



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**  
*La Universidad Católica de Loja*

**ÁREA TÉCNICA**

TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

**“Correlación entre el desplazamiento superficial medido con observaciones  
GPS y la actividad sísmica: caso M5.6, Esmeraldas, Ecuador, 2012.”**

TRABAJO DE TITULACIÓN

**AUTOR:** Cedillo Balcázar, Jackson Valentín

**DIRECTOR:** Serrano Agila, Richard Germán, PhD

LOJA - ECUADOR

2015



*Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>*

Septiembre, 2015

## **APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Doctor.

Richard Germán Serrano Agila

**DOCENTE DE LA TITULACIÓN**

De mi consideración:

El presente trabajo de fin de titulación: Correlación entre el desplazamiento superficial medido con observaciones GPS y la actividad sísmica: caso M5.6, Esmeraldas, Ecuador, 2012 realizado por Jackson Valentín Cedillo Balcázar, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, septiembre de 2015

f) -----

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo **Cedillo Balcázar Jackson Valentín** declaro ser autor del presente trabajo de titulación: Correlación entre el desplazamiento superficial medido con observaciones GPS y la actividad sísmica: caso M5.6, Esmeraldas, Ecuador, 2012, de la Titulación de Ingeniería Civil, siendo PhD. Richard Germán Serrano Agila director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnica y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”.

f) -----

Autor: Cedillo Balcázar Jackson Valentín

Cédula: 1104476393

## DEDICATORIA

***Dedico este trabajo a:***

*Dios porque sin él nada de esto sería posible.*

*A mis padres Remigio y Miria, por su incondicional apoyo y cariño.*

*A mis hermanos Luis, Jimmy y Jamil por sus constantes palabras de aliento.*

*A mis amigos y compañeros, que han estado presentes en la elaboración de este trabajo.*

**Jackson.**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco principalmente a Dios por ser quien da significado a todo.

A mis padres y hermanos, motivo y razón fundamental para seguir adelante cada día.

Al PhD. Richard Germán Serrano Agila, Director de Tesis, por la ayuda brindada en la elaboración de este trabajo de titulación.

A los docentes de la titulación de Ingeniería Civil quienes desinteresadamente han impartido sus conocimientos para con las nuevas generaciones de profesionales.

Al IGM-Ecuador (Instituto Geográfico Militar-Ecuador) por su colaboración indispensable para la elaboración de esta investigación.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA.....	i
APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS .....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO I: CONTEXTO GEOLÓGICO .....	5
1.1    Introducción.....	6
1.2    Historia sísmica del Ecuador. ....	6
1.3    Sismo. ....	9
1.4    Elementos de un sismo. ....	9
1.4.1    Foco. ....	10
1.4.2    Epicentro.....	10
1.4.3    Ondas sísmicas. ....	10
1.5    Placas de subducción. ....	11
1.6    Medición de las dimensiones sísmicas. ....	14
1.6.1    Intensidad. ....	14
1.6.2    Magnitud. ....	17
1.6.3    Relaciones Intensidad-Magnitud.....	18
1.7    Zonificación sísmica según la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2011.....	18
CAPÍTULO II: GENERALIDADES.....	21
2.1    Geodesia.....	22
2.2    Sistema de Posicionamiento Global (GPS).....	23
2.3    Sistema de Referencia.....	23
2.3.1    Sistema de Referencia geocéntrico convencional.....	24
2.3.2    Sistema de Referencia del Ecuador.....	24
2.4    Sistema de Coordenadas de Referencia para el GPS. ....	26
2.4.1    Sistema coordinado de referencia para el satélite. ....	27
2.4.2    Sistema de coordenadas geocéntricas.....	27
2.4.3    Sistema de coordenadas geodésico. ....	28
2.5    Marco de Referencia.....	29

2.5.1	ITRF.....	29
2.5.2	SIRGAS.....	29
2.5.3	Coordenadas Semanales de las estaciones de la red SIRGAS-CON.....	30
2.6	REGME.....	31
2.7	CEPGE.....	33
2.8	Formato RINEX.....	33
2.9	Posicionamiento Preciso de Punto (PPP).....	34
2.9.1	Natural Resources Canada (NRCan) – CSRS- PPP.....	36
2.10	Método de mínimos cuadrados simples.....	37
2.10.1	Regresión Lineal por mínimos cuadrados.....	38
2.10.2	Desviación estándar.....	38
2.11	Series temporales.....	38
2.12	Aplicaciones de Series Temporales.....	39
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....		42
3.1	Metodología general.....	42
3.2	Procesamiento datos GNSS.....	42
3.2.1	Selección de estaciones.....	43
3.2.2	Selección del intervalo de observación.....	43
3.2.3	Selección de periodo de análisis.....	43
3.2.4	Descarga de datos.....	44
3.2.5	Posicionamiento Preciso de Punto.....	49
3.3	Generación de Series Temporales.....	54
3.3.1	Transformación de coordenadas geocéntricas a geodésicas.....	55
3.3.2	Regresión Lineal con Mínimos Cuadrados.....	56
3.3.3	Desviación estándar.....	58
3.4	GMT (Herramientas de Mapeo Genéricos).....	58
3.4.1	Módulo para iniciar mapa.....	59
3.4.2	Módulo para inclusión de objetos especiales.....	61
3.4.3	Otros elementos.....	62
CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....		42
4.1	Estación Esmeraldas (ESMR).....	65
4.2	Estación Quevedo (QVEC).....	71
4.3	Estación San Lorenzo (SNLR).....	76
CONCLUSIONES.....		87
RECOMENDACIONES.....		88
BIBLIOGRAFÍA.....		89
ANEXOS.....		93

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1.</b> Sismicidad Histórica de Ecuador período 1541-1990 .....	7
<b>Figura 1.2.</b> Elementos constitutivos de un sismo.....	9
<b>Figura 1.3.</b> Sismograma típico. ....	10
<b>Figura 1.4.</b> Supercontinente .....	12
<b>Figura 1.5.</b> Teoría del fondo oceánico .....	13
<b>Figura 1.6.</b> Placas de la litosfera .....	13
<b>Figura 1.7.</b> Escalas de Intensidad Sísmica y su equivalencia.....	15
<b>Figura 1.8.</b> Magnitud de sismos alrededor del mundo.....	17
<b>Figura 1.9.</b> Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor de factor de zona Z .....	19
<b>Figura 2.1.</b> Geoide y Elipsoide .....	23
<b>Figura 2.2.</b> Elementos Sistema de Referencia Geocéntrico Convencional .....	24
<b>Figura 2.3.</b> Elementos del sistema de coordenadas de referencia del satélite y geocéntrico .....	27
<b>Figura 2.4.</b> Elementos del Sistema de coordenadas geodésico .....	28
<b>Figura 2.5.</b> Procesamientos Red SIRGAS-CON.....	30
<b>Figura 2.6.</b> RENAGE .....	31
<b>Figura 2.7.</b> REGME .....	32
<b>Figura 2.8.</b> Esquema de funcionamiento de la REGME .....	33
<b>Figura 2.9.</b> Esquema estructural FTP REGME.....	34
<b>Figura 2.10.</b> Procedimiento de Posicionamiento diferencial vs Posicionamiento PPP .....	35
<b>Figura 2.11.</b> Épocas de datos GPS en el Marco de referencia NAD83 .....	37
<b>Figura 2.12.</b> Serie temporal Estación MZAC .....	39
<b>Figura 3.1.</b> Metodología Empleada .....	42
<b>Figura 3.2.</b> Metodología general .....	42
<b>Figura 3.3.</b> Visor de la red GNSS de Ecuador .....	45
<b>Figura 3.4.</b> Descarga de información GNSS.....	45
<b>Figura 3.5.</b> Datos solicitados para descarga de información GNSS .....	46
<b>Figura 3.6.</b> Fichero de descarga de datos solicitados .....	47
<b>Figura 3.7.</b> Interfaz página SIRGAS.....	47
<b>Figura 3.8.</b> Interfaz de la Red SIRGAS-CON.....	48
<b>Figura 3.9.</b> Ficheros de descarga de la red SIRGAS-CON.....	48
<b>Figura 3.10.</b> Calendario GPS febrero de 2012 .....	49
<b>Figura 3.11.</b> Fichero de descarga de la red SIRGAS-CON semana 1674.....	49
<b>Figura 3.12.</b> Procedimiento PPP .....	50

<b>Figura 3.13.</b> Interfaz de ingreso de cuenta de Natural Resources Canada .....	50
<b>Figura 3.14.</b> Interfaz de creación de cuenta en Natural Resources Canada .....	51
<b>Figura 3.15.</b> Interfaz de Sistemas de referencia geodésico de Natural Resources Canada .	51
<b>Figura 3.16.</b> Interfaz para realiza el post-procesamiento de los datos RINEX .....	52
<b>Figura 3.17.</b> Modelo de correo emitido por NRCan para la descarga de los resultados. ....	53
<b>Figura 3.18.</b> Archivos de resultados del procesamiento en CSRS-PPP .....	53
<b>Figura 3.19.</b> Formato de presentación de coordenadas cada 30seg en archivo de extensión .CSV .....	54
<b>Figura 3.20.</b> Coordenadas Cartesianas del archivo de extensión .sum.....	54
<b>Figura 3.21.</b> Procesamiento general para generación de series temporales.....	54
<b>Figura 3.22.</b> Procedimiento general de mapeo en GMT .....	58
<b>Figura 3.23.</b> Mapa generado con el módulo para iniciar mapa .....	60
<b>Figura 3.24.</b> Fuentes disponibles en GMT .....	62
<b>Figura 4.1.</b> Serie Temporal estación ESMR antes del evento sísmico .....	66
<b>Figura 4.2.</b> Serie Temporal estación ESMR después del evento sísmico .....	67
<b>Figura 4.3.</b> Serie Temporal estación ESMR antes-después del evento sísmico .....	68
<b>Figura 4.4.</b> Serie Temporal ESMR semanas 1622 a 1726 .....	69
<b>Figura 4.5.</b> Serie Temporal estación ESMR datos cada 30seg entre las 04:54a.m a 06:54 a.m. del 08 de febrero de 2012.....	70
<b>Figura 4.6.</b> Serie Temporal estación ESMR datos cada 30seg entre las 21:00 a 23:00 del día 15 de febrero de 2012.....	70
<b>Figura 4.7.</b> Serie Temporal estación QVEC antes del evento sísmico .....	72
<b>Figura 4.8.</b> Serie Temporal estación QVEC después del evento sísmico .....	73
<b>Figura 4.9.</b> Serie Temporal estación QVEC antes-después del evento sísmico .....	73
<b>Figura 4.10.</b> Serie Temporal QVEC semanas 1622 a 1726 .....	74
<b>Figura 4.11.</b> Serie Temporal estación QVEC datos cada 30seg entre las 04:54a.m a 06:54 a.m. del 08 de febrero de 2012.....	75
<b>Figura 4.12.</b> Serie Temporal estación QVEC datos cada 30seg entre las 18:47 a 20:47 del día 01 de octubre de 2012. ....	76
<b>Figura 4.13.</b> Serie Temporal estación SNLR antes del evento sísmico .....	77
<b>Figura 4.14.</b> Serie Temporal estación SNLR después del evento sísmico .....	78
<b>Figura 4.15.</b> Serie Temporal estación SNLR antes-después del evento sísmico.....	79
<b>Figura 4.16.</b> Serie Temporal estación SNLR datos cada 30seg entre las 04:54a.m a 06:54 a.m. del 08 de febrero de 2012.....	80
<b>Figura 4.17.</b> Serie Temporal estación SNLR datos cada 30seg entre las 20:00 a 22:00 del día 23 de agosto de 2012 .....	80

<b>Figura 4.18.</b> Velocidades de desplazamientos con su desviación estándar obtenidas con datos diarios antes, después, y antes-después del evento sísmico .....	81
<b>Figura 4.19.</b> Velocidades de desplazamientos con su desviación estándar obtenidas con datos diarios y coordenadas SIRGAS antes-después del evento sísmico.....	83
<b>Figura 4.20.</b> Campo de Velocidades del Ecuador -VEC_Ec .....	84

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.1.</b> Terremotos de Ecuador con Intensidad mayor o igual a VIII.....	8
<b>Tabla 1.2.</b> Escala de Intensidad de Mercalli Modificado .....	16
<b>Tabla 1.3.</b> Magnitudes de los sismos e incidencia mundial prevista .....	18
<b>Tabla 1.4.</b> Valor del factor Z en función de la zona sísmica adoptada .....	19
<b>Tabla 1.5.</b> Principales poblaciones de la provincia de Esmeraldas y valor de factor Z. ....	20
<b>Tabla 2.1.</b> Parámetros principales para la definición del Datum La Canoa - Venezuela .....	25
<b>Tabla 2.2.</b> Parámetros principales del WGS84 .....	26
<b>Tabla 2.3.</b> Parámetros principales del GRS80 .....	26
<b>Tabla 3.1.</b> Estaciones seleccionadas para el análisis .....	43
<b>Tabla 3.3.</b> Justificación de texto en GMT .....	63
<b>Tabla 4.1.</b> Resultados series temporales ESMR.....	66
<b>Tabla 4.2.</b> Comparación entre vectores de velocidades estación ESMR.....	66
<b>Tabla 4.3.</b> Resultados series temporales QVEC.....	71
<b>Tabla 4.4.</b> Comparación entre vectores de velocidades estación QVEC .....	71
<b>Tabla 4.5.</b> Resultados series temporales SNLR .....	76
<b>Tabla 4.6.</b> Comparación entre vectores de velocidades estación QVEC .....	77

## RESUMEN

Las estaciones de la Red GNSS de monitoreo continuo del Ecuador (REGME) y de la Red del Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas de operación Continua (SIRGAS-CON) son afectadas constantemente por fenómenos físicos que afectan su posición en el tiempo. En esta investigación se analiza la influencia de la actividad sísmica en el comportamiento de las series temporales de estaciones de la REGME. El caso de estudio es el sismo M5.6 del 08 de febrero de 2012 que se registró en la provincia de Esmeraldas. Se generaron series temporales de estaciones cercanas al epicentro para luego aplicar el método de regresión lineal por mínimos cuadrados y posteriormente determinar las velocidades y dirección de desplazamiento de las estaciones analizadas. El análisis se realizó con datos proporcionados por el IGM y de la página de SIRGAS. La información corresponde a datos en formato RINEX de observaciones disponibles antes, después, durante y antes-después del evento sísmico con intervalos de observación cada 30 segundos y diarios, que se correlacionan con coordenadas semanales descargadas de la Red SIRGAS-CON.

**PALABRAS CLAVES:** REGME, SIRGAS, estaciones GNSS, series temporales, velocidad de desplazamiento, sismo.

## **ABSTRACT**

GNSS stations network of continuous monitoring of Ecuador (REGME) and Network Geocentric Reference System for the Americas of continuous operation (SIRGAS-CON) are constantly affected by physical phenomena that affect their position in time. In this research the influence of seismic activity is analyzed in the behavior of the time series of stations REGME. The case study is the M5.6 earthquake on February 8, 2012, which was recorded in the province of Esmeraldas. Time series stations near the epicenter were generated and then apply the method of least squares linear regression and then determine the speed and direction of travel of the stations analyzed. The analysis was performed with data from the IGM and SIRGAS page. The information corresponds to data in RINEX format available observations before, after, during and before and after the seismic event with observation intervals every 30 seconds and newspapers, which are correlated with weekly coordinates downloaded from the SIRGAS-CON.

**KEYWORDS:** REGME, SIRGAS, GNSS stations, time Series, displacement velocity, earthquake.

## INTRODUCCIÓN

Los constantes movimientos físicos a los que está sometida la superficie de la Tierra afectan la posición horizontal, elevación o ambas de un punto en diferentes períodos de análisis. Esta investigación consiste en el análisis del cambio de posición geodésica de estaciones en el tiempo por medio de series temporales, análisis que se aplica al evento M 5.6 de Esmeraldas-Ecuador registrado en febrero de 2012. La velocidad y dirección de desplazamiento de las estaciones ESMR, QVEC y SNLR, cercanas al epicentro de M 5.6, son determinadas. Los datos utilizados por esta investigación fueron proporcionados por el IGM y tienen intervalos de observación de 30 segundos, y han sido registrados de forma diaria; además de usar coordenadas semanales de la Red SIRGAS-CON. El formato de los datos proporcionados por el IGM es RINEX y para el estudio se usaron datos antes, durante, después y antes-después del evento sísmico.

En el Capítulo I se presenta definiciones y conceptos fundamentales sobre sismos así como también se presenta la zonificación sísmica de Ecuador según NEC-11. En el Capítulo II se explica definiciones y conceptos fundamentales relacionados a la Geodesia y a los sistemas y marcos de referencia, así como también algunos aspectos teóricos de los métodos utilizados en esta investigación. El Capítulo III muestra la metodología utilizada desde el procesamiento de datos GNSS, generación de series temporales y el mapeo en GMT. En el Capítulo IV se muestran tablas con los resultados de análisis, entre ellas están las velocidades, ángulo de desplazamiento de las estaciones GNSS, series temporales y sus respectivas gráficas. Finalmente se presenta las conclusiones que se obtiene con la investigación, seguida de recomendaciones, bibliografía utilizada y un apartado de anexos.

La elaboración de series temporales de un evento puntual en este caso un evento sísmico de subducción permitirá conocer cómo se ven afectadas las estaciones por dicho fenómeno ayudando con el cumplimiento del objetivo del IGM de mantener un Marco Geodésico de Referencia Nacional actualizado. Esta investigación permitirá conocer el comportamiento de las estaciones posterior al evento sísmico. Un antecedente de esta investigación es el que se produjo en 2010 en Chile, evento que altero la dirección del desplazamiento, ya que antes de éste la dirección era hacia el noreste y luego de este lo hacia el suroeste.

Las velocidades y dirección de desplazamiento se han determinado por medio del análisis de series temporales con regresión lineal aplicando mínimos cuadrados a datos registrados con intervalos de observación cada 30 segundos, diarios y semanales.

El objetivo específico de la investigación es correlacionar el desplazamiento superficial determinado con observaciones GPS y la actividad sísmica: evento M 5.6, Esmeraldas, Ecuador, 2012. Los objetivos generales son obtener datos GNSS y datos sísmicos relacionados al evento M5.6; elaborar y analizar series temporales de datos GNSS; determinar desplazamientos de estaciones REGME cercanas al evento M5.6; elaborar series temporales de eventos sísmicos cercanos al eventos M5.6; y correlación de resultados. En el capítulo de resultados y conclusiones se muestra que los objetivos planteados han sido cumplidos. Se presentan las gráficas de las series temporales obtenidas indicando los periodos de análisis, intervalos de observación, correlación y las velocidades de desplazamiento con sus respectivos ángulos de dirección.

Entre algunas de las limitantes que se encontró fue la ausencia de datos en la página de SIRGAS-CON de la estación SNLR, sin embargo al tratarse de un tema relativamente nuevo la implementación y sobretodo la recolección de datos puede ser no suficiente cuantitativamente, sin embargo esto no debería ser un inconveniente para investigaciones futuras pues cada vez más se está generando una base de datos más completa.

Las estaciones de la REGME para el análisis son ESMR, QVEC y SNLR. El primer paso ejecutado fue la transformación de los datos RINEX de las coordenadas geocéntricas a coordenadas geodésicas. Luego se elaboró las series temporales de cada estación en base a los datos correspondientes al periodo de análisis necesario para esta investigación. Para cada estación se obtuvo las velocidades de desplazamiento Norte, Este, y Up. Finalmente para una mejor interpretación y análisis de los datos se realizó el mapeo de las velocidades N-E obtenidas considerando su dirección de desplazamiento.

