



**Universidad Nacional
Federico Villarreal**

**Vicerrectorado de
INVESTIGACIÓN**

ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

**“SISTEMA PARA CUANTIFICAR DESPLAZAMIENTOS DE
ESTACIONES DE REFERENCIA UBICADAS EN EL PERÚ, ECUADOR
Y CHILE, COMO CONSECUENCIA DE LOS SISMOS OCURRIDOS
ENTRE LOS AÑOS 1996-2016”.**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA DE SISTEMAS**

AUTOR:

ESPINOZA OSCANOVA, DOMINGO BENJAMÍN

ASESOR:

DR. SOLIS FONSECA, JUSTO

JURADO:

DR. GAMBOA CRUZADO, JAVIER ARTURO

DR. SOTO SOTO, LUIS

MG. CARRILLO BALCEDA, JESUS ELIAS

LIMA – PERÚ

2020

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación dedico a:

DIOS Y LA VIRGEN MARIA

Por darme la fuerza espiritual, fuerza, me bendice con mi vida.

MIS PADRES

Virgilio Espinoza Barrios y Luzmila Oscanoa Rivas, que me enseñaron la dedicación y el camino, haberme dado una educación de valores, enseñarme a nunca desmayar, que desde el cielo siempre los tengo en el corazón y presentes.

MI COMPAÑERA DE LA VIDA

Bertha, por su apoyo, entusiasmo, tolerancia y comprensión.

MIS HIJOS

Hormman, Brietword, María Fernanda, por la alegría y ser motivo para la lucha diaria.

MIS HERMANOS

Luz, Enrique, Jesús, Violeta, Helmer, Lorenzo, por sus recomendaciones así como el apoyo que siempre me brindaron.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a nuestro señor Dios por la vida y por mi familia que comparto en esta Tierra.

A mi compañera e hijos, por la comprensión y el apoyo que siempre me dan a diario.

A mis padres, por haberme enseñado a nunca desmayar, ahora desde el cielo con sus recuerdos y recomendaciones, sirven para iluminar mi vida.

A mis hermanos, por la fuerza y siempre contar con sus recomendaciones.

A mi asesor Dr. Justo Solís Fonseca, por ser una guía importante para el desarrollo de esta Tesis.

A todos los docentes que me enseñaron a lo largo de la maestría, porque me dieron sus conocimientos y su importantes experiencias.

A colegas del Internacional GNSS Service, International Earth Rotation and Reference Systems Service, National Aeronautics and Space Administration, Geoscience Australia, Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas, entre otros destacados colegas, por su apoyo y cooperación.

ÍNDICE

CARATULA	i
DEDICATORIAS	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	ix
RESUMEN	xviii
ABSTRACT	xix
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento del problema	3
1.2 Descripción del problema	4
1.3 Formulación del problema	8
1.3.1 Problema General	8
1.3.2 Problemas Específicos.....	8
1.4 Antecedentes	9
1.5 Justificación de Investigación	16
1.5.1 Justificación teórica	18
1.5.2 Justificación práctica	18
1.5.3 Justificación metodológica	19
1.5.4 Justificación social	20
1.5.5 Importancia de la Investigación	20
1.6 Limitaciones de la investigación	26
1.6.1 Delimitación espacial	28
1.6.2 Delimitación temporal	28
1.7 Objetivos de la Investigación	29
1.7.1 Objetivo General	29
1.7.2 Objetivos Específicos	29
1.8 Hipótesis	30
1.8.1 Hipótesis General	30
1.8.2 Hipótesis Especificas	30

1.8.3 Hipótesis Nula	30
II. MARCO TEÓRICO	31
2.1 Marco Conceptual	31
2.2 Bases Teóricas	45
III. MÉTODO	49
3.1 Tipo de Investigación	49
3.2 Población y muestra	50
3.3 Operacionalización de Variables	50
3.4 Instrumentos	52
3.5 Procedimientos.	54
3.6 Análisis de datos	55
IV. RESULTADOS	57
4.1 Análisis e interpretación de resultados	57
4.1.1 Diagnóstico del Proceso	57
Sismo del 27.02.2010 y desplazamientos en Chile	59
Sismo del 16.04.2016 y desplazamientos en Ecuador	91
Sismo del 28.06.2001 y desplazamientos en Perú	108
4.2 Comparación	126
4.2.1 Comparación desplazamientos	126
Chile: sismo del 27.02.2010	126
Ecuador: sismo del 16.04.2016	137
Perú: sismo del 23.06.2001	143
4.2.2 Desplazamientos de estaciones en relación a distancias geodésicas al Epicentro	146
4.3 Contrastación de la Hipótesis	149
4.3.1 Componente Latitud	150
4.3.2 Componente Longitud	151
4.3.3 Componente Altura Elipsoidal	152
4.3.4 Referencia horizontal (Latitud y Longitud)	153
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	
5.1 Evaluación e Interpretación de los Resultados	154

VI. CONCLUSIONES	164
VII. RECOMENDACIONES	167
VIII. REFERENCIAS	170
IX. ANEXOS	176
Anexo 1. : Matriz de Consistencia	176

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Estaciones geodésicas consideradas para el estudio	57
Tabla 2	Solución final obtenida luego de procesar en red las observaciones geodésicas GPS recopiladas en la Estación CONZ el 01.02.2010	61
Tabla 3	Solución final obtenida luego de procesar en red las observaciones Geodésicas GPS recopiladas en la Estación IQQE el 01.02.2010	66
Tabla 4	Solución final obtenida luego de procesar en red las observaciones geodésicas GPS recopiladas en la Estación ANTC el 01.02.2010	70
Tabla 5	Solución final obtenida luego de procesar en red observaciones geodésicas GPS recopiladas en la Estación AREQ el 01.02.2010 ...	74
Tabla 6	Solución final obtenida luego de procesar en red observaciones geodésicas GPS recopiladas en la Estación COPO el 01.02.2010	78
Tabla 7	Solución final obtenida luego de procesar en red observaciones geodésicas GPS recopiladas en la Estación SANT el 01.02.2010	82
Tabla 8	Solución final obtenida luego de procesar en red observaciones geodésicas GPS recopiladas en la Estación VALP el 01.02.2010	86
Tabla 9	Solución final obtenida luego de procesar en red observaciones geodésicas GPS recopiladas en la Estación RIOP el 01.04.2016	92
Tabla 10	Solución final obtenida luego de procesar en red observaciones geodésicas GPS recopiladas en la Estación QUI3 el 01.04.2016 ...	100
Tabla 11	Solución final obtenida luego de procesar en red observaciones geodésicas GPS recopiladas en la Estación AREQ el 02.06.2001 ...	111
Tabla 12	Desplazamientos horizontales por causa sismo del 27.02.2010, componente Latitud geodésica	149
Tabla 13	Desplazamientos horizontales por causa sismo del 27.02.2010, componente Longitud geodésica	150
Tabla 14	Desplazamientos horizontales por causa sismo del 27.02.2010, componente Altura Elipsoidal	151
Tabla 15	Desplazamientos por causa sismo del 27.02.2010, resultante componente Horizontal	152

Tabla 16	Desplazamientos estimados de estaciones ubicadas en Chile y Perú, a causa sismo del 27.02.2010	160
Tabla 17	Desplazamientos estimados en las estaciones RIOP y QUI3 ubicadas en Ecuador a causa sismo del 16.04.2016	161
Tabla 18	Desplazamientos en la estación AREQ ubicada Perú, a causa sismo del 23.06.2001	161

INDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1	Ubicación de estaciones utilizadas para estudiar el sismo del 27.02.2010	58
Figura 2	Epicentros sismo del 27.02.2010 con estaciones VALP, SANT, CONZ, ANTC.....	59
Figura 3	Intensidades percibidas en las estaciones VALP, SANT, CONZ, luego del sismo ocurrido el 27.02.2010	60
Figura 4	Magnitudes calculadas sismo del 27.02.2010 por instituciones científicas.....	60
Figura 5	Ubicación referencial de la estación CONZ y estaciones consideradas en el procesamiento de data del día 01.02.2010	62
Figura 6	Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Latitud geodésica (segundos de arco) de la Estación CONZ, previos y posterior al sismo del 27 febrero 2010, epicentro en Chile	63
Figura 7	Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Longitud geodésica (en segundos de arco) de la estación CONZ, previos y posteriores al sismo del 27 febrero 2010 en Chile	64
Figura 8	Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Altura Elipsoidal (en metros) de la estación CONZ, previo y posterior al sismo del 27 febrero 2010, en Chile	65
Figura 9	Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Latitud geodésica (en segundos de arco), de la estación IQQE, previo y posterior al sismo del 27 febrero 2010, en Chile	67
Figura 10	Serie de tiempo que modela desplazamientos de la componente Longitud geodésica (en segundos de arco) de la estación IQQE, previo y posterior al sismo del 27 febrero 2010 en Chile	68
Figura 11	Serie de tiempo que modela desplazamientos de la componente Altura Elipsoidal (en metros) de la estación IQQE, previo y posterior al sismo del 27 febrero 2010, en Chile.....	69
Figura 12	Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Latitud geodésica (en segundos de arco), en la estación ANTC,	

	previo y posterior al sismo del 27 febrero 2010 en Chile	71
Figura 13	Serie de tiempo que modela desplazamientos de la componente Longitud geodésica (en segundos de arco) de la estación ANTC, previo y posterior al sismo del 27 febrero 2010 en Chile.	72
Figura 14	Serie de tiempo que modela desplazamientos de la componente Altura Elipsoidal (en metros) de la estación ANTC, previo y posterior al sismo del 27 Febrero 2010 ocurrido en Chile	73
Figura 15	Serie de tiempo que modela desplazamientos de la componente Latitud geodésica (en segundos de arco) en la estación AREQ ubicada en Perú, previo y posterior al sismo del 27 de Febrero del 2010 ocurrido en Chile	75
Figura 16	Serie de tiempo que modela desplazamientos de la componente Longitud geodésica (en segundos de arco) en la estación AREQ ubicado en el Perú, previo y posterior al sismo del 27 Febrero 2010 ocurrido en Chile	76
Figura 17	Serie de tiempo que modela desplazamientos de la componente Altura Elipsoidal (en metros) en la estación AREQ ubicada en el Perú, previo y posterior al sismo del 27 Febrero 2010 ocurrido en Chile	77
Figura 18	Serie de tiempo que modela desplazamientos de la componente Latitud geodésica (en segundos de arco) en la estación COPO, previo y posterior al sismo del 27 Febrero 2010 ocurrido en Chile ...	79
Figura 19	Serie de tiempo que modela desplazamientos de la componente Longitud geodésica (en segundos de arco) en la estación COPO, previo y posterior al sismo del 27 Febrero 2010 ocurrido en Chile	80
Figura 20	Serie de tiempo que modela desplazamientos de la componente Altura Elipsoidal (en metros) en la estación COPO, previo y posterior al sismo del 27 Febrero 2010 ocurrido en Chile	81
Figura 21	Serie de tiempo que modela desplazamientos de la componente Latitud geodésica (en segundos de arco) en la estación SANT, previo y posterior al sismo del 27 Febrero 2010 ocurrido en Chile	83

Figura 22	Serie de tiempo que modela desplazamientos de la componente Longitud geodésica (en segundos de arco) en la estación SANT, previo y posterior al sismo del 27 Febrero 2010 ocurrido en Chile ...	84
Figura 23	Serie de tiempo que modela desplazamientos de la componente Altura Elipsoidal (en metros) en la estación SANT, previo y posterior al sismo del 27 Febrero 2010 ocurrido en Chile	85
Figura 24	Serie de tiempo que modela desplazamientos de la componente Latitud geodésica (en segundos de arco) en la estación VALP, previo y posterior al sismo del 27 Febrero 2010 ocurrido en Chile	87
Figura 25	Serie de tiempo que modela desplazamientos de la componente Longitud geodésica (en segundos de arco) en la estación VALP, previo y posterior al sismo del 27 Febrero 2010 ocurrido en Chile	88
Figura 26	Serie de tiempo que modela desplazamientos de la componente Altura Elipsoidal (en metros) en la estación VALP, previo y posterior al sismo del 27 Febrero 2010 ocurrido en Chile	89
Figura 27	Epicentro sismo del 16.04.2016, estaciones QUI3 y RIOP ubicadas en Ecuador	90
Figura 28	Magnitud sismo del 16.04.2016	91
Figura 29	Ubicación de RIOP y estaciones para procesamiento.....	93
Figura 30	Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Latitud geodésica (en segundos de arco) en la Estación RIOP, previo y posterior al sismo del 16 Abril 2016 ocurrido en el Ecuador	94
Figura 31	Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Longitud geodésica (en segundos de arco) en la estación RIOP, previo y posterior al sismo del 16 Abril 2016 ocurrido en el Ecuador ..	95
Figura 32	Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Altura Elipsoidal (en metros) en la estación RIOP, previo y posterior al sismo del 16 Abril 2016 ocurrido en el Ecuador.....	96
Figura 33	Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Latitud geodésica (en segundos de arco) en la estación RIOP, durante los meses de Marzo, Abril y Mayo 2016	97

Figura 34	Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Longitud geodésica (en segundos de arco) en la estación RIOP, durante los meses de Marzo, Abril y Mayo 2016	98
Figura 35	Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Altura Elipsoidal (en metros) en la estación RIOP, durante los meses de Marzo, Abril y Mayo 2016.....	99
Figura 36	Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Latitud Geodésica (en segundos de arco) en la estación QUI3, durante Abril del 2016	101
Figura 37	Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Longitud geodésica (en segundos de arco) en la estación QUI3, durante Abril del 2016	102
Figura 38	Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Altura Elipsoidal (en metros), en la estación QUI3, durante Abril del 2016	103
Figura 39	Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Latitud geodésica (en segundos de arco) en la estación QUI3, durante los meses de Marzo, Abril y Mayo 2016	104
Figura 40	Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Longitud geodésica (en segundos de arco) en la estación QUI3, durante los meses de marzo, abril y mayo 2016	105
Figura 41	Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Altura Elipsoidal (en metros) en la estación QUI3, durante los meses de Marzo, Abril y Mayo 2016.....	106
Figura 42	Ubicación del epicentro sismo del 23.06.2001 y la estación AREQ ..	107
Figura 43	Magnitudes calculadas por el IGP y USGS para el sismo del 23.06.2001.....	108
Figura 44	Magnitudes calculadas por el IGP y NEIC para el sismo del 23.06.2001.....	109
Figura 45	Intensidad sismo del 23.06.2001	110
Figura 46	Ubicación de AREQ y de estaciones usadas en el procesamiento ...	112

Figura 47	Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Latitud geodésica (en segundos de arco) en la estación AREQ, durante el mes junio del 2001	113
Figura 48	Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Longitud geodésica (en segundos de arco) en la estación AREQ, durante el mes de Junio 2001	114
Figura 49	Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Altura Elipsoidal (en metros) en la estación AREQ, durante el mes de Junio del 2001	115
Figura 50	Serie de tiempo que modela desplazamientos en Latitud geodésica de la estación AREQ, durante Abril, Mayo, al 23 de Junio 2001	116
Figura 51	Serie de tiempo que modela desplazamientos en Longitud geodésica de la estación AREQ, durante Abril, Mayo, al 23 de Junio 2001	117
Figura 52	Serie de tiempo que modela desplazamientos en Altura Elipsoidal de la estación AREQ, durante abril, mayo, al 23 de junio 2001	118
Figura 53	Serie de tiempo que modela desplazamientos en Latitud geodésica en la estación AREQ, periodo del 24 al 30 Junio 2001	119
Figura 54	Serie de tiempo que modela desplazamientos en Longitud geodésica en la estación AREQ, periodo del 24 al 30 Junio 2001	120
Figura 55	Serie de tiempo que modela desplazamientos en la Altura Elipsoidal en la estación AREQ, periodo del 24 al 30 Junio 2001	121
Figura 56	Serie de tiempo que modela desplazamientos en Latitud geodésica de la estación AREQ, periodo del 22 al 25 Junio 2001	122
Figura 57	Serie de tiempo que modela desplazamientos en Longitud geodésica de la estación AREQ, periodo del 22 al 25 Junio 2001	123
Figura 58	Serie de tiempo que modela desplazamientos en la Altura Elipsoidal de la estación AREQ, periodo del 22 al 25 Junio 2001	124
Figura 59	Ubicación de estaciones de referencia en Chile y Perú	125
Figura 60	Ubicación de epicentros calculados por centros especializados	126
Figura 61	Comparación de magnitudes calculadas para el sismo del 27.02.2010	126

Figura 62	Estación CONZ febrero 2010, componente Latitud geodésica	127
Figura 63	Estación ANTC periodo enero a marzo 2010, componente Latitud geodésica	127
Figura 64	Estación SANT periodo enero a marzo 2010, componente Latitud geodésica.....	127
Figura 65	Estación IQQE periodo enero a febrero 2010, componente Latitud geodésica	128
Figura 66	Estación COPO periodo enero a marzo 2010, componente Latitud geodésica	128
Figura 67	Estación VALP periodo enero a marzo 2010, componente Latitud geodésica	128
Figura 68	Estación AREQ periodo 29 enero a marzo 2010, componente Latitud geodésica	128
Figura 69	Estación CONZ febrero 2010, componente Longitud geodésica	130
Figura 70	Estación VALP periodo enero a marzo 2010, componente Longitud geodésica	130
Figura 71	Estación ANTC periodo enero a marzo 2010, componente Longitud geodésica	130
Figura 72	Estación SANT periodo enero a marzo 2010, componente Longitud geodésica.....	130
Figura 73	Estación IQQE periodo enero a febrero 2010, componente Longitud geodésica	131
Figura 74	Estación COPO periodo enero a marzo 2010, componente Longitud geodésica	131
Figura 75	Estación AREQ periodo enero a marzo 2010, componente Longitud geodésica	131
Figura 76	Estación CONZ periodo febrero 2010, componente Altura Elipsoidal	132
Figura 77	Estación ANTC periodo enero a marzo 2010, componente Altura Elipsoidal	133

Figura 78	Estación SANT periodo enero a marzo 2010, componente Altura Elipsoidal	133
Figura 79	Estación IQQE periodo enero a febrero 2010, componente Altura Elipsoidal	134
Figura 80	Estación COPO periodo enero a marzo 2010, componente Altura Elipsoidal	134
Figura 81	Estación VALP periodo enero a marzo 2010, componente Altura Elipsoidal	134
Figura 82	Estación AREQ periodo enero a marzo 2010, componente Altura Elipsoidal	134
Figura 83	Estación RIOP periodo abril 2016, componente Latitud geodésica ..	136
Figura 84	Estación QUI3 periodo abril 2016, componente Latitud geodésica ..	136
Figura 85	Estación RIOP periodo de marzo a mayo 2016, componente Latitud geodésica	136
Figura 86	Estación QUI3 periodo de marzo a mayo 2016, componente Latitud geodésica	136
Figura 87	Estación RIOP periodo de abril 2016, componente Longitud geodésica	138
Figura 88	Estación QUI3 periodo de abril 2016, componente Longitud geodésica	138
Figura 89	Estación RIOP periodo de marzo a mayo 2016, componente Longitud geodésica	138
Figura 90	Estación QUI3 periodo de marzo a mayo 2016, componente Longitud geodésica	138
Figura 91	Estación RIOP periodo abril 2016, componente Altura Elipsoidal	140
Figura 92	Estación QUI3 periodo abril 2016, componente Altura Elipsoidal	140
Figura 93	Estación RIOP periodo marzo a mayo 2016, componente Altura Elipsoidal	140
Figura 94	Estación QUI3 periodo marzo a mayo 2016, componente Altura Elipsoidal	140
Figura 95	Estación AREQ periodo junio 2001, componente Latitud	

	Geodésica	142
Figura 96	Estación AREQ periodo abril al 23 junio 2001, componente Latitud geodésica	142
Figura 97	Estación AREQ periodo del 24 al 30 junio 2001, componente Latitud geodésica	142
Figura 98	Estación AREQ periodo del 22 al 25 de junio 2001, componente Latitud geodésica	142
Figura 99	Estación AREQ periodo junio 2001, componente Longitud Geodésica	143
Figura 100	Estación AREQ periodo abril al 23 de junio 2001, componente Longitud geodésica	143
Figura 101	Estación AREQ periodo del 24 al 30 junio 2001, componente Longitud geodésica	143
Figura 102	Estación AREQ periodo del 22 al 25 junio 2001, componente Longitud geodésica	143
Figura 103	Estación AREQ periodo junio 2001, componente Altura Elipsoidal ...	144
Figura 104	Estación AREQ periodo de abril al 23 junio 2001, componente Altura Elipsoidal	144
Figura 105	Estación AREQ periodo de abril al 23 junio 2001, componente Altura Elipsoidal	144
Figura 106	Estación AREQ periodo del 22 al 25 junio 2001, componente Altura Elipsoidal	144
Figura 107	Desplazamientos de estaciones en relación a las distancias geodésicas al epicentro sismo del 27.02.2010, componente Latitud geodésica	145
Figura 108	Desplazamientos de estaciones en relación a las distancias geodésicas al epicentro sismo del 27.02.2010, componente Longitud geodésica	146
Figura 109	Desplazamientos de estaciones en relación a las distancias geodésicas al epicentro sismo del 27.02.2010, componente Altura Elipsoidal	147

Figura 110	Desplazamientos horizontales en relación a distancias geodésicas al epicentro sismo del 27.02.2010, componente Latitud geodésica ..	158
Figura 111	Desplazamientos horizontales en relación a distancias geodésicas al epicentro sismo del 27.02.2010, componente Longitud geodésica	158
Figura 112	Desplazamientos horizontales en relación a distancias geodésicas al epicentro sismo del 27.02.2010, componente Altura Elipsoidal	159

RESUMEN

El objetivo del presente estudio es determinar la relación entre los desplazamientos en estaciones geodésicas de referencia ubicados en Perú, Ecuador y Chile, con las distancias geodésicas a epicentros de sismos (Período 1996-2016). Para el estudio se seleccionaron sismos ocurridos en las siguientes fechas: 27.02.2010 en Chile, 16.04.2016 en Ecuador y 26.06.2001 en el Perú.

La data de observaciones geodésicas, fueron obtenidas de entidades científicas internacionales que disponen servidores de archivos, en los cuales se identificaron estaciones con data geodésica satelital de observaciones para el periodo de estudio. La data recuperada de estaciones geodésicas, fueron evaluados sus parámetros y configuraciones contenidos en los archivos correspondientes al receptor, antena, observaciones, mensajes, entre otros. La data geodésica de cada una de las estaciones seleccionadas, fueron sometidas para su procesamiento en red con otras estaciones geodésicas internacionales que disponen archivos de observaciones para periodos similares o fechas comunes.

La muestra para el estudio lo conforman nueve (9) estaciones geodésicas, de las cuales siete (6) están ubicadas en Chile, dos (2) en Ecuador, uno (1) en el Perú.

Para el modelamiento, análisis e interpretación, se consideraron desplazamientos espaciales temporales, tomando como referencia la variación entre soluciones finales diarias en coordenadas geodésicas, obtenidas luego del procesamiento y ajuste en red con estaciones geodésicas satelitales internacionales.

Finalmente, se demostró la relación entre los desplazamientos espaciales temporales ocurridos en las estaciones de referencia, con las distancias geodésicas calculadas a los epicentros de los sismos, modelados analizados e interpretados mediante series de tiempo.

Palabras claves: coordenadas geodésicas, desplazamientos, distancias geodésicas, series del tiempo, ajuste en red, modelamiento, sismos.

ABSTRACT

The objective of this study is to determine the relationship between displacements in geodetic reference stations located in Perú, Ecuador and Chile, with geodetic distances to epicenters of earthquakes (Period 1996-2016). For the study, earthquakes occurred on the following dates were selected: 27.02.2010 in Chile, 16.04.2016 in Ecuador and 26.06.2001 in Perú.

The data of geodetic observaciones, were obtained from international scientific entities that have file servers, in which stations with satellite geodetic data of observations were identified for the study period. The data recovered from geodetic stations, their parameters and configurations contained in the files corresponding to the receiver, antenna, observations, messages, among others were evaluated. The geodetic data of each of the selected stations were submitted for network processing with other international geodetic stations that have observation files for similar periods or common dates.

The sample for the study is made up of nine (9) geodetic stations, of which seven (7) are located in Chile, two (2) in Ecuador, one (1) in Perú.

For modeling, analysis and interpretation, temporary spatial displacements were considered, taking as a reference the variation between daily final solutions in geodetic coordinates, obtained after processing and network adustamente with international satellite geodetic stations.

Finally, the relationship between the temporal spatial displacements occurred in the reference stations was demonstrated, with the geodetic distances calculated to the epicenters of the earthquakes, modeled analyzed and interpreted by time series.

Keywords: geodetic coordinates, displacements, geodetic distances, time series, network adjustment, modeling, earthquakes.

I. Introducción

En la actualidad las instituciones publicitan valores de coordenadas las cuales en la mayoría de los casos no asocian la fecha en que fueron tomados los datos de campo, fecha en que fueron procesados, metodología, técnica con que fueron obtenidas los valores en coordenadas; estos valores de coordenadas al ser empleados como base para trabajos de georreferenciación y otros, traen como consecuencias e implicancias, bases gráficas no homogéneas, no estandarizadas, no actualizadas; en algunos casos se fijan como referencia valores de coordenadas con cuatro decimales en el sistema métrico (decimas de milímetro), no obstante desconocerse detalles de los levantamientos de campo, técnica, estrategia de cálculo, equipos utilizados, además no considerar valores de coordenadas que cambian en el tiempo en distintas magnitudes, orientación, sentido.

Los sistemas de información espacial y geo servidores, incluyen en sus productos presentaciones temáticas digitales objetos georeferenciados, al realizar comparaciones con valores de coordenadas actuales, difieren de manera considerable, lo cual trae como consecuencia variaciones de diversa magnitud, referencias espaciales imprecisas en algunos casos usados para la obtención de los valores en coordenadas de vértices o puntos de referencia, líneas o polígonos. Por este motivo, es necesario considerar los cambios espaciales producidos en las estaciones de referencia tanto en valores obtenidos de coordenadas absolutas y coordenadas relativas a través del tiempo, lo cual contribuirá a mejorar los sistemas

de información espacial, georreferenciación adecuada, enlaces, evitando propagar y/o acumular errores.

Se plantean los antecedentes del problema teniendo como base la información brindada por parte de instituciones, con lo que se plantean los objetivos, justificación, importancia, así como las limitaciones de la investigación.

Luego se presentan el marco teórico, las técnicas relacionadas con los comportamientos de las placas, geodinámica interna y externa, así como también se plantea la Hipótesis de la Investigación.

Asimismo, se describe el tipo y metodología de la investigación realizada, así como sus alcances.

Posteriormente se presentan los resultados obtenidos luego de la aplicación de la metodología para la obtención de datos diarios de estaciones, orden de datos, procesamiento con software científico, validación de resultados con reportes detallados, construcción de series de tiempo. En este Capítulo se puede observar las gráficas de las series de tiempo y las ecuaciones de grado 6 de modelamiento, útiles para el análisis correspondiente. También se presenta la relación entre los desplazamientos espaciales en las estaciones de referencia con las distancias geodésicas a los epicentros de sismos, contrastación de la hipótesis.

Se presenta la discusión de los resultados que se obtuvieron, también las conclusiones y recomendaciones, que han sido obtenidos con este trabajo de investigación.

1.1. Planteamiento del Problema

En el Perú, Ecuador y Chile, entre otros países, históricamente se han producidos sismos que han ocasionado pérdidas de vidas humanas y/o lesiones, afectando principalmente la integridad física de la población, daños a la infraestructura, vías de comunicación, servicios básicos, entre otros; en Arequipa se tienen registros que entre los años 1471 - 1490 se produjo un sismo que ocasiono pérdidas de vidas humanas, destrucción de la ciudad, erupción del volcán Misti, entre otros daños. Según INDECI (2006):

Entre los años de 1471 – 1490, gran terremoto que destruyó el primitivo asiento de la ciudad de Arequipa, fue la época del Inca Túpac Yupanqui, en la cual perecieron todos sus habitantes y hubo la erupción del volcán Misti, alcanzó una intensidad de VIII en la Escala Modificada de Mercalli. (INDECI, 2006, p.1).

Las experiencias históricas y enseñanzas, son bases para analizar realizar propuestas cuyas interpretaciones contribuyan a reducir posibles daños y/o efectos negativos luego de la ocurrencia de un sismo. En el Perú el sismo ocurrido en Pisco el 15.08.2007, mostro los riesgos que representan la concentración de numerosas personas en ambientes precarios, cerrados, estructuras antiguas y/o debilitadas potencialmente en peligro que colapsen ante la ocurrencia de un sismo; fue en una Iglesia donde se produjeron un gran número de víctimas mortales. El tiempo de duración de ruptura denominado también liberación de energía, cuyos registros permiten analizar desplazamientos a considerar en diseños y labores de construcción, evaluando su resistencia y adaptabilidad.

1.2. Descripción del Problema

No es posible evitar que se produzca un sismo, así como predecir el lugar y la fecha en que sucedería el mismo; en el caso de Ecuador, Chile y Perú, los sismos se originan principalmente por procesos de subducción de la Placa de Nazca debajo de la Placa Continental, así como por la presencia de diversas fallas. Labores de alerta y preparación en zonas donde en fechas anteriores se produjeron sismos, hacen tomar conciencia de las probabilidades que vuelva a ocurrir; también en las zonas donde por periodos considerables y/o prolongados no se han producido sismos, estar atentos y preparados es importante ante la probabilidad de que los sismos puedan producirse en algún momento.

La interpretación de la información espacial temporal de observaciones geodésicas disponibles contribuiría a implementar y/o mejorar los sistemas de alerta temprana, también a sensibilizar a la población en temas de prevención y gestión de riesgo, autoridades involucradas incluidas las encargadas de la expedición de normas de seguridad que involucren a la protección y/o reducción de daños en la población, estar más preparados para actuar adecuadamente ante un sismo, reduciendo posibles daños personales y materiales.

Según IGP (2014), los sismos que se producen en el Perú tanto en la costa, sierra y selva, varían en cuanto a las fuentes que lo producen. La primera fuente por los procesos de fricción entre las placas de Nazca y Sudamericana ubicado entre la fosa y la costa; la segunda fuente que se considera de deformación se produce en la corteza continental por la existencia de fallas geológicas; y la tercera fuente

referida a deformación interna que produce la placa de Nazca debajo de la cordillera de los Andes.

Luego de ocurrido un sismo, se producen desplazamientos, daños en la infraestructura física de servicios (agua, desagüe, luz, gas, comunicaciones, otros); con la finalidad de reducir daños, los responsables de las empresas prestadoras de servicios y/o concesionarias deberían incluir y/o considerar planes de emergencia que permita sobreponerse al evento, en el más breve plazo reparar sus instalaciones e infraestructura dañada, dar continuidad al suministro de servicios y/o reponerlos; si dichos planes no son considerados de manera proactiva, podría ocasionar cortes prolongados de servicios y desabastecimiento, aumentando considerablemente el número de víctimas.

Según indica Kuroiwa (s/f): “Que las empresas públicas y privadas que brindan servicio de agua y energía, investiguen la vulnerabilidad sísmica de sus sistemas y de acuerdo a ello formular un Plan efectivo de mitigación.” (Kuroiwa, s/f, p.25).

Los sismos de acuerdo a la magnitud y profundidad, afectan en algunos casos a varios países; por ejemplo, luego del sismo ocurrido el 27.02.2010 cuyo epicentro fue localizado en Chile, se advirtieron deformaciones, que fueron cuantificados desplazamientos, en varios países: es el caso que, en Argentina, se produjeron desplazamientos los cuales fueron calculados.

Según IGN, Argentina, (2010):

Cuando ocurre un sismo como el sucedido en Chile, se produce una fractura entre las dos placas y esto genera una deformación violenta de las mismas. Entonces al comparar las coordenadas de las estaciones RAMSAC del día anterior al sismo con las del día posterior, se manifiesta una diferencia de posición de las mismas que refleja la deformación producida por el terremoto. (IGN, Argentina, 2010, p.2)

Los locales donde se brindan servicios educativos y de salud, al considerarse estratégicos, actualmente en algunos casos están contruidos sin diseños resistentes a sismos, flexibilidad, limitada rigidez, con variedad de materiales, diseños de construcción, entre otros; para reducir el número de víctimas ocasionadas por los sismos, es oportuno evaluar la resistencia de las edificaciones.

Según Quiun, Muñoz, Tinman. (2005):

Las edificaciones reforzadas fueron construidas hace varias décadas prácticamente sin criterios de diseño sismorresistente, razón por la que tienen poca rigidez lateral, poca resistencia y ductilidad limitada. La estrategia general consistió en incrementar la resistencia general de las edificaciones y en reducir la deriva para controlar las demandas de ductilidad sobre los elementos existentes. (Quiun et al, 2005, p. 8).

En los últimos ocho años han ocurrido varios sismos en países de Sudamérica que han producido daños e incluso colapsos de edificios educativos y de salud. Esto implica que hay mucho que trabajar aún para dotar de seguridad a estas edificaciones esenciales e importantes, aumentando su rigidez y resistencia sísmica. (...) Estos sismos se suman al de junio 2001 en el sur de Perú y norte de Chile para configurar

una serie de países vecinos con sismos moderados pero con daños inaceptables en edificaciones de salud y edificaciones educativas.(Quiun et al, 2005, p. 11)

Determinar posiciones espaciales de referencia actualizadas temporalmente, son importantes para determinar desplazamientos, los medios disponibles de la cooperación internacional contribuyen de manera importante y significativa, permitiendo acceder a data histórica, así como metodologías validadas internacionalmente.

Según IGM, Bolivia (2010):

Las coordenadas sobre la superficie de la Tierra varían en función del tiempo como consecuencia de los desplazamientos de las placas tectónicas, de las deformaciones de la corteza terrestre y de los movimientos abruptos causados por terremotos. En principio, la parte oeste de Bolivia se encuentra en la zona de deformación entre las placas Suramericana y Nazca. (IGM, Bolivia, 2010, p. 11)

Algunos ejemplos de desplazamientos por procesos de subducción entre Placas, también se dan en Centroamérica, donde los cambios espaciales temporales han sido cuantificados y calculados, debido a fuentes diversas como la interacción de Placas Cocos y Caribe, placas Norte América y Caribe, también a los sistemas de fallas locales y regionales; según INSIVUMEH. (2014):

Las principales fuentes sísmicas (...), que coinciden con los límites entre placas, son la zona de subducción (interacción de la placa de Cocos y del Caribe), el sistema de grandes fallas de Polochic-Motagua (asociado al límite de las placas de Norte América

y del Caribe), y los sistemas de fallas en el interior de la Placa del Caribe. (INSIVUMEH, 2014, p.1)

(...) estimaciones preliminares indican un desplazamiento horizontal máximo del terreno de 4.3 cm en la estación COAT (Coatepeque), en dirección Sur-Oeste a consecuencia del sismo (..). En la misma dirección se reporta un desplazamiento horizontal de 1.7 cm para la estación HUEH (Huehuetenango). Existen otros registros de desplazamientos horizontales significativos en otras estaciones (mayores a 6 mm) y son despreciables los desplazamientos verticales. (INSIVUMEH, 2014, p. 5)

1.3. Formulación del problema

Planteamos la necesidad de determinar la relación entre los desplazamientos de las estaciones de referencia luego de ocurridos los sismos, con las distancias geodésicas a epicentros de sismos.

1.3.1. Problema General

¿Cómo se relacionan los desplazamientos de las estaciones geodésicas de referencia ubicados en Perú, Ecuador y Chile, con las distancias geodésicas a epicentros de sismos? (Periodo 1996-2016)

1.3.2. Problemas Específicos

a) ¿Cómo se relacionan los desplazamientos en la componente Latitud de las estaciones geodésicas de referencia ubicados en Perú, Ecuador y Chile,

con las distancias geodésicas a epicentros de sismos? (Periodo 1996-2016)

b) ¿Cómo se relacionan los desplazamientos en la componente Longitud de las estaciones geodésicas de referencia ubicados en Perú, Ecuador y Chile, con las distancias geodésicas a epicentros de sismos? (Periodo 1996-2016)

c) ¿Cómo se relacionan los desplazamientos en la componente Altura Elipsoidal de las estaciones geodésicas de referencia ubicados en Perú, Ecuador y Chile, con las distancias geodésicas a epicentros de sismos? (Periodo 1996-2016)

1.4. Antecedentes

Los desplazamientos espaciales locales ocurridos en el Chile, Ecuador, Perú, como consecuencia de los sismos, en la actualidad son posibles cuantificarlos y efectuar comparaciones temporales; el uso de técnicas geodésicas satelitales facilita calcular la posición de cualquier punto de referencia sobre la Tierra en relación a un tiempo determinado, también antes y posterior a un sismo, lo cual contribuye a cuantificar cambios espaciales temporales en las estaciones de referencia que cuentan con equipos receptores geodésicos de observación satelital temporal.

En la actualidad se llevan a cabo labores de vigilancia, observación, monitoreo, captura, almacenamiento, procesamiento y distribución de información sobre la ocurrencia de sismos en el mundo, por parte de instituciones especializadas, geofísicas, estatales y privadas, entre otros, que cuentan con personal e instrumental adecuado que permite ubicar el epicentro de un sismo a distancias considerables, calculando su magnitud; la intensidad es estimada en lugares próximos a los sismos. En el Perú el Instituto Geofísico del Perú, Instituto Geofísico de la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, entre otros realizan labores de sismología; a nivel internacional realizan el U.S. Geological Survey (Servicio Geológico de los Estados Unidos), institutos geofísicos, organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, investigadores y comunidad científica internacional.

Una de las consecuencias directas de los sismos son los desplazamientos espaciales relativos locales que ocurren en la superficie terrestre, con los sistemas geodésicos satelitales disponibles a la fecha es posible cuantificarlos. Conocer la magnitud de los desplazamientos luego de ocurrido un evento sísmico, contribuyen a evaluar con mayores criterios el empleo de referencias espaciales actualizadas temporalmente disponibles de acuerdo a la precisiones requeridas, con los que es posible cuantificar deformaciones locales, así como cambios espaciales útiles para la toma de decisiones en los niveles de gobierno, sociedad civil, instituciones, población en general.

Cuantificar y registrar desplazamientos luego de ocurrido un sismo, es importante para poder considerarlos en los diseños de obras de infraestructura y de servicios,

así como en obras de rehabilitación; en Chile luego del sismo del 27 de Febrero del 2010, se registraron desplazamientos así como cambios espaciales no uniformes en diversas localidades próximas al epicentro, los cuales no tuvieron la misma dimensión, orientación, sentido, ni fueron homogéneos. Según relata Morales (2010):

Tal es así que 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. Paradójicamente, Cobquecura que es una de las localidades costeras más cercanas al epicentro no sufrió una elevación, sino que por el contrario se generó un leve hundimiento. Más al norte la localidad de Lloca se hundió y sus efectos se pueden apreciar a simple vista en el cambio del curso en la desembocadura del río Mataquito. También se ha detectado cambios en los trenes de olas en las playas de Pichilemu, tan apetecidas por los surfistas, producto de modificaciones en la gradiente del fondo marino. (Morales, 2010, p.3)

Los desplazamientos y procesos de subducción entre la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana, han sido calculados y/o estimados, con diversos métodos, sistemas, equipos, técnicas, visualizándose cambios y tendencias espaciales temporales.

Según IGP (2013):

El Perú es parte del denominado Cinturón de Fuego del Pacífico y en su borde occidental se desarrolla el proceso de convergencia de la placa de Nazca bajo la Sudamericana a una velocidad promedio del orden de 7-8 cm/año (DeMets et al, 1980; Norabuena et al, 1999), siendo el mismo responsable de la actual geodinámica y geomorfología presente sobre todo en el territorio peruano. Este proceso permite la

ocurrencia de sismos de diversa magnitud y focos ubicados a variadas profundidades, todos asociados a la fricción de placas (oceánica y continental), deformación interna de la placa oceánica por debajo de la cordillera y deformación cortical a niveles superficiales. (IGP, 2013, p.4)

La deformación a niveles superficiales de la corteza terrestre a causa de los sismos, desplazamientos, en conjunto con los procesos de licuación de suelos y deslizamientos de tierras, ocasionan cambios locales que afectan en diversas formas y circunstancias a las personas e infraestructuras diversas, incluidos los servicios básicos. Según IGP (2013):

Los sismos con origen en los procesos de deformación de la corteza a niveles superficiales son menos frecuentes, pero cuando ocurren, producen daños de consideración en áreas relativamente pequeñas, por ejemplo los sismos del Alto Mayo (San Martín) del 30 de Mayo de 1990 y 5 de Abril de 1991, ambos con magnitudes de 6.0 y 6.5 Mw. Sismos con foco intermedio, pocas veces son sensibles en superficie, pero cuando alcanzan magnitudes ≥ 7.0 presentan gran radio de percepción y algunas veces producen daños leves en viviendas y procesos de licuación de suelos y/o deslizamientos de tierra y piedras en zonas de gran pendiente. (IGP, 2013, p.4)

Luego de ocurrido los sismos, las consecuencias en pérdida de vidas humanas, integridad salud física y mental de las personas, infraestructura, servicios básicos, comunicaciones, vías, economía, sociales, son considerables. Incrementan daños y víctimas los incendios, deslizamientos así como las avalanchas de escombros a causa de un sismo, que en muchos casos interrumpen la prestación de servicios

básicos, luz, agua, gas, comunicaciones, transporte, oleoducto, entre otros. Según Ortiz (2013):

Ecuador es un territorio sísmicamente activo que históricamente ha sido afectado por numerosos terremotos destructivos, entre los que se puede citar el terremoto de Esmeraldas de 1906 (M=8.8, uno de los más grandes registrados en el mundo), Ambato de 1949 (M=6.8) que dejó cerca de 5050 fallecidos (USGS), Reventador en 1987 (M=6.1 y 6.9) que provocó deslizamientos de lodo y avalanchas de rocas destruyendo parte del oleoducto ecuatoriano causando un gran impacto en la economía del país, Bahía de Caráquez en 1998 (M=7.2) que afectó cerca del 60% de las edificaciones de la zona. (Ortiz, 2013, p.1)

El proceso de subducción de la Placa de Nazca debajo de la Continental, en Chile, Perú, Ecuador, entre otros países, originan procesos con deformaciones que son estimadas y/o calculadas por investigadores e instituciones especializadas, ros de la comunidad científica internacional, contribuyendo a analizar y entender posibles implicancias, así como también la dinámica de fallas locales y regionales. En el Ecuador, los procesos de subducción y deformación se interpretan según Ortiz (2013):

La subducción oblicua de la placa de Nazca (Kellogg y Mohriak, 2001 Trenkamp et al., 2002) y el arribo de la Cordillera Carnegie a la fosa ecuatoriana (Pennington, 1981; Gutscher et al. 1999 en Trenkamp et al., 2002), indujeron la deformación de la placa superior, que es particionada a través del movimiento hacia el NE del Bloque Norandino (Alvarado, 2012). El Bloque Norandino migra hacia el NE a lo largo de un sistema de fallas mayores de desgarre lateral derecho. (Ortiz, 2013, p.42)

Los daños causados por un sismo en las construcciones e infraestructura diversa, se difunden por diversos medios entre los cuales están los medios de comunicación, redes sociales; ocultarlos o minimizar los daños causados por un sismo, podría ocasionar en el futuro que dichas estructuras debilitadas sean el origen de posibles mayores colapsos con considerables víctimas y daños; es decir, ante la ocurrencia de un próximo sismo, la infraestructura afectada y/o dañada con anterioridad, podría incrementar el número de víctimas. Sobre daños producidos por los sismos.

Según Aguilar, Zevallos, Palacios, García, Menéndez. (2016):

Es bastante complejo y laborioso reforzar una estructura que ha sido afectada por un terremoto, lo que no se puede hacer es darle un maquillaje a la estructura para que se vea sin daño ya que en el próximo terremoto se tendrá gran daño con el grave riesgo de colapso. (Aguilar et al, 2016, p. 24).

La ubicación del hipocentro de un sismo en algunos casos no es solo un punto, debe considerarse deslizamientos que ocurren en grandes zonas de la corteza terrestre. Como ejemplo de lo indicado, se tiene que en la costa noreste del Ecuador, el 16.04.2016 se produjo un sismo de magnitud 7,8 (Mw) a las 18:58 hora local, con una duración de aproximadamente 75 segundos; el cual no tuvo un único epicentro, ocurrió sobre una zona considerablemente extensa de aproximadamente 160 km. de largo por 60 Km. de ancho, en la cual se reportan existencia de una serie de fallas geológicas superficiales algunas de considerables

dimensiones, que históricamente han ocasionado sismos de diversa magnitud.

