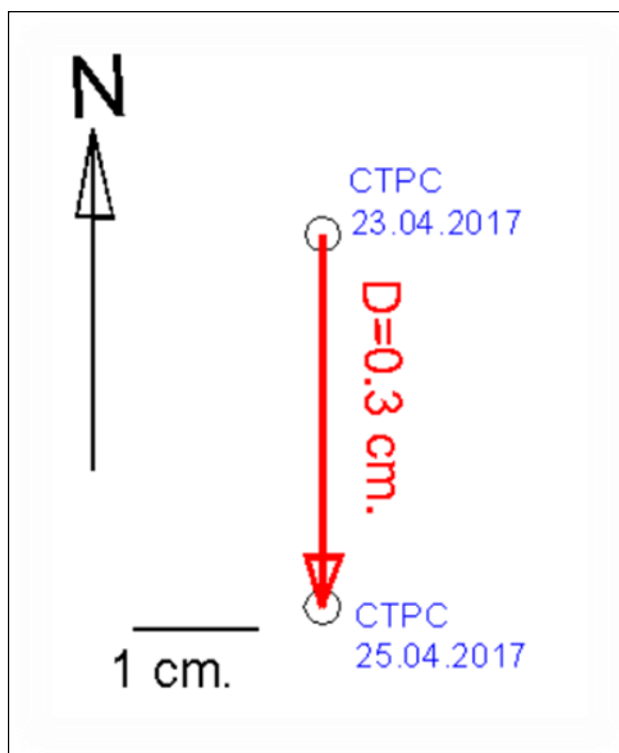
Nota. En componente ***abscisa***, se representan fechas soluciones diarias del 14.04.2017 al 07.05.2017, donde los números representan a los días: **1** al **14.04.2017**; **2** al **15.04.2017**; **3** al **16.04.2017**; **4** al **17.04.2017**; **5** al **18.04.2017**; **6** al **19.04.2017**; **7** al **20.04.2017**; **8** al **21.04.2017**; **9** al **22.04.2017**; **10** al **23.04.2017**; **11** al **24.04.2017**; **12** al **25.04.2017**; **13** al **26.04.2017**; **14** al **27.04.2017**; **15** al **28.04.2017**; **16** al **29.04.2017**; **17** al **30.04.2017**; **18** al **01.05.2017**; **19** al **02.05.2017**; **20** al **03.05.2017**; **21** al **04.05.2017**; **22** al **05.05.2017**; **23** al **06.05.2017**; **24** al **07.05.2017**. La componente ***ordenada***, indica valores de la componente **Norte**, proyección UTM, zona 19, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Desplazamientos temporales horizontales en la estación CTPC días anterior y siguiente al sismo del 24.04.2017.

Se observa que el desplazamiento horizontal tomando como referencia días previo y posterior al sismo, ha sido mínimo 0.3 **cm.**, en dirección Norte.

Figura 101

Representa al vector desplazamiento horizontal, calculado a partir de ubicaciones temporales obtenidas de las soluciones diarias para estación CTPC día anterior (23.04.2017) y siguiente (25.04.2017) al sismo ocurrido el 24.04.2017.



Nota. Considerando soluciones finales observaciones días previo (23.04.2017) y siguiente (25.04.2017) al sismo ocurrido el 24.04.2017. Componentes horizontales Este (*abscisa*) y Norte (*ordenada*), proyección UTM, zona 19, obtenida de coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Variaciones coordenadas geodésicas, desplazamientos

Tomando como referencia componente coordenadas geodésicas obtenidas días previo y posterior a sismo 24.04.2017, para la estación CTPC, se obtiene:

Día 23/04/2017: -32° 33' 40.10235", -71° 17' 51.36808"

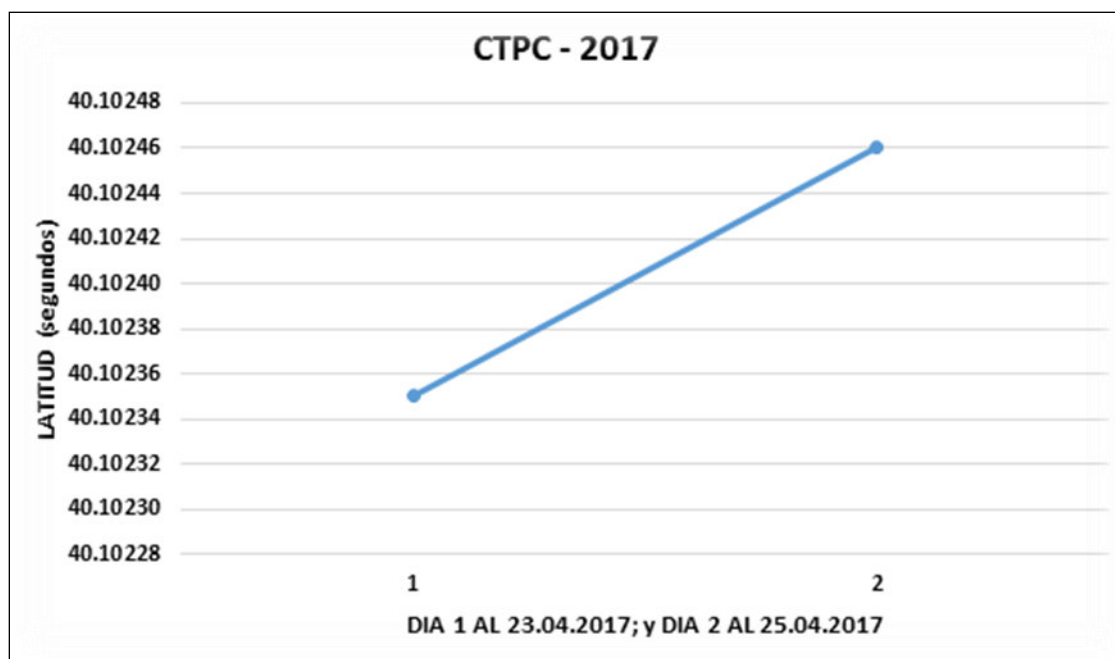
Día 25/04/2017: -32° 33' 40.10246", -71° 17' 51.36808"

Componente Latitud

Varia 0.00011''

Figura 102

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Latitud para Estación CTPC, anterior (23.04.2017) y siguiente (25.04.2017) al sismo ocurrido 24.04.2017.



Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones donde se representa: **1** al día **23.04.2017**; **2** al día **25.04.2017**. La componente **ordenada**, indica valores parte de la componente **Latitud (segundos)**, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020; para lectura completa, a todos los valores numéricos en segundos, anteponer valor en grados y minutos siguiente: -32° 33' (ejemplo: -32° 33' 40.10236").

Componente Longitud

Sin variación.

Distancia elipsoidal

Obtenida de la solución día 23.04.2017 y 25.04.2017.

D = 0.003 m., Azimut directo: 180° 0' 0.00"

Componente Altura Elipsoidal

Día 23.04.2017: 104.668 m.

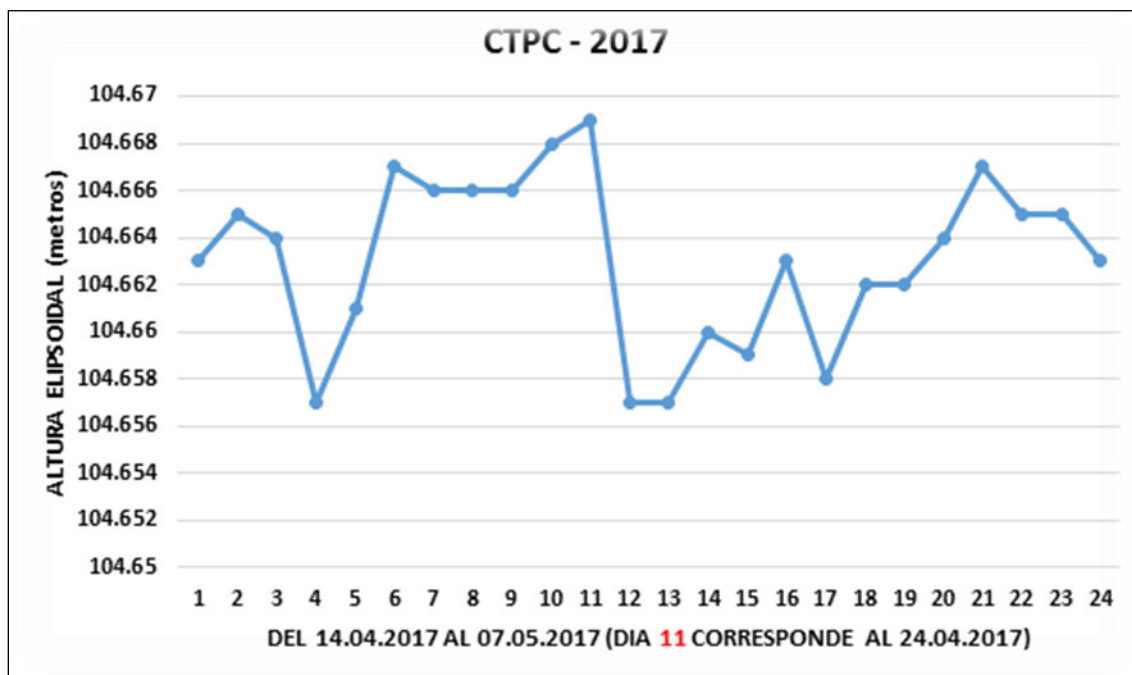
Día 25.04.2017: 104.657 m.

Varía **0.011 m.**

Considerando días anterior y siguiente al sismo del 19.07.2024, en la estación CTPC se visualiza en la componente **Altura Elipsoidal** muy ligera deformación **hundimiento vertical** variación de **1.1 cm.**

Figura 103

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente vertical Altura Elipsoidal para Estación CTPC, anterior y siguiente al sismo ocurrido 24.04.2017.



Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 14.04.2017 al 07.05.2017, donde los números representan a los días: **1** al **14.04.2017**; **2** al **15.04.2017**; **3** al **16.04.2017**; **4** al **17.04.2017**; **5** al **18.04.2017**; **6** al **19.04.2017**; **7** al **20.04.2017**; **8** al **21.04.2017**;

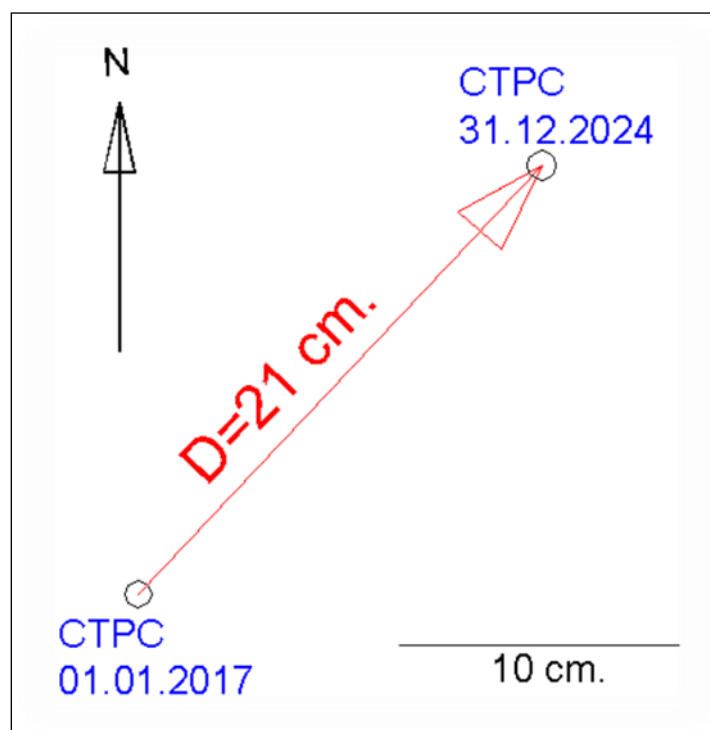
9 al 22.04.2017; 10 al 23.04.2017; 11 al 24.04.2017; 12 al 25.04.2017; 13 al 26.04.2017; 14 al 27.04.2017; 15 al 28.04.2017; 16 al 29.04.2017; 17 al 30.04.2017; 18 al 01.05.2017; 19 al 02.05.2017; 20 al 03.05.2017; 21 al 04.05.2017; 22 al 05.05.2017; 23 al 06.05.2017; 24 al 07.05.2017. La componente *ordenada*, indica valores de la Altura Elipsoidal de coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Desplazamientos temporales en estación CTPC, en los últimos 8 años.

De las soluciones históricas diarias obtenidas en el actual estudio, se han comparado ubicaciones de la estación CTPC para el día 01.01.2017 con la obtenida para el día 31.12.2024, visualizándose desplazamientos horizontales en dirección Nor Este, de aproximadamente 21 **cm.**; aproximadamente en promedio 2.6 **cm./año.**, aproximadamente en promedio 0.2 **cm./mes.**

Figura 104

Representa al vector desplazamiento horizontal, calculado a partir de ubicaciones temporales obtenidas de las soluciones diarias para estación CTPC días 01.01.2017 y 31.12.2024.

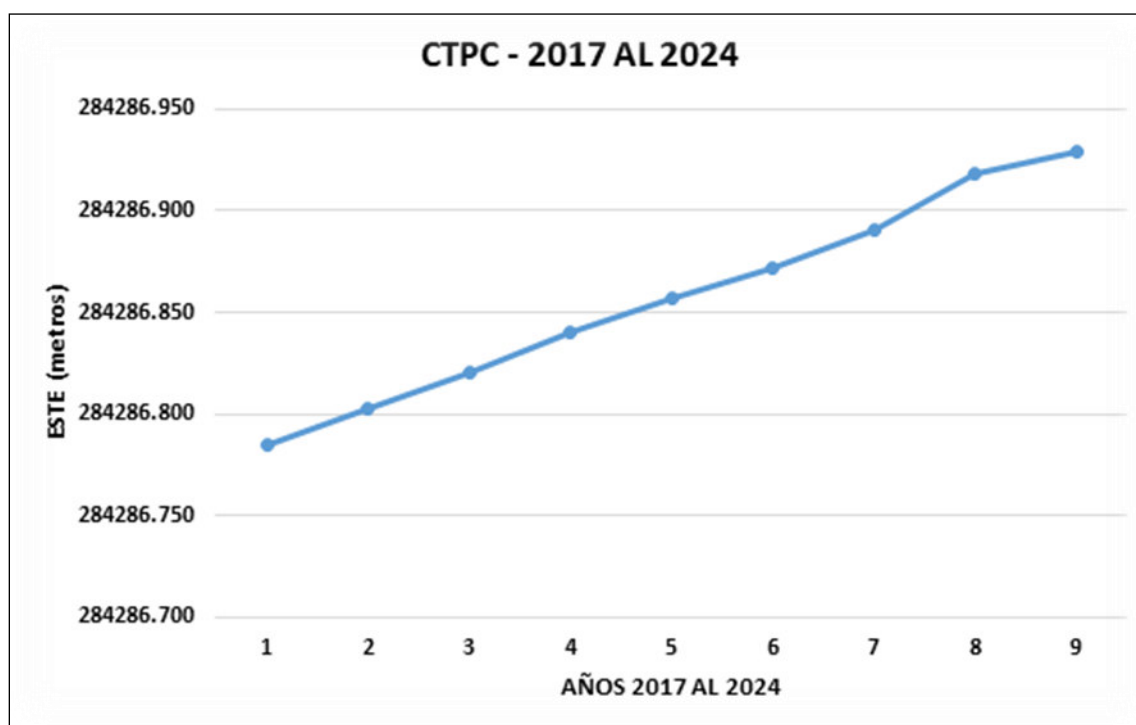


Nota. Considerando coordenadas geodésicas GRS80, ITRF2020, obtenidas a partir de las soluciones diarias para la estación CTPC del 01.01.2017 y 31.12.2024, se calcularon Distancias geodésicas, obteniéndose $D = 0.21$ m. (21 cm.), Azimut directo $44^{\circ} 30' 7.33''$

Considerando solución del día 01.01.2017 y la solución del día 31.12.2024, se visualiza en la componente **Este** variación de **14.4 cm.**

Figura 105

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Este para Estación CTPC, desde el año 2017 al 2024.

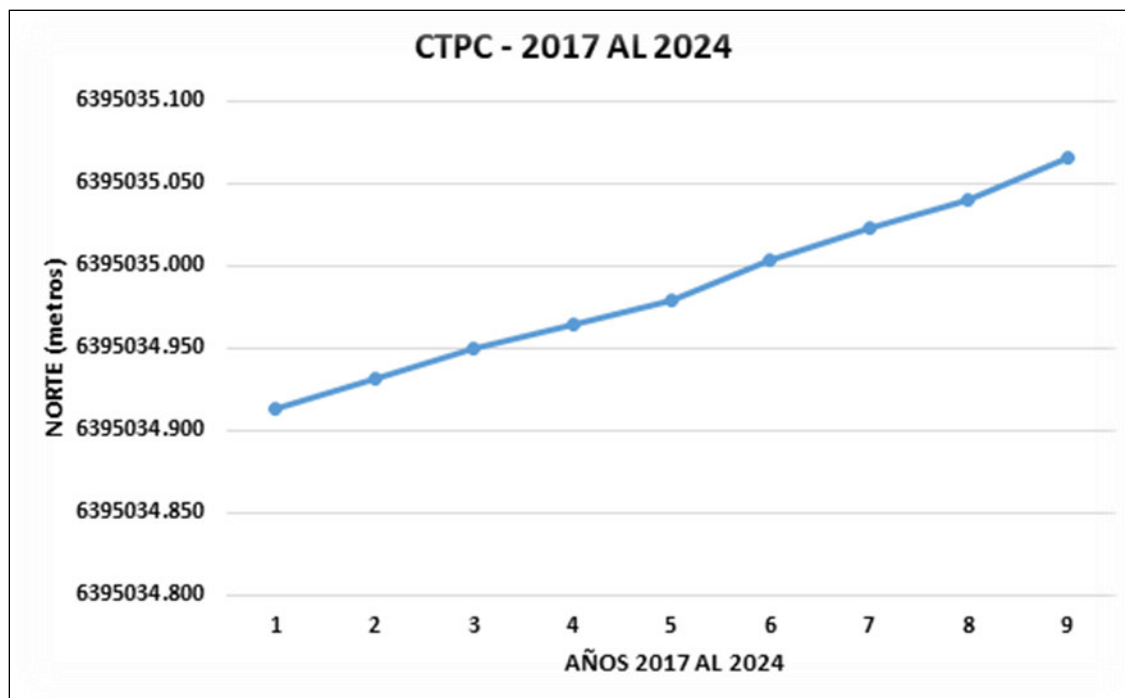


Nota. En la componente de la **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 2017 al 2024, donde los números representan a los días: 1 al 01.01.2017; 2 al 01.01.2018; 3 al 01.01.2019; 4 al 01.01.2020; 5 al 02.01.2021; 6 al 01.01.2022; 7 al 02.01.2023; 8 al 01.01.2024; 9 al 31.12.2024. La componente **ordenada**, indica valores de la componente **Este**, proyección UTM, zona 19, obtenida de coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Considerando solución del día 01.01.2017 y la solución del día 31.12.2024, se visualiza en la componente **Norte** variación de **15.3 cm**.

Figura 106

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Norte para Estación CTPC, desde el año 2017 al 2024.



Nota. En la componente de la **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 2017 al 2024, donde los números representan a los días: **1** al **01.01.2017**; **2** al **01.01.2018**; **3** al **01.01.2019**; **4** al **01.01.2020**; **5** al **02.01.2021**; **6** al **01.01.2022**; **7** al **02.01.2023**; **8** al **01.01.2024**; **9** al **31.12.2024**. La componente **ordenada**, indica valores de la componente **Norte**, proyección UTM, zona 19, obtenida de coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Variaciones coordenadas geodésicas, desplazamientos CTPC del 01.01.2017, y 31.12.2024.