**CAPÍTULO I:  
CONTEXTO GEOLÓGICO**

## **1.1 Introducción.**

La investigación realizada y que se presenta en este Trabajo de Titulación, considera la información presentada en el siguiente informe sísmico:

*“El 8 de febrero de 2012, a las 5:54 (TL) se registró un sismo de magnitud 5.2 (Mw) con epicentro en 0.675° N y 79.418° W y 50.5km de profundidad, al sur este de la ciudad de Esmeraldas, capital de la provincia del mismo nombre y a 41 km al nor-este de la ciudad de Quinindé.*

*Este evento sísmico fue generado en las zonas de contacto entre las placas Nazca y Sudamericana bajo la costa norte del Ecuador y se relaciona con el proceso de subducción, es decir, el choque y el hundimiento de la placa oceánica de Nazca debajo de la placa continental Sudamericana.*

*Se registraron cuatro réplicas, la mayor de las cuales tuvo una magnitud de 3.7 y ocurrió a las 8h01 (TL) del mismo día.*

*El sismo principal fue sentido en las provincias de: Esmeraldas, Imbabura, Carchi, Manabí, Pichincha, Santo Domingo de los Tsáchilas, Guayas, Los Ríos, Tungurahua, Chimborazo y Bolívar. La intensidad máxima (VI grados en la escala Mercalli) se determinó en el sector de El Paraíso de Quinindé donde se reportaron fisuras en algunas viviendas sin que hayan llegado a colapsar. En la ciudad de Esmeraldas, Atacames, la Concordia y el resto de Quinindé, el sismo alcanzó una intensidad de V grados. En la provincia de Pichincha, específicamente en la capital, Quito, se determinó una intensidad máxima de IV grados.” (Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, 2012, págs. 15-16).*

## **1.2 Historia sísmica del Ecuador.**

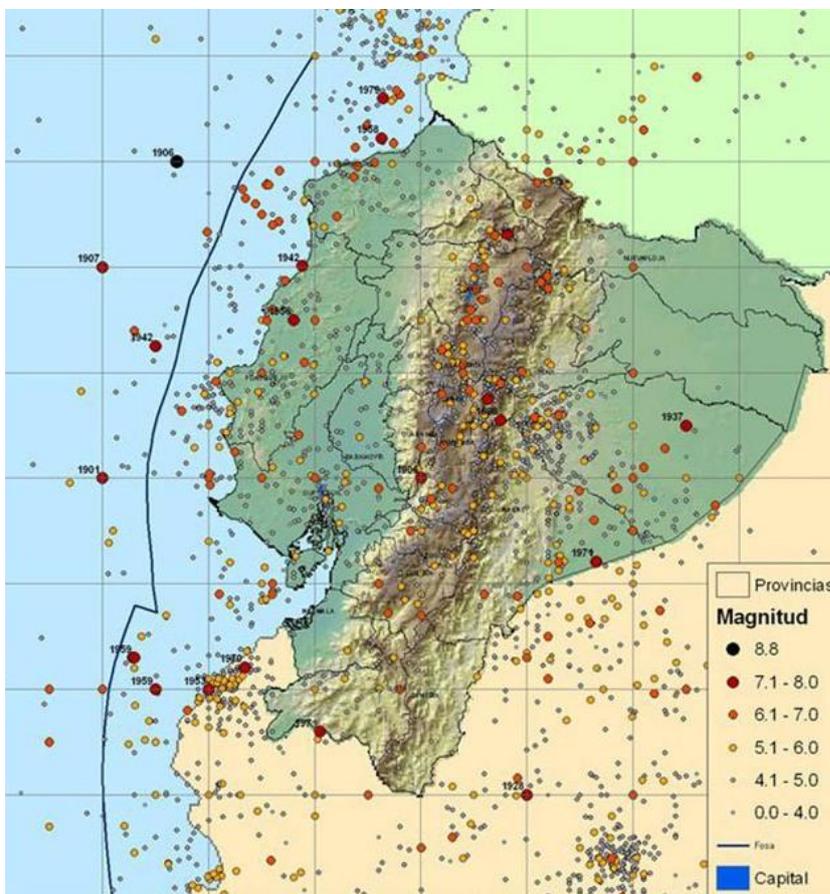
La primera información sismológica referente a la historia sísmica de Ecuador se encuentra en el catálogo sísmico emitido en el año 1541 elaborado por el Centro Regional de Sismología para América del Sur, 1997.

Según el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional “Ecuador forma parte del Anillo de Fuego del Pacífico, que es una de las zonas con mayor actividad sísmica en el planeta”.

La actividad sísmica en Ecuador se ha hecho presente en sus 4 regiones: Costa, Sierra, Oriente y Región Insular. La **Figura 1.1** presenta los sismos registrados en Ecuador durante el período 1541-1990. En esta figura se pueden identificar algunos datos relevantes como son:

- La región que no ha tenido una actividad sísmica significativa es la nor-oriental
- La mayor cantidad de sismos se suceden en la región Sierra
- La región Costa presenta un mayor número de sismos en relación con su extensión.

A la fecha Ecuador se encuentra en un estado de “silencio sísmico”; es decir lleva algunos años sin que se produzcan sismos con magnitudes significativas, que ayuden a dispersar la energía que se está acumulando en las placas tectónicas, dejando la posibilidad de que se disperse toda la energía con un evento sísmico destructivo.



**Figura 1.1.** Sísmicidad Histórica de Ecuador período 1541-1990

**Fuente:** (Ochoa & Ulcuango, 2014)

La **Tabla 1.2** presenta las características de Intensidad de Mercalli Modificado, para hacer una clasificación de los tipos de sismos.

A lo largo de la historia de Ecuador entre 1541-1999 se han detectado 458 sismos de los cuales 37 se consideran destructivos. La **Tabla 1.1** presenta información detallada de la actividad sísmica de los sismos destructivos. En esta lista destaca el sismo ocurrido el 31 de enero de 1906 (Número 18) el cual, según Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, es uno de los sismos más grandes registrados en el mundo, y tiene la misma magnitud del sismo de Chile ocurrido el 27 de febrero de 2010. En función del lugar de estudio de la presente investigación se debe recalcar el sismo ocurrido el 19 de enero de 1958 en Esmeraldas.

**Tabla 1.1.** Terremotos de Ecuador con Intensidad mayor o igual a VIII

Nº	FECHA	EPICENTRO		INTENSIDAD	PROVINCIA DE REFERENCIA
		Latitud	Longitud		
1	00/04/1541	-0,1	-77,8	VIII	Napo
2	31/08/1587	0	-78,4	VIII	Pichincha
3	15/03/1645	-1,68	-78,55	IX	Chimborazo, Tungurahua
4	29/08/1674	-1,7	-79	IX	Chimborazo, Bolívar
5	22/11/1687	-1,1	-78,25	VIII	Tungurahua
6	20/06/1689	-1,45	-78,3	X	Tungurahua, Chimborazo
7	06/12/1736	-0,78	-78,8	VIII	Pichincha, Cotopaxi
8	20/01/1749	-4	-79,2	VIII	Loja
9	28/04/1755	-0,21	-78,48	IX	Pichincha
10	22/02/1757	-0,93	-78,61	XI	Cotopaxi, Tungurahua
11	20/01/1834	1,3	-76,9	VIII	Carchi, Nariño
12	10/05/1786	-1,7	-78,8	XI	Chimborazo
13	04/02/1797	-1,43	-78,55	VIII	Chimborazo, Tungurahua, Cotopaxi y parte de Bolívar y Pichincha
14	22/03/1859	0,4	-78	VIII	Pichincha, Imbabura, Cotopaxi
15	15/08/1868	0,6	-78	VIII	Carchi
16	16/08/1868	0,31	-78,18	X	Imbabura, Carchi, Pichincha
17	03/05/1896	-0,51	-80,45	IX	Manabí
18	31/01/1906	1	-81,3	IX	Esmeraldas
19	23/01/1900	-1,7	-78,9	VIII	Chimborazo, Bolívar
20	23/02/1913	-4	-79,4	VIII	Loja, Azuay
21	31/05/1914	-0,5	-78,48	VIII	Pichincha, Cotopaxi
22	05/02/1923	-0,5	-78,5	VIII	Pichincha
23	16/12/1923	0,9	-77,8	VIII	Carchi
24	18/12/1926	0,8	-77,9	VIII	Carchi
25	25/07/1929	-0,4	-78,55	VIII	Pichincha
26	10/08/1938	-0,3	-78,4	VIII	Pichincha

Sigue Tabla 1.1...

Continúa Tabla 1.1

Nº	FECHA	EPICENTRO		INTENSIDAD	PROVINCIA DE REFERENCIA
		Latitud	Longitud		
27	14/05/1942	0,01	-80,12	IX	Manabí, Guayas, Bolívar
28	05/08/1949	-1,25	-78,37	X	Tungurahua, Chimborazo, Cotopaxi
29	12/12/1953	-3,4	-80,6	VIII	Loja
30	20/07/1955	0,2	-78,4	VIII	Pichicha, Imbabura
31	19/01/1958	1,22	-80,12	VIII	Esmeraldas
32	08/04/1961	-2,2	-78,37	VIII	Chimborazo
33	19/05/1964	0,84	-80,6	VIII	Manabí
34	10/12/1970	-3,79	-80,66	IX	Loja, El Oro, Azuay
35	06/03/1987	-0,87	-77,14	IX	Napo, Sucumbíos, Imbabura
36	02/10/1995	-2,79	-77,97	VIII	Morona Santiago
37	04/08/1998	-0,55	-80,53	VIII	Manabí

Fuente: Egred citada en (Paguay & Trujillo, 2010)

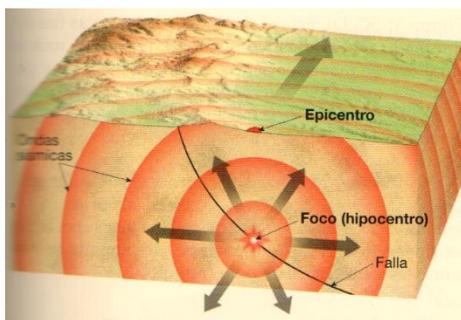
Elaboración: El autor

### 1.3 Sismo.

Movimiento de la superficie terrestre en forma de vibraciones generadas por energía liberada de manera súbita desde rocas, las mismas que alcanzan los límites de su resistencia. (Tarbuck & Lutgens, Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física, 2013)

### 1.4 Elementos de un sismo.

Para comprender los movimientos externos de un sismo, es necesario entender todo el proceso interno que se lleva a cabo en el interior de la corteza terrestre, para eso es necesario conocer algunos conceptos básicos que se indicarán a continuación y que se muestran en la **Figura 1.2**.



**Figura 1.2.** Elementos constitutivos de un sismo

Fuente: (Tarbuck & Lutgens, Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física, 2013, pág. 347).

### 1.4.1 Foco.

Es el punto o lugar donde se origina un sismo que se produce a profundidades entre 5 y 700km (*foci*=punto) o hipocentro. (Tarbuck & Lutgens, Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física, 2013).

### 1.4.2 Epicentro.

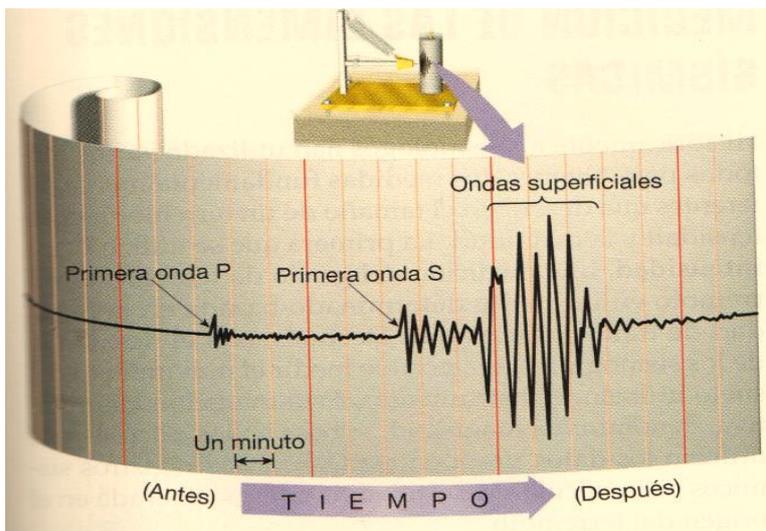
“El punto de la superficie que se encuentre directamente sobre el foco” (Russell, 2010).

### 1.4.3 Ondas sísmicas.

“Durante los sismos se libera una gran cantidad de energía en forma de calor y ondas sísmicas” (Tarbuck & Lutgens, Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física, 2013, pág. 346).

Las ondas sísmicas son las encargadas de transmitir parte de la energía que se libera en el foco, son de dos tipos: internas o de volumen y superficiales. (Sarachaga, 1997)

En la **Figura 1.3**, en base a un registro típico de un sismógrafo, se observa algunas diferencias entre los tres tipos de ondas ocurridos especialmente en la velocidad y magnitud de cada una.



**Figura 1.3.** Sismograma típico.

**Fuente:** (Tarbuck & Lutgens, Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física, 2013, pág. 355).

#### 1.4.3.1 Ondas internas o de volumen.

También denominadas ondas de cuerpo. Se identifican por su manera de viajar a través de los materiales; se dividen en ondas primarias (P) y ondas secundarias (S); se identifican por

la manera en que viajan a través de los materiales. Las ondas P son ondas que empujan (comprimen) y tiran (expanden) de las rocas en la dirección de propagación de la onda. Los elementos sólidos, líquidos y gases se oponen a un cambio de volumen cuando son comprimidos y recuperan elásticamente cuando cesa la fuerza, por lo tanto, las ondas P pueden atravesar estos materiales, cambiando transitoriamente el volumen del material por el que viajan. Las ondas S <<sacuden>> las partículas en ángulos rectos con respecto a la dirección en la que viajan cambiando transitoriamente la forma del material que las transmite, debido a que los gases y líquidos no regresan a su estado natural una vez retirada la fuerza no vuelven a su forma inicial una vez retirada la fuerza. (Tarbuck & Lutgens, Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física, 2013).

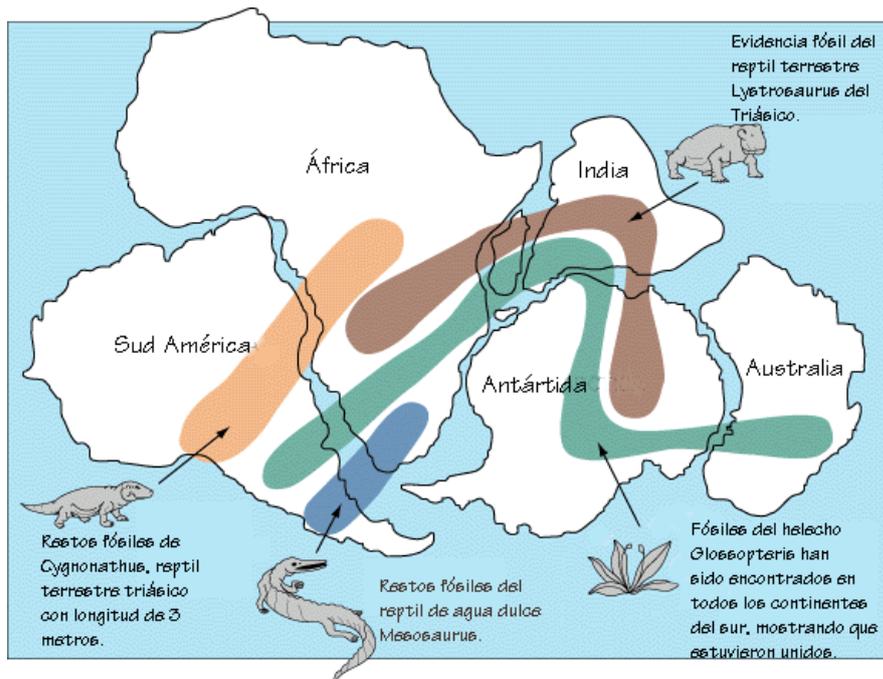
#### **1.4.3.2 Ondas superficiales.**

“Si el medio tiene una superficie libre o una estructura de capas, puede transmitir ondas de otro tipo, que por ser apreciables únicamente cerca de superficie, se denominan superficiales.” (Sarachaga, 1997, pág. 15).

### **1.5 Placas de subducción.**

En el informe sísmico indicado en la Introducción de este capítulo se infirma que el sismo en estudio se relaciona con el proceso de subducción. Previo al estudio del fenómeno de subducción se debe tener claro algunos aspectos que han ido cambiando a lo largo de la historia, los que permitieron generar la teoría de la tectónica de las placas.

El concepto de tectónica de placas nace de la unión de dos teorías, la primera es la denominada **deriva continental** la cual fue establecida a principios del Siglo XX por Wegener (Tarbuck & Lutgens, 2013). Según esta teoría, que argumenta la existencia de un supercontinente, **Figura 1.4**, que aproximadamente hace 200 millones de años empezó a separarse en continentes más pequeños hasta llegar a la configuración actual. Existen muchas pruebas con las que se demuestra su validez entre las que destacan la manera en que encajarían las formas geométricas de los continentes, las características geológicas comunes de rocas y yacimientos minerales, los resultados similares de las pruebas paleontológicas realizadas entre un continente y otro. A lo largo de la historia y los resultados de estudios actuales han demostrado la validez de esta teoría que, si bien presentaba algunos fallos en su propuesta original, permitió grandes avances para la comprensión y formulación de la teoría de tectónica de placas, así como también como base para la ejecución de muchas otras investigaciones.

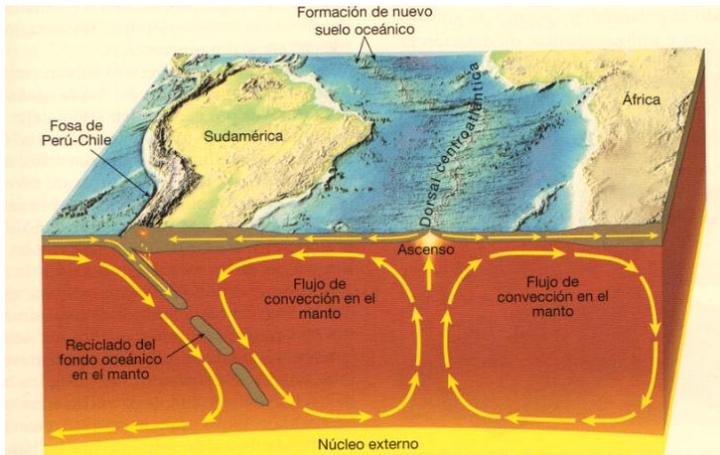


**Figura 1.4.** Supercontinente

**Fuente:** (Instituto de Geología Universidad Nacional Autónoma de México).

La teoría de Harry Hess propuesta en el año de 1962 (Tarbuck & Lutgens, 2013) denominada **expansión del fondo oceánico** se complementa con la teoría de la deriva continental pues explica cómo se produjo y cómo continúa produciendo los movimientos de los continentes, esta teoría ocurre en los dorsales oceánicos (Prominencia del fondo oceánico producida a lo largo de los bordes divergentes de la placa). La **Figura 1.5** muestra que el movimiento dorsal es producido por el ascenso de material magmático desde el manto hasta la base de la litosfera produciendo la separación de placas tectónicas lo que genera nuevos fragmentos de corteza o suelo oceánico.