Según Senplades (2016):

El epicentro se ubicó a 21 kilómetros (km) de profundidad, entre las coordenadas 0,353°N; 79,925°O, a unos 29 km al sur-sureste de Muisne, Esmeraldas. Sin embargo, el movimiento no se expandió desde un único punto, sino que fue un deslizamiento entre secciones de la corteza terrestre que se presentó a lo largo de una amplia área de falla de aproximadamente 160 km de largo y 60 km de ancho. (Senplades, 2016, p. 9)

(...) El país está atravesado por una serie de fallas geológicas superficiales, que ya han generado terremotos destructivos en el pasado. Desde 1900, el país ha sufrido 13 sismos de magnitud entre 7,0 y 8,3. (Senplades, 2016, p.10)

El proceso de subducción de la Placa de Nazca debajo de la Placa Sudamericana, se produce desde hace muchos años, se han calculado y/o estimado desplazamientos, con variada orientación, dirección, rumbo, velocidad. Con la disponibilidad de técnicas e instrumentales más precisos, acceso a base de datos de archivos y de observaciones geodésicas satelitales, es posible cuantificarlos con mayor precisión.

Según Melnick et al. (2003):

La Placa de Nazca es subductada bajo la Placa Sudamericana a una velocidad de 66 mm/a (Angermann et al., 1999) como lo indican los datos de GPS o, ~80 mm/a según un promedio de los últimos ~3 Ma, en una dirección N78°E, oblicua respecto al rumbo ~NS a ~NNE de la Fosa Perú – Chile (Somoza, 1998). Bajo la Isla de Mocha la Placa de Nazca está constituida por corteza oceánica de ~25-30 Ma (Tebbenz y Cande,

1977) y ~7-8 km de espesor cortical (SPOC, en prensa). (Melnick, D, Sánchez, M., Echtler, H., Pineda, V., 2003, p.2)

Luego de ocurrido el sismo del 27.02.2010 en Chile, se reportaron desplazamientos diversos en varios países sudamericanos; por ejemplo, en la República Oriental del Uruguay, como consecuencia del sismo del 27.02.2010, se detectaron diversos desplazamientos. Según el Instituto Geográfico Militar de Uruguay (s/f):

A través de los datos colectados por la REGNA-ROU, en combinación con las demás estaciones de la red continental y global antes mencionadas, se ha venido observando un desplazamiento anual de la placa Sudamericana del orden de 1 cm en la dirección Sur - Norte. Particularmente, el 27 de febrero de 2010, en momentos en que sucedió el terremoto de magnitud 8,8 en la escala sismológica de Richter, con epicentro en la ciudad de Concepción-Chile, se pudo determinar que nuestro país tuvo un corrimiento del orden de los 2 cm en la dirección general este-oeste. (IGM, Uruguay, s/f, p.5)

1.5 Justificación de Investigación

El presente trabajo de investigación permitirá conocer como los desplazamientos ocurridos en las estaciones geodésicas de referencia, se relacionan con las distancias geodésicas a epicentros de sismos, que es posible cuantificarlos mediante el empleo entre otros, de técnicas geodésicas que emplean algunos sistemas satelitales.

La cooperación de la comunidad científica internacional, es importante para el acceso a servidores remotos que disponen de archivos con data histórica geodésica satelital; es decir, disponibilidad de data con observaciones geodésicas satelitales temporales de estaciones ubicadas en zonas próximas a los epicentros de sismos estudiados, mantenidos por instituciones especializadas y científicas internacionales, también cooperación de instituciones especializadas en el procesamiento y ajuste en red de observaciones geodésicas satelitales.

Los desplazamientos que ocurren como consecuencia de los sismos, afectan grandes zonas e instalaciones variadas debido al tipo de suelo y construcción efectuada, lo cual no es homogéneo. Diversas infraestructuras de servicios (redes de alta tensión, gas, agua y desagüe, oleoductos, gaseoductos, comunicaciones, otros), vías de comunicación (carreteras, vías férreas, puertos, aeropuertos, puentes, túneles, otros), centros públicos y privados (industria, servicios, salud, educativos, etc.), al quedar suspendido, interrumpido, colapsado, luego del sismo incrementan víctimas mortales y heridos, afectan la integridad física de las personas, daños al medio ambiente, contaminación, incendios, entre otros.

Los sistemas geodésicos satelitales mediante observaciones continuas permanentes en sitios de referencia, permiten cuantificar desplazamientos en función del tiempo.

Cuantificar desplazamientos de las estaciones de referencia estudiadas luego de ocurrido los sismos en el Perú, Chile y Ecuador, contribuye a la toma de decisiones, georreferenciación, mantenimiento de referencias actualizadas, actualizando información a las instituciones y autoridades competentes, para la

toma de decisiones referidas a la infraestructura, servicios, vías de comunicación, otros.

1.5.1. Justificación Teórica

Esta investigación se realiza con el propósito de contribuir al conocimiento sobre desplazamientos espaciales temporales previos y posteriores a un sismo, relacionarlos con las distancias geodésicas a los epicentros de sismos; contrastando con resultados obtenidos por instituciones e investigadores.

Los resultados de esta investigación podrán modelar la relación de los desplazamientos espaciales con las distancias geodésicas a los epicentros de sismos, contribuirán a los sistemas de alerta temprana, también a la información espacial gestionada y administrada por instituciones en geoservidores, base de datos catastrales, diseño y construcción de infraestructura de servicios básicos, comunicaciones, reduciendo imprecisiones.

1.5.2. Justificación Práctica

La presente investigación se realiza porque existe la necesidad de mejorar el conocimiento de los desplazamientos espaciales previos y posteriores a un sismo, modelamiento mediante series de tiempo correspondientes a componentes de un sistema de coordenadas, a considerar en los diseños y construcción, georreferenciación espacial y/o ajustes a referencias geodésicas, contribuyendo a estandarizar y homogenizar temporalmente referencias espaciales, contribuyen también con los sistemas de alerta.

La ubicación de señales o puntos de referencia basados en datos temporalmente actualizados, son importantes al realizar labores de vigilancia de desplazamientos (horizontales y verticales), necesarios considerarlos al estimar precisiones espaciales en referencias tomadas pertenecientes a una red geodésica.

1.5.3. Justificación Metodológica

El método para el cálculo de las soluciones finales diarias, se basaron en la búsqueda y selección de estaciones geodésicas, recuperación de archivos con observaciones satelitales históricas temporales de estaciones geodésicas, verificación configuración parámetros de la antena y receptor, verificación de los archivos de observaciones geodésicas satelitales obtenidos en las estaciones de referencia seleccionados en formato RINEX, luego sometidas para su procesamiento y ajuste en red posible por el apoyo que brindan instituciones internacionales que disponen del software como el Bernese, con estaciones geodésicas satelitales internacionales que tienen periodos de observaciones similares o de fechas comunes.

Luego del procesamiento y ajuste en red, se obtienen reportes con soluciones finales diarias, las cuales han sido consideradas para el modelamiento y análisis con las series de tiempo para cada componente, visualizando variaciones y tendencias útiles para el estudio.

1.5.4. Justificación Social

Un mayor conocimiento de los desplazamientos que ocurran en las estaciones de referencia, permitirán relacionar con las distancias geodésicas calculadas a los epicentros de sismos, contribuyendo para complementarse con estudios sobre desplazamientos espaciales locales y regionales, previos y posteriores a los sismos, útiles para realizar análisis integrales, contribuir con los sistemas de alerta.

El conocimiento de desplazamientos espaciales como consecuencias de los sismos, permitirá también sensibilizar a la población sobre la dinámica espacial local y/o regional temporal, contribuir con visión sostenida a definir orientar recursos vinculados a Planes de prevención y Planes de desarrollo concertado población y autoridades (locales, regionales, nacionales), fortaleciendo la planificación, gestión pública y desarrollo; tomar en cuenta en los presupuestos participativos los cambios dinámicos espaciales ocurridos en una localidad, contribuirán con los sistemas de alerta, reducir daños a la integridad física de la población, infraestructuras diversas, servicios básicos, vías y/o medios de comunicación.

1.5.5. Importancia de la Investigación

La investigación servirá para aportar información espacial temporal, contribuir a un mayor conocimiento de consecuencias ante la ocurrencia de sismos, útiles para la toma de decisiones en diferentes niveles del gobierno (central, regional, local, y/o poderes del Estado), sociedad civil, población, instituciones y empresas

privadas, al relacionar los desplazamientos con distancias geodésicas a los epicentros de sismos, permitiendo realizar acciones preventivas que contribuyan a reducir daños personales y/o infraestructuras incluidas las de servicios.

Un mayor conocimiento de los cambios espaciales relativos permitirá también orientar y/o efectuar recomendaciones a la normatividad que regula actividades directas e indirectas vinculadas al entorno físico relacionadas a sectores del gobierno central, regional, local, sociedad civil, comunidades, instituciones y/o empresas públicas también las privadas, tomando como referencia experiencias internacionales de países; tomar en cuenta la potencial amenaza en algunas regiones incluidas Lima por el prolongado silencio sísmico, período de retorno en zonas donde son advertidas la alta probabilidad que ocurran sismos de considerable magnitud.

La importancia de conocer con mayor detalle consecuencias de desplazamientos espaciales temporales luego de ocurrido un sismo, así como de sus réplicas, contribuyen a evaluar incluir y/o considerar criterios técnicos para adaptar términos de referencia, diseños para construcción de infraestructuras a ser tomados en cuenta por parte de responsables y/o proveedores de servicios básicos públicos (agua, suministro eléctrico, gas, oleoductos, otros), vías de comunicación; establecimientos de salud, seguridad, educativos, servicios, comercio, industria, comunicación, recreativos, otros.

Luego de ocurrido los sismos, la rapidez en las labores referidas a reparación para dar continuidad, reposición, disponibilidad en la provisión y prestación de servicios básicos afectados, ya que es muy probable que su demora podría tener impactos

en otras infraestructuras y/o de servicios; tomando como ejemplo el corte del suministro de servicios de agua y energía eléctrica producidos luego de la ocurrencia de un sismo como del 16.04.2016 en el Ecuador, según la Secretaria de Gestión de Riesgos (2016) en el Informe de Situación N° 42 indica:

En cálculo realizado en función de varios parámetros; se ha determinado que la cobertura de agua potable mediante redes domiciliarias alcanza un 55%, el 40% restante se viene abasteciendo mediante tanqueros; el restante 5% no se ha podido atender de manera efectiva debido a la falta de acceso a medios de comunicación y acceso vial. (Secretaria de Gestión de Riesgos, I.S. N° 42, 2016, p.3)

Servicio de energía eléctrica restablecido 92 %. En la provincia de Manabí, con postes y redes más afectados se encuentran operativos sus 638 kilómetros de líneas de subtransmisión y los alimentadores primarios. (Secretaria de Gestión de Riesgos, 2016, I.S. N°42, p. 6)

Los daños a la infraestructura, sistemas para la generación, transmisión, distribución de energía eléctrica, luego de producido un sismo requieren también realizar evaluaciones, focalizando las afectaciones diversas producidos por deslizamientos y desplazamientos; según la Secretaria de Gestión de Riesgos (2016) en el Informe de Situación N°71 indica:

La Generación y la Transmisión no tuvieron afectación alguna, en tanto que el sistema de Distribución con sus líneas de subtransmisión, subestaciones y circuitos primarios, si sufrieron afectación por daños en infraestructura ocasionada en gran parte por cortocircuitos, deslizamiento de tierras y árboles sobre las redes en sectores que recorren zonas montañosas. (Secretaria de Gestión de Riesgos, I.S. N° 71, 2016, p.9)

Estimar desplazamientos espaciales en zonas próximas a epicentros de sismos históricamente recurrentes, permitirá cuantificar y/o advertir cambios temporales, que en diversos niveles afectan actividades de personas, viviendas, construcciones e infraestructura pública y privada, vías de comunicación, servicios básicos, entre otros. No es posible predecir la ocurrencia de sismos, evaluar con series de tiempo desplazamientos ocasionados por los sismos, contribuyen a un mayor conocimiento de la dinámica espacial útiles para contribuir también con los sistemas de alerta.

La contribución de los estudios relacionados a cambios temporales que se producen en la ionosfera, efectos sobre las ondas electromagnéticas, implicancias en la precisión de posiciones sobre la Tierra, desplazamientos temporales, han tenido algunas contribuciones; con referencia al sismo del 2001 ocurrido en el Perú y posterior Tsunami en Japón. Algunos de estos efectos, según Herraiz M.& Sánchez-Dulcet F. (2014):

La primera vez que se observó este fenómeno fue al realizar el estudio de los efectos en la ionosfera sobre Japón creados por el tsunami originado por el terremoto de Perú de junio de 2001. El análisis del TEC puso de manifiesto la presencia de una anomalía relacionada claramente con el tsunami. Este mismo efecto ha sido observado también en los tsunamis que acompañaron, entre otros, a los sismos de Sumatra, de diciembre de 2004 y de Chile, de enero 2010. (Herraiz & Sánchez-Dulcet, 2014, p. 58/452)

Propuestas de investigadores señalan que en el interior de la Tierra, cuando los esfuerzos sobrepasan la resistencia de las rocas, se producen rupturas de rocas

y la energía acumulada es liberada, produciéndose sismos. Según CENAPRED (2007):

Se produce un sismo cuando los esfuerzos que afectan a cierto volumen de roca, sobrepasan la resistencia de ésta, provocando una ruptura violenta y la liberación repentina de la energía acumulada. Esta energía se propaga en forma de ondas sísmicas en todas direcciones. (CENAPRED, 2007, p. 28)

Los materiales utilizados para la construcción de viviendas en poblaciones rurales alejadas de las ciudades, que en algunos casos emplean el adobe y técnicas de autoconstrucción, siguiendo tradiciones históricas regionales, locales y/o familiares; estas construcciones ante la ocurrencia de sismos e inundaciones son vulnerables. Asimismo, la migración de habitantes del campo hacia las ciudades es tendencia en las últimas décadas, es consecuencia de la necesidad para pobladores en algunos casos migrantes, de disponer viviendas accesibles a sus ingresos económicos, asentándose en algunos casos en zonas no apropiadas y/o seguras, hacinamiento, vulnerables ante la ocurrencia de sismos; también el desempleo, desnutrición, caos en el transporte, entre otros. Las poblaciones rurales migran hacia las ciudades en busca de oportunidades, la falta de políticas de descentralización y planificación, ha traído como consecuencia centralismo, junto a problemas sociales, salud, seguridad, hacen que un mayor número de la población sea vulnerables ante la ocurrencia de un sismo.

También la migración de países con problemas internos políticos sociales económicos, trasladan e incrementan problemas a los países receptores, exposición y vulnerabilidad de un mayor número de personas no planificadas ante

la ocurrencia de un sismo. La descentralización y el fortalecimiento de capacidades, preparación, realización de simulacros, simulaciones, junto con la evaluación de cada ejercicio, contribuirá a mitigar y/o reducir mayores daños en la integridad física de la población.

Es importante indicar que las construcciones de adobe ante un colapso, no afectan al medio ambiente; las construcciones de cemento, luego de colapsar forman residuos que son necesarios erradicar o transportar a plantas de rellenos sanitarios u otros establecidos. Según Torres (2015): “El adobe es una de las técnicas de construcción más antiguas y populares del mundo. Su uso ha sido registrado desde hace 10 mil años en las más variadas zonas y climas del planeta.” (Torres, 2015, p. 38). Según lo indicado por Torres (2015):

El adobe por estar constituido con materiales locales y presentes naturalmente en el medio, puede tener una reintegración total a la naturaleza una vez que el edificio ya ha pasado su vida útil. En cambio el ladrillo, el hormigón/concreto y el cemento no se reintegran a la naturaleza una vez que el edificio ha perdido su función, quedando como escombros y provocando un impacto ambiental mucho mayor. (Torres, 2015, p. 42)

El conocimiento de las zonas vulnerables, estudiarlos y advertir el riesgo para las próximas poblaciones asentadas, contribuyen a que poblaciones dispongan de información y se asienten en lugares donde los suelos son relativamente estables ante la ocurrencia de un sismo y/o deslizamientos, evitando y/o reduciendo daños a la integridad física y/o pérdidas de vidas humanas, daños materiales diversos. Los pobladores ubicados dentro de la faja marginal, riberas y/o cauces de

quebradas y ríos, acantilados, ante la ocurrencia de sismos, se verán afectados con desplazamientos y/o deslizamientos que pueden ocasionar graves daños a la integridad física y la vida. Según CENAPRED (2001):

El concepto de período de retorno en términos probabilísticos no implica que el proceso sea cíclico, o sea que deba siempre transcurrir cierto tiempo para que el evento se repita. Un periodo de retorno de 100 años para cierto evento significa, por ejemplo, que en 500 años de los que hay datos históricos, el evento en cuestión se ha presentado cinco veces, pero que en un caso pudieron haber transcurrido 10 años entre un evento y el siguiente, y en otro caso, 200 años. (CENAPRED, 2001, p. 12)

Se ha observado claramente que la distribución de daños por sismo en áreas urbanas, presenta fuertes variaciones en función del tipo de suelo. (CENAPRED, 2001, p. 45).

Otros fenómenos locales que pueden producir consecuencias severas son la licuación, los movimientos de laderas y los desplazamientos permanentes del terreno por la presencia de fallas activas. (CENAPRED, 2001.p. 47)

1.6. Limitaciones de la Investigación

El acceso y disponibilidad de datos de estaciones de monitoreo continuo en algunos casos no tienen restricción (centros científicos de coordinación internacional), mientras que otros tienen acceso restringido y/o sujeto a costos económicos. Las observaciones geodésica satelital de estaciones permanentes ubicadas en Ecuador, Chile y Perú, son administradas por organismos gubernamentales, el acceso disponibilidad y acceso a la data no siguen los mismos procedimientos ni disponibilidad.

En el Perú, la data de observaciones geodésicas satelitales de estaciones pertenecientes a la red geodésica nacional activa, es administrada por el Instituto Geográfico Nacional. Según portal web IGN, Perú (s/f), el costo del servicio de Data estación de rastreo permanente (24 Horas) es de S/178.00; según IGN, Perú (s/f1), el Formulario de información de la estación GNSS permanente (ERP) tienen un costo de S/120.00. Considerando que para el estudio la data geodésica a evaluar es de 90 días aproximadamente por cada estación, representaría un costo de S/16,140.00 (S/16,020.00 data + S/120.00 información de la estación); de considerar 6 estaciones el costo por estación de la data geodésica sería de S/96,840.00; al no disponer recursos económicos que financien la adquisición de la data, no se consideró para este estudio comprar y utilizar la data geodésica satelital de estaciones permanentes administradas por el Instituto Geográfico Nacional.

En el Ecuador, el organismo encargado de la administración de la data de observaciones geodésicas satelitales de la red activa es el Instituto Geográfico Militar, que declaró de acceso libre a ciudadanos de su país, mediante Resolución No. 2013-003-IGM-f de fecha 23 de abril de 2013 Art.1 (IGM, Ecuador, 2013):

Declarar a los productos generados por la REGME, y publicados en el Geoportal Institucional (..) de libre acceso a las instituciones públicas, centros de investigación y/o educativos, debidamente registrados en este Instituto, de acuerdo al procedimiento establecido para el efecto. (IGM, Ecuador, 2013).

La data geodésica es de libre acceso para ciudadanos ecuatorianos vía solicitudes avaladas por representantes de las instituciones públicas, centros de investigación y/o educativos del Ecuador; al no tener acceso y/o aval desde el Perú a la data geodésica satelital observada en estaciones permanentes, en el presente estudio

no se han utilizado data de estaciones administradas por el Instituto Geográfico Militar de Ecuador.

En Chile, el acceso a data de observaciones geodésicas satelitales de estaciones permanentes no tiene restricción; el Centro Sismológico Nacional de la Universidad de Chile (CSN, 2019) en su portal web difunde data de observaciones geodésicas satelitales de la red que administra; no contienen archivos que correspondan al periodo de 1996 al 2016, por lo que dichos archivos no se han utilizado y considerado para este estudio.

Como referencia adicional, en Bolivia el acceso a la data de observaciones geodésicas satelitales de estaciones permanentes, son administradas por el Instituto Geográfico Militar de Bolivia, es de libre adquisición para sus ciudadanos mediante solicitudes avaladas por instituciones de Bolivia (IGM, Bolivia, 2019).

1.6.1 Delimitación espacial

Por las limitaciones descritas en los párrafos que anteceden, para el presente estudio se tomaron como referencia estaciones ubicadas en Ecuador, Perú, Chile, administradas por instituciones de la comunidad científica internacional a las que se tuvo acceso libre sin restricción. El estudio se acondiciona a recursos accesibles y disponibles.

1.6.2 Delimitación temporal

Los datos e información a considerarse corresponden al periodo 1996-2016.

1.7. Objetivos de la investigación

1.7.1. Objetivo General

Determinar la relación entre los desplazamientos en las estaciones geodésicas de referencia ubicados en Perú, Ecuador y Chile, con las distancias geodésicas a epicentros de sismos (Período 1996-2016).

1.7.2. Objetivos Específicos

Determinar la relación entre los desplazamientos en la componente Latitud ocurridos en las estaciones geodésicas de referencia ubicadas en Perú, Ecuador, Chile, con las distancias geodésicas a epicentros de sismos (Período 1996-2016).

Determinar la relación entre los desplazamientos en la componente Longitud ocurridos en las estaciones geodésicas de referencia ubicadas en Perú, Ecuador, Chile, con las distancias geodésicas a epicentros de sismos (Período 1996-2016).

Determinar la relación entre los desplazamientos en la componente Altura Elipsoidal ocurridos en las estaciones geodésicas de referencia ubicadas en Perú, Ecuador, Chile, con las distancias geodésicas a epicentros de sismos (Período 1996-2016).

1.8. Hipótesis

1.8.1. Hipótesis General

Los desplazamientos espaciales de las estaciones de referencia están relacionados con las distancias geodésicas a los epicentros de sismos.

1.8.2. Hipótesis Específicas

- Existe relación entre los desplazamientos espaciales en la componente Latitud de las estaciones de referencia, con las distancias geodésicas a los epicentros de sismos.
- Existe relación entre los desplazamientos espaciales en la componente Longitud de las estaciones de referencia, con las distancias geodésicas a los epicentros de sismos.
- Existe relación entre desplazamientos espaciales en la componente altura elipsoidal de las estaciones de referencia, con las distancias geodésicas a los epicentros de sismos.

1.8.3 Hipótesis Nula

No existe relación entre los desplazamientos espaciales en las estaciones de referencia, con las distancias geodésicas a los epicentros de sismos.

II: Marco Teórico

2.1. Marco Conceptual

Acelerómetro

Según el Instituto Geofísico del Perú (2012):

“Instrumento que mide las aceleraciones producidas por un movimiento y que en sismología registra básicamente la oscilación del suelo al paso de las ondas sísmicas por el punto de observación” (IGP, 2012).

Amplitud

Según el Instituto Geofísico del Perú (2012):

Máxima amplitud de la cresta de una onda sísmica identificada en el sismograma o registro del sismo. En general, la amplitud de la señal está directamente asociada a la cantidad de energía que libera el sismo, lo cual permite estimar su magnitud. (IGP, 2012)

Corteza

Según el Instituto Geofísico del Perú (2012):

Considera a la capa rocosa exterior y más delgada de la superficie de la tierra, cuyo espesor promedio es de 7 kilómetros bajo los océanos y de 70 kilómetros en el área continental, como es el caso de la raíz de la cordillera de los andes. (IGP, 2012)

Deriva Continental

Según el Instituto Geofísico del Perú (2012):

Teoría expuesta por Alfred Wegener en 1912 para explicar el movimiento de los continentes en el tiempo a partir de una masa unificada de tierra. Wegener se basó en observaciones hechas en la geometría encajante de los continentes considerando su posición actual. Por ejemplo, el encaje entre el borde occidental de África y el borde oriental de sur América. (IGP, 2012)

Distancia Epicentral

Según el Instituto Geofísico del Perú (2012):

Define a la distancia existente entre un observador y el epicentro de un sismo, medida sobre la superficie de la tierra. Al momento de georeferenciar el epicentro de un sismo se toma como referencia la plaza principal de la ciudad y/o localidad y su ubicación con respecto al norte geográfico. (IGP, 2012)

Distancia Hipócentral

Según el Instituto Geofísico del Perú (2012):

Define a la distancia calculada entre el hipocentro sísmico (ubicación del foco y/o fuente sísmica) y un punto sobre la superficie de la tierra que puede considerar la plaza principal de la ciudad y/o localidad o la estación sísmica de registro. (IGP, 2012)

Epicentro

Según el Instituto Geofísico del Perú (2012):

“Se define como Epicentro al punto exacto en la superficie que representa la proyección del hipocentro o foco sísmico” (IGP, 2012).

Escala Modificada de Mercalli

Según el Instituto Geofísico del Perú (2012):

La escala de Mercalli modificada permite evaluar el grado de daño producido por un sismo en un determinado punto. Considera el nivel de percepción de las personas, efectos en estructuras y en la morfología. La escala consta de 12 valores expresados en números romanos que va desde los sismos que no son perceptibles hasta los que producen gran destrucción en ciudades y cambios importantes en la morfología del terreno. (IGP, 2012)

Escala de Magnitud

Según el Instituto Geofísico del Perú (2012):

Representa a la escala que mide el total de la energía liberada en el foco sísmico y originalmente corresponde a la escala de Richter, propuesta por el autor en el año 1935. Es una escala logarítmica, lo que hace que los niveles asignados no tengan un comportamiento lineal y permiten medir sismos muy pequeños hasta los que alcanzarían valores en magnitud del orden de 6.5 ML (llamada también escala de magnitud local, de ahí sus siglas “ML”). En la actualidad la escala de magnitud más

acertada y más utilizada es la escala de magnitud de momento (M_w) en razón que permite medir sin restricción sismos pequeños y grandes como el ocurrido en Japón en el año 2011. (IGP, 2012)

Estación Sismológica

Según el Instituto Geofísico del Perú (2012):

Punto o lugar en donde se tiene operando o funcionando una estación sísmica para el registro de las ondas sísmicas. Un conjunto de estaciones sísmicas constituyen una red sismológica, pudiendo ser local cuando las dimensiones del área de monitoreo no es mayor a 200 km, regional hasta 5,000 km y mundial cuando se monitorea todo el globo terráqueo. (IGP, 2012)

Falla Geológica

Según el Instituto Geofísico del Perú (2012):

Considera a la superficie de contacto entre dos bloques de roca que se desplazan o han sido desplazados en el pasado en forma diferencial uno con respecto al otro y que en el momento de formación estaban unidos. Se pueden extender espacialmente por varios cientos de km y en forma temporal por varios millones de años. Desde el punto de vista geológico, una falla activa es aquella en la cual ha ocurrido desplazamiento en los últimos 2 millones de años; mientras que, desde el punto de vista sísmico se considera activas si ellas producen sismos sin importar su magnitud. (IGP, 2012)

Hipocentro o Foco

Según el Instituto Geofísico del Perú (2012):

“Define al punto en el interior de la tierra, en el cual se da inicio a la liberación de energía causada por la ruptura y generación de un sismo, este punto indica la ubicación de la fuente sísmica” (IGP, 2012).

Hora Local y Universal (UTC)

Según el Instituto Geofísico del Perú (2012):

Indica la hora o el tiempo que corresponde a una determinada región en el globo terrestre de acuerdo a su ubicación y longitud geográfica con respecto al meridiano estándar de referencia; es decir, el meridiano de Greenwich o París. Según el

estándar, cada 5° de longitud corresponden a una hora de tiempo. Para el caso de Perú la diferencia horaria es de menos 5 horas con respecto a la hora universal (UTC). (IGP, 2012).

Hora o Tiempo Origen

Según el Instituto Geofísico del Perú (2012):

Se refiere al momento exacto en que se produce la relajación súbita de los esfuerzos, es decir, el momento en que se inicia la ruptura en el foco o inicio del sismo. Esta puede ser referida a la hora local u hora universal (UTC). (IGP, 2012)

Hora o Tiempo de Llegada de las Ondas

Según el Instituto Geofísico del Perú (2012):

“Indica el momento exacto en que una onda sísmica correspondiente a un evento sísmico llega a la estación sísmica para ser registrada por el sismómetro o acelerómetro.” (IGP, 2012)

Hora o Tiempo Universal

Según el Instituto Geofísico del Perú (2012):

Indica la hora o el tiempo que corresponde al meridiano universal de referencia y en este caso al meridiano de Greenwich o París. Este tiempo de referencia, por convención internacional, se utiliza para la observación, registro y descripción de todo fenómeno geofísico y astrofísico. (IGP, 2012)

Hora UTC y GMT

Según el Instituto Geofísico del Perú (2012):

UTC define el tiempo universal coordinado y se refiere al tiempo de la zona horaria de referencia respecto a la cual se calculan todas las otras zonas del mundo. El 1 de enero de 1972, la UTC pasa a remplazar al GMT o Greenwich Meridian Time, que se refiere al tiempo promedio del Observatorio de Greenwich (Londres), aunque todavía coloquialmente algunas veces se le denomina así. (IGP, 2012)

La hora **GMT**, al estar basada en la posición del Sol, comienza a contarse a partir del mediodía, mientras que la hora UTC comienza a la medianoche (00:00). Esta diferencia conceptual hace que la hora UTC sea necesariamente escrita como 24

horas. Así decir la 1.00 pm UTC es incorrecto, lo correcto es decir las 13.00 UTC. De la misma forma, es erróneo referirse a las 13.00 GMT; debería decirse, más bien, "la 1 pm GMT". (IGP, 2012)

Intensidad

Según el Instituto Geofísico del Perú (2012):

Refiere a la medida de los efectos producidos por un sismo en personas, animales, estructuras y terreno en un lugar particular. Los valores de intensidad se denotan con números romanos en la escala de intensidades de Mercalli modificada (Wood y Neumann, 1931) que clasifica los efectos sísmicos con doce niveles ascendentes en la severidad del sacudimiento. La intensidad no sólo depende de la fuerza del sismo (magnitud) sino que también de la distancia epicentral, la geología local, la naturaleza del terreno y el tipo de construcciones del lugar. (IGP, 2012)

Gal

Según el Instituto Geofísico del Perú (2012):

Representa la unidad de medida correspondiente a la aceleración de un centímetro por unidad de tiempo (segundos) al cuadrado (cm/seg²) de uso en sismología e ingeniería sísmica. En prospección geofísica se usa el mili gal (0.001 gal). El nombre de esta unidad de aceleración es en honor al astrónomo y físico Galileo. (IGP, 2012)

Gap Sísmico

Según el Instituto Geofísico del Perú (2012):

En sismología se refiere a la región geográfica o área donde históricamente han ocurrido sismos destructores, donde no han vuelto a ocurrir sismos de magnitudes similares por un periodo de tiempo bastante grande y en la actualidad muestran un nivel de actividad sísmica por debajo de lo normal de acuerdo a las observaciones hechas en las últimas decenas o centenas de años. (IGP, 2012)

Intervalo de Recurrencia Sísmica

Según el Instituto Geofísico del Perú (2012):

“Define al tiempo aproximado que se requiere para correlacionar la ocurrencia de terremotos en una determinada área sísmicamente activa.” (IGP, 2012).

Isosistas o Mapa de Intensidades

Según el Instituto Geofísico del Perú (2012):

La isosista define a la línea que une puntos de la superficie terrestre en donde la intensidad del terremoto es la misma. Generalmente, corresponde a una serie de curvas cerradas alrededor del epicentro, estando la de mayor valor cercana al epicentro para luego disminuir conforme se incrementa la distancia. (IGP, 2012)

Licuefacción

Según el Instituto Geofísico del Perú (2012):

Llámease al proceso por el cual un sólido, roca o depósito no consolidado (arena, lodo, arcilla), se comporta como un líquido debido al aumento en la presión de los poros, produciendo una reducción en la tensión, lo cual hace que algunas rocas se comporten como fluidos durante el desarrollo de los procesos que incrementan la presión de poros, tal como ocurre cuando se produce un evento sísmico. (IGP, 2012)

Límite de Placa

Según el Instituto Geofísico del Perú (2012):

“Dícese al lugar en donde dos o más placas están en contacto, existen tres límites de placa: límites divergentes, límites convergentes y límites transformantes. En el caso del Perú, las Placas de Nazca y Sudamérica son del tipo convergentes.” (IGP, 2012).

Magnitud

Según Tavera (2002):

Primero debemos entender que la magnitud es la medida cuantitativa (cantidad) del total de la energía que libera el terremoto. También es importante saber que, actualmente la magnitud puede ser medida utilizando varias escalas dependiendo del tipo de onda sísmica que se utilice y de la distancia a la cual fue registrada. Así, las más conocidas son las de Richter (ML), ondas de volumen (mb), ondas superficiales (Ms) y magnitud momento (Mw). El Instituto Geofísico (IGP) reporta la magnitud en la escala de Richter y mb; mientras que, las agencias internacionales reportan la magnitud Ms y Mw. En estas condiciones, los valores de magnitud expresados en Ms y Mw, siempre son mayores a los valores de Richter y mb. (Tavera, 2002, p. 395)

Magnitud local (ML)

Según Bernal (2001):

“La magnitud local hace referencia a la escala de Richter.” (Bernal, 2001, p.32).

Magnitud de Ondas de Volumen (mb)

Según Bernal (2001):

Esta magnitud considera la relación existente entre la amplitud y el periodo predominante en el registro del sismo en la componente vertical para una onda P o S (ondas de volumen). Esta escala es válida para sismos ocurridos a diferentes profundidades y registrados a distancias comprendidas entre 5° y 90°. (Bernal, 2001, p. 33)

Magnitud de Ondas Superficiales (Ms)

Según Bernal (2001):

Esta magnitud es válida para sismos con foco superficial y en la cual la amplitud máxima de su registro debe ser medida en el grupo de las ondas Rayleigh con periodos (T) entre 18 – 22 segundos. Las correcciones deben considerar la distancia epicentral y la profundidad del foco del sismo. (Bernal, 2001, p. 33)

Magnitud Duración (MD)

Según Bernal (2001):

“Magnitud que considera la duración del registro de la señal del sismo, desde la llegada de la onda P hasta cuando la amplitud de la señal se confunde con el ruido de fondo.” (Bernal, 2001, p. 34).

Magnitud Tsunami (Mt)

Según Bernal (2001):

“Magnitud estimada a partir de la altura máxima de las olas producidas por el tsunami mediante la relación propuesta por Dorbath et al (1990) para terremotos que ocurren en el borde Oeste de Perú.” (Bernal, 2001, 34).

Magnitud Energía (Me)

Según Bernal (2001):

“La magnitud energía permite medir el potencial del daño causado por el terremoto y es obtenido a partir del valor de la energía sísmica irradiada.” (Bernal, 2001, 34).

Manto

Según el Instituto Geofísico del Perú (2012):

Corresponde a la capa de la tierra que se encuentra entre la corteza y el núcleo exterior de la tierra. Tiene aproximadamente 2900 kilómetros de espesor y es la capa con un volumen que abarca casi el 87% del total de la tierra. El manto se divide en manto superior y manto inferior, ambos diferenciados por presentar diferentes propiedades físicas y químicas. (IGP, 2012)

Marco de referencia (geodésico)

Según el Instituto Geográfico Nacional, (IGN, Perú, 2015):

“Es la materialización de un sistema de referencia a través de un conjunto de estaciones de control fijas, establecidas sobre la superficie terrestre por sus respectivas coordenadas y correspondientes variaciones en el tiempo.” (IGN, Perú, 2015, p.18).

Microtremor

Según el Instituto Geofísico del Perú (2012):

“Nombre con el que se designa a los movimientos oscilatorios natural de la superficie terrestre producidos por una gran variedad de agentes naturales y artificiales como el viento, tránsito de vehículos y personas.” (IGP, 2012).

No Sísmico (Asísmico)

Según el Instituto Geofísico del Perú (2012):

“Básicamente define al proceso y/o área que no tiene relación alguna con la ocurrencia de movimientos sísmicos. En el caso de Placas tectónicas, la fricción entre ellas se realizaría sobre superficies no rígidas.” (IGP, 2012)

Núcleo

Según el Instituto Geofísico del Perú (2012):

Corresponde a la parte interna de la tierra y se divide en núcleo interno y núcleo externo. El núcleo interno es sólido y tiene un radio de aproximadamente 1300 kilómetros. El núcleo externo es fluido y es de aproximadamente 2300 kilómetros de espesor, compuesto principalmente por hierro y níquel. (IGP, 2012)

Onda

Según el Instituto Geofísico del Perú (2012):

Una onda corresponde a una perturbación que se propaga desde el punto en que se originó hacia el medio que lo rodea hasta disiparse completamente. Las ondas materiales (todas menos las electromagnéticas) requieren un medio elástico para propagarse. El medio elástico se deforma y se recupera vibrando al paso de la onda. En sismología son llamadas ondas sísmicas y ellas cambian sus periodos de propagación conforme atraviesan diversos materiales. (IGP, 2012)

Ondas de Cuerpo

Según el Instituto Geofísico del Perú (2012):

Se les llama así a las ondas que se propagan a través del interior de la tierra, sean en medios sólidos, líquidos o gaseosos. En sismología definen a las ondas P y S, conocidas como ondas primarias (P) de mayor velocidad que las ondas secundarias (S). (IGP, 2012)

Onda de Love

Según el Instituto Geofísico del Perú (2012):

Son ondas llamadas superficiales y tienen un movimiento horizontal y perpendicular a la dirección de propagación, son transversales o de corte a la dirección de propagación. Reciben el nombre de ondas love en honor a Augustus Edward Hough Love, mejor conocido como A. E. H. Love, matemático y geofísico del Reino Unido. (IGP, 2012)

Ondas P

Según el Instituto Geofísico del Perú (2012):

Las ondas P o primarias son ondas longitudinales; es decir, que el medio por el cual se propagan es alternadamente comprimido y dilatado en la dirección de la propagación. Estas ondas viajan a una velocidad mayor que la velocidad de las ondas S y pueden hacerlo a través de cualquier tipo de material. La naturaleza del movimiento de sus partículas en el medio de propagación hace que estas se desplacen más rápido que otro tipo de ondas. (IGP, 2012)

Ondas S

Según el Instituto Geofísico del Perú (2012):

Las ondas S o secundarias son ondas transversales o de corte; es decir, que el medio en el cual se propagan es desplazado perpendicularmente a la dirección de propagación, hacia un lado y hacia el otro. Las ondas S pueden viajar únicamente a través de sólidos, debido a que los líquidos no pueden soportar esfuerzos de corte. Su velocidad es alrededor del 60% la de una onda P para cualquier material sólido. La onda S tiene mayor amplitud que la P y es por ello, que durante la ocurrencia de un sismo, causa mayor daño. (IGP, 2012)

Ondas Rayleigh

Según el Instituto Geofísico del Perú (2012):

Corresponde a una onda superficial que se mueve en forma retrógrada y elíptica. Son ondas con velocidad muy baja y se sienten como un movimiento ondulado o rodante. Son llamadas así en memoria de lord Rayleigh, un físico inglés que predijo su existencia. (IGP, 2012)

Orden “0”

Según el Instituto Geográfico Nacional (2015):

Este orden es considerado a nivel continental, y están destinados para estudios sobre deformación regional y global de la corteza terrestre, de sus efectos geodinámicos y trabajos en los que se requiera una precisión a un nivel máximo de 4.00 mm; estos puntos servirán para la densificación de la Red Geodésica Nacional. (IGN, 2015, p. 29)

Placa Tectónica

Según el Instituto Geofísico del Perú (2012):

Corresponde a las divisiones de la litósfera de la tierra en trozos de diferente área. También son llamadas placas litosféricas, siendo ellas extensas y relativamente rígidas que se mueven en relación con otras placas de la litósfera. Las placas interactúan entre ellas en zonas denominadas límites de placa, siendo ellas convergentes, divergentes y transformantes. Es en estos límites en donde se producen los sismos. (IGP, 2012)

Precisión

Según el Instituto Geográfico Nacional, Perú, (2015):

“Grado de consistencia entre los valores observados de una determinada magnitud o su repetitividad basada en el grado de discrepancia entre los valores observados.” (IGN, Perú, 2015, p. 19).

Precusores o Premonitorios (Foreschock)

Según IGP el Instituto Geofísico del Perú (2012):

De acuerdo a las condiciones geológicas y tectónicas de cada región, en ciertos casos es posible observar el registro de algunos sismos pequeños con anterioridad a la ocurrencia de un sismo principal. A estos sismos se les llama precusores. Sin embargo, al no presentarse con la suficiente regularidad, no pueden ser utilizados a modo de predecir sismos de mayor magnitud. (IGP, 2012)

Red Geodésica

Según el Instituto Geográfico Nacional, (IGN, Perú, 2015):

Es el conjunto de puntos denominados vértices, materializados físicamente sobre el terreno, entre los cuales se han realizado observaciones geodésicas, con el fin de determinar su precisión tanto en términos absolutos como relativos. Una red Geodésica es la estructura que sostiene toda la cartografía de un territorio. (IGN, Perú, 2015, p. 19)

Red Geodésica Peruana de Monitoreo Continuo (REGPMOC)

Según el Instituto Geográfico Nacional, (IGN, Perú, 2015):

Es un conjunto de estaciones GNSS de referencia de operación continua distribuida estratégicamente en el territorio nacional, que materializan el Sistema Geodésico WGS84, y proporcionan servicios de posicionamiento geodésico a los usuarios mediante datos en línea y coordenadas en el marco oficial **ITRF2000**. Se compone básicamente de un receptor GNSS estático que se posiciona de manera permanente en una localidad geográfica conocida, y recolecta datos de posicionamiento las 24 horas del día, 7 días a la semana y los 365 días del año. (IGN, Perú, 2015, pp. 26, 27)

Red Geodésica Vertical Oficial

Según el Instituto Geográfico Nacional, (IGN, Perú, 2015):

Es la Red Geodésica de Nivelación Nacional, a cargo del Instituto Geográfico Nacional, la misma que tiene como superficie de referencia el Nivel Medio del Mar, conformado por Marcas de Cota Fija (MCF) o Bench Mark (BM) distribuidos dentro del ámbito del territorio nacional a lo largo de las principales vías de comunicación terrestre, los mismos que constituyen bienes del Estado. (IGN, Perú, 2015, p. 27)

Réplicas (Aftershock)

Según el Instituto Geofísico del Perú (2012):

Después de la ocurrencia de un sismo de gran magnitud, es posible la ocurrencia de muchos sismos de menor magnitud entorno al hipocentro del sismo principal. A estos sismos se les conoce como réplicas o aftershock. Algunas series de réplicas duran largo tiempo, incluso prolongarse por años. El área que encierra a los epicentros de las réplicas se llama área de réplicas. (IGP, 2012)

Simulacros

Según el Ministerio de Educación (2015):

Es una práctica de manejo de acciones operativas que se realiza mediante la escenificación de daños y lesiones en una situación hipotética de emergencia. Los participantes ejercitan sus habilidades y técnicas con las que atenderían casos reales; implica la movilización y operación real de personal y recursos materiales. (Ministerio de Educación, 2015, p. 7)

Simulación

Según el Ministerio de Educación (2015):

Es un ejercicio de laboratorio o juego de roles que recrea una situación hipotética de desastre frente a la cual los participantes deberán tomar decisiones basadas en la información que reciben durante el ejercicio. A cada participante se le asigna un personaje que debe coincidir con su ocupación real. (Ministerio de Educación, 2015, p. 8)

Sismo

Según el Instituto Geofísico del Perú (2012):

Se define al proceso de generación y liberación de energía para posteriormente propagarse en forma de ondas por el interior de la tierra. Al llegar a la superficie, estas ondas son registradas por las estaciones sísmicas y percibidas por la población y por las estructuras. (IGP, 2012)

Sismología

Según el Instituto Geofísico del Perú (2012):

Es una rama de la geofísica que estudia los sismos y las propiedades elásticas de la Tierra. Entre sus campos de investigación se considera: a) el estudio de la propagación de las ondas sísmicas en el interior de la tierra a fin de conocer su estructura interna, b) el estudio de las causas que dan origen a eventos sísmicos y c) la prevención de daños. La sismología incluye, entre otros fenómenos, el estudio de tsunamis, el comportamiento dinámico del suelo y las vibraciones asociadas a erupciones volcánicas. El sismólogo, es la persona que aplica y estudia los principios y procedimientos sismológicos en su trabajo. (IGP, 2012)

Sistema Geodésico Oficial

Según el Instituto Geográfico Nacional, (IGN, Perú, 2015):

Es la Red Geodésica Geocéntrica Nacional (REGGEN), la misma que tiene como base el Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS) sustentado en el Marco Internacional de Referencia Terrestre 2000 – International Terrestrial Reference Frame 2000 (ITRF2000) del International Earth Rotation Service (IERS) para la época 2000.4 relacionado con el elipsoide del Sistema de Referencia Geodésico 1980 –

Geodetic Reference System 1980 (GRS80). La Red Geodésica Geocéntrica Nacional está conformada por las Estaciones de Rastreo Permanente (ERP) y los hitos o señales de orden “0”, “A”, “B” y “C”, distribuidos dentro del ámbito del Territorio Nacional, los mismos que constituyen bienes del Estado. Para efectos prácticos como elipsoide puede ser utilizado además el World Geodetic System 1984 (WGS84). (IGN, Perú, 2015, p. 26)

Solución Fija

Según el Instituto Geográfico Nacional, Perú, (IGN, Perú, 2015):

“La solución que se obtiene, cuando el procesador de líneas base resuelve la búsqueda de ambigüedad y se han fijado en sus valores enteros, y lo hace con una fiabilidad que le permite seleccionar el mejor conjunto de enteros.” (IGN, Perú, 2015, p. 20).

