

DESPLAZAMIENTO DE LOS VÉRTICES GEODÉSICOS A CAUSA DEL TERREMOTO DEL 27 DE FEBRERO DE 2010 DESDE LAS REGIONES DEL MAULE HASTA LOS LAGOS, CHILE.

DISPLACEMENT OF THE GEODETIC VERTICALS CAUSED BY THE EARTHQUAKE OF FEBRUARY 27, 2010 FROM THE MAULE REGIONS TO LOS LAGOS, CHILE.

Sra. Rossy Cárdenas Cordovez¹

RESUMEN

El presente estudio aborda los desplazamientos de los vértices geodésicos producidos por el terremoto del 27 de febrero de 2010 en la zona centro – sur de Chile, con hipocentro en el sector de Concepción, abarcando datos desde las regiones del Maule hasta la región de Los Lagos. Para ello, se recopiló información a través de GPS, GNSS y de las estaciones activas fijas y estaciones pasivas de los vértices geodésicos en un periodo de diez años desde 2010 a 2020. A partir de estos datos se determinó el alejamiento que tuvieron desde su punto de origen

En Chile la deformación se debe principalmente al ciclo sísmico producido por la interacción entre las placas tectónicas (Nazca, Sudamericana, Antártica), este ciclo está constituido por el período previo a la ocurrencia de un sismo, el desplazamiento durante el sismo y la relajación post sismo. Para entender estos movimientos utilizamos la geodesia espacial, en la cual obtenemos la información desde los satélites; con esta información se determina la posición de puntos sobre la superficie terrestre mediante coordenadas (latitud, longitud, altura) para la materialización de la red geodésica y así conformar los vértices geodésicos. Con estos datos se puede estimar la totalidad del desplazamiento de los puntos georreferenciados en el terreno durante los 10 años de estudio.

Palabras Claves: Geodesia, terremoto, vértices geodésicos, GPS, desplazamientos.

ABSTRACT

The present study address the displacement of geodetic vertices produced by the earthquake on February 27, 2010 in the central - southern Chile, with hypocenter in the sector of Concepción, covering data from the regions of Maule to the Lakes. For this information was collected through GPS, GNSS and the fixed active stations and passive stations of the geodetic vertices in a period of ten years from 2010 to 2020. From these data the distance they had from their point of origin was determined.

In Chile the deformation is mainly due to the seismic cycle produced by the interaction between the tectonic plates (Nazca, South American, Antarctic), this cycle is constituted by the period prior to the occurrence of an earthquake, the displacement during the earthquake and post-relaxation. earthquake. To understand these movements, we use Spacial geodesy, in which we obtain information from satellites; with this information, the position of points on the earth's surface is determined through coordinates (latitude, longitude, height) for the materialization of the geodetic network and thus form the geodetic vertices. With these data it is possible to estimate the total displacement of the georeferenced points in the field during the 10 years of study.

Key Words: Geodesy, earthquake, geodesic vertices, GPS, displacements

¹ Escuela Ciencias de la Tierra, Observatorio en Gestión de Riesgo de Desastres, Universidad Bernardo O'Higgins, rccordovez@gmail.com

Fecha de recepción: 13 de agosto de 2021.

Fecha de aprobación: 31 de octubre de 2021.

INTRODUCCIÓN

El gran terremoto, magnitud 8.8 (MW), acaecido el 27 de febrero a las 03:34 a.m. (hora local) en la zona centro – sur de Chile, se inició debido al desplazamiento inesperado de la placa de Nazca debajo de la placa Sudamericana en un área que se extiende poco más o menos desde la Península de Arauco por el sur hasta el norte de Pichilemu, cubriendo unos 450 km de longitud en dirección Norte Sur por un ancho de unos 150 km.

Los desplazamientos encontrados en la placa tectónica (continental) de la zona centro sur fueron desde centímetros hasta 5 metros, lo cual mostró el gran exceso de energía liberada tras este terremoto, con un desplazamiento extremo del orden de 20 metros.

Con la dislocación de la placa tectónica, sufrió una deformación la corteza terrestre, en la cual se reportaron desplazamientos horizontales y verticales de la costa y puntos de GPS (Global Positioning System) al interior del continente. Levantamientos del orden de 2.0 metros se estimaron para Punta Lavapié (península de Arauco) (Barrientos, 2010).

Para entender estos movimientos sísmicos debemos entender primeramente qué es la Geodesia, la Geodesia es la ciencia que estudia y define la dimensión y forma de la Tierra, tal forma recibe el nombre de Geoide y se genera por la superficie equipotencial del campo de gravedad, la que de manera práctica se relaciona con el nivel medio del mar en reposo. (Caviedes, 2005).

Una parte fundamental de la geodesia es la delimitación de la posición de puntos sobre la superficie del terreno mediante coordenadas (latitud, longitud, altura).

Las materializaciones de estos puntos sobre el terreno constituyen las redes geodésicas, conformadas por una serie de vértices geodésicos, con coordenadas que configuran la base de la cartografía de un país, por lo que también se dice que es "la infraestructura de las infraestructuras". (IGN, 2020)

Esta información que se obtiene con los vértices geodésicos monumentados en el terreno, nos ayudan a entender un poco más sobre el

comportamiento de la tierra a través de los movimientos telúricos, que pueden llegar a desplazarlos de su punto de origen.