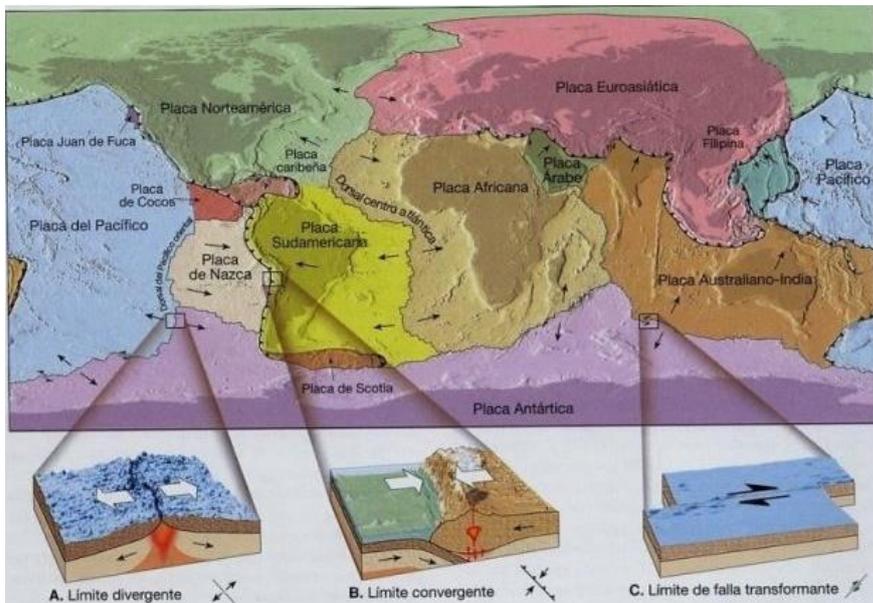
Las dos teorías comentadas permiten la presentación de la teoría denominada **tectónica de placas**, que según (Tarbuck & Lutgens, Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física, 2013) explica que la capa externa rígida de la Tierra (litosfera) se encuentra por encima de una región más débil, denominada astenósfera. Parte de esta teoría indica que la litosfera está formada de fragmentos de diferentes extensiones denominados placas, las que se encuentran en constante movimiento y cambio en sus formas y tamaños, y que se mueven manteniendo cierta tendencia y generalmente sufren deformaciones en sus bordes.



**Figura 1.5.** Teoría del fondo oceánico

**Fuente:** (Tarbuck & Lutgens, Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física, 2013).

En la **Figura 1.6** se observa las diferentes placas de las que está compuesta la litosfera siendo la Placa Norteamericana, Sudamericana, Pacífico, Africana, Euroasiática, Australiana-India y la Antártica, las que en su conjunto constituyen el 94% del área de la superficie de la Tierra. El porcentaje restante está formado por 13 segmentos de tamaños y formas irregulares entre las cuales se puede mencionar la Caribeña, Nazca, Filipina, Arábica, Cocos, Escocesa y la Juan de Fuca. Las placas están formadas por superficie terrestre por medio de los continentes en los que se ubican así como de una parte de fondo oceánico.



**Figura 1.6.** Placas de la litosfera

**Fuente:** (Tarbuck & Lutgens, Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física, 2013)

La energía interna del manto de la tierra es dinámica y los movimientos de masas de rocas en estas masas plásticas afectan a las placas de la litosfera haciendo que se fragmenten, desplacen o cambien de tamaño.

Cuando se produce el impacto o separación de dos placas se pueden originar tres tipos de bordes:

**Bordes de placa divergente:** Se alejan una de la otra, al hacerlo entre ellas se forma una grieta a través de la que salen materiales fundidos del manto que solidifican en el exterior como consecuencia de esta actividad se forma nueva litosfera.

**Bordes de placa convergente:** Se mueven una hacia la otra, generalmente una de las placas se introduce sobre la otra y se hunde hacia el manto donde se destruye esto genera fricciones que producen el levantamiento de una cordillera en la región, el ascenso de magmas que dan lugar a volcanes y a un gran número de terremotos.

**Borde de falla transformante:** Rozan al desplazarse en una misma dirección pero en sentido contrario generando tensión en las rocas que desencadenan numerosos terremotos en estas regiones.

## **1.6 Medición de las dimensiones sísmicas.**

La manera en que se mide los efectos producidos por un sismo es básicamente por:

- Magnitud
- Intensidad

### **1.6.1 Intensidad.**

Medición del grado de temblor producido en el sismo enfocado en un punto determinado que se basa en la cantidad de daños observados, históricamente fue la primera metodología utilizada para medir el tamaño de los sismos (Tarbuck & Lutgens, Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física, 2013).

Las escalas más utilizadas son la Mercalli Modificada (Propuesta por Mercalli en 1902 y modificada por Wood y Newman en 1931 y Richter en 1956) y la MSK (Desarrolla por Medvedev, Sponheuer y Karnik en 1967); ambas escalas tienen XII grados y son muy similares siendo la primera la más utilizada en América y la segunda en Europa. Existen otras escalas de intensidad locales como JMA (Agencia Meteorológica de Japón), o escalas

de interés histórico como la escala Rossi-Forel y Mercalli-Cancani-Sieberg. La **Figura 1.7** muestra las escalas de intensidad mencionadas. (Sarachaga, 1997)

MODIFIED MERCALLI	ROSSI FOREL	JMA	MERCALLI CANCANI SIEBERG	MEDVEDEV SPONHEUER KARNIK
I	I	I	II	I
II	II		III	II
III	III	II	IV	III
IV	IV		V	I
V	V	III	VI	V
VI	VI	IV	VII	VI
VII	VII	V	VIII	VII
VIII	VIII		IX	VIII
IX	IX	VI	X	IX
X	X		XI	X
XI		VII	XII	XI
XII				XII

**Figura 1.7.** Escalas de Intensidad Sísmica y su equivalencia

**Fuente:** Reiter citada en (Sarachaga, 1997).

La **Tabla 1.2** muestra los valores que representa cada nivel de intensidad en la escala de Mercalli Modificado, se debe considerar que la destrucción producida por los sismos depende en gran medida de las condiciones de las estructuras, tipo de suelo, y otras características propias de la geografía de cada lugar, y por lo tanto no es una medida real de la cantidad de energía liberada.

El sismo en estudio alcanzo una intensidad máxima de VI (Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, 2013) correspondiendo a un sismo percibido sensorialmente por muchas personas y registrándose solo daños leves.

**Tabla 1.2.** Escala de Intensidad de Mercalli Modificado

ESCALA DE INTENSIDAD MERCALLI MODIFICADO	
I	No sentido.
II	Sentido solamente por algunas personas en posición de descanso, especialmente en pisos altos. Objetos suspendidos oscilan un poco.
III	Sentido en el interior. Muchas personas no lo reconocen como un temblor. Automóviles parados se balancean. Vibraciones como el paso de un camión pequeño. Duración apreciable.
IV	Sentido en el interior por muchos, en el exterior por pocos. Ventanas, platos, puertas vibran. Las paredes crujen. Vibraciones como el paso de un camión grande; sensación de sacudida como de un balón pesado. Automóviles parados se balancean bastante.
V	Sentido por casi todo el mundo; muchos se despiertan y se protegen. Algunos platos, ventanas, etc. se rompen; algunas casas de mampostería se agrietan. Objetos inestables volcados. Los péndulos de los relojes se detienen. Las puertas se balancean, se cierran, se abren. Árboles, arbustos se sacuden visiblemente.
VI	Sentido por todos; muchos se asustan y se protegen. Es difícil caminar o sostenerse. Ventanas, platos y objetos de vidrio se rompen. Algunos muebles pesados se mueven; se caen algunas casas de mampostería; chimeneas dañadas. Daños leves.
VII	Daños muy pequeños en edificios de buen diseño y construcción; daños leves a moderado en estructuras bien construidas; daños considerable en las estructuras pobremente construidas; algunas chimeneas se rompen. Es sentido por conductores.
VIII	Daño leve en estructuras especialmente diseñadas para terremotos; daño considerable hasta con colapso parcial en edificios; daños mayores en estructuras pobremente construidas. Los paneles de las paredes se salen de los marcos. Se caen chimeneas, monumentos, columnas y paredes. Se viran muebles pesados. Pequeños deslizamientos de arena y fango. Cambios en el caudal de fuentes y pozos. Difícil conducir.
IX	Daño considerable en estructuras de diseño y construcción buena, estructuras bien diseñadas, desplazadas de sus cimientos; daños mayores en edificios con colapso parcial y total. Amplias grietas en el suelo. Expulsión de arena y barro en áreas de aluvial. Tuberías subterráneas rotas.
X	Algunas estructuras bien construidas en madera y puentes destruidos, la mayoría de las construcciones y estructuras de armazón destruidas con sus cimientos. Grietas grandes en el suelo. Deslizamientos de tierra, agua rebasa las orillas de canales, ríos, lagos, etc. Arena y barro desplazados lateralmente.
XI	Colapso de la mayoría de las estructuras de cemento y hormigón. Puentes y otras vías de transporte seriamente afectadas.
XII	Pérdida total en la infraestructura. Grandes masas de rocas desplazadas. Objetos pesados lanzados al aire con facilidad.

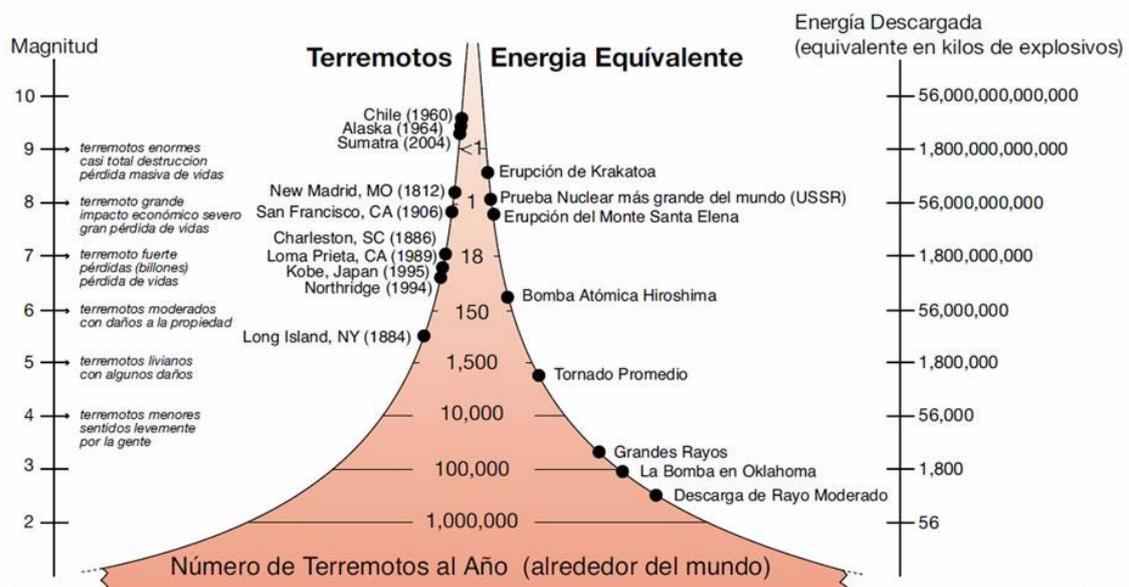
**Fuente:** (Tarbuck & Lutgens, Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física, 2013)

### 1.6.2 Magnitud.

Las mediciones con escala de intensidad no brindan la energía liberada real del sismo, sino que depende de varios factores; además solo se aplica en lugares poblados por esta razón, con el fin de comparar los sismos en todo el mundo, era necesario una medición que no se basara en parámetros que varían considerablemente de una parte del mundo a otra, por tal motivo se desarrolló una serie de escala de magnitud. (Tarbuck & Lutgens, Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física, 2013).

La magnitud es un número que caracteriza el tamaño relativo de un sismo, se basa en la medición del movimiento máximo registrado por un sismógrafo. Varias escalas se han definido, pero las más utilizadas son la Magnitud local (ML) generalmente asociada a la "Magnitud de Richter", Magnitud de ondas superficiales (Ms), Magnitud de ondas internas (Mb) y la Magnitud de momento (Mw). La magnitud local, de ondas superficiales y de ondas internas tienen un alcance y aplicabilidad limitada y sus medidas no son satisfactorias del tamaño de los sismos más grandes. La escala de magnitud de momento (Mw) está basado en el concepto de momento sísmico y es aplicable de manera uniforme a todos los tamaños de sismos, pero es más difícil de calcular que los otros tipos. Todas las escalas de magnitud deben producir aproximadamente el mismo valor para cualquier sismo dado. (Instituto Geológico de Estados Unidos, 2012).

En la **Figura 1.8** se muestra magnitudes de sismos reales ocurridos a lo largo de la historia, así como una relación entre la magnitud y una equivalencia de la energía descargada.



**Figura 1.8.** Magnitud de sismos alrededor del mundo

**Fuente:** (Tarbuck & Lutgens, Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física, 2013, pág. 358)

La escala de Magnitud de Richter fue un estudio realizado únicamente en el sur de California, por lo tanto el estudio fue únicamente local y por esto se denomina a las mediciones como  $M_L$  donde M corresponde a magnitud y L a local, cabe mencionar que la escala de Richter está basada en una escala logarítmica y cada unidad de magnitud corresponde a un aumento de energía de 32 veces. (Tarbuck & Lutgens, Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física, 2013)

**Tabla 1.3.** Magnitudes de los sismos e incidencia mundial prevista

<b>Magnitudes Richter</b>	<b>Efectos cerca del epicentro</b>	<b>Número calculado por año</b>
<2	Generalmente no se siente, pero se registra	600
2,0-2,9	Potencialmente perceptible	300
3,0-3,9	Sentido por algunos	49
4,0-4,9	Sentidos por la mayoría	6.2
5,0-5,9	Produce daños	800
6,0-6,9	Destrucción en regiones pobladas	266
7,0-7,9	Terremotos importantes. Infligen graves daños	18
$\geq 8,0$	Grandes terremotos. Causan destrucción extensa en las comunidades próximas al epicentro	1

**Fuente:** (Tarbuck & Lutgens, 2005)

**Elaboración:** El autor

El sismo en estudio tiene una magnitud que entra en el rango de 5 – 5.9; es decir es un sismo que produce daños per no destrucción en regiones pobladas.

### **1.6.3 Relaciones Intensidad-Magnitud.**

La diferencia entre magnitud e intensidad es que la magnitud es una medida de tamaño de la energía liberada, mientras que la intensidad mide, o pretende medir el efecto de un sismo. Para un sismo determinado habría una magnitud, mientras que intensidades habrá diferentes de acuerdo con la posición donde se evalúa y de la estimación de quien hace el estudio de los efectos. (Molina, 1995).

Es erróneo considerar que la intensidad es más importante que la magnitud o viceversa, dependerá en gran medida los objetivos de cada investigación para saber qué medida de energía sísmica liberada es la que se necesita utilizar.

### **1.7 Zonificación sísmica según la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2011.**

La premisa fundamental de la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2011(Nec-11) busca en su segundo capítulo constituirse en un documento de permanente actualización, que refleje el actual potencial sísmico del Ecuador. Dicho capítulo debe ser modificado y

actualizado, conforme se incrementan los conocimientos sismológicos del Ecuador y conforme se produzcan avances importantes de la ingeniería sísmica, a través de nuevos requisitos y tendencias. La filosofía utilizada en el NEC-11 es la de evitar la pérdida de vida a través de impedir el colapso de las estructuras. (Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-11, 2011)

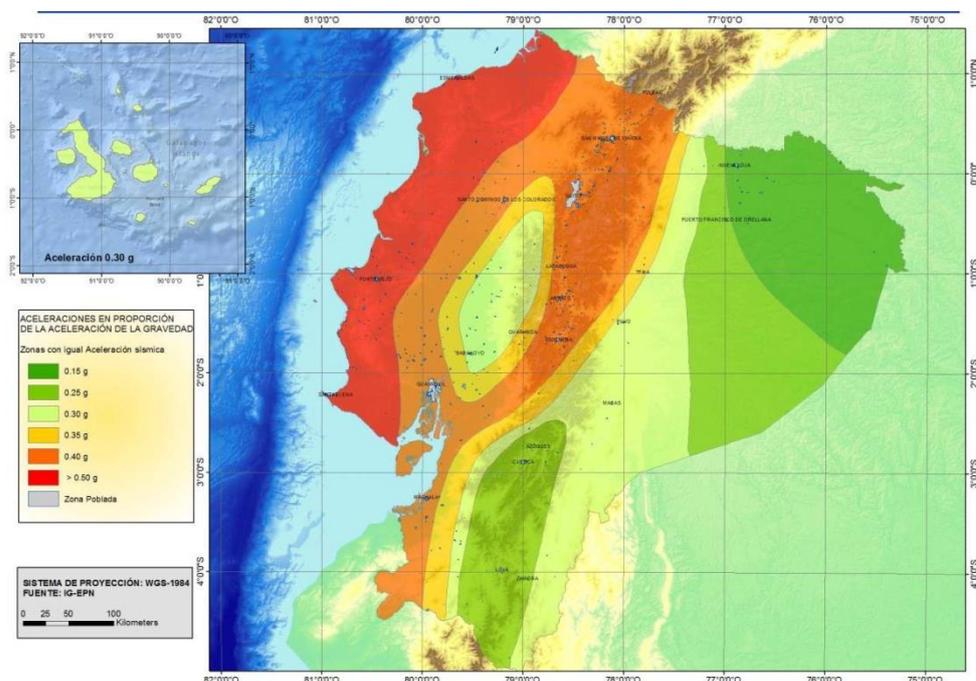
La **Figura 1.9** indica la zonificación sísmica otorgada por la NEC-11, en la cual se diferencian 6 zonas sísmicas con un valor de factor de Z (Aceleración en roca), que es una caracterización de la amenaza sísmica indicada donde se indica sus valores en la **Tabla 1.4**.

Analizando la **Figura 1.9** conjuntamente con la **Tabla 1.4** se determina que la sectorización de amenaza sísmica en Ecuador es Alta exceptuando la parte Nor-Oriental de la Amazonía; en cuanto a la zona de Costa, lugar donde se encuentre el epicentro del sismo en estudio se determina un nivel de peligrosidad Muy Alta.

**Tabla 1.4.** Valor del factor Z en función de la zona sísmica adoptada

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.3	0.35	0.4	≥ 0.50
Caracterización de la amenaza sísmica	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy Alta

**Fuente:** (Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-11, 2011)



**Figura 1.9.** Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor de factor de zona Z

**Fuente:** (Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-11, 2011)

El mapa de zonificación sísmica proviene del resultado del estudio de peligro sísmico para un 10% de excedencia en 50 años (periodo de retorno 475años), además se realizó el estudio de fuentes sísmicas conocidas (corticales y de subducción). Un dato interesante en la presente investigación es que la subducción de la Placa de Nazca dentro de la placa Sudamericana es la principal fuente de generación de energía sísmica, que es el caso del sismo en estudio. (Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-11, 2011)

En base a la **Tabla 1.5** se observa que en la provincia de Esmeraldas toda la región a excepción de la población de Plan Piloto en la parroquia la Concordia se encuentra en una zona sísmica VI catalogándose de una amenaza sísmica “Muy Alta”.