Solución Flotante

Según el Instituto Geográfico Nacional, (IGN, Perú, 2015):

Se obtiene cuando el procesador de líneas base no es capaz de resolver la búsqueda de ambigüedad del entero con suficiente fiabilidad y, por lo tanto, no logra seleccionar el mejor conjunto de enteros. Se denomina ‘flotante’ porque la ambigüedad incluye una parte fraccionaria. (IGN, Perú, 2015, p. 20)

Tsunamis

Según el Instituto Geofísico del Perú (2012):

Los sismos de gran magnitud con epicentro en el mar, foco en la superficie de fricción de Placas a profundidades no mayores a 60 km y magnitud del orden de 7.0, producen cambios de elevación en la superficie del fondo oceánico. Estos cambios producen olas que se propagan a partir del epicentro pudiendo alcanzar algunas decenas de metros sobre el nivel medio del mar. Estas olas al llegar a la costa son llamadas tsunamis, término japonés que significa literalmente ola de bahía. (IGP, 2012)

Velocidad

Según el Instituto Geográfico Nacional, (IGN, Perú, 2015):

“En el contexto de la geodesia moderna, es el cambio de las coordenadas en función del tiempo, originado fundamentalmente por el movimiento de las placas tectónicas. Se expresa en mm/año.” (IGN, Perú, 2015, p. 20)

2.2. Bases Teóricas

Podemos destacar trabajos de investigación que han tenido como base el análisis y modelamiento mediante series de tiempo:

Presentación Aplicación práctica de modelos de velocidades geodésicos (Gómez, Piñón, Smalley, Cimbaro, 2015).

Con referencia al modelamiento de componentes observadas en las series de tiempo, Gómez et al. (2015), indican desventajas que algunas componentes no son ortogonales entre sí, incluyéndose gráficos (componentes Este, Norte, altura), sin indicar tipo de proyección cartográfica que correspondan sus valores. Al no detallarse, no es posible especificar el tipo de proyección cartográfica que correspondan, zona, hemisferio; una de ellas podría ser la proyección Universal Transversal Mercator UTM.

Asimismo, en la publicación al referirse que las componentes modeladas no son ortogonales entre sí, se entiende las componentes modeladas Norte y Este corresponderían a una proyección cartográfica en el que se proyecta la superficie real terrestre:

“Algunas de las componentes modeladas no son ortogonales entre sí, por lo que una componente puede ser “contaminada” por otra.” (Gómez et al, 2015, p. 10).

En el presente estudio se han considerado series de tiempo, utilizando componentes de coordenadas geodésicas (latitud, longitud, altura elipsoidal) correspondientes al ITRF 2014, Elipsoide GRS80, obtenidas luego del procesamiento y ajuste en red, con soluciones finales diarias. Se ha modelado mediante series de tiempo las soluciones finales diarias no transformadas, por componente considerando coordenadas obtenidas de las soluciones finales diarias.

En Colombia, se han desarrollado estudios que utilizaron series de tiempo para estimar pronósticos, utilizando marco de referencia ITRF, para la generación de pronósticos. Destacan la importancia de utilizar series de tiempo para visualizar cambios temporales que son posibles analizarlas. (Lizarazo et al., 2013)

También desarrollan una metodología para analizar series de tiempo geodésicas, utilizando en su presentación (Lizarazo et al., 2013), cuadros que indican valores con la unidad de medida en milímetros que corresponden a la latitud, longitud y vertical (no se especifica si corresponde a altura elipsoidal, altura geoidal, otro); tanto la latitud como la longitud geodésica, tienen como unidad de medida grados minutos y segundos, estimándose luego desplazamientos en arcosegundos.

En el presente estudio se han considerado soluciones finales diarias obtenidas luego del procesamiento de observaciones en red por cada día.

Según Lizarazo et al. (2013):

El comportamiento de dicho movimiento puede ser observado en una ventana temporal más amplia a partir de los gráficos de series temporales, los cuales proporcionan indicios sobre las tendencias, determinísticas o estocásticas, del movimiento asociado, que permiten obtener una estimación de la velocidad a la que la antena se mueve, expresada en milímetros o centímetros por año. (Lizarazo et al., 2013, p. 42)

Para las componentes de latitud y longitud, el movimiento recurrente de las estaciones se presentó en sentido Norte (N) y Este (E) respectivamente, mientras que para la componente vertical, la tendencia observada es particular a cada estación y no muestra el mismo grado de generalización que en las componentes horizontales. (Lizarazo et al., 2013, p. 50)

En el presente estudio se analiza, tomando como referencia lo propuesto por Lizarazo et al. (2013), relación entre las variables latitud, longitud y altura elipsoidal, de estaciones ubicadas en diferentes lugares y distintos tiempos, con distancias geodésicas a epicentros de sismos.

Sobre el silencio sísmico en zonas de Perú y Chile, según Becerra, Ortega-Culaciati, Carrizo, Norabuena, Socquet, Vigny, Simons. (2015):

Como resultado de este proceso se obtienen series de tiempo posicionales de cada receptor de una red de GPS, permitiéndonos monitorear la evolución espacial y temporal de la deformación de la corteza antes, durante y después de grandes terremotos. (Becerra et al., 2015, p.43).

“... con todas las series de tiempo diarias disponibles, se modelará las deformaciones asociadas a las etapas postsísmica e intersísmica, de modo de poder relacionar y caracterizar el comportamiento de la región en cada una de las etapas del ciclo sísmico.” (Becerra et al., 2015, p. 245).

En las series de tiempo se describen variaciones en componentes Este y Norte, en algunos casos no se indica el tipo de proyección cartográfica que correspondan, marco de referencia y fecha de observación.

“... es posible determinar explícitamente los desplazamientos cosísmicos en las direcciones Este, Norte y Vertical de cada estación, (...) y encontrar la deformación cosísmica que ocurre en cada una de las estaciones del norte de Chile.” (Becerra et al., 2015, p. 244)

Es importante indicar el marco de referencia de las soluciones, tipo de proyección cartográfica, zona, hemisferio, que corresponden los valores citados en los cuadros (Este y Norte). Con referencia a la componente vertical, no especifica si corresponde a la altura elipsoidal, esta última componente incluida en las soluciones finales.

En el presente estudio se han tomados en cuenta experiencias de estudios anteriores, especificándose el marco de referencia, la variación en la altura elipsoidal.

III. Método

3.1 Tipo de Investigación

Básica y Aplicada, porque nos interesa aplicar el conocimiento adquirido para resolver situaciones de desplazamientos espaciales antes y posterior a los sismos.

Nivel de Investigación

Es Descriptiva-Correlacional, se busca entender cómo puede comportarse una variable con el comportamiento de otras variables relacionadas; se busca mejorar las dimensiones, características y perfiles importantes del fenómeno que se someta a nuestro análisis.

Es correlacional, porque se investiga relaciones entre variables, se estudia la correlación entre dos variables.

Diseño de investigación

El diseño de investigación principalmente es no EXPERIMENTAL, de tipo transeccional y correlacional.

La variable no se manipula, sino que se mide para ver el efecto de otra variable sobre ella.

La investigación será LONGITUDINAL, porque se recolectara información a través del tiempo en puntos y periodos especificados (previo, durante, posterior a sismos), para hacer inferencia respecto al cambio, sus determinantes y sus consecuencias.

3.2. Población y muestra

Población

El Universo del estudio está constituido por estaciones geodésicas de referencia permanentes que a la fecha están operativas, administradas por instituciones internacionales de investigación que brindan acceso apoyo y sustento a la comunidad científica internacional, ubicados en Perú, Ecuador, Chile, validadas internacionalmente por agencias y/o expertos; se tendrá que tener acceso y verificar que dispongan data histórica del periodo 1996-2016, fechas de los sismos seleccionados.

Muestra

Son 9 estaciones geodésicas de referencia, seleccionadas luego de haber sido evaluadas en cuanto a disponibilidad de data, continuidad en recolección de observaciones, data histórica, acceso a la data, formatos compatibles (RINEX), considerando mínimo una estación por país. La unidad de análisis será la estación geodésica.

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.

VARIABLE 1	VARIABLE 2
<p>Desplazamientos en estaciones de referencia ubicados en Perú, Ecuador, Chile, luego de ocurridos los sismos. (Periodo 1996 – 2016)</p> <p>Definición conceptual:</p> <p>Variación en la posición espacial temporal de puntos de referencia, observados y medidos desde un instante inicial a un final, calculado en el marco de referencia terrestre internacional (ITRF).</p> <p>Definición operacional:</p> <p>Cálculo del desplazamiento de estaciones de referencia, basados en la variación espacial de sus posiciones en diferentes tiempos; luego del procesamiento de observaciones geodésicas en red, se obtienen soluciones finales diarias que contienen coordenadas geodésicas y cartesianas asociadas al marco</p>	<p>Distancias geodésicas a los epicentros de sismos.</p> <p>Definición conceptual:</p> <p>Cálculo de distancias geodésicas desde los epicentros de sismos hasta las estaciones de referencia.</p> <p>Definición operacional:</p> <p>Distancias en la superficie elipsoidal, proyectadas desde el epicentro del sismo y la estación de referencia, medido en metros.</p>

<p>terrestre de referencia internacional (ITRF), corresponden a su posición espacial temporal.</p> <p>Dimensiones:</p> <p>Desplazamientos en la componente Latitud</p> <p>Desplazamiento en la componente Longitud</p> <p>Desplazamiento en componente Altura</p> <p>Elipsoidal</p> <p>Indicadores:</p> <p>Latitud</p> <p>Longitud</p> <p>Altura elipsoidal</p>	<p>Dimensiones:</p> <p>Distancias desde epicentros de sismos hasta estaciones de referencia.</p> <p>Indicadores:</p> <p>Distancia geodésica.</p>
---	--

3.4. Instrumentos

- **Técnicas de investigación**

La técnica de recopilación de datos se efectúa mediante el acceso a bases de datos disponibles de instituciones científicas mediante los denominados protocolos de transferencia de archivos (file transfer protocol o ftp), internet y/o transfiriendo data desde los servidores pertenecientes a agencias de

investigación y cooperación internacional, instituciones gubernamentales, entrevistas con funcionarios de oficinas cooperantes internacionales.

Se recopila y analiza la data temporal disponible en la red.

▪ **Instrumentos y/o fuentes de recolección de datos**

Se llevara a cabo mediante:

- Identificación y selección de las estaciones de referencia.
- Verificación de disponibilidad de data, validación.
- Obtención de la data geodésica satelital temporal.
- Construcción del marco teórico.
- Obtener noticias relacionadas a la operación y/o mantenimiento de estaciones.

▪ **Validación de los instrumentos**

La veracidad de instrumentos que miden las variables de acuerdo a los indicadores, está respaldada por instituciones científicas internacionales especializadas, las cuales disponen archivos observaciones recabadas en estaciones geodésicas, programas geodésicos científicos, procesamiento de data geodésica con software científico, reportes del procesamiento de datos con detalle de resultados obtenidos, validados internacionalmente.

3.5. Procedimientos

- Los métodos de procesamiento que se utilizaron para el análisis de la Información en el desarrollo del proyecto fueron:
- Recopilación de datos de observaciones de servidores mediante ftp;
- Ordenar archivos, verificar formatos compatibles, detalles de la marca, modelo y altura de la antena geodésica satelital;
- Remisión y transferencia de archivos de observaciones geodésicas satelitales de estaciones a centros de análisis y procesamiento;
- Procesamiento de datos con software científico por parte de centros de análisis y procesamiento de instituciones cooperantes reconocidas internacionales;
- Recepción de reportes con soluciones finales del procesamiento y ajuste, con indicadores;
- Elaborar cuadros con coordenadas cartesianas y geodésicas, comparaciones, cálculo de desplazamientos.
- Elaboración de cuadros componentes de las coordenadas que incluyen soluciones diarias, a incluirse en las series de tiempo;
- Modelamiento de las series de tiempo con ecuaciones de grado 6;
- Selección e identificación de sismos ocurridos entre los años 1996 al 2016, con los desplazamientos;
- Desplazamientos en la superficie terrestre como consecuencia de los sismos.
- Reunión con Asesor, para revisión de la información recolectada y análisis.
- Procesamiento de los resultados de las acciones descritas en los ítems anteriores.

- Elaboración de Informe preliminar
- Elaboración de Informe Final, Sustentación y Presentación.

3.6. Análisis de datos

Para el desarrollo de esta investigación, se emplea control estadístico, series de tiempo de las componentes coordinadas de soluciones finales diarias para cada estación, que permita relacionar los desplazamientos espaciales de las estaciones de referencia con las distancias geodésicas a epicentros de sismos, interpretación de los gráficos y reportes.

▪ Diseño Estadístico

Recopilada la data de las estaciones geodésicas de observación permanente, disponibles en servidores que cuentan con protocolo para el intercambio de archivos ftp, se seleccionó y preparo la data para ser sometidos al procesamiento en red de cooperante de la comunidad científica internacional, que utiliza el programa científico BERNESE, evaluándose posteriormente los resultados obtenidos por este proceso. La data histórica temporal de observaciones geodésicas obtenidas de las estaciones permanentes internacionales, se verifico su consistencia, efectuándose pruebas preliminares, luego remitidas y sometidas a su procesamiento y ajuste en red; posterior al procesamiento, se recibieron vía correo electrónico reportes del procesamiento parámetros utilizados e incluyen las soluciones finales diarias, remitido por cooperante, los cuales fueron analizados e incluidos en las series de tiempo.

Para la mejora del proceso, se efectuó la selección y procesamiento por cada día de observación, basado en el criterio que en una trayectoria en el espacio un dato de ubicación obtenido en un instante de tiempo, es de limitada precisión y consistencia, en comparación con la solución final diaria obtenida del procesamiento de data con observaciones geodésicas satelitales de aproximadamente 24 horas de observación continua cuyos resultados son consistentes; se consideraron parámetros de altura de la antena, modelo de la antena, otros, correspondiente a los receptores geodésicos satelitales disponibles en las estaciones seleccionadas para este estudio.

La data obtenida de las estaciones elegidas, fueron verificadas su consistencia, formato estándar Rinex, compatibilidad para el procesamiento en red.

Luego, se sometió al procesamiento en red con estaciones de observación permanente y continua que tienen data disponible para fechas próximas a la ocurrencia de los sismos seleccionados, sometiéndolas al procesamiento mediante AUSPOS, que utiliza el software Bernese versión 5, con órbitas finales.

IV. RESULTADOS

4.1 Análisis e interpretación de resultados

4.1.1 Diagnóstico del Proceso

Para poder analizar el problema, se seleccionaron estaciones instaladas y mantenidas por instituciones científicas internacionales, ubicadas en localidades próximas a zonas donde se produjeron los sismos estudiados, en las cuales se dispone de data geodésica satelital temporal, son accesibles mediante centros de investigación y cooperación internacional, fueron obtenidas y extraídas mediante protocolo ftp, que incluyen parámetros de receptores y antenas geodésicas.

Actualmente luego de ocurrido los sismos, los usuarios finales de información geoespacial no disponen de manera adecuada mecanismos o fuente validada y estandarizada que permitan actualizar información de coordenadas con precisión aceptable; algunos usuarios usan valores de coordenadas vigentes previos a la ocurrencia de los sismos, referencias espaciales no precisas y que propagan considerables errores, lo cual se hace necesario tomar en consideración al realizar trabajos geodésicos, topográficos, cartográficos, fotogramétricos, otros.

Para el presente estudio, se analizaron 9 estaciones, ubicados en Chile, Ecuador, Perú, tomando como referencia tres sismos ocurridos en el periodo de estudio.

Tabla 1.*Estaciones geodésicas consideradas para el estudio*

PAÍS	FECHA DEL SISMO	MAGNITUD (discusión valores)	ESTACIONES CONSIDERADAS PARA ANÁLISIS	CANTIDAD
CHILE	27.02.2010	8.3 ° UCSC 8.8° EMSC 8.3° GFZ 8.8° USGS	CONZ	7
			IQQE	
			ANTC	
			AREQ	
			COPO	
			SANT	
			VALP	
ECUADOR	16.04.2016	7.8 °	RIOP QUI3	2
PERÚ	23.06.2001	8.2 °	AREQ	1

Fuente: Adaptado con valores de Magnitud consignados en la Tabla 1 referido a *Parámetros sísmicos del terremoto de Maule* del artículo *El terremoto de Chile de 2010: la ciencia y el seguro también evolucionan* (Alarcón & Franco, s/f, p.10)

SISMO DEL 27.02.2010 Y DESPLAZAMIENTOS EN CHILE

El sábado 27 de febrero del 2010, a las 03:34 horas ocurrió un terremoto de magnitud 8.58° en la escala de Richter en el Centro – Sur de Chile, el epicentro fue ubicado cerca de la localidad de Cobquecura, Región del Biobío, se estima que el área afectada fue desde la V a la IX Región.



Figura 1
**Ubicación de estaciones
utilizadas para estudiar el sismo
del 27.02.2010**

Estaciones ubicadas en base a coordenadas obtenidas de las soluciones finales diarias plateadas en Imagen de Google Earth.

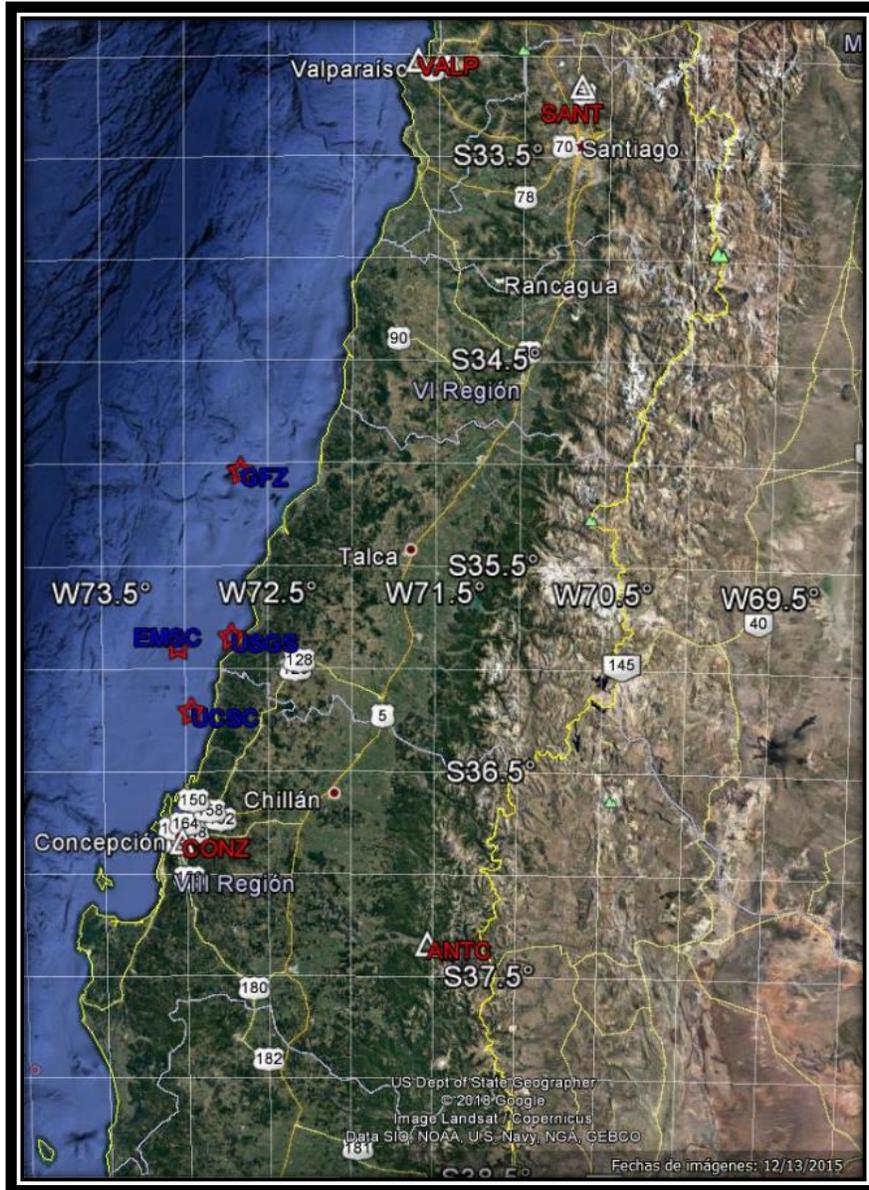
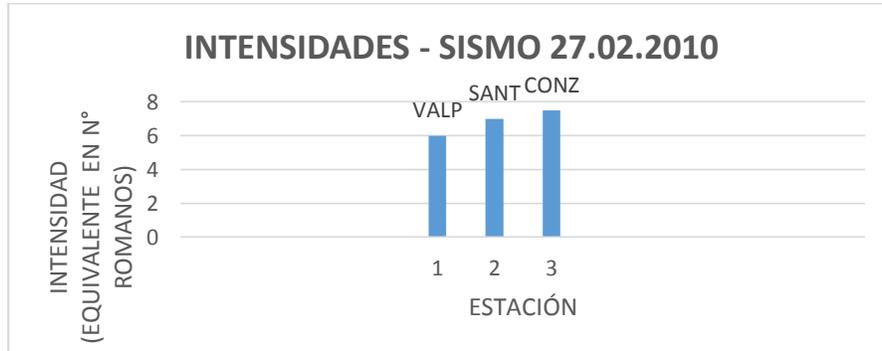


Figura 2
**Epicentros sismo del 27.02.2010 con
 estaciones
 VALP, SANT, CONZ, ANTC**

Epicentros insertados en Imagen Google Earth, Imagen Landsat, 13.12.2015; basado en coordenadas consignadas por Alarcón & Franco (s/f).

Figura 3.

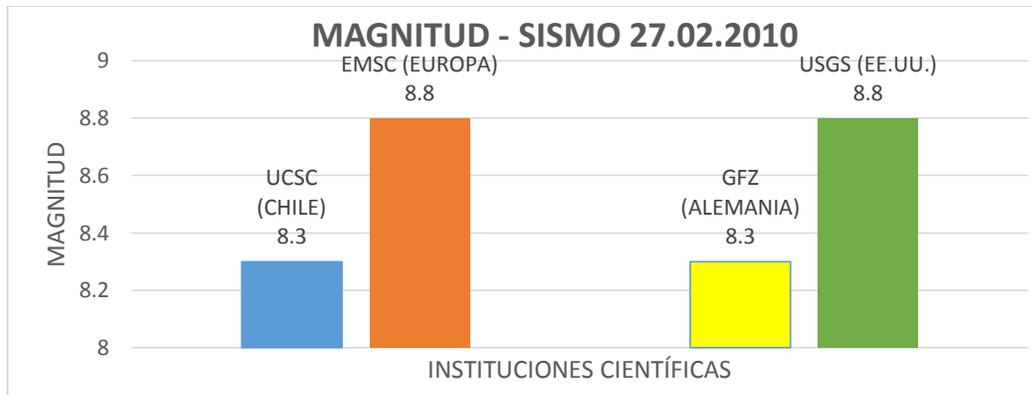
Intensidades percibidas en estaciones VALP, SANT, CONZ, a causa del sismo ocurrido el 27.02.2010



Fuente: Elaboración con datos del artículo Intensidades Sísmicas (Astroza M., Ruiz, Astroza T., Molina, s/f, p. 113).

Figura 4.

Magnitudes calculadas sismo del 27.02.2010 por instituciones científicas



UCSC – Universidad Católica de la Santísima Concepción, Chile

EMSC – Centro Sismológico Europeo – Mediterráneo - Europa

GFZ – Centro Alemán de Investigación de Ciencias de la Tierra, Alemania

USGS – Servicio de Investigaciones Geológicas de los EE.UU.

Fuente: Adaptado de con datos de la Tabla 1 Parámetros sísmicos del terremoto de Maule (Alarcón & Franco, s/f, p. 10)

Desplazamientos

ESTACIÓN CONZ

Tabla 2.

Solución final obtenida luego de procesar en red observaciones geodésicas GPS recopiladas en la Estación CONZ el 01.02.2010, Coordenadas ITRF 2014, elipsoide GRS80, modelo geoidal EGM 2008

N° REPORTE	COORDENADAS GEODÉSICAS								COORDENADAS CARTESIANAS		
	LATITUD			LONGITUD			ALTURA ELIPSOIDAL HAE (m)	ALTURA GEOIDAL (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)
	°	'	"	°	'	"					
9443	-36	50	37.53673	-73	1	31.72643	180.699	160.340	1492007.762	-4887910.735	-3803639.846

Fuente: Elaborado en base a información del Reporte N° 9443 (Geoscience Australia, 2018, p. 3).

Figura 5.

Ubicación referencial de la estación CONZ y de estaciones consideradas en el procesamiento de data del día 01.02.2010



Date	User Stations	Reference Stations	Orbit Type
2010/02/01 00:00:00	CONZ	BRAZ ISPA LPGS OHI2 PALM PARC SANT UNSA	IGS final

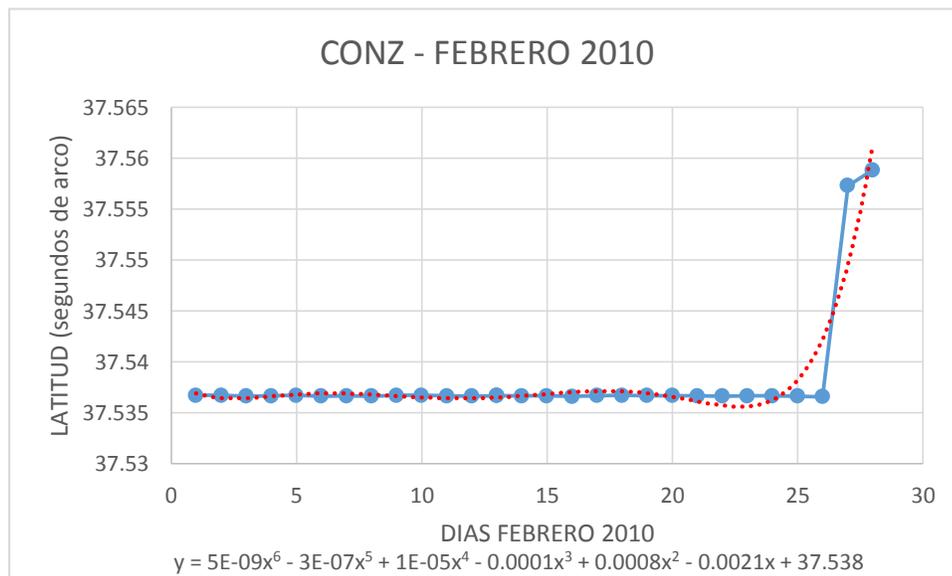
Fuente:

Imagen tomada del Reporte N° 9443 (Geoscience Australia, 2018, p. 2).

Latitud CONZ:

Se visualizan cambios previos y posteriores al sismo del 27 de febrero 2010. También se presenta ecuación que modela serie de tiempo. Se observa que entre la solución final de los días 26 y 27 de febrero la diferencia es de **0.02071** segundos de arco en la componente Latitud; entre la solución final de los días 27 y 28 de febrero la diferencia es de **0.00153** segundos de arco, no regresa a su posición espacial inicial.

Figura 6. Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Latitud geodésica (segundos de arco) de la Estación CONZ, previo y posterior al sismo del 27 febrero 2010, epicentro en Chile.

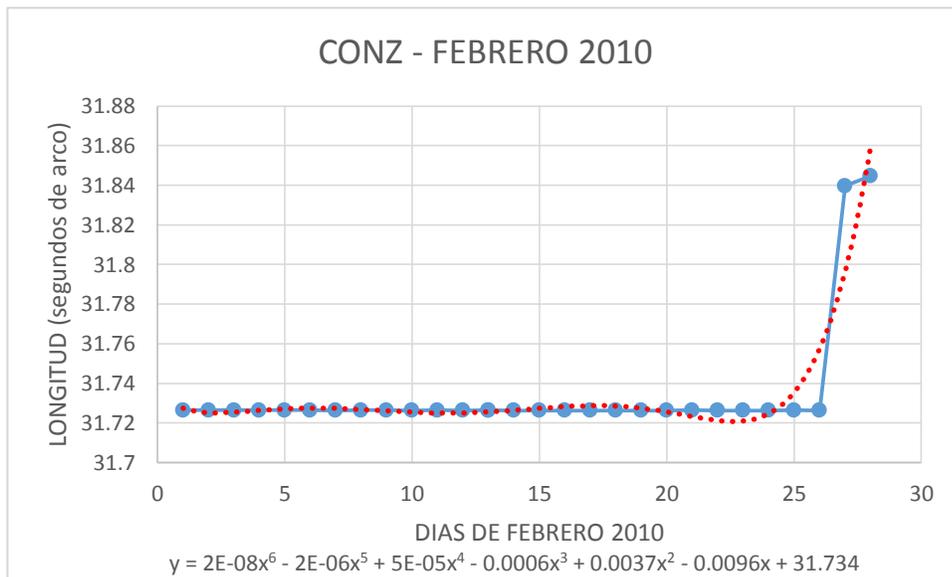


Fuente: Graficado en base a soluciones finales diarias obtenidas luego del procesamiento con software Benese por Auspos (Geoscience Australia, 2018).

Longitud CONZ:

Se observa en la estación CONZ, que entre la solución final de los días 26 y 27 de febrero diferencia de **0.11336** segundos de arco en la componente Longitud; entre la solución final de los días 27 y 28 de febrero la diferencia en la componente Longitud es de **0.00492** segundos de arco, no regresa a su posición espacial inicial.

Figura 7. **Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Longitud geodésica (segundos de arco) de la estación CONZ, luego de ocurrido el sismo del 27 febrero 2010 en Chile.** También muestra la ecuación que modela la serie de tiempo.

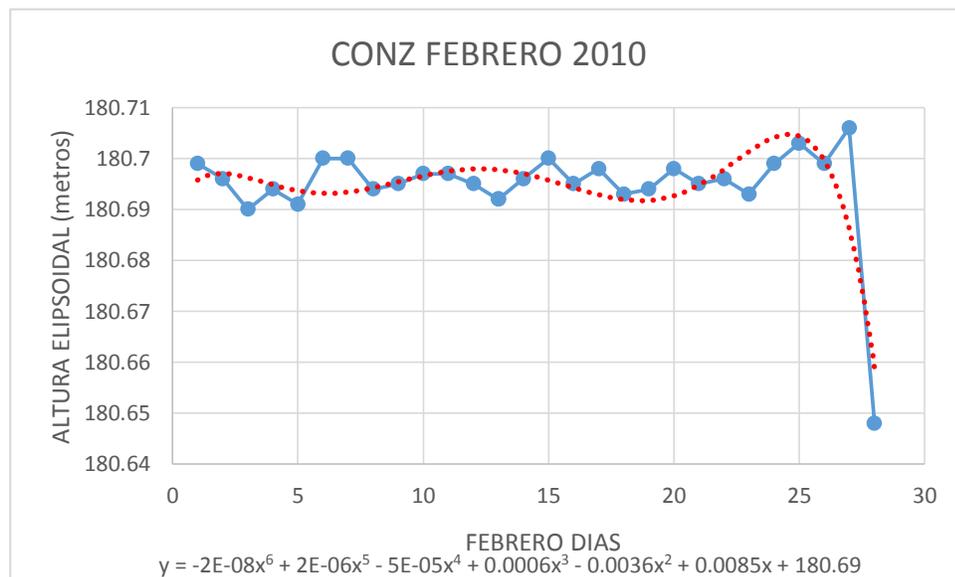


Fuente: Serie de tiempo graficada en base a soluciones finales diarias obtenidas luego del procesamiento con software Benese por Auspos (Geoscience Australia, 2018).

Altura Elipsoidal CONZ:

Se observa en la estación CONZ, que entre la solución final de los días 26 y 27 de febrero la diferencia es de **0.007 m.** en la componente altura elipsoidal; entre la solución final de los días 27 y 28 de febrero la diferencia en la componente altura elipsoidal es de **0.058 m.**, no regresa a su posición espacial inicial.

Figura 8. **Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Altura Elipsoidal (en metros) de la estación CONZ, previo y posterior al sismo del 27 febrero 2010 en Chile.** También se muestra la ecuación que modela la serie de tiempo.



Fuente: Serie de tiempo graficada en base a soluciones finales diarias obtenidas luego del procesamiento con software Benese por Auspos (Geoscience Australia, 2018).

ESTACIÓN IQQE

Tabla 3.

Solución final obtenida luego de procesar en red observaciones geodésicas GPS recopiladas en la Estación IQQE el 01.02.2010, Coordenadas ITRF 2014, elipsoide GRS80, modelo geoidal EGM 2008

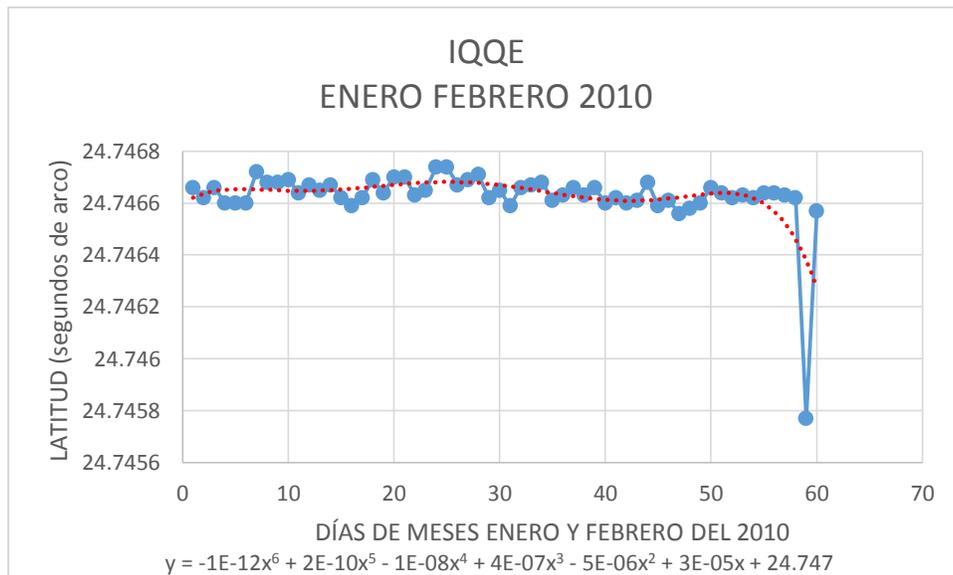
N° REPORTE	COORDENADAS GEODESICAS								COORDENADAS CARTESIANAS		
	LATITUD			LONGITUD			ALTURA ELIPSOIDAL HAE (m)	ALTURA GEOIDAL (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)
	°	'	"	°	'	"					
9775	-20	16	24.74666	-70	7	54.16828	38.985	7.074	2034208.577	-5629172.310	-2196141.801

Fuente: Elaborado en base a información del Reporte N° 9775 (Geoscience Australia, 2018, p. 3).

Latitud IQQE:

Se observa en la estación IQQE, que entre la solución final de los días 26 y 27 de febrero la diferencia es de **0.00085** segundos de arco en la componente Latitud; entre la solución final de los días 27 y 28 de febrero la diferencia en la componente Latitud es de **0.00080** segundos de arco; no regresa a su posición espacial inicial.

Figura 9. **Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Latitud geodésica (segundos de arco) de la estación IQQE, previo y posterior al sismo del 27 febrero 2010, en Chile.** También se muestra la ecuación que modela la serie de tiempo.

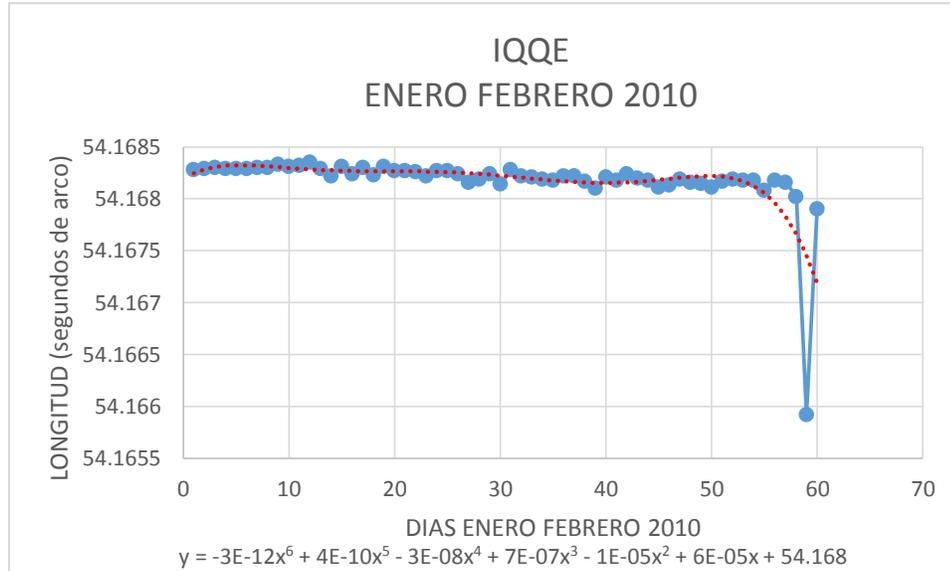


Fuente: Serie de tiempo graficada en base a soluciones finales diarias obtenidas luego del procesamiento con software Benese por Auspos (Geoscience Australia, 2018).

Longitud IQQE:

Se observa en la estación IQQE, que entre la solución final de los días 26 y 27 de febrero la diferencia es de **0.00210** segundos de arco en la componente Longitud; entre la solución final de los días 27 y 28 de febrero la diferencia en la componente Longitud es de **0.00198** segundos de arco; tiende a regresar a su posición espacial inicial.

Figura 11. **Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Longitud geodésica (segundos de arco) de la estación IQQE, previo y posterior al sismo del 27 febrero 2010 en Chile.** También se muestra la ecuación que modela la serie de tiempo.

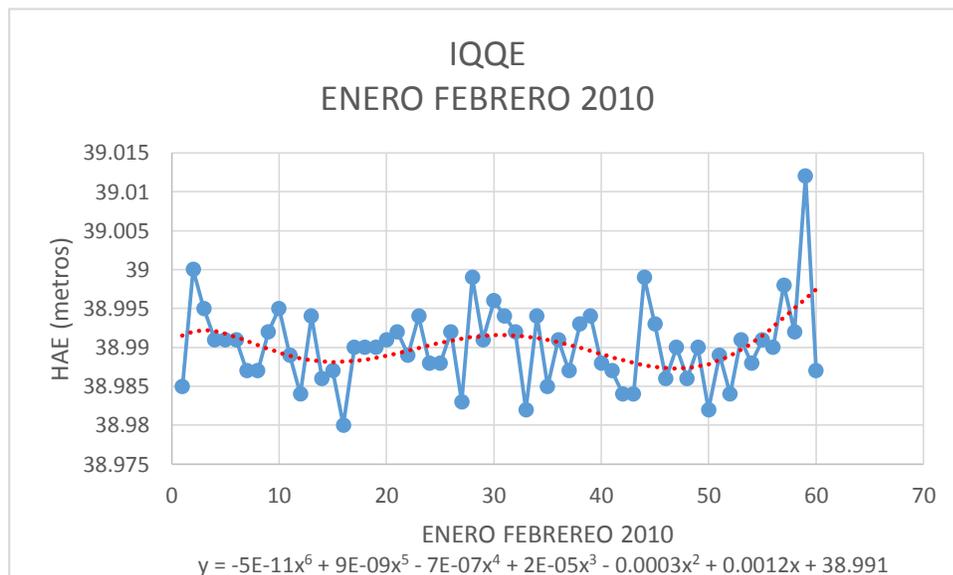


Fuente: Serie de tiempo graficada en base a soluciones finales diarias obtenidas luego del procesamiento con software Benese por Auspos (Geoscience Australia, 2018).

Altura Elipsoidal IQQE:

Se observa en la estación IQQE, que entre la solución final de los días 26 y 27 de febrero la diferencia es de **0.02 m.** en la componente altura elipsoidal; entre la solución final de los días 27 y 28 de febrero la diferencia en la componente altura elipsoidal es de **0.025 m.**; tiende a regresar a su posición espacial inicial.

Figura 11. **Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Altura Elipsoidal (en metros) de la estación IQQE, previo y posterior al sismo del 27 febrero 2010, en Chile.** También se muestra la ecuación que modela la serie de tiempo.



Fuente: Serie de tiempo graficada en base a soluciones finales diarias obtenidas luego del procesamiento con software Benese por Auspos (Geoscience Australia, 2018).

ESTACIÓN ANTC

Tabla 4.

Solución final obtenida luego de procesar en red las observaciones geodésicas GPS recopiladas en la Estación ANTC el 01.02.2010, Coordenadas ITRF 2014, elipsoide GRS80, modelo geoidal EGM 2008

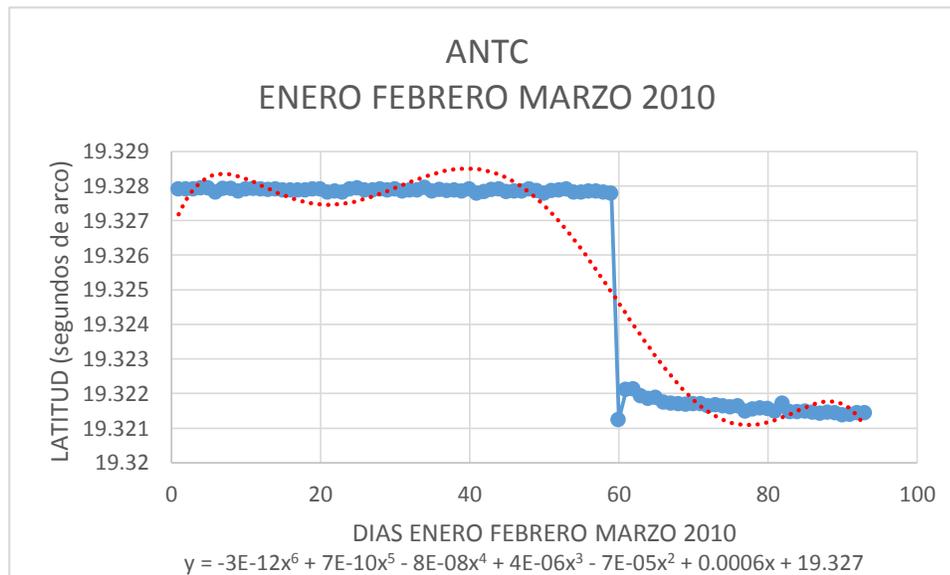
N° REPORTE	COORDENADAS GEODESICAS								COORDENADAS CARTESIANAS (m)		
	LATITUD			LONGITUD			ALTURA ELIPSOIDAL HAE (m)	ALTURA GEOIDAL (m)	X	y	Z
	°	'	"	°	'	"					
8355	-37	20	19.32796	-71	31	55.37553	745.403	721.804	1608539.651	-4816369.732	-3847798.496

Fuente: Elaborado en base a información del Reporte N° 8355 (Geoscience Australia, 2018, p. 3).