La geodesia se puede dividir en diferentes especialidades, pero la que se utiliza para obtener los datos de las coordenadas de la Tierra es la geodesia espacial, la cual obtiene los datos a través de satélites y con el sistema de referencia.

El sistema de referencia es una definición conceptual de teorías, hipótesis y constantes que permiten situar una tripleta de ejes coordenados en el espacio definiendo su origen y orientación (Martín, 2010).

Existen los llamados sistemas locales, que para su definición utilizan un elipsoide y un punto datum, estos sistemas de referencia son: WGS84; ED50; ETR89; NAD83; PSAD56, y SIRGAS, para definir estas coordenadas se cuenta con un elipsoide de revolución. (SIRGAS, 2018)

Según cálculos de la NASA (NASA, 2010) el terremoto del 27 de febrero de 2010 en la región del Maule, tuvo consecuencias para el planeta, dado que movió el eje de la Tierra en unos 8 centímetros, de tal forma que acortó la duración del día en unos 1,26 microsegundos. (Banchón, 2010).

MATERIALES Y MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra ubicado entre las regiones del Maule y Los Lagos, la región del Maule limita al norte con la región del Libertador General Bernardo O'Higgins, al sur con la región del Biobío, al oeste con el Océano Pacífico y al este con el límite internacional de la República de Argentina.

La Región de Los Lagos limita al norte con la región de Los Ríos, al sur con la región de Aysén al este con la República Argentina al oeste con el Océano Pacífico (BCN, 2021).

Estas regiones se sitúan entre los 34°41' y los 36°33' latitud sur la región del Maule y entre los paralelos 40° 13' y los 44° 3' latitud sur y entre las coordenadas 74° 49' a 71° 34' de longitud W la región de Los Lagos. (Figura 1).

El terremoto ocurrido el 27 de febrero de 2010, fue el tercero más fuerte registrado en el país

(Villa, 2015) y el sexto más violento ocurrido en la historia del mundo (Torres, 2021).

El movimiento de las placas tectónicas (Nazca, Sudamericana, Antártica) generó un terremoto de gran amplitud, lo que provocó un movimiento de los vértices geodésicos en la zona centro sur de Chile. Estos movimientos se produjeron por la fuerza de subducción que tuvo la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana, liberando años de energía acumulada.



Figura 1: Área de estudio. Fuente: Elaboración propia.

DATOS

Parámetros hipocentrales

Según la información final del Centro Sismológico Nacional, de la Universidad de Chile (CSN, 2020) los parámetros hipocentrales del terremoto fueron los siguientes:

Fecha Local	27 Feb 2010
Hora Local	03:34:08
Latitud	-36,290
Longitud	-73,239
Profundidad	30.1 Km
Magnitud	8,8 Mw GS

Referencia	62 km al N de Concepción
------------	--------------------------

Tabla 1: Datos Hipocentrales Terremoto 27FEB2010. Fuente: Elaboración propia.

DATOS GEODÉSICOS

La información geodésica nos permite calcular los desplazamientos cosísmicos. Para ello se utilizaron los siguientes datos geodésicos:

- 1) Datos Rinex de las estaciones activas y pasivas (mediciones de 24 hrs.)

```

ANTC20100305000p.10: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
2.11 OBSERVATION DATA GPS(GPS) RINEX VERSION / TYPE
cnvtToRINEX 3.14.0 convertToRINEX OPR 20201205 212000 UTC PGM / RUN BY / DATE
-----
COMMENT
ANTC MARKER NAME
ANTC MARKER NUMBER
GNSS Observer Trimble TRIMBLE NETRS 1.15 OBSERVER / AGENCY
00012462 UNKNOWN EXT ANT # / TYPE
0.0000 0.0000 0.0000 APPROX POSITION XYZ
0.0000 0.0000 0.0000 ANTENNA: DELTA H/E/N
1 1 0 WAVELENGTH FACT L1/2
4 C1 L1 L2 P2 # / TYPES OF OBSERV
2010 3 5 0 0 0.0000000 GPS TIME OF FIRST OBS
2010 3 5 23 59 45.0000000 GPS TIME OF LAST OBS
0 RCV CLOCK OFFS APPL
15 LEAP SECONDS
29 # OF SATELLITES
G02 1974 1974 1962 1962 PRN / # OF OBS
G03 1489 1487 1485 1485 PRN / # OF OBS
G04 1787 1784 1777 1777 PRN / # OF OBS
G05 1760 1755 1749 1749 PRN / # OF OBS
    
```

Figura 2: Rinex Estación Activa Fija (EAF) ANTC (Antuco), nos muestra cuando empieza a recibir datos del día 03 de marzo del 2010 a las 00:00:00 y termina el mismo día a las 23:59:45.00, tomando datos cada 15 segundos. Fuente: Elaboración propia.