**Tabla 1.5.** Principales poblaciones de la provincia de Esmeraldas y valor de factor Z.

POBLACION	PARROQUIA	CANTÓN	PROVINCIA	Z
La Unión	La Unión	Quininde	Esmeraldas	0,5
Viche	Viche	Quininde	Esmeraldas	0,5
Monterrey	Rosa Zarate (Quininde)	Quininde	Esmeraldas	0,5
La Villegas	Rosa Zarate (Quininde)	Quininde	Esmeraldas	0,5
Atacames	Atacames	Atacames	Esmeraldas	0,5
Rosa Zarate	Rosa Zarate (Quininde)	Quininde	Esmeraldas	0,5
Bolívar	Bolívar	Muisne	Esmeraldas	0,5
La independencia	Rosa Zarate (Quininde)	Quininde	Esmeraldas	0,5
La Te	Malimpia	Quininde	Esmeraldas	0,5
Zapallo	Malimpia	Quininde	Esmeraldas	0,5
Esmeraldas	Esmeraldas	Esmeraldas	Esmeraldas	0,5
San Lorenzo	San Lorenzo	San Lorenzo	Esmeraldas	0,5
Puerto Gaviota	Tonsupa	Atacames	Esmeraldas	0,5
La Concordia	La Concordia	La Concordia	Esmeraldas	0,5
Plan Piloto	La Concordia	La Concordia	Esmeraldas	0,4
Valdez	Valdez(Limonos)	Eloy Alfaro	Esmeraldas	0,5
Muisne	Muisne	Muisne	Esmeraldas	0,5

**Fuente:** (Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-11, 2011)

**CAPÍTULO II:  
GENERALIDADES**

En el presente capítulo se explica la base teórica necesaria para interpretar la base matemática de los métodos utilizados en esta investigación

## **2.1 Geodesia.**

A lo largo de la historia se ha atribuido diferentes formas a la Tierra, desde las más antiguas como que la Tierra es plana pasando por Aristóteles quien fue el primero en sustentar con razones geométricas el hecho que la Tierra tiene una forma esférica.

Sin embargo el concepto de una esfera perfecta no es acertada y por esta razón las afirmaciones de Isaac Newton quien considera que la tierra es de forma elipsoidal, una apreciación bastante acertada si se considera los achatamientos de los polos, expresándose por tanto que la tierra tiene forma de una elipsoide achatada en los polos.

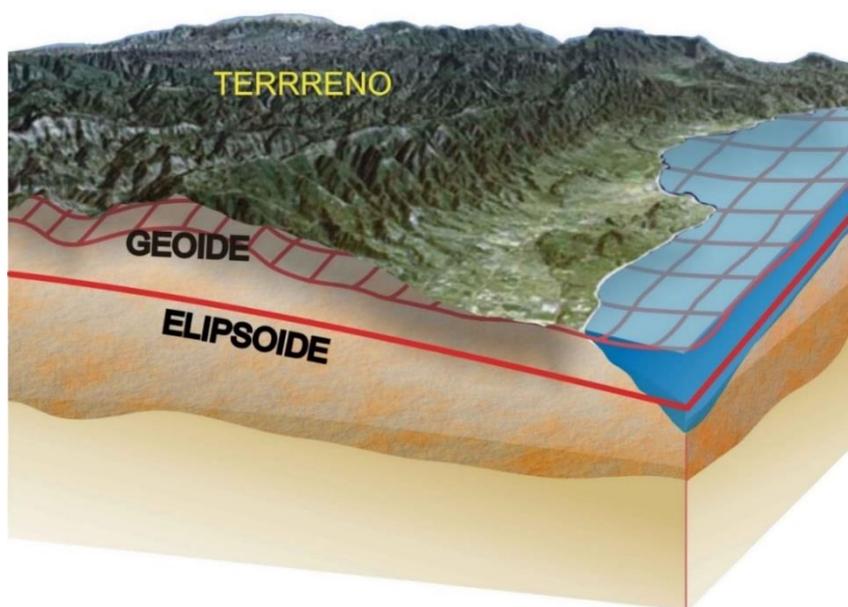
Ha sido necesario una ciencia que estudie la forma y dimensiones de la Tierra la misma que se denomina Geodesia. Algunos de los aspectos de los que se ocupa esta ciencia son las coordenadas geodésicas (latitud, longitud y altura. Esta ciencia es esencial para otras disciplinas como topografía, cartografía, para fines militares, ingeniería civil, sistemas de información geográfica (SIG), navegación, geología, fotogrametría, entre muchas otras. El objetivo de estudio de esta investigación se remite a la Geodesia espacial que corresponde a la obtención de coordenadas en base a mediciones efectuadas a satélites artificiales (DORIS, SLR, VLBI, GNSS) y la relación con el sistema de referencia a utilizar.

Según (Zakatov, 1997) el geoide es la superficie de nivel que coincide con la superficie de agua en reposo de los océanos, idealmente extendida bajo los continentes de modo que la dirección de las líneas verticales crucen perpendicularmente esta superficie en todos sus puntos. La manera correcta para realizar los diferentes cálculos de coordenadas de cualquier punto ubicado sobre la superficie terrestre debería realizarse en base a la forma y extensión real de la Tierra; sin embargo realizarlo con la superficie física de la Tierra es una tarea realmente compleja y aplicarlo en una solución matemática aún más.

Es por esto que se determina una solución matemática para resolver los diferentes problema geodésicos en base a una superficie elipsoidal que se determinar mediante ecuaciones sencillas que permite que las soluciones matemáticas sean más fáciles de realizar pero teniendo en consideración que debe ser lo más próximo a la figura de la Tierra por lo que debe cumplir con las siguientes condiciones:

- Coincidencia del centro del elipsoide con el centro de gravedad de la Tierra y la de su plano ecuatorial con el plano del ecuador terrestre.
- La suma de los cuadrados de las desviaciones de la altura cuasi-geoide en todos sus puntos debe ser mínima con respecto a la superficie del geoide.

En la **Figura 2.1** se puede apreciar la relación que existe entre el geoide y elipsoide, donde el geoide lleva el mismo lineamiento que se presenta en el terreno y el elipsoide busca asemejarse en lo posible al geoide pero de una manera más uniforme. Se debe mencionar que el elipsoide no siempre se encuentra por debajo del geoide sino que esto variara con respecto al terreno.



**Figura 2.1.** Geoide y Elipsoide

**Fuente:** (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, s.f.)

## 2.2 Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) es un servicio propiedad de los EE.UU. que proporciona a los usuarios información sobre posicionamiento, navegación y cronometría. Este sistema está constituido por tres segmentos: el segmento espacial, el segmento de control y el segmento del usuario. La Fuerza Aérea de los Estados Unidos desarrolla, mantiene y opera los segmentos espacial y de control.

## 2.3 Sistema de Referencia.

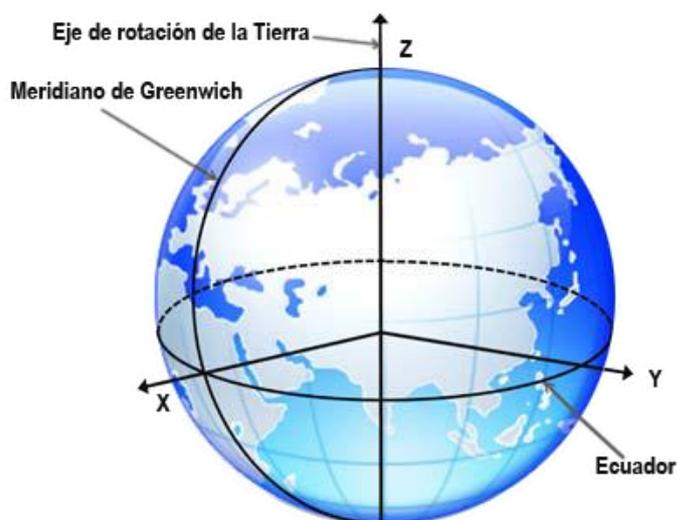
El estudio y análisis de los diferentes movimientos y deformaciones que ocurren en la superficie terrestre no son posibles llevarse a cabo sin la determinación de coordenadas, las mismas que se realizan sobre un sistema de referencia que según (Furones, 2011) es una

definición conceptual tanto de teorías, como hipótesis y constantes, las que permiten situar un sistema de ejes coordenadas tridimensional en el espacio, definiendo su origen (datum) y orientación, sin embargo es necesario que este sistema sea uniforme y sus fundamentos matemáticos (hipótesis y teorías) sean los mismos para el mayor espacio geográfico posible a esto se denomina Sistema de Referencia Convencional.

### 2.3.1 Sistema de Referencia geocéntrico convencional.

Cualquier sistema de referencia se encuentra conformado por tres ejes coordenados fijos que se unen en un punto en común que se lo denomina Punto de origen. Este sistema presenta dos planos: meridiano y ecuatorial. La **Figura 2.2** presenta los planos del sistema de referencia geocéntrico. Las características de estos elementos son:

- **Origen:** Ubicado en el centro de la masa terrestre (Incluyendo carga producida por los océanos y atmosfera).
- **Eje X:** Producido por la intersección del plano meridiano de Greenwich con el plano ecuatorial.
- **Eje Z:** Se encuentra paralelo al eje de rotación terrestre.
- **Eje Y:** Ubicado en el plano ecuatorial y perpendicular al plano XZ.
- **Plano meridiano:** Contiene al eje de rotación y pasa por cualquier punto de la tierra.
- **Plano Ecuador:** Pasa por el geocentro y perpendicular al eje de rotación.



**Figura 2.2.** Elementos Sistema de Referencia Geocéntrico Convencional

**Fuente:** (Instituto Geográfico Nacional República de Argentina, n.d.)

### 2.3.2 Sistema de Referencia del Ecuador.

Actualmente el Sistema de Referencia Geodésico del Ecuador está referido a PSAD56 (Datum Provisional para Sudamérica 1956, por sus siglas en ingles), su elipsoide de referencia es el International de Hayford y su punto de origen o datum se encuentra en La

Canoa-Venezuela. Sin embargo en la actualidad Ecuador cuenta con parámetros de transformación oficiales entre PSAD56 y WGS84 (Compatible con SIRGAS95). (Instituto Geográfico Militar, 2014)

### 2.3.2.1 ITRS.

El ITRS es el Sistema de Referencia Terrestre Internacional del Servicio Internacional de Rotación Terrestre y Sistemas de Referencia (IERS:International Earth Rotation and Reference Systems Service). El ITRF constituye un conjunto de prescripciones y convenciones junto con el modelado requerido para definir el origen, la escala, la orientación y el tiempo de evolución de un sistema de Referencia Terrestre convencional, según la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica (UIGG) en su segunda resolución aprobada en Viena en 1991, el ITRS es un sistema de referencia ideal.

### 2.3.2.2 PSAD56.

En la **Tabla 2.1** se muestra los parámetros principales utilizados para determinar el datum regional. La mayor desventaja de utilizar este datum es que solo está materializada para Sudamérica, lo que produce problemas para enlazar la información de redes geodésicas vecinas.

**Tabla 2.1.** Parámetros principales para la definición del Datum La Canoa - Venezuela

Parámetros	Valor
Latitud ( ° ´ “ )	8°34´17.170´´N
Longitud ( ° ´ “ )	63°51´34.880´´W
Elipsoide de referencia	Internacional
Época de realización	1956
Deflexión de la vertical	$\xi_0=6.37''$ ; $\eta_0= -0.15''$

**Fuente:** (Instituto Geográfico Militar, 2014)

**Elaboración:** El autor

### 2.3.2.3 WGS84.

El sistema de referencia geodésico geocéntrico de alcance mundial, **World Geodetic System 1984** (WGS84), es utilizado por la tecnología GPS, tecnología que fue desarrollado por el Departamento de Defensa de Estados Unidos, la cual se alinea con los criterios y convenciones establecidos por la IERS (Servicio Internacional de Rotación de la Tierra, por sus siglas en inglés). Una de las consideraciones de este sistema es que se pierde el concepto de "datum" por su misma naturaleza geocéntrica, sus principales parámetros se muestran en la **Tabla 2.2:**

**Tabla 2.2.** Parámetros principales del WGS84

<b>Parámetros</b>	<b>Valor</b>
Semieje mayor (a)	6,378,137 m
Achatamiento (f)	1/ 298.25223563
Velocidad angular ( $\omega$ )	7.292115 rad/s
Constante Gravitacional (GM)	398600.8 km <sup>3</sup> s <sup>-2</sup>

**Fuente:** (Instituto Geográfico Militar, 2014)

**Elaboración:** El autor

#### **2.3.2.4 GRS80.**

“Dado que la concepción de los sistemas WGS fue estrictamente militar, la Asociación Internacional de Geodesia (IAG: International Association of Geodesy) promueve la versión “civil” de los sistemas globales de referencia conocidos como **GRS (Geodetic Reference System)**: GRS67 y GRS80. El elipsoide asociado al WGS84 es el GRS80 (En la práctica puede asumirse que los sistemas WGS84 y GRS80 son iguales).” (Zurita, 2011)

La comparación entre las similitudes entre el elipsoide WGS84 y GRS80 puede determinarse claramente al comparar las **Tablas 2.2 y 2.3** respectivamente:

**Tabla 2.3.** Parámetros principales del GRS80

<b>Parámetros</b>	<b>Valor</b>
Semieje mayor (a)	6,378,137 m
Achatamiento (f)	1/ 298.2572
Velocidad angular ( $\omega$ )	7.292115 rad/s
Constante Gravitacional (GM)	398600.5 km <sup>3</sup> s <sup>-2</sup>

**Fuente:** (Instituto Geográfico Militar, 2014)

**Elaboración:** El autor

#### **2.4 Sistema de Coordenadas de Referencia para el GPS.**

Una vez definido el sistema de referencia convencional a utilizar, se busca la manera de parametrizar el espacio, lo que servirá para determinar la posición de un punto cualquiera. Esta posición se realiza por medio del denominado sistema de coordenadas, que será seleccionado por el usuario de forma que la obtención de la posición de un objeto sea lo más sencilla de obtener de manera geométrica y que permita su medición.

A continuación se explicarán el sistema de coordenadas de referencia para el satélite, sistema de coordenadas geocéntricas y el sistema de coordenadas geodésicas que son algunos de los sistemas más utilizados en el campo de la geodesia y que son necesarios para determinar posiciones de puntos sobre la Tierra.

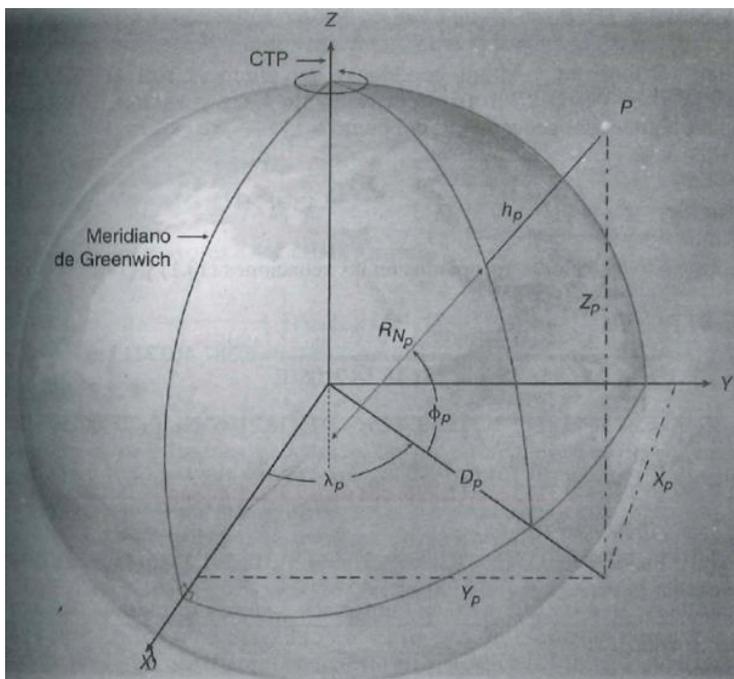


- **Ángulo de inclinación ( $i$ ):** Ángulo entre el plano de la órbita y el plano del ecuador terrestre.
- **Argumento del perigeo ( $\omega$ ):** Ángulo medido en el plano orbital desde el ecuador hasta la línea de los ápsides.
- **Ascensión del nodo ascendente ( $\Omega$ ):** Ángulo medido en el plano del ecuador desde el equinoccio vernal hasta la línea de intersección entre los plano orbital y ecuatorial.
- **Ángulo horario de Greenwich del equinoccio vernal ( $GHA_{\nu}$ ):** Ángulo medido en el plano ecuatorial desde el meridiano de Greenwich hasta el equinoccio vernal.

### 2.4.3 Sistema de coordenadas geodésico.

Si bien las coordenadas que brinda el GPS son geocéntricas, para el cálculo y aplicaciones ingenieriles se utiliza coordenadas geodésicas. Una de las razones es que las coordenadas geocéntricas con respecto a origen de la Tierra tienen valores demasiado extensos con el plano X-Y en el plano del ecuador; otra razón es que los ejes no están relacionados con las direcciones convencionales de norte, sur, este y oeste sobre la superficie de la Tierra; finalmente las coordenadas geocéntricas no dan indicaciones sobre las elevaciones relativas entre los puntos. (Wolf & Ghilani, 2009).

De esta manera las coordenadas geocéntricas son convertidas a coordenadas geodésicas expresadas en latitud ( $\phi$ ), longitud ( $\lambda$ ) y altura ( $h$ ) de manera que sean más convenientes y significativas para su aplicación, sus elementos son indicados en la **Figura 2.4**.



**Figura 2.4.** Elementos del Sistema de coordenadas geodésico

Fuente: (Wolf & Ghilani, 2009)

## **2.5 Marco de Referencia.**

La ubicación física de un sistema de referencia convencional se lo realiza por medio del Marco de Referencia. El Marco de Referencia consiste en un conjunto de coordenadas y velocidades que son conocidas por el sistema referencial adoptado y de esta manera materializar en el espacio el sistema de referencia convencional.

El marco geodésico de referencia nacional en Ecuador se basa en la REGME y actualmente utiliza marcos de referencia el ITRF94 y SIRGAS.

### **2.5.1 ITRF.**

El ITRF, **I**nternational **T**errestrial **R**eference **F**rame (Marco de Referencia Terrestre Internacional) cumple con los atributos de un marco de referencia global es decir tener un alcance global, ser realizado en base a técnicas geodésicas espaciales, ser tridimensional y dinámico. Esta última característica implica considerar como variable al tiempo, denominado como la “cuarta coordenada” así como también considerar a los movimientos de la corteza terrestre y sus efectos sobre el movimiento de los puntos que forman parte de las redes.

La presencia del GPS permite cuantificar los desplazamientos por primera vez y, posteriormente considerando que el desplazamiento de los puntos es medido en diferentes épocas, es posible conocer las velocidades de desplazamiento de los puntos.

Se debe tener en cuenta que al considerar al tiempo en los puntos de las redes también debe hacerse en el marco de referencia, así por ejemplo tenemos los marcos ITRF2000, ITRF2005 e ITRG2008 entre los últimos marcos de referencia.