Tomando como referencia componente coordenadas geodésicas obtenidas 01.01.2017 y 31.12.2024, para la estación CTPC, se obtiene:

Día 01.01.2017: $-32^{\circ} 33' 40.10244''$, $-71^{\circ} 17' 51.36839''$

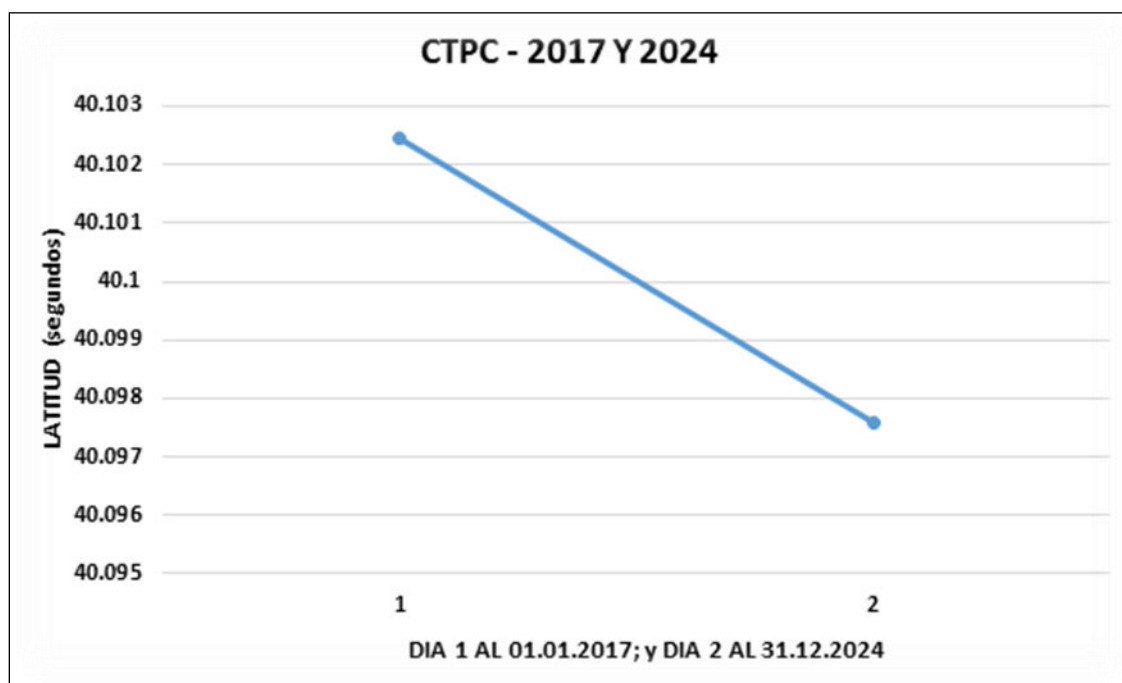
Día 31.12.2024: $-32^{\circ} 33' 40.09758''$, $-71^{\circ} 17' 51.36275''$

Componente Latitud

Varia $0.00486''$

Figura 107

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Latitud para Estación CTPC, días 01.01.2017 y 31.12.2024.



Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones donde se representa: **1** al día **01.01.2017**; **2** al día **31.12.2024**. La componente **ordenada**, indica valores parte de la componente **Latitud (segundos)**, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020; para

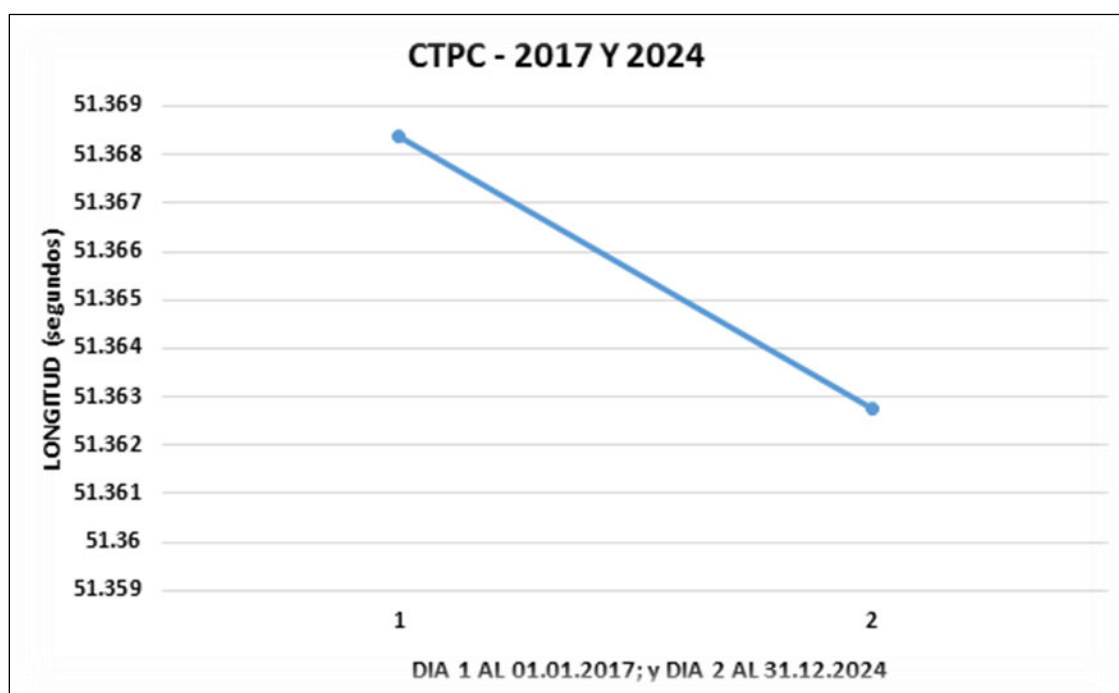
lectura completa, a todos los valores numéricos en segundos, anteponer valor en grados y minutos siguiente: $-32^{\circ} 33'$ (ejemplo: $-32^{\circ} 33' 40.098''$).

Componente Longitud

Varia 0.00564"

Figura 108

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Longitud para Estación CTPC, días 01.01.2017 y 31.12.2024.



Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones donde se representa: **1** al día **01.01.2017**; **2** al día **31.12.2024**. La componente **ordenada**, indica valores parte de la componente **Longitud (segundos)**, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020; para lectura completa, a todos los valores numéricos en segundos, anteponer valor en grados y minutos siguiente: $-71^{\circ} 17'$ (ejemplo: $-71^{\circ} 17' 51.363''$).

Distancia elipsoidal

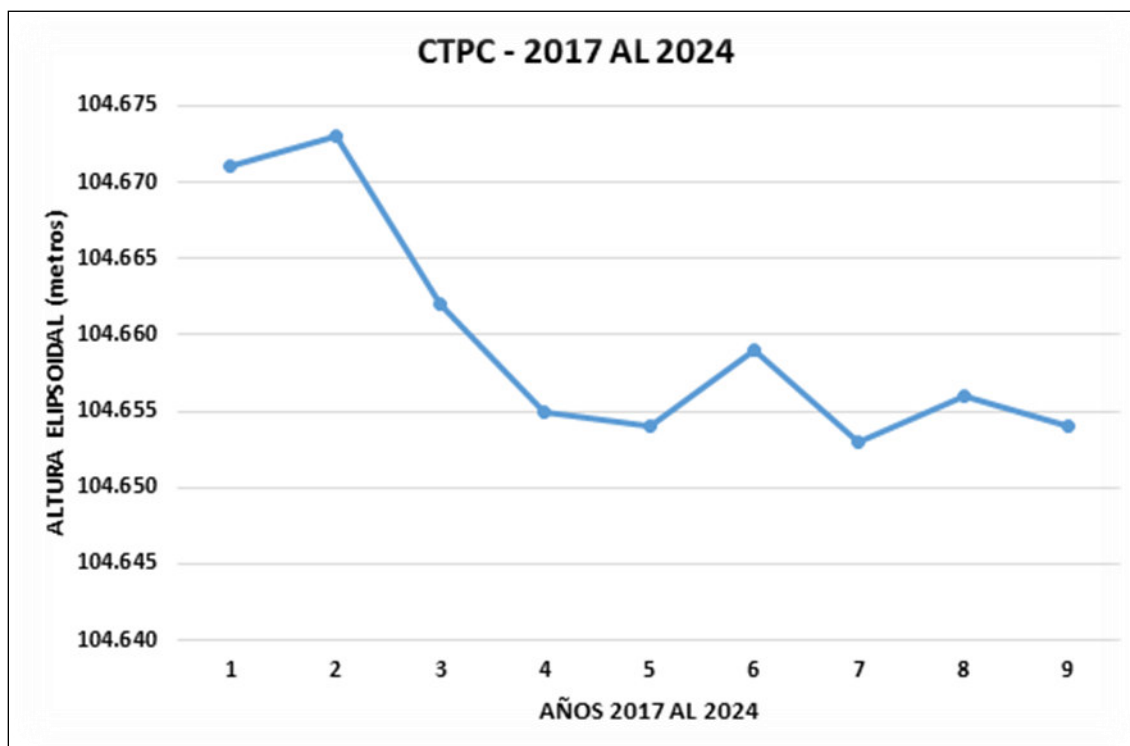
Obtenida entre las soluciones: días 01.01.2017 y 31.12.2024.

$D = 0.21 \text{ m.}$, Azimut directo: $44^\circ 30' 7.33''$

En la **componente vertical**, representado por la **Altura Elipsoidal**, se visualiza muy ligera variación deformación hundimiento de 1.7 cm. entre la solución del día 01.01.2017 Comparando la solución del 01.01.2017 y del 31.12.2024, en la componente **Altura Elipsoidal** se visualiza hundimiento de aproximadamente 1.7 cm.

Figura 109

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente vertical Altura Elipsoidal para Estación CTPC, desde el año 2017 al 2024.



Nota. En la componente de la **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 2017 al 2024, donde los números representan a los días: 1 al 01.01.2017; 2 al 01.01.2018; 3 al 01.01.2019; 4 al 01.01.2020; 5 al 02.01.2021; 6 al 01.01.2022; 7 al 02.01.2023; 8 al 01.01.2024; 9 al 31.12.2024.

La componente *ordenada*, indica valores de la componente **Altura Elipsoidal**, obtenida de coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

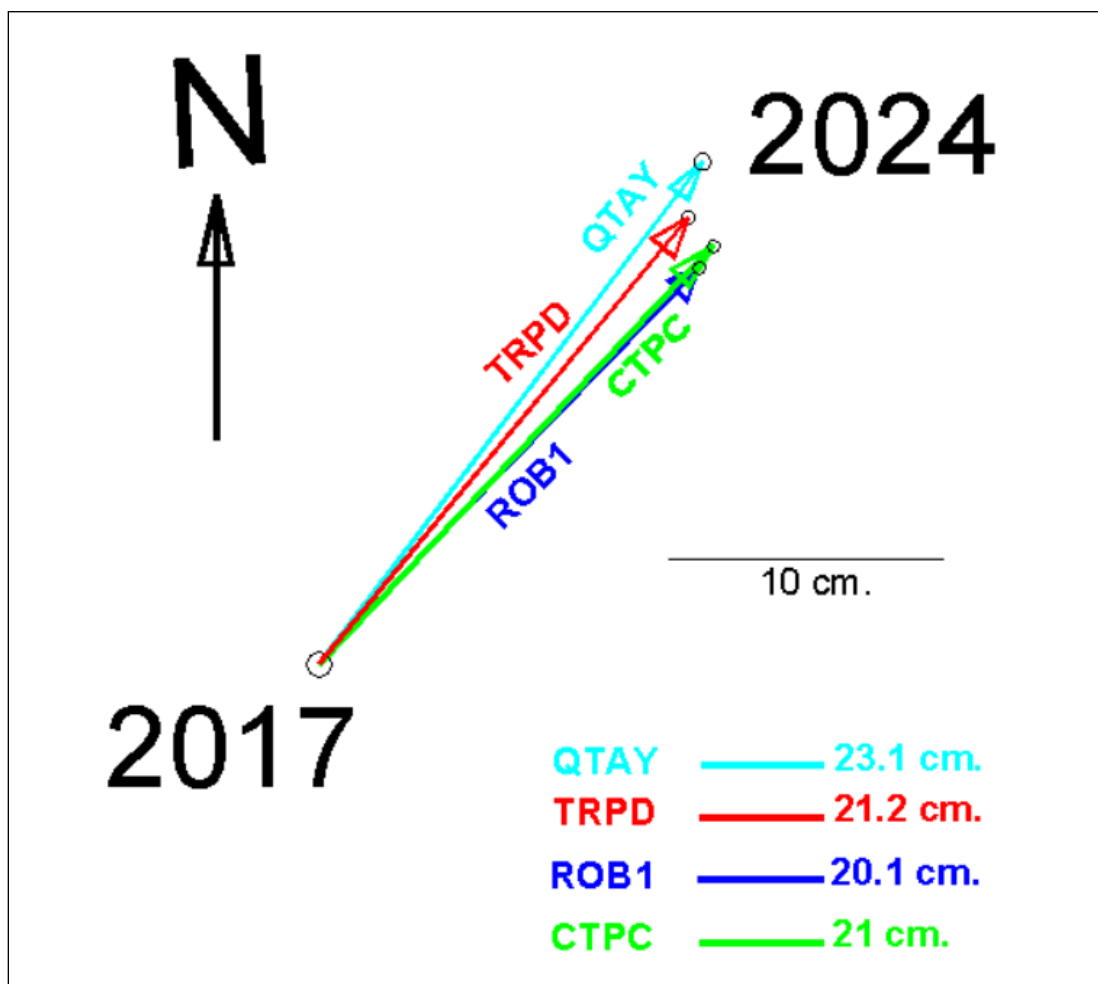
E. Comparación desplazamientos estaciones próximo al sismo 19.07.2024, periodo 2017-2024.

Conforme al análisis y productos obtenidos en las estaciones evaluadas, los desplazamientos entre los años 2017 al 2024, han sido heterogéneos en cuanto a su magnitud. En el periodo 2017-2024, en las estaciones QTAY, TRPD, ROB1, CTPC, se obtuvieron distintos desplazamientos.

La orientación del desplazamiento de la estación CTPC, ROB1, TRDP son similares, a pesar de estar distantes entre sí. La orientación de desplazamientos de la estación QTAY ligeramente; difiere.

Figura 110

Representa a los vectores desplazamiento horizontal, calculado a partir de ubicaciones temporales obtenidas de las soluciones diarias para estaciones QTAY, TRPD, ROB1, CTPC, en el periodo 2017 al 2024.



Nota. Tomando como referencia coordenadas geodésicas GRS80, ITRF2020, obtenidas de soluciones diarias para cada estación, según disponibilidad de data histórica. Con fines de visualización referencial, se presenta comparación de magnitud y orientación de los desplazamientos, representados por distancias geodésicas calculadas para cada estación, comparaciones vectores de desplazamientos.

4.2. Comparaciones

4.2.1. Comparaciones de desplazamiento horizontales en 8 años.

Las estaciones QTAY y TRPD, próximas al sismo ocurrido el 24.04.2017, tienen mayor desplazamiento temporal en 8 años, en comparación con estaciones próximas al sismo del 19.07.2024 (CJNT y CBAA).

Tabla 4

Desplazamientos horizontales temporales periodo 2017-2024, en estaciones próximas al sismo del 24.04.2017.

ESTACION	DISTANCIA AL EPICENTRO DEL SISMO 24.04.2017 (Km.)	DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES 2017-2024 (cm./8 años)	DESPLAZAMIENTOS ANUAL PROMEDIO APROXIMADO (cm./año)
QTAY	39	23.1	2.9
TRPD	42	21.2	2.7
CTPC	94	21	2.6
ROB1	101	20.1	2.5

Nota. Los desplazamientos se calcularon en base a soluciones diarias obtenidas para cada estación.

La ubicación de epicentros fue obtenida del CSN (2025b).

Tabla 5

Desplazamientos horizontales temporales periodo 2017-2024, en estaciones próximas al sismo del 19.07.2024.

ESTACION	DISTANCIA AL EPICENTRO DEL SISMO 19.07.2024 (Km.)	DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES 2017-2024 (cm./8 años)	DESPLAZAMIENTOS ANUAL PROMEDIO APROXIMADO (cm./año)
CJNT	33	17.3	2.2
CBAA	57	20.1	2.5
SRGD	133	25.2	3.1
CDLC	202	26.7	3.3
CRIS	263	29.5	3.7

Nota. Los desplazamientos se calcularon en base a soluciones diarias obtenidas para cada estación.

La ubicación de epicentros fue obtenida del CSN (2025b).

4.2.2. Comparaciones de desplazamientos verticales en 8 años.

Las estaciones QTAY, TRPD y CTPC, próximas al sismo ocurrido el 24.04.2017, tienen desplazamiento vertical deformación hundimiento temporal en 8 años. La estación ROB1 tiene deformación levantamiento.

Tabla 6

Desplazamientos verticales temporales periodo 2017-2024, en estaciones próximas al sismo del 24.04.2017.

ESTACION	DISTANCIA AL EPICENTRO DEL SISMO 24.04.2017 (Km.)	ESTIMACION DE DESPLAZAMIENTOS VERTICALES 2017- 2024 (cm./8 años)	TIPO DEFORMACION
QTAY	39	6.7	HUNDIMIENTO
TRPD	42	6.4	HUNDIMIENTO
CTPC	94	1.7	HUNDIMIENTO
ROB1	101	4	LEVANTAMIENTO

Nota. Los desplazamientos se calcularon en base a soluciones diarias obtenidas para cada estación.

La ubicación de epicentros fue obtenida del CSN (2025b).

La estación CJNT, próximas al sismo ocurrido el 19.07.2024, tienen desplazamiento vertical deformación hundimiento temporal en 8 años. Las estaciones SRGD, CDLC, CRIS, tiene deformación levantamiento. La estación CBAA es irregular componente vertical.

Tabla 7

Desplazamientos verticales temporales periodo 2017-2024, en estaciones próximas al sismo del 19.07.2024.

ESTACION	DISTANCIA AL EPICENTRO DEL SISMO 19.07.2024 (Km.)	ESTIMACION DE DESPLAZAMIENTOS VERTICALES 2017- 2024 (cm./8 años)	TIPO DEFORMACION
CJNT	33	1	HUNDIMIENTO
CBAA	57	0	IRREGULAR
SRGD	133	1.6	LEVANTAMIENTO
CDLC	202	5	LEVANTAMIENTO
CRIS	263	2	LEVANTAMIENTO

Nota. Los desplazamientos se calcularon en base a soluciones diarias obtenidas para cada estación.

La ubicación de epicentro fue obtenida del CSN (2025b).

4.2.3. Comparaciones de desplazamientos horizontales día previo y posterior a ocurrencia sismos.

Tabla 8

Desplazamientos horizontales temporales periodo 18.07.2024 – 20.07.2024, en estaciones próximas al sismo del 19.07.2024.

ESTACION (*)	DISTANCIA ELIPSOIDAL (m.) DE LA ESTACION (*) AL EPICENTRO DEL SISMO OCURRIDO EL 19.07.2024	FECHAS DE SOLUCION FINAL PROCESADA DE OBSERVACIONES Y UBICACIÓN DE LA ESTACION (*) POR DIA		DISTANCIA ELIPSOIDAL OBTENIDA DE SOLUCIONES FINALES DIARIAS (DE "A" A "B")	AZIMUT DIRECTO	DIRECCION
		A	B			
CBA A	56,714.715	18.07.2024	20.07.2024	0.001 m.	90°	Este
SRGD	133,877.769	18.07.2025	20.07.2025	0.007 m.	277° 22' 43.09"	Nor Oeste
CRIS	263,331.567	18.07.2026	20.07.2026	0.005 m.	250° 01' 58.62"	Sur Oeste
CDLC	202,088.133	18.07.2027	20.07.2027	0.004 m.	290° 58' 53.29"	Nor Oeste
CJNT	33,320.198	18.07.2028	20.07.2028	0.003 m.	241° 37' 18.37"	Sur Oeste

Nota. Las distancias elipsoidales (distancias geodésicas), que representan los desplazamientos horizontales, se calcularon en base a coordenadas geodésicas GRS80, ITRF2020, obtenidas de las soluciones diarias en fechas citadas para cada estación. La ubicación del epicentro fue obtenida del CSN (2025b).

Tabla 9

Desplazamientos horizontales temporales periodo 23.04.2017 – 25.04.2017, en estaciones próximas al sismo del 24.07.2017.

ESTACION (*)	DISTANCIA ELIPSOIDAL (m.) DE LA ESTACION (*) AL EPICENTRO DEL SISMO OCURRIDO EL 24.04.2017	FECHAS DE SOLUCION FINAL PROCESADA DE OBSERVACIONES Y UBICACIÓN DE LA ESTACION (*) POR DIA		DISTANCIA ELIPSOIDAL OBTENIDA DE SOLUCIONE S FINALES DIARIAS (DE "A" A "B") EN METROS	AZIMUT DIRECTO	DIRECCION
		A	B			
QTAY	37,930.47	23.04.2017	25.04.2017	0.037	287° 21' 20.96"	Nor Oeste
TRPD	41,996.12	23.04.2018	25.04.2018	0.044	259° 8' 9.64"	Sur Oeste
ROB1	101,141.22	23.04.2019	25.04.2019	0.006	250° 8' 46.67"	Sur Oeste
CTPC	94,578.715	23.04.2020	25.04.2020	0.003	180° 0' 0.00"	Sur

Nota. Las distancias elipsoidales (distancias geodésicas), que representan los desplazamientos horizontales, se calcularon en base a coordenadas geodésicas GRS80, ITRF2020, obtenidas de las soluciones diarias en fechas citadas para cada estación. La ubicación de epicentros fue obtenida del CSN (2025b).