- 2) Datos del Centro Sismológico Nacional (CSN)

Programas utilizados:

- 1) CSRS-PPP (Servicio de Posicionamiento de Puntos Precisos del Sistema de Referencia Espacial Canadiense). (Canada, 2020)

Figura 3: Este programa nos ayuda a extraer la

información de las EAF en formato PDF, que no estén el Rinex (Block de notas) para así, poder obtener nuestra información a utilizar. Fuente: Elaboración propia.

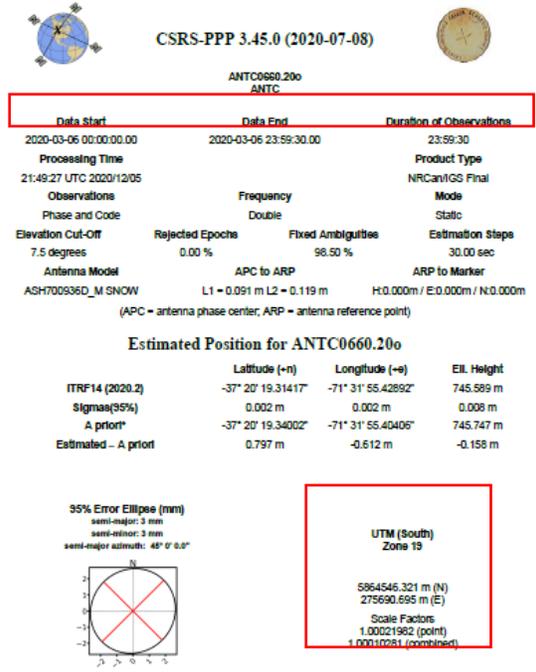


Figura 4: Datos entregados por la CSRS-PPP, la cual nos entrega la hora de término y de inicio de la toma de datos, y las coordenadas geográficas. Fuente: Elaboración propia.

- 2) OPUS (Servicio de usuario de Posicionamiento en línea NGS estadounidense). (Survey, 2020)
- 3) Calendario GNSS. (Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Topografía, 2012)

Enero 2010							
SEMANA	Domingo 0	Lunes 1	Martes 2	Miércoles 3	Jueves 4	Viernes 5	Sábado 6
1564						1 · 001	2 · 002
1565	3 · 003	4 · 004	5 · 005	6 · 006	7 · 007	8 · 008	9 · 009
1566	10 · 010	11 · 011	12 · 012	13 · 013	14 · 014	15 · 015	16 · 016
1567	17 · 017	18 · 018	19 · 019	20 · 020	21 · 021	22 · 022	23 · 023
1568	24 · 024	25 · 025	26 · 026	27 · 027	28 · 028	29 · 029	30 · 030
1569	31 · 031						

Figura 5: En rojo nos señala la semana GPS y día de semana, y en negro el día de mes y día de año. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 9 se muestra la ubicación de los vértices del área de estudio y la Figura 10 muestra la ubicación de las estaciones activas, vértices

pasivos y las trigonométricas de todo Chile.

Una manera práctica para realizar el análisis analítico de vectores es utilizar los ejes X e Y, que para nuestro caso serán las coordenadas Norte y Oeste de nuestro vértice geodésico. Cualquier vector se puede trazar haciendo concordar su origen (0) con el cruce de las rectas imaginarias. Cualquier vector puede ser observado como una unión de 2 vectores localizados a lo largo del eje X e Y.

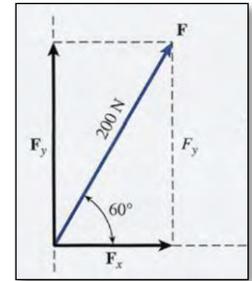


Figura 6: Formula vectores componentes vertical y horizontal. Fuente: Juliprendiendo (Juliprendiendo, 2015). Fuente: Elaboración propia.

Podemos escribir las componentes X e Y de un vector en términos de una magnitud “F” y su dirección “θ”:

$$\begin{aligned} F_x &= F \cos \theta \\ F_y &= F \sin \theta \end{aligned}$$

Figura 7: Componentes X e Y. Fuente: Elaboración propia.

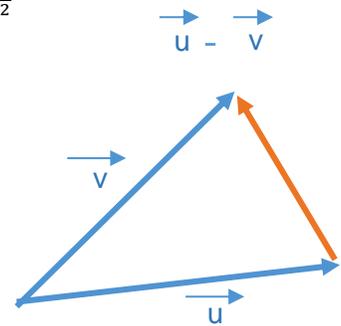
Fuerzas “Fx” e “Fy”, perpendiculares entre sí, la resultante “R” se puede determinar de la siguiente manera:

Componentes de un vector:

Fuerza Resultante:

$$R = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

$$\tan \theta = \frac{F_y}{F_x}$$



Desplazamiento de los vértices geodésicos a causa del terremoto del 27 de febrero de 2010 desde las regiones del Maule hasta Los Lagos, Chile
 Rossy Cárdenas Cordovez.