### **2.5.2 SIRGAS.**

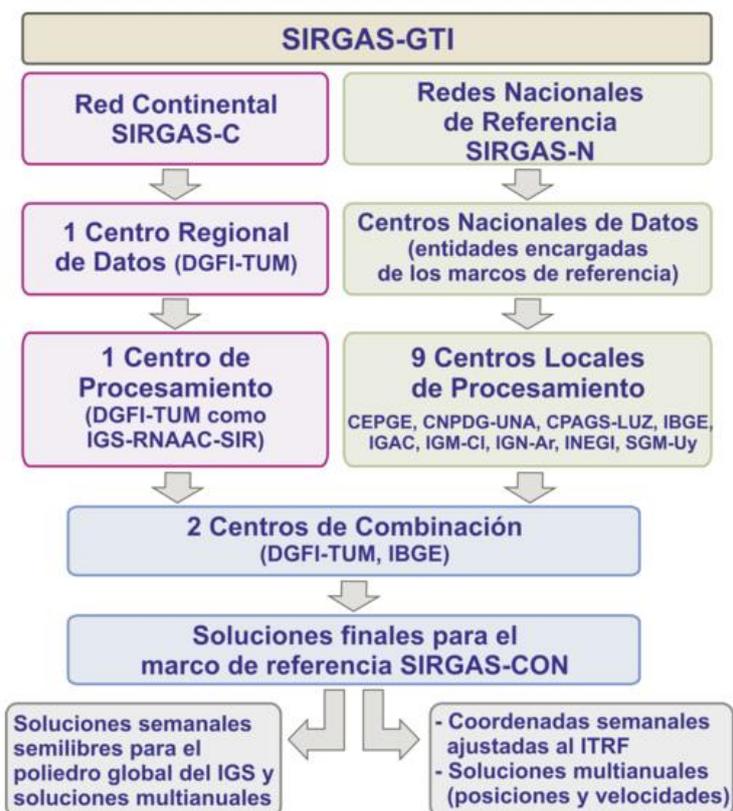
El **S**istema de **R**eferencia **G**eocéntrico para las **A**mérica**S** es una organización sin fines de lucro, cuyos objetivos principales se centran en la definición, realización y mantenimiento de un marco de referencia tridimensional geocéntrico para las Américas, incluyendo un sistema de referencia vertical asociado al campo de gravedad terrestre. Las iniciativas SIRGAS están encaminadas al mejoramiento continuo de sus componentes para estar a la vanguardia en los asuntos geodésicos y satisfacer de una manera más efectiva los requerimientos de sus usuarios. (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas, 2015)

Su definición corresponde con el ITRS y su realización es una densificación regional del ITRF, el datum geodésico SIRGAS está definido por el origen, la orientación y la escala del

sistema SIRGAS (ITRS) y para su transformación de coordenadas geocéntricas a geográfica se adelanta utilizando los parámetros del elipsoide GRS80. (Zurita, 2011)

### 2.5.3 Coordenadas Semanales de las estaciones de la red SIRGAS-CON

Actualmente la red SIRGAS-CON (SIRGAS de funcionamiento CONTinuo) está formada por aproximadamente 400 estaciones a lo largo de los países latinoamericanos. La red comprende una red de cobertura continental (SIRGAS-C) con densificación primaria del ITRF en Latinoamérica, con estaciones estables, de funcionamiento óptimo, que garantizan consistencia, perdurabilidad y precisión del marco de referencia a través del tiempo. También están comprendida por redes SIRGAS–N (SIRGAS nacionales de referencia) las mismas que permiten densificar la red continental y permiten acceso al marco de referencia tanto a nivel local como nacional. Tanto la red continental como las nacionales tienen las mismas características y calidad y cada estación es procesada por tres centros de análisis. El procesamiento de cada una de las redes se indica de manera resumida en la **Figura 2.5**. Se debe mencionar que las posiciones calculadas de las estaciones son realizadas diariamente y las soluciones cada siete días corresponden a las soluciones de una semana GPS. (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas, 2015).



**Figura 2.5.** Procesamientos Red SIRGAS-CON

Fuente: (SIRGAS, 2015)

## 2.6 REGME

A partir del año 2008 la REGME (Red GNSS de monitoreo continuo del Ecuador) con la intervención de instituciones públicas y privadas (tanto nacionales como internacionales) se encuentra enlazada a la RENAGE (Red Nacional GPS Ecuador). La RENAGE es una red pasiva que consiste en una infraestructura de mojones de concreto empotrados en el terreno. Cada estación de RENAGE está referenciado físicamente por medio de una placa de aluminio colocada sobre un mojón de concreto. Las estaciones pasivas que constituyen la RENAGE se pueden observar en la **Figura 2.6**.



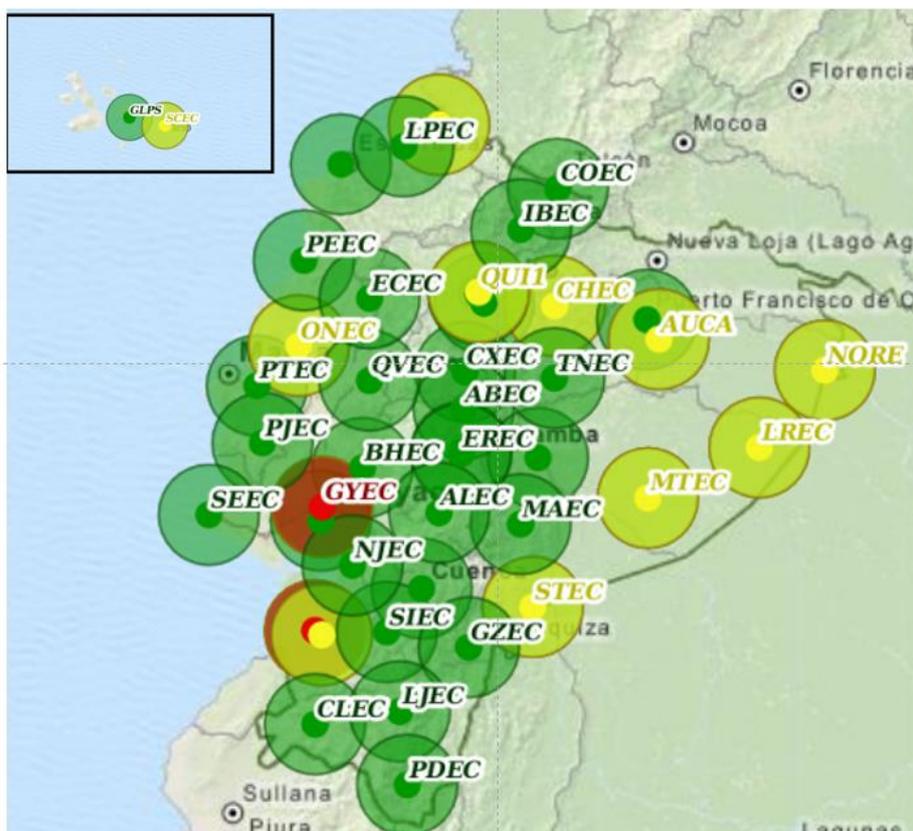
**Figura 2.6.** RENAGE

**Fuente:** (Instituto Geográfico Militar , 2015)

Actualmente la REGME consta de 34 estaciones permanentes, como se puede observar en la **Figura 2.7**. Estas estaciones reciben datos GNSS (GPS+GLONASS) en períodos de 24 horas al día, 7 días a la semana y los 365 días del año, lo que permite, sin necesidad de salidas al campo para la ubicación de bases GPS continuar entregando la información necesaria para realizar el procesamiento diferencial de información GNSS. (Cisneros, 2014)

En función de las condiciones topográficas, obstrucciones y del número de datos obtenidos durante el levantamiento, la precisión que se obtiene con el posicionamiento diferencial utilizando datos de la REGME, puede estar entre dos a cinco centímetros.

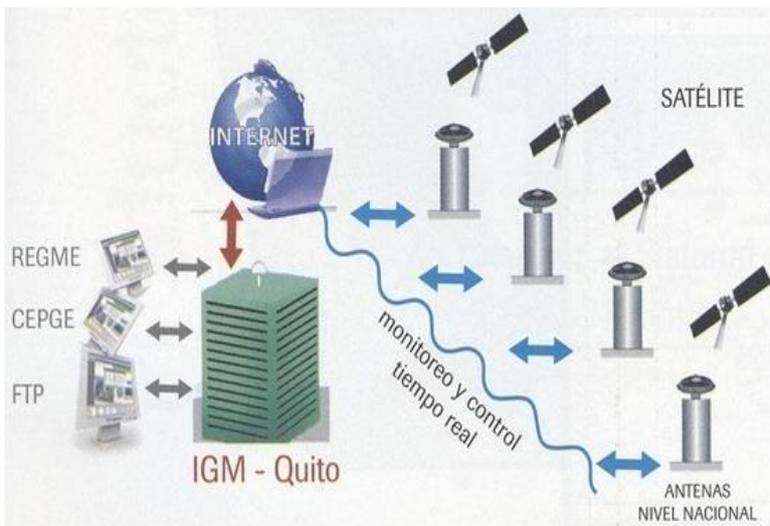
Las precisiones alcanzadas en el posicionamiento diferencial, a través del uso de los datos de la REGME están al nivel de 2-5 cm en la componente horizontal, dependiendo de las condiciones topográficas del levantamiento, el nivel de obstrucciones físicas y la cantidad de información rastreada en la campaña de posicionamiento.



**Figura 2.7.** REGME

**Fuente:** (Instituto Geográfico Militar , 2015) adaptada por el autor

Las actividades que permite tener un Marco Geodésico de Referencia Nacional actualizado se muestran de manera resumida en la **Figura 2.8.**



**Figura 2.8.** Esquema de funcionamiento de la REGME

**Fuente:** (Cisneros, 2014)

## 2.7 CEPGE.

El CEPGE (Centro de procesamiento de datos GNSS del Ecuador) es el encargado de mantener el Marco de referencia geodésico horizontal de Ecuador actualizado, actividad que se puede llevar a cabo por medio del procesamiento científico de los datos GNSS de las estaciones de la REGME, así como la realización de control de calidad y análisis de datos GNSS generados por la REGME; además cumple funciones de recopilación, respaldo seguro y ordenado, y pone a disponibilidad de los usuarios la información que cumpla con los requerimientos establecidos por el IGM. El producto final son archivos RINEX 2.11, archivados en el servidor FTP (File Transfer Protocol) del instituto IGM para el uso y aplicación de los usuarios. (Cisneros, 2013)

## 2.8 Formato RINEX.

La REGME genera archivos diarios (de 24 horas) en formato RINEX, las mismas que son las siglas en inglés de "Receiver INdependent EXchange". RINEX consiste en un formato de ficheros de texto orientado a almacenar, de manera estandarizada, medidas proporcionadas por receptores de sistemas de navegación por satélite, como GPS, GLONASS, EGNOS, WAAS o Galileo. RINEX es el formato estandarizado que permite la gestión y almacenamiento de las medidas generadas por un receptor, así como su procesado off-line por multitud de aplicaciones informáticas, independientemente de cual sea el fabricante tanto del receptor como de la aplicación informática. (Gurtner & Estey, 2007).

Actualmente se obtienen datos RINEX 2.11 con un intervalo de almacenamiento y registro de 30 segundos y 1 segundo para cada estación. Las coordenadas SIRGAS 95, ITRF 94 se presentan en las fichas técnicas, las que están compuestas de cuatro tipos de ficheros:

- Fichero de los datos de observación
- Fichero de datos meteorológicos
- Ficheros con el mensaje de navegación
- Fichero del mensaje de navegación del sistema GLONASS

El formato establecido de los archivos RINEX para el postproceso GNSS es mostrado en la **Figura 2.9**.

Para la estación permanente ubicada en la ciudad de Esmeraldas, ESMR, ubicada en la provincia de Esmeraldas, el esquema FTP estructural es:

**ESMR0390.11O**

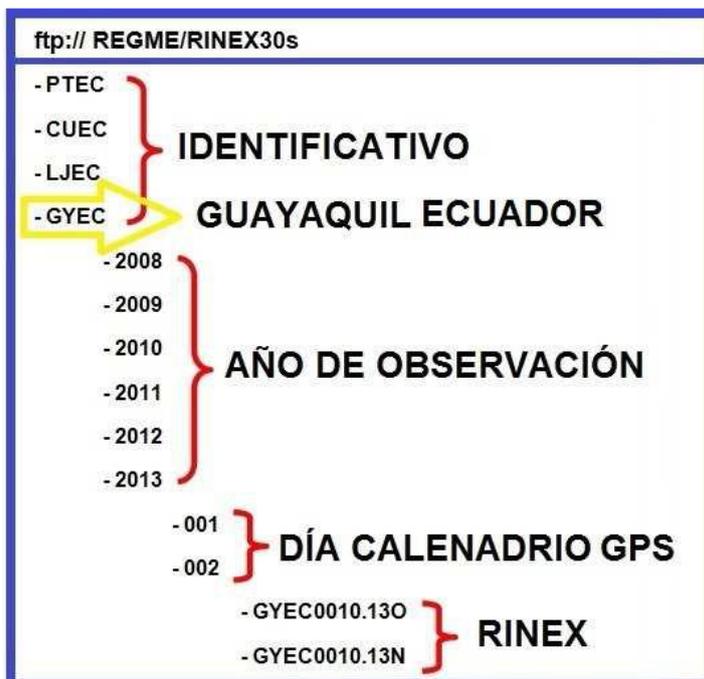
**ESMR0390.11N**

**ESMR:** Esmeraldas (Identificativo y nombre de la estación).

**0390:** Día del calendario GPS (juliano) correspondiente al 08 de febrero.

**.11O:** Año 2011, archivo que contiene los Observables GNSS.

**.11N:** Año 2011, archivo que contiene el registro de Navegación de los satélites GNSS.



**Figura 2.9.** Esquema estructural FTP REGME

Fuente: (Cisneros, 2013)

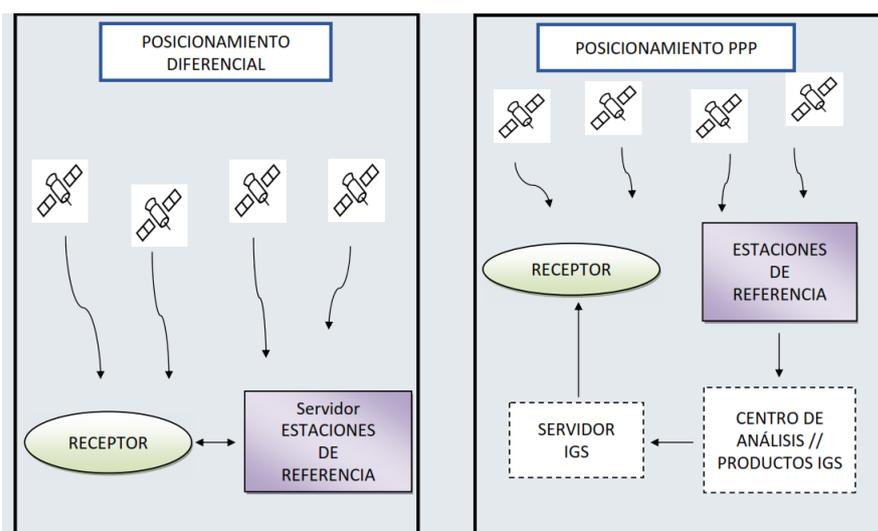
## 2.9 Posicionamiento Preciso de Punto (PPP).

El PPP es un servicio de post-procesamiento que utiliza datos de medición con fase no diferenciados, lo que significa que son obtenidos de un solo receptor de tipo geodésico. Este método también incluye datos de corrección de los errores, tanto para órbitas precisas como

para los relojes de los satélites; y, finalmente un esquema de modelamiento adicional de errores (Conjunto de correcciones pertenecientes a este método como efecto relativístico, mareas terrestres, carga oceánica, rotación de fase satelital, movimiento del polo y placas tectónicas), que tienen como finalidad obtener una solución a nivel de centímetro/ decímetro. (Ivars, 2013)

En la **Figura 2.10** se muestra las diferencias entre el proceso de Posicionamiento PPP y el Posicionamiento Diferencial. El posicionamiento diferencial es un método que utiliza las mediciones de los mismos satélites al mismo tiempo para eliminar errores orbitales de los relojes de los satélites así como del medio de propagación de la señal a través de la tropósfera y de la ionósfera; utilizando una doble diferenciación entre satélite-receptor, de esta manera se puede determinar la diferencia entre dos posiciones con exactitud a nivel de milímetro/centímetro. Se necesita que una de las posiciones sea conocida a través de un marco de referencia, para aplicar el incremento de coordenadas ( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ ) y determinar la posición de los nuevos puntos. (Capilla Romá, Soria Pozo, & Martín Furones, 2012).

Entre las desventajas que tiene esta metodología son los largos tiempos de convergencia, necesario para garantizar una exactitud a nivel de cm. (Rizos, Janssen , Roberts, & Grinter, 2012)



**Figura 2.10.** Procedimiento de Posicionamiento diferencial vs Posicionamiento PPP

**Fuente:** (Capilla Romá, Soria Pozo, & Martín Furones, 2012)

Entre las principales ventajas de la aplicación de esta metodología se encuentran: no es necesario vincularse a un marco de referencia con coordenadas conocida de una estación base; la longitud del vector o de la base no representan una limitación; el trabajo de campo y el procesamiento de las observaciones GNSS se los realiza de manera más eficaz, permite

acceso directo al marco ITRF y, se utiliza tanto en levantamientos estáticos como cinemáticos. (Ivars, 2013).

Actualmente existen algunas aplicaciones en línea para realizar el PPP, como las siguientes:

- Natural Resources Canada (NRCan) – CSRS- PPP  
**Enlace Web:** [http://www.geod.nrcan.gc.ca/online\\_data\\_e.php](http://www.geod.nrcan.gc.ca/online_data_e.php)
- Instituto Brasileiro de Cartografía y Estadística (IBGE)-PPP  
**Enlace Web:** <http://www.ppp.ibge.gov.br/ppp.htm>
- University of New Brunswick (UNB) - GPS Analysis and Positioning Software (GAPS)  
**Enlace Web:** <http://gaps.gge.unb.ca/>
- NASA Jet Propulsion Laboratory (JPL) - Automatic Precise Positioning Service (APPS)  
**Enlace Web:** <http://apps.gdgps.net/>
- Magic GNSS  
**Enlace Web:** <http://magicgnss.gmv.com/ppp/>

### **2.9.1 Natural Resources Canada (NRCan) – CSRS- PPP.**

Es una aplicación en línea que permite calcular posiciones de mayor precisión de datos de observación en bruto. CSRS-PPP utiliza las efemérides orbitales de los satélites GNSS para producir coordenadas de una precisión constante "absoluta", es decir no importa la proximidad a las estaciones de base conocidas. Se puede cargar datos de observación en formato RINEX de los receptores individuales o de doble frecuencia que funcionan en modo estático o cinemático a través de Internet y así recuperar precisiones mejoradas de posicionamiento en el Sistema Canadiense de referencia espacial (CSRS) y Marco de Referencia Terrestre Internacional (ITRF). (Natural Resource Canada, 2014).

Se muestran aspectos relevantes del NRCan y que son indicadas en su página oficial.

#### **2.9.1.1 Modo de procesamiento.**

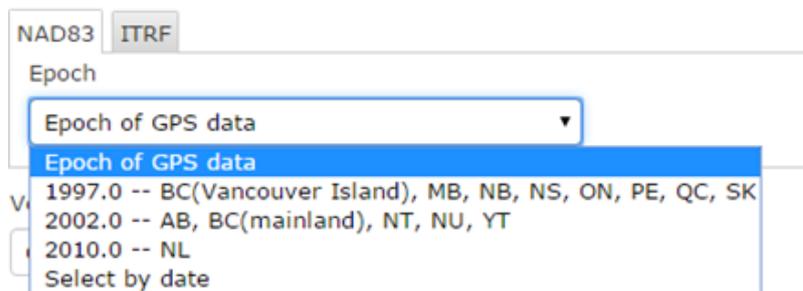
**Estático:** o como indica su nombre "fijo" como es el caso de las estaciones de la REGME

**Cinemático:** o como indica su nombre "movimiento", es decir estaciones GNSS dinámicas

#### **2.9.1.2 Marco de Referencia de coordenadas de salida.**

**NAD83:** Como se indica en la **Figura 2.11** al momento de seleccionar este marco de referencia tenemos algunas opciones como la época del dato GPS, 1997, 2002, 2010, y por último seleccionar un día.

**ITRF:** La época será igual que la de los datos GPS y la zona UTM será calculada desde la longitud.



**Figura 2.11.** Épocas de datos GPS en el Marco de referencia NAD83  
**Fuente:** (Natural Resource Canada, 2014)

### **2.9.1.3 Modelos de geoide.**

Se tiene dos opciones de modelo de geoide, expresadas por medio del datum vertical:

- Datum Vertical Geodésico Canadiense de 2013 (CGVD2013)
- Datum Vertical Geodésico Canadiense de 1928 CGVD28 modelo (HT2\_O)

## **2.10 Método de mínimos cuadrados simples.**

En realidad se desconoce el valor exacto de cualquier cantidad medida, sin embargo algunos tipos de errores se pueden compensar en base a la suma de varias medidas. Por ejemplo, un triángulo siempre está conformado por  $180^\circ$  en la suma de sus ángulos interiores. Se puede aplicar este tipo de comprobaciones con algunos métodos que se basan en probabilidades e intentan ajustar el error al valor más probable en base a la tendencia de los datos.