Latitud ANTC:

Se observa en la estación ANTC, que entre la solución final de los días 26 y 27 de febrero la diferencia es de **0.00656** segundos de arco en la componente Latitud; entre la solución final de los días 27 y 28 de febrero la diferencia en la componente Latitud es de **0.00088** segundos de arco; no regresa a su posición espacial inicial.

Figura 12. **Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Latitud geodésica (segundos de arco), en la estación ANTC, previo y posterior al sismo del 27 febrero 2010 en Chile.** También se muestra la ecuación que modela la serie de tiempo.

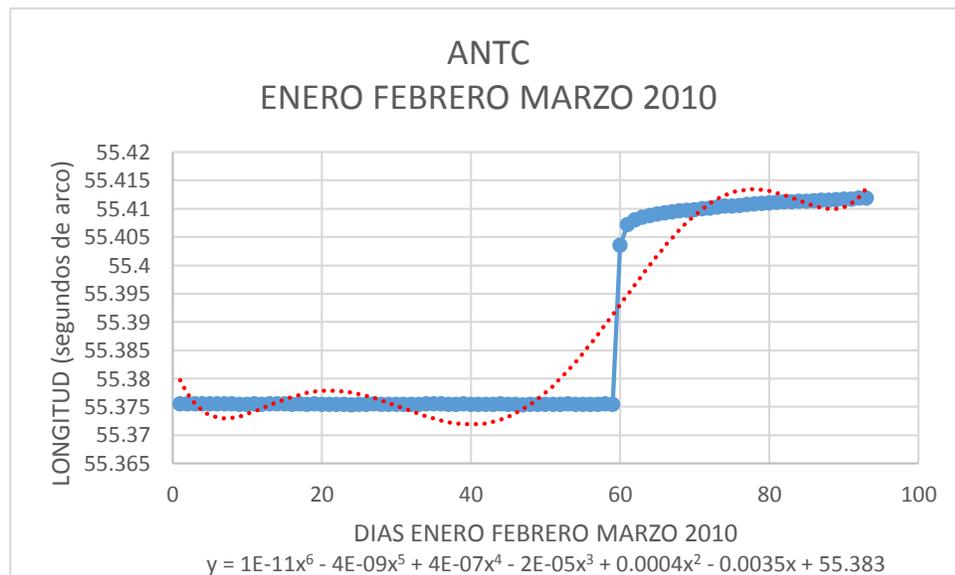


Fuente: Serie de tiempo graficada en base a soluciones finales diarias obtenidas luego del procesamiento con software Benese por Auspos (Geoscience Australia, 2018).

Longitud ANTC:

Se observa en la estación ANTC, que entre la solución final de los días 26 y 27 de febrero la diferencia es de **0.02808** segundos de arco en la componente Longitud; entre la solución final de los días 27 y 28 de febrero la diferencia en la componente Latitud es de **0.00368** segundos de arco; no regresa a su posición espacial inicial.

Figura 13. **Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Longitud geodésica (segundos de arco) de la estación ANTC, previo y posterior al sismo del 27 febrero 2010, en Chile.** También se muestra la ecuación que modela la serie de tiempo.

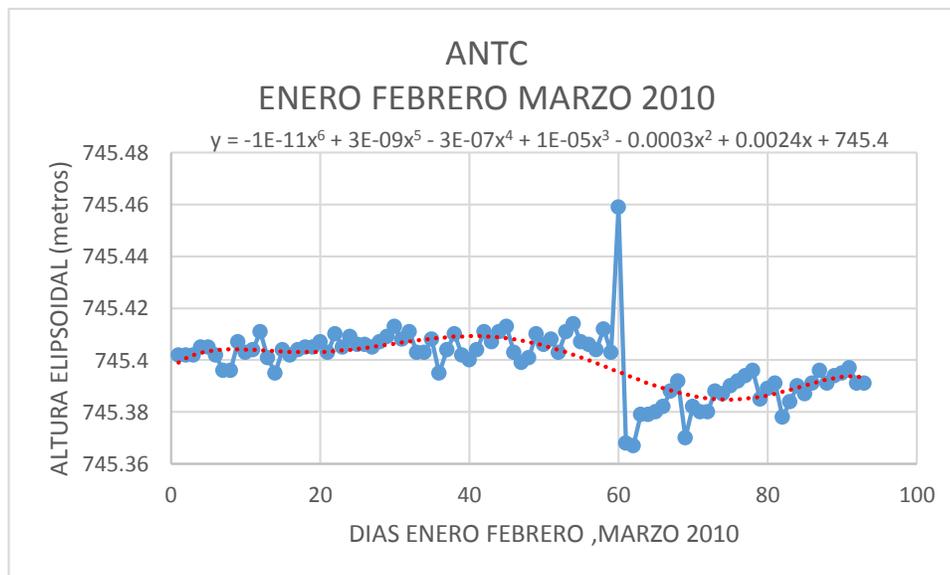


Fuente: Serie de tiempo graficada en base a soluciones finales diarias obtenidas luego del procesamiento con software Benese por Auspos (Geoscience Australia, 2018).

Altura Elipsoidal ANTC:

Se observa en la estación ANTC, que entre la solución final de los días 26 y 27 de febrero la diferencia es de **0.056 m.** en la componente altura elipsoidal; entre la solución final de los días 27 y 28 de febrero la diferencia en la componente altura elipsoidal es de **0.091 m.** en sentido contrario al anterior desplazamiento; no regresa a su posición espacial inicial.

Figura 14. **Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Altura Elipsoidal (en metros) de la estación ANTC, previo y posterior al sismo del 27 de febrero del 2010 ocurrido en Chile.** También se muestra la ecuación que modela la serie de tiempo.



Fuente: Serie de tiempo graficada en base a soluciones finales diarias obtenidas luego del procesamiento con software Benese por Auspos.

ESTACIÓN AREQ

Tabla .5

Solución final obtenida luego de procesar en red observaciones geodésicas GPS recopiladas en la Estación AREQ el 01.02.2010, Coordenadas ITRF 2014, elipsoide GRS80, modelo geoidal EGM 2008

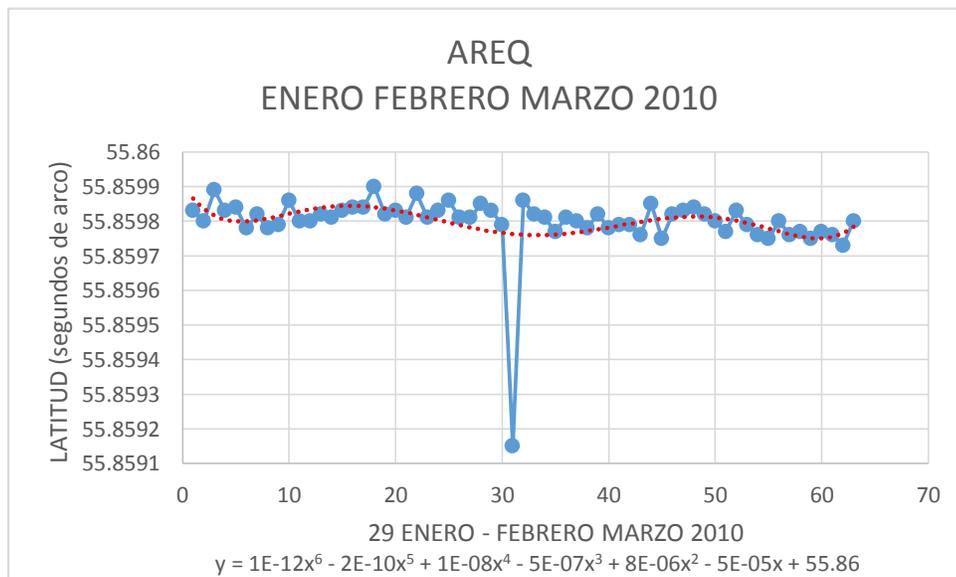
N° REPORTE	COORDENADAS GEODESICAS								COORDENADAS CARTESIANAS (m)		
	LATITUD			LONGITUD			ALTURA ELIPSOIDAL HAE (m)	ALTURA GEOIDAL (m)	X	y	Z
	°	'	"	°	'	"					
103	-16	27	55.85983	-71	29	34.06751	2488.926	2449.071	1942826.211	-5804070.340	-1796894.227

Fuente: Elaborado en base a información del Reporte N° 103 (Geoscience Australia, 2018, p. 3). Reporte recibido vía correo electrónico personal.

Latitud AREQ:

Se observa en la estación AREQ, que entre la solución final de los días 26 y 27 de febrero la diferencia es de **0.00064** segundos de arco en la componente Latitud; entre la solución final de los días 27 y 28 de febrero la diferencia en la componente Latitud es de **0.00071** segundos de arco; con tendencia a regresar a su posición espacial inicial.

Figura 15. **Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Latitud geodésica (arco de segundo) de la estación AREQ ubicada en Perú, previo y posterior al sismo del 27 febrero 2010 ocurrido en Chile.** También se muestra la ecuación que modela la serie de tiempo.

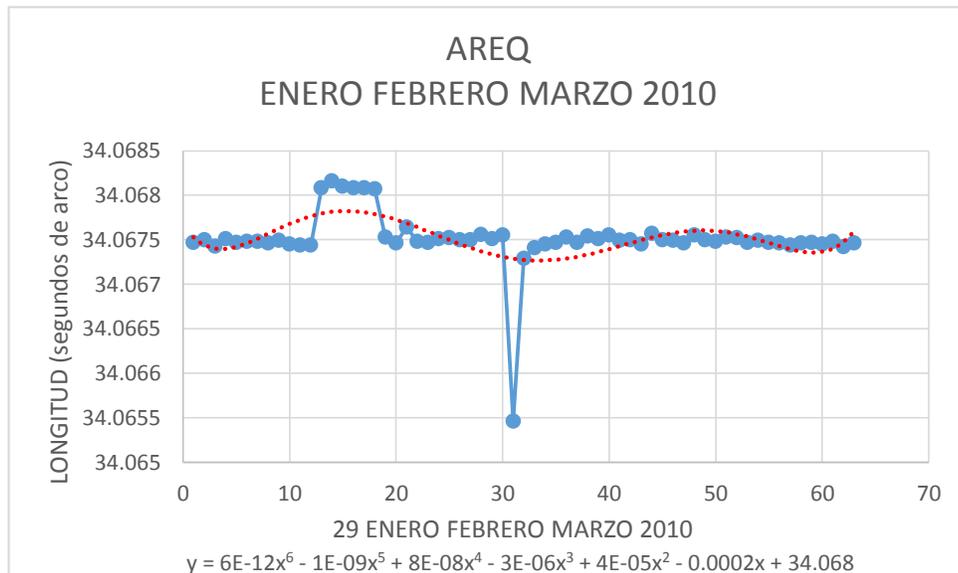


Fuente: Serie de tiempo graficada en base a soluciones finales diarias obtenidas luego del procesamiento con software Benese por Auspos (Geoscience Australia, 2018).

Longitud AREQ:

Se observa en la estación AREQ, que entre la solución final de los días 26 y 27 de febrero la diferencia es de **0.00009** segundos de arco en la componente Longitud; entre la solución final de los días 27 y 28 de febrero la diferencia en la componente Longitud es de **0.00183** segundos de arco; no regresa a su posición espacial inicial.

Figura 16. **Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Longitud geodésica (segundos de arco) en la estación AREQ ubicado en el Perú, previo y posterior al sismo del 27 febrero 2010 ocurrido en Chile.** También se muestra la ecuación que modela la serie de tiempo.

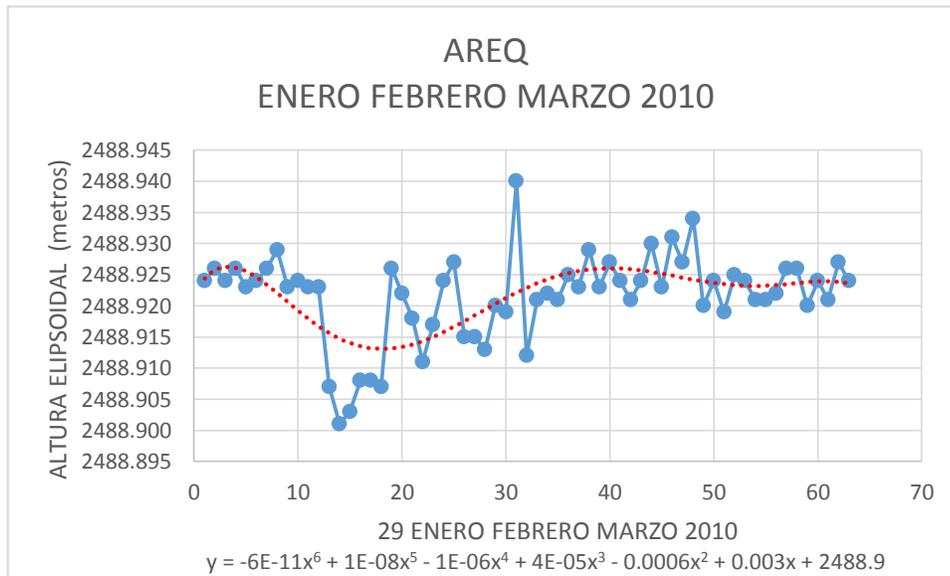


Fuente: Serie de tiempo graficada en base a soluciones finales diarias obtenidas luego del procesamiento con software Benese por Auspos (Geoscience Australia, 2018).

Altura Elipsoidal AREQ:

Se observa en la estación AREQ, que entre la solución final de los días 26 y 27 de febrero la diferencia es de **0.021 m.** en la componente altura elipsoidal; entre la solución final de los días 27 y 28 de febrero la diferencia en la componente altura elipsoidal es de **0.028 m.** variable, no regresa a su posición espacial inicial.

Figura 17. **Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Altura Elipsoidal (en metros) en la estación AREQ ubicada en el Perú, previo y posterior al sismo del 27 febrero 2010 ocurrido en Chile.** También se muestra la ecuación que modela la serie de tiempo.



Fuente: Serie de tiempo graficada en base a soluciones finales diarias obtenidas luego del procesamiento con software Benese por Auspos (Geoscience Australia, 2018).

ESTACIÓN COPO

Tabla 6.

Solución final obtenida luego de procesar en red observaciones geodésicas GPS recopiladas en la Estación COPO el 01.02.2010,
 Coordenadas ITRF 2014, elipsoide GRS80, modelo geoidal EGM 2008

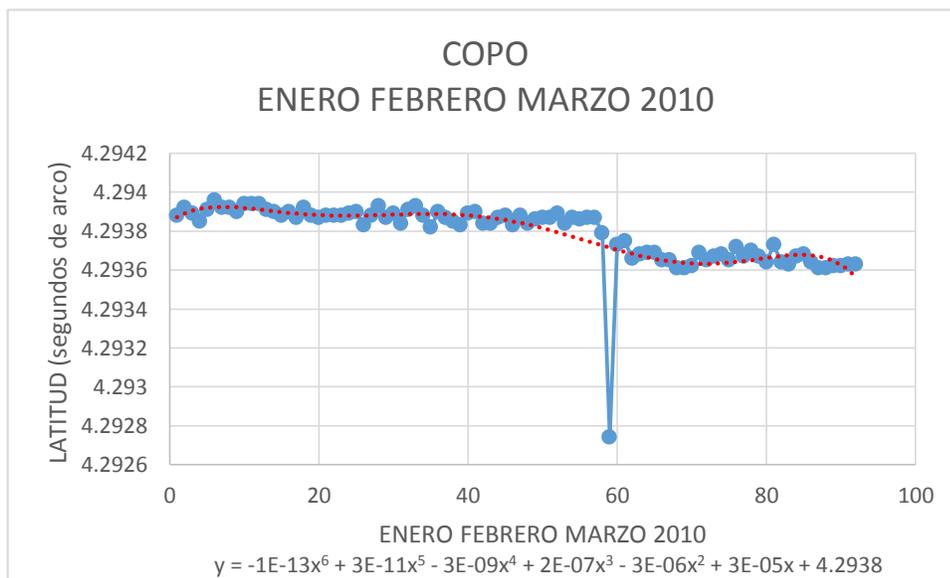
N° REPORTE	COORDENADAS GEODESICAS								COORDENADAS CARTESIANAS (m)		
	LATITUD			LONGITUD			ALTURA ELIPSOIDAL HAE (m)	ALTURA GEOIDAL (m)	X	y	Z
	°	'	"	°	'	"					
9597	-27	23	4.2939 3	-70	20	17.64846	479.098	447.906	1907040.857	-5337379.029	2916334.763

Fuente: Elaborado en base a información del Reporte N° 9597 (Geoscience Australia, 2018, p. 3).

Latitud COPO:

Se observa en la estación COPO, que entre la solución final de los días 26 y 27 de febrero la diferencia es de **0.00105** segundos de arco en la componente Latitud; entre la solución final de los días 27 y 28 de febrero la diferencia en la componente Latitud es de **0.00101** segundos de arco; no regresa a su posición espacial inicial.

Figura 18. **Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Latitud geodésica (en segundos de arco) en la estación COPO, previo y posterior al sismo del 27 febrero 2010 ocurrido en Chile.** También se muestra la ecuación que modela la serie de tiempo.

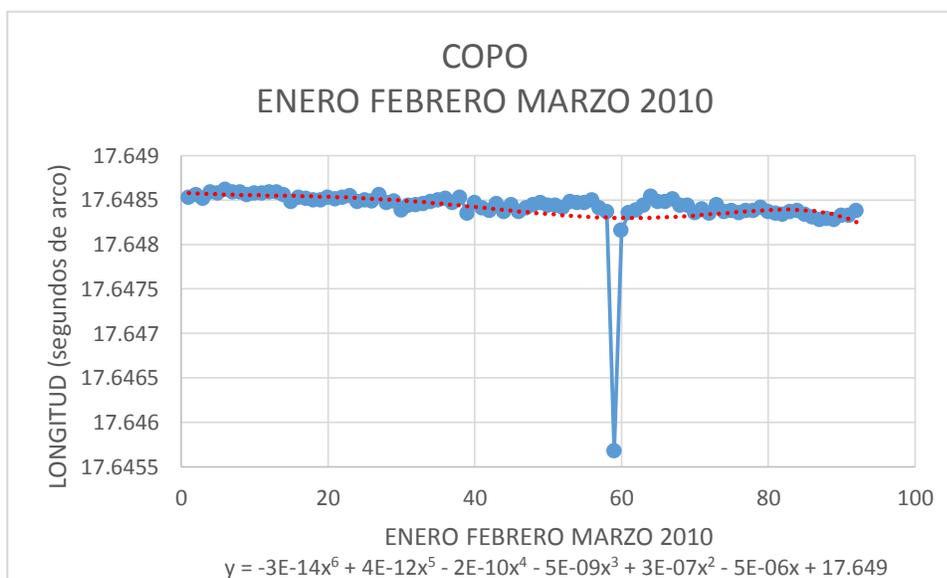


Fuente: Serie de tiempo graficada en base a soluciones finales diarias obtenidas luego del procesamiento con software Benese por Auspos (Geoscience Australia, 2018).

Longitud COPO:

Se observa en la estación COPO, que entre la solución final de los días 26 y 27 de febrero la diferencia es de **0.00269** segundos de arco en la componente Longitud; entre la solución final de los días 27 y 28 de febrero la diferencia en la componente Longitud es de **0.00248** segundos de arco; con tendencia a regresar a su posición espacial inicial.

Figura 19. **Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Longitud geodésica (en segundos de arco) en la estación COPO, previo y posterior al sismo del 27 febrero 2010 ocurrido en Chile.** También se muestra la ecuación que modela la serie de tiempo.

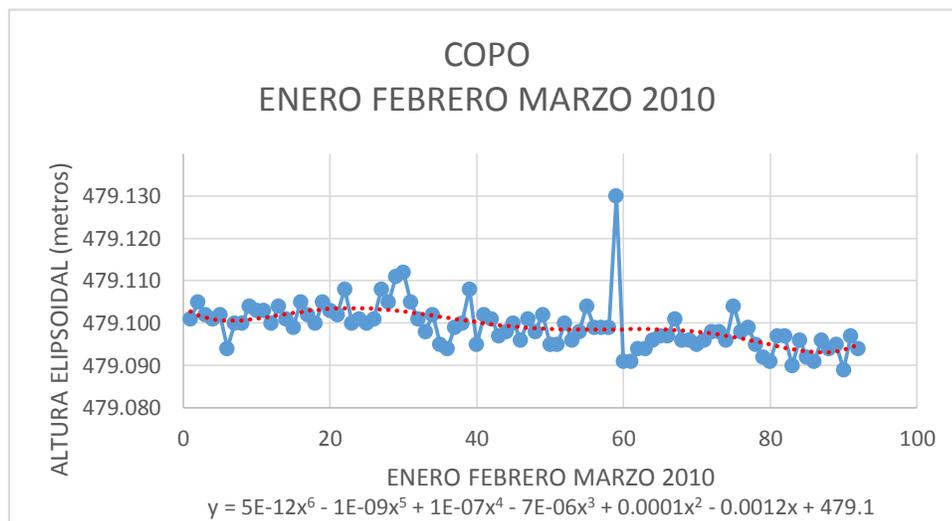


Fuente: Serie de tiempo graficada en base a soluciones finales diarias obtenidas luego del procesamiento con software Benese por Auspos (Geoscience Australia, 2018).

Altura Elipsoidal COPO:

Se observa en la estación COPO, que entre la solución final de los días 26 y 27 de febrero la diferencia es de **0.031 m.** en la componente altura elipsoidal; entre la solución final de los días 27 y 28 de febrero la diferencia en la componente altura elipsoidal es de **0.039 m.**; no regresa a su posición espacial inicial.

Figura 20. **Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Altura Elipsoidal (en metros) en la estación COPO, previo y posterior al sismo del 27 febrero 2010 ocurrido en Chile.** También se muestra la ecuación que modela la serie de tiempo.



Fuente: Serie de tiempo graficada en base a soluciones finales diarias obtenidas luego del procesamiento con software Benese por Auspos (Geoscience Australia, 2018).

ESTACIÓN SANT

Tabla 7.

*Solución final obtenida luego de procesar en red observaciones geodésicas GPS recopiladas en la Estación SANT el 01.02.2010,
Coordenadas ITRF 2014, elipsoide GRS80, modelo geoidal EGM 2008*

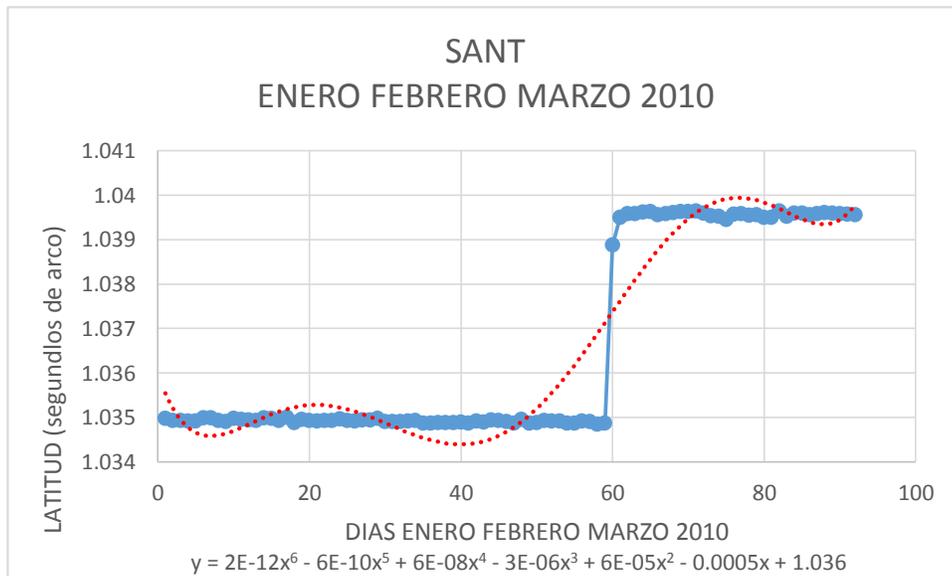
N° REPORTE	COORDENADAS GEODESICAS								COORDENADAS CARTESIANAS (m)		
	LATITUD			LONGITUD			ALTURA ELIPSOIDAL HAE (m)	ALTURA GEOIDAL (m)	X	y	Z
	°	'	"	°	'	"					
8241	-33	9	1.03493	-70	40	6.79043	723.076	695.173	1769693.645	-5044574.186	-3468320.877

Fuente: Elaborado en base a información del Reporte N° 8241 (Geoscience Australia, 2018, p. 3).

Latitud SANT:

Se observa en la estación SANT, que entre la solución final de los días 26 y 27 de febrero la diferencia es de **0.004** segundos de arco en la componente Latitud; entre la solución final de los días 27 y 28 de febrero la diferencia en la componente Latitud es de **0.00062** segundos de arco; se deforma y no regresa a su posición espacial inicial.

Figura 21. **Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Latitud geodésica (en segundos de arco) en la estación SANT, previo y posterior al sismo del 27 febrero 2010 ocurrido en Chile.** También se muestra la ecuación que modela la serie de tiempo.

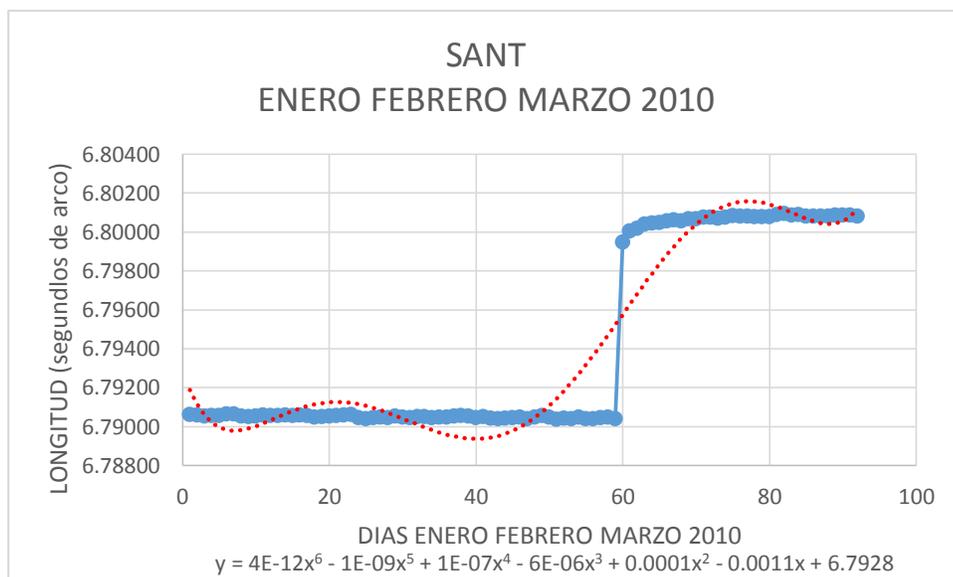


Fuente: Serie de tiempo graficada en base a soluciones finales diarias obtenidas luego del procesamiento con software Benese por Auspos (Geoscience Australia, 2018).

Longitud SANT:

Se observa en la estación SANT, que entre la solución final de los días 26 y 27 de febrero la diferencia es de **0.00059** segundos de arco en la componente Longitud; entre la solución final de los días 27 y 28 de febrero la diferencia en la componente Longitud es de **0.00013** segundos de arco; se deforma, no regresa a su posición espacial inicial.

Figura 22. **Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Longitud geodésica (en segundos de arco) en la estación SANT, previo y posterior al sismo del 27 febrero 2010 ocurrido en Chile.** También se muestra la ecuación que modela la serie de tiempo.

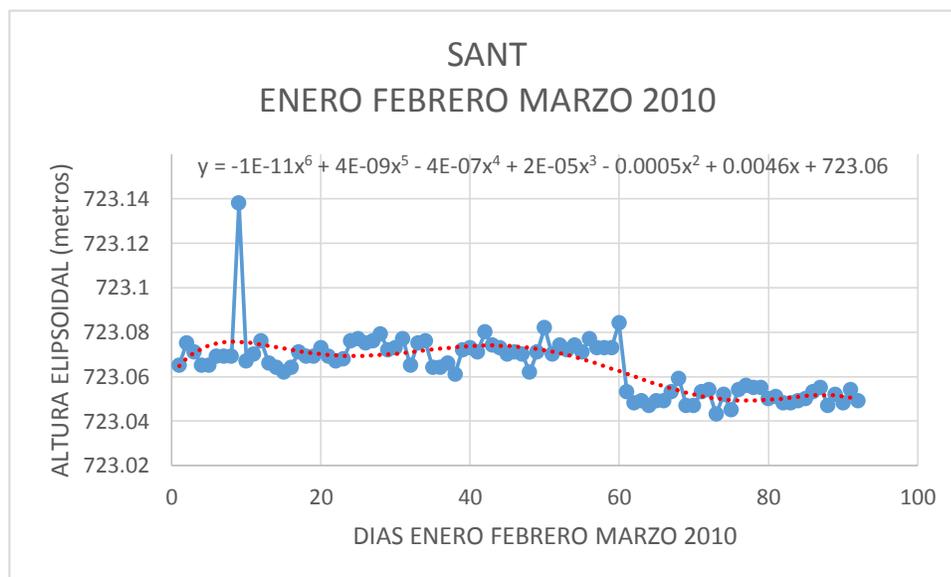


Fuente: Serie de tiempo graficada en base a soluciones finales diarias obtenidas luego del procesamiento con software Benese por Auspos (Geoscience Australia, 2018).

Altura Elipsoidal (HAE) SANT:

Se observa en la estación SANT, que entre la solución final de los días 26 y 27 de febrero la diferencia es de **0.031 m.** en la componente altura elipsoidal; entre la solución final de los días 27 y 28 de febrero la diferencia en la componente altura elipsoidal es de **0.005 m.**; se deforma no regresa a su posición espacial inicial.

Figura 23. **Serie de tiempo que modela desplazamientos de la componente Altura Elipsoidal (en metros) en la estación SANT, previo y posterior al sismo del 27 febrero 2010 ocurrido en Chile.** También se muestra la ecuación que modela la serie de tiempo.



Fuente: Serie de tiempo graficada en base a soluciones finales diarias obtenidas luego del procesamiento con software Benese por Auspos (Geoscience Australia, 2018).

ESTACIÓN VALP

Tabla 8.

*Solución final obtenida luego de procesar en red las observaciones geodésicas GPS recopiladas en la Estación VALP el 01.02.2010,
Coordenadas ITRF 2014, elipsoide GRS80, modelo geoidal EGM 2008*

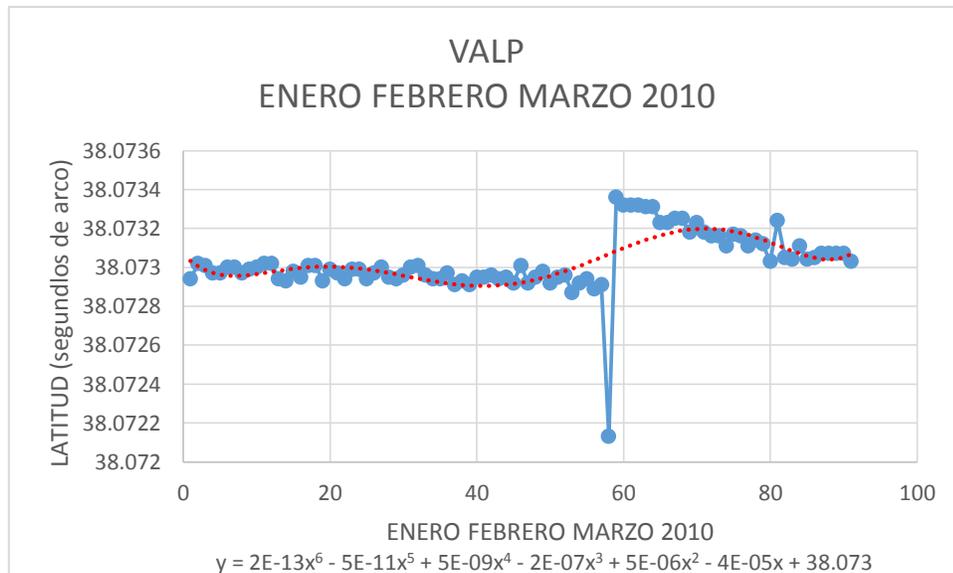
N° REPORTE	COORDENADAS GEODESICAS								COORDENADAS CARTESIANAS (m)		
	LATITUD			LONGITUD			HAE (m)	ALTURA GEOIDAL (m)	X	y	Z
	°	'	"	°	'	"					
9712	-33	1	38.07301	-71	37	33.92638	31.369	9.879	1687310.433	-5079964.535	-3456509.240

Fuente: Elaborado en base a información del Reporte N° 9712 (Geoscience Australia, 2018, p. 3).

Latitud VALP:

Se observa en la estación VALP, que entre la solución final de los días 26 y 27 de febrero la diferencia es de **0.00078** segundos de arco en la componente Latitud; entre la solución final de los días 27 y 28 de febrero la diferencia en la componente Latitud es de **0.00123** segundos de arco en sentido contrario a la solución que antecede; se deforma y no regresa a su posición espacial inicial.

Figura 24. **Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Latitud geodésica (en segundos de arco) en la estación VALP, previo y posterior al sismo del 27 febrero 2010 ocurrido en Chile.** También se muestra la ecuación que modela la serie de tiempo.

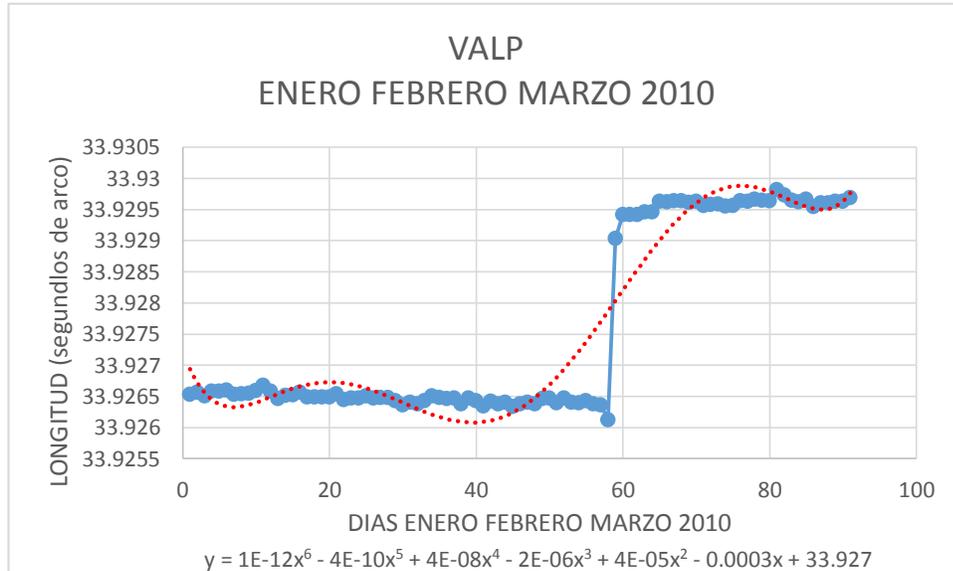


Fuente: Serie de tiempo graficada en base a soluciones finales diarias obtenidas luego del procesamiento con software Benese por Auspos (Geoscience Australia, 2018).

Longitud VALP:

Se observa en la estación VALP, que entre la solución final de los días 26 y 27 de febrero la diferencia es de **0.00024** segundos de arco en la componente Longitud; entre la solución final de los días 27 y 28 de febrero la diferencia en la componente Longitud es de **0.00291** segundos de arco; se deforma y no regresa a su posición espacial inicial.

Figura 25. **Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Longitud geodésica (en segundos de arco) en la estación VALP, previo y posterior al sismo del 27 febrero 2010 ocurrido en Chile.** También se muestra la ecuación que modela la serie de tiempo.

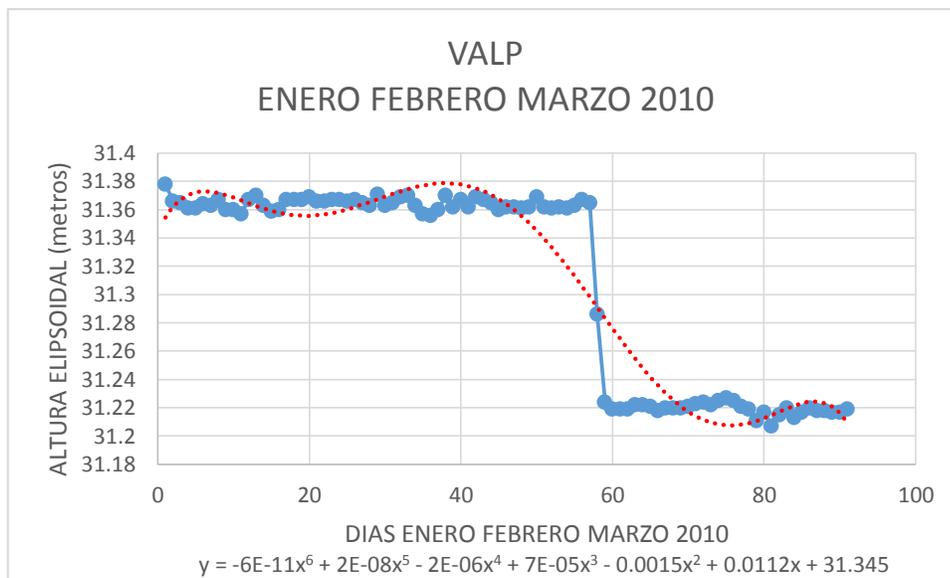


Fuente: Serie de tiempo graficada en base a soluciones finales diarias obtenidas luego del procesamiento con software Benese por Auspos (Geoscience Australia, 2018)

Altura Elipsoidal (HAE) VALP:

Se observa en la estación VALP, que entre la solución final de los días 26 y 27 de febrero la diferencia es de **0.079 m.** en la componente altura elipsoidal; entre la solución final de los días 27 y 28 de febrero la diferencia en la componente altura elipsoidal es de **0.062 m.**; se deforma y no regresa a su posición espacial inicial.

Figura 26. **Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Altura Elipsoidal (en metros) en la estación VALP, previo y posterior al sismo del 27 febrero 2010 ocurrido en Chile.** También se muestra la ecuación que modela la serie de tiempo.



Fuente: Serie de tiempo graficada en base a soluciones finales diarias obtenidas luego del procesamiento con software Benese por Auspos (Geoscience Australia, 2018)

SISMO DEL 16.04.2016, DESPLAZAMIENTOS EN ECUADOR

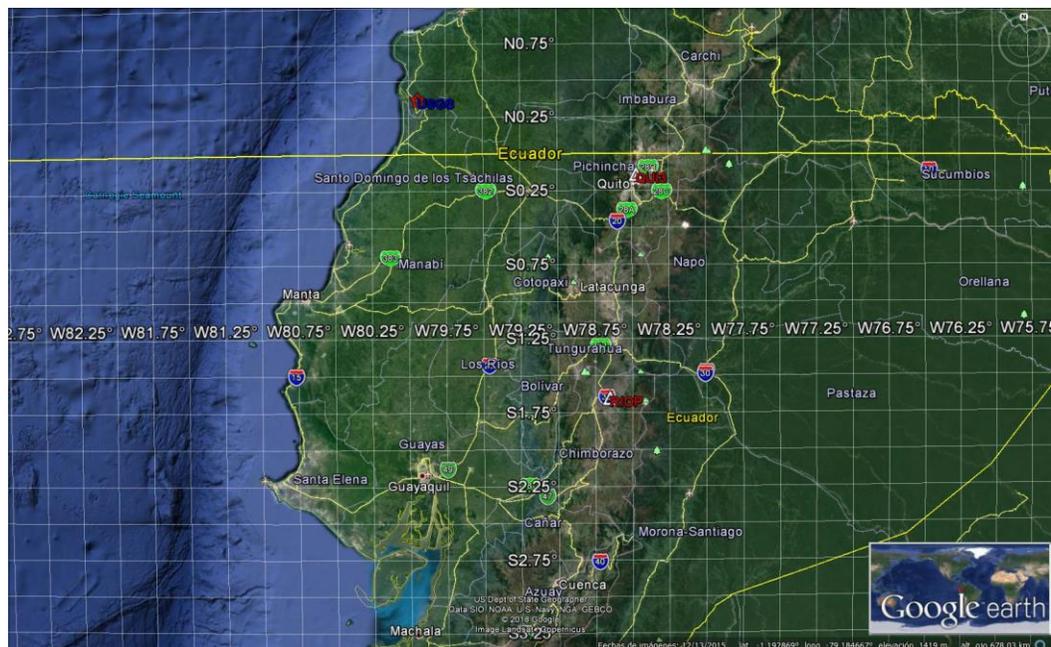
El sábado 16 de abril del 2016, a las 18:58 horas (23:58:37 UTC), hubo un sismo de 7,8° de magnitud y 20 kms. de profundidad, cuyo epicentro estuvo localizado entre las localidades de Cojimíes y Pedernales, en la zona norte de la provincia de Manabí, en el noroeste de Ecuador.

Según el Servicio Geológico de Estados Unidos (U.S. Geological Survey, USGS), el sismo tuvo una magnitud de 7,8° y se registró a las 18:58 hora local del sábado (23:58 GMT).

Figura 28. Epicentro sismo del 16.04.2016, estaciones QUI3 y RIOP ubicadas en Ecuador.

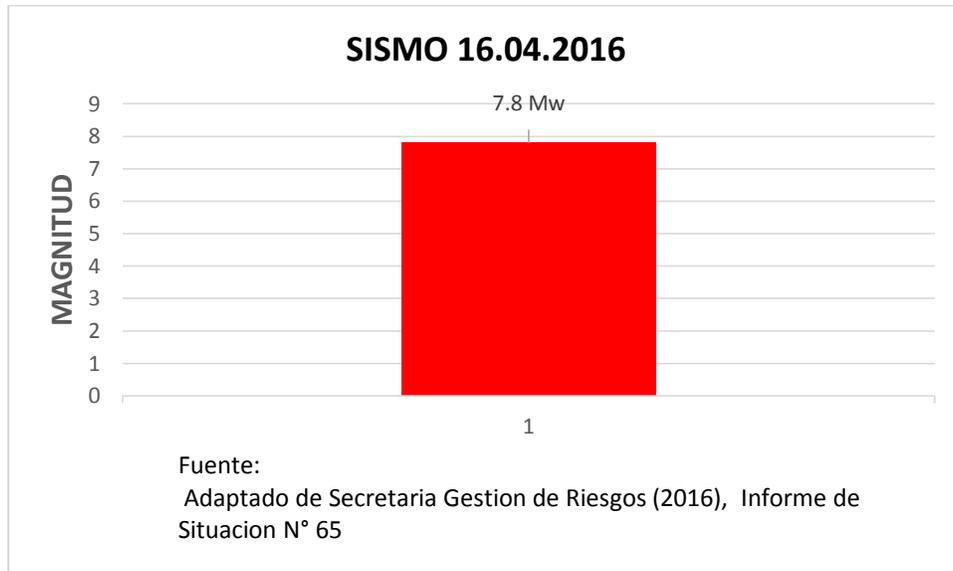
Distancia geodésica aproximada de RIOP al epicentro 265,564 m.

Distancia geodésica aproximada de QUI3 al epicentro 171,901 m.



Fuente: Elaboración en base a resultados de las soluciones diarias obtenidas luego del procesamiento con software Benese por Auspos, ploteadas en imagen de Google Earth, imágenes Landsat del 12.13.2015.

Figura 28. Magnitud sismo del 16.04.2016



DESPLAZAMIENTOS

ESTACIÓN RIOP

Tabla 9.