Figura 8: Triángulo rectángulo, suma vectorial.
 Fuente: Elaboración propia

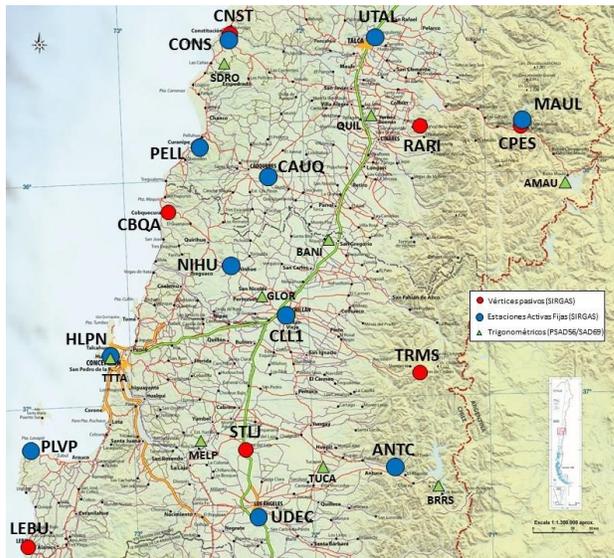


Figura 9a: ubicación de los vértices del área de estudio Fuente: Sirgas-Chile (IGM, 2020)

Figura 9b: ubicación de los vértices del área de estudio Fuente: Sirgas-Chile (IGM, 2020)

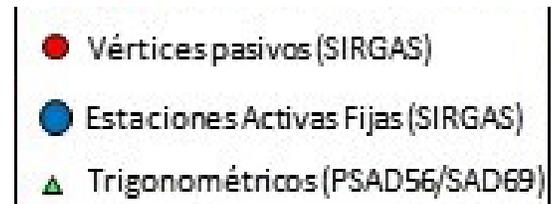


Figura 9c: ubicación de los vértices del área de estudio Fuente: Sirgas-Chile (IGM, 2020)

Desplazamiento de los vértices geodésicos a causa del terremoto del 27 de febrero de 2010 desde las regiones del Maule hasta Los Lagos, Chile
 Rossy Cárdenas Cordovez.