El método de mínimos cuadrados refuerza la condición de que la suma de la ponderación de las mediciones, multiplicada por sus residuos correspondientes elevados al cuadrado, se minimiza. Se debe tener presente que esta condición fundamental se basa en la ecuación de la curva de distribución del error normal, la cual proporciona los valores más probables para las cantidades ajustadas. Así mismo, este método sirve para determinar las precisiones de los valores ajustados, revela la presencia de errores grandes y equivocaciones, de manera que pueden tomarse medidas para eliminarlos, haciendo lo posible para el diseño óptimo de procedimientos topográficos en el gabinete antes de proceder a tomar medidas en el campo.

Entre las hipótesis básicas en que se apoya este método se encuentra: las equivocaciones y errores sistemáticos han sido eliminados, por lo que solo se tienen errores aleatorios, el

número que debe ajustarse es grande; y, la distribución de las frecuencias de los errores es normal. Sin embargo estas hipótesis no siempre se cumplen, el ajuste por mínimos cuadrados proporciona el tratamiento más riguroso de los errores y por ello es tan popular e importante en la topografía actual. (Wolf & Ghilani, 2009).

### **2.10.1 Regresión Lineal por mínimos cuadrados.**

Cuando la relación de las dos variables con las que se realiza el análisis es lineal el ajuste por mínimos cuadrados se denominará método de regresión lineal. (Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutierrez, 2015)

### **2.10.2 Desviación estándar.**

La desviación estándar sirve para medir la dispersión de los valores observados alrededor de la línea de regresión, y es una de las múltiples maneras de hacer un ajuste en la ecuación general de la regresión lineal por mínimos cuadrados.

## **2.11 Series temporales.**

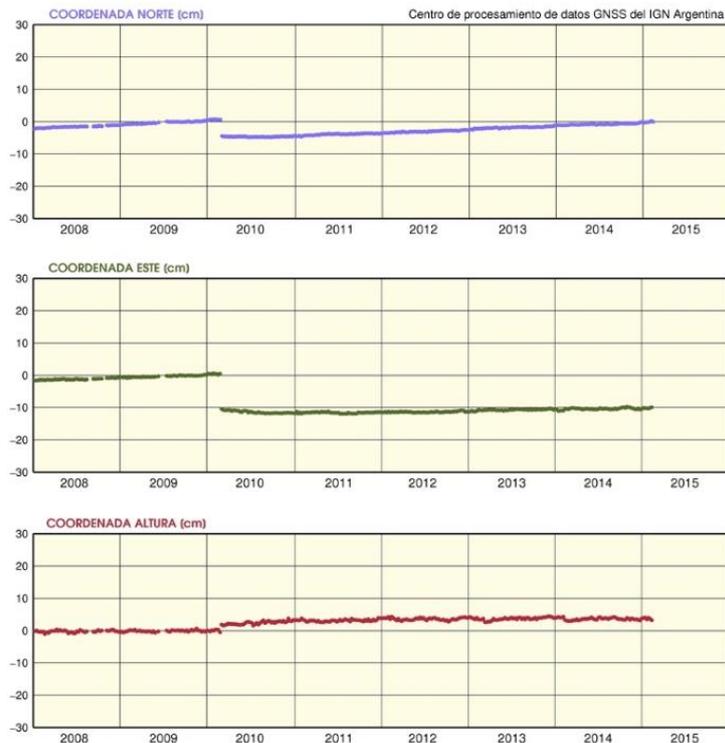
El marco ITRF se distingue entre otras cosas por incluir la cuarta coordenada: el tiempo. Actualmente, con la implementación de la REGME es posible determinar las variaciones temporales de las posiciones de las estaciones de referencia. Esto será posible cuando se haya llevado a cabo el procesado de los datos por medio de centros de procesamiento y análisis de datos, para luego determinar variaciones de las coordenadas Norte, Este y Altura a través de las denominadas series de tiempo.

Una serie temporal es el conjunto de observaciones  $z_1, z_2, \dots, z_k$  generadas secuencialmente en el tiempo, dichas observaciones son consideradas como la realización de un proceso estocástico (Sucesión de variables aleatorias  $z_t$  observadas en diferentes instantes en que se captura la información de la variable de interés). (Lizarazo, Mora Paéz, & Fernando Santa, 2013).

El movimiento constante de la corteza terrestre, así como de la ocurrencia de fenómenos naturales de gran relevancia como sismos entre otros, crean discontinuidades o saltos como las que se indica en la **Figura 2.10**, figura en la que se muestran las series temporales la Estación MZAC (Mendoza, Argentina). Se observa un claro ejemplo de discontinuidad que, en este caso, fue provocado por el terremoto del 27 de febrero de 2010 en Chile. Este tipo de sucesos hacen necesario que constantemente se deba ir actualizando el marco de referencia que es el objetivo principal de la REGME.

## Estación MZAC

Mendoza, Mendoza



**Figura 2.12.** Serie temporal Estación MZAC

**Fuente:** (Instituto Geográfico Nacional (IGN), 2015)

Según (Cisneros, 2013) la deformación local en Ecuador continental es de 0 a 3cm/a lo que concuerda con la estimación del movimiento de la Placa Sudamericana a razón de 1cm/a:

- El movimiento estimado en la Costa es de 2cm/a
- En la Sierra de los Andes el movimiento estimado es de 1.5cm/año.
- En el sector Oriental se estima un movimiento menor de 1cm/año.
- En Galápagos el movimiento estimado concuerda con la placa de Nazca a razón de 5cm/año aproximadamente.

### 2.12 Aplicaciones de Series Temporales.

Es necesario conocer el comportamiento a corto, mediano o largo plazo de algunos fenómenos físicos para realizar una correcta toma de decisiones en cuanto a la planificación, prevención, y organización de determinadas variables como posición, velocidad, desplazamiento de un punto a partir del comportamiento en épocas anteriores.

La determinación de la dirección, desplazamientos, velocidades de desplazamiento de una estación permanente para mantener actualizado el marco de referencia de un país, determinar el comportamiento de las placas tectónicas, interpretar el comportamiento luego de un evento sísmico, entre otras, son algunas de las múltiples aplicaciones de series

temporales a las ciencias de la Tierra. Otras aplicaciones del análisis de series temporales pueden darse en las ciencias administrativas, por ejemplo para analizar el comportamiento del mercado (precio del dólar, tasa de inflación, índice de precios, etc.) así como aspectos económicos como el precio de un artículo determinado, tasa de desempleo, natalidad y mortalidad. También pueden ser aplicadas en las ciencias humanas como en la generación de electrocardiograma, electroencefalograma, entre otros.

La aplicación de series temporales en la rama de la ingeniería civil son cada día más relevantes, entre las más comunes se puede describir la predicción de cantidad de lluvia, estimar los niveles de agua en embalse para evitar desbordamientos, comportamiento del escurrimiento superficial, estimación de una serie de tráfico, tasas de crecimiento poblacional, series sísmológicas, en fin para el análisis de cualquier método cuantitativo, el uso de series temporales es uno de los principales aliados.

Cada vez se está trabajando en realizar predicciones que sean lo más cercanas a la realidad, es por esto que es necesario aumentar el número de observaciones en el tiempo para tener una base de datos cada vez más consistente y así simular lo más cercano a la realidad. Además es importante aplicar los métodos más apropiados en base a las características de los datos con los que se está trabajando.

El uso de series temporales permitirá realizar el análisis de cualquier fenómeno con un comportamiento constante como aleatorio siempre y que este sea posible de ser medido o cuantificado en función del tiempo.

**CAPÍTULO III:  
METODOLOGÍA**

### 3.1 Metodología general.

La metodología empleada es presentada en la **Figura 3.1** y se describirá a detalle a lo largo del presente capítulo.



**Figura 3.1.** Metodología Empleada

Fuente y Elaboración: El autor

### 3.2 Procesamiento datos GNSS.

El procesamiento de datos GNSS incluye selección, descarga y post-procesamiento de los datos crudos. La **Figura 3.2** describe, de forma general, este proceso.



**Figura 3.2.** Metodología general

Fuente y Elaboración: El autor

### 3.2.1 Selección de estaciones.

La selección de las estaciones para el análisis se ha basado en las siguientes características propias de las estaciones:

- Identificación de los sitios en donde se registró el movimiento sísmico.
- Proximidad al epicentro del sismo.
- Disponibilidad de datos RINEX antes y después del evento sísmico.

Una vez analizados los parámetros expuestos anteriormente, se elige las estaciones ESMR, QVEC y SNLR, de las que se muestra sus principales características en la **Tabla 3.1**. El Anexo 1 presenta la Ficha Técnica de la estación ESMR.

**Tabla 3.1.** Estaciones seleccionadas para el análisis

Estación	Provincia	Ciudad	Propietario	Coordenadas Planas UTM 17 SUR		Altura elipsoidal (m)
				Norte (m)	Este (m)	
ESMR	Esmeraldas	Esmeraldas	Instituto Geofísico-EPN	103,332.347	641,938.21	251.754
QVEC	Los Ríos	Quevedo	IGM-Ecuador	9,888,074.831	670,292.40	115.416
SNLR	Esmeraldas	San Lorenzo	Instituto Geofísico-EPN	142,963.447	739,570.34	23.071

**Fuente:** (Instituto Geográfico Militar , 2015)

**Elaboración:** El autor

### 3.2.2 Selección del intervalo de observación.

Los intervalos de observación empleados para la descarga de datos están en función del tipo de dato; así:

- Para datos RINEX, estos serán recolectados en un intervalo de observación de 30 segundos; en este mismo archivo se encuentran las coordenadas diarias.
- Para datos de SIRGAS-CON; estos serán recolectados en un intervalo de observación semanal (cada 7 días).

### 3.2.3 Selección de periodo de análisis.

El período de análisis tiene relación con el tipo de datos que se utilizarán, dependiendo del tipo de dato se procederá así:

- Con datos diarios de las estaciones ESMR, QVEC Y SNLR disponibles un año antes y un año después del día de ocurrencia del sismo (08 de febrero de 2011 al 08 de febrero de 2013).

- Con coordenadas semanales de la red SIRGAS-CON de las estaciones ESMR y QVEC en un período de dos años antes y dos años después del evento sísmico (08 de febrero de 2010 a la semana del 08 de febrero de 2014; correspondientes a las semanas 1622 a 1726 del calendario GPS).
- Con datos cada 30 segundos de las estaciones ESMR, QVEC Y SNLR una hora antes y una hora después de la hora ocurrencia del sismo (04:54 a.m. hasta las 06:54 a.m. de día 08 de febrero de 2012).
- Con datos cada 30 segundos de las estaciones ESMR, QVEC Y SNLR en un período de 48 horas en el que no se registre ningún evento que pueda afectar el normal comportamiento de las estaciones.

### **3.2.4 Descarga de datos.**

#### **3.2.4.1 Descarga de datos Rinex.**

Una vez delimitado las estaciones, los intervalos de observación y el período de análisis, se solicita acceso al IGM para descargar de la red REGME los archivos diarios de 24 horas en formatos RINEX 2.11 con un intervalo de rastreo de 30 segundos así como sus coordenadas (SIRGAS 95, ITRF 94). Para la descarga de estos datos se debe realizar el siguiente proceso:

Acceder al visor de la Red GNSS del Ecuador a través de la dirección electrónica [http://www.geoportaligm.gob.ec/visor\\_regme/](http://www.geoportaligm.gob.ec/visor_regme/) donde se presenta: una interfaz con cada una de estaciones que comprende la red REGME y su estado de funcionamiento actual: activo, en mantenimiento o inactiva. La **Figura 3.3** muestra una captura de pantalla del Geoportal IGM.

En la **Figura 3.3** se puede seleccionar, en su parte derecha, la estación REGME de la que se quiere descargar los datos. Al hacer clic derecho sobre la estación de interés, se muestra una serie de opciones de elección. Se selecciona la opción “descarga de información GNSS” como se indica en la **Figura 3.4**. A continuación se ingresa los datos de Usuario y Clave para acceder a la información GNSS del Geoportal.

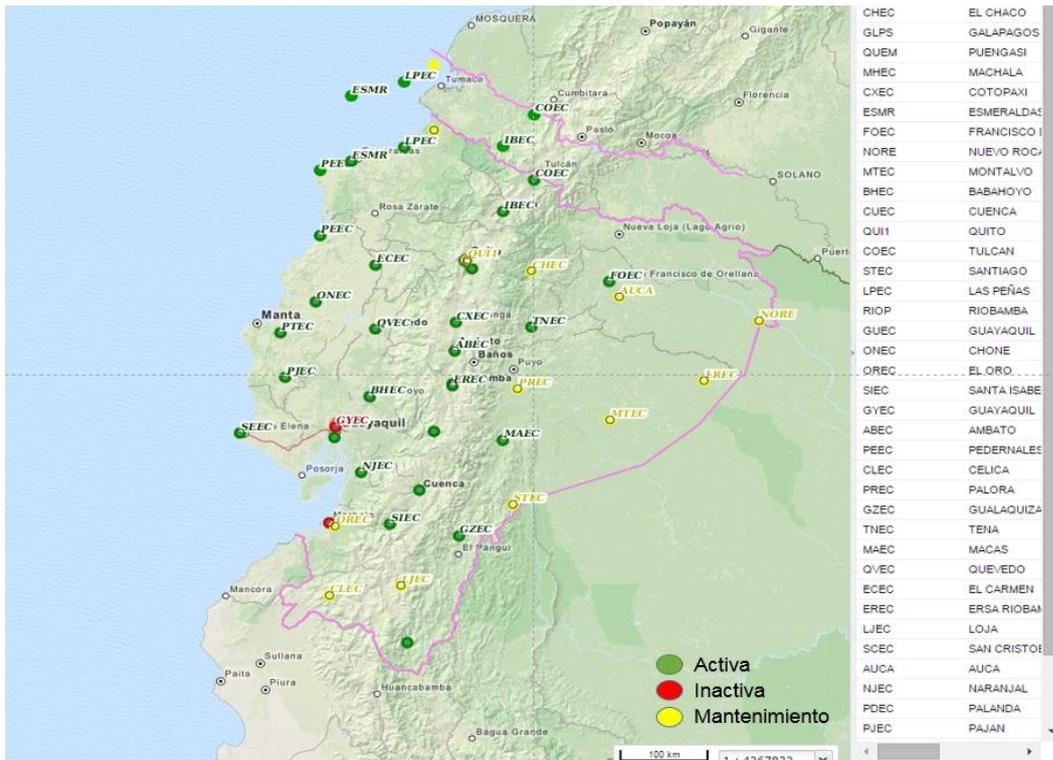


Figura 3.3. Visor de la red GNSS de Ecuador

Fuente: (Instituto Geográfico Militar , 2015).

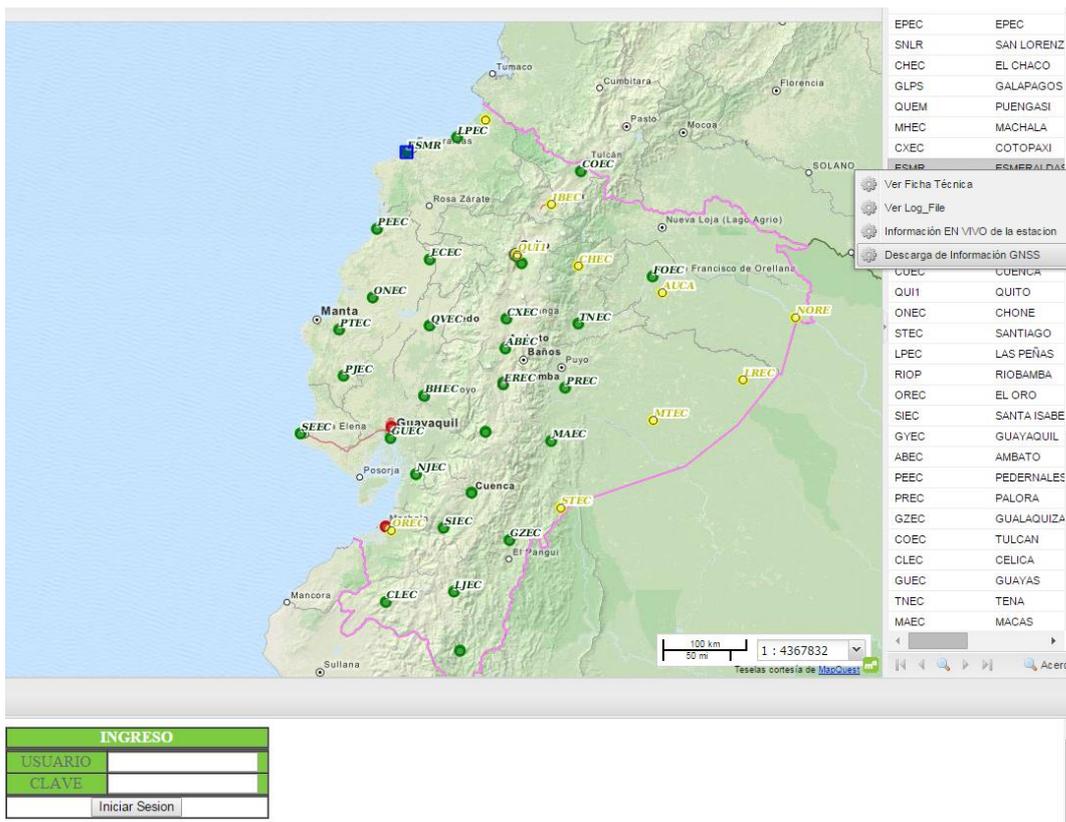


Figura 3.4. Descarga de información GNSS

Fuente: (Instituto Geográfico Militar , 2015).

Luego de ingresar la información inicial, y se elige la opción de “Iniciar Sesión”. Posteriormente aparecerá un icono como el de la **Figura 3.5** donde se muestra Datos Solicitados. La información solicitada es la siguiente:

- **Estación:** Selección de la estación de la cual se quiere descargar los datos RINEX
- **Fecha:** Selección del día cual se quiere obtener los datos; para esto se selecciona en el icono de la parte izquierda denominado “Selección Día” en el que se ingresará la información del año, mes y día.
- **Observación:** Se indica si se descargarán datos diarios a cada 30 segundos o diarios a 1 segundo. Para esto se selecciona en la opción “Selección Intervalo de Observación”
- **Proyecto:** Se justifica el uso de los datos con una pequeña descripción de para qué se utilizarán los mismos.

Selección Intervalo de Observación		Datos Solicitados	
<input type="radio"/> Diaria a 1 segundo	<input checked="" type="radio"/> Diaria a 30 segundos	Estación:	QVEC
		Fecha:	07/08/2012
		Observación:	Diaria a 30 segundos
		Proyecto:	Tesis_Desplazamientos_Cedillo_Jackson
		<input type="button" value="Enviar"/>	

**Figura 3.5.** Datos solicitados para descarga de información GNSS

**Fuente:** (Instituto Geográfico Militar , 2015)

Una vez ingresados todos los datos solicitados se hace clic en la opción “Enviar”. Luego de algunos segundos, aparecerá en la parte derecha de la pantalla algunos ficheros como los que se muestran en la **Figura3.6**. Desde estos ficheros se podrá descargar los datos solicitados. Para la descarga de datos se puede realizar con el archivo de extensión *N* que muestra los datos en una nueva pestaña del navegador o con el archivo de extensión *D.z*, el mismo que contiene un archivo comprimido con los datos crudos. En esta investigación se realiza la descarga del archivo *D.z*.