4.2.4. Comparaciones de desplazamientos verticales día previo y posterior a ocurrencia sismos.

Tabla 10

Desplazamientos verticales temporales periodo 18.07.2024 – 20.07.2024, en estaciones próximas al sismo del 19.07.2024.

ESTACION	DISTANCIA AL EPICENTRO DEL SISMO 19.07.2024 (Km.)	ESTIMACION DE DESPLAZAMIENTOS VERTICALES 18.07.2024 - 20.07.2024	
		(cm.)	DEFORMACION
CBAA	33	SIN VARIACION	SIN VARIACION
SRGD	57	0.3	LEVANTAMIENTO
CRIS	133	0.2	LEVANTAMIENTO
CDLC	202	0.2	HUNDIMIENTO
CJNT	263	2	HUNDDIMIENTO

Nota. Los desplazamientos verticales, se calcularon en base a coordenadas geodésicas GRS80, ITRF2020, alturas elipsoidales, obtenidas de las soluciones diarias en fechas citadas para cada estación. La ubicación de epicentros fue obtenida del CSN (2025b).

Tabla 11

Desplazamientos verticales temporales periodo 23.04.2017 – 25.04.2017, en estaciones próximas al sismo del 24.04.2017.

ESTACION	DISTANCIA AL EPICENTRO DEL SISMO 24.04.2017 (Km.)	ESTIMACION DE DESPLAZAMIENTOS VERTICALES 23.04.2017 - 25.04.2017	DEFORMACION
		(cm.)	
QTAY	39	2.3	HUNDIMIENTO
TRPD	42	2.6	HUNDIMIENTO
ROB1	94	1.1	HUNDIMIENTO
CTPC	101	1.1	HUNDIMIENTO

Nota. Los desplazamientos verticales, se calcularon en base a coordenadas geodésicas GRS80, ITRF2020, alturas elipsoidales, obtenidas de las soluciones diarias en fechas citadas para cada estación. La ubicación de epicentros fue obtenida del CSN (2025b).

4.2.5 Comparación adicional referencial de desplazamientos horizontales de estaciones ubicadas en el Sur de Chile, próximas a zona de encuentro entre la Placa Sudamericana (PTAR) y Placa Scotia (PWIL).

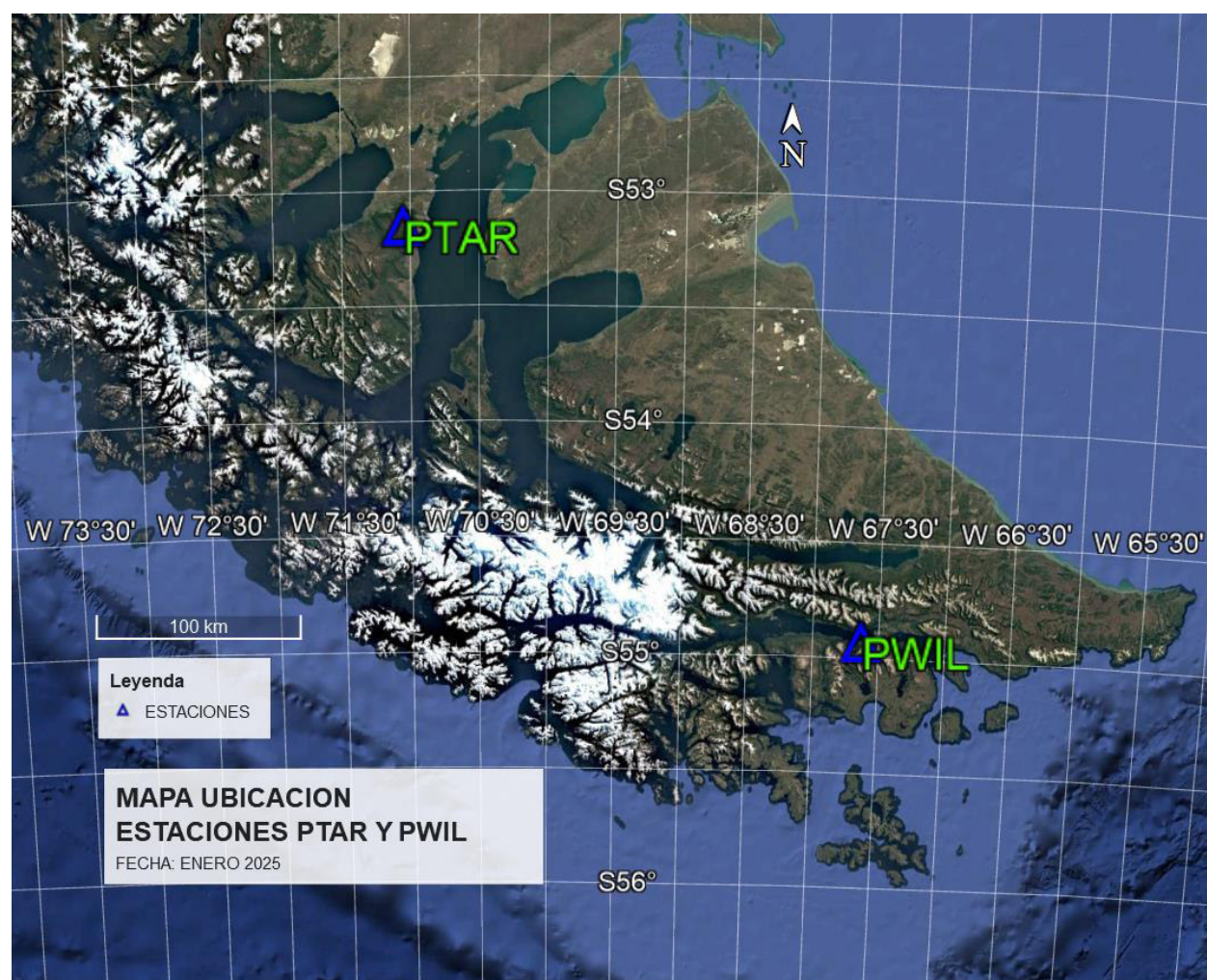
En el periodo de estudio 2017-2024, en territorio del Sur de Chile, próximo a la Falla Magallanes – Fagnano, no se tienen registros publicitados de sismos de magnitud de 6.9, o superiores. Sin embargo, en el año 1949 se produjo sismo de magnitud superior a 7.0 en la zona Sur de Chile, próxima a zona de encuentro entre la placa Sudamericana con la Placa Scotia, por lo que se considera pertinente estimar desplazamientos anuales referenciales producidos en la zona, tomando como referencia estaciones próximas.

Se ha identificado una sola estación con data disponible ubicada geológicamente en la Placa Scotia, es la estación denominada PWIL, la cual dispone de data para el periodo de estudio 2017 – 2024.

Se identificó una estación próxima ubicada en la Placa Sudamericana próximo a la Placa Scotia, es la estación denominada PTAR, la cual dispone data de observaciones para el periodo de estudio 2017-2024.

Figura 111

Mapa Ubicación de estaciones PTAR y PWIL, Sur de Chile.



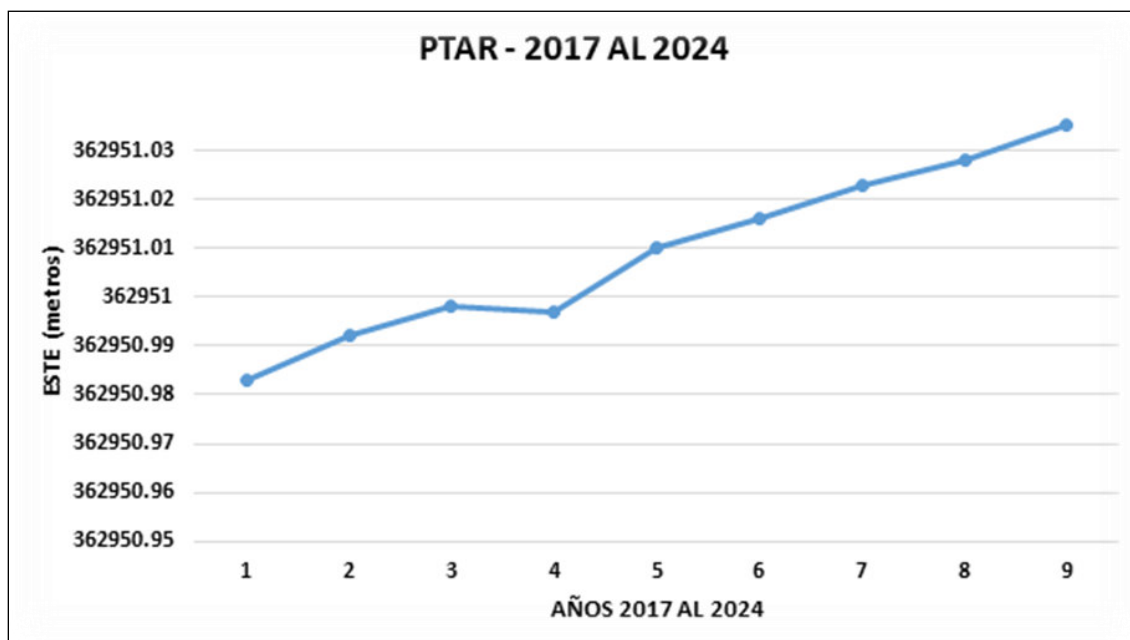
Nota. Las ubicaciones de estaciones PTAR y PWIL, obtenidas de las soluciones finales día 31.12.2024 en coordenadas geodésicas GRS80, ITRF2020; insertados en Google Earth. La distancia geodésica calculada entre la estación PWILL y PTAR, es de 298,748.637 m., Azimut directo= $310^{\circ} 3' 5.88''$

4.2.5.1 Desplazamientos temporales en estación PTAR, en los últimos 8 años.

Considerando solución días 01.01.2017 y 31.12.2024, se visualiza en la componente **Este** **variación** aproximada de 5.2 cm.

Figura 112

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Este para Estación PTAR, desde el año 2017 al 2024.



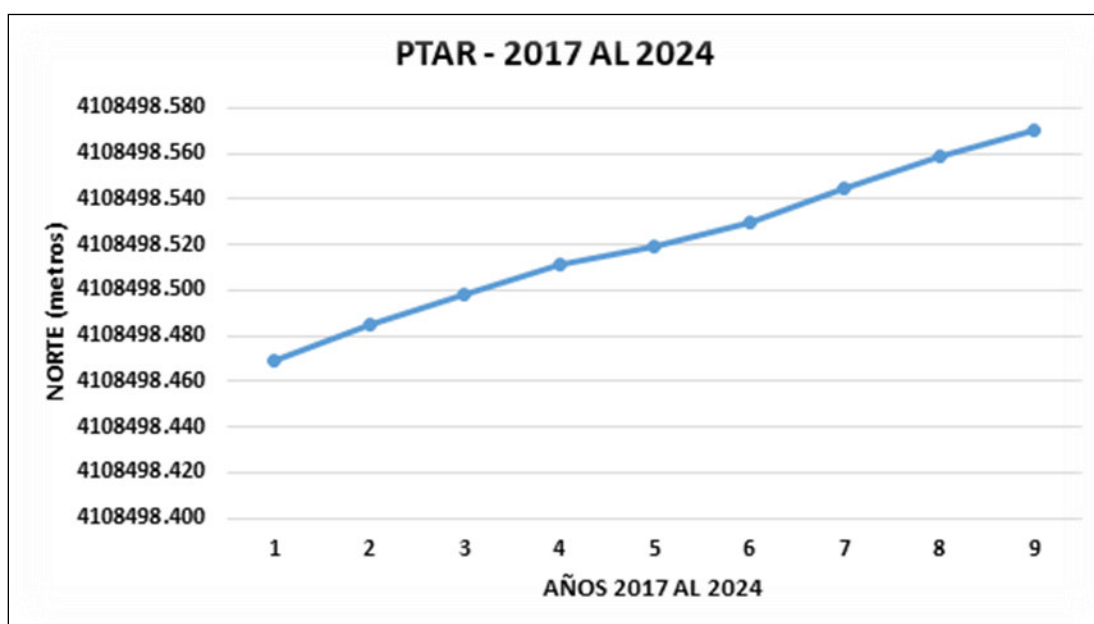
Nota. En la componente de la **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 2017 al 2024, donde los números representan a los días: 1 al 01.01.2017; 2 al 01.01.2018; 3 al 01.01.2019; 4 al 01.01.2020; 5 al 01.01.2021; 6 al 01.01.2022; 7 al 01.01.2023; 8 al 21.02.2024; 9 al 31.12.2024.

La componente *ordenada*, indica valores de la componente **Este**, proyección UTM, zona 19, obtenida de coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Considerando solución días 01.01.2017 y 31.12.2024, se visualiza en la componente **Norte** variación aproximada de 10.1 cm.

Figura 113

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Norte para Estación PTAR, desde el año 2017 al 2024.



Nota. En la componente de la *abscisa*, se representan fechas soluciones diarias del 2017 al 2024, donde los números representan a los días: 1 al 01.01.2017; 2 al 01.01.2018; 3 al 01.01.2019; 4 al 17.03.2020; 5 al 01.01.2021; 6 al 01.01.2022; 7 al 01.01.2023; 8 al 21.02.2024; 9 al 31.12.2024.

La componente *ordenada*, indica valores de la componente **Norte**, proyección UTM, zona 19, obtenida de coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Variaciones coordenadas geodésicas, desplazamientos PTAR del 01.01.2017, y 31.12.2024.

Tomando como referencia componente coordenadas geodésicas obtenidas 01.01.2017 y 31.12.2024, se obtiene para la estación PTAR, las coordenadas geodésicas elipsoide GRS80, ITRF2020:

Día 01.01.2017: $-53^{\circ} 09' 18.84959''$, $-71^{\circ} 02' 58.64874''$

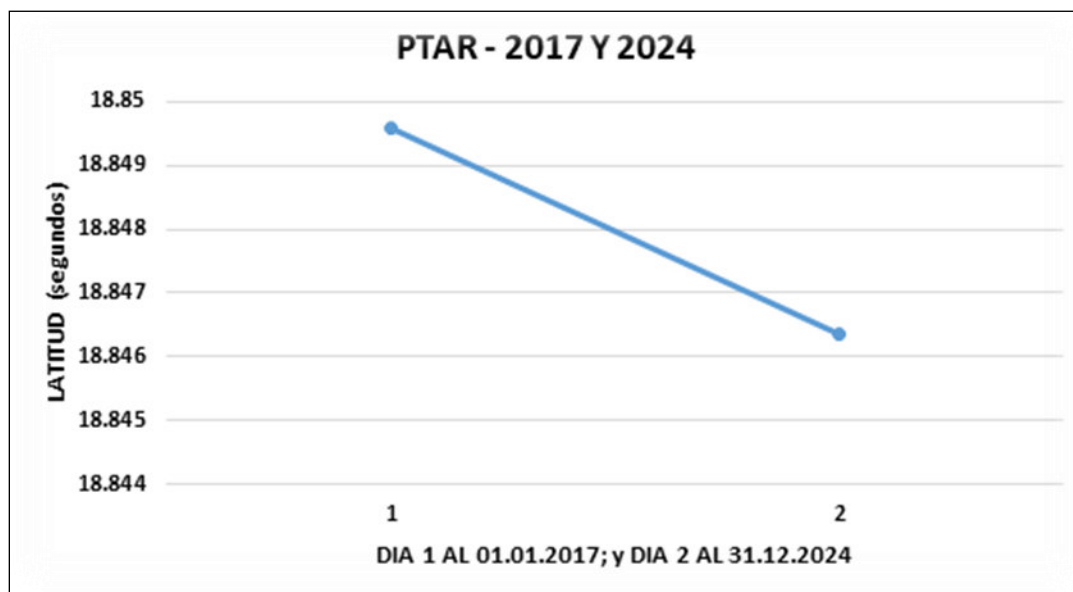
Día 31.12.2024: $-53^{\circ} 09' 18.84637''$, $-71^{\circ} 02' 58.64583''$

Componente Latitud

Varia $0.00322''$

Figura 114

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Latitud para Estación PTAR, días 01.01.2017 y 31.12.2024.



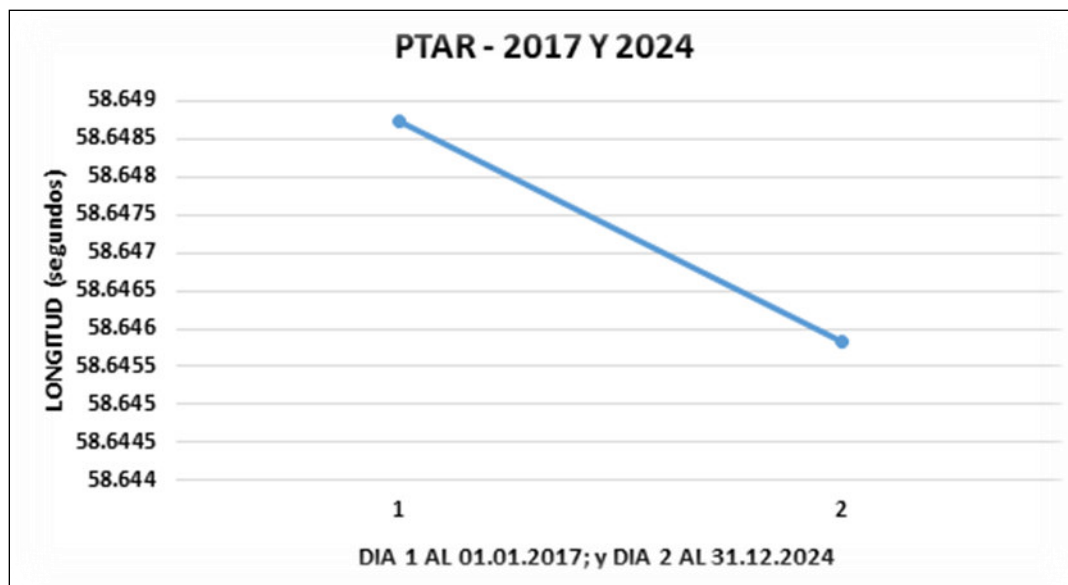
Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones donde se representa: **1** al día **01.01.2017**; **2** al día **31.12.2024**. La componente **ordenada**, indica valores parte de la componente **Latitud (segundos)**, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020; para lectura completa, a todos los valores numéricos en segundos, anteponer valor en grados y minutos siguiente: $-53^{\circ} 09'$ (ejemplo: $-53^{\circ} 09' 18.847''$).

Componente Longitud

Varía 0.00291"

Figura 115

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Longitud para Estación PTAR, días 01.01.2017 y 31.12.2024.



Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones donde se representa: **1** al día **01.01.2017**; **2** al día **31.12.2024**. La componente **ordenada**, indica valores parte de la componente **Longitud (segundos)**, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020; para lectura completa, a todos los valores numéricos en segundos, anteponer valor en grados y minutos siguiente: -71° 02' (ejemplo: -71° 02' 58.6465").

Distancia elipsoidal

Obtenida entre las soluciones: días 01.01.2017 y 31.12.2024.