Solución final obtenida luego de procesar en red las observaciones geodésicas GPS recopiladas en la Estación RIOP el 01.04.2016, Coordenadas ITRF 2014, elipsoide GRS80, modelo geoidal EGM 2008

N° REPORTE	COORDENADAS GEODESICAS								COORDENADAS CARTESIANAS (m)		
	LATITUD			LONGITUD			ALTURA ELIPSOIDAL HAE (m)	ALTURA GEOIDAL (m)	x	y	z
	°	'	"	°	'	"					
2574	-1	39	2.14222	-78	39	3.98574	2817.169	2791.372	1255144.957	-6253609.437	-182569.763

Fuente: Elaborado en base a información del Reporte N° 2574 (Geoscience Australia, 2018, p. 3)

Figura 29. Ubicación de RIOP y estaciones para procesamiento



Date	User Stations	Reference Stations	Orbit Type
2016/04/01 00:00:30	RIOP	BOGT BRAZ BRMU CORD ISPA LPGS MANA MTV1 SANT SSIA UNSA	IGS final

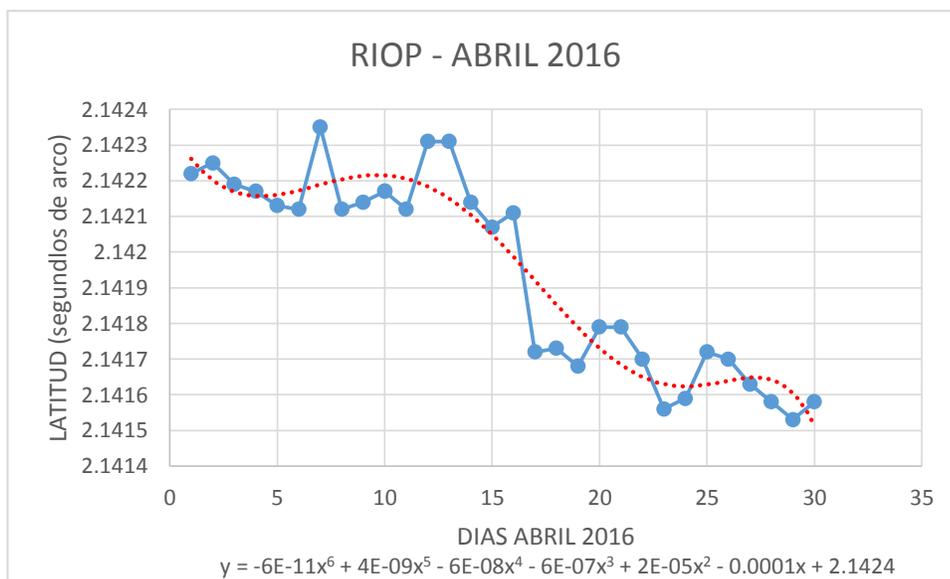
Fuente: Imagen tomada del Reporte N° 2574, página 2 (Geoscience Australia, 2018).

ESTACIÓN RIOP – MES DE ABRIL DEL 2016

Latitud RIOP:

Se observa en la estación RIOP, que entre la solución final de los días 15 y 16 de Abril la diferencia es de **0.00004** segundos de arco en la componente Latitud; entre la solución final de los días 16 y 17 de abril la diferencia en la componente Latitud es de **0.00039** segundos de arco (aproximadamente 0.012 m.); se deforma y no regresa a su posición espacial inicial.

Figura 30. **Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Latitud geodésica (en segundos de arco) en la estación RIOP, previo y posterior al sismo del 16 abril 2016 ocurrido en el Ecuador.** También se muestra la ecuación que modela la serie de tiempo.

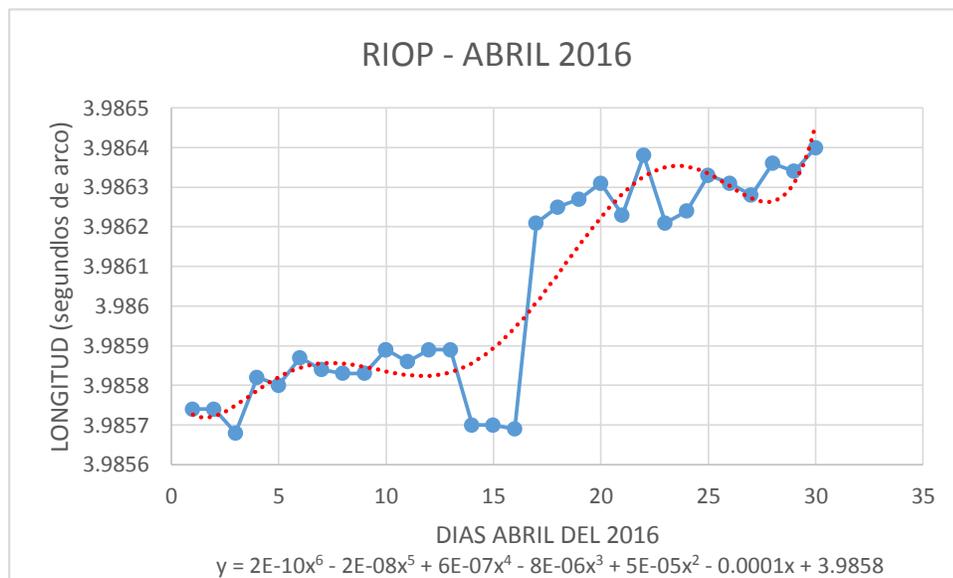


Fuente: Elaboración propia en base a resultados de las soluciones diarias obtenidas luego del procesamiento con software Benese por Auspos (Geoscience Australia, 2018).

Longitud RIOP:

Se observa en la estación RIOP, que entre la solución final de los días 15 y 16 de abril hay una diferencia de **0.00001** segundos de arco en la componente Longitud; entre la solución final de los días 16 y 17 de abril hay una diferencia en la componente Longitud de **0.00052** segundos de arco (aproximadamente 0.016 m.); se deforma y no regresa a su posición inicial.

Figura 31. **Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Longitud geodésica (en segundos de arco) en la estación RIOP, previo y posterior al sismo del 16 abril 2016 ocurrido en el Ecuador.** También se muestra la ecuación que modela la serie de tiempo.

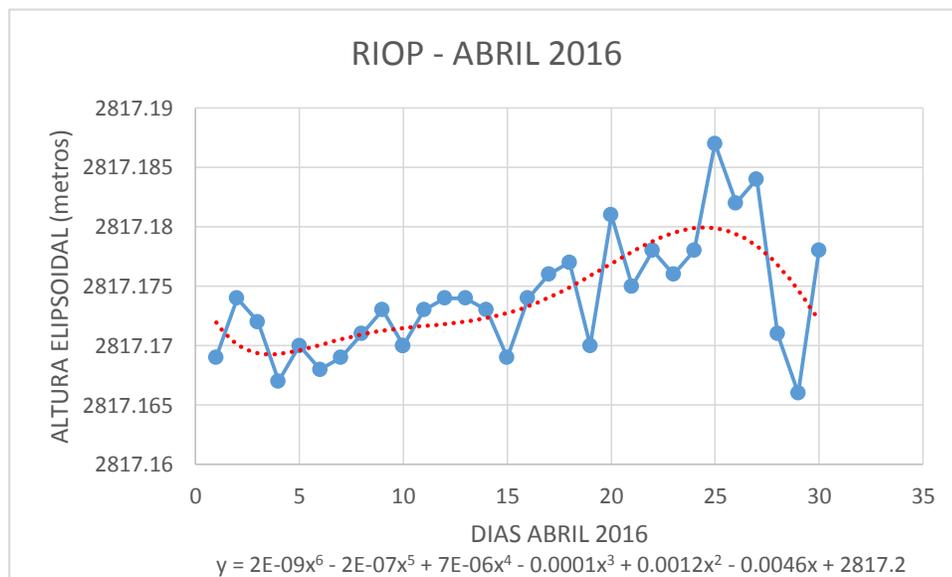


Fuente: Serie de tiempo graficada en base a soluciones finales diarias obtenidas luego del procesamiento con software Benese por Auspos (Geoscience Australia, 2018).

Altura Elipsoidal RIOP:

Se observa en la estación RIOP, que entre la solución final de los días 15 y 16 de abril la diferencia es de **0.005 m.** en la componente altura elipsoidal; entre la solución final de los días 16 y 17 de Abril la diferencia en la componente altura elipsoidal es de **0.002 m.**; se deforma y tiende a regresar a su posición espacial inicial.

Figura 32. **Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Altura Elipsoidal (en metros) en la estación RIOP, previo y posterior al sismo del 16 abril 2016 ocurrido en el Ecuador.** También se muestra la ecuación que modela la serie de tiempo.



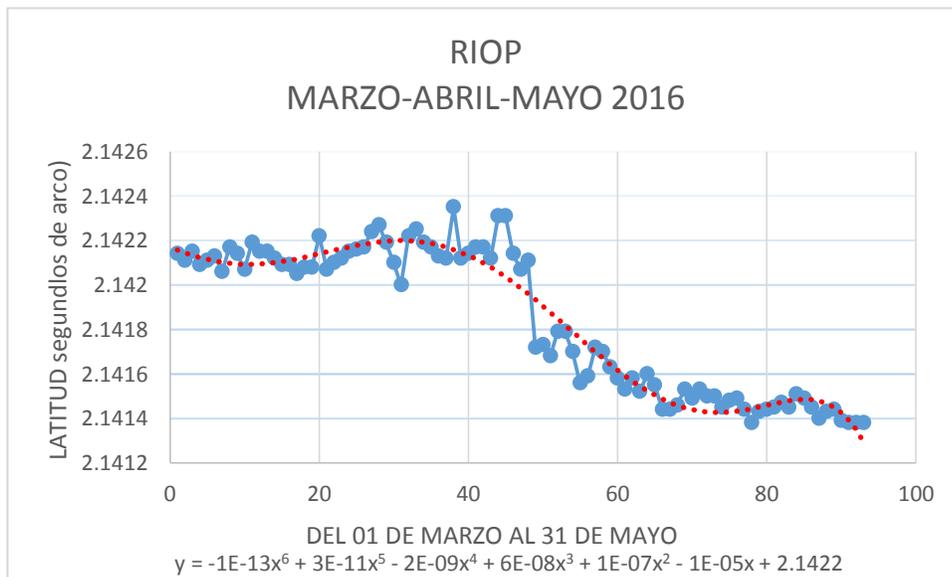
Fuente: Serie de tiempo graficada en base a soluciones finales diarias obtenidas luego del procesamiento con software Benese por Auspos (Geoscience Australia, 2018).

ESTACIÓN RIOP – MESES DE MARZO, ABRIL, MAYO DEL 2016

Latitud RIOP:

Se observa en la estación RIOP, las soluciones finales diarias previo al sismo del 16 de abril del 2016 siguen una tendencia; luego de ocurrido el sismo, se produce un desplazamiento, la tendencia de las soluciones diarias varia.

Figura 33. **Serie de tiempo que modela desplazamientos componente Latitud geodésica (en segundos de arco) en la estación RIOP, durante los meses de marzo, abril y mayo 2016.** También se muestra la ecuación que modela la serie de tiempo. Se deforma, luego sigue tendencia, no recupera su posición espacial inicial.

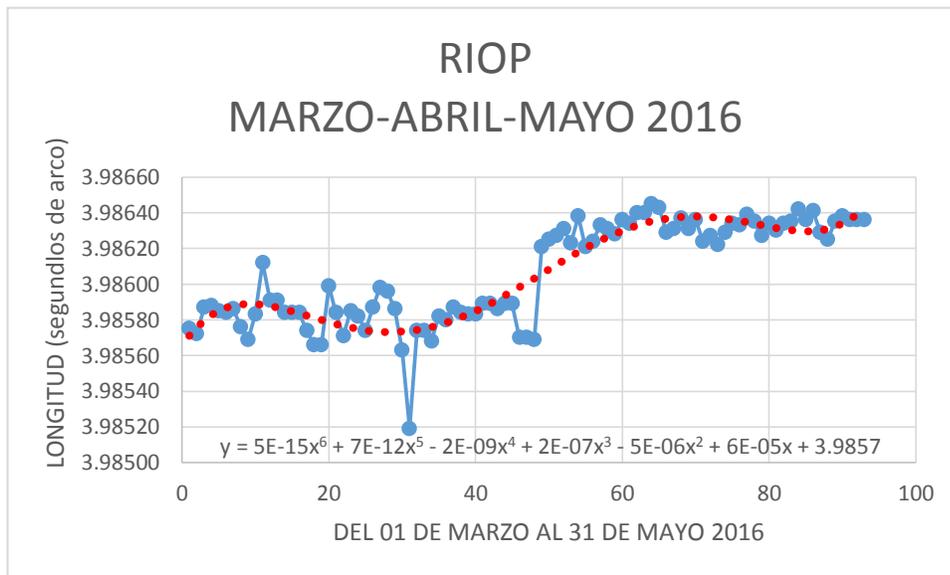


Fuente: Serie de tiempo graficada en base a soluciones finales diarias obtenidas luego del procesamiento con software Benese por Auspos (Geoscience Australia, 2018).

Longitud RIOP:

Se observa en la estación RIOP, las soluciones finales diarias previo al sismo del 16 de abril del 2016 siguen una tendencia; luego de ocurrido el sismo, se produce un desplazamiento, la tendencia de las soluciones diarias varía.

Figura 34. **Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Longitud geodésica (en segundos de arco) en la estación RIOP, durante los meses de marzo, abril y mayo 2016.** También se muestra la ecuación que modela la serie de tiempo. Se deforma no recupera su posición espacial.

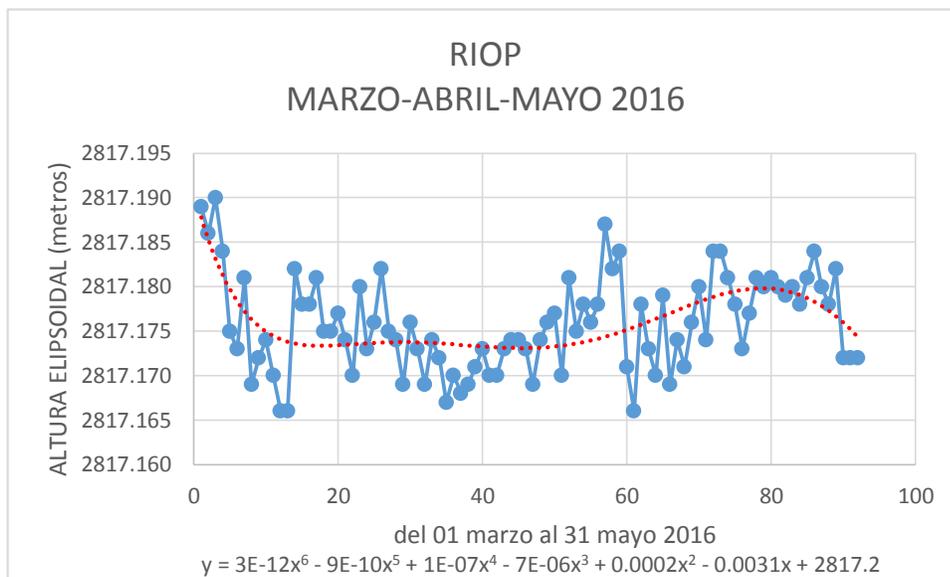


Fuente: Serie de tiempo graficada en base a soluciones finales diarias obtenidas luego del procesamiento con software Benese por Auspos (Geoscience Australia, 2018).

Altura Elipsoidal RIOP:

Se observa en la estación RIOP, las soluciones finales diarias previo al sismo del 16 de abril del 2016 varían irregularmente; luego de ocurrido el sismo, la variación es irregular.

Figura 35. **Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Altura Elipsoidal (en metros) luego de ocurrido el sismo del 16 abril 2016 en la estación RIOP.** Muestra la ecuación que modela la serie de tiempo. Componente Altura Elipsoidal oscila.



Fuente: Serie de tiempo graficada en base a soluciones finales diarias obtenidas luego del procesamiento con software Benese por Auspos (Geoscience Australia, 2018).

ESTACIÓN QUI3

Tabla 10.

*Solución final obtenida luego de procesar en red observaciones geodésicas GPS recopiladas en la Estación QUI3 el 01.04.2016,
Coordenadas ITRF 2014, elipsoide GRS80, modelo geoidal EGM 2008*

N° REPORTE	COORDENADAS GEODESICAS								COORDENADAS CARTESIANAS (m)			
	LATTITUD			LONGITUD			ALTURA ELIPSOIDAL HAE (m)	ALTURA GEOIDAL (m)	X	y	Z	
	°	'	"	°	'	"						
2407	-	0	8	22.48591	-78	28	2.20479	2927.480	2900.613	1275746.665	-6252216.752	-15441.010

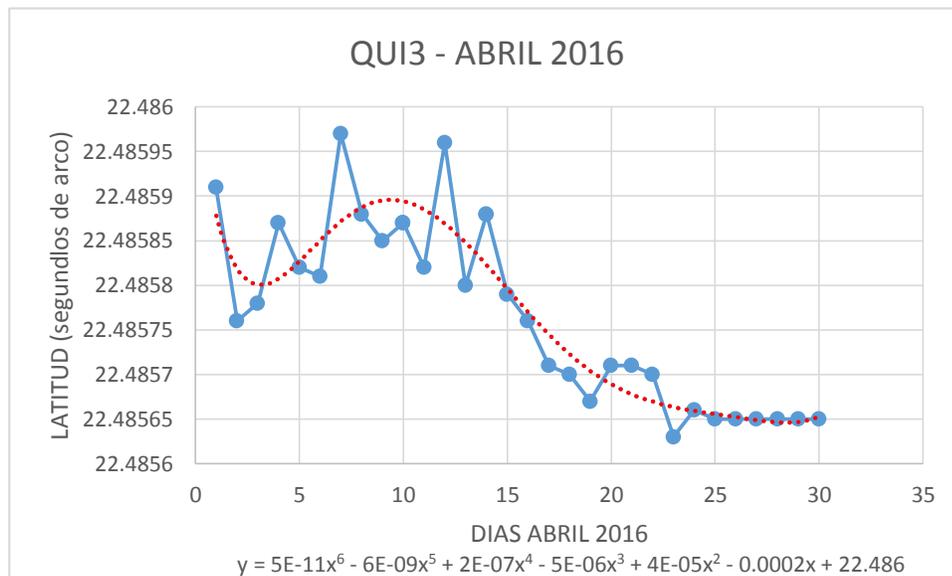
Fuente: Elaborado en base a información del Reporte N° 2407, página 3 (Geoscience Australia, 2018).

ESTACIÓN QUI3 – MES ABRIL 2016

Latitud QUI3:

Se observa en la estación QUI3, que entre la solución final de los días 15 y 16 de abril la diferencia es de **0.00003** segundos de arco en la componente Latitud; entre la solución final de los días 16 y 17 de abril la diferencia en la componente Latitud de **0.00005** segundos de arco (aproximadamente 0.0015 m.); se deforma y no regresa a su posición espacial inicial.

Figura 37. **Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Latitud geodésica (en segundos de arco) en la estación QUI3, durante abril del 2016.** También se muestra la ecuación que modela la serie de tiempo.

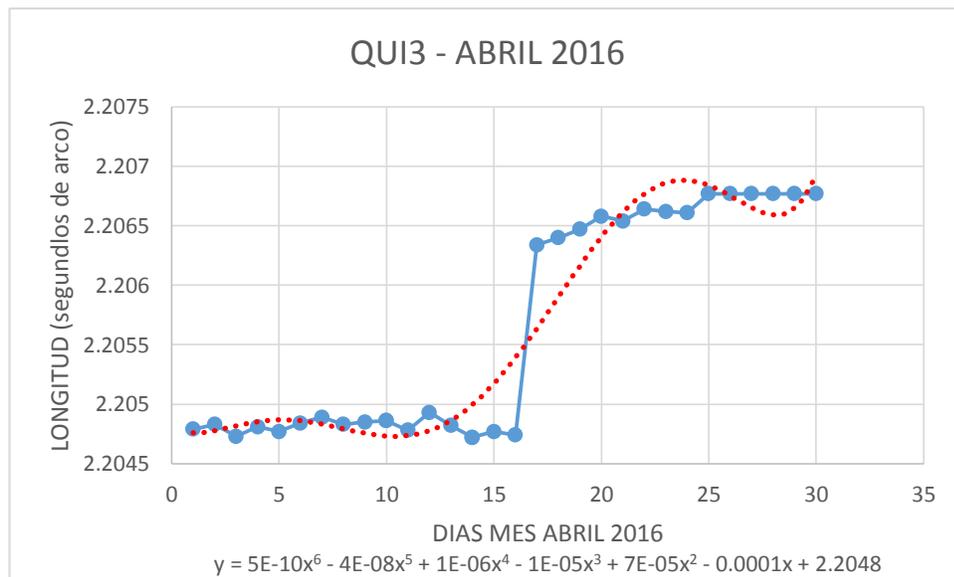


Fuente: Serie de tiempo graficada en base a soluciones finales diarias obtenidas luego del procesamiento con software Benese por Auspos (Geoscience Australia, 2018).

Longitud QUI3:

Se observa en la estación QUI3, que entre la solución final de los días 15 y 16 de abril la diferencia de **0.00003** segundos de arco en la componente Longitud; entre la solución final de los días 16 y 17 de abril la diferencia en la componente Longitud es de **0.00160** segundos de arco (aproximadamente 0.048 m); se deforma y no regresa a su posición espacial inicial.

Figura 37. **Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Longitud geodésica (en segundos de arco), en la estación QUI3, durante Abril del 2016.** También se muestra la ecuación que modela la serie de tiempo.



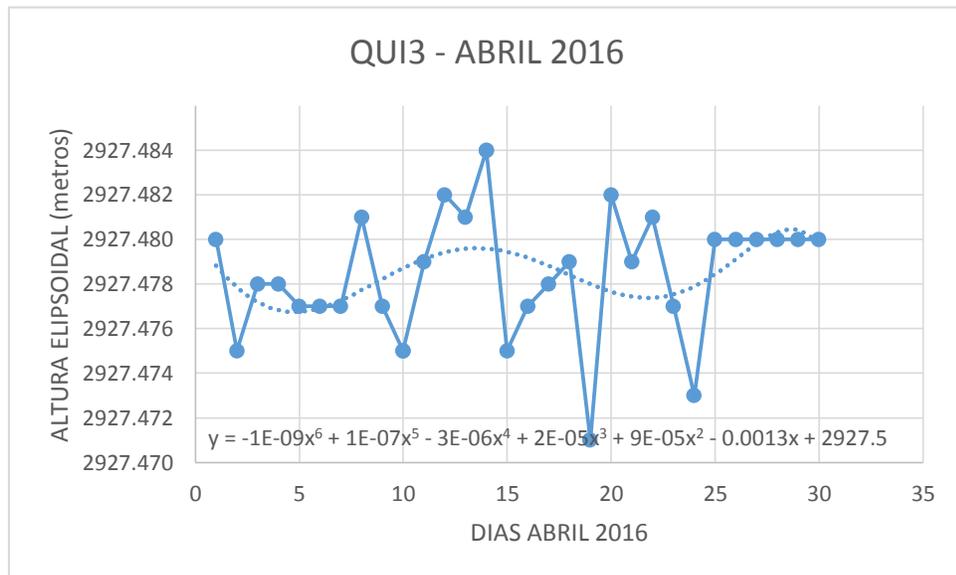
Fuente: Serie de tiempo graficada en base a soluciones finales diarias obtenidas luego del procesamiento con software Benese por Auspos (Geoscience Australia, 2018).

Altura Elipsoidal (HAE) QUI3:

Se observa en la estación QUI3, que entre la solución final de los días 15 y 16 de abril la diferencia es de **0.002 m.** en la componente altura elipsoidal; entre la solución final de los días 16 y 17 de Abril la diferencia en la componente altura elipsoidal es de **0.001 m.**; se deforma, oscila, no es precisa.

Figura 38. **Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Altura Elipsoidal (en metros), en la estación QUI3, durante abril del 2016.**

También se muestra la ecuación que modela la serie de tiempo.



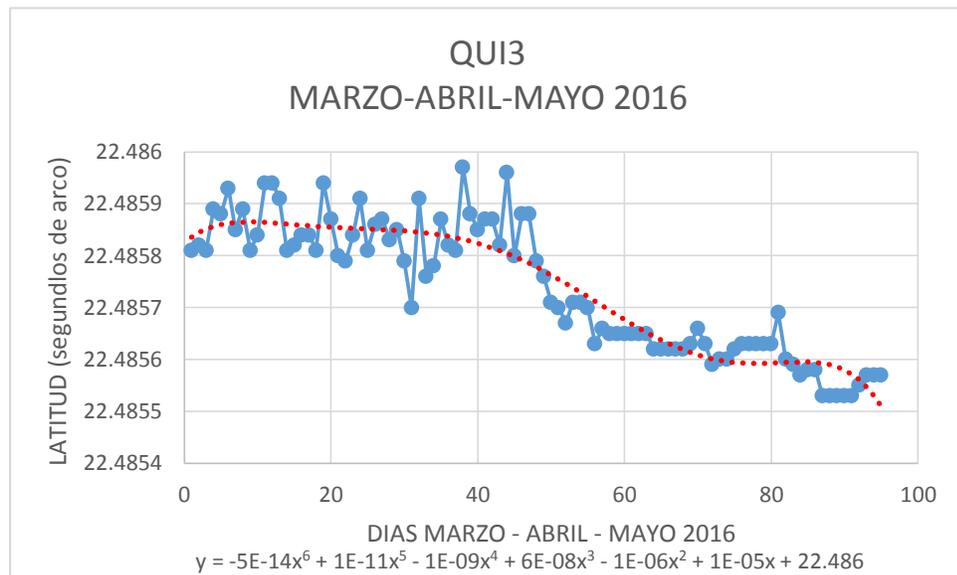
Fuente: Serie de tiempo graficada en base a soluciones finales diarias obtenidas luego del procesamiento con software Benese por Auspos (Geoscience Australia, 2018).

ESTACIÓN QUI3 – MESES MARZO, ABRIL, MAYO 2016

Latitud QUI3:

Se observa en la estación QUI3, la deformación sigue tendencia en su posición espacial ligeramente diferente previa al sismo.

Figura 39. **Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Latitud geodésica (en segundos de arco), en la estación QUI3, durante los meses de marzo, abril y mayo 2016.** También se muestra la ecuación que modela la serie de tiempo.

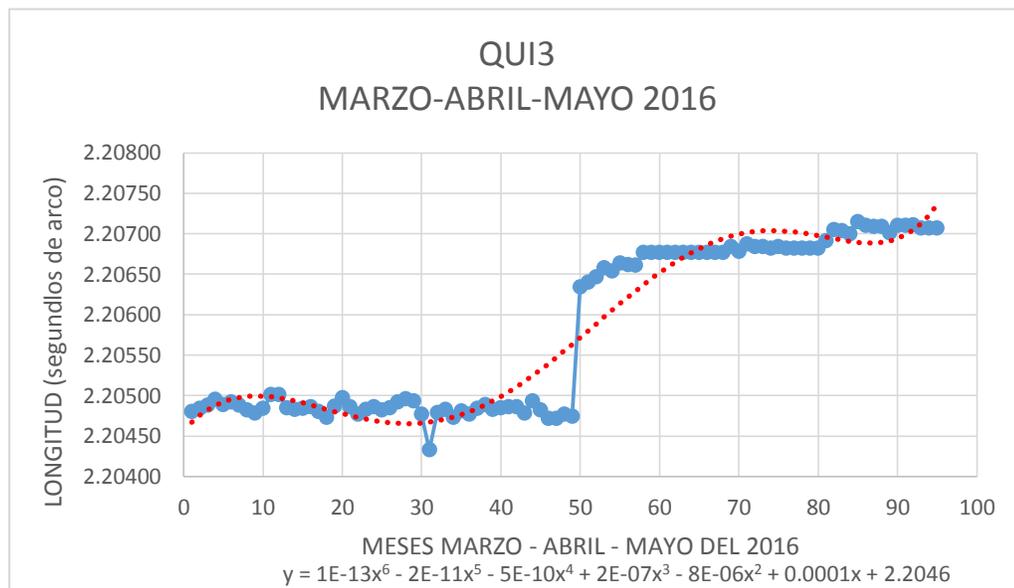


Fuente: Serie de tiempo graficada en base a soluciones finales diarias obtenidas luego del procesamiento con software Benese por Auspos (Geoscience Australia, 2018).

Longitud QUI3:

Se observa en la estación QUI3, luego del sismo se deforma en la componente Longitud, no recuperando su posición espacial, variando la tendencia.

Figura 40. **Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Longitud geodésica (en segundos de arco), en la estación QUI3, durante los meses de marzo, abril y mayo 2016.** También se muestra la ecuación que modela la serie de tiempo.

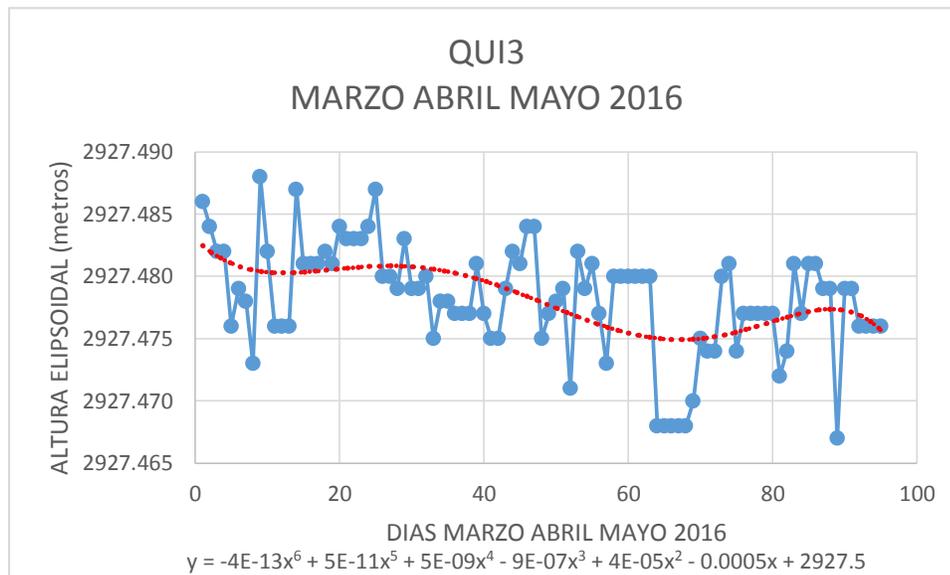


Fuente: Serie de tiempo graficada en base a soluciones finales diarias obtenidas luego del procesamiento con software Benese por Auspos (Geoscience Australia, 2018).

Altura Elipsoidal (HAE) QUI3:

Se observa en la estación QUI3, la componente oscila, fluctuaciones variadas.

Figura 41. **Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Altura Elipsoidal (en metros), en la estación QUI3, durante los meses de marzo, abril y mayo 2016.** También se muestra la ecuación que modela la serie de tiempo.



Fuente: Serie de tiempo graficada en base a soluciones finales diarias obtenidas luego del procesamiento con software Benese por Auspos (Geoscience Australia, 2018).

SISMO DEL 23.06.2001, DESPLAZAMIENTOS EN PERÚ

El sábado 23 de junio de 2001, a las 20:33:14 UTC (15:33:14 hora local), ocurrió un sismo con epicentro a 82 Kilómetros de la localidad de Ocoña en la Región Arequipa, con epicentro en las coordenadas latitud 16.26° S, longitud 73.64° O, $16^{\circ}16' S$ $73^{\circ}38' O$, a una profundidad de 33 km.

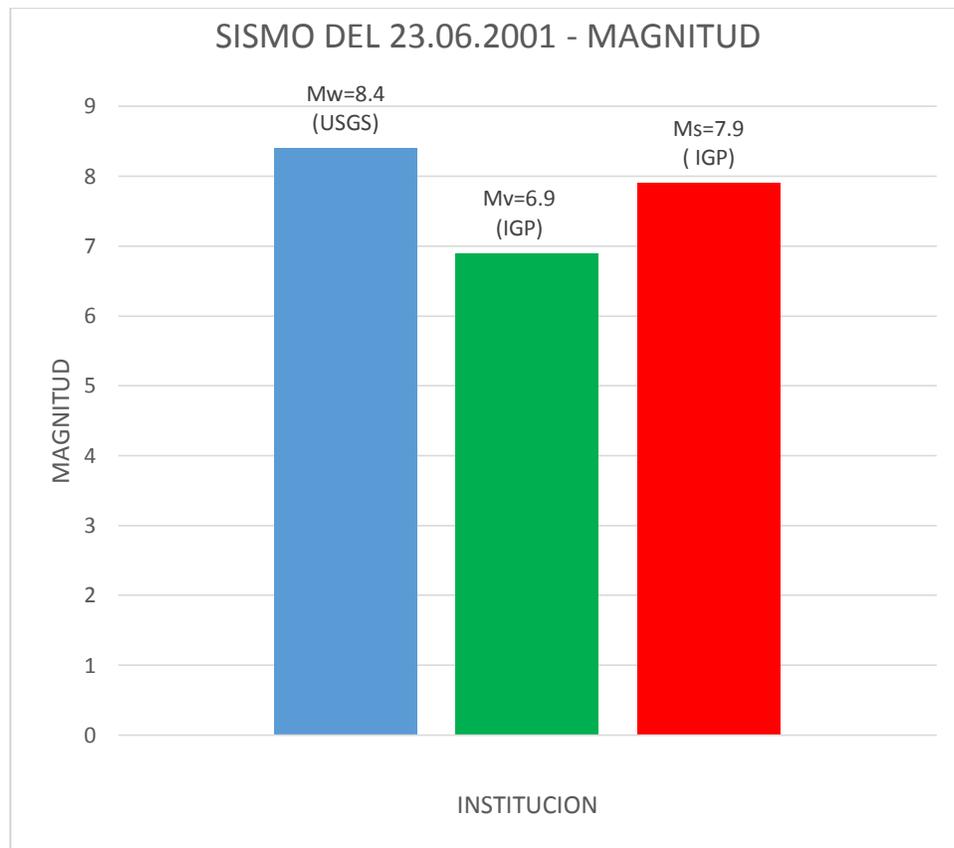
Figura 42. **Ubicación del epicentro sismo del 23.06.2001 y estación AREQ**
Distancia geodésica aproximada de AREQ al epicentro 230,578 m.



Fuente: Estación AREQ ubicada con coordenadas de soluciones finales obtenidas luego del procesamiento con software Benese por Auspos, ploteada en imagen de Google Earth, imágenes Landsat del 12.13.2015, y epicentro sismo del 23.06.2001 cuya Magnitud local = 6.9 fue calculado por el IGP. (Bernal, 2001, p, 36)

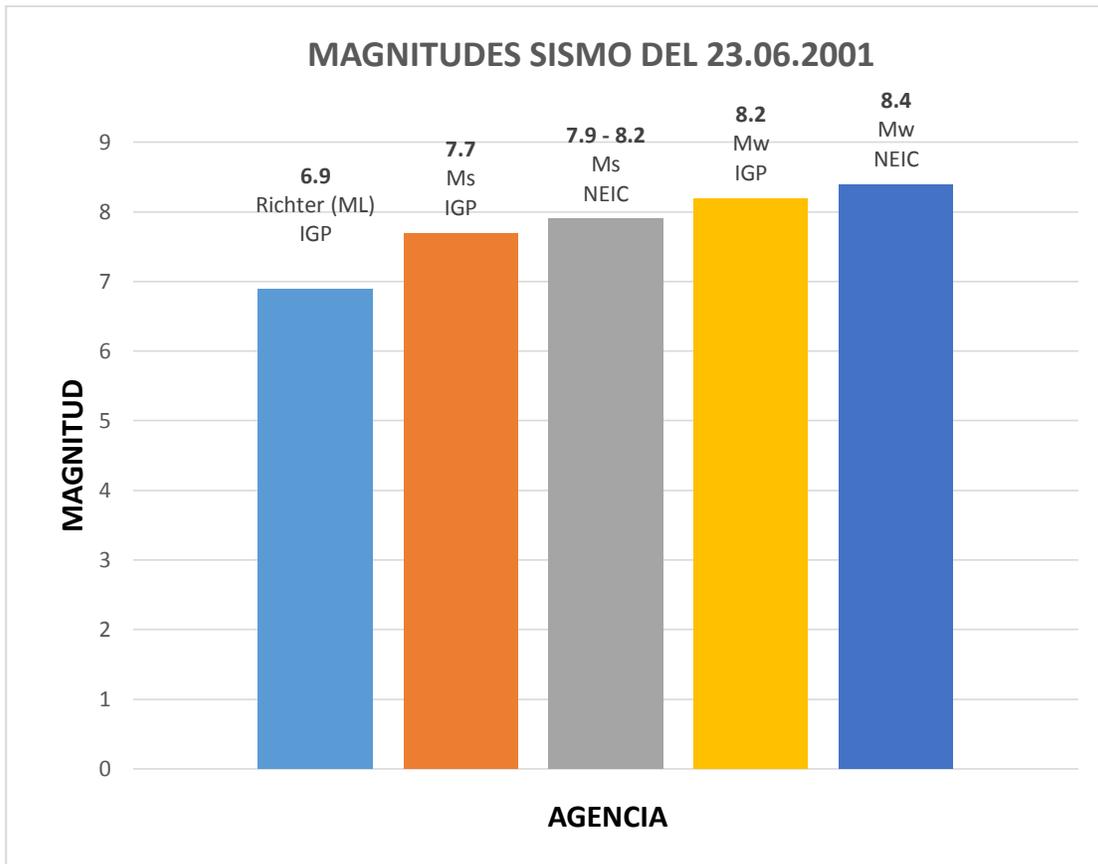
Magnitud del sismo del 28.06.2001

Figura 43. Magnitudes calculadas por el IGP y USGS para el sismo del 23.06.2001



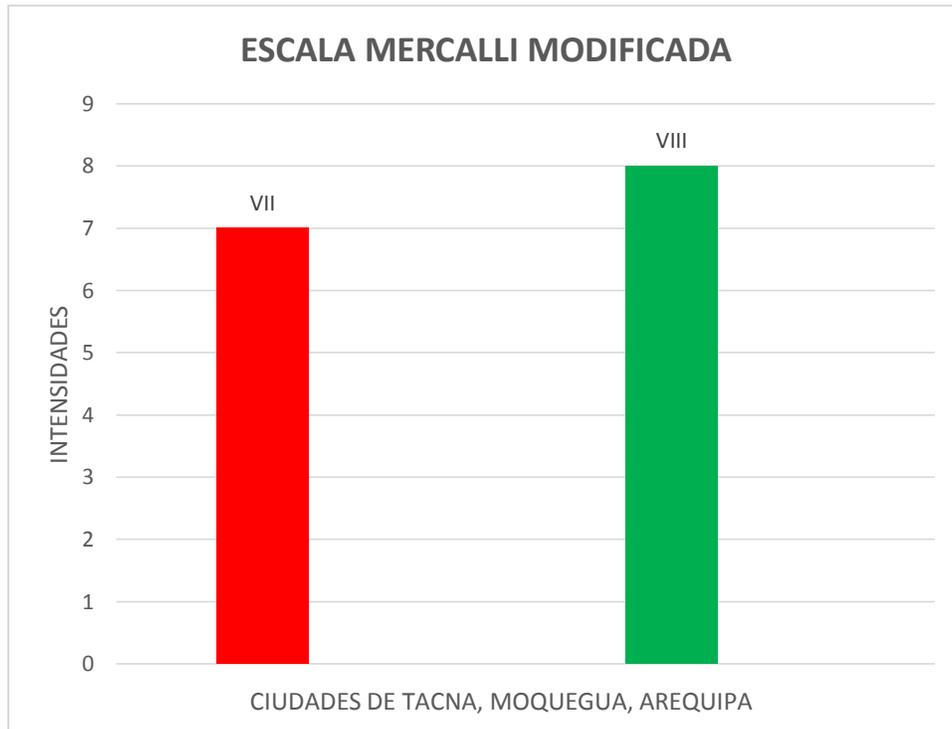
Fuente: Con datos de la presentación Efectos del Sismo del 23 de junio del Año 2001 en la zona Sur del Perú. (Blanco, 2001, p. 2)

Figura 44. **Magnitudes calculadas por el IGP y NEIC para el sismo del 23.06.2001**



Fuente: Elaboración en base a datos tomados del artículo Estimación del Tamaño del Terremoto de Arequipa del 23 de junio de 2001, tabla 1, Magnitud para el terremoto de Arequipa expresados en diferentes escalas. (Bernal, 2001, pp. 36)

Figura 46. Intensidad sismo del 23.06.2001



Fuente: Elaboración propia en base a datos tomados de la presentación titulada EFECTOS DEL SISMO DEL 23 DE JUNIO DEL AÑO 2001 EN LA ZONA SUR DEL PERU. Arequipa – Tacna – Moquegua. (Blanco, 2001, p. 2)

DESPLAZAMIENTOS

ESTACIÓN AREQ

Tabla 11.

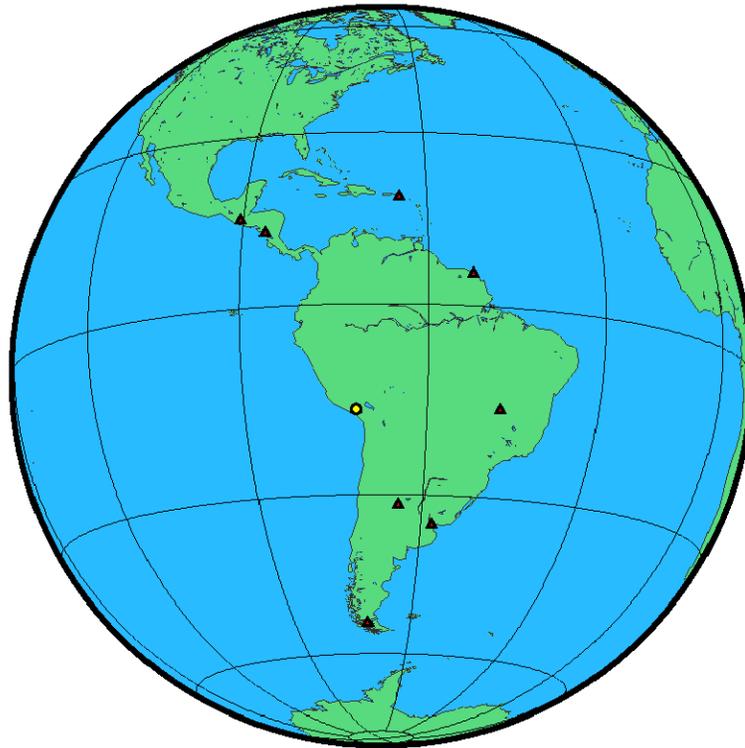
Solución final obtenida luego de procesar en red observaciones geodésicas GPS recopiladas en la Estación AREQ el 02.06.2001,

Coordenadas ITRF 2014, elipsoide GRS80, modelo geoidal EGM 2008

N° REPORTE	COORDENADAS GEODESICAS								COORDENADAS CARTESIANAS (m)		
	LATITUD			LONGITUD			ALTURA ELIPSOIDAL HAE (m)	ALTURA GEOIDAL (m)	X	y	Z
	°	'	"	°	'	"					
6942	-16	27	55.84881	-71	29	34.04821	2488.922	2449.066	1942826.783	-5804070.246	-1796893.901

Fuente: Elaborado en base a información del Reporte N° 6942, página 3 (Geoscience Australia, 2018).

Figura 46. **Ubicación de estación AREQ y de estaciones usadas en el procesamiento**



Date	User Stations	Reference Stations	Orbit Type
2001/06/02 00:00:00	AREQ	BRAZ CORD CRO1 GUAT KOUR LPGS MANA PARC	IGS final

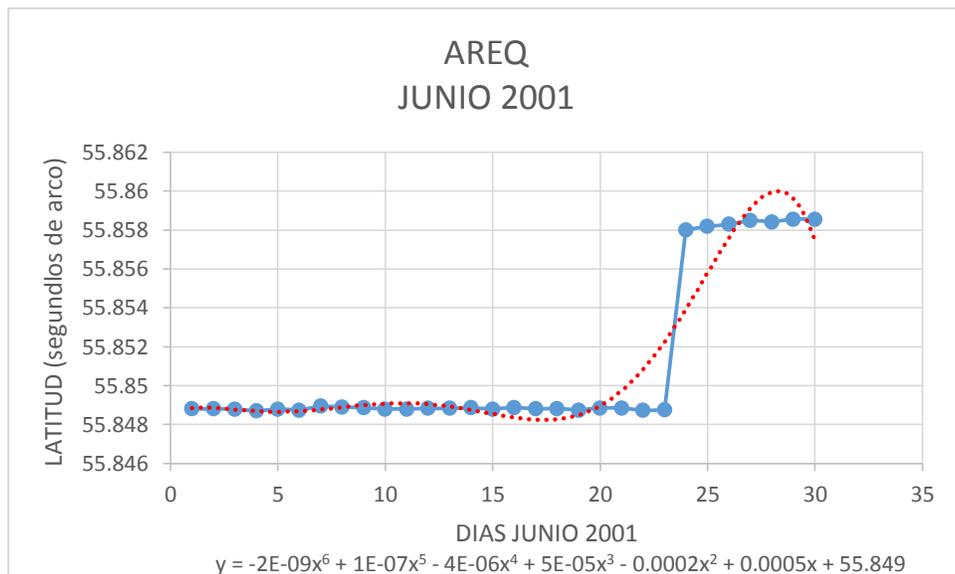
Fuente: Imagen tomada del Reporte N° 6942, página 2 (Geoscience Australia, 2018).