En el fichero de descarga de datos solicitados se tiene también algunos manuales y softwares que servirán para la descompresión de los archivos en Hatanaka. En esta investigación no fue necesario el uso de ninguno de los manuales o softwares que se ofrece en la página del Geoportal IGM.

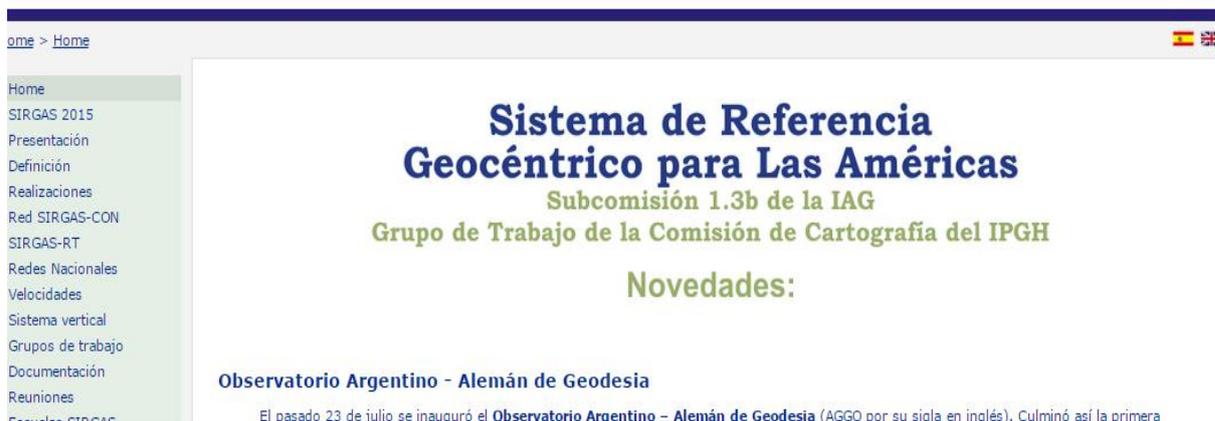
DESCARGA DE DATOS SOLICITADOS		
DESCARGA DE DATOS	Tamaño	Fecha Modificación
<a href="#">descargas/QVEC0110.13D.z</a>	0.70 Mb	30/01/15 10:21:03
<a href="#">descargas/QVEC0110.13N</a>	0.11 Mb	30/01/15 10:21:03
Manuales y Software		Fuente
<a href="#">Windows</a>	Software	<a href="http://sopac.ucsd.edu/dataArchive/hatanaka.html">http://sopac.ucsd.edu/dataArchive/hatanaka.html</a>
<a href="#">Linux 32 bits</a>	Software	<a href="http://sopac.ucsd.edu/dataArchive/hatanaka.html">http://sopac.ucsd.edu/dataArchive/hatanaka.html</a>
<a href="#">Linux 64 bits</a>	Software	<a href="http://sopac.ucsd.edu/dataArchive/hatanaka.html">http://sopac.ucsd.edu/dataArchive/hatanaka.html</a>
<a href="#">Manual HATANAKA</a>	Manual	IGM - GNSS

**Figura 3.6.** Fichero de descarga de datos solicitados

**Fuente:** (Instituto Geográfico Militar , 2015)

### 3.2.4.2 Descarga de coordenadas semanales de la red SIRGAS-CON.

Para la descarga de datos semana en la página de SIRGAS no es necesario un USERNAME o PASSWORD; simplemente es necesario dirigirse a la página oficial de SIRGAS <http://www.sirgas.org/index.php?id=15> . La **Figura 3.7** muestra la interfaz de SIRGAS.



**Figura 3.7.** Interfaz página SIRGAS

**Fuente:** (SIRGAS, 2015)

Una vez en la página se selecciona la opción “RED SIRGAS-CON” que extenderá varias opciones de las cuales se selecciona “Coordenadas” una vez realizado este proceso aparecerá en la pantalla un listado de los productos de la red SIRGAS-CON donde se seleccionará “Coordenadas semanales de las estaciones SIRGAS-CON” que mostrará la interfaz que se indica en **Figura 3.8**.

- SIRGAS 2015
- Presentación
- Definición
- Realizaciones
- Red SIRGAS-CON
- Estaciones
- Interactivo
- Serie de tiempo
- Coordenadas
- Procesamiento
- Centros de Datos
- Centros de Análisis
- Análisis Ionosférico
- SIRGAS Mail
- Logfiles
- Guías
- Mapas
- SIRGAS-RT
- Redes Nacionales
- Velocidades
- Sistema vertical
- Grupos de trabajo
- Documentación
- Reuniones
- Escuelas SIRGAS
- Sitios de interés
- Sobre la página web
- Sitemap
- Contacto
- Condiciones de uso

### Coordenadas semanales de las estaciones SIRGAS-CON

Las coordenadas semanales de las estaciones **SIRGAS-CON** (red continental + redes nacionales de referencia) son obtenidas de la combinación de las soluciones individuales proporcionadas por los **Centros de Procesamiento SIRGAS**.

El nombre de los archivos corresponde con **cccyPpwww**:

**cc** identifica el centro de combinación (IBG: IBGE, SIR: IGS-RNAAC-SIR),  
**yy** indica los dos últimos dígitos del año,  
**P** representa la técnica GPS,  
**www** es la semana GPS.

Las soluciones semanales calculadas antes de la semana GPS 1400 (4 de noviembre de 2006) han sido reprocesadas incluyendo correcciones absolutas a las variaciones de los centros de fase de las antenas GNSS (ver [IGSMail-5189], [IGSMail-5272]) y utilizando el **IGS05** como marco de referencia (ver [IGSMail-5438], [IGSMail-5447], [IGSMail-5453]). Estas soluciones se identifican mediante **s1yyPpwww.crd**.

Las coordenadas calculadas para las semanas comprendidas entre el 5 de noviembre de 2006 (semana GPS 1400) y el 16 de abril de 2011 (semana GPS 1631) se refieren directamente al **IGS05** (ver [IGSMail-5438], [IGSMail-5447], [IGSMail-5453]).

Las coordenadas semanales de las estaciones SIRGAS-CON calculadas entre el 17 de abril de 2011 (semana GPS 1632) y el 6 de octubre de 2012 (semana GPS 1708) están dadas en el marco de referencia **IGS08** (ver [IGSMail-6354], [IGSMail-6355], [IGSMail-6356]).

A partir del 7 de octubre de 2012 (semana GPS 1709), las coordenadas semanales de las estaciones SIRGAS-CON están dadas en el marco de referencia **IGB08** (ver [IGSMail-6663]).

A partir del **1 de enero de 2012**, las combinaciones calculadas por el **IBGE (ibgyPpwww.crd, .sum)** contienen las coordenadas semanales oficiales de la red SIRGAS-CON, mientras que las combinaciones generadas por el **IGS-RNAAC-SIR (siryPpwww.crd, .sum)** sirven de control y respaldo.

Los archivos con extensión **crd** contienen las coordenadas finales. Archivos con extensión **sum** contienen el reporte de la combinación para la semana correspondiente.

Semana	Época	Combinación IBGE		Combinación IGS-RNAAC-SIR	
1853	2015-07-15 (2015.52)	ibg1SP1853.crd	IBG1853S.SUM	sir1SP1853.crd	SIR18537.SUM
1852	2015-07-08 (2015.50)	ibg1SP1852.crd	IBG1852S.SUM	sir1SP1852.crd	SIR18527.SUM
1851	2015-07-01 (2015.48)	ibg1SP1851.crd	IBG1851S.SUM	sir1SP1851.crd	SIR18517.SUM
1850	2015-06-24 (2015.46)	ibg1SP1850.crd	IBG1850S.SUM	sir1SP1850.crd	SIR18507.SUM
1849	2015-06-17 (2015.44)	ibg1SP1849.crd	IBG1849S.SUM	sir1SP1849.crd	SIR18497.SUM
1848	2015-06-10 (2015.42)	ibg1SP1848.crd	IBG1848S.SUM	sir1SP1848.crd	SIR18487.SUM

Las soluciones para las semanas anteriores encuentran disponibles en:  
<ftp.sirgas.org/pub/gps/SIRGAS/> ... www ... (www= semana GPS)

**Figura 3.8.** Interfaz de la Red SIRGAS-CON

**Fuente:** (SIRGAS, 2015)

En la página principal de la red SIRGAS-CON se puede descargar las coordenadas de las últimas 6 semanas, sin embargo al necesitarse de un período más extenso para el análisis, hay que dirigirse a la dirección electrónica <ftp://ftp.sirgas.org/pub/gps/SIRGAS/> donde se puede descargar datos de cualquier época. La **Figura 3.9** muestra la disposición de los ficheros ordenados por semana GPS.

## Índice de /pub/gps/SIRGAS/

Nombre	Tamaño	Fecha de modificación
<a href="#">[directorio principal]</a>		
<a href="#">1043/</a>		30/7/10 0:00:00
<a href="#">1044/</a>		30/7/10 0:00:00
<a href="#">1045/</a>		30/7/10 0:00:00
<a href="#">1046/</a>		30/7/10 0:00:00
<a href="#">1047/</a>		30/7/10 0:00:00
<a href="#">1048/</a>		30/7/10 0:00:00
<a href="#">1049/</a>		30/7/10 0:00:00
<a href="#">1050/</a>		7/8/12 0:00:00
<a href="#">1051/</a>		30/7/10 0:00:00
<a href="#">1052/</a>		30/7/10 0:00:00
<a href="#">1053/</a>		30/7/10 0:00:00
<a href="#">1054/</a>		30/7/10 0:00:00
<a href="#">1055/</a>		30/7/10 0:00:00
<a href="#">1056/</a>		30/7/10 0:00:00
<a href="#">1057/</a>		30/7/10 0:00:00
<a href="#">1058/</a>		30/7/10 0:00:00
<a href="#">1059/</a>		30/7/10 0:00:00

**Figura 3.9.** Ficheros de descarga de la red SIRGAS-CON

**Fuente:** (SIRGAS, 2015)

El acceso a los datos semanales se lo realiza de acuerdo al año y semana del calendario GPS. Por ejemplo, la **Figura 3.10** muestra el calendario GPS correspondiente a febrero de

2012, donde para descargar la información correspondiente a la semana y al día del evento sísmico, se debe acceder a la semana 1674. Para esta investigación se consideró los datos comprendidos desde la semana 1622 a 1726.

Febrero 2012							
SEMANA	Domingo 0	Lunes 1	Martes 2	Miércoles 3	Jueves 4	Viernes 5	Sábado 6
1673				1 · 032	2 · 033	3 · 034	4 · 035
1674	5 · 036	6 · 037	7 · 038	8 · 039	9 · 040	10 · 041	11 · 042
1675	12 · 043	13 · 044	14 · 045	15 · 046	16 · 047	17 · 048	18 · 049
1676	19 · 050	20 · 051	21 · 052	22 · 053	23 · 054	24 · 055	25 · 056
1677	26 · 057	27 · 058	28 · 059	29 · 060			

**Figura 3.10.** Calendario GPS febrero de 2012

Fuente: (Prieto, 2012)

Para realizar la descarga se realiza doble clic izquierdo sobre la semana de interés; luego de esto aparecerá un índice igual al que se muestra en la **Figura 3.11** donde se procede a seleccionar el archivo que inicia con el prefijo "sir" (Indica que pertenece a la red SIRGAS) y que tiene extensión .crd.

### Índice de /pub/gps/SIRGAS/1674/

Nombre	Tamaño	Fecha de modificación
 [directorio principal]		
 00_Read_me.txt	3.3 kB	30/1/12 0:00:00
 CIM16747.SNX.Z	393 kB	8/3/12 0:00:00
 DGF16747.SNX.Z	374 kB	29/2/12 0:00:00
 ECU16747.SNX.Z	186 kB	2/3/12 0:00:00
 GNA16747.SNX.Z	151 kB	2/3/12 0:00:00
 IBG16747.SNX.Z	665 kB	2/3/12 0:00:00
 IBG1674S.SNX.Z	1.5 MB	12/3/12 0:00:00
 IBG1674S.SUM	26.6 kB	12/3/12 0:00:00
 IGA16747.SNX.Z	298 kB	2/3/12 0:00:00
 INE16747.SNX.Z	56.5 kB	2/3/12 0:00:00
 LUZ16747.SNX.Z	281 kB	2/3/12 0:00:00
 SIR16747.SNX.Z	1.5 MB	8/3/12 0:00:00
 SIR16747.SUM	26.5 kB	15/3/12 0:00:00
 URY16747.SNX.Z	195 kB	8/3/12 0:00:00
 ibg12P1674.crd	13.8 kB	12/3/12 0:00:00
 ibg12P1674.snx.Z	1.5 MB	12/3/12 0:00:00
 sir12P1674.crd	13.8 kB	8/3/12 0:00:00
 sir12P1674.snx.Z	1.5 MB	8/3/12 0:00:00

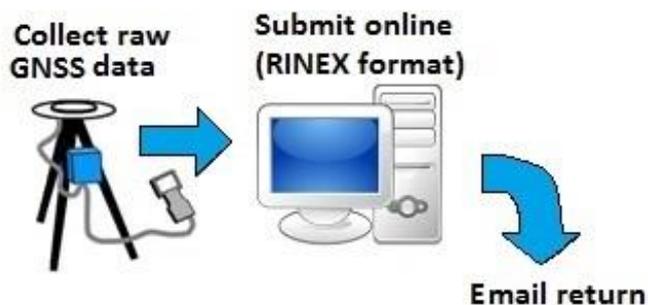
**Figura 3.11.** Fichero de descarga de la red SIRGAS-CON semana 1674

Fuente: (SIRGAS, 2015)

### 3.2.5 Posicionamiento Preciso de Punto.

Con los datos descargados en formato RINEX 2.11, se realiza un post-procesamiento de estos con la aplicación en línea The Canadian Spatial Reference System Precise Point Positioning (CSRS-PPP). Para acceder a esta aplicación se realiza por medio de la siguiente

dirección electrónica: <http://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/account-compte/login.php>. El procedimiento general se muestra en la **Figura 3.12**.



**Figura 3.12.** Procedimiento PPP

**Fuente:** (Natural Resource Canada, 2014)

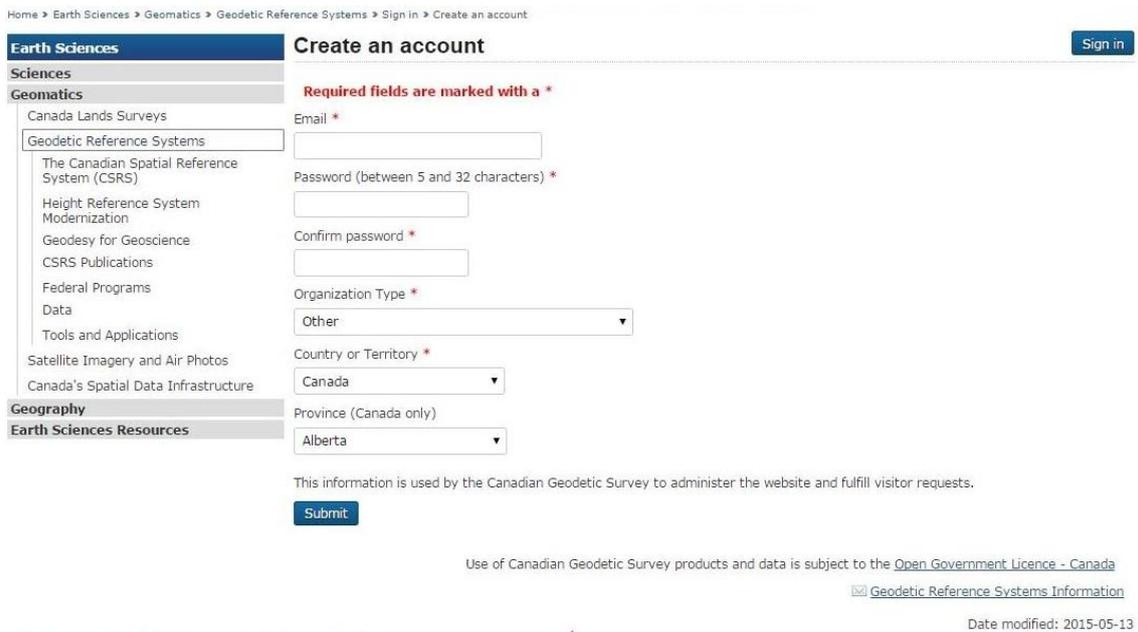
La **Figura 3.13** muestra la interfaz de la aplicación CSRS-PPP, aquí es necesario ingresar el correo electrónico y contraseña de un usuario ya registrado.



**Figura 3.13.** Interfaz de ingreso de cuenta de Natural Resources Canada

**Fuente:** (Natural Resource Canada, 2014)

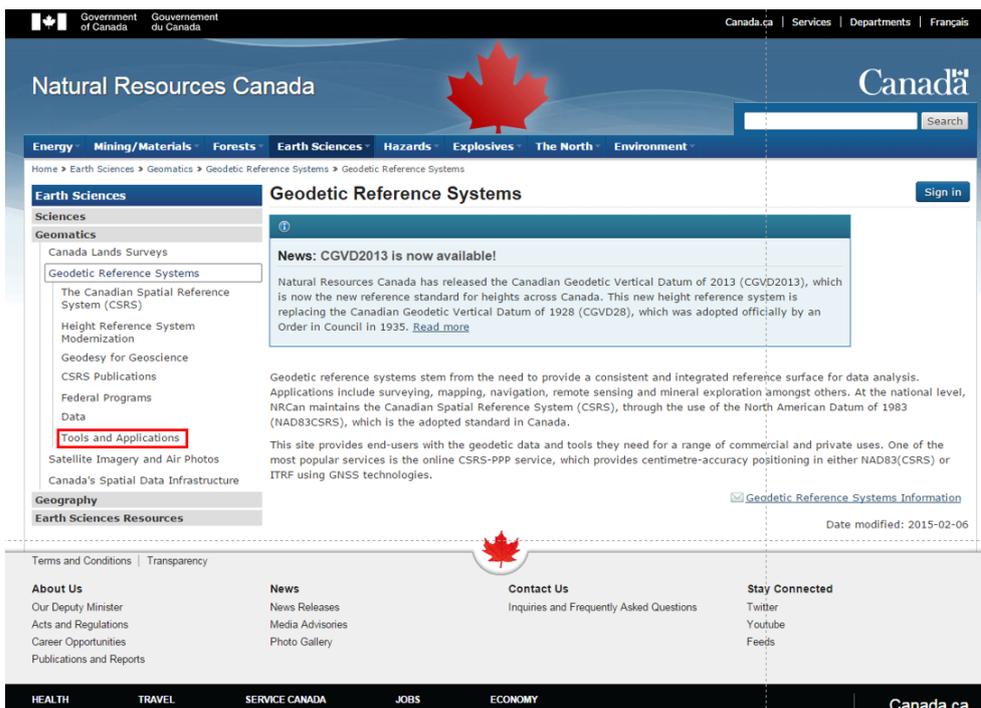
Si no se posee una cuenta, se deberá crear una en la opción “New user: Create an account”. Aquí es necesario completar los datos que se visualizan en la **Figura 3.14** donde se solicita información básica como correo electrónico, contraseña, tipo de organización a la que se pertenece, país y provincia del usuario. Toda esta información es utilizada por el Servicio Geodésico canadiense para administrar el sitio web.