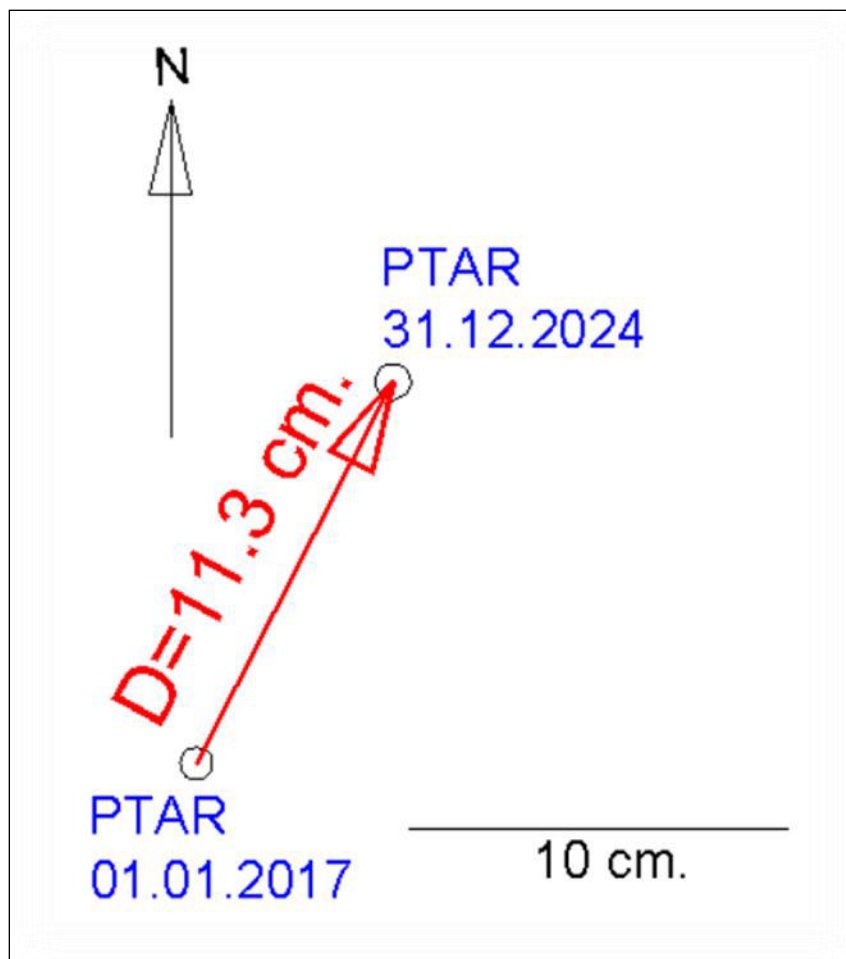
D= 0.113 m. (11.3 cm.), Azimut directo 28° 30' 44.03"

De las soluciones históricas diarias obtenidas en el actual estudio, se han comparado ubicaciones de la estación PTAR para el día 01.01.2017 con la obtenida para el día 31.12.2024,

visualizándose desplazamientos horizontales en dirección Nor Este, de aproximadamente **11.3 cm.**; aproximadamente en promedio **1.4 cm./año.**

Figura 116

Representa al vector desplazamiento horizontal, calculado a partir de ubicaciones temporales obtenidas de las soluciones diarias para estación PTAR, días 01.01.2017 y 31.12.2024.

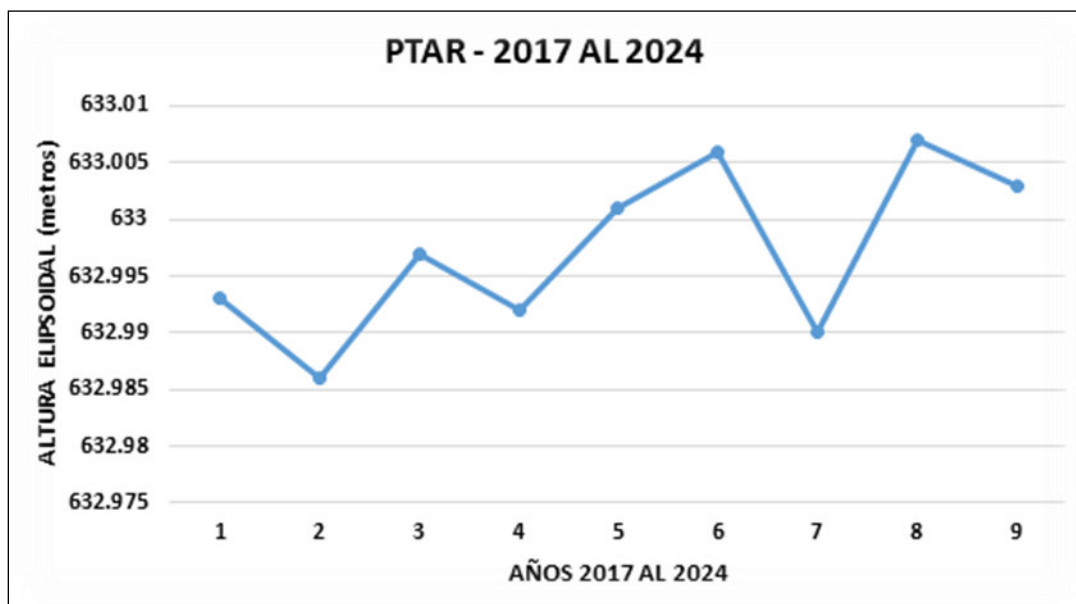


Nota. Calculado a partir de ubicaciones temporales, coordenadas geodésicas GRS80, ITRF2020, obtenidas de las soluciones diarias para la estación PTAR del 01.01.2017, y 31.12.2024.

En la **componente vertical**, representado por la **Altura Elipsoidal**, se visualiza irregular soluciones diarias referenciales anuales, muy ligera variación de 1 cm. (levantamiento) entre la solución del día 01.01.2017 y 31.12.2024.

Figura 117

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente vertical Altura Elipsoidal para Estación PTAR, desde el año 2017 al 2024.



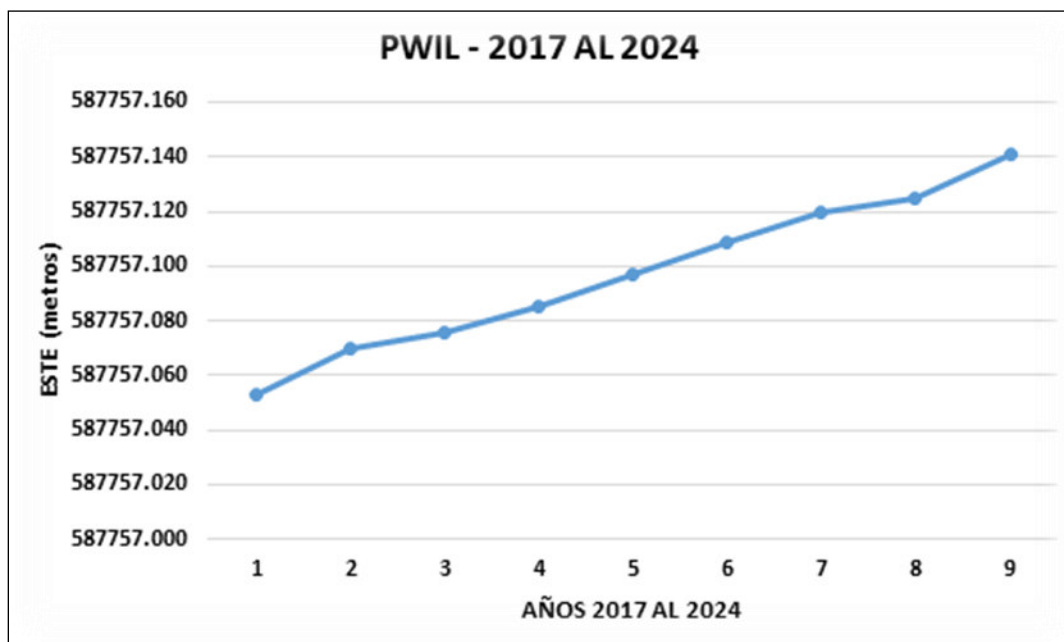
Nota. En la componente de la **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 2017 al 2024, donde los números representan a los días: 1 al 01.01.2017; 2 al 01.01.2018; 3 al 01.01.2019; 4 al 17.03.2020; 5 al 01.01.2021; 6 al 01.01.2022; 7 al 01.01.2023; 8 al 01.01.2024; 9 al 31.12.2024. La componente **ordenada**, indica valores de la **Altura Elipsoidal**, de coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

4.2.5.2 Desplazamientos temporales en estación PWIL, en los últimos 8 años.

Considerando solución días 01.01.2017 y 31.12.2024, se visualiza en la componente **Este** variación aproximada de 8.8 cm.

Figura 118

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Este para Estación PWIL, desde el año 2017 al 2024.

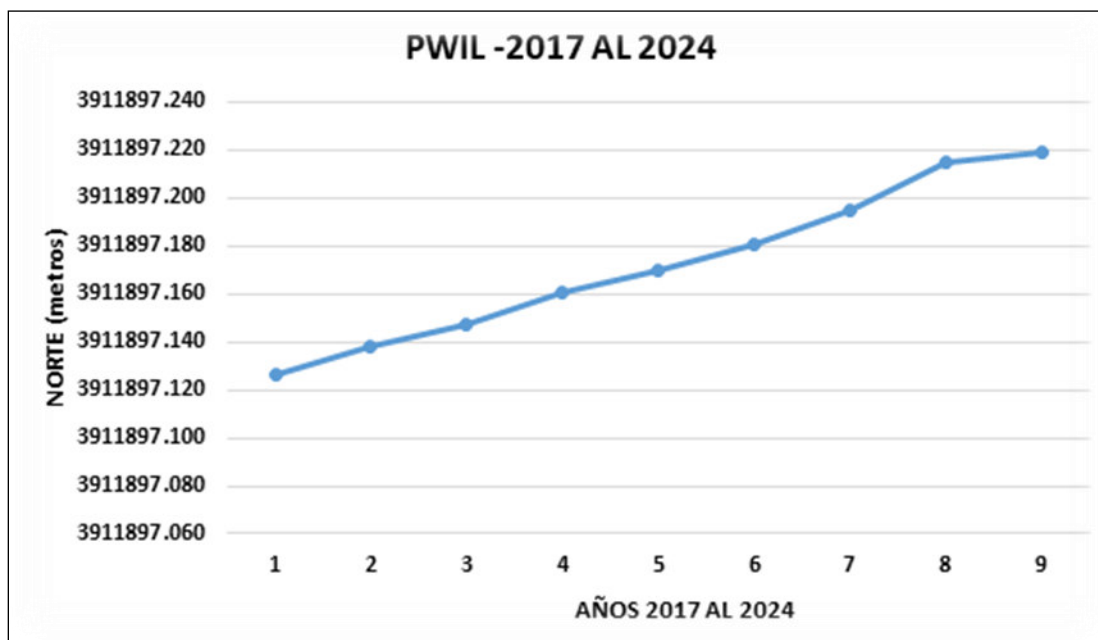


Nota. En la componente de la **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 2017 al 2024, donde los números representan a los días: **1** al **01.01.2017**; **2** al **01.01.2018**; **3** al **01.01.2019**; **4** al **01.01.2020**; **5** al **01.01.2021**; **6** al **01.01.2022**; **7** al **01.01.2023**; **8** al **07.03.2024**; **9** al **31.12.2024**. La componente **ordenada**, indica valores de la componente **Este**, proyección UTM, zona 19, obtenida de coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Considerando solución días 01.01.2017 y 31.12.2024, se visualiza en la componente **Norte** variación aproximada de 9.3 cm.

Figura 119

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Norte para Estación PWIL, desde el año 2017 al 2024.



Nota. En la componente de la **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 2017 al 2024, donde los números representan a los días: **1** al **01.01.2017**; **2** al **01.01.2018**; **3** al **01.01.2019**; **4** al **17.03.2020**; **5** al **01.01.2021**; **6** al **01.01.2022**; **7** al **01.01.2023**; **8** al **07.03.2024**; **9** al **31.12.2024**. La componente **ordenada**, indica valores de la componente **Norte**, proyección UTM, zona 19, obtenida de coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

Variaciones coordenadas geodésicas, desplazamientos PWIL del 01.01.2017, y 31.12.2024.

Tomando como referencia componente coordenadas geodésicas obtenidas 01.01.2017 y 31.12.2024, para la estación PWIL, se obtiene:

Día 01.01.2017: -54° 55' 55.84158", -67° 37' 49.39123"

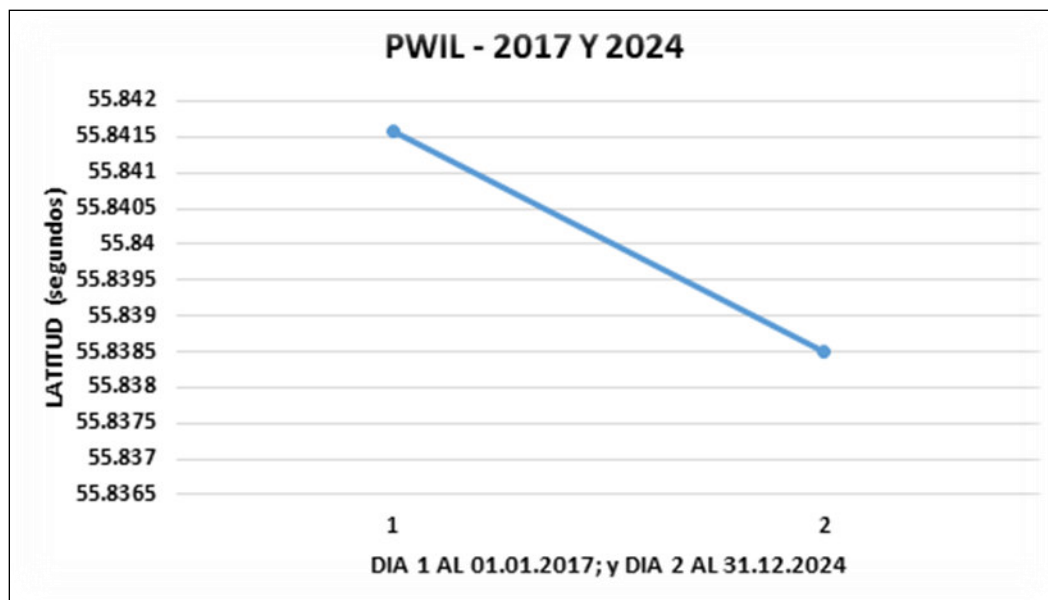
Día 31.12.2024: -54° 55' 55.83850", -67° 37' 49.38640"

Componente Latitud

Varia 0.00308"

Figura 120

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Latitud para Estación PWIL, días 01.01.2017 y 31.12.2024.



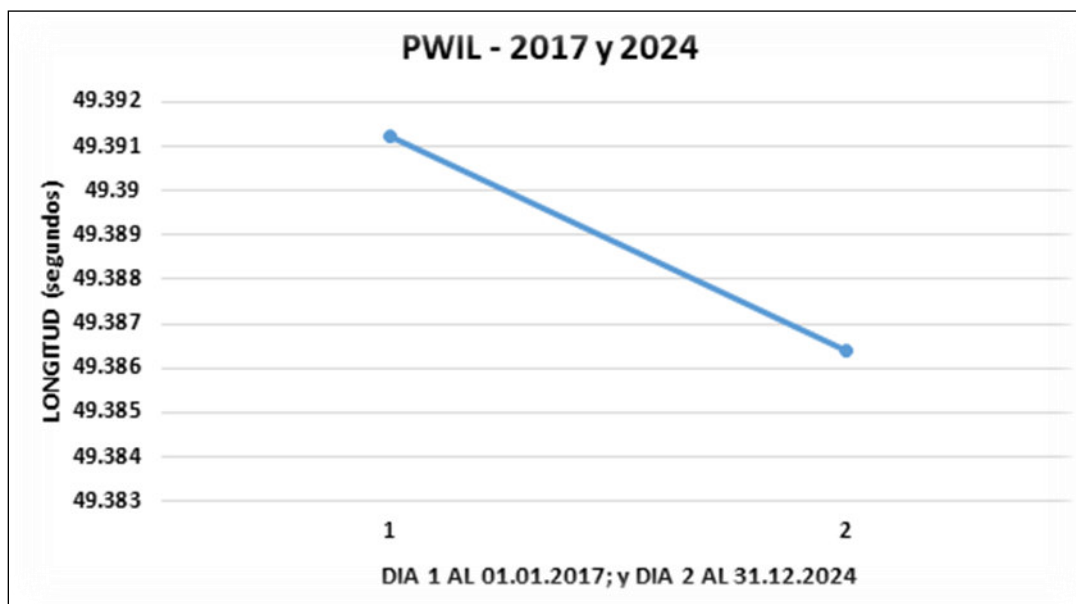
Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones donde se representa: **1** al día **01.01.2017**; **2** al día **31.12.2024**. La componente **ordenada**, indica valores parte de la componente **Latitud (segundos)**, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020; para lectura completa, a todos los valores numéricos en segundos, anteponer valor en grados y minutos siguiente: -54° 55' (ejemplo: -54° 55' 55.8385").

Componente Longitud

Varía 0.00483"

Figura 121

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente Longitud para Estación PWIL, días 01.01.2017 y 31.12.2024.

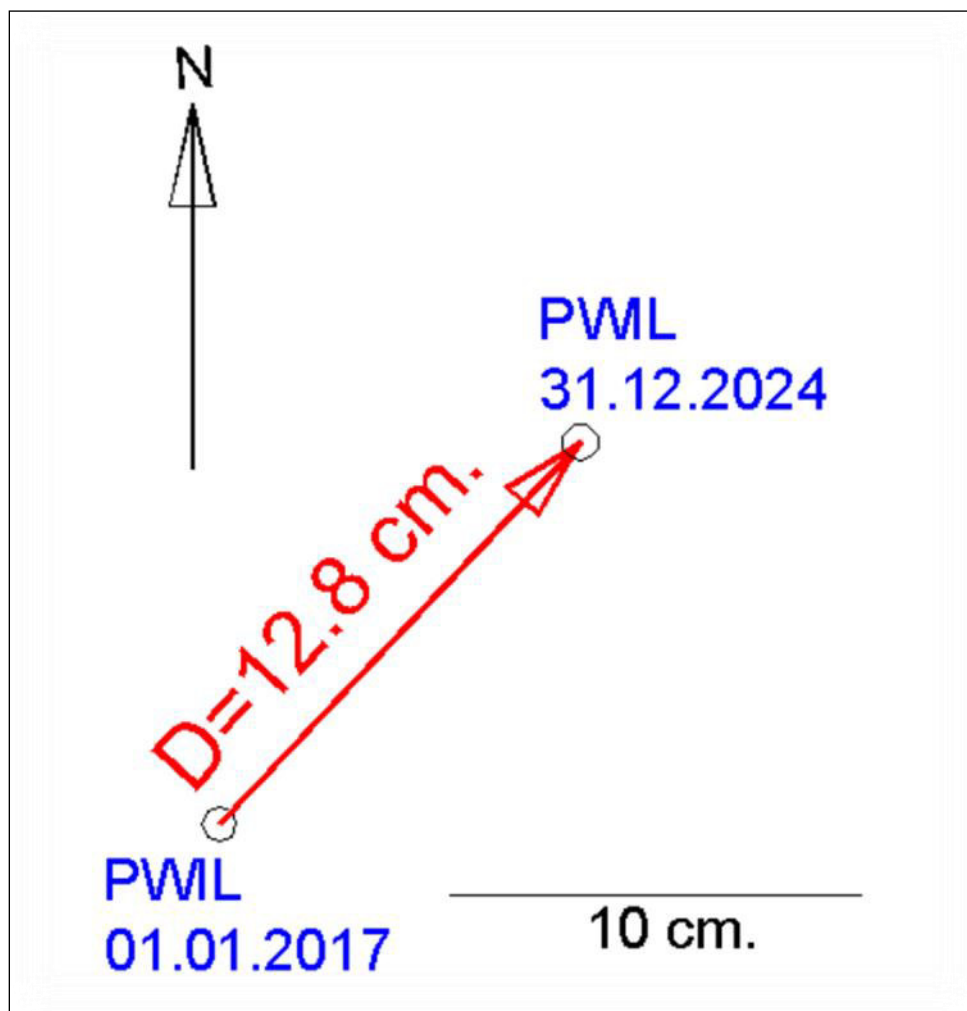


Nota. En componente **abscisa**, se representan fechas soluciones donde se representa: **1** al día **01.01.2017**; **2** al día **31.12.2024**. La componente **ordenada**, indica valores parte de la componente **Longitud (segundos)**, obtenida de las coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020; para lectura completa, a todos los valores numéricos en segundos, anteponer valor en grados y minutos siguiente: -67° 37' (ejemplo: -67° 37' 49.387").

De las soluciones históricas diarias obtenidas en el actual estudio, se han comparado ubicaciones de la estación PWIL para el día 01.01.2017 con la obtenida para el día 31.12.2024, visualizándose desplazamientos horizontales en dirección Nor Este, de aproximadamente **12.8 cm.**; aproximadamente en promedio **1.6 cm./año**.

Figura 122

Representa al vector desplazamiento horizontal, calculado a partir de ubicaciones temporales obtenidas de las soluciones diarias para estación PWIL, días 01.01.2017 y 31.12.2024.



Nota. Considerando coordenadas geodésicas GRS80, ITRF2020, obtenidas de las soluciones diarias para la estación PWIL del 01.01.2017, y 31.12.2024, se calcularon las distancias geodésicas.

Distancia elipsoidal

Obtenida entre las soluciones obtenidas para la estación PWILL: días 01.01.2017 y 31.12.2024.