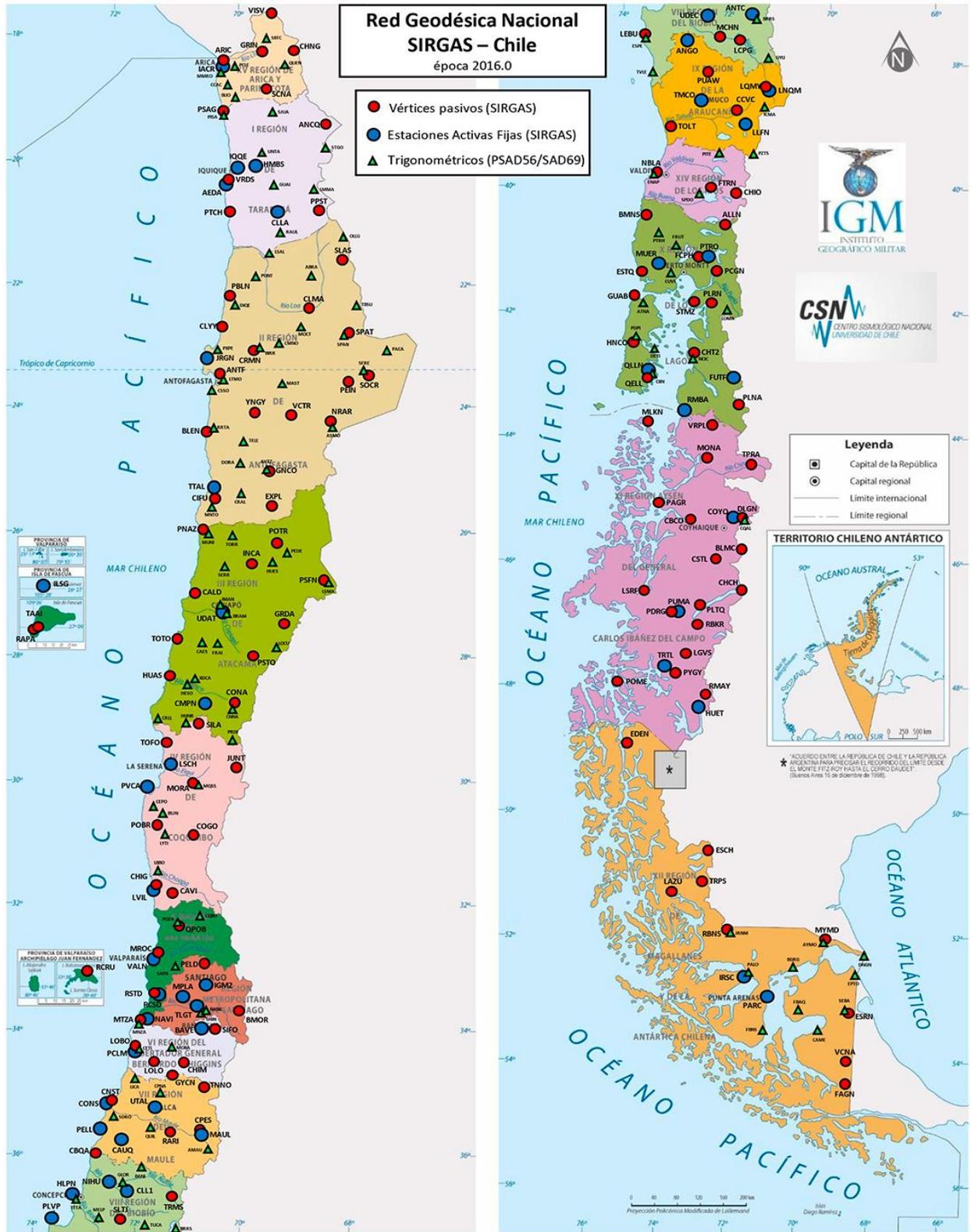


Figura 10: Red Geodésica Nacional Sirgas-Chile. Fuente: IGM (Sección Geodésica)

RESULTADOS

Para la obtención de la información se consideran datos cuantitativos, los que nos proporcionan información medible y numérica para la realización del gráfico y mapa final. Se obtuvieron las coordenadas de los vértices geodésicos (IGM) ubicados desde la región del Maule hasta Los Lagos, se utilizaron las siguientes estaciones para la adquisición de la información:

ANGL	LLFN
ANTC	LNQM
ARCO	LNRS
BAVE	MHIN
CAUQ	NIEB
CBCQ	OSOR
CLL1	ODEC
HLNE	UTAL

Tabla 2: Denominación estaciones. Fuente: (IGM, 2020)

Para la selección de los datos utilizamos la Red de vértices materializados en el terreno, con esta información se puede determinar el antes y después de la placa continental, más conocida como el Cinturón de Fuego del Pacífico, en esta zona se ubican varias placas tectónicas entre ellas la de Nazca, Sudamericana, y Antártica, las cuales están en fricción permanente y acumulan tensión. Es así como, teniendo coordenadas geográficas de estos vértices con época de referencia 2002.0 y la actual época de referencia 2016.0, podemos determinar el desplazamiento del vértice.

Siendo 114 vértices pasivos (SIRGAS), 48 EAF (IGM+CSN) (SIRGAS), 105 Trigonómicos (PSAD56 – SAD69) (Sección Geodésica). En la figura 9 se muestra la Red Geodésica Nacional Sirgas – Chile la que, actualmente está en uso.

Una Red Geodésica es un conjunto de puntos estratégicamente materializados sobre el terreno nacional, mediante monumentaciones normalizadas, se elaboran a partir de mediciones geodésicas con la finalidad de obtener las coordenadas de un punto en específico (y su

variación) respecto a un determinado sistema de referencia.

La antigua red geodésica nacional está compuesta por alrededor de 6500 vértices trigonométricos de primer a tercer orden geodésico. (Hermosilla J., 2007).

- Primer orden: precisión de 4 mm
- Segundo orden: precisión de 8 mm
- Tercer orden: precisión de 12mm

La red actual utiliza el sistema de referencia Sirgas, el cual se dividen en tres tipos:

- Red de estaciones activas fijas (GPS)
- Red básica
- Red de densificación

Para esta selección de datos, utilizamos un día por mes de cada estación, en algunos se repitieron los meses, ya que algunas estaciones se encuentran no operativas en el presente año, las que son CBCQ, MHIN y NIEB, (Tabla 3) ya que por efectos de la pandemia no se ha podido ir in situ a recolectar la información de las estaciones.

Los datos utilizados son los siguientes:

ESTACIÓN	MES	DÍA GNSS		
		2010	2020	
ANGL	JUN	169	171	
ANTC	MAR	064	066	
ARCO	JUL	183	031	ENE ²
BAVE	ABR	092	073	MAR
CAUQ	MAY	148	059	FEB
CBCQ	SEPT	246	S/C³	
CLL1	OCT	274	283	
HLNE	AGO	218	017	ENE
LLFN	NOV	309	311	
LNQM	ABR	120	115	
LNRS	MAY	134	038	FEB
MHIN	DIC	337	S/C	
NIEB	FEB	036	S/C	
OSOR	SEPT	267	269	
UDEC	DIC	365	325	NOV
UTAL	ENE	001	003	

Tabla 3: Datos estaciones Activas y Pasivas. Fuente: IGM (IGM, 2020)

En las estaciones que están activas se trató de

² Mes distinto al del año 2010 por falta de datos 2020.

³ S/C: Sin Conexión de Internet, Estación no operativa.

utilizar el mismo día y mes entre el año 2010 (antes del terremoto estaciones de UTAL y NIEB, después del terremoto, las demás estaciones) y 2020.

En la Tabla 4 se muestran la información que se utilizaron de los datos UTM (Universal Transversal de Mercator) de las coordenadas Norte y Este de los años 2010 y 2020, y en la Tabla 5, se puede ver las comparaciones de coordenadas que se utilizaron para estimar el desplazamiento de los puntos geográficos de UTAL y NIEB, en los meses de enero y febrero del año 2010 antes de ocurrido el terremoto del 27/F, en las regiones del Maule y Los Lagos.