ESTACIÓN AREQ – MES JUNIO 2001

Latitud AREQ:

Se observa en la estación AREQ, que entre la solución final de los días 22 y 23 de junio la diferencia es de **0.00003** segundos de arco en la componente Latitud; entre la solución final de los días 23 y 24 de junio la diferencia en la componente Latitud es de **0.00925** segundos de arco (aproximadamente 0.28 m.); se deforma y no regresa a su posición espacial inicial.

Figura 47. **Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Latitud geodésica (en segundos de arco) en la estación AREQ, durante el mes de junio del 2001;** se presenta la ecuación que modela el tiempo.

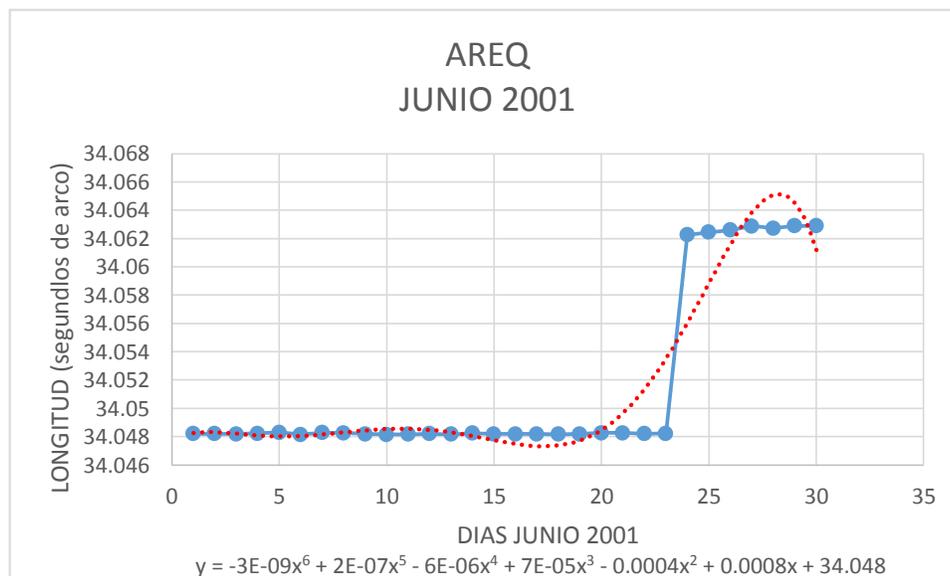


Fuente: Serie de tiempo graficada en base a soluciones finales diarias obtenidas luego del procesamiento con software Benese por Auspos (Geoscience Australia, 2018).

Longitud AREQ:

Se observa en la estación AREQ, entre la solución final de los días 22 y 23 de junio la diferencia es de **0.00003** segundos de arco en la componente Longitud; entre la solución final de los días 23 y 24 de junio la diferencia en la componente Longitud es de **0.01403** segundos de arco (aproximadamente 0.42 m.); se deforma y no regresa a su posición espacial inicial.

Figura 48. **Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Longitud geodésica (en segundos de arco) en la estación AREQ, durante el mes de junio del 2001.**

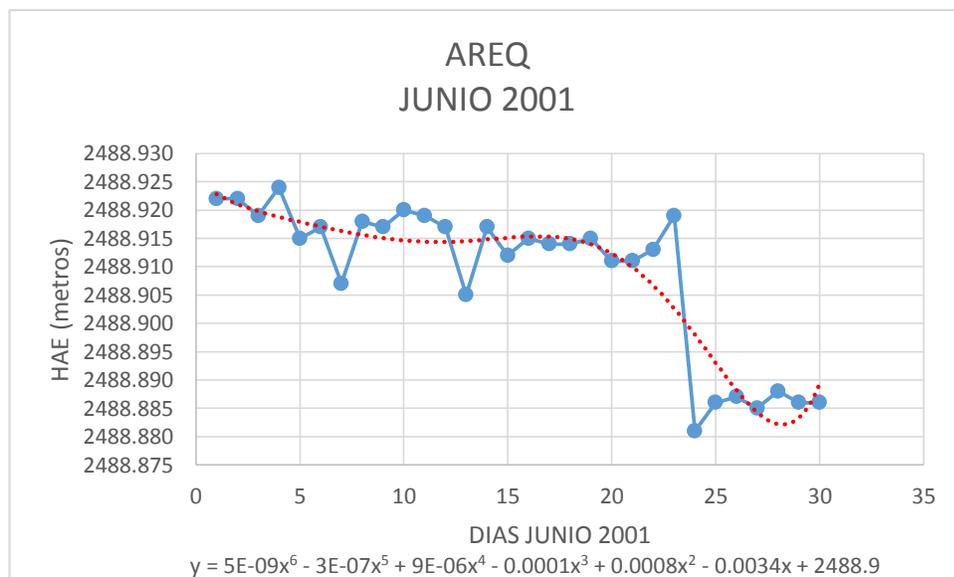


Fuente: Serie de tiempo graficada en base a soluciones finales diarias obtenidas luego del procesamiento con software Benese por Auspos (Geoscience Australia, 2018).

Altura Elipsoidal (HAE) AREQ:

Se observa en la estación AREQ, entre la solución final de los días 22 y 23 de junio la diferencia es de **0.006 m.** en la componente altura elipsoidal; entre la solución final de los días 23 y 24 de junio la diferencia en la componente altura elipsoidal es de **0.038 m.**; se deforma y no regresa a su posición espacial inicial.

Figura 49. **Serie de tiempo que modela desplazamientos en componente Altura Elipsoidal (en metros) en la estación AREQ, durante el mes de junio del 2001;** se presenta ecuación que modela la serie de tiempo.



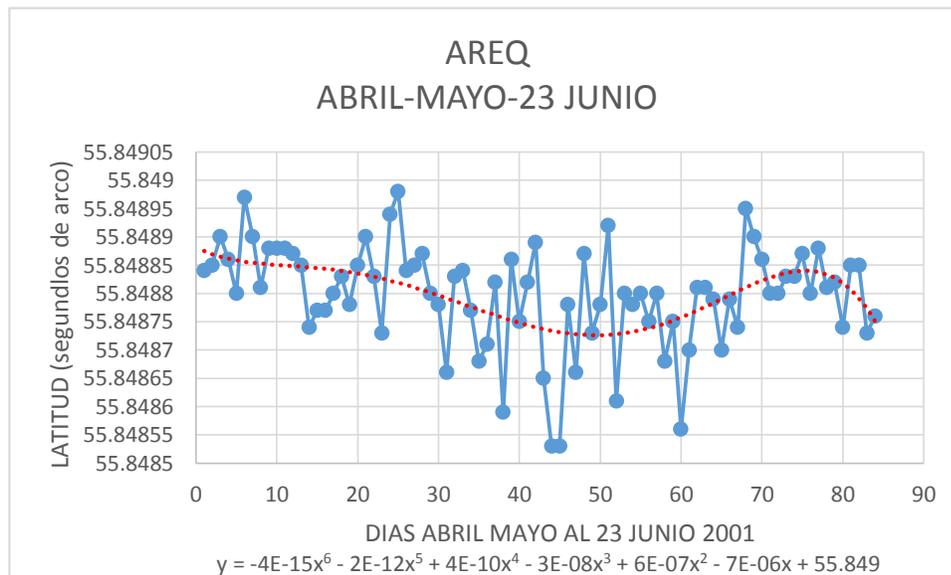
Fuente: Serie de tiempo graficada en base a soluciones finales diarias obtenidas luego del procesamiento con software Benese por Auspos (Geoscience Australia, 2018).

ESTACIÓN AREQ – MESES ABRIL, MAYO AL 23 JUNIO 2001

Latitud AREQ:

Se observa en la estación AREQ, previo al sismo del 23.06.2001 se visualizan fluctuaciones irregulares.

Figura 50. **Serie de tiempo que modela desplazamientos en Latitud geodésica de la estación AREQ, durante abril, mayo, al 23 de junio 2001;** muestra oscilación espacial previa y posterior al sismo.

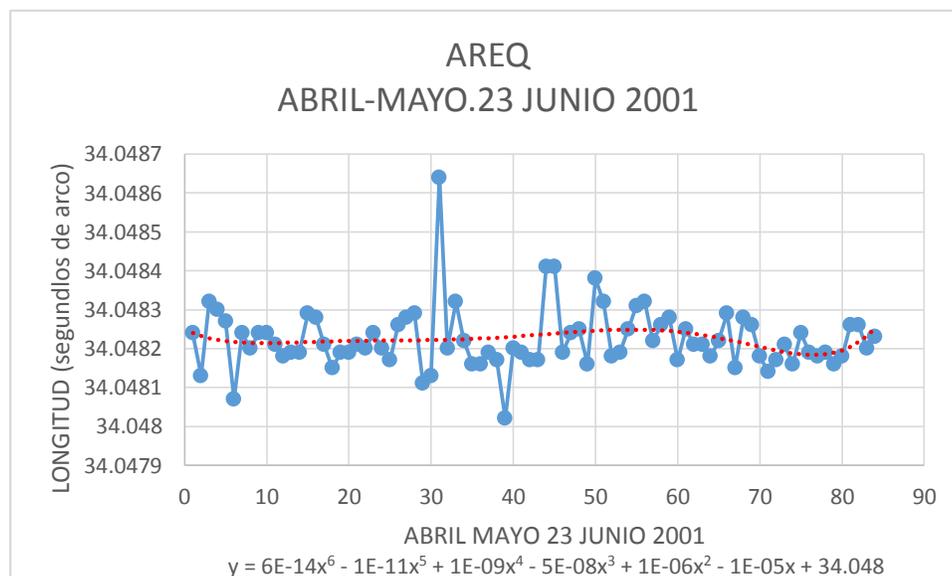


Fuente: Serie de tiempo graficada en base a soluciones finales diarias obtenidas luego del procesamiento con software Benese por Auspos (Geoscience Australia, 2018).

Longitud AREQ:

Se observa en la estación AREQ, se visualizan fluctuaciones irregulares previas al sismo del 23.06.2001.

Figura 51. **Serie de tiempo que modela desplazamientos en Longitud geodésica de la estación AREQ, durante Abril, Mayo, al 23 de junio 2001;** previo y posterior al sismo muestra oscilación espacial, variaciones.



Fuente: Serie de tiempo graficada en base a soluciones finales diarias obtenidas luego del procesamiento con software Benese por Auspos (Geoscience Australia, 2018).

Altura Elipsoidal (HAE) AREQ:

Se observa en la estación AREQ, se visualizan fluctuaciones con variaciones irregulares.

Figura 52. **Serie de tiempo que modela desplazamientos en Altura Elipsoidal de la estación AREQ, durante abril, mayo, al 23 de junio 2001.** Componente Altura Elipsoidal se deforma, oscila, componente no precisa.



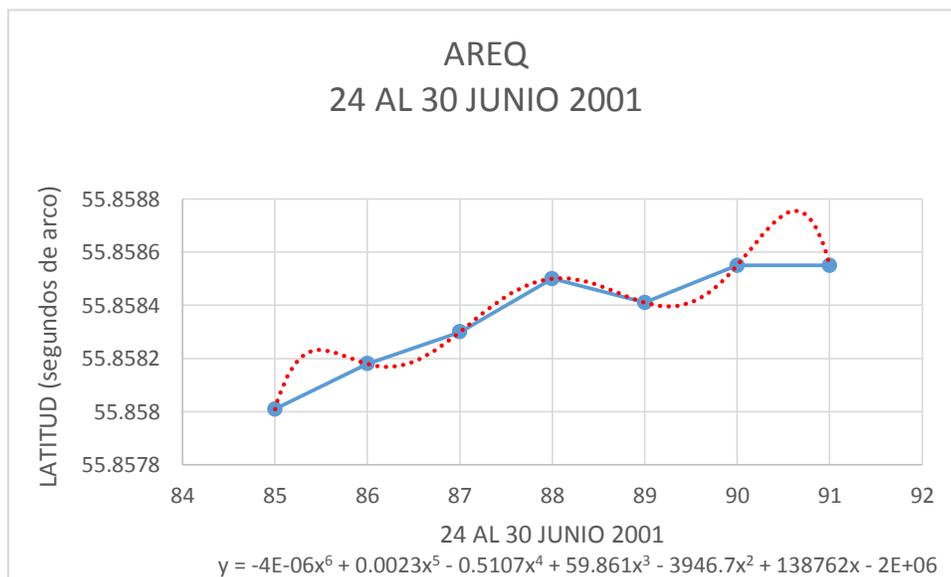
Fuente: Serie de tiempo graficada en base a soluciones finales diarias obtenidas luego del procesamiento con software Benese por Auspos (Geoscience Australia, 2018).

ESTACIÓN AREQ – DÍAS DEL 24 AL 30 JUNIO 2001

Latitud AREQ:

Se observa en la estación AREQ, los desplazamientos luego del sismo del 23.06.2001, siguen tendencia; posterior a la ocurrencia del sismo, componente se deforma, no recupera posición espacial inicial.

Figura 53. **Serie de tiempo que modela desplazamientos en Latitud geodésica en la estación AREQ, periodo del 24 al 30 junio 2001;**



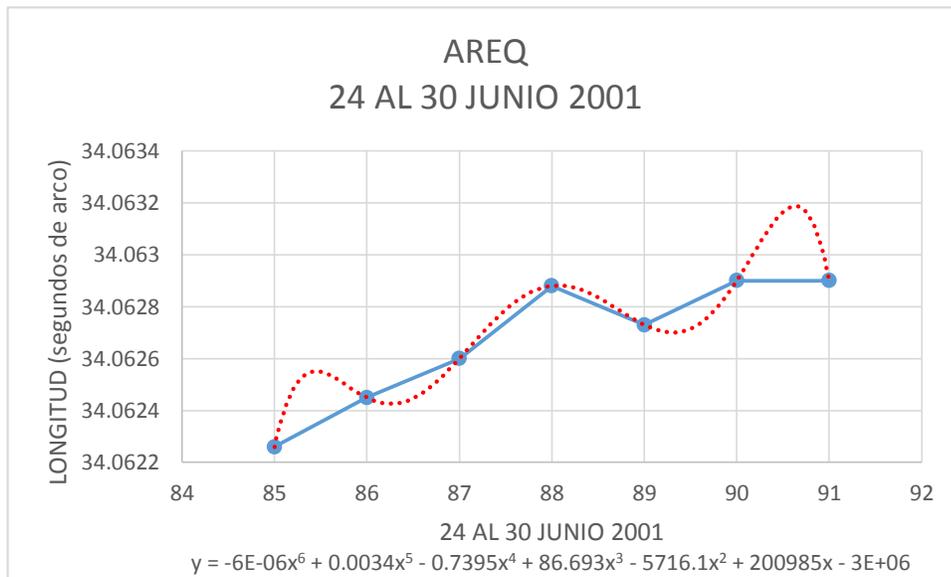
Fuente: Serie de tiempo graficada en base a soluciones finales diarias obtenidas luego del procesamiento con software Benese por Auspos (Geoscience Australia, 2018).

Incluye ecuación polinómica representa la serie del tiempo extraída de la solución final diaria AREQ 2001.

Longitud AREQ:

Se observa en la estación AREQ, se deforma la componente Longitud, tendencia no regresa a su posición espacial inicial.

Figura 54. **Serie de tiempo que modela desplazamientos en Longitud geodésica en la estación AREQ, periodo del 24 al 30 junio 2001;**



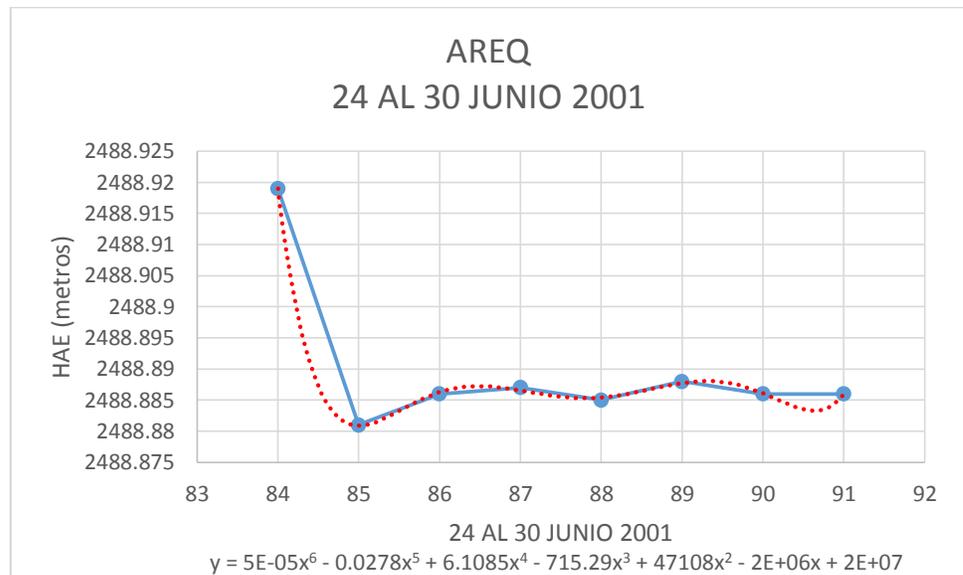
Fuente: Serie de tiempo graficada en base a soluciones finales diarias obtenidas luego del procesamiento con software Benese por Auspos (Geoscience Australia, 2018).

Ecuación polinómica representa la serie del tiempo extraída de la solución final diaria AREQ abril 2001.

Altura Elipsoidal (HAE) AREQ:

Se observa en la estación AREQ, posterior al sismo, oscila, no recupera posición espacial inicial.

Figura 55. **Serie de tiempo que modela desplazamientos en la Altura Elipsoidal en la estación AREQ, periodo del 24 al 30 junio 2001;**



Fuente: Serie de tiempo graficada en base a soluciones finales diarias obtenidas luego del procesamiento con software Benese por Auspos (Geoscience Australia, 2018).

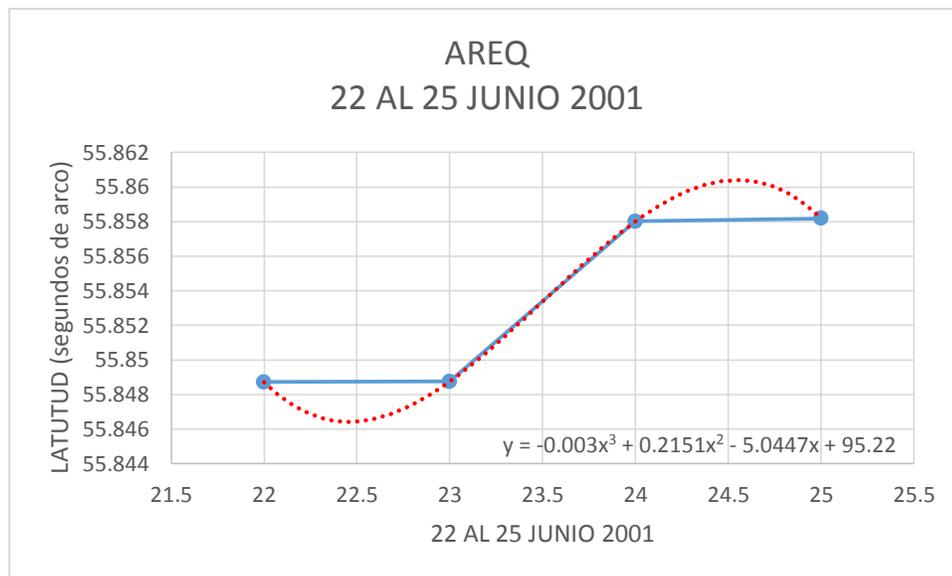
Ecuación polinómica representa la serie del tiempo extraída de la solución final diaria AREQ abril 2001.

ESTACIÓN AREQ – DÍAS DEL 22 AL 25 DE JUNIO 2001

Latitud AREQ:

Se observa en la estación AREQ, se deforma en la componente Latitud geodésica luego del sismo, no recupera posición espacial inicial.

Figura 56. Serie de tiempo que modela desplazamientos en Latitud geodésica de la estación AREQ, periodo del 22 al 25 junio 2001.



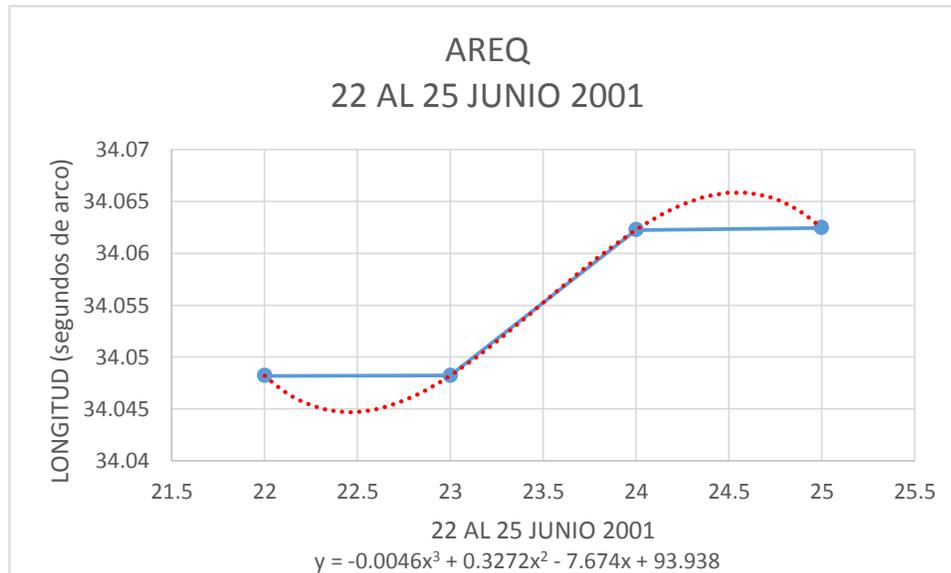
Fuente: Serie de tiempo graficada en base a soluciones finales diarias obtenidas luego del procesamiento con software Benese por Auspos (Geoscience Australia, 2018).

Ecuación polinómica representa la serie del tiempo extraída de la solución final diaria AREQ abril 2001.

Longitud AREQ:

Se observa en la estación AREQ, se deforma en la componente Longitud geodésica, luego no recupera posición espacial inicial.

Figura 57. **Serie de tiempo que modela desplazamientos en Longitud geodésica de la estación AREQ, periodo del 22 al 25 junio 2001;**



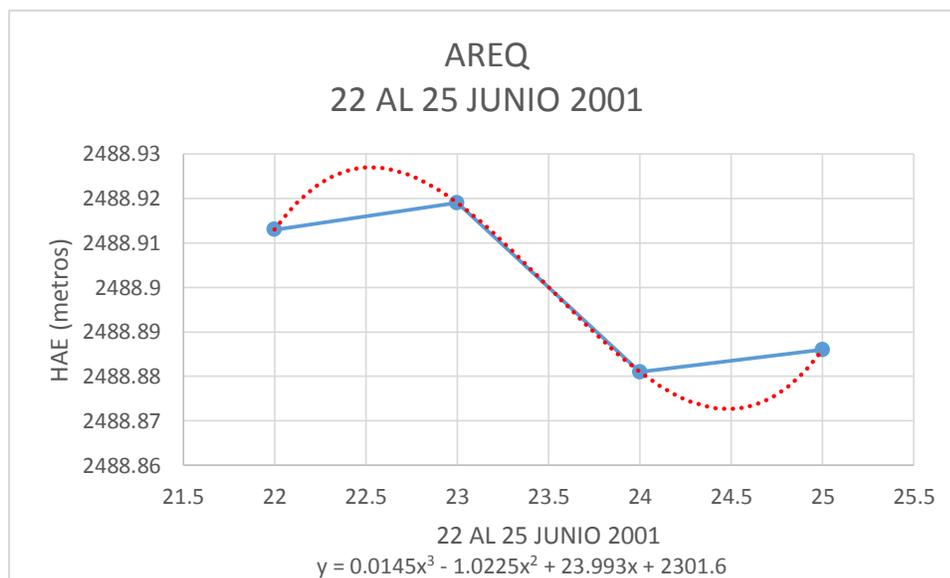
Fuente: Serie de tiempo graficada en base a soluciones finales diarias obtenidas luego del procesamiento con software Benese por Auspos (Geoscience Australia, 2018).

Ecuación polinómica representa la serie del tiempo extraída de la solución final diaria AREQ abril 2001.

Altura Elipsoidal (HAE) AREQ:

Se observa en la estación AREQ, se deforma en la componente Altura Elipsoidal, no recupera posición espacial inicial.

Figura 58. **Serie de tiempo que modela desplazamientos en la Altura Elipsoidal de la estación AREQ, periodo del 22 al 25 junio 2001**



Fuente: Serie de tiempo graficada en base a soluciones finales diarias obtenidas luego del procesamiento con software Benese por Auspos (Geoscience Australia, 2018).

Ecuación polinómica representa la serie del tiempo extraída de la solución final diaria AREQ abril 2001.

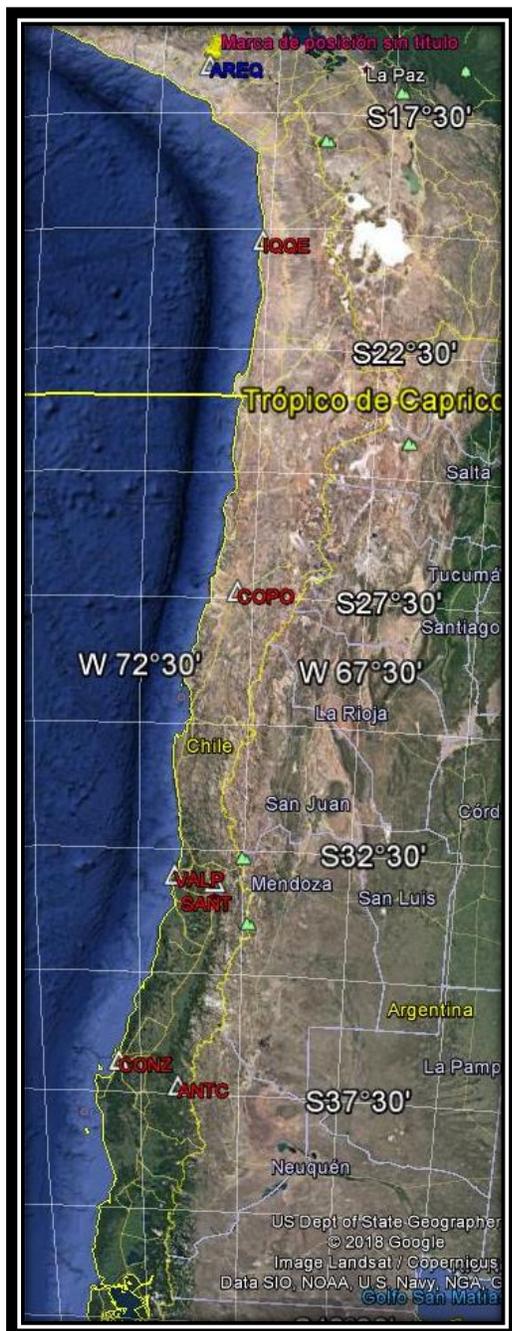
4.2 COMPARACION

4.2.1 Comparación desplazamientos

Chile: sismo del 27.02.2010

Estaciones estudiadas: 6 en Chile y 1 en el Perú.

Figura 59. Ubicación de estaciones de referencia en Chile v Perú.



Epicentros sismo del 27.02.2010

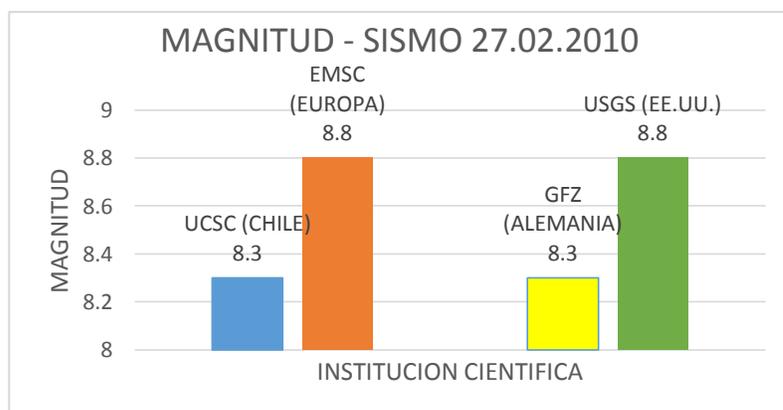
Datos tomados de Alarcón & Franco (s/f).

Figura 60. Ubicación de epicentros calculados por centros especializados.



Magnitudes calculadas para el sismo del 27.02.2010, en base a datos de Alarcón & Franco (s/f). Los valores calculados por diversas instituciones para un sismo varían, las cuales para comparar la magnitud de un sismo, es necesario indicar la referencia y/o institución responsable de su cálculo. Datos tomados de Alarcón & Franco (s/f).

Figura 61. Comparación de magnitudes calculadas para el sismo del 27.02.2010.



Comparación desplazamientos en estaciones, componente Latitud

Figura 62. Estación CONZ febrero 2010, componente Latitud geodésica.

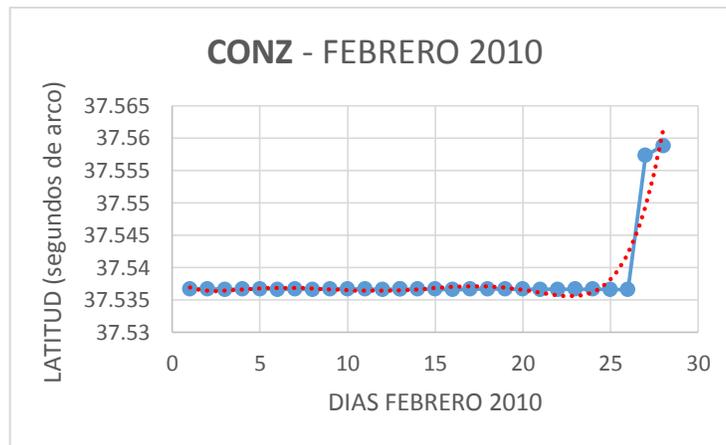


Figura 63. Estación ANTC periodo enero a marzo 2010, componente Latitud geodésica.

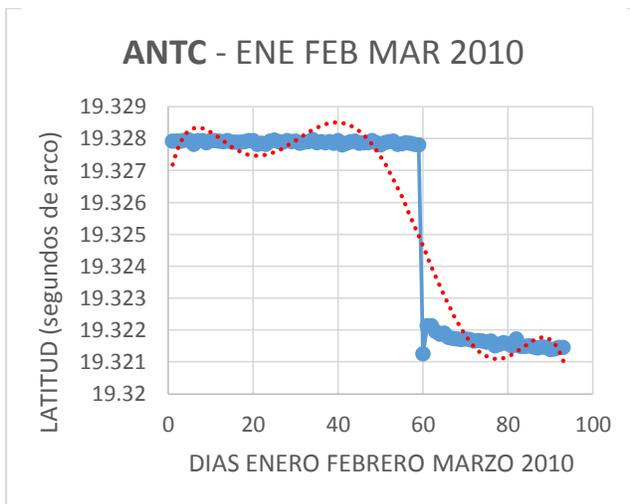
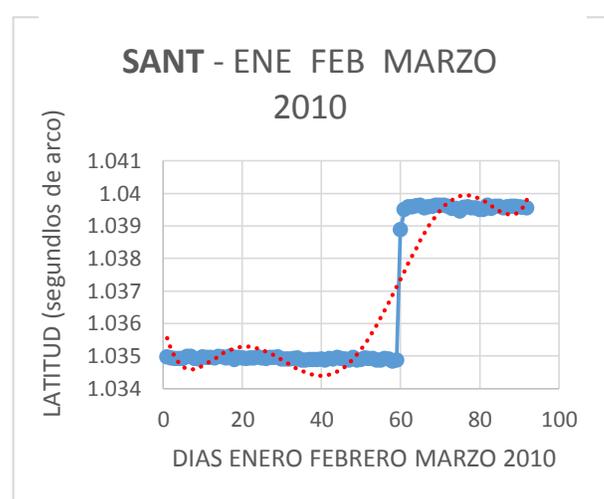


Figura 64. Estación SANT periodo enero a marzo 2010, componente Latitud



Las estaciones CONZ, ANTC y SANT se desplazaron, la deformación no regresan a su posición espacial inicial;

La estación CONZ y SANT tienen deformación en el mismo sentido; la estación ANTC se deforma en sentido contrario, el desplazamiento espacial es en sentido contrario.

Figura 65. Estación IQQE periodo enero a febrero 2010, componente Latitud geodésica.

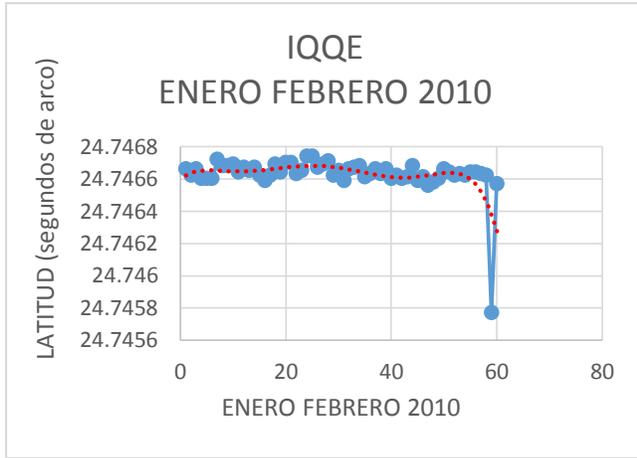


Figura 66. Estación COPO periodo enero a marzo 2010, componente Latitud geodésica.

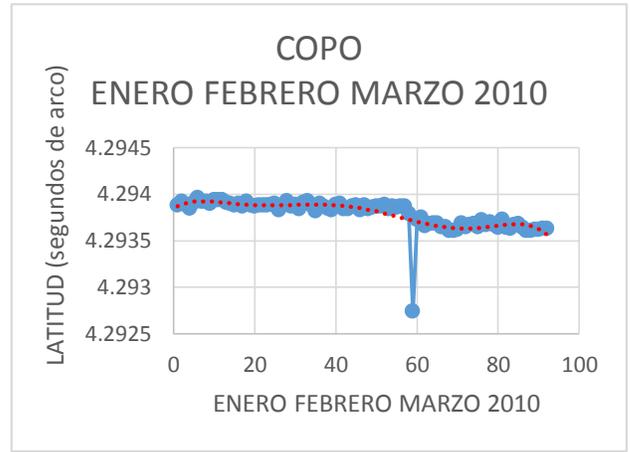


Figura 67. Estación VALP periodo enero a marzo 2010, componente Latitud geodésica.

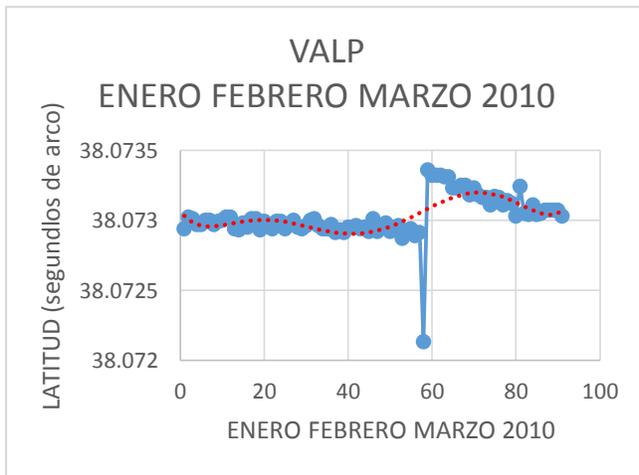
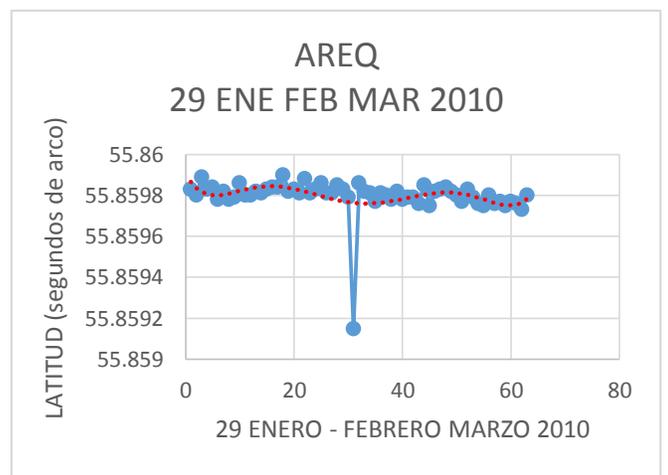


Figura 68. Estación AREQ periodo 29 enero a marzo 2010, componente Latitud geodésica



Las estaciones IQQE, COPO, VALP, AREQ, tienen desplazamientos, deformación luego del sismo tienden a regresar próximo a su posición espacial inicial;

Las estaciones IQQE, COPO y AREQ, luego de los desplazamientos por deformación, tienden a recuperar su posición espacial inicial;

En la estación VALP, luego de la deformación y desplazamiento ocasionado por el sismo, su desplazamiento es en sentido contrario, siendo la única que cambia tendencia en su posición espacial.

Comparación desplazamientos en estaciones, componente Longitud

Figura 69. Estación CONZ periodo febrero 2010, componente Longitud geodésica.

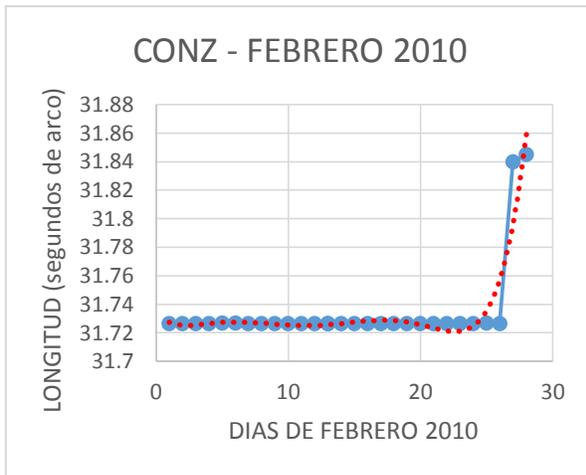


Figura 70. Estación VALP periodo enero a marzo 2010, componente Longitud geodésica.

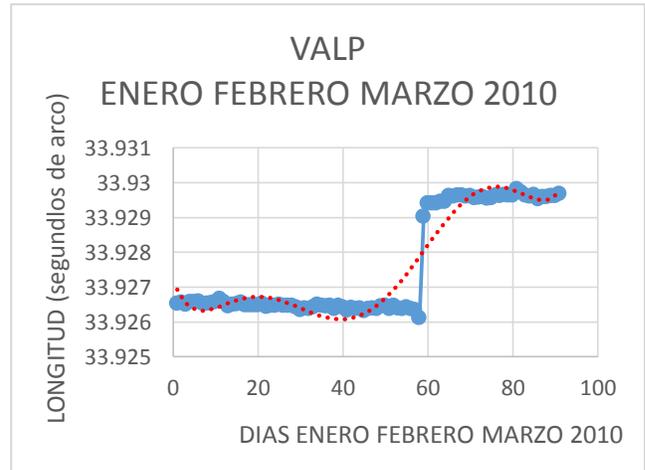


Figura 71. Estación ANTC periodo enero a marzo 2010, componente Longitud geodésica.

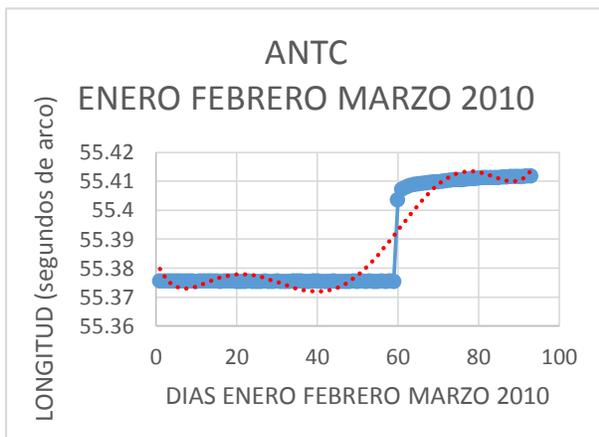
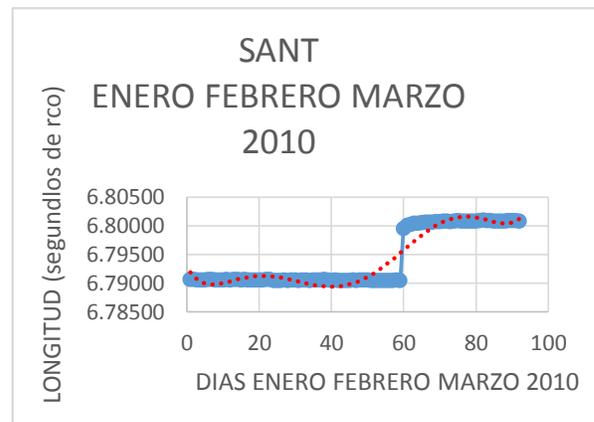


Figura 72. Estación SANT periodo enero a marzo 2010, componente Longitud geodésica.



Las estaciones CONZ, VALP, ANTC y SANT se desplazaron luego del sismo ocasionando que las deformaciones no regresan a sus posiciones espaciales iniciales;

En la estación VALP deformación previas y posteriores con variaciones espaciales mayores en comparación con estaciones CONZ, ANTC, SANT.

Figura 73. Estación IQQE periodo enero a febrero 2010, componente Longitud geodésica.

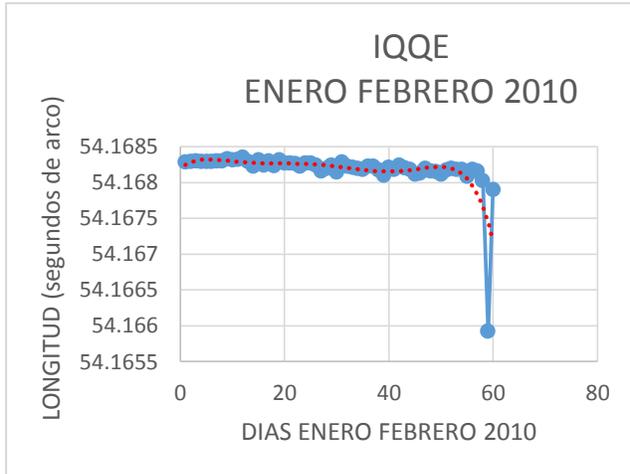


Figura 74. Estación COPO periodo enero a marzo 2010, componente Longitud geodésica.

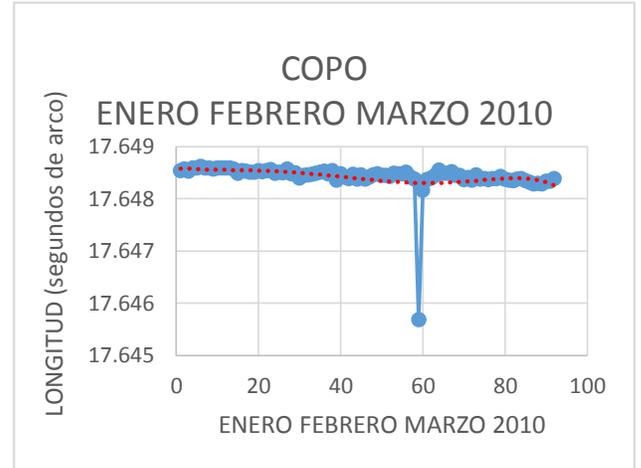
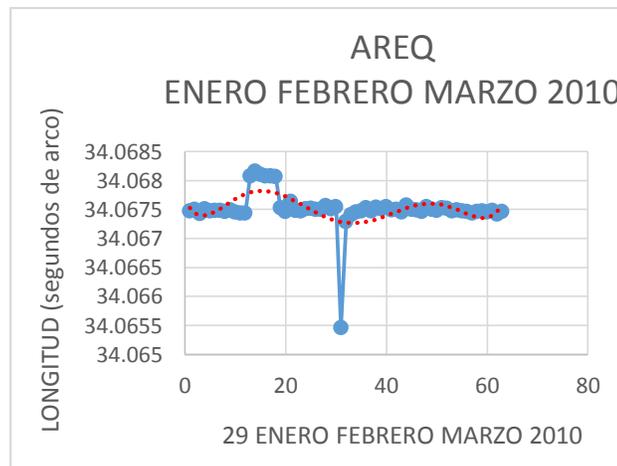


Figura 75. Estación AREQ periodo enero a marzo 2010, componente Longitud geodésica.