Día: 01.01.2017: $-54^{\circ} 55' 55.84158''$, $-67^{\circ} 37' 49.39123''$

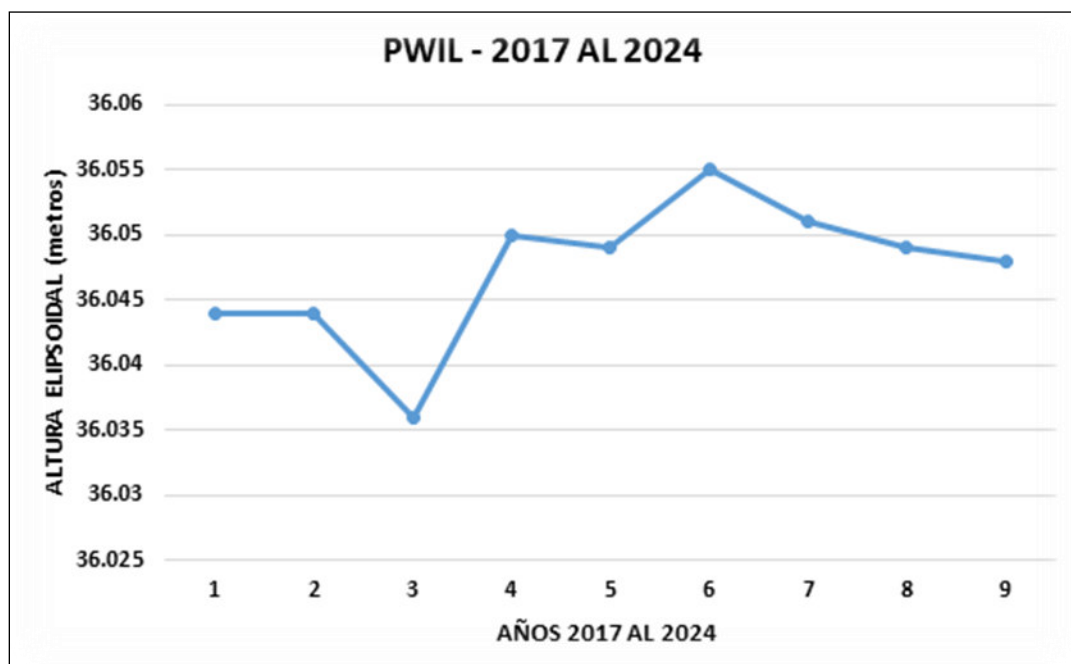
Día: 31.12.2024: $-54^{\circ} 55' 55.83850''$, $-67^{\circ} 37' 49.38640''$

D= 0.128 m. (12.8 cm.), Azimut directo $42^{\circ} 4' 54.94''$

En la **componente vertical**, representado por la **Altura Elipsoidal**, se visualiza muy ligera variación de 0.4 cm. (levantamiento) entre la solución del día 01.01.2017 y 31.12.2024.

Figura 123

Secuencias temporales desplazamientos calculados en componente vertical Altura Elipsoidal para Estación PWIL, desde el año 2017 al 2024.



Nota. En la componente de la **abscisa**, se representan fechas soluciones diarias del 2017 al 2024, donde los números representan a los días: **1** al **01.01.2017**; **2** al **01.01.2018**; **3** al **01.01.2019**; **4** al **17.03.2020**; **5** al **01.01.2021**; **6** al **01.01.2022**; **7** al **01.01.2023**; **8** al **07.03.2024**; **9** al **31.12.2024**. La componente **ordenada**, indica valores de la **Altura Elipsoidal**, de coordenadas geodésicas, elipsoide GRS80, ITRF2020.

4.2.5.3 Comparación desplazamientos de estaciones PWILL y PTAR, periodo 2017-2024.

Conforme al análisis y productos obtenidos en las estaciones evaluadas, los desplazamientos entre los años 2017 al 2024, han sido heterogéneos en cuanto a su magnitud y dirección. En el periodo 2017-2024, en las estaciones PTAR y PWIL se obtuvieron distintos desplazamientos.

Tabla 12

Desplazamientos horizontales temporales periodo 2017-2024, en estaciones PTAR y PWIL.

ESTACION	DESPLAZAMIENTOS	DESPLAZAMIENTOS
	HORIZONTALES	ANUAL PROMEDIO
	2017-2024 (cm./8 años)	APROXIMADO (cm./año)
PTAR	11.3	1.4
PWIL	12.8	1.6

Nota. Los desplazamientos se calcularon en base a soluciones diarias obtenidas para cada estación, entre ubicaciones temporales estaciones, se calculó distancias geodésicas, que representa desplazamientos.

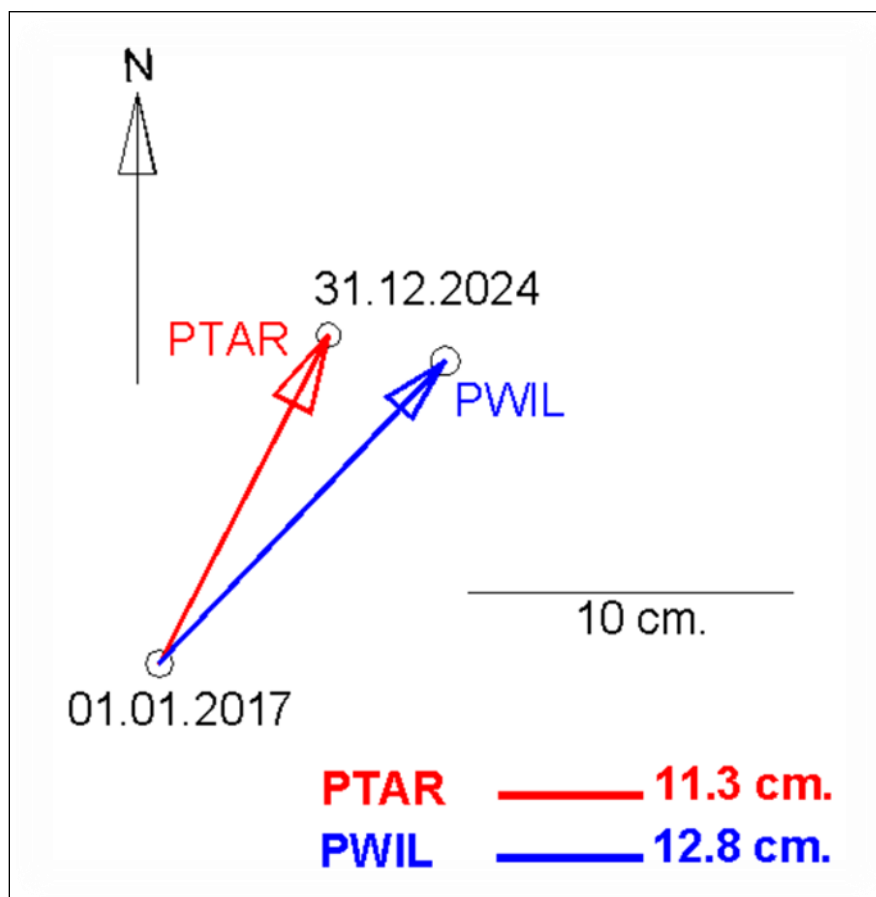
Comparando la dirección del desplazamiento entre la estación PTAR y PWIL, tomadas en el periodo de estudio, difieren.

La estación PWIL en el periodo de estudio tomando como referencia soluciones diarias del 01.01.2017 y 31.12.2024, se obtuvo desplazamiento de 12.8 cm., Azimut directo 42° 4' 54.94".

La estación PTAR en el periodo de estudio tomando como referencia soluciones diarias del 01.01.2017 y 31.12.2024, se obtuvo desplazamiento de 11.3 cm., Azimut directo 28° 30' 44.03".

Figura 124

Representa a los vectores desplazamiento horizontal, calculado a partir de ubicaciones temporales obtenidas de las soluciones diarias para estaciones PTAR y PWIL, en el periodo 2017 al 2024.



Nota. Tomando como referencia coordenadas geodésicas GRS80, ITRF2020, obtenidas de soluciones diarias para cada estación, según disponibilidad de data histórica. Con fines de visualización referencial, se presenta comparación de magnitud y orientación de los desplazamientos, representados por distancias geodésicas calculadas para cada estación, comparaciones vectores de desplazamientos.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se aprecia que las soluciones diarias referenciales obtenidas para la componente vertical altura elipsoidal, son irregulares. Referencialmente comparado la Altura Elipsoidal obtenida soluciones días 01.01.2017 y 31.12.2024, se aprecia muy ligera variación, levantamiento de la estación PTAR y PWIL.

Tabla 13

Desplazamientos verticales temporales periodo 2017-2024, en estaciones PTAR y PWIL.

ESTIMACION DE DESPLAZAMIENTOS VERTICALES 2017- 2024 (cm./8 años)		TIPO DEFORMACION
ESTACION		
PTAR	1	LEVANTAMIENTO
PWIL	0.4	LEVANTAMIENTO

Nota. Los desplazamientos se calcularon en base coordenadas geodésicas GRS80, ITRF2020, alturas elipsoidales, obtenidas de las soluciones diarias para cada estación, componente vertical.

4.3. Contrastación de la hipótesis

Se realizará con el uso test estadístico permitirá estimar si decidimos permanecer con la hipótesis de investigación o no. Se someterá el test t-student, criterio de significación 0.05 (5%), el cual es evaluado en Excel, con las consecuentes ponderaciones: $p > 0.05$ NO se puede negar la hipótesis nula y NO se puede probar que la hipótesis de la investigación sea verdadera. (no pretende decir que la Hipótesis Nula sea verdadera, sino que no la podemos rechazar).

4.3.1 Contrastación de la hipótesis estación QTAY

4.3.1.1. Componente Latitud

Hipótesis Nula

No existe relación entre la cuantificación de los desplazamientos de estaciones de referencia como consecuencia de los sismos y su impacto significativo en la componente latitud.

Hipótesis Alterna

Existe relación entre la cuantificación de los desplazamientos de estaciones de referencia como consecuencia de los sismos y su impacto en la componente Latitud.

Tabla 14

Desplazamientos horizontales temporales (metros) periodo 22.04.2017 – 27.04.2017, y variación en la componente Latitud (segundos), en estación QTAY, ubicado próximo al sismo del 24.07.2017.

ESTACION	FECHAS DE SOLUCION FINAL PROCESADA DE OBSERVACIONES Y UBICACIÓN DE LA ESTACION QTAY POR DIA DEL AÑO 2017		DESPLAZAMIENTOS: DISTANCIA ELIPSOIDAL (m.) OBTENIDA DE SOLUCIONES FINALES DIARIAS (DE "A" A "B")	COORDENADAS GEODESICAS: LATITUD POR DIA, AÑO 2017		
	A	B		INICIAL	GRADOS, MINUTOS, SEGUNDOS	SOLO SEGUNDOS (*)
QTAY	112	113	0.005	-33° 11' 33.80362" (112)	-33° 11' 33.80348" (113)	33.80348
QTAY	113	115	0.037		-33° 11' 33.80312" (115)	33.80312
QTAY	115	116	0.004		-33° 11' 33.80311" (116)	33.80311
QTAY	116	117	0.001		-33° 11' 33.80310" (117)	33.80310

Nota. Los desplazamientos horizontales (distancias elipsoidales), se calcularon en base a soluciones diarias obtenidas para la estación **QTAY**. A y B representan fechas: 112 al **22.04.2017**;

Tabla 15

Desplazamientos horizontales temporales (metros) periodo 22.04.2017 – 27.04.2017, y variación en la componente Longitud (segundos), en estación QTAY, ubicado próximo al sismo del 24.07.2017.

ESTACION	FECHAS DE SOLUCION FINAL PROCESADA DE OBSERVACIONES Y VARIACION DE LA ESTACION		DESPLAZAMIENTOS: DISTANCIA ELIPSOIDAL (m.) OBTENIDA DE SOLUCIONES FINALES DIARIAS (DE "A" A "B")	COORDENADAS GEODESICAS: LONGITUD POR DIA, AÑO 2017		
	A	B		INICIAL	GRADOS, MINUTOS, SEGUNDOS	SOLO SEGUNDOS (*)
QTAY	112	113	0.005	-71° 42' 08.07771" (112)	-71° 42' 08.07780" (113)	8.07780
QTAY	113	115	0.037		-71° 42' 08.07917" (115)	8.07917
QTAY	115	116	0.004		-71° 42' 08.07931" (116)	8.07931
QTAY	116	117	0.001		-71° 42' 08.07928" (117)	8.07928

Nota. Los desplazamientos horizontales (distancias elipsoidales), se calcularon en base a soluciones diarias obtenidas para la estación **QTAY**. A y B representan fechas: 112 al **22.04.2017**; 113 al **23.04.2017**; 115 al **25.04.2017**; 116 al **26.04.2017**; 117 al **27.04.2017**. La **Longitud** fue obtenida de las soluciones diarias referidas al elipsoide GRS80, ITRF2020; se observa varían en *segundos*, (*) se someterán pruebas t de student.

Se efectuó la verificación en Excel, que retorna la probabilidad vinculada con la prueba t de student.

Con dos colas de distribución con dos muestras de igual varianza.

Prueba T = $p = 0.0000000000000000902511725$

$0.0000000000000000902511725 < 0.05$

$p < 0.05$

Al ser $p = 0.0000000000000000902511725$ menor a 0.05, rechazamos la hipótesis nula, quedándonos con la hipótesis alterna de la componente Longitud.

4.3.1.3. Componente Altura Elipsoidal estación QTAY

Hipótesis Nula

No existe relación entre la cuantificación de los desplazamientos horizontales de estaciones de referencia como consecuencia de los sismos y su impacto significativo en la componente Altura Elipsoidal.

Hipótesis Alterna

Existe relación entre la cuantificación de los desplazamientos de estaciones de referencia como consecuencia de los sismos y su impacto en la componente Altura Elipsoidal.

Tabla 16

Desplazamientos verticales temporales (metros) periodo 22.04.2017 – 27.04.2017, y variación en la componente Altura Elipsoidal (metros), en estación QTAY, ubicado próximo al sismo del 24.07.2017.

ESTACION	FECHAS DE SOLUCION FINAL PROCESADA DE OBSERVACIONES Y UBICACIÓN DE LA		DESPLAZAMIENTOS: DISTANCIA ELIPSOIDAL (m.) OBTENIDA DE SOLUCIONES FINALES DIARIAS (DE "A" A "B")	COORDENADAS GEODESICAS: ALTURA ELIPSOIDAL (HAE), POR DIA, AÑO 2017		
	A	B		HAE INICIAL (m.)	HAE POR FECHAS (m.)	HAE (m.)
QTAY	112	113	0.005	39.767 (112)	39.767 (113)	39.767
QTAY	113	115	0.037		39.744 (115)	39.744
QTAY	115	116	0.004		39.741 (116)	39.741
QTAY	116	117	0.001		39.741 (117)	39.741

Nota. Los desplazamientos horizontales (distancias elipsoidales), se calcularon en base a soluciones diarias obtenidas para la estación **QTAY**. A y B representan fechas: 112 al **22.04.2017**; 113 al **23.04.2017**; 115 al **25.04.2017**; 116 al **26.04.2017**; 117 al **27.04.2017**. La **Altura Elipsoidal** fue obtenida de las soluciones diarias referidas al elipsoide GRS80, ITRF2020; se observa algunos varían, se someterán pruebas t de student.

Se efectuó la verificación en Excel, que retorna la probabilidad vinculada con la prueba t de student.

Con dos colas de distribución con dos muestras de igual varianza.

Prueba T = p = 0.00000000000000000000235289

$$0.000000000000000000000000235289 < 0.05$$

$$p < 0.05$$

Al ser $p = 0.000000000000000000235289$ menor a 0.05, rechazamos la hipótesis nula, quedándonos con la hipótesis alterna de la componente Altura elipsoidal.

4.3.2. Contratación de la hipótesis estación CTPC

4.3.2.1. Komponente Latitud

Hipótesis Nula

No existe relación entre la cuantificación de los desplazamientos de estaciones de referencia como consecuencia de los sismos y su impacto significativo en la componente latitud.

Hipótesis Alterna

Existe relación entre la cuantificación de los desplazamientos de estaciones de referencia como consecuencia de los sismos y su impacto en la componente Latitud.

Tabla 17

Desplazamientos horizontales temporales (metros) periodo 22.04.2017 – 27.04.2017, y variación en la componente Latitud (segundos), en estación CTPC, ubicado próximo al sismo del 24.07.2017.

ESTACION	FECHAS DE SOLUCION FINAL PROCESADA DE OBSERVACIONES Y UBICACIÓN DE LA ESTACION		DESPLAZAMIENTOS: DISTANCIA ELIPSOIDAL (m.) OBTENIDA DE SOLUCIONES FINALES DIARIAS (DE "A" A "B")	COORDENADAS GEODESICAS: LATITUD POR DIA, AÑO 2017		
	A	B		INICIAL	DIARIO	SOLO SEGUNDOS
CTPC	112	113	0.002	-32° 33' 40.10235" (112)	-32° 33' 40.10235" (113)	40.10235
CTPC	113	115	0.003		-32° 33' 40.10246" (115)	40.10246
CTPC	115	116	0.003		-32° 33' 40.10249" (116)	40.10249
CTPC	116	117	0.002		-32° 33' 40.10248" (117)	40.10248

Nota. Los desplazamientos horizontales (distancias elipsoidales), se calcularon en base a soluciones diarias obtenidas para la estación **CTPC**. A y B representan fechas: 112 al **22.04.2017**; 113 al **23.04.2017**; 115 al **25.04.2017**; 116 al **26.04.2017**; 117 al **27.04.2017**. La Latitud fue obtenida de las soluciones diarias referidas al elipsoide GRS80, ITRF2020; se observa varían en *segundos*, (*) se someterán pruebas t de student.

Se efectuó la verificación en Excel, que retorna la probabilidad vinculada con la prueba t de student.

Con dos colas de distribución con dos muestras de igual varianza.

Prueba T = p = 0.0000000000000000000000000000975175

$$0.0000000000000000000000000000975175 < 0.05$$

$p < 0.05$

Al ser $p = 0.000000000000000000000000975175$ menor a 0.05, rechazamos la hipótesis nula, quedándonos con la hipótesis alterna de la componente Latitud.

4.3.2.2. Componente Longitud estación CTPC

Hipótesis Nula

No existe relación entre la cuantificación de los desplazamientos de estaciones de referencia como consecuencia de los sismos y su impacto significativo en la componente longitud.

Hipótesis Alternativa

Existe relación entre la cuantificación de los desplazamientos de estaciones de referencia como consecuencia de los sismos y su impacto en la componente Longitud.

Tabla 18

Desplazamientos horizontales temporales (metros) periodo 22.04.2017 – 27.04.2017, y variación en la componente Longitud (segundos), en estación CTPC, ubicado próximo al sismo del 24.07.2017.

ESTACION	FECHAS DE SOLUCION FINAL PROCESADA DE OBSERVACIONES Y UBICACIÓN DE LA		DESPLAZAMIE NTOS: DISTANCIA ELIPSOIDAL (m.) OBTENIDA DE SOLUCIONES FINALES DIARIAS (DE "A" A "B")	COORDENADAS GEODESICAS: LONGITUD POR DIA, AÑO 2017		
	A	B		INICIAL	DIARIO	SOLO SEGUNDOS
CTPC	112	113	0.002	-71° 17' 51.36800" (112)	-71° 17' 51.36808" (113)	51.36808
CTPC	113	115	0.003		-71° 17' 51.36808" (115)	51.36808
CTPC	115	116	0.003		-71° 17' 51.36817" (116)	51.36817
CTPC	116	117	0.002		-71° 17' 51.36811" (117)	51.36811

Nota. Los desplazamientos horizontales (distancias elipsoidales), se calcularon en base a soluciones diarias obtenidas para la estación **CTPC**. A y B representan fechas: 112 al **22.04.2017**; 113 al **23.04.2017**; 115 al **25.04.2017**; 116 al **26.04.2017**; 117 al **27.04.2017**. La **Longitud** fue obtenida de las soluciones diarias referidas al elipsoide GRS80, ITRF2020; se observa varían en *segundos*, (*) se someterán pruebas t de student.

Se efectuó la verificación en Excel, que retorna la probabilidad vinculada con la prueba t de student.

Con dos colas de distribución con dos muestras de igual varianza.

Tabla 19

Desplazamientos verticales temporales (metros) periodo 22.04.2017 – 27.04.2017, y variación en la componente Altura Elipsoidal (metros), en estación CTPC, ubicado próximo al sismo del 24.07.2017.

ESTACION	FECHAS DE SOLUCION FINAL PROCESADA DE OBSERVACIONES Y UBICACIÓN DE LA		DESPLAZAMIENTOS: DISTANCIA ELIPSOIDAL (m.) OBTENIDA DE SOLUCIONES FINALES DIARIAS (DE "A" A "B")	COORDENADAS GEODESICAS: ALTURA ELIPSOIDAL (HAE), POR DIA, AÑO 2017		
	A	B		HAE INICIAL (m.)	HAE POR FECHAS (m.)	HAE (m.)
CTPC	112	113	0.002	104.666 (112)	104.668 (113)	104.668
CTPC	113	115	0.003		104.657 (115)	104.657
CTPC	115	116	0.003		104.657 (116)	104.657
CTPC	116	117	0.002		104.660 (117)	104.66

Nota. Los desplazamientos horizontales (distancias elipsoidales), se calcularon en base a soluciones diarias obtenidas para la estación **CTPC**. A y B representan fechas: 112 al **22.04.2017**; 113 al **23.04.2017**; 115 al **25.04.2017**; 116 al **26.04.2017**; 117 al **27.04.2017**. La **Altura elipsoidal** (HAE) fue obtenida de las soluciones diarias referidas al elipsoide GRS80, ITRF2020; se observa algunos varían, se someterán pruebas t de student.

Se efectuó la verificación en Excel, que retorna la probabilidad vinculada con la prueba t de student.

Con dos colas de distribución con dos muestras de igual varianza.

Tabla 20

Desplazamientos horizontales temporales (metros) periodo 22.04.2017 – 27.04.2017, y variación en la componente Latitud (segundos), en estación ROB1, ubicado próximo al sismo del 24.07.2017.

ESTACION	FECHAS DE SOLUCION FINAL PROCESADA DE OBSERVACIONES Y		DESPLAZAMIENTOS: DISTANCIA ELIPSOIDAL (m.) OBTENIDA DE SOLUCIONES FINALES DIARIAS (DE "A" A "B")	COORDENADAS GEODESICAS: LATITUD POR DIA, AÑO 2017		
	A	B		INICIAL	DIARIO	SOLO SEGUNDOS
ROB1	112	113	0.002	-32° 58' 32.97212" (112)	-32° 58' 32.97213" (113)	32.97213
ROB1	113	115	0.006		-32° 58' 32.97220" (115)	32.97220
ROB1	115	116	0.003		-32° 58' 32.97223" (116)	32.97223
ROB1	116	117	0.002		-32° 58' 32.97221" (117)	32.97221

Nota. Los desplazamientos horizontales (distancias elipsoidales), se calcularon en base a soluciones diarias obtenidas para la estación **ROB1**. A y B representan fechas: 112 al **22.04.2017**; 113 al **23.04.2017**; 115 al **25.04.2017**; 116 al **26.04.2017**; 117 al **27.04.2017**. La Latitud fue obtenida de las soluciones diarias referidas al elipsoide GRS80, ITRF2020; se observa varían en *segundos*, se someterán pruebas t de student.

Se efectuó la verificación en Excel, que retorna la probabilidad vinculada con la prueba t de student.

Con dos colas de distribución con dos muestras de igual varianza.

Tabla 21

Desplazamientos horizontales temporales (metros) periodo 22.04.2017 – 27.04.2017, y variación en la componente Longitud (segundos), en estación ROB1, ubicado próximo al sismo del 24.07.2017.

ESTACION	FECHAS DE SOLUCION FINAL PROCESADA DE OBSERVACIONES Y UBICACIÓN DE LA ESTACION		DESPLAZAMIENTOS: DISTANCIA ELIPSOIDAL (m.) OBTENIDA DE SOLUCIONES FINALES DIARIAS (DE "A" A "B")	COORDENADAS GEODESICAS: LONGITUD POR DIA, AÑO 2017		
	A	B		INICIAL	DIARIO	SOLO SEGUNDOS
ROB1	112	113	0.002	-71° 00' 57.04299" (112)	-71° 00' 57.04307" (113)	57.04307
ROB1	113	115	0.006		-71° 00' 57.04330" (115)	57.04330
ROB1	115	116	0.003		-71° 00' 57.04339" (116)	57.04339
ROB1	116	117	0.002		-71° 00' 57.04333" (117)	57.04333

Nota. Los desplazamientos horizontales (distancias elipsoidales), se calcularon en base a soluciones diarias obtenidas para la estación **ROB1**. A y B representan fechas: 112 al **22.04.2017**; 113 al **23.04.2017**; 115 al **25.04.2017**; 116 al **26.04.2017**; 117 al **27.04.2017**. La **Longitud** fue obtenida de las soluciones diarias referidas al elipsoide GRS80, ITRF2020; se observa varían en *segundos*, se someterán pruebas t de student.

Tabla 22

Desplazamientos verticales temporales (metros) periodo 22.04.2017 – 27.04.2017, y variación en la componente Altura Elipsoidal (metros), en estación ROB1, ubicado próximo al sismo del 24.07.2017.

ESTACION	FECHAS DE SOLUCION FINAL PROCESADA DE OBSERVACIONES Y UBICACIÓN DE LA		DESPLAZAMIENTOS: DISTANCIA ELIPSOIDAL (m.) OBTENIDA DE SOLUCIONES FINALES DIARIAS (DE "A" A "B")	COORDENADAS GEODESICAS: ALTURA ELIPSOIDAL (HAE), POR DIA, AÑO 2017		
	A	B		HAE INICIAL (m.)	HAE POR FECHAS (m.)	HAE (m.)
ROB1	112	113	0.002	2208.682(112)	2208.687 (113)	2208.687
ROB1	113	115	0.006		2208.676 (115)	2208.676
ROB1	115	116	0.003		2208.679 (116)	2208.679
ROB1	116	117	0.002		2208.679 (117)	2208.68

Nota. Los desplazamientos horizontales (distancias elipsoidales), se calcularon en base a soluciones diarias obtenidas para la estación **ROB1**. A y B representan fechas: 112 al **22.04.2017**; 113 al **23.04.2017**; 115 al **25.04.2017**; 116 al **26.04.2017**; 117 al **27.04.2017**. La **Altura Elipsoidal** fue obtenida de las soluciones diarias referidas al elipsoide GRS80, ITRF2020; se observa algunos varían, se someterán pruebas t de student.

Se efectuó la verificación en Excel, que retorna la probabilidad vinculada con la prueba t de student.

Tabla 23

Desplazamientos horizontales temporales (metros) periodo 22.04.2017 – 27.04.2017, y variación en la componente Latitud (segundos), en estación TRPD, ubicado próximo al sismo del 24.07.2017.

ESTACION	FECHAS DE SOLUCION FINAL PROCESADA DE OBSERVACIONES Y UBICACIÓN DE LA ESTACION		DESPLAZAMIENTOS: DISTANCIA ELIPSOIDAL (m.) OBTENIDA DE SOLUCIONES FINALES DIARIAS (DE "A" A "B")	COORDENADAS GEODESICAS: LATITUD POR DIA, AÑO 2017		
	A	B		INICIAL	DIARIO	SOLO SEGUNDOS
TRPD	112	113	0.004	-33° 01' 22.11888" (112)	-33° 01' 22.11880" (113)	22.1188
TRPD	113	115	0.044		-33° 01' 22.11907" (115)	22.11907
TRPD	115	116	0.003		-33° 01' 22.11907" (116)	22.11907
TRPD	116	117	0.001		-32° 01' 22.11909" (117)	22.11909

Nota. Los desplazamientos horizontales (distancias elipsoidales), se calcularon en base a soluciones diarias obtenidas para la estación **TRPD**. A y B representan fechas: 112 al **22.04.2017**; 113 al **23.04.2017**; 115 al **25.04.2017**; 116 al **26.04.2017**; 117 al **27.04.2017**. La Latitud fue obtenida de las soluciones diarias referidas al elipsoide GRS80, ITRF2020; se observa varían en *segundos*, se someterán pruebas t de student.

Se efectuó la verificación en Excel, que retorna la probabilidad vinculada con la prueba t de student.

Con dos colas de distribución con dos muestras de igual varianza.

Prueba T = $p = 0.00000000000000000071199672014$

$0.00000000000000000071199672014 < 0.05$

$p < 0.05$

Al ser $p = 0.00000000000000000071199672014$ menor a 0.05, rechazamos la hipótesis nula, quedándonos con la hipótesis alterna de la componente Latitud.

4.3.4.2. Componente Longitud estación TRPD

Hipótesis Nula

No existe relación entre la cuantificación de los desplazamientos de estaciones de referencia como consecuencia de los sismos y su impacto significativo en la componente longitud.

Hipótesis Alterna

Existe relación entre la cuantificación de los desplazamientos de estaciones de referencia como consecuencia de los sismos y su impacto en la componente Longitud.

Tabla 24

Desplazamientos horizontales temporales (metros) periodo 22.04.2017 – 27.04.2017, y variación en la componente Longitud (segundos), en estación TRPD, ubicado próximo al sismo del 24.07.2017.

ESTACION	FECHAS DE SOLUCION FINAL PROCESADA DE OBSERVACIONES Y UBICACIÓN DE LA ESTACION		DESPLAZAMIENTOS: DISTANCIA ELIPSOIDAL (m.) OBTENIDA DE SOLUCIONES FINALES DIARIAS (DE "A" A "B")	COORDENADAS GEODESICAS: LONGITUD POR DIA, AÑO 2017		
	A	B		INICIAL	DIARIO	SOLO SEGUNDOS
TRPD	112	113	0.004	-71° 38' 50.88018" (112)	-71° 38' 50.88030" (113)	50.88030
TRPD	113	115	0.044		-71° 38' 50.88197" (115)	50.88197
TRPD	115	116	0.003		-71° 38' 50.88207" (116)	50.88207
TRPD	116	117	0.001		-71° 38' 50.88207" (117)	50.88207

Nota. Los desplazamientos horizontales (distancias elipsoidales), se calcularon en base a soluciones diarias obtenidas para la estación **TRPD**. A y B representan fechas: 112 al **22.04.2017**; 113 al **23.04.2017**; 115 al **25.04.2017**; 116 al **26.04.2017**; 117 al **27.04.2017**. La **Longitud** fue obtenida de las soluciones diarias referidas al elipsoide GRS80, ITRF2020; se observa varían en *segundos*, se someterán pruebas t de student.

Se efectuó la verificación en Excel, que retorna la probabilidad vinculada con la prueba t de student.

Con dos colas de distribución con dos muestras de igual varianza.

Prueba T = $p = 0.00000000000000000004820368637$

$0.00000000000000000004820368637 < 0.05$

$p < 0.05$

Al ser $p = 0.00000000000000000004820368637$ menor a 0.05, rechazamos la hipótesis nula, quedándonos con la hipótesis alterna de la componente Longitud.

4.3.4.3. Componente Altura Elipsoidal estación TRPD

Hipótesis Nula

No existe relación entre la cuantificación de los desplazamientos horizontales de estaciones de referencia como consecuencia de los sismos y su impacto significativo en la componente Altura Elipsoidal.

Hipótesis Alterna

Existe relación entre la cuantificación de los desplazamientos horizontales de estaciones de referencia como consecuencia de los sismos y su impacto en la componente Altura Elipsoidal.

Tabla 25

Desplazamientos horizontales temporales (metros) periodo 22.04.2017 – 27.04.2017, y variación en la componente Altura Elipsoidal (metros), en estación TRPD, ubicado próximo al sismo del 24.07.2017.

ESTACION	FECHAS DE SOLUCION FINAL PROCESADA DE OBSERVACIONES Y UBICACIÓN DE LA		DESPLAZAMIENTOS: DISTANCIA ELIPSOIDAL (m.) OBTENIDA DE SOLUCIONES FINALES DIARIAS (DE "A" A "B")	COORDENADAS GEODESICAS: ALTURA ELIPSOIDAL (HAE), POR DIA, AÑO 2017		
	A	B		HAE INICIAL (m.)	HAE POR FECHAS (m.)	HAE (m.)
TRPD	112	113	0.004	61.763 (112)	61.761 (113)	61.761
TRPD	113	115	0.044		61.735 (115)	61.735
TRPD	115	116	0.003		61.734 (116)	61.734
TRPD	116	117	0.001		61.732 (117)	61.732

Nota. Los desplazamientos horizontales (distancias elipsoidales), se calcularon en base a soluciones diarias obtenidas para la estación **TRPD**. A y B representan fechas: 112 al **22.04.2017**; 113 al **23.04.2017**; 115 al **25.04.2017**; 116 al **26.04.2017**; 117 al **27.04.2017**. La **Altura Elipsoidal** fue obtenida de las soluciones diarias referidas al elipsoide GRS80, ITRF2020; se observa algunos varían, se someterán pruebas t de student.

Se efectuó la verificación en Excel, que retorna la probabilidad vinculada con la prueba t de student.

Con dos colas de distribución con dos muestras de igual varianza.

Prueba T = p = 0.0000000000000000126959159936501

$0.0000000000000000126959159936501 < 0.05$

$p < 0.05$

Al ser $p = 0.0000000000000000126959159936501$ menor a 0.05, rechazamos la hipótesis nula, quedándonos con la hipótesis alterna de la componente Altura elipsoidal.

En la Hipótesis General se planteó que la cuantificación de los desplazamientos de estaciones de referencia como consecuencia de los sismos impacta significativamente en las coordenadas geodésicas en Chile. (2017-2024).

Al ser aceptadas las hipótesis específicas, confirmaron que la cuantificación de desplazamientos de estaciones de referencia como consecuencia de sismos impacta significativamente en componentes Latitud, Longitud y Altura Elipsoidal. Por lo que se acepta la Hipótesis General.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El estudio tuvo como finalidad estimar el impacto de los desplazamientos en las coordenadas geodésicas, al haber un cambio en posición en diferentes tiempos, esto es posible detectarlos y estimarlos calculando soluciones diarias en periodos de tiempo distintos. Al tener una nueva ubicación, las coordenadas varían tanto en su componente horizontal (latitud, longitud) con la vertical (altura elipsoidal).

En los gráficos de series de tiempo se aprecian cambios temporales.

5.1 Análisis e interpretación de resultados

Evaluación e interpretación de resultados relacionados con los objetivos.

Evaluación

Se ha cumplido el objetivo general de la investigación planteado, al determinar su impacto en las **coordenadas geodésicas** mediante la cuantificación de **desplazamientos** de estaciones de referencia como consecuencia de sismos en Chile (2017-2024).

Los objetivos específicos de la investigación de determinar impacto en componentes Latitud, Longitud y Altura Elipsoidal, mediante la cuantificación de desplazamientos de estaciones de referencia como consecuencia de sismos en Chile (2017-2024), han sido pormenorizados apropiadamente.

Interpretación

Se han obtenido soluciones diarias para observaciones anteriores y siguientes a la ocurrencia de sismos, como también días anuales referenciales. El criterio para haber seleccionado sismos de magnitud igual o superior a 6.9 Mww., es referencial, porque próximo a la zona donde se han producido los sismos, se han producido sismos de distintas magnitudes las cuales también

han contribuido a los desplazamientos anuales detectados, así como principalmente la dinámica de subducción de la placa de Nazca con la Placa Sudamericana.

Según el CSN (2019), en el año 2018 se han producido 7,079 sismos cuya magnitud fue igual o superior a 2.5, lo cual refleja en que territorio de Chile es altamente sísmico; con el dato expuesto, se estima que han ocurrido en promedio aproximadamente 19 sismos diarios.

Según CSN (2021), en el año 2020 se ha producido 7,826 sismos con magnitudes entre 2.5 y 7; en base a datos publicitados, estimamos que en promedio ocurrieron 21 sismos diarios.

Según Baño (2019), sobre zonas contacto superficial Placa Nazca y Placa Continental, frente a Valparaíso, indica están bloqueada, acumulando energía. En el presente estudio las estaciones tienen desplazamientos con magnitud diversa.

Según Herrera y Sepúlveda (2025), en el año 2023 se localizaron 6,900 sismos en Chile. Con dicha referencia, se estima promedio aproximado de 19 sismos diarios; es información es importante, permite entender que los desplazamientos no han sido consecuencia de un solo sismo, sino hay sismos cuya magnitud es inferior al estudiado, contribuyen a desplazamientos locales.

Según la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas [FCFM] (2017), estima desplazamiento de **1,35 cm.** como consecuencia del sismo ocurrido el 24.04.2017. No se especificó lugar medido, metodología para obtener resultado, tipo de desplazamiento.

En estaciones próximas al epicentro del sismo del 24.04.2017, en el actual estudio se calcularon desplazamientos tomando como referencia soluciones finales del día anterior (23.04.2017) y siguiente a la ocurrencia del sismo (25.04.2017), calculándose distancia elipsoidal en elipsoide GRS80, ITRF2020, entre soluciones finales (desplazamientos) para la estación QTAY de 0.037 m. (**3.7 cm.**); TRPD de 0.044 m. (**4.4 cm.**).

En el presente estudio se ha estimado la velocidad de desplazamiento de la estación **QTAY** en 0.028 m./año, en dirección Nor Este, obtenidos mediante soluciones diarias 01.01.2018 y 01.01.2019. En la Publicación del CSN (2019) indica convergencia de la Placa de Nazca debajo de la Placa Continental de 6.5 cm. por año (0.065 m.). El tema es determinar en zonas dirección de los procesos de subducción, hará entender que la Placa Sudamericana en la superficie sigue la dirección hacia el Nor Oeste, visualizado para las demás estaciones.

Evaluación e interpretación de resultados vinculados con el Marco Teórico, antecedentes, con otras investigaciones.

Comparaciones con estudios realizados:

Según FCFM (2017), indica la velocidad de desplazamiento de la Placa Nazca es **7 cm./año** en dirección **Este**. No indica la técnica empleada, ni datos adicionales.

En el actual estudio se han estimado desplazamientos anuales en estaciones ubicadas en la Placa Sudamericana.

En la estación **QTAY 0.045 m./año** (01.01.2017 – 01.01.2018) dirección **Nor Oeste**; **0.028 m./año** (01.01.2018 – 01.01.2019) dirección **Nor Este**; **0.033 m./año** (01.01.2021 – 01.01.2022) dirección **Nor Este**; **0.035 m./año** (01.01.2022 – 01.01.2023) dirección **Nor Este**; **0.036 m./año** (01.01.2023 – 01.01.2024) dirección **Nor Este**; **0.028 m./año** (01.01.2024 – 31.12.2024) dirección **Nor Este**.

Según el Centro de Investigación para la Gestión Integrada del Riesgo de Desastres [CIGIDEN] (2025), como consecuencia del sismo del 24.04.2017, el nivel de la costa tiene pequeño descenso.

En el desarrollo del actual estudio, se ha calculado cuantitativamente desplazamiento vertical (variaciones en Altura Elipsoidal) en la estación **QTAY**; tomando como referencia

soluciones finales de fechas previa (23.04.2017) y posterior (25.04.2017) al sismo ocurrido del 24.04.2017, obteniéndose desplazamiento deformación tipo hundimiento de **0.023 m.**, confirmándose cuantitativamente lo afirmado cualitativamente por CIGIDEN (2025).

En el presente estudio, se han estimado velocidades de desplazamiento superficial de las estaciones, de las cuales en la estación **QTAY** solo el vector velocidad del año 2017 tuvo dirección **Nor Oeste**, siendo en los siguientes años direcciones de vectores velocidad de desplazamiento anual en la dirección **Nor Este**.

Covelan y Montes (2024), detallan ubicación de la falla Marga Marga en la Región Valparaíso, Chile.

En el presente trabajo se ha incluido estaciones cercanas a la falla Marga Marga; una de ellas es la estación **QTAY**, ubicada al **Sur Oeste** de la falla. Tomando como referencia soluciones del día previo (23.04.2017) y posterior (25.04.2017) al sismo ocurrido el 24.04.2017, ha tenido desplazamiento horizontal de **0.037 m.** en dirección **Nor Oeste**, **Azimut** directo=**286° 58' 53.47"**.

La estación **TRPD**, está ubicada en el extremo **Nor Oeste** de la Falla Marga Marga, tomando como referencia soluciones del día previo (23.04.2017) y posterior (25.04.2017) al sismo ocurrido el 24.04.2017, ha tenido desplazamiento de **0.044 m.** dirección **Sur Oeste**, **Azimut** directo=**258° 59' 38.59"**.

Por las direcciones de desplazamientos, los resultados contribuyen al entendimiento de la dinámica de la Falla Marga Marga, así como estimar consecuencias locales superficiales del sismo.

VI. CONCLUSIONES

A continuación, se presentan las conclusiones obtenidas al finalizar el presente trabajo:

- a. Los sismos ocurridos en Chile en el periodo 2017-2024, generaron desplazamientos que han impactado en las coordenadas geodésicas de estaciones, variando heterogéneamente sus ubicaciones posteriores a ocurrencia de sismos.

Luego del sismo ocurrido en Chile el **19.07.2024**, se cuantifico para la estación **SRGD** desplazamiento horizontal de **0.007 m.**, mayor a otras estaciones próximas al epicentro del sismo (CBAA, CRIS, CDLC, CJNT); con referencia soluciones días previo y posterior al sismo, **tuvo** impacto las coordenadas geodésicas GRS80, ITRF2020 calculadas para la estación SRGD, día **18.07.2024** = -22° 52' 16.08416", -69° 20' 52.19364", varia al **20.07.2024** = -22° 52' 16.08413", -69° 20' 52.19389".