En las Imágenes N° 11 se pueden visualizar los sismos que tuvieron lugar en la zona centro – sur y, zona sur de Chile utilizando datos desde la magnitud 5° a magnitud 9°. En ese sentido, se

visualizan símbolos en forma de círculo, de distintos tamaños, esto se diferencian en que los más pequeños son sismos de magnitud 5°, los subsiguientes de 5. 1° a 5. 2°, en la tercera categoría son sismos de 5. 3° a 5. 5°, la penúltima fila va de los 5. 7° y el símbolo más grande es de magnitud mayor a 6°.

Tal como se visualiza en la Figura 11, la mayor concentración de sismos en el año 2010 se localiza en la región del Maule y del Biobío, con magnitudes que van desde 5.5° a 6.6°; estos movimientos telúricos han ayudado a que los vértices tengan una alteración de su punto inicial. En en el año 2020 se manifiesta un sismo de magnitud 5.3°. En la Figura 11 se reflejan los sismos ocurridos entre los años 2011 y 2019, que demuestran que entre la época 2010 – 2020 se han registrado sismos principalmente en la región del Maule.

Tabla 4: Cuadro Excel con coordenadas. Fuente: Elaboración propia

Designación	Nombre	Año 2020		Año 2010	
		Norte	Este	Norte	Este
ANGO	Angol	5814321,950	703235,858	5814321,791	703236,061
ANTC	Antuco	5864546,321	275690,695	5864546,096	275691,186
ARCO	Arauco	5880817,117	657453,189	5880816,923	657453,140
BAVE	Brigada de Aviación Del Ejército	6217853,983	337263,006	6217853,844	337263,328
CAUQ	Cauquenes	6016277,553	739771,625	6016277,373	739771,807
CLL1	Chillán	5946076,122	761217,595	5946075,955	761217,855
HLNE	Hualañe	6122999,696	249511,228	6122999,504	249511,514
LLFN	Llafenco	5642553,786	259616,298	5642553,619	259616,340
LNQM	Lonquimay	5741032,929	293908,316	5741032,725	293908,541
LNRS	Linares	6029418,565	262544,093	6029418,338	262544,590
OSOR	Osorno	6605333,718	660460,083	5504222,597	660459,934
UDEC	Universidad de Concepción	5849420,449	734802,937	5849420,305	734803,141
UTAL	Universidad de Talca	6078718,415	260520,068	6078717,898	260523,316

Nombre	Día	2010		2010	
		Norte	Este	Norte	Este
Universidad de Talca	27 ENE	6078717,931	260523,219		
Universidad de Talca	31 ENE			6078717,930	260523,195
Universidad de Talca	20 FEB	6078717,934	260523,261		
Universidad de Talca	26 FEB			6078717,931	260523,140
Niebla	02 FEB	5585587,770	636745,506		
Niebla	10 FEB			5585587,772	636745,505

Tabla 5: Cuadro Excel coordenadas año 2010, previo al terremoto Fuente: Elaboración propia.



Figura 11: Sismos año 2011 .2019 Fuente: Elaboración Propia. Datos obtenidos de la página del Centro Sismológico Nacional (CSN, 2020)

DISCUSIÓN

La representación gráfica de los vectores resulta conveniente para la visualización del movimiento. El método idóneo para registrar este fenómeno puede ser gracias a la trigonometría, considerando el resultado del desplazamiento horizontal y vertical, obteniendo un triángulo rectángulo. El conocimiento del teorema de Pitágoras y cierta experiencia en el manejo de las funciones seno, coseno y tangente, ya que el seno es el cociente entre el cateto opuesto al ángulo y la hipotenusa, el coseno es el cociente entre el cateto adjunto al ángulo y la hipotenusa y la tangente es el cociente entre el cateto opuesto al ángulo y la hipotenusa. Este proceso nos ayuda a obtener la hipotenusa del triángulo rectángulo, ya que al tener nuestros datos de los dos lados del triángulo (Norte y Este) e ingresándolo en Excel, nos facilita la obtención del resultado que se está buscando.

Para el análisis se utilizaron las Coordenadas Este y Norte (en esta ocasión nuestro Este en el gráfico se muestra como el Oeste) del vértice geodésico, la cual se ingresó a nuestro Excel y se calculó las diferencias de los deltas entre los años 2010 y 2020. Para este análisis se usaron vectores y se emplearon los ejes X e Y, que para este caso son las coordenadas Este y Norte del vértice. Tal como se muestra en la tabla 6. Al momento de realizar el proceso de graficar nuestro triángulo rectángulo utilizando el teorema de Pitágoras en Excel, se gráfica el resultado que nos queda tal como se modela en el Gráfico 1, en el cual nos demuestra como fue el desplazamiento de los vértices geodésicos de la zona centro – sur y sur de nuestro país en un período de diez años.

En el gráfico 2 se hace una comparación de las estaciones de UTAL Y NIEB, de los días 27 y 31 de enero, (UTAL), 20 y 26 de febrero (UTAL) y los días 02 y 10 de febrero (NIEB) del año 2010, en el cual se puede apreciar lo poco que se habían desplazado antes del suceso, mostrado en el Gráfico 1.