Como consecuencia del sismo, las estaciones IQQE, COPO, AREQ, se desplazan pero luego del sismo hay tendencia que la deformación recupere a su posición espacial inicial;

La estación AREQ muestra deformación anómala no similar a las demás estaciones, deformación desplazamiento previo se mantiene durante varios días, luego se desplaza por el sismo, para luego en sentido contrario no regresar a su posición espacial previa al sismo.

Comparación desplazamientos en estaciones, componente Altura Elipsoidal (vertical)

Figura 76. Estación CONZ periodo febrero 2010, componente Altura Elipsoidal.

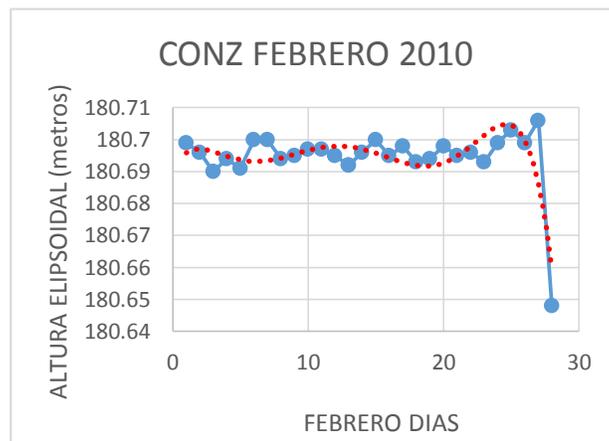


Figura 77. Estación ANTC periodo enero a marzo 2010, componente Altura Elipsoidal.

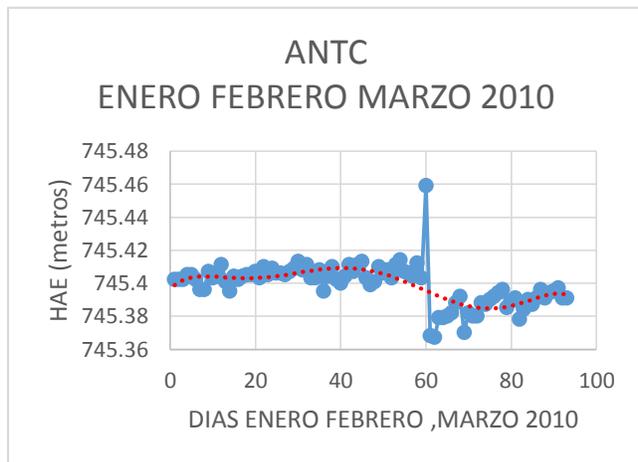
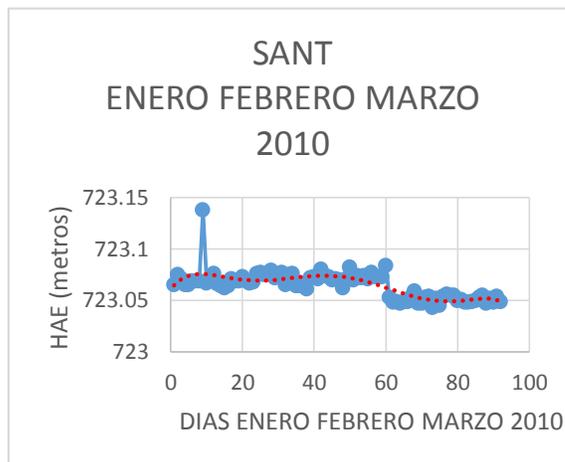


Figura 78. Estación SANT periodo enero a marzo 2010, componente Altura Elipsoidal. Figura 80.



Las estaciones CONZ, ANTC, SANT, desplazamientos verticales, deformación que no recuperan su posición espacial previa;

La tendencia de la deformación en las estaciones ANTC y SANT posteriores al sismo presenta fluctuaciones, tendencia espacial que varía;

Es la componente que en todas las estaciones tienen mayores fluctuaciones y/o variaciones espaciales en comparación con las deformaciones y desplazamientos en las componentes Latitud y Longitud.

Figura 79. Estación IQQE periodo enero a febrero 2010, componente Altura Elipsoidal.

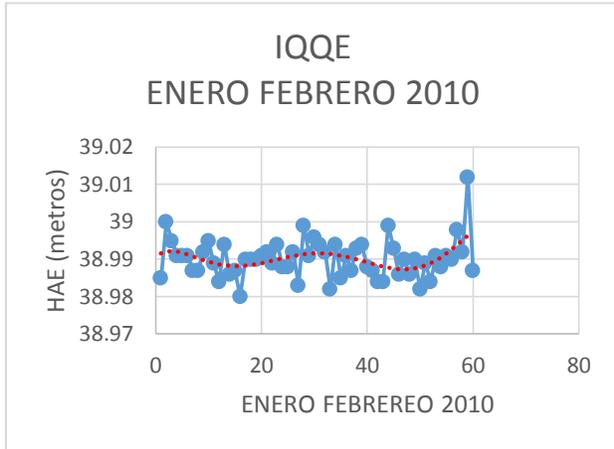


Figura 80. Estación COPO periodo enero a marzo 2010, componente Altura Elipsoidal.

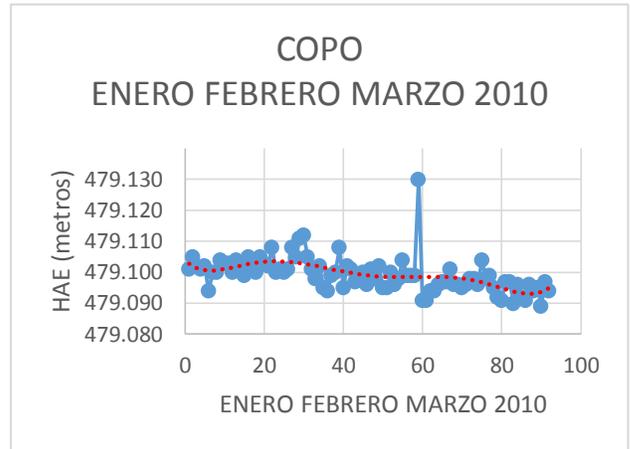


Figura 81. Estación VALP periodo enero a febrero 2010, componente Altura Elipsoidal.

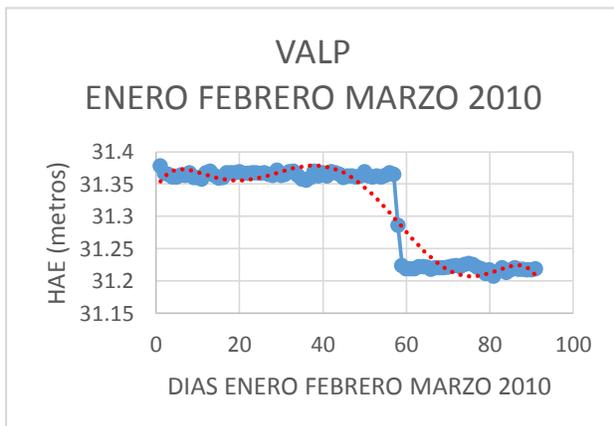
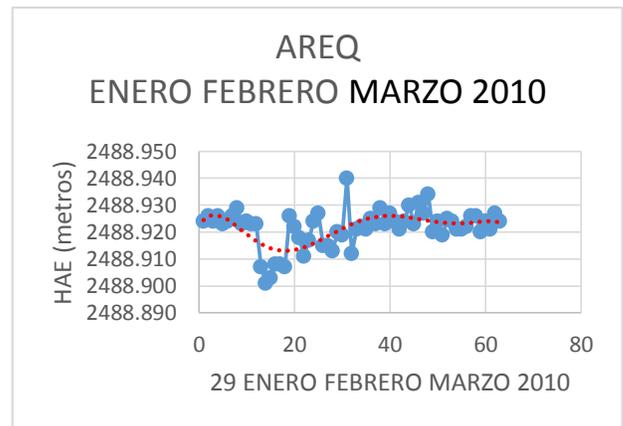


Figura 82. Estación AREQ periodo enero a febrero 2010, componente Altura Elipsoidal.



En las estaciones COPO e IQQE, los desplazamientos verticales luego del sismo tienden a recuperar su posición espacial inicial, luego las fluctuaciones y/o variaciones espaciales son más pronunciadas.

La estación VALP presenta deformación desplazamiento espacial vertical como consecuencia del sismo, luego no recupera su posición espacial inicial en dicha componente;

En la estación AREQ semanas antes del sismo, se visualizan deformaciones desplazamientos espaciales verticales luego disminuyen.

ECUADOR: SISMO DEL 16.04.2016

Comparación desplazamientos en estaciones, componentes Latitud geodésica.

Figura 83. Estación RIOP periodo abril 2016, componente Latitud geodésica.

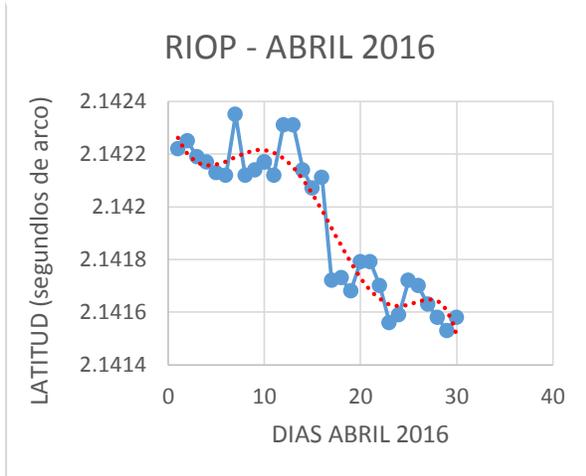


Figura 84. Estación QUI3 periodo abril 2016, componente Latitud geodésica.

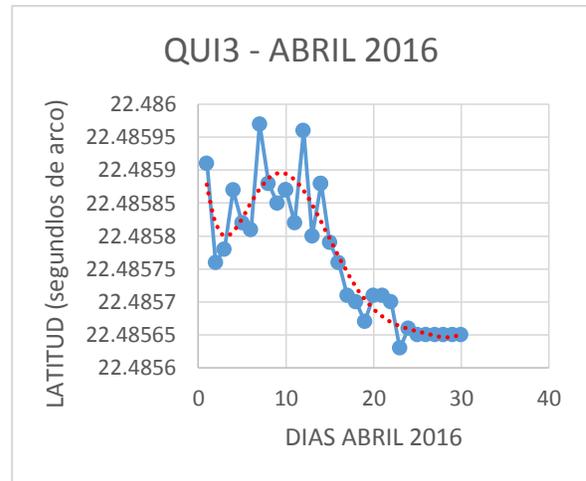


Figura 85. Estación RIOP periodo de marzo a mayo 2016, componente Latitud geodésica.

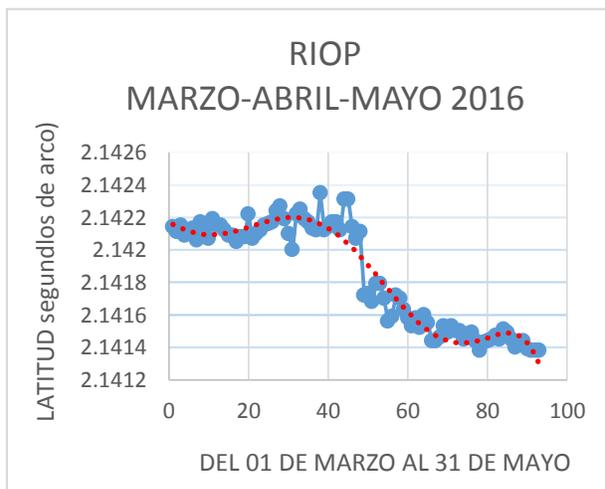
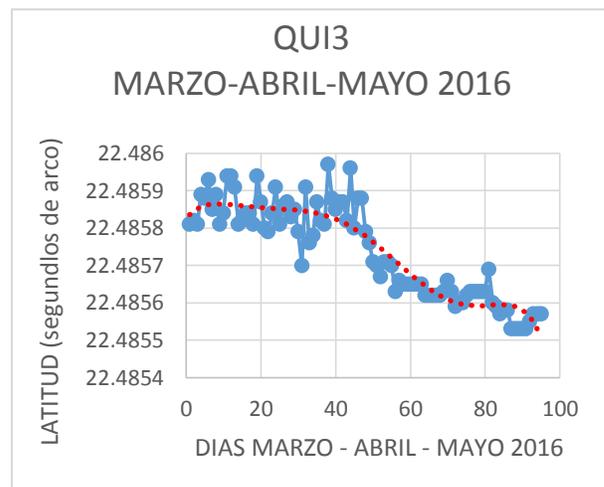


Figura 86. Estación QUI3 periodo de marzo a mayo 2016, componente Latitud geodésica.



El sismo produce un desplazamiento horizontal espacial deformación en la estación RIOP, no recupera su posición espacial inicial, se visualiza tendencia que afianza el desplazamiento.

En la estación QUI3 previo al sismo se visualizan fluctuaciones espaciales horizontales, luego del sismo se visualizan deformación desplazamientos espaciales.

Comparación desplazamientos en estaciones, componente Longitud

Figura 87. Estación RIOP periodo abril 2016, componente Longitud geodésica.

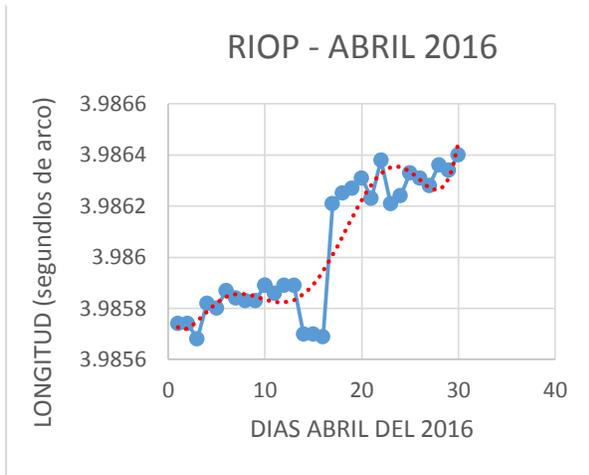


Figura 88. Estación QUI3 periodo abril 2016, componente Longitud geodésica.

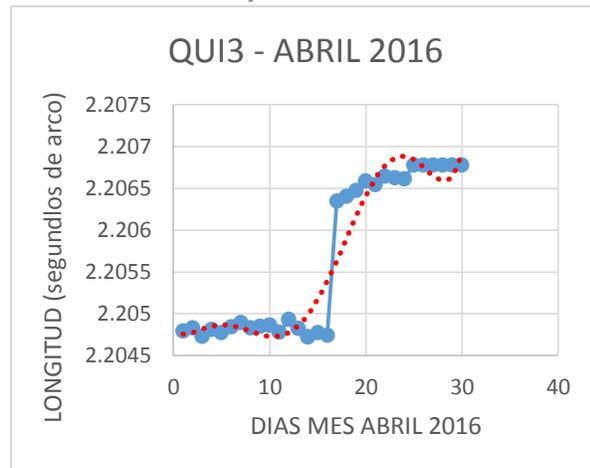


Figura 89. Estación RIOP periodo de marzo a mayo 2016, componente Longitud geodésica.

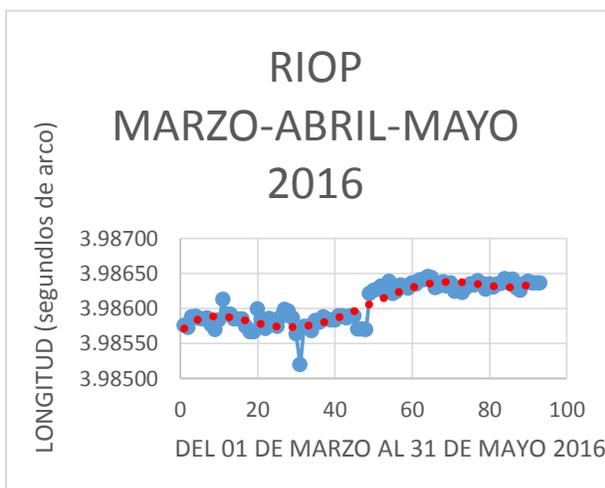
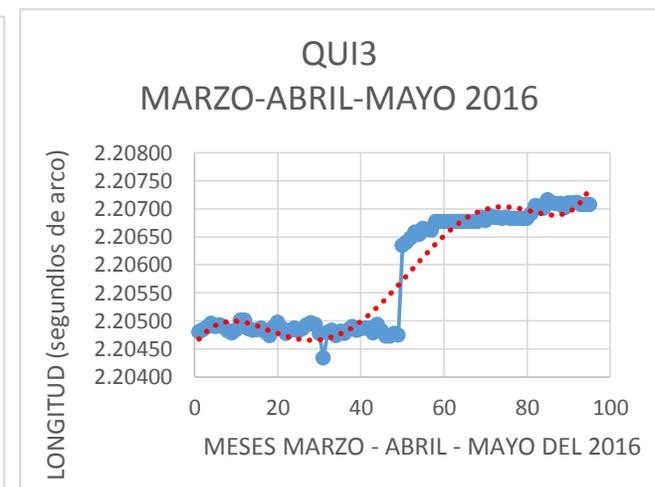


Figura 90. Estación QUI3 periodo de marzo a mayo 2016, componente Longitud geodésica.



En la estación RIOP y QUI3 se presentan desplazamientos espaciales, deformación luego del sismo no recuperan su posición espacial inicial.

En la estación RIOP días antes del sismo se visualiza desplazamientos espaciales, luego en sentido contrario se desplaza espacialmente tendencia que mantiene en días posteriores al sismo.

En la estación RIOP las fluctuaciones desplazamientos espaciales son mayores previo al sismo, para luego posterior al sismo tener menores fluctuaciones o variaciones espaciales;

A inicios del mes de abril tanto la estación RIOP y QUI3, tienen deformación con tendencia a recuperar su posición inicial.

Comparación desplazamientos en estaciones, componente Altura Elipsoidal

Figura 91. Estación RIOP periodo abril 2016, componente Altura Elipsoidal.

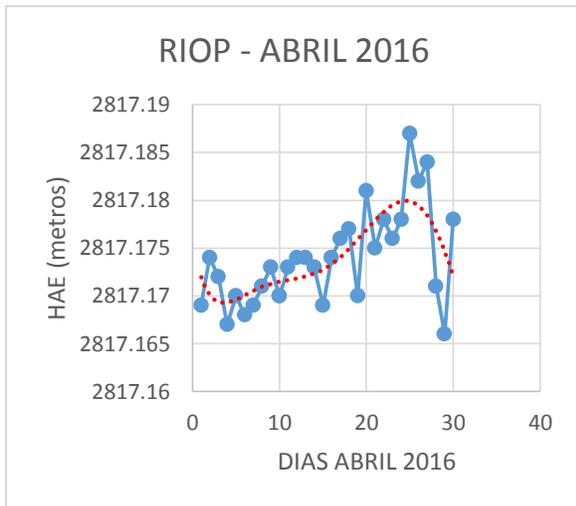


Figura 92. Estación QUI3 periodo abril 2016, componente Altura Elipsoidal.

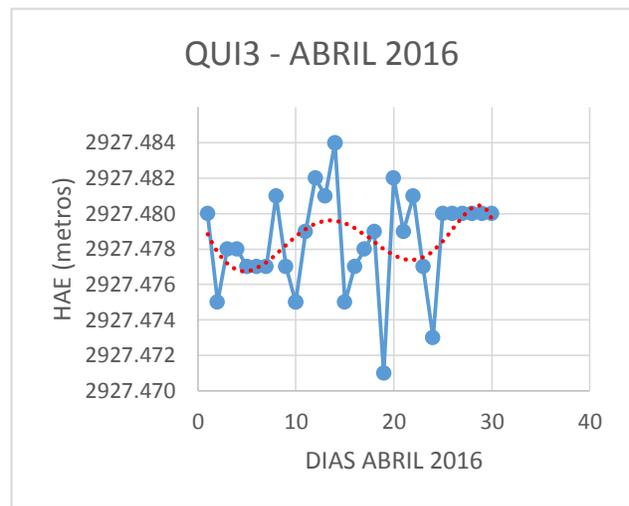


Figura 93 Estación RIOP periodo marzo a mayo 2016, componente Altura Elipsoidal (HAE)

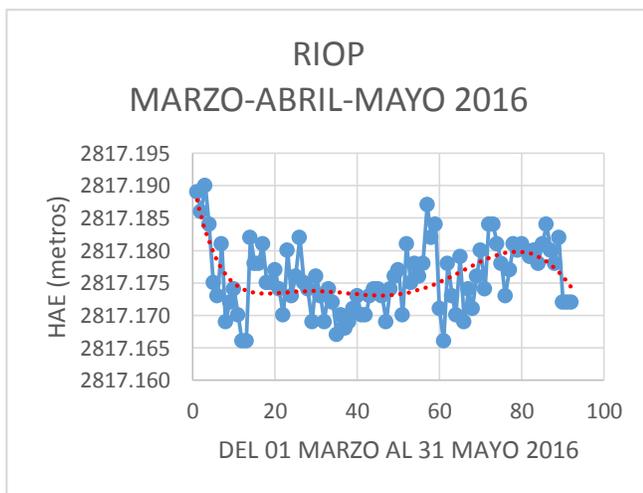
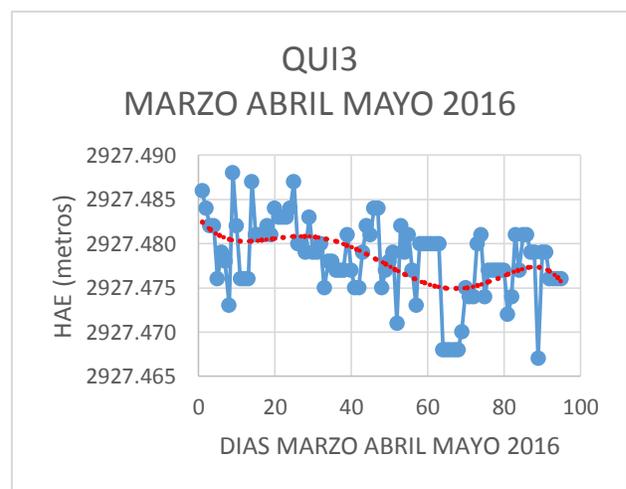


Figura 94. Estación QUI3 periodo marzo a mayo 2016, componente Altura Elipsoidal (HAE)



En la Estación RIOP las fluctuaciones desplazamientos espaciales verticales con tendencia que se incrementan luego del sismo en sentido contrario.

En la estación QUI3, se visualizan deformación y desplazamientos espaciales verticales no uniformes y que no hay cambios notorios en días previos y posteriores al sismo; pero semanas posteriores al sismo si se visualizan desplazamientos deformación vertical de mayor magnitud.

PERÚ: SISMO DEL 23.06.2001

Comparación desplazamientos en estación, componente Latitud

Figura 95. Estación AREQ periodo junio 2001, componente Latitud geodésica.

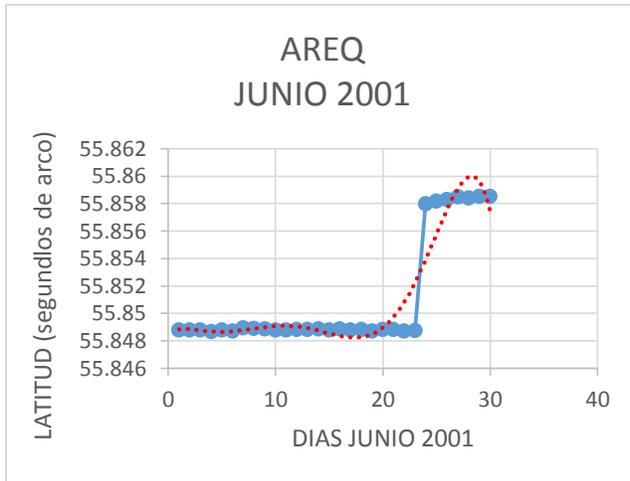


Figura 96. Estación AREQ periodo abril a 23 junio 2001, componente Latitud geodésica.

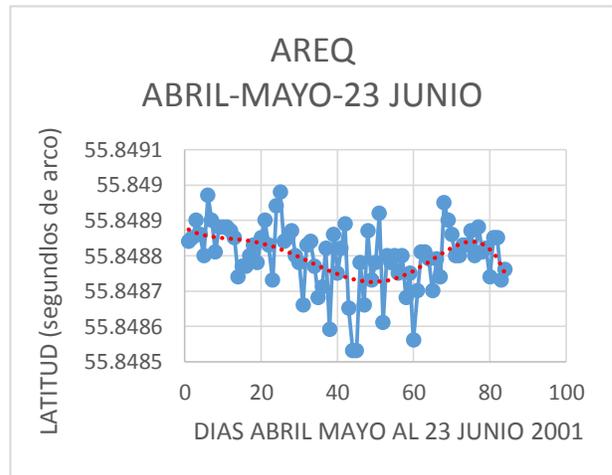


Figura 97. Estación AREQ periodo del 24 al 30 junio 2001, componente Latitud geodésica.

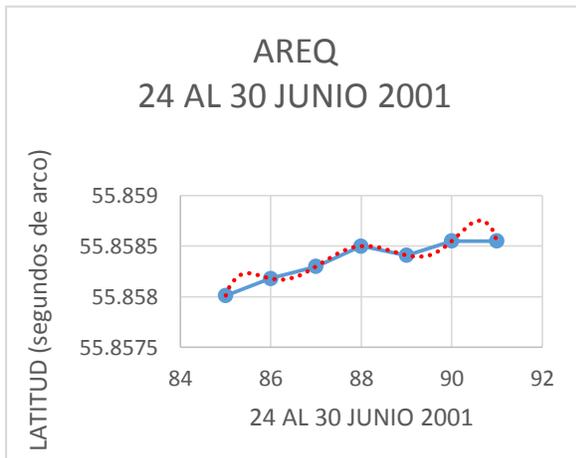
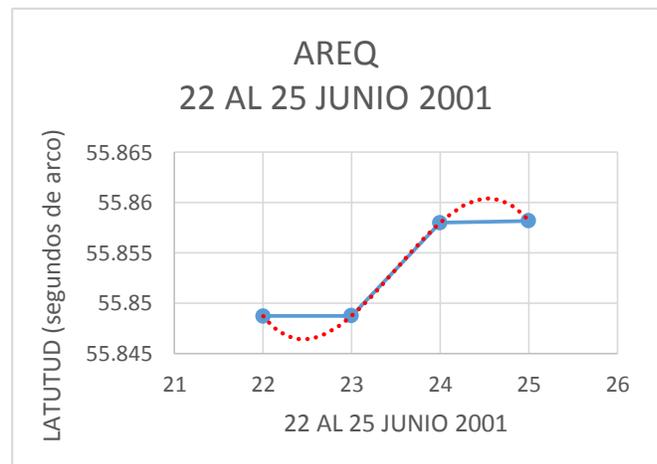


Figura 98. Estación AREQ periodo del 22 al 25 junio 2001, componente Latitud geodésica.



En la estación AREQ se visualiza deformación desplazamiento espacial horizontal que no recupera su posición espacial inicial;

Luego del sismo la deformación desplazamiento espacial horizontal en la estación AREQ es mayor en comparación a días previos al sismo.

Comparación desplazamientos en estación, componente Longitud

Figura 99. Estación AREQ periodo junio 2001, componente Longitud geodésica.

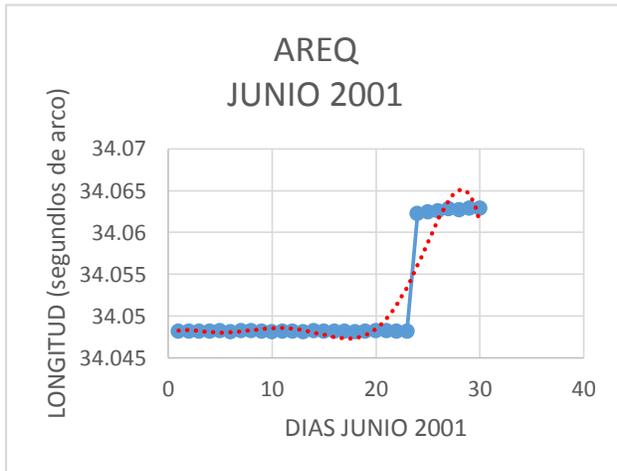


Figura 100. Estación AREQ periodo abril al 23 junio 2001, componente Longitud geodésica.

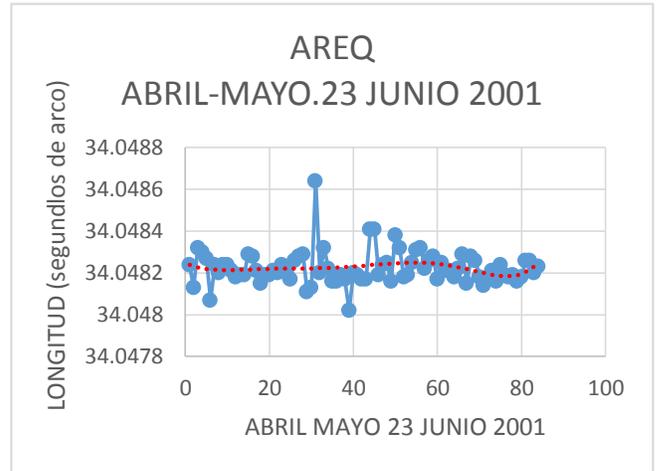


Figura 101. Estación AREQ periodo del 24 al 30 junio 2001, componente Longitud geodésica.

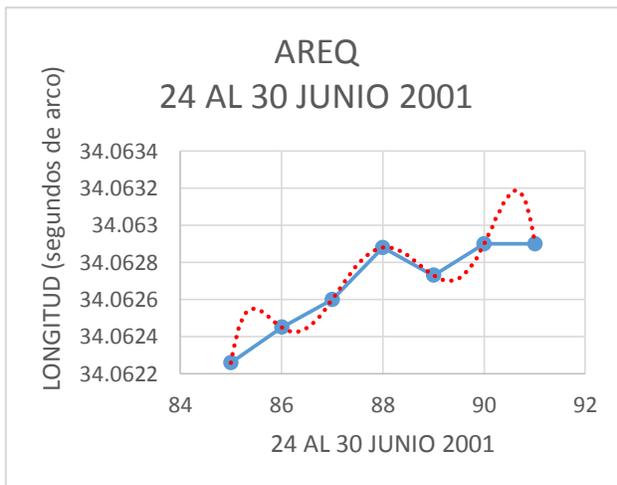
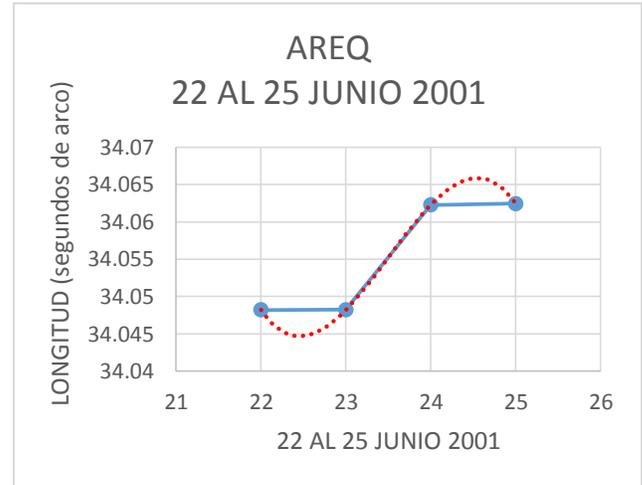


Figura 102. Estación AREQ periodo del 22 al 25 junio 2001, componente Longitud geodésica.



El desplazamiento espacial de la estación AREQ por el sismo, deformación no regresa a su posición espacial inicial.

Comparación desplazamientos en estación, componente Altura Elipsoidal

Figura 103. Estación AREQ periodo junio 2001 componente Altura Elipsoidal (HAE).

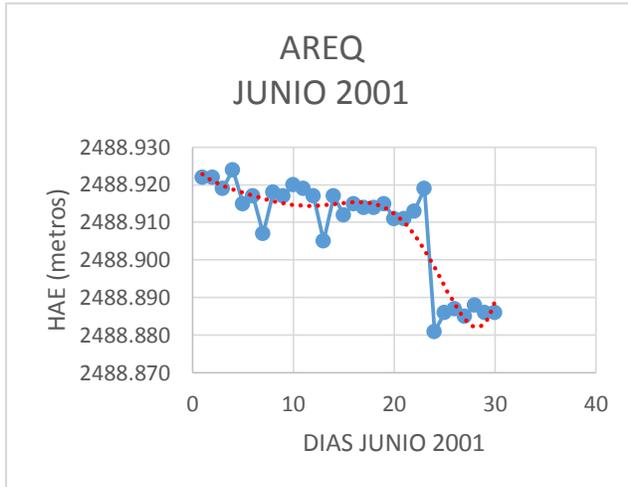


Figura 104. Estación AREQ periodo de abril al 23 junio 2001 componente Altura Elipsoidal (HAE).

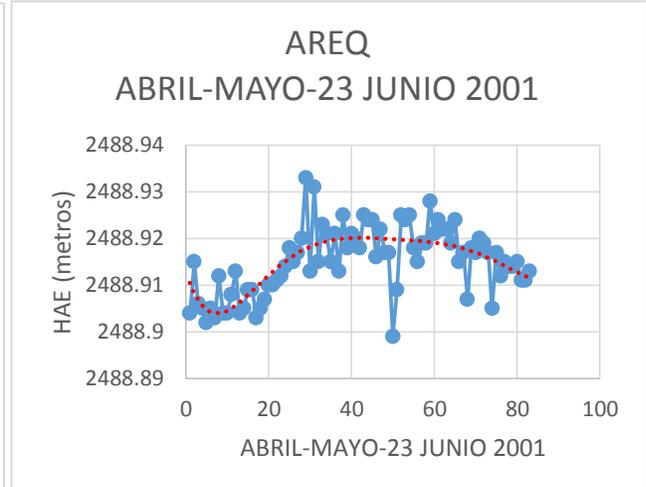


Figura 105. Estación AREQ periodo del 24 al 30 junio 2001 componente Altura Elipsoidal (HAE).

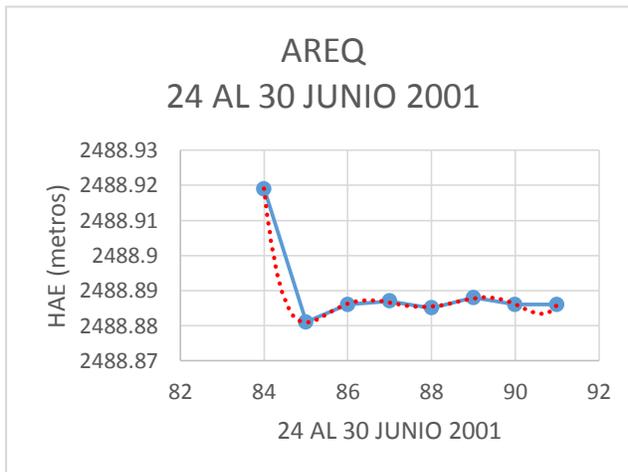
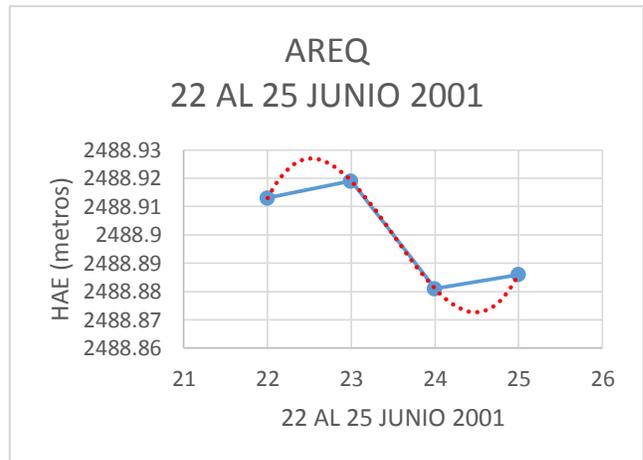


Figura 106. Estación AREQ periodo del 22 al 25 junio 2001 componente Altura Elipsoidal (HAE).

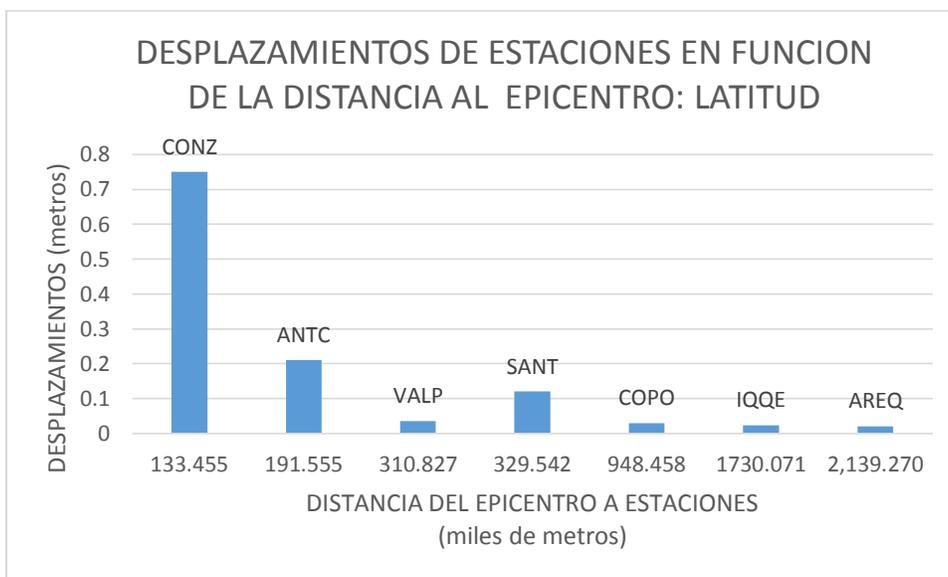


Se visualiza desplazamiento espacial en la componente vertical altura elipsoidal en la estación AREQ por el sismo, no recuperando su posición espacial inicial; Semanas previas al sismo hubo desplazamientos espacial en la estación AREQ.

4.2.2 Desplazamientos de estaciones en relación a distancias geodésicas al Epicentro

Componente Latitud geodésica.

Figura N° 107. **Desplazamientos de estaciones en relación a las distancias geodésicas al epicentro sismo del 27.02.2010, componente Latitud geodésica.**



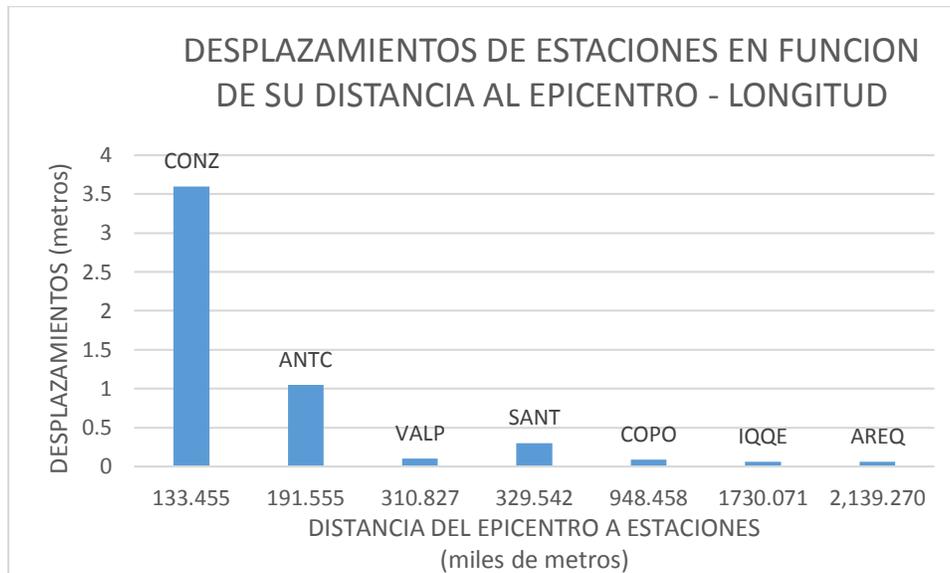
Con el presente estudio, se ha observado la consideración de que estaciones ubicadas a menores distancias del epicentro, tendrán desplazamientos espaciales mayores;

Al analizar los resultados, la estación SANT está a mayor distancia geodésica medida al epicentro del sismo ocurrido el 23.06.2001 con referencia a la estación VALP;

El desplazamiento espacial horizontal en la componente Latitud de la estación SANT es mayor que el desplazamiento espacial horizontal en la estación VALP.

Componente Longitud geodésica.

Figura 108. **Desplazamientos de estaciones en relación a las distancias geodésicas al epicentro sismo del 27.02.2010, componente Longitud geodésica.**

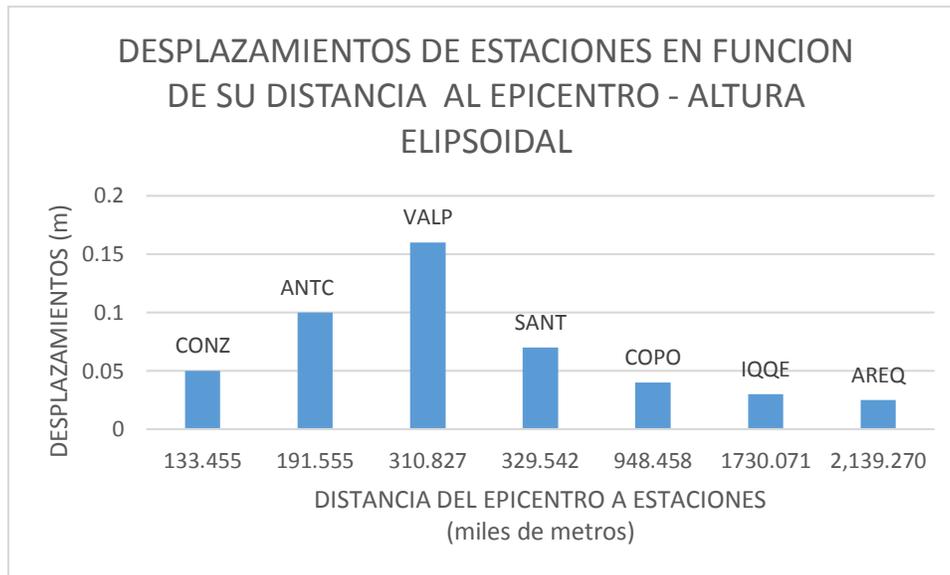


Con el presente estudio, se ha observado que estaciones ubicadas a menores distancias del epicentro, tienen mayores desplazamientos espaciales, a excepción de la estación SANT;

El desplazamiento espacial horizontal en la componente Longitud de la estación SANT es mayor que el desplazamiento espacial horizontal en la componente Longitud de la estación VALP.

Componente Altura Elipsoidal.

Figura 109. **Desplazamientos de estaciones en relación a las distancias geodésicas al Epicentro sismo del 27.02.2010, componente Altura Elipsoidal.**



Los desplazamientos en la componente vertical son mínimos inestables con fluctuaciones; de la solución final obtenida en cada estación, se visualiza mayor desplazamiento espacial vertical en la componente altura elipsoidal en la estación VALP, en relación a las estaciones CONZ y ANTC, no obstante estas últimas están ubicadas a menores distancias al epicentro del sismo del 23.06.2001. Comparado los desplazamientos de la estación VALP y SANT:

Los desplazamientos espaciales horizontales de la estación VALP (latitud y longitud), son menores que desplazamientos horizontales (latitud y longitud) medidos en la estación SANT.

Los desplazamientos espaciales verticales de la estación VALP (altura elipsoidal), es mayor que desplazamientos verticales (altura elipsoidal) medidos en la estación SANT.