Luego del sismo ocurrido en Chile el **24.04.2017**, se cuantifico para la estación **TRPD** desplazamiento horizontal de **0.044 m.**, mayor a otras estaciones próximas al epicentro del sismo (QTAY, ROB1, CTPC); con referencia soluciones días previo y posterior al sismo, **tuvo** impacto las coordenadas geodésicas GRS80, ITRF2020 calculadas para la estación **TRPD**, día **23.04.2017** = -33° 01' 22.11880", -71° 38' 50.88030"; varia al **25.04.2017** = -33° 01' 22.11907", -71° 38' 50.88197".

- b. Los sismos ocurridos en Chile en el periodo 2017-2024, generaron desplazamientos horizontales en las estaciones de referencia y variación de coordenadas geodésicas, que impactaron en la componente **Latitud**.

Luego del sismo ocurrido en Chile el **19.07.2024**, se cuantifico para la estación **CRIS** desplazamiento horizontal de **0.005 m.**, con referencia soluciones días previo y posterior

al sismo, **tuvo mayor** impacto en la componente **Latitud** (con referencia a estaciones próximas (CBAA, SRGD, CDLC, CJNT), calculadas para la estación CRIS, día 18.07.2024 = $-24^{\circ} 10' 04.58336''$, $-70^{\circ} 23' 12.47719''$, varia al 20.07.2024 = $-24^{\circ} 10' 04.58342''$, $-70^{\circ} 23' 12.47737''$.

Luego del sismo ocurrido en Chile el 24.04.2017, se cuantifico para la estación QTAY desplazamiento horizontal de 0.037m., con referencia soluciones días previo y posterior al sismo, **tuvo mayor** impacto en la componente **Latitud** (con referencia a estaciones próximas (TRPD, ROB1, CTPC), calculadas para la estación QTAY, día 23.04.2017 = $-33^{\circ} 11' 33.80348''$, $-71^{\circ} 42' 08.07780''$, varia al 25.04.2017 = $-33^{\circ} 11' 33.80312''$, $-71^{\circ} 42' 08.07917''$.

- c. Los sismos ocurridos en Chile en el periodo 2017-2024, generaron desplazamientos horizontales en las estaciones de referencia y variación de coordenadas geodésicas, que impactaron en la componente **Longitud**.

Luego del sismo ocurrido en Chile el 19.07.2024, se cuantifico para la estación SRGD desplazamiento horizontal de 0.007 m., con referencia soluciones días previo y posterior al sismo, **tuvo mayor** impacto en la componente **Longitud** (con referencia a estaciones próximas CBAA, CRIS, CDLC, CJNT), calculadas para la estación SRGD, día 18.07.2024 = $-22^{\circ} 52' 16.08416''$, $-69^{\circ} 20' 52.19364''$, varia al 20.07.2024 = $-22^{\circ} 52' 16.08413''$, $-69^{\circ} 20' 52.19389''$.

Luego del sismo ocurrido en Chile el 24.04.2017, se cuantifico para la estación TRPD desplazamiento horizontal de 0.044 m., con referencia soluciones días previo y posterior al sismo, **tuvo mayor** impacto en la componente **Longitud** (con referencia a estaciones próximas QTAY, ROB1, CTPC), calculadas para la estación TRPD, día 23.04.2017 = -33°

01' 22.11880", -71° 38' **50.88030"**, varia al 25.04.2017 = -33° 01' 22.11907", -71° 38' **50.88197"**.

- d. Los sismos ocurridos en Chile periodo 2017-2024, generaron desplazamientos en las estaciones de referencia y variación de coordenadas geodésicas, impactaron en la componente **Altura Elipsoidal**.

Luego del sismo ocurrido en Chile el **19.07.2024**, se cuantifico para la estación **CJNT** desplazamiento horizontal de 0.003 m., con referencia soluciones días previo y posterior al sismo, **tuvo mayor** impacto en la componente **Altura Elipsoidal** (con referencia a estaciones próximas CBAA, CRIS, CDLC, SRGD), calculadas para la estación **CJNT**, día **18.07.2024** = 5,074.060 m., varia al **20.07.2024** = 5,074.040 m., deformación hundimiento **0.020 m.**

Luego del sismo ocurrido en Chile el **24.04.2017**, se cuantifico para la estación **TRPD** desplazamiento horizontal de 0.044 m., con referencia soluciones días previo y posterior al sismo, **tuvo mayor** impacto en la componente **Altura Elipsoidal** (con referencia a estaciones próximas CTPC, QTAY, ROB1), calculadas para la estación **TRPD**, día **23.04.2017** = 61.761 m., varia al **25.04.2017** = 61.735 m., deformación hundimiento **0.026 m.**

- e. Se puede afirmar que sismos de similar magnitud, como ocurridos el 24.04.2017 y 19.07.2024, tratados en el presente estudio, **no tienen la misma magnitud de desplazamientos, ni direcciones de estos.**
- f. El **sismo ocurrido el 24.04.2017, el hipocentro se ubica a menor profundidad** en comparación del sismo ocurrido el 19.07.2024, según resultados obtenidos en el presente

estudio **producen mayor desplazamiento superficial horizontal** en comparación con el más profundo.

- g. Previo a la ocurrencia del sismo del 24.04.2017, magnitud de 6.9 Mww, han ocurridos **sismos de menor magnitud** en periodo aproximado de 15 días antes y posteriores. El sismo del 24.04.2017 ha producido desplazamientos, pero adicionalmente **se visualizan cambios vectores de velocidad anual** de estaciones.
- h. Los desplazamientos calculados cuantitativamente luego de la ocurrencia de los sismos, en algunas estaciones es inferior al desplazamiento anual calculado para las mismas estaciones.
- i. La dirección de los desplazamientos superficiales calculados anualmente para las estaciones, no han sido modificados significativamente luego de la ocurrencia de sismos.
- j. Los desplazamientos anuales horizontales (calculados en las componentes verticales), siguen una tendencia. Los verticales (calculados en la componente Altura elipsoidal) no siguen tendencia.
- k. La magnitud de los desplazamientos guardan relación con las distancias al epicentro de los sismos. A menor distancia, se producen mayores desplazamientos superficiales horizontales.
- l. Para el cálculo de los desplazamientos anuales, se han considerado referencialmente soluciones diarias, inicios de cada año. Cuando no ha habido disponibilidad de la data, se han considerado fechas más próximas.
- m. En la selección de estaciones, en el presente estudio se han considerado según disponibilidad data de observaciones en fechas próximas a los sismos estudiados, y disponibilidad de observaciones en el periodo de estudio (2017-2024).

- n. Se reafirma no es posible predecir fecha, lugar y magnitud de ocurrencia sismo. La data histórica recopilada en estaciones de observaciones geodésicas satelitales, contribuye a modelar deformaciones superficiales que pueden contribuir a sistemas de alerta temprana.
- o. En el periodo de estudio planteado (2017-2024), en extremo Sur de Chile próximo a la Placa Antártica, no han ocurrido históricamente sismos de considerable magnitud (6.9 Mww a más), no obstante se ha verificado que es limitado la disponibilidad de estaciones operativas ubicadas en la Placa Scotia, la única estación con data disponible facilitada por el Centro Sismológico Nacional perteneciente a la Universidad de Chile, es la estación PWIL (la estación PTON no se publicita data disponible para el periodo de estudio 2017-2024).

VII. RECOMENDACIONES

Se exponen las siguientes recomendaciones teniendo como base el estudio realizado:

- a. Luego de ocurrido los sismos, realizar actualización del marco de referencia geodésico local; calcular vectores desplazamiento cósmico y anual de estaciones ubicadas próximos a sismos, tanto horizontal como vertical, consensuar uso ITRF2020
- b. Actualizar modelos de velocidades anuales de estaciones de observación geodésica, agrupando cada 9° **Latitud** Sur: -18° a -27°, -28° a -37°, -38° a -47°, -48° a -57°.
- c. Sugerir implementación mantenimiento y disponibilidad de data de observación geodésica correspondiente a estaciones ubicadas en la Placa de Nazca, frente a costas de Chile, ubicadas desde -70° hasta -120° **Longitud** Oeste.
- d. Generar vectores de desplazamiento *vertical* considerando **Altura Elipsoidal**, por cada estación, co-sísmico y anual, que permita evaluar magnitud de desplazamientos verticales, tipo de deformación temporal.
- e. Usar coordenadas obtenidas de las soluciones del procesamiento de observaciones geodésicas satelitales recolectadas en días posteriores a sismos. De usarse para trabajos de precisión valores de coordenadas (Latitud, Longitud, Altura elipsoidal) soluciones obtenidas de observaciones de día/s previos al sismo, tomarlos como referencia bases de partida en levantamientos diversos y/o ajustes de red/es, ocasionarían errores iniciales en la ubicación espacial propagando y degradando niveles de precisión heterogéneos productos levantamientos geodésicos, topográficos, cartográficos, entre otros.

- f. Especificar en estudios el tipo de distancias tomadas de estación de referencia al epicentro de sismos (distancias planas calculada en algún tipo de proyección cartográfica, distancias inclinadas, distancias elipsoidales), permitirá mayor precisión al efectuar comparaciones entre resultados obtenidos, homogenizar referencias utilizadas por colegas investigadores. En el presente estudio se ha precisado que las distancias horizontales calculadas desde las estaciones a epicentros de sismos, corresponden a distancias elipsoidales (distancias geodésicas). Se ha podido verificar algunas distancias horizontales de estaciones a epicentros de sismos publicitados en algunos estudios e investigaciones, no especifican el tipo usado.
- g. Complementar dinámica de desplazamientos anuales en las estaciones incluidas en el presente estudio, con estudios previos y posteriores al periodo de estudio; podrían contribuir en advertir posible acumulación de energía y/o probable activación de fallas.
- h. Con mucho respeto a colegas administradores del Centro Sismológico Nacional de la Universidad de Chile, felicitarles por su gran aporte a las investigaciones; sugerir que la información contenida en archivos de observaciones de estaciones en formato Rinex, especifiquen o confirmen referencia altura de la antena corresponden: 1. Centro de fase de la antena o 2. Parte inferior del soporte de la antena, u 3. Otro. Reiterar sincero agradecimiento, resaltar su contribución muy importante a investigaciones de la comunidad científica internacional con datos proporcionados de observaciones, ejemplo que deberían ser imitados por otros países.
- i. Verificar disponibilidad operatividad continua de estaciones ubicadas en la Placa de Nazca, próximo al territorio de Chile (Zona 18, Sur, UTM, Islas del Océano Pacífico), data disponible, permitirá a futuro complementar realizar estudios y estimar

desplazamientos de las estaciones próximas a epicentros de sismos ubicados en la Placa de Nazca, de ser posible responsables puedan incluir mensajes temporales que adviertan casos que han obstaculizado implementación, difusión, disponibilidad data u operatividad

- j. A instituciones que disponen estaciones de recolección de observaciones geodésicas satelitales continuas, ubicadas en países de Sudamérica, dependientes de entes gubernamentales u otros organismos académicos y/o de investigación no gubernamental, consideren el libre acceso y disposición de observaciones satelitales geodésicas históricas de estaciones data en formato Rinex, contribuirá a ampliar posibilidades de realizar mayores investigaciones, modelar desplazamientos, estimar velocidades, así como dirección de las mismas, mejorar del conocimiento de la dinámica superficial, así como para los sistemas de alerta temprana
- k. A las autoridades gubernamentales de Chile, Centros de investigación, puedan evaluar instalación de estaciones adicionales para recolección de observaciones satelitales geodésicas, adicionales a las que dispone el Centro Sismológico Nacional perteneciente a la Universidad de Chile, contribuirá a realizar estudios y a un mayor conocimiento de la dinámica de la zona de subducción y/o colisión entre Placas: Nazca, Sudamericana, Scotia, Antártica.

Las estaciones de recolección de observaciones satelitales geodésicas sugeridas evaluar a futuro, estudio implementación establecimiento y operatividad:

1. Dos estaciones en la Isla Hornos, que forma parte del grupo de Islas Hermite, Parque Nacional Cabo de Hornos, ámbito Placa Scotia. Se sugiere ubicarlos en zona próximo a infraestructura existente (Faro, Monumento, otros), aproximadamente $-55^{\circ}57'48''$ S,

-67°13 18" W, en zonas estables, de ser posible cimentadas en roca ígnea intrusiva. Las estaciones de observación podrían estar separadas entre sí aproximadamente mínimo 1 km.; permitirá realizar análisis comparativos, corroborar calibración equipos (centros de fase de antenas, otros), tener continuidad de data histórica ante eventos imprevistos que puedan afectarlas a alguna estación.

2. Una estación a ser ubicada en el Parque Nacional Alberto Agostini, de ser posible considerando accesibilidad seguridad y apoyo logístico; podría sugerirse evaluar ubicarlo próximo a Isla Gordon (aproximadamente -55° S, -69° 45' W), o de ser factible en alguna zona de Islas (Stewart, London, Caroline, Tomas, otros).

3. Una estación de recolección de observaciones satelitales geodésicas sugeridas, a ubicarse en ámbito de la Placa Sudamericana: Podría sugerirse ubicarse en Puerto Harris, Isla Dawson, aproximadamente -53° 55' 15" S, -70° 27' 20" W. Al estar próximo: Sistema Fallas Magallanes - Fagnano, Placa Scotia, zona epicentro del sismo del año 17.12.1949, zona de probable acumulación de energía.

VIII. REFERENCIAS

- Acevedo, J. (2021). *Análisis de las intensidades de los sismos del 21/marzo/1947, 28/marzo/1965, 26/septiembre/1967, 08/julio/1971, 12/noviembre/1974, 04/junio/1975, 14/octubre/1997, y su relación con la placa de nazca y efectos locales*. [Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile]. Repositorio Institucional Universidad de Chile.
<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/180054>
- Actualidad, Noticias (2023). *Historia sísmica de la región de Magallanes y la Antártica chilena*. Facultad de Ingeniería, Universidad del Desarrollo.
<https://ingenieria.udd.cl/noticias/2023/04/historia-sismica-de-la-region-de-magallanes-y-la-antartica-chilena/>
- Aguilar, R., Zevallos, M., Palacios, J., García, L. y Menéndez, E. (2016). Necesidad de Reforzar las Estructuras Afectadas por un Terremoto. *Revista RIEMAT*, 1, 17-24.
<https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Riemat/article/download/200/159>
- Alarcón, J. y Franco, G. (2010). El terremoto de magnitud 8,8 de Maule (Chile) Evaluación sísmológica y observaciones del estudio de campo. *Revista TRÉBOL* 55(XV), 5-17.
<http://www.mapfre.com/mapfrere/docs/html/revistas/trebol/n55/docs/Revista-TREBOL-55.pdf>
- Altamimi, Z., Métivier, L., Rebischung, P., Collilieux, X., Chanard, K., y Barnéoud, J. (2023). ITRF2020 Plate Motion Model. *Geophysical Research Letters*, 50, 1-7.
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2023GL106373>

- Barrientos, S. (2010). Terremoto ($M=8.8$) del 27 de febrero de 2010 en Chile. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 67, 412-420.
<https://revista.geologica.org.ar/raga/article/view/655/703>
- Barrientos y el Equipo CSN (2017). Reporte de Secuencia Sísmica Abril 2017. *Centro Sismológico Nacional, Universidad de Chile*.
<https://uchile.cl/dam/jcr:7066ef47-2e66-4a64-8020-9259943d8395/reporte-sismicidad-abril-2017.pdf>
- Baño, A. (2019). *Investigación identifica área de potencial terremoto sobre 8 en Región de Valparaíso*. Departamento de Geofísica, Universidad de Concepción.
<https://www.dgeo.udec.cl/blog/2018/12/28/investigacion-identifica-area-de-potencial-terremoto-sobre-8-en-region-de-valparaiso/>
- Becerra, V. (2018). *Caracterización de los Procesos de Deformación Asociados al Terremoto de Pisagua (M_w 8.2) 2014 mediante el uso de observaciones del Sistema de Posicionamiento Global (GPS)*. [Tesis para optar el grado de Magíster en Ciencias, Mención Geofísica. Universidad de Chile]. Repositorio Institucional Universidad de Chile.
<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/168617>
- Benito, B. (s.f.). *Geología, terremotos y riesgo sísmico: avances y Perspectivas*. Universidad Autónoma de Madrid.
https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/678735/EM_45_8.pdf
- Bernardin, M. (2019). *Origen del desplazamiento co-sísmico y post-sísmico para el terremoto de Tohoku Oki 2011*. [Trabajo para optar al título de Geofísico, Universidad de Concepción]. Repositorio Institucional Universidad de Concepción.

https://www.dgeo.udec.cl/wp-content/uploads/2019/07/Marcelo_Bernardin_HP_FINAL.pdf

Biblioteca Nacional de Chile (2025). Terremoto del 22 de mayo de 1960, Valdivia. Memoria Chilena.

<https://www.memoriachilena.gob.cl/602/w3-article-98075.html>

Bollini, M. (2021). *Modelado de fuente sísmica mediante inversión de Forma de onda. Aplicación en tierra del fuego*. [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de la Plata]. Repositorio Institucional Universidad Nacional de la Plata.

https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/124830/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Brunini, C. (s.f.). *Sistema y marco de referencia terrestre*. SEDICI, Universidad Nacional de La Plata.

<https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/135737/Resumen.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Camisay, M., Ubertone Baumhauer, N., Engelman, J., Mateo, M, Mackern1, M. (s.f.). *Cálculo de desplazamientos sísmicos mediante GNSS y su correlación con instrumentos sismológicos*. Sistema de Referencia Geodésico para las Américas.

https://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Bol22/16_Camisay_et_al_2017_Desplazamientos_sismicos_GNSS_y_sismologicos.pdf

Camisay, M. F., Rosell, P. A., Mackern, M. V., Mateo, M. L., Weidmann, T., y Gonzalez Romo, A. (2020). Estimación rápida de desplazamientos co-sísmicos mediante estaciones de Posicionamiento Satelital Global. Comparación con interferometría de radar. *Revista Investigación, Ciencia y Universidad*, 4, 29-40.

<https://doi.org/10.59872/icu.v4i5.345>

Cano, J. (2020). *Aplicación de los Servicios Proporcionados por una Red Geodésica Activa en Ingeniería Civil y Minería*. [Tesis Doctoral, Universidad de Córdoba]. Repositorio Institucional Universidad de Córdoba.

<https://helvia.uco.es/xmlui/handle/10396/20500>

Carbajal, H. (2022). *Caracterización de parámetros de señales sísmicas mediante inteligencia artificial*. [Tesis de Maestría, Instituto Tecnológico de la Paz]. Repositorio Institucional Instituto Tecnológico de la Paz.

https://rinacional.tecnm.mx/jspui/bitstream/TecNM/7596/1/Tesis_Hector_Carbajal.pdf

Cárdenas, R. (2021). Desplazamiento de los vértices geodésicos a causa del terremoto del 27 de febrero de 2010 desde las regiones del Maule hasta Los Lagos, Chile. *Revista Geográfica de Chile Terra Australis*, 57, 75-87.

<https://www.revistaterraaustralis.cl/index.php/rgch/article/view/102>

Centro Nacional de Prevención de Desastres [CENAPRED] (2021). Estadísticas de daños, Regionalización sísmica, Efectos de sitio. En CENAPRED, *Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México, Atlas Nacional de Riesgos de la República Mexicana* (pp. 12-47).

[https://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/36-](https://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/36-DIAGNOSTICODEPELIGROSEIDENTIFICACINDERIESGOSDEDESASTRESENMXICO.PDF)

[DIAGNOSTICODEPELIGROSEIDENTIFICACINDERIESGOSDEDESASTRESENMXICO.PDF](https://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/36-DIAGNOSTICODEPELIGROSEIDENTIFICACINDERIESGOSDEDESASTRESENMXICO.PDF)

Centro de Investigación para la Gestión Integrada del Riesgo de Desastres [CIGIDEN] (2025). Contexto, modelo de ruptura y efecto de tsunamis del terremoto de Valparaíso 24/04/2017. Centro de Investigación para la Gestión Integrada del Riesgo de Desastres.

<https://www.cigiden.cl/contexto-modelo-de-ruptura-y-efecto-de-tsunami-del-terremoto-de-valparaiso-24042017/>

Centro Sismológico Nacional [CSN] (2017). *Informe Actividad Sísmica 19 de Febrero de 2017, Región del Bío-Bío*. Centro Sismológico Nacional, Universidad de Chile.

https://www.csn.uchile.cl/wp-content/uploads/2017/02/INFORME_Sismicidad-19Febrero2017.pdf

Centro Sismológico Nacional [CSN] (2019). *Resumen Actividad Sísmica Anual en Chile 2018*. Centro Sismológico Nacional, Universidad de Chile.