ESTACIÓN	MES	DÍAS	MTS
UTAL	ENE	27 – 31	0.02
UTAL	FEB	20 – 26	0.12
NIEB	FEB	02 – 10	0.00

Tabla 6: Estaciones año 2010. Elaboración propia

Como queda reflejado en los datos anteriores, los desplazamientos de estos vértices son reducidos, en comparación a lo que sucedió después del terremoto, ya que algunas estaciones su desplazamiento antes del sismo son los que quedan demostrados en la Tabla 6.

Año	Latitud	Longitud	Magnitud
2011	-38.048	-73.118	5.1
	-36.18	-71.736	5.0
2012	-35.2	-72.22	6.8
2013	N/H	N/H	N/H
2014	-35.61	-71.56	5.2
2015	-36.88	-72.99	5.1
	-34.99	-71.83	5.0
	-35.97	-72.67	5.0
2016	-35.06	-71	6.4
2017	-36.16	-72.05	5.1
	-37.34	-71.8	5.8
	-39.41	-71.82	5.0
	-37.47	-73.35	5.0
2018	-42.62	-73.93	5.0
2019	-35.78	-71.85	5.2
	-40.83	-72.29	6.0
	-38.95	-72.85	5.0

Tabla 7: Sismos años 2011 – 2019. Fuente Elaboración propia. Datos obtenidos de la página del Centro Sismológico Nacional. (CSN, 2020)

Como se ve reflejado en la Tabla 7, desde el año 2011 al 2019 se registraron una serie de temblores de magnitud 5° a 6.4°, estos eventos implicaron que durante la época de 10 años los vértices geodésicos tuvieron desplazamientos, como se ve en la Figura 11, exceptuando el año 2013 el cual no tuvo sismos registrados, durante estos 10 años, se puede comprobar que en la región del Maule se concentraron la mayor cantidad de sismos, lo que nos da como resultado que el vértice de UTAL haya tenido el mayor desplazamiento durante estos 10 años.

Después de ocurrido el terremoto, los vértices tuvieron una variación en su posición tal cual queda reflejado en el gráfico 1, y que se puede apreciar en la tabla 8:

DESIGNACIÓN	Δ NORTE	Δ ESTE	MAGNITUD [mts]
ANGO	0.159	-0.203	0.257
ANTC	0.225	-0.491	0.540
ARCO	0.194	0.049	0.200
BAVE	0.139	-0.322	0.350
CAUQ	0.180	-0.182	0.255
CLL1	0.167	-0.260	0.309
HLNE	0.192	-0.286	0.344
LLFN	0.167	-0.042	0.172
LNQM	0.204	-0.255	0.303
LNRS	0.227	-0.497	0.546
OSOR	0.121	0.149	0.191
UDEC	0.144	-0.204	0.249
UTAL	0.517	-3.248	3.288

Tabla 8: Coordenadas año 2020, color Turquesa vértice que menos se ha desplazado, en comparación al vértice de color verde lima, el cual ha tenido mayor desplazamiento. "OSOR" tuvo un desplazamiento de 0.19 [mts] al Noreste, "ARCO" se desplazó 0.20 [mts] al Noreste, "LLFN" 0.17 [mts] al Noroeste, "CAUQ" 0.25 [mts] al Noroeste, "LNQM" un desplazamiento de 0.30 [mts] al Noroeste, "ANGO" 0.25 [mts] al Noroeste, "UDEC" se desplazó unos 0.49 [mts] al Noroeste, "HLNE" 0.34 [mts] al Noroeste, "LNRS" 0.54 [mts] al Noroeste, "CLL1" 0.30 [mts] al Noroeste, "ANTC" 0.54 [mts] al Noroeste, "BAVE" 0.35 [mts] al Noroeste, y "UTAL" con respecto a su punto de origen "0" tuvo una magnitud de 3.28 [mts] con dirección Noroeste. Comparando los datos de los años 2010 y 2020 el vértice que ha tenido más desplazamiento en estos diez años ha sido "UTAL" ya que en el año 2010 su desplazamiento de enero fue de 0.02 [mts] y febrero fue de 0.12 [mts], mientras que después del terremoto del 27F hasta el año 2020 ha sido de unos 3.28 [mts]. Fuente: Elaboración propia.