4.3 CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Para la contratación de la hipótesis será mediante un test estadístico lo cual permitirá ver si podemos quedarnos con la hipótesis de investigación o no.

Se aplicara el test t-student, criterio de significación 0.05 (5%), calculado en Excel, con las siguientes consideraciones:

$p < 0.05$ se rechaza la hipótesis nula y nos quedamos con la hipótesis del investigador.

$p > 0.05$ NO se puede rechazar la hipótesis nula y NO se puede demostrar que la hipótesis de la presente investigación sea cierta. (no quiere decir que la Hipótesis Nula sea cierta, sino que no la podemos rechazar)

4.3.1 Componente Latitud

Hipótesis Nula

No existe relación entre los desplazamientos espaciales en la componente Latitud en las estaciones de referencia con las distancias geodésicas a los epicentros de sismos.

Hipótesis Alternativa

Existe relación entre desplazamientos en la componente Latitud con las distancias geodésicas a los epicentros de sismos.

Tabla 12. Desplazamientos horizontales por causa sismo del 27.02.2010, componente Latitud geodésica.

ESTACIÓN	DISTANCIAS GEODESICAS (miles de metros)	DESPLAZAMIENTOS COMPONENTE LATITUD (metros)
CONZ	133.455	0.75
ANTC	191.555	0.21
VALP	310.827	0.036
SANT	329.542	0.12
COPO	948.458	0.03
IQQE	1730.071	0.024
AREQ	2,139.270	0.021

Se realizó la prueba en Excel, que devuelve la probabilidad asociada con la prueba t de student.

Con dos colas de distribución con dos muestras de igual varianza

Prueba T = p = 0.0195582948644308

0.0195582948644308 < 0.05

p < 0.05

Al ser p = 0.0195582948644308 menor a 0.05, rechazamos la hipótesis nula, quedándonos con la hipótesis alternativa de la componente latitud.

4.3.2 Componente Longitud

Hipótesis Nula

No existe relación entre los desplazamientos espaciales en la componente Longitud en las estaciones de referencia con las distancias geodésicas a los epicentros de sismos.

Hipótesis Alterna

Existe relación entre desplazamientos en la componente Longitud con las distancias geodésicas a los epicentros de sismos.

Tabla 13. *Desplazamientos horizontales por causa sismo del 27.02.2010, componente Longitud geodésica.*

ESTACIÓN	DISTANCIAS GEODESICAS (miles de metros)	DESPLAZAMIENTOS COMPONENTE LONGITUD (metros)
CONZ	133.455	3.6
ANTC	191.555	1.05
VALP	310.827	0.105
SANT	329.542	0.3
COPO	948.458	0.09
IQQE	1730.071	0.06
AREQ	2,139.270	0.06

Se realizó la prueba T.N. en Excel, devuelve la probabilidad asociada con la prueba t de student.

Con dos colas de distribución con dos muestras de igual varianza

Prueba T,N = 0.0196271756332806

0.0196271756332806 < 0.05

$p < 0.05$

Al ser $p = 0.0196271756332806$ menor a 0.05, rechazamos la hipótesis nula, quedándonos con la hipótesis alterna de la componente longitud.

4.3.3 Componente Altura Elipsoidal

Hipótesis Nula

No existe relación entre los desplazamientos espaciales en la componente Altura Elipsoidal en las estaciones de referencia con las distancias geodésicas a los epicentros de sismos.

Hipótesis Alterna

Existe relación entre desplazamientos en la componente Altura Elipsoidal con las distancias geodésicas a los epicentros de sismos.

Tabla 14. *Desplazamientos horizontales por causa sismo del 27.02.2010, componente Altura Elipsoidal*

ESTACIÓN	DISTANCIAS GEODESICAS (miles de metros)	DESPLAZAMIENTOS COMPONENTE ALTURA ELIPSOIDAL (metros)
CONZ	133.455	0.05
ANTC	191.555	0.1
VALP	310.827	0.16
SANT	329.542	0.07
COPO	948.458	0.04
IQQE	1730.071	0.03
AREQ	2,139.270	0.025

Se realizó la prueba T.N. en Excel, devuelve la probabilidad asociada con la prueba t de student.

Con dos colas de distribución con dos muestras de igual varianza

Prueba T,N = 0.0195462299176346

0.0195462299176346 < 0.05

p < 0.05

Al ser p = 0.0195462299176346 menor a 0.05, rechazamos la hipótesis nula, quedándonos con la hipótesis alterna de la componente altura elipsoidal.

4.3.4 Referencia horizontal (Latitud y Longitud)

Tabla 15. *Desplazamientos por causa sismo del 27.02.2010, resultante componente horizontal*

ESTACIÓN		VECTOR HORIZONTAL (metros)
DENOMINACIÓN	DISTANCIA DE LA ESTACION AL EPICENTRO SISMO 27.02.2010 (miles de metros)	
CONZ	133.455	3.677
ANTC	191.555	1.071
VALP	310.827	0.111
SANT	329.542	0.323
COPO	948.458	0.095
IQQE	1730.071	0.065
AREQ	2,139.270	0.064

Se realizó la prueba T.N. en Excel, devuelve la probabilidad asociada con la prueba t de student.

Con dos colas de distribución con dos muestras de igual varianza

Prueba T,N = 0.019629552181

0.019629552181 < 0.05

$p < 0.05$

Al ser $p = 0.019629552181$ menor a 0.05, rechazamos la hipótesis nula, quedándonos con la hipótesis alterna de la componente altura elipsoidal.

V. Discusión de Resultados

La realización de este estudio tuvo la finalidad mostrar la aplicación de series del tiempo para el análisis y evaluar desplazamientos espaciales que ocasionan los sismos en relación a las distancias calculadas a los epicentros.

Luego de obtener data observaciones geodésicas satelitales de estaciones permanentes, sesiones continuas de 24 horas aproximadamente, se sometió al procesamiento y ajuste en red, obteniendo reportes con soluciones finales diarias, cumplen con requerimientos de precisión y contribuyen a modelar desplazamientos espaciales.

El análisis mediante la serie de tiempo ha permitido modelar el comportamiento espacial por componente, contribuye a conocer el comportamiento espacial temporal.

5.1 Evaluación e Interpretación de los Resultados

Evaluación e interpretación de resultados vinculados con los objetivos

Evaluación

El objetivo general de la investigación planteado ha sido cumplido, relacionar los desplazamientos espaciales en las estaciones de referencia con las distancias geodésicas a epicentros de sismos.

Los objetivos específicos de la investigación de analizar y relacionar desplazamientos en cada una de las componentes (latitud, longitud, altura elipsoidal) con las distancias geodésicas al epicentro de sismos, han sido detallados satisfactoriamente.

Interpretación

Luego de procesar datos geodésicas satelitales obtenidas en las estaciones de observación permanentes ubicadas en Ecuador, Perú y Chile, previos y posteriores a sismos, empleando series de tiempo se visualizan desplazamientos los cuales han sido relacionados con distancias geodésicas calculadas a epicentros de sismos.

Evaluación e interpretación de resultados vinculados con la hipótesis

Evaluación

Los sismos producen desplazamientos espaciales locales, regionales, variados; con los resultados obtenidos, tanto la hipótesis general como las hipótesis secundarias de la investigación planteada han sido corroboradas.

Interpretación

En la estación CONZ ubicada a **133.5** Km. al epicentro del sismo ocurrido el 27.02.2010, se visualizan desplazamientos espaciales horizontales de aproximadamente 3.68 m.; es el que tiene mayor desplazamiento espacial en comparación con desplazamientos espaciales calculados en otras estaciones de referencia consideradas en este estudio.

La estación ANTC está ubicada a **191.6** km al epicentro del sismo ocurrido el 27.02.2010, el desplazamiento espacial horizontal es de aproximadamente 1.07 m.; la estación ANTC está ubicada 58.1 Km. más distante al epicentro del sismo en comparación con la estación CONZ.

La estación VALP ubicada a **310.83** km al epicentro del sismo ocurrido el 27.02.2010, el desplazamiento espacial horizontal es de aproximadamente 0.11 m.; la estación VALP está ubicado 119.27 Km. más

distante y/o alejado del epicentro del sismo en comparación con la estación ANTC.

La estación SANT ubicada a **329.54** km al epicentro del sismo ocurrido el 27.02.2010, el desplazamiento espacial horizontal es de aproximadamente 0.32 m.; la estación SANT está ubicado a 18.71 Km. más alejado del epicentro del sismo en comparación con la estación VALP.

El desplazamiento espacial es mayor en la estación SANT, motivo de discusión para una siguiente investigación analizar con mayor detalle causas del mayor desplazamiento de la estación SANT.

La estación COPO ubicada a **948.46** km al epicentro del sismo ocurrido el 27.02.2010, el desplazamiento espacial horizontal es de aproximadamente 0.09 m.; la estación COPO está ubicado a 618.92 Km. más distante y/o alejado del epicentro del sismo en comparación con la estación SANT.

En la estación IQQE ubicada a **1,730.07** km del epicentro sismo del 27.02.2010, el desplazamiento espacial horizontal es de aproximadamente 0.065 m.; la estación IQQE está ubicada a 781.61 Km. más distante y/o alejado del epicentro del sismo en comparación con la estación COPO.

La estación AREQ está ubicada a **2,139.27** km del epicentro sismo del 27.02.2010, el desplazamiento espacial horizontal es de aproximadamente 0.064 m.; la estación AREQ está ubicada a 409.2 Km. más distante y/o alejado del epicentro del sismo en comparación con la estación IQQE.

Los desplazamientos varían en función a las distancias, a excepción de la estación SANT, que no sigue la misma tendencia.

Evaluación e interpretación de resultados vinculados con el Marco Teórico, antecedentes, con otras investigaciones.

Comparaciones con estudios realizados:

Gómez et al. (2015) en el en el Artículo *Aplicación práctica de modelos de velocidades geodésicos*, plantean como objetivo determinar modelo de predicción de trayectorias continuo en espacio y tiempo, usan series de tiempo de coordenadas obtenidas tanto antes como posterior a la ocurrencia de un sismo.

El objetivo de la presente investigación, es relacionar los desplazamientos, con las distancias geodésicas de las estaciones a epicentro de sismo.

Gómez et al (2015) proponen modelar las componentes observadas en las series del tiempo, obtener prototipo de trayectoria útil para vaticinar la ubicación de una estación en el futuro. Presentan valores de coordenadas Este y Norte (p. 4), proyecciones cartográficas GAUSS y ESTEREOGRAFICA POLAR y datum ITRF 2005 (p.3).

En el presente estudio se han especificado coordenadas geodésicas de cada estación estudiada, lo cual permite ubicarlo en su posición temporal; se han considerado series de tiempo de componentes coordenadas geodésicas (latitud, longitud, altura elipsoidal) correspondientes al ITRF 2014, Elipsoide GRS80, utilizando soluciones finales diarias del procesamiento y ajuste en red. Finalmente, el modelado de las series de tiempo ha sido obtenido mediante la interpolación de soluciones diarias.

Según Lizarazo et al (2013), “.. a partir de los gráficos de series temporales, los cuales proporcionan indicios sobre las tendencias, determinísticas o estocásticas, del movimiento asociado, que permiten obtener una estimación de la velocidad...”.

En la presente estudio, las series de tiempo se han modelado con las coordenadas geodésicas obtenidas de las soluciones finales, componentes obtenidas de las soluciones finales diarias luego del procesamiento de observaciones geodésicas satelitales de un día.

Al analizar posiciones espaciales de estaciones previas y posteriores a la ocurrencia de sismos, se visualiza variación espacial temporal diferencia de coordenadas, deformaciones espaciales causadas por sismos, proceso de fricción o subducción de la placa de Nazca con la Placa Continental, fallas que se activan, entre otros.

Figura 110. **Desplazamientos horizontales en relación a distancias geodésicas al epicentro sismo del 27.02.2010, componente Latitud geodésica.**



Figura 111. **Desplazamientos horizontales en relación a distancias geodésicas al epicentro sismo del 27.02.2010, componente Longitud geodésica.**

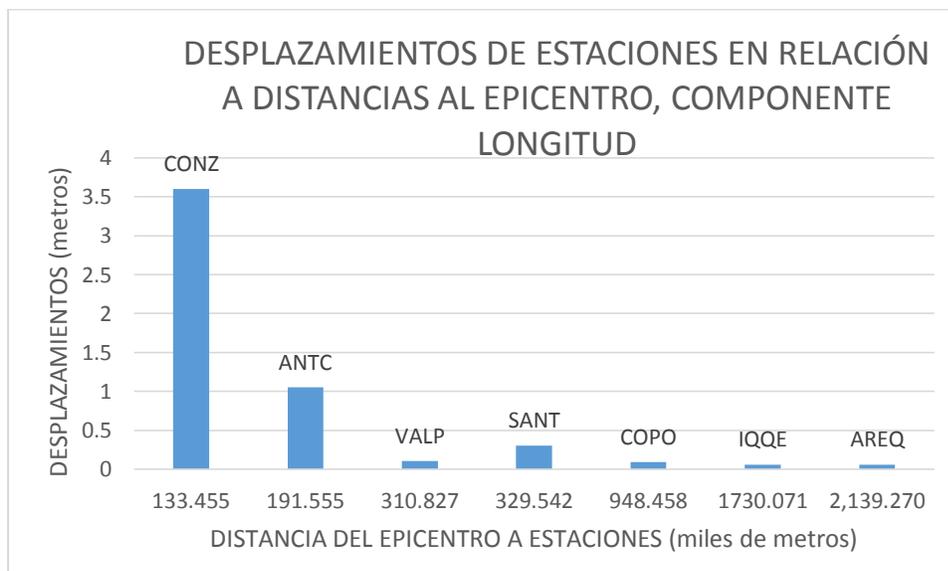
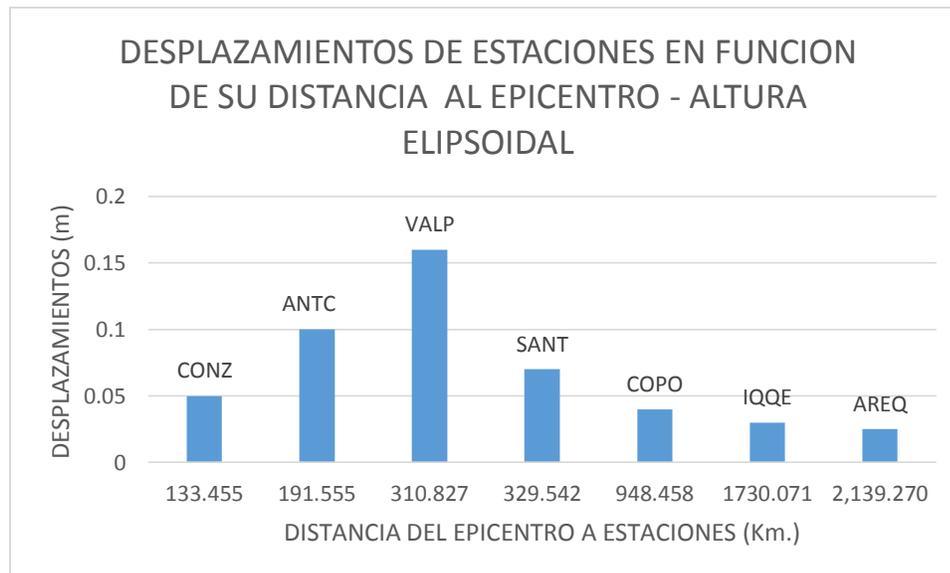


Figura 112. **Desplazamientos horizontales en relación a distancias geodésicas al epicentro sismo del 27.02.2010, componente Altura Elipsoidal.**



Se discute que no todos los sismos producen similares desplazamientos; algunos sismos producen deformación que en algunos casos tienden a volver a su posición espacial previa, en otros no.

Los movimientos causados por los sismos (entendiéndose que son desplazamientos) y variación espacial de coordenadas; no se especifica denominación de estación y/o ubicación de punto tomado como referencia para verificar desplazamientos componente del desplazamiento (horizontal, vertical).

En el presente estudio se especifican denominación de estaciones, desplazamientos, coordenadas, distancias de estaciones a epicentros, contribuyen a mejor interpretación.

Tabla 16. Desplazamientos estimados en Estaciones ubicadas en Chile y Perú, a causa del sismo del 27.02.2010, en componentes Latitud, Longitud y Altura Elipsoidal, obtenidas en base a las soluciones finales diarias obtenidas luego de procesar en red las observaciones geodésicas GPS diarias, previas y posteriores al sismo del 27.02.2010. En base a coordenadas ITRF 2014, elipsoide GRS80.

ESTACIÓN		DESPLAZAMIENTOS									
DENOMINACIÓN	DISTANCIA DE LA ESTACION AL EPICENTRO SISMO 27.02.2010 (miles de metros)	LUEGO DEL SISMO DEL 27.02.2010 (ESTIMADA EN METROS)									
		LATITUD			LONGITUD			VECTOR RESULTANTE HORIZONTAL (metros)	ALTURA ELIPSOIDAL		
		VARIACIÓN (m.)	REGRESA A POSICIÓN INICIAL	NO REGRESA A POSICIÓN INICIAL	VARIACIÓN (m.)	REGRESA POSICIÓN INICIAL	NO REGRESA POSICIÓN INICIAL		VARIACIÓN (m)	REGRESA POSICIÓN INICIAL	NO REGRESA POSICIÓN INICIAL
CONZ	133.455	0.750		X	3.600		X	3.677	0.05		X
ANTC	191.555	0.210		X	1.050		X	1.071	0.1		X
VALP	310.827	0.036		X	0.105		X	0.111	0.16		X
SANT	329.542	0.120		X	0.300		X	0.323	0.07		X
COPO	948.458	0.030	X		0.090	X		0.095	0.04	X	
IQQE	1730.071	0.024	X		0.060	X		0.065	0.03	X	
AREQ	2,139.270	0.021	X		0.060	X		0.064	0.025	X	

Fuente: Elaborado en base a información de soluciones finales, graficados Figuras del 01 al 21.

Tabla 17. Desplazamientos estimados en las estaciones RIOP y QUI3 ubicadas en Ecuador, a causa sismo del 16.04.2016, en las componentes Latitud, Longitud y Altura elipsoidal, obtenidas en base a las soluciones finales diarias obtenidas luego de procesar en red las observaciones geodésicas GPS diarias, previas y posteriores a sismo del 16.04.2016.

En base a coordenadas ITRF 2014, elipsoide GRS80

ESTACIÓN	DESPLAZAMIENTOS LUEGO DEL SISMO DEL 16.04.2016 (ESTIMADA EN METROS) (arco segundo a metros, referencia 1" ~ 30 m)								
	LATITUD			LONGITUD			ALTURA ELIPSOIDAL		
	METROS (*)	REGRESA A POSICIÓN INICIAL	NO REGRESA A SU POSICIÓN	METROS (*)	REGRESA A POSICIÓN INICIAL	NO REGRESA A SU POSICIÓN	METROS (*)	REGRESA A POSICIÓN INICIAL	NO REGRESA A SU POSICIÓN
RIOP	0.012		X	0.015		X			
QUI3	0.0015		X	0.045		X			

Fuente: Elaborado en base a información de soluciones finales diarias obtenidas luego de procesar observaciones geodésicas satelitales.

Tabla 18.

Desplazamientos en la estación AREQ ubicada Perú, a causa sismo del 23.06.2001, estimadas en las componentes Latitud, Longitud y Altura elipsoidal, obtenidas en base a las soluciones finales diarias obtenidas luego de procesar en red las observaciones geodésicas GPS diarias, previas y posteriores a sismo del 23.06.2001.

En base a coordenadas ITRF 2014, elipsoide GRS80

ESTACIÓN	DESPLAZAMIENTOS LUEGO DEL SISMO DEL 23.06.2001 (ESTIMADA EN METROS) (arco segundo a metros, referencia 1" ~ 30 m)								
	LATITUD			LONGITUD			ALTURA ELIPSOIDAL		
	METROS (*)	REGRESA A POSICIÓN INICIAL	NO REGRESA A SU POSICIÓN	METROS (*)	REGRESA A POSICIÓN INICIAL	NO REGRESA A SU POSICIÓN	METROS (*)	REGRESA A SU POSICIÓN INICIAL	NO REGRESA A SU POSICIÓN
AREQ	0.36		X	0.42		X	0.03		X

Fuente: Elaboración propia en base a resultados, soluciones finales, graficados Figuras del 34 al 45.

Comparado los efectos producidos: el sismo del 27.02.2010 en la estación AREQ produjo un desplazamiento, luego de producido tiende a regresar y/o recuperar su posición espacial inicial; en el sismo del 23.06.2001 se deforma y no recupera su posición espacial inicial.

No solo se debe considerar la distancia de las estaciones a los epicentros del sismo, porque no hay uniformidad en cuanto a los desplazamientos. Estas series del tiempo pueden contribuir a los sistemas de alerta en lo concerniente a descartar y/o confirmar tendencias asociadas a placas tectónicas y no a sismos.

Los sismos ocurridos tomados para el presente estudio, sus deformaciones y desplazamientos, no siempre recuperan su posición inicial previo al sismo.

VI. Conclusiones

Se presentan las conclusiones que fueron obtenidos al final del trabajo realizado:

- a) Se ha demostrado la relación entre los desplazamientos espaciales en las estaciones de referencia con las distancias geodésicas calculadas a los epicentros de los sismos, base para el sistema para cuantificar desplazamientos ocurridos en estaciones de referencia observados en las series de tiempo.
- b) Las observaciones satelitales fueron obtenidas y recuperadas de cada estación geodésica de instituciones científicas internacionales por cada día así como archivos RINEX, que fueron revisados así como la configuración del receptor y antena geodésica satelital. La data obtenida fue sometidos al procesamiento y ajuste en red empleando el software Bernese, luego recepcionándose vía correo electrónico reportes incluyen parámetros geodésicos usados y soluciones finales diarias, base para el modelamiento con series de tiempo.
- c) Las coordenadas geodésicas de estaciones y/o puntos de control usados como referencia sin actualizarse y/o recalcularse, incrementan la incertidumbre en la posición espacial temporal de puntos de referencia de una red geodésica que consideran valores de coordenadas sin actualizarse.
- d) Los desplazamientos horizontales y verticales calculados previos y posteriores a un sismo en las estaciones consideradas para el presente estudio, son variados.
- e) Los desplazamientos espaciales luego de ocurridos los sismos, han excedido de manera considerables la precisión regulada en algunos casos por dispositivos gubernamentales vigentes técnicos legales; según IGN (2015) clasifican orden o niveles de precisión máximos: 0 = 4 mm., A = 6 mm., B = 8 mm., C = 10 mm. Los

manuales técnicos vigentes no están acordes, requieren revisión cambios verificación validación actualización.

- f) El sismo del 27.02.2010 ocurrido en Chile, la estación SANT (ubicada a 329.54 Km. de distancia geodésica del epicentro del sismo), tuvo mayor desplazamiento espacial en comparación con la estación VALP ubicada más próxima al sismo (a 310.83 Km. de distancia geodésica del epicentro del sismo).
- g) El modelamiento con las series de tiempo da mejoras en la georreferenciación al considerarse valores actualizados en coordenadas, lo cual evita posibles superposiciones gráficas.
- h) Al no considerarse cambios espaciales ocurridos en el tiempo, como consecuencia de sismos y otras causas de geodinámica interna y/o externa, la cartografía y/o planos a escala variada con grillas y/o listado de coordenadas UTM (valores con decimas de milímetro, sin datos históricos de cuando y como fueron obtenidos), tendremos referencias geodésicas no homogéneas que difieren de la realidad física.
- i) El material gráfico oficial cartográfico de algunas instituciones, en algunos casos no adjunta información referida a fecha que correspondió el levantamiento de campo o metodología utilizada; algunos tienen antigüedad de años hasta décadas, datum regionales no geocéntricos (PSAD56), geocéntricos (WGS84), o sin especificarse la zona o huso que corresponda, pero administrativamente respaldadas por resoluciones. Al estar demostrado por el presente estudio los desplazamientos que se producen por los sismos, de no tomarse en cuenta repercuten ocasionando que bases gráficas no estén respaldada y/o conocida su fuente para conocer su precisión espacial, sean heterogéneas, no concordantes con la realidad física.

- j) Con la aplicación del modelamiento mediante series de tiempo que incluyen soluciones finales diarias, permiten visualizar cambios espaciales temporales como consecuencia de los sismos y otras causas de geodinámica (interna y/o externa).
- k) El marco de referencia ITRF se actualizan periódicamente con parámetros geodésicos y otros, soluciones basadas en técnicas geodésicas satelitales. La última realización es el ITRF2014, utilizada por el proyecto SIRGAS a nivel continental, usado para el presente estudio.
- l) La comunidad científica internacional brinda información de sus estaciones de observación permanente accesibles y que fomentan la investigación, como es el caso de la estación de la NASA denominada AREQ; las estaciones administradas por el IGN son comercializadas, motivo por el cual para el presente estudio para el caso del Perú solo se ha considerado la estación AREQ.
- m) Los desplazamientos espaciales luego de ocurridos los sismos, han excedido de manera considerables la precisión regulada en algunos casos por dispositivos gubernamentales vigentes técnicos legales; según IGN (2015) clasifican orden o niveles de precisión máximos: 0 = 4 mm., A = 6 mm., B = 8 mm., C = 10 mm. Los manuales técnicos vigentes no están acordes, requieren revisión cambios verificación validación actualización.

VII. Recomendaciones

Se propone las recomendaciones en base al estudio realizado:

- a) Mejorar el modelamiento con las series del tiempo, incluyendo más data de estaciones de observación geodésica satelital, reiterando solicitud para acceder.
- b) Sean accesibles las observaciones satelitales recopiladas en estaciones geodésicas y que dispongan instituciones públicas para fines educativos y de investigación, contribuirá a mejorar el modelamiento con las series de tiempo.
- c) Que los entes rectores, Instituto Geográfico Nacional, actualicen adopten como marco de referencia oficial el ITRF2014 estándar internacional validado adoptado por SIRGAS, en periodo de transición al próximo ITRF2020; el ITRF2000 en el Perú es oficial, esta desactualizado, no usado por organismos de cooperación internacional.
- d) Es necesario gestionar la disponibilidad del archivo histórico de observaciones geodésicas satelitales para fines de investigación, la administrada por entes rectores gubernamentales Institutos Geográficos de cada uno de los países, que facilitarían construir más modelos.
- e) En Ecuador, la data geodésica de las estaciones administradas por los entes gubernamentales, está al acceso de centros de estudios e investigadores nacionales, sin costo económico. Se recomienda para fines de investigación académica, que la data administrada por entes gubernamentales de Ecuador pueda estar también disponible para investigadores de otros países.
- f) En Chile, la cooperación científica internacional es importante, lo cual permite acceder la data de un mayor número de estaciones, en el presente

trabajo se han utilizado más estaciones pertenecientes a los centros de investigación internacional. Se recomienda, tomar como referencia ejemplos de cooperación colaboración comunicación, con entes científicos internacionales, que sirven de ejemplo su administración.

- g) En el Perú, solo una estación AREQ administrada por la NASA, está a disposición y que brinda acceso, la cual ha sido considerada para el presente estudio. La data de estaciones permanentes administrada por Instituto Geográfico Nacional tiene costos económicos, lo que limita labores de la comunidad científica y para esta investigación. Se recomienda que la data geodésica obtenida de las estaciones de rastreo permanente administradas por instituciones estatales no tenga costo económico, estén accesibles.
- h) Es conveniente, plantear un plan de capacitación del personal operativo de las instituciones involucradas en el manejo de información espacial geodésica satelital, para ello se plantea la necesidad de articular esfuerzos de centros de investigación – instituciones. universidades.
- i) Crear bajo norma del archivo histórico de observaciones geodésicas satelitales, con el objetivo de mejorar investigaciones geodésicas.
- j) Continuar con la recopilación de datos de estaciones de observación geodésica satelital, para un mayor ajuste de los modelos planteados.
- k) Se recomienda impulsar normatividad para el acceso público a la data geodésica satelital recopilada por instituciones públicas, por ser de interés nacional la formación de los sistemas de alerta, ya que esto se trasluce en evitar desgracias en la integridad física de las personas. Actualmente la data disponible por instituciones como el Instituto Geográfico nacional tienen un costo.

- l) Con la finalidad de estimular y promover mayores investigaciones que contribuyan a los sistemas de alerta, y con ello a la mitigar o reducir daños por la ocurrencia de sismos, se recomienda que las instituciones públicas publiciten sus archivos históricos de sus observaciones geodésicas que dispongan, lo cual permitirá mejora los modelos así como confirmar y/o descartar tendencias atípicas sucedidas en estaciones.

VIII. Referencias

- Aguilar, R., Zevallos, M., Palacios, J., García, L., Menéndez, E. (Enero-Junio2016). Necesidad de Reforzar las Estructuras Afectadas por un Terremoto. *Revista Riemat. Volumen 1. Art. 2.* (p. 24)
Recuperado de:
<https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Riemat/article/download/200/159>
- Alarcón, J., & Franco, G.(s/f). El terremoto de Chile de 2010: la ciencia y el seguro también evolucionan. Parámetros sísmicos del terremoto de Maule, Tabla 1, (p. 10).
Recuperado de:
<http://www.mapfre.com/mapfrere/docs/html/revistas/trebol/n55/docs/Revista-TREBOL-55.pdf>
- Astroza, M., Ruiz, S., Astroza, R., Molina, J. (2012). Mw: 8.8° - Terremoto en Chile. Intensidades sísmicas. Capítulo 5. Intensidades sísmicas. Universidad de Chile, Chile. (p.113)
Recuperado de:
<http://dgf.uchile.cl/~sruiz/Papers/books/107-126.pdf>
- Becerra, V., Ortega-Culaciati, F., Carrizo, D., Norabuena, E., Socquet, A., Vigny, Ch., Simons M. (2015). Análisis de las deformaciones corticales asociadas al terremoto de Pisagua (Mw 8.2) 2014 medidas con instrumentos del Global Positioning System (GPS). *XIV Congreso Geológico Chileno*. Colegio de Geólogos de Chile, Sociedad Geológica de Chile. LA Serena, Chile.
Recuperado de:
https://biblioteca.sernageomin.cl/opac/DataFiles/14905_v1_pp_242_245.pdf
- Bernal, I. (2001). Estimación del Tamaño del Terremoto de Arequipa del 23 de Junio de 2001. Centro Nacional de Datos Geofísicos. Instituto Geofísico del Perú. (p.32, 33, 34)
Recuperado de:
<http://repositorio.igp.gob.pe/bitstream/handle/IGP/695/terremoto%20de%20la%200regi%C3%B3n%20sur.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- CENAPRED (2001). *Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México*. Centro Nacional de Prevención de Desastres. Atlas Nacional de Riesgos de la República Mexicana. México. (pp. 12, 45, 47)
Recuperado de:
<https://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/36-DIAGNOSTICODEPELIGROSEIDENTIFICACINDERIESGOSDEDESASTRESEN MEXICO.PDF>

CENAPRED (2007). Desastres Guía de Prevención. Secretaria de Gobernación, Centro Nacional de Prevención de Desastres. ISBN: 970-628-900-3. México. (p. 28)
Recuperado de:
http://www.proteccioncivil.gob.mx/work/models/ProteccionCivil/Resource/377/1/images/guia_pd.pdf

Geoscience Australia (2018). Auspos, Australia. Reportes con soluciones finales diarias gestionadas y recepcionadas vía correo electrónico personal.

Gómez, D., Piñón, D., Smalley, R., Cimbaro, S. (2015). *Aplicación práctica de modelos de velocidades geodésicos*. Jornadas de Geociencias para la Ingeniería. Instituto Geográfico Nacional, Argentina.
Recuperado de:
http://www.ign.gob.ar/descargas/geodesia/2015_Vel-Ar.pdf

Herraiz, M., Sánchez-Dulcet F. (2014). Efectos de la actividad sísmica en la Ionosfera: Características y posibles aplicaciones. Universidad Complutense de Madrid. España. (p. 58/452)
Recuperado de:
http://digital.csic.es/bitstream/10261/99707/1/CAPITULOS_DE_LIBROS502899_VAL.pdf

Instituto Geofísico del Perú, **IGP. (2012)**. Conceptos Básicos.
Recuperado de:
<https://portal.igp.gob.pe/conceptos-basicos>

Instituto Geofísico del Perú, **IGP. (2013)**. *Sismo de Cañete del 25 de Noviembre del 2013 (5.7 Mw)* (Informe Técnico N° 04-2013).
Recuperado de:
<http://repositorio.igp.gob.pe/bitstream/handle/IGP/1079/Sismo%20de%20Ca%C3%B1ete%20del%2025%20de%20Noviembre%20del%202013%20%285.7Mw%209.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. (p.4)

Instituto Geofísico del Perú, **IGP. (2014)**. Evaluación del Peligro Asociado a los Sismos y Efectos Secundarios en Perú. ISBN: 978-612-45795-9-2. (p.4)
Recuperado de:
<http://repositorio.igp.gob.pe/bitstream/handle/IGP/777/peligrosismos-Per%C3%BA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Instituto Geográfico Militar, **IGM, Bolivia.** (2010). Ajuste del Marco de Referencia

Geodésico Nacional de Bolivia MARGEN – ROC en SIRGAS: MARGEN-ROC – SIRGAS. Bolivia. (p.11)

Recuperado de:

<http://margen-igmbolivia.geo.gob.bo/pdf/margen.pdf>

Instituto Geográfico Militar, **IGM, Ecuador**. (2013). Liberación de datos de la Red GNSS. Instituto Geográfico Militar. Ecuador.

Recuperado de:

http://www.geoportaligm.gob.ec/wordpress/?page_id=511

Instituto Geográfico Militar, **IGM, Uruguay**. (s/f). Red Geodésica Nacional Activa de la República Oriental del Uruguay (REGNA-ROU). División Geodesia y Topografía. Uruguay. (p.5)

Recuperado de:

www.sgm.gub.uy/?mdocs-file=466. (p.5)

Instituto Geográfico Nacional, **IGN, Argentina**. (2010). El terremoto de Chile y sus consecuencias geodésicas en Argentina. (p.2)

Recuperado de:

http://www.ign.gob.ar/descargas/geodesia/2010_El_Terremoto_de_Chile_y_sus_Consecuencias_Geodesicas_en_Argentina.pdf

Instituto Geográfico Nacional, **IGN, Perú**. (2015). Norma Técnica Geodésica Especificaciones Técnicas para Posicionamiento Geodésico Estático Relativo con Receptores del Sistema Satelital de Navegación Global. (pp. 18, 20, 26, 27, 29)

Recuperado de:

<https://www.ign.gob.pe/normas-tecnicas/>

Instituto Geográfico Nacional, **IGN, Perú**. (s/f). **Data estación de rastreo permanente (24 Horas)**

Recuperado de:

<https://www.ign.gob.pe/data-estacion-de-rastreo-permanente-24-horas/>

Instituto Geográfico Nacional, **IGN, Perú**. (s/f1). **Formulario de información de la estación GNSS permanente (ERP)**

Recuperado de:

<https://www.ign.gob.pe/formulario-de-informacion-de-la-estacion-gnss-permanente-erp/>

Instituto Nacional de Defensa Civil, **INDECI**. (2006). Sismos Ocurredos en el Perú a Través del Tiempo. (p.1)

Recuperado de:

https://www.indeci.gob.pe/compend_estad/2006/7_otras_estad/7.1_sismos/7.1.4_hist_sismos.pdf.

Instituto Nacional de Defensa Civil, **INDECI. (2009)**. Resumen Ejecutivo: Lecciones Aprendidas del Sur - Sismo de Pisco, 15 agosto 2007. Lima Perú. (pp.9-10). ISBN Nº 978-612-45491-1-3. (pp. 9,10)

Recuperado de:

<http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc1260/doc1260-contenido.pdf>

Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, **INSIVUMEH. (2014)**. SISMO DE MAGNITUD Mw 7.4 DEL 7 DE NOVIEMBRE DEL AÑO 2012. Guatemala. (p. 5)

Recuperado de:

http://www.insivumeh.gob.gt/folletos/INFORME_TECNICO_FINAL_INSIVUMEH_V2.pdf

Kuroiwa J. (s/f). *Situación de Desastres en los Últimos Años*. 5to. Aniversario del Gran Terremoto del Este del Japón del 11 de Marzo de 2011. p.21.

Recuperado de:

https://www.pe.emb-japan.go.jp/esp/Presentacion_Ing.Kuroiwa.pdf

Lizarazo S.C., Mora Páez H. & Santa LF. (2013). *Análisis de tendencias de movimiento de estaciones GNSS/GPS mediante series de tiempo geodésicas en Colombia 2008-2011*. UD y la Geomática, (7), pp. 41 – 51. DOI:<http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.udgeo.2013.7.a05>

Recuperado de:

<https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/UDGeo/article/download/7571/10344/>.

<https://www.ign.gob.pe/data-estacion-de-rastreo-permanente-24-horas/>

Melnick, D, Sánchez, M., Echtler, H., Pineda, V. (2003). Geología Estructural de la Isla Mocha, Centro-Sur de Chile (38°30', 74°W): Implicancias en la Tectónica Regional. *10° Congreso geológico Chileno 2003*. Universidad de Concepción, Chile. (p.2)

Recuperado de:

https://biblioteca.sernageomin.cl/opac/DataFiles/MelnickD2_et_al.pdf

Ministerio de Educación (2015). Guía para la organización de simulacros escolares. Programa presupuestal 0068 Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres (PREVAED). Lima, Perú. (p. 7, 8)

Recuperado de:

<http://www.minedu.gob.pe/fenomeno-el-nino/pdf/simulacro-2015.pdf>

- Morales, R. (2010). *Terremoto y tsunami del 27 de febrero de 2010. Efectos urbanos en localidades de la provincia de Arauco*. Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (p.3)
Recuperado de:
<http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RU/article/download/305/268/0>
- Ortiz, O. (2013). *Sismotectónica y peligrosidad sísmica en Ecuador* (Tesis de Maestría). Universidad Complutense de Madrid. Madrid, España. (p. 42).
Recuperado de:
<http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/1221/1/T-SENESCYT-000352.pdf>
- Quiun, D., Muñoz, A., 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. *Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica IX Jornadas*, 16-19 de Noviembre de 2005, Concepción – Chile. (p. 8-11).
Recuperado de:
<http://blog.pucp.edu.pe/blog/wp-content/uploads/sites/109/2008/08/QUIUN-MUNOZ-TINMAN--A16-04.pdf>
- Secretaria de Gestión de Riesgos. (2016). Informe de Situación No. 42 (25/04/2016) 13H00 Terremoto 7.8 ° Muisne. Ecuador. (pp.3,5)
Recuperado de:
<https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/04/Informe-de-Situaci%C3%B3n-42-25042016-13h00.pdf>
- Secretaria de Gestión de Riesgos. (2016). Informe de Situación No. 71 (19/05/2016, 20h 30) Terremoto 7.8° - Pedernales. Ecuador. (pp. 8-9)
Recuperado de:
<https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/05/INFORME-n71-SISMO-78-20302.pdf>
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, **Senplades. (2016)**. Evaluación de los Costos de Reconstrucción Sismo en Ecuador • abril 2016. (pp. 9, 10)
Recuperado de:
<http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/04/Evaluacion-de-los-Costos-de-Reconstruccion-Libro-Completo.pdf>.
- Tavera, H. (2002). A 30 Días del Terremoto de Arequipa (Serie de Preguntas y Respuestas). Centro Nacional de Datos Geofísicos del instituto Geofísico del Perú. Terremoto de la Región Sur de Perú del 23 de Junio de 2001. CNDG (2002), p 395 -402.

Recuperado de:

https://portal.igp.gob.pe/sites/default/files/images/documents/sismos/reportes/2001/sis_are2306/anexo1.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, Quito – Ecuador. (p. 38, 42)

Recuperado de:

<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/5429>

IX. ANEXOS

Anexo 1. Matriz de Consistencia

PROBLEMA GENERAL:	OBJETIVOS GENERAL:	JUSTIFICACIÓN	HIPÓTESIS GENERAL:	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGÍA
¿Cómo se relacionan los desplazamientos de las estaciones geodésicas de referencia ubicados en Perú, Ecuador y Chile, con las distancias geodésicas a epicentros de sismos (Período 1996-2016)?	Determinar la relación entre los desplazamientos en las estaciones geodésicas de referencia ubicados en Perú, Ecuador y Chile, con las distancias geodésicas a epicentros de sismos (Período 1996-2016).	El presente trabajo de investigación permitirá conocer como los desplazamientos ocurridos en las estaciones geodésicas de referencia, se relacionan con las distancias geodésicas a epicentros de sismos, que es posible cuantificarlos mediante el empleo entre otros, de técnicas geodésicas que emplean algunos sistemas satelitales. Los desplazamientos que ocurren como consecuencia de los sismos, afectan grandes zonas e instalaciones variadas debido al tipo de suelo y construcción efectuada, lo cual no es homogéneo.	Los desplazamientos espaciales de las estaciones de referencia, con las distancias geodésicas a los epicentros de sismos.	Desplazamientos en estaciones de referencia ubicadas en Perú, Ecuador, Chile, luego de ocurridos los sismos. (Período 1996 – 2016)	Latitud geodésica : en segundos de arco (luego transformada a metros) Longitud geodésica : en segundos de arco (luego transformada a metros) Altura Elipsoidal : medido en metros	TIPO DE INVESTIGACIÓN Es correlacional, porque se investiga las relaciones entre variables dependiente e independiente se estudia la correlación entre dos variables.
PROBLEMAS ESPECÍFICOS 1. ¿Cómo se relacionan los desplazamientos en la componente Latitud de las estaciones geodésicas de referencia ubicadas en Perú, Ecuador, Chile, con las distancias geodésicas a epicentros de sismos? (Período 1996-2016)	OBJETIVOS ESPECÍFICOS: 1. Determinar la relación entre los desplazamientos en la componente Latitud ocurridos en las estaciones geodésicas de referencia ubicadas en Perú, Ecuador, Chile, con las distancias geodésicas a epicentros de sismos (Período 1996-2016).	Los desplazamientos que ocurren como consecuencia de los sismos, afectan grandes zonas e instalaciones variadas debido al tipo de suelo y construcción efectuada, lo cual no es homogéneo.	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS: 1. Existe relación entre los desplazamientos espaciales en la componente Latitud de las estaciones de referencia, con las distancias geodésicas a los epicentros de sismos.			NIVEL DE INVESTIGACIÓN Es descriptiva teniendo en cuenta que busca mejorar las propiedades, dimensiones, características y perfiles importantes del fenómeno que se someta a nuestro análisis.
2. ¿Cómo se relacionan los desplazamientos en la componente Longitud de las estaciones geodésicas de referencia ubicadas en Perú, Ecuador, Chile, con las distancias geodésicas a epicentros de sismos? (Período 1996-2016)	2. Determinar la relación entre los desplazamientos en la componente Longitud ocurridos en las estaciones geodésicas de referencia ubicadas en Perú, Ecuador, Chile, con las distancias geodésicas a epicentros de sismos (Período 1996-2016).	Cuantificar desplazamientos de las estaciones de referencia estudiadas luego de ocurrido los sismos en el Perú, Chile y Ecuador, contribuye a la toma de decisiones, georreferenciación, mantenimiento de referencias actualizadas, actualizando información a las instituciones y autoridades competentes para la toma de decisiones referidas a la infraestructura, servicios, vías de comunicación, otros.	2. Existe relación entre los desplazamientos espaciales en la componente Longitud de las estaciones de referencia, con las distancias geodésicas a los epicentros de sismos.	Distancias geodésicas a los epicentros de sismos.	Calculado con referencia a la superficie elipsoidal; medido en metros.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN El Diseño de la presente investigación principalmente es EXPERIMENTAL, porque varía la variable independiente: los Sismos ocurrieron así como también los Desplazamientos.
3. ¿Cómo se relacionan los desplazamientos en la componente Altura Elipsoidal de las estaciones geodésicas de referencia ubicadas en Perú, Ecuador, Chile, con las distancias geodésicas a epicentros de sismos? (Período 1996-2016)	3. Determinar la relación entre los desplazamientos en la componente Altura Elipsoidal ocurridos en las estaciones geodésicas de referencia ubicadas en Perú, Ecuador, Chile, con las distancias geodésicas a epicentros de sismos (Período 1996-2016).		3. Existe relación entre desplazamientos espaciales en la componente altura elipsoidal de las estaciones de referencia, con las distancias geodésicas a los epicentros de sismos.			