<https://www.csn.uchile.cl/wp-content/uploads/2019/01/Sismicidad-Chile-anual-reporte.pdf>

Centro Sismológico Nacional [CSN] (2021). *Centro Sismológico Nacional localizo 7.826 sismos en Chile durante el 2020*. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

<https://ingenieria.uchile.cl/noticias/172624/csnl-localizo-7826-sismos-en-chile-durante-el-2020>

Centro Sismológico Nacional [CSN] (2025a). *Glosario*. Centro Sismológico Nacional, Universidad de Chile.

<https://www.sismologia.cl/informacion/glosario.html>

Centro Sismológico Nacional [CSN] (2025b). *SISMICIDAD. Centro Sismológico Nacional, Universidad de Chile*.

<https://www.sismologia.cl/sismicidad/catalogo/2026/01/20260117.html>

Chile-catástrofes-tragedias (s.f.). Terremoto de Pta. Arenas, 17 de Diciembre de 1949. *Chile-catástrofes-tragedias*.

<https://chile-catastrofes-tragedias.blogspot.com/2014/06/terremoto-de-pta.html>

Cogliano, DD. (s.f.). *Geodesia Física, Marco conceptual*. SEDICI, Universidad Nacional de La Plata.

<https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/135766/Resumen.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Covelan, F. y Montes, C. (2024). ¿Cuáles son los próximos terremotos que se esperan en el país y dónde? *Diario La Tercera*.

<https://www.latercera.com/que-pasa/noticia/cuales-son-los-proximos-terremotos-que-se-esperan-en-el-pais-y-donde/G3K2DWXDFBHIHDIMLSXIWGNIL4/>

Egger, A. (s.f.). *Placas Tectónicas. Placas Tectónicas I: Desde las primeras ideas hasta el mapeo del fondo del océano*. Visionlearning.

<https://www.visionlearning.com/es/library/Ciencias-de-la-Tierra/6/Placas-Tect%F3nicas-I/65>

Espindola, V. y Pérez, X. (2018). ¿Qué son los sismos, dónde ocurren y cómo se miden? *Revista Ciencia*, 69 (3), 10-15.

https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/69_3/PDF/QueSonSismos.pdf

Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas [FCFM] (2017). Investigación señala que Valparaíso vivió un "terremoto lento" en abril de 2017. *Universidad de Chile*.

<https://ingenieria.uchile.cl/noticias/139773/valparaiso-vivio-un-terremoto-lento-en-abril-de-este-ano>

Fernández, M. (2024). *Estimación de una distribución de deslizamiento probable para el*

- terremoto de Concepción de 1835 empleando un enfoque de árbol lógico, observaciones históricas y registros geológicos*. [Tesis para optar al grado académico de Geofísico, Universidad de Concepción]. Repositorio Institucional Universidad de Concepción.
https://www.dgeo.udec.cl/wp-content/uploads/2024/11/Matias_Fernandez_Palma_manuscrito_HP_2024.pdf
- Geoinstitutos (2010). El Terremoto de Chile y sus consecuencias geodésicas en Argentina.
http://www.geoinstitutos.org/notidesf859.html?id_noticia=292
- Geoscience Australia (2017-2025). *Auspos - Online GPS Processing Service*. Data de observaciones geodésicas sometidas para su procesamiento; soluciones finales diarias gestionadas y recepcionadas vía correo electrónico personal.
<https://www.ga.gov.au/scientific-topics/positioning-navigation/positioning-australia/geodesy/auspos>
- Gómez, D., Piñón, D., Smalley, R. y Cimbaro, S. (2015). *Aplicación práctica de modelos de velocidades geodésicos*. Instituto Geográfico Nacional.
http://www.ign.gob.ar/descargas/geodesia/2015_Vel-Ar.pdf
- Gonzales, G. (2025a). *Experto en terremotos CIGIDEN: “Los últimos temblores del norte de Chile no constituyen un enjambre Sísmico”*. Centro de Investigación para la Gestión Integrada del Riesgo de Desastres.
<https://www.cigiden.cl/experto-en-terremotos-cigiden-los-ultimos-temblores-del-norte-de-chile-no-constituyen-un-enjambre-sismico/>
- Gonzales, G. (2025b). *Terremoto 7,6 en Japón se ubica en falla geológica de 200 Km de largo en la Península de Noto*. Centro de Investigación para la Gestión Integrada del Riesgo de Desastres.

<https://www.cigiden.cl/terremoto-76-en-japon-se-ubica-en-falla-geologica-de-200-km-de-largo-en-la-peninsula-de-noto/>

Herrera, G. (2024). *Caracterización geodésica y sismológica de los terremotos corticales de Pichilemu Mw 7.0 y Mw 6.9, 2010: estudio de las fases inter-, co- y post-sísmicas*. [Tesis para optar el grado de Magister en Ciencias, Mención Geofísica, Universidad de Chile]. Repositorio Institucional Universidad de Chile.

<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/200940>

He, X., Montillet, J-P, Li, Z., Kermarrec, G., Fernandes, R., y Zhou, F. (2022). Recent Advances in Modelling Geodetic Time Series and Applications for Earth Science and Environmental Monitoring. *Remote Sensing*. 14 (23), 1-11.

<https://www.mdpi.com/2072-4292/14/23/6164>

Herraiz, M. y Sánchez-Dulcet, F. (2014). *Efectos de la actividad sísmica en la Ionosfera: Características y posibles aplicaciones*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. http://digital.csic.es/bitstream/10261/99707/1/CAPITULOS_DE_LIBROS502899_VAL.pdf

Herrera, E. y Sepúlveda, C. (2025). Modelizar sismos para buscar explicaciones científicas: “vibraciones destructivas” una Secuencia enseñanza-aprendizaje en Ciencias para la Ciudadanía. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 47.

<https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2024-0306>

Informe del Comité Especial de Estudio CIGRÉ-Chile (2010). *Lecciones y recomendaciones para el sector eléctrico derivadas del terremoto del 27 Febrero de 2010 en Chile*. Comité Chileno del Consejo Internacional de Grandes Redes Eléctricas (CIGRÉ).

<https://www.cigre.cl/publicaciones/Libro-Sismo-2010-CIGRE-Chile.pdf>

Instituto Geográfico Nacional [IGN] (2010). El terremoto de Chile y sus consecuencias geodésicas en Argentina.

http://www.ign.gob.ar/descargas/geodesia/2010_El_Terremoto_de_Chile_y_sus_Consecuencias_Geodesicas_en_Argentina.pdf

Instituto Geográfico Militar [IGM] (2016). Actualización preliminar marco referencia geocéntrico Ecuador posterior al terremoto de Pedernales 16 Abril 2016 - Mw 7.8. *Sistema de Referencia Geodésico para las Américas*.

https://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Bol21/29_Cisneros_2016_Rep_Ecuador.pdf

Lacentre, L. (2024). *Relación entre la actividad sísmica en la Placa Scotia y las variaciones en el Nivel del mar: Implicaciones para los levantamientos hidrográficos antárticos*.

Universidad de la Defensa Nacional. Facultad de la Armada.

<https://cefadigital.edu.ar/handle/1847939/2920>

Las Condes (2024). *Anexo - Plan por Amenaza Sismo de Mayor Intensidad*. Municipalidad Las Condes.

https://archivos.lascondes.cl/descargas/2025/varios/APA_N_1_S.M.I_VIGENTE_JUL.2024.pdf

Lizarazo S.C., Mora Páez H. y Santa LF. (2013). Análisis de tendencias de movimiento de estaciones GNSS/GPS mediante series de tiempo geodésicas en Colombia 2008-2011. *Revista Ud. y la Geomántica*, 7, 41-51.

<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/UDGeo/article/view/7571/10344>

- Luna, M. (2017). *Contribución a la definición de un modelo de velocidades de la corteza terrestre para Ecuador a partir de datos GNSS*. [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]. Repositorio Institucional Universidad Politécnica de Madrid.
https://oa.upm.es/48790/1/MARCO_PATRICIO_LUNA_LUDENA.pdf
- Ma, S., Qiu, H., Zhu, Y., Yang, D., Tang, B., Wang, D., Wang, L. y Cao, M. (2023). Topographic Changes, Surface Deformation and Movement Process before, during and after a Rotational Landslide. *Remote Sensing*, 15 (3), 1-20.
<https://www.mdpi.com/2072-4292/15/3/662>
- Madrid, D. y Marciaga, J. (2021). *Red geodésica altimétrica y planimétrica*. [Tesis para optar Título de Licenciado en Ingeniería, Universidad de Panamá]. Repositorio Institucional Universidad de Panamá.
https://up-rid.up.ac.pa/5695/1/david_madrid.pdf
- Martínez, A. (2023). *Relocalización hipocentral por doble-diferencia y cálculo del momento sísmico para la secuencia sísmica de Valle de la Trinidad, Baja California, para el periodo 2020-2022*. [Tesis para grado de Maestro en Ciencias]. Repositorio Institucional Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.
https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/3945/1/tesis_Alejandra%20Isabel%20Mart%C3%ADnez%20Gonz%C3%A1lez_02%20sep%202023.pdf
- Martínez, C. (2017). *Teorías que marcaron el estudio científico de los sismos*. Universidad Nacional Autónoma de México.
<https://ciencia.unam.mx/leer/647/teorias-que-marcaron-el-estudio-cientifico-de-los-sismos>

Ministerio del Medio Ambiente. Sistema Nacional de Información Ambiental (2020). *Informe del Estado del Medio Ambiente. Capítulo 17, Eventos extremos y desastres.*

<https://sinia.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/04/17-eventos-extremos-y-desastres.pdf>

Morales, R. (2010). Terremoto y tsunamis del 27 de febrero de 2010. Efectos urbanos en localidades de la provincia de Arauco. *Revistas Universidad del Bío-Bío*, 13 (22), 43-62.
<https://revistas.ubiobio.cl/index.php/RU/article/view/305>

Oniel, R. (s.f.). Impacto de los Terremotos en los Marcos Geodésicos: Desplazamientos y Ajustes. *Inmofull*.
<https://inmofull.com/impacto-de-los-terremotos-en-los-marcos-geodesicos-desplazamientos-y-ajustes/>

Peña, C. (2021). *Caracterización de la peligrosidad sísmica en Chile asociada a las fallas activas*. [Trabajo fin de Master, Universidad Politécnica de Madrid]. Repositorio Institucional Universidad Politécnica de Madrid
https://blogs.upm.es/masterriesgosismico/wp-content/uploads/sites/704/2021/11/TFM_CarolinaPena_Final_compressed.pdf

Pereira, R. (2019). *Metodología para la conversión de coordenadas entre sistemas de posicionamiento terrestre global y sistemas de posicionamiento local (LPS)*. [Trabajo de grado para optar por el Título de Ingeniero, Universidad Central de Venezuela]. ResearchGate.
https://www.researchgate.net/profile/Ruy-Pereira/publication/348336150_METODOLOGIA_PARA_LA_CONVERSION_DE_COORDENADAS_ENTRE_SISTEMAS_DE_POSICIONAMIENTO_TERRESTRE_GLO

BAL_Y_SISTEMAS_DE_POSICIONAMIENTO_LOCAL_LPS/links/5ff87484a6fdccdc
b83ec20e/METODOLOGIA-PARA-LA-CONVERSION-DE-COORDENADAS-
ENTRE-SISTEMAS-DE-POSICIONAMIENTO-TERRESTRE-GLOBAL-Y-
SISTEMAS-DE-POSICIONAMIENTO-LOCAL-LPS.pdf

Proaño, G. (2021). *Estudio de vulnerabilidad sísmica, análisis lineal estático y modal espectral en base a las tipologías estructurales más comunes, zona de estudio localizada en el sector de la California-Bonanza en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ)*. [Trabajo para obtener el Título de Ingeniero, Universidad Internacional SEK]. Repositorio Institucional Universidad Internacional SEK.

<https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/4514/1/TESIS-Gabriela%20Proa%C3%B1o.pdf>

Quiun, D., Muñoz, A. y Tinman, M. (2005). *N°A16-04 Reforzamiento Sísmico de Edificios de Salud y Educativos Afectados por el Terremoto de Junio 2001 en el Sur del Perú*. Pontificia Universidad Católica del Perú.

<http://blog.pucp.edu.pe/blog/wp-content/uploads/sites/109/2008/08/QUIUN-MUNOZ-TINMAN--A16-04.pdf>

Rezzano, N. (2024). *Estimación de parámetros geofísicos y orbitales con observaciones láser a satélites (SLR)*. [Tesis para obtener el grado académico de Geofísico, Universidad Nacional de la Plata]. Repositorio Institucional Universidad Nacional de La Plata.

https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/167814/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rivera, E. (2020). *Espectro de terremotos chilenos de gran magnitud*. [Tesis para optar el grado

de Doctor en ciencias, mención Geología, Universidad de Chile]. Repositorio Institucional Universidad de Chile.

<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/177776>

Robles, I. (2020). *Interoperabilidad GNSS usando la Red Geodésica Activa*. [Tesis sometida como requisito parcial para obtener el grado de Maestro, Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica]. Repositorio Institucional Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica.

<https://inaoe.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1009/2153/1/Isai%20Robles%20Bravo-TesisFinal.pdf>

Robles, A. (2017). *Desplazamiento permanente y dinámico generado por el temblor El Mayor-Cucapah Mw 7.2, utilizando GPS*. [Tesis para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de Maestro en Ciencias, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California]. Repositorio Institucional Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California.

https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/1617/1/tesis_Robles_Avalos_Juan_Carlos_02_nov_2017.pdf

Romero, A. (2021). *Evaluación del Potencial de técnicas del posicionamiento GNSS para la observación de ondas sísmicas superficiales*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional de la Plata]. Repositorio Institucional Universidad Nacional de La Plata.

https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/124699/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Romina, E. (2017). *Análisis y predicción de series históricas con datos GPS para evaluar el*

desplazamiento de la corteza terrestre en Chile. [Trabajo de Titulación para optar el Título de Ingeniero en Estadística, Universidad de Valparaíso]. Repositorio Institucional Universidad de Valparaíso.

<https://repositoriobibliotecas.uv.cl/serveruv/api/core/bitstreams/fa75c1fc-ec90-4b00-8714-7ddd6e1f9730/content>

Secretaría de Gestión de Riesgos [SGR] (2016). Informe de Situación No. 42 (25/04/2016) 13H00 Terremoto 7.8 ° Muisne.

<https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/04/Informe-de-Situaci%C3%B3n-42-25042016-13h00.pdf>

Secretaría de Gestión de Riesgos [SGR] (2016a). Informe de Situación No. 71 (19/05/2016, 20h 30) Terremoto 7.8° - Pedernales.

<https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/05/INFORME-n71-SISMO-78-20302.pdf>

Torres, R. (2015). *Estudio sobre diseño sísmico en construcciones de adobe y su incidencia en la reducción de desastres*. [Tesis de pregrado. Universidad Central del Ecuador]. Repositorio Institucional Universidad Central del Ecuador.

<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/5429>

Valverde-Calderón, J. (2020). Estudio del efecto de un terremoto sobre un marco geodésico de referencia. *Uniciencia*, 34(1), 1-19.

<https://repositorio.una.ac.cr/items/2fb89495-a00b-4857-bd26-e6f414449ff0>

Velásquez, A. (2020). *Tasas de deslizamiento de las principales fallas del Valle de Mexicali, Baja California, México, utilizando datos de GPS*. [Tesis para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de Maestra en Ciencias, Centro de Investigación Científica]

y de Educación Superior de Ensenada, Baja California]. Repositorio Institucional Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California.

https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/3056/1/Tesis_Velazquez%20Zaguilan%20Arisai%20_05_dic_2019.pdf

Veloz, C. (2022). *Implementación de un receptor GPS utilizando dispositivos de bajo costo para la decodificación de información satelital del Sistema de Posicionamiento Global*. [Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero, Universidad Nacional de Chimborazo]. Repositorio Institucional Universidad Nacional del Chimborazo.

<http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/9752/3/Veloz%20Cristian%20Andr%c3%a9s.pdf>

Villavicencio, R. (2023). *Evaluación De La Vulnerabilidad Sísmica En Estructuras Del Barrio “Dávalos”, Parroquia Velazco, Cantón Riobamba, Ecuador*. [Trabajo de Investigación para optar Título de Ingeniero Civil, Universidad Internacional SEK]. Repositorio Institucional Universidad Internacional SEK.

<https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/5049/1/Tesis%20Roger%20Villavicencio.pdf>

Yáñez, C. (2024). *Análisis de series temporales GNSS para eventos precursores/post-sísmicos del terremoto de Valparaíso (Mw 6.9) en 2017*. [Proyecto requisito parcial para obtener el título de Ingeniero Geomántico, Universidad de Concepción, Campus Los Ángeles]. Repositorio Institucional Universidad de Concepción.

<https://repositorio.udec.cl/server/api/core/bitstreams/b0211757-33bd-42d9-83a5-7d1f8efb9ffc/content>

Zilio, M., D'Amico, G., Baez, S., Aranda, M. y Palacios, F. (2022). *Terremotos: similares magnitudes, diferentes consecuencias...¿Por que?* Memoria Académica, Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación, Universidad Nacional de La Plata.

<https://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/libros/pm.5649/pm.5649.pdf>

IX. ANEXOS

ANEXO A. MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título: “CUANTIFICACIÓN DE LOS DESPLAZAMIENTOS DE ESTACIONES DE REFERENCIA COMO CONSECUENCIA DE SISMOS Y SU IMPACTO LAS COORDENADAS GEODÉSICAS EN CHILE (2017-2024)”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSION	INDICADORES	METODOLOGÍA
PROBLEMA GENERAL ¿En qué medida la cuantificación de los desplazamientos de estaciones de referencia como consecuencia de sismos impacta las coordenadas en Chile? (2017-2024) PROBLEMAS ESPECÍFICOS • ¿En qué medida la cuantificación de los desplazamientos en la componente Latitud de estaciones geodésicas de referencia como consecuencia de sismos, impacta las coordenadas en Chile? • ¿En qué medida la cuantificación de los desplazamientos en la componente Longitud de estaciones geodésicas de referencia como consecuencia de sismos, impacta las coordenadas en Chile? • ¿En qué medida la cuantificación de los desplazamientos en la componente Altura Elipsoidal de estaciones geodésicas de referencia como consecuencia de sismos, impacta las coordenadas en Chile?	OBJETIVO GENERAL Determinar su impacto en las coordenadas geodésicas mediante la cuantificación de los desplazamientos de estaciones de referencia como consecuencia de sismos en Chile (2017-2024)” OBJETIVOS ESPECÍFICOS ▪ Determinar su impacto en la componente Latitud mediante la cuantificación de los desplazamientos de estaciones de referencia como consecuencia de sismos en Chile. ▪ Determinar su impacto en la componente Longitud mediante la cuantificación de los desplazamientos de estaciones de referencia como consecuencia de sismos en Chile. ▪ Determinar su impacto en la componente Altura Elipsoidal mediante la cuantificación de los desplazamientos de estaciones de referencia como consecuencia de sismos en Chile.	HIPÓTESIS GENERAL La cuantificación de los desplazamientos de estaciones de referencia como consecuencia de los sismos impacta significativamente en las coordenadas geodésicas en Chile (2017-2024). HIPÓTESIS ESPECÍFICAS ▪ La cuantificación de los desplazamientos de estaciones de referencia como consecuencia de sismos impacta significativamente en la componente Latitud. ▪ La cuantificación de los desplazamientos de estaciones de referencia como consecuencia de los sismos impacta significativamente en la componente Longitud ▪ La cuantificación de los desplazamientos de estaciones de referencia como consecuencia de los sismos impacta significativamente en la componente Altura Elipsoidal.	Dependiente: Desplazamientos de estaciones Independiente: Coordenadas Geodésicas	Distancia medida entre dos coordenadas (temporales) en una superficie curva, como la Tierra. Latitud geodésica Longitud geodésica : Altura Elipsoidal	En metros. En grados, minutos, segundos. En grados, minutos, segundos. En metros, distancia de punto de la superficie terrestre a la superficie elipsoidal de referencia.	TIPO DE INVESTIGACIÓN Aplicada, porque interesa adaptar la competencia adquirida para solucionar condiciones de desplazamientos espaciales superficiales antes y siguientes a la ocurrencia de sismos. NIVEL DE INVESTIGACIÓN Descriptiva-Correlacional, se exploraría comprender como se puede comportar una variable seleccionada con otras variables vinculadas. Es correlacional, correspondencia entre variables. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN Es no experimental, de tipo transversal y correlaciona, longitudinal. POBLACION 20 estaciones MUESTRA 11 estaciones