**Figura 3.14.** Interfaz de creación de cuenta en Natural Resources Canada

**Fuente:** (Natural Resource Canada, 2014)

Una vez que hemos ingresado al sistema con una cuenta de usuario válida, se indicará una interfaz como la que se muestra en la **Figura 3.15**. La parte izquierda de la pantalla muestra las opciones “Earth Scienses” y “Geomatics” y dentro de las mismas la opción “Tools and applications” la cual debe ser seleccionada.



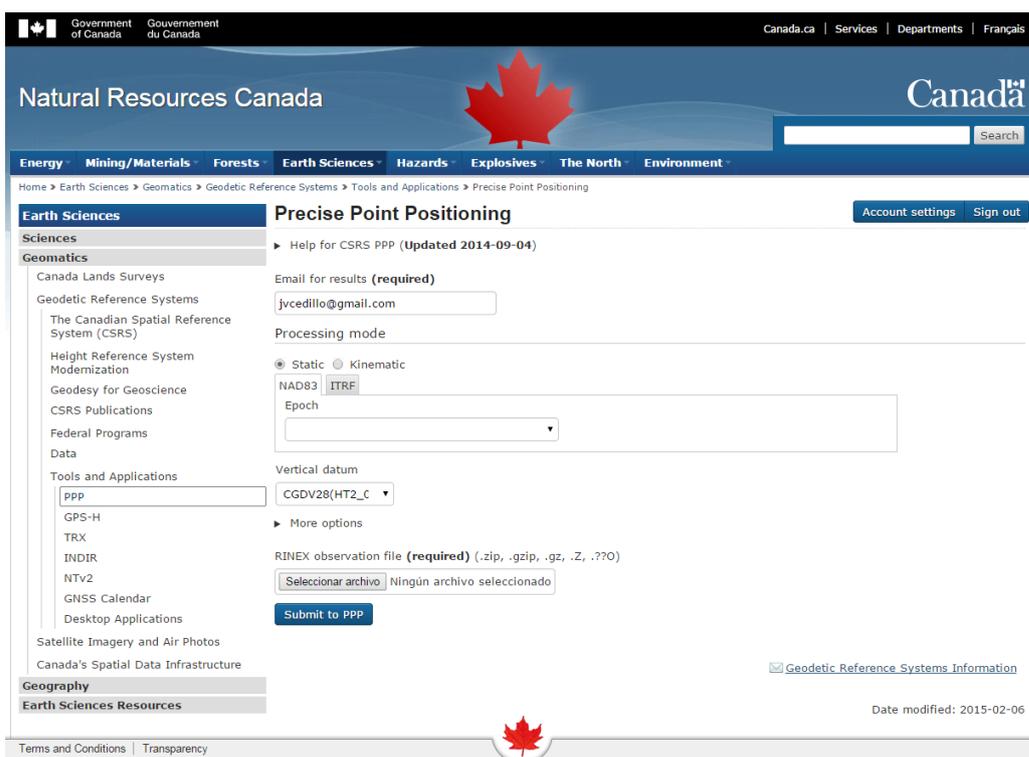
**Figura 3.15.** Interfaz de Sistemas de referencia geodésico de Natural Resources Canada

**Fuente:** (Natural Resource Canada, 2014)

**Elaboración:** El autor

Una vez seleccionada la opción “Tools and aplicaciones” se extenderá un menú donde se debe dar click en “PPP” que nos indicará una interfaz igual a la de **Figura 3.15** y luego indicará una interfaz como la que se muestra en la **Figura 3.16**. Aquí se realizará la conversión requerida, para lo cual se procede de acuerdo a lo descrito en Natural Resources Canada (NRCan) <http://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/geomatics/geodetic-reference-systems/tools-applications/10925>, el cual es descrito a continuación:

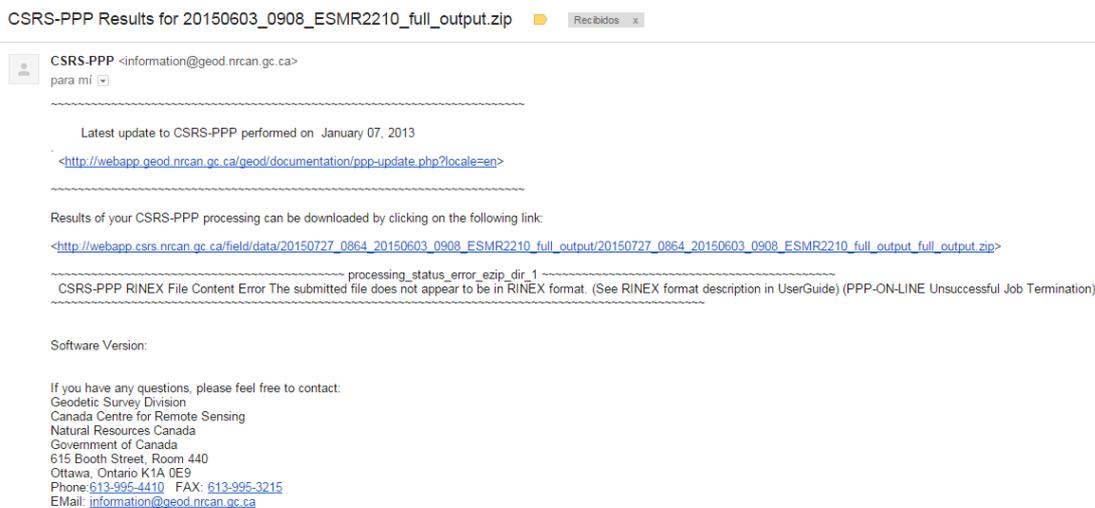
- **Ingresar la dirección de correo electrónico donde se enviarán los resultados**, en caso de haber ingresado con una cuenta como se explicó anteriormente aparecerá automáticamente el correo con el que se creó la cuenta.
- **Seleccionar el modo de procesamiento:** Estático o cinemático (En la investigación se selecciona el procesamiento estático).
- **Seleccionar el marco de referencia de las coordenadas de salida:** NAD83 o ITRF (En la investigación se selecciona ITRF).
- **Seleccionar el modelo de datum vertical:** CGDV28(HT2\_0) o CGVD2013, en la investigación se selecciona CGDV28(HT2\_0)
- Importar el archivo en formato RINEX en la opción Seleccionar archivo
- Clic en “Submit to PPP”
- Descargar el archivo enviado a la dirección de correo electrónico



**Figura 3.16.** Interfaz para realiza el post-procesamiento de los datos RINEX

**Fuente:** (Natural Resource Canada, 2014)

La descarga de los resultados del procesamiento se hará en base a una interfaz similar a la presentada en la **Figura 3.17** donde se seleccionará el segundo link mostrado, el cual permitirá la descarga de un archivo comprimido.



Natural Resources Canada does not assume any liability deemed to have been caused directly or indirectly by any content of its PPP-On-Line positioning service.

**Figura 3.17.** Modelo de correo emitido por NRCan para la descarga de los resultados.

**Fuente:** (Natural Resource Canada, 2014)

**Elaboración:** El autor

El archivo comprimido contiene cuatro archivos con diferentes extensiones como se indica en la **Figura 3.18**. Para esta investigación se utilizaron los archivos de extensión .csv y extensión .sum, archivos que contenían la información de las coordenadas cada 30seg y diarias respectivamente.

Nombre	Tamaño	Compri...	Tipo	Modificado	CRC32
..			Carpeta de arc...		
ESMR0910.csv	153,379	20,318	Archivo de val...	02/05/2015...	B981EF...
ESMR0910.pdf	155,891	140,439	Documento PDF	02/05/2015...	92ED9...
ESMR0910.pos	910,338	78,711	Archivo POS	02/05/2015...	78C1EE...
ESMR0910.sum	28,187	5,055	Archivo SUM	02/05/2015...	330CB...

**Figura 3.18.** Archivos de resultados del procesamiento en CSRS-PPP

**Fuente:** (Natural Resource Canada, 2014)

**Elaboración:** El autor

El archivo .csv presenta los datos como se muestra en la **Figura 3.19** de los cuales se obtendrá la latitud en grados decimales, longitud en grados decimales, altura elipsoidal en metros, y la hora decimal en que se registra cada dato.

```

latitude_decimal_degree,longitude_decimal_degree,ellipsoidal_height_m,decimal_hour,day_of_year,year,rcvr_clk_ns
0.9346586,-79.7243739,251.926,0.00000,91,2011,16.108
0.9346544,-79.7243708,251.131,0.00833,91,2011,14.859
0.9346512,-79.7243700,251.492,0.01667,91,2011,15.958
0.9346508,-79.7243702,252.064,0.02500,91,2011,17.145
0.9346504,-79.7243715,251.870,0.03333,91,2011,16.458

```

**Figura 3.19.** Formato de presentación de coordenadas cada 30seg en archivo de extensión .csv

**Fuente:** (Natural Resource Canada, 2014)

**Elaboración:** El autor

En el archivo .sum será ejecutado con un editor de texto como Notepad++. Este archivo presenta varios resultados de los que se obtendrá las coordenadas cartesianas en el marco de Referencia ITRF que se encuentran como muestra la **Figura 3.20**.

```

Marker name           : ESMR
Start                 : 2011/04/01 00:00:00.00
End                   : 2011/04/01 23:58:30.00
Observation interval (sec) : 30.00
Estimation interval  (sec) : 30.00
Number of epochs processed : 2878
Number of satellites processed : 30
Number of observations processed : 24944 GPS
Number of observations rejected : 6091 GPS
Pseudorange residuals (m) : 0.95 GPS
Carrier phase residuals (cm) : 0.71 GPS

```

3.3 Coordinate estimates (Epoch: 2011)

CARTESIAN	NAD83 (CSRS )	ITRF (IGS05)	95% Sigma (m)	NAD-ITR (m)
X (m)	1137650.6915	1137650.0189	0.0084	0.6726
Y (m)	-6275258.2792	-6275256.3260	0.0162	-1.9532
Z (m)	103347.9531	103347.6836	0.0025	0.2695

**Figura 3.20.** Coordenadas Cartesianas del archivo de extensión .sum

**Fuente:** (Natural Resource Canada, 2014)

**Elaboración:** El autor

### 3.3 Generación de Series Temporales.

En el procedimiento anterior se obtienen los datos procesados para la elaboración de series temporales, para realizar las mismas se sigue el procedimiento indicado en la **Figura 3.11**.



**Figura 3.21.** Procesamiento general para generación de series temporales

**Fuente y Elaboración:** El autor

### 3.3.1 Transformación de coordenadas geocéntricas a geodésicas.

Una vez que se tiene las coordenadas en el marco de referencia ITRF 2008 se procede a transformarlas a coordenadas geodésicas que son las utilizadas con objetivos matemáticos.

Para realizar esta transformación se ejecuta el siguiente procedimiento, el cual se fundamenta en la **Figura 2.4** y que a detalle es el siguiente:

Obtener el vector de traslación:

$$\Delta X = (X_o - X_p) \times 1000 \quad \text{Ecuación 1.}$$

$$\Delta Y = (Y_o - Y_p) \times 1000 \quad \text{Ecuación 2.}$$

$$\Delta Z = (Z_o - Z_p) \times 1000 \quad \text{Ecuación 3.}$$

**Dónde:**

$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ : Coordenadas geocéntricas del vector de traslación en milímetros.

$X_o, Y_o, Z_o$ : Coordenadas geocéntricas iniciales en metros.

$X_p, Y_p, Z_p$ : Coordenadas geocéntricas en metros.

Calcular la longitud como:

$$\lambda_p = \tan^{-1} \left( \frac{Y_p}{X_p} \right) \quad \text{Ecuación 4.}$$

Calcular  $D_p$  (según la **Figura 2.4** es la hipotenusa formada entre  $X_p$  y  $Y_p$ ) como:

$$D_p = \sqrt{X_p^2 + Y_p^2} \quad \text{Ecuación 5.}$$

Calcular una latitud aproximada:

$$\phi_0 = \tan^{-1} \left[ \frac{Z_p}{D_p (1 - e^2)} \right] \quad \text{Ecuación 6}$$

**Dónde:**

$e$ : Excentricidad del elipse de referencia WGS84, su valor es de 0.08181919084.

Calcular un radio aproximado de la primera vertical,  $R_N$ , usando  $\phi_0$  obtenido con la **Ecuación 6**.

$$R_{N_p} = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \phi_0}} \quad \text{Ecuación 7.}$$

**Dónde:**

a: Semieje mayor del elipse de referencia WGS84, su valor es de 6,378,137 m.

Calcular un valor mejorado para la latitud de:

$$\phi = \tan^{-1} \left( \frac{Z_p + e^2 R_{N_p} \sin(\phi_0)}{D_p} \right) \quad \text{Ecuación 8.}$$

Repetir el cálculo del radio aproximado y del valor mejorado para la latitud hasta que el cambio de  $\phi$  sea despreciable, este valor se denominará  $\phi_p$  y será la latitud de la estación.

La altura geodésica de la estación se determina en base a las siguientes ecuaciones:

Para latitudes menores a  $45^\circ$ , usar:

$$h_p = \frac{D_p}{\cos(\phi_p)} \quad \text{Ecuación 9.}$$

Para latitudes mayores a  $45^\circ$ , usar:

$$h_p = \left[ \frac{Z_p}{\sin(\phi_p)} \right] - R_{N_p} (1 - e^2) \quad \text{Ecuación 10.}$$

Finalmente se obtiene las coordenadas en el sistema geodésico local  $\Delta_n$ ,  $\Delta_e$ ,  $\Delta_u$ :

$$\begin{bmatrix} \Delta_n \\ \Delta_e \\ \Delta_u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin\phi \cos\lambda & -\sin\phi \sin\lambda & \cos\phi \\ -\sin\lambda & \cos\lambda & 0 \\ \cos\phi \cos\lambda & \cos\phi \sin\lambda & \sin\phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta_x \\ \Delta_y \\ \Delta_z \end{bmatrix} \quad \text{Ecuación 11.}$$

### 3.3.2 Regresión Lineal con Mínimos Cuadrados.

La ecuación general es:

$$Y = mx + n \quad \text{Ecuación 12.}$$

**Donde:**

$Y$ = Variable dependiente (Coordenadas  $\Delta n$ ,  $\Delta e$  o  $\Delta u$ ).

$x$ = Variable independiente (Tiempo).

$m$ = Valor de la pendiente de la recta (Velocidad de desplazamiento).

$n$ = Valor estimado de  $Y$  cuando  $x=0$  (Considerándose un valor 0).

Los valores de  $Y$  y  $x$  son conocidos, mientras que el valor de  $n$  se considera un valor igual a 0 y el valor de  $m$ :

$$m = \frac{NS_{xy} - S_x S_y}{NS_{xx} - S_x S_x} \quad \text{Ecuación 13.}$$

**Dónde:**

$N$ : Número total de datos

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^N x_i y_i \quad S_x = \sum_{i=1}^N x_i \quad S_y = \sum_{i=1}^N y_i \quad S_{xx} = \sum_{i=1}^N x_i^2$$

A la Ecuación 12 se agrega el cálculo de la incertidumbre obteniéndose la ecuación de la recta de la siguiente manera:

$$Y = [m \pm \varepsilon(m)]x + [n \pm \varepsilon(n)] \quad \text{Ecuación 14.}$$

**Dónde:**

$\varepsilon(m)$ : Ajuste en la variable independiente

$\varepsilon(n)$ : Ajuste en el valor inicial

El único valor de ajuste a considerar es el de la variable independiente, el cual se determina según:

$$\varepsilon(m) = \sqrt{\frac{N}{NS_{xx} - S_x S_x} \times \frac{X^2(n, m)}{N - 2}} \quad \text{Ecuación 15.}$$

**Donde:**

$$X^2(n, m) = \sum_{i=1}^N (n + mx_i - y_i)^2 \quad \text{Ecuación 16.}$$

Para la obtención de las velocidades, se debe recordar que estas se expresan en mm/año por lo que dependiendo de si se usa coordenadas diarias o coordenadas semanales se multiplicara la velocidad por 365 y 365/7, respectivamente.

### 3.3.3 Desviación estándar.

Una vez que se obtiene la ecuación de regresión lineal con mínimos cuadrados se obtiene los valores de desviación estándar

$$\sigma_m^2 = \frac{N}{NS_{xx} - S_x S_x} \times \frac{X^2(n,m)}{N-2} \quad \text{Ecuación 17.}$$

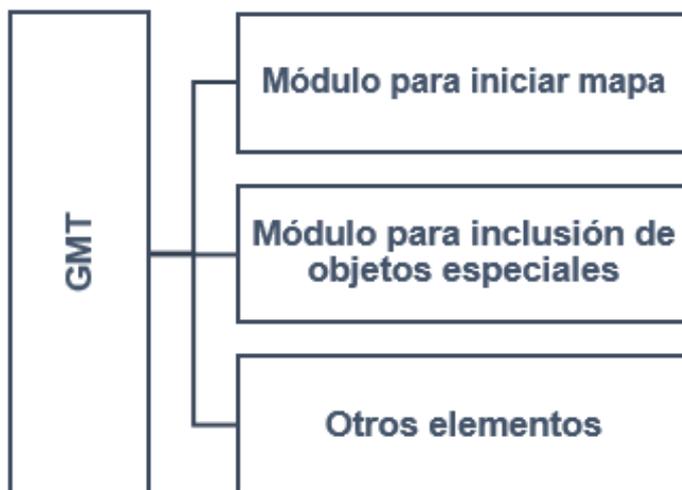
Para la generación de las series temporales se hará el uso del software Matlab que permite automatizar los procesos mencionados anteriormente.

En esta investigación no es necesario determinar el valor de  $R^2$  puesto que la metodología, métodos numéricos, es aplicable para el tipo de datos utilizados. Esto se verificará en las series temporales que se mostrarán en el capítulo 4, de Resultados.

### 3.4 GMT (Herramientas de Mapeo Genéricos).

Con las velocidades de desplazamiento Norte y Este se obtiene la velocidad noreste y su orientación en base a funciones trigonométricas básicas y, conjuntamente con el valor de la desviación estándar, se realiza el mapeo de los resultados mencionados para una mejor apreciación de los resultados.

Para el mapeo se realiza el procedimiento mostrado en la **Figura 3.22** donde todos los módulos son escritos en Notepad++, además como se indica más adelante se necesitará de un lector de archivos PostScript.



**Figura 3.22.** Procedimiento general de mapeo en GMT

Fuente y Elaboración: El autor

### 3.4.1 Módulo para iniciar mapa.

Para iniciar el mapa se puede realizar con los módulos **pscoast** o **psbasemap**, el primero permite graficar el mapa de una región en coordenadas geográficas mientras que la opción de **psbasemap** permite utilizar coordenadas planas y no tiene acceso a la base de datos que consta la primera opción.

Para el presente trabajo se trabaja con el módulo **pscoast** y a continuación se mencionan las principales opciones específicas utilizadas:

**-R:** Representa la región que se va a mostrar en coordenadas geográficas por medio de datos de longitud y latitud, cada dato se separa con un /.

**-J:** Representa el sistema de proyección y escala, el sistema de proyección Mercator se define por M.

**-W:** Representa el tipo de línea con el que se muestran los datos.

**-D:** Permite seleccionar la resolución del mapa y debe ir seguido de la calidad que se quiere utilizar siendo f, h, i, l, y c que representan máxima, alta, media, intermedia, baja, y muy baja calidad respectivamente.

**-B:** Sirve para ingresar una cuadrícula en el mapa, debe seguir con el número de medidas y el color de la cuadrícula.

**-S:** Permite pintar el territorio tanto como la zona marítima.

**-N:** Pinta límites nacionales y provinciales, el nivel de detalle será en base a su numeración así N1 representa límites nacionales, N2 límites provinciales, N3 límites marinos y N4 todos los anteriores.

**-X:** Centra horizontalmente el mapa en la hoja de impresión.

**-Y:** Centra verticalmente el mapa en la hoja de impresión