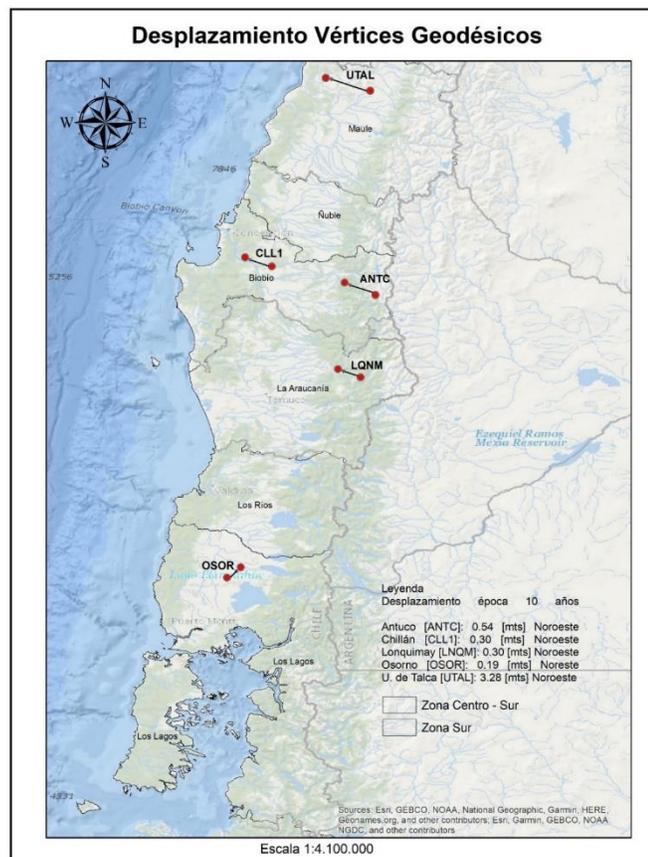


Figura 12. Desplazamiento vértices geodésicos. Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

No es desconocido que Chile es un país sísmico, en donde se han producido grandes eventos sísmicos, como el recordado terremoto en Valdivia en el año 1960. A diferencia de ese, el ocurrido en el año 2010 fue monitoreado con precisión, debido a los grandes avances tecnológicos en mediciones de sismos, sus aceleraciones y desplazamientos en donde la tecnología GPS ha jugado un gran papel en donde sus mediciones han sido de precisión milimétrica. De esta manera, se ha podido constatar el enorme desplazamiento en el terremoto del 27 de febrero de 2010. 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. Gracias a las mediciones geodésicas y topográficas, podemos constatar la potencia y energía que genera un evento como el del día 27 de febrero de 2010.

Con estos resultados se puede comprobar la magnitud de fuerza que tiene un terremoto en el desplazamiento de los vértices con una magnitud arriba de 8.8 Mw.

REFERENCIAS

BANCHÓN, M. "Deutsche Welle". Año 2010. Obtenido de <https://www.dw.com/es/chile-terremoto-de-consecuencias-planetarias/a-5314428>

BARRIENTOS, S. "Informe Técnico Terremoto 2010". *Santiago: Universidad de Chile*. Año 2010.

BCN. *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*. Año 2021. Obtenido de <https://www.bcn.cl>

CANADA, G. d. Año 2020. Obtenido de <https://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php>

CAVIEDES, P. G. "Geodésica Teoría y Práctica". *Santiago: Universidad de Santiago de Chile*. Año 2005.

CSN. *Centro Sismológico Nacional*. Año 2020. Obtenido de Centro Sismológico Nacional: <http://www.csn.uchile.cl/sismologia/grandes-terremotos-en-chile/>

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS EN TOPOGRAFÍA, G. y Juan F. PRIETO ETSITGC/UPM. Año 2012. Obtenido de <http://gps.topografia.upm.es>

ESTADÍSTICAS, I. N. *Instituto Nacional de Estadísticas*. Año 2017. Obtenido de www.inec.cl

HERMOSILLA J., Á. SIRGAS. Año 2007. Obtenido de <http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Bol>

12/11_Actividades_SIRGAS_en_Chile_Hermosilla.pdf

IGM. *Instituto Geográfico Militar*. Año 2020. Obtenido de <https://www.igm.cl/>

IGN. *Instituto Geográfico Nacional de España*. Año 2020. Obtenido de <https://www.ign.es/web/ign/portal/gds-teoria-geodesia>

MARTÍN, Á. F. *Universidad Politécnica de Valencia*. Año 2010. Obtenido de <http://www.upv.es/unigeo/index/docencia/etsigct/astronomia/teoria/astro210.pdf>

NASA. *National Aeronautics and Space Administration*. Año 2010. Obtenido de https://ciencia.nasa.gov/science-at-nasa/2010/11mar_figureaxis

SECCIÓN GEODÉSICA, D. d. (s.f.). IGM.

SIRGAS, C. "Geodesia en Chile, teoría y aplicación del Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas". *Santiago: IDE Chile*. Año 2018.

SURVEY, N. G. *National Geodetic Survey*. Año 2020. Obtenido de National Geodetic Survey: <https://www.ngs.noaa.gov/OPUS/>

TORRES, V. *Muy Interesante*. Año 2021. Obtenido de <https://www.muyinteresante.es/naturaleza/articulo/los-10-terremotos-mas-impactantes-del-ultimo-siglo-961479384767>

Desplazamiento de los vértices geodésicos a causa del terremoto del 27 de febrero de 2010 desde las regiones del Maule hasta Los Lagos, Chile
Rossy Cárdenas Cordovez.

VILLA, B. *Biobiochile*. Año 2015. Obtenido de <https://www.biobiochile.cl/noticias/2015/09/17/los->

[otros-cinco-terremotos-mas-intensos-de-la-historia-de-chile.shtml](#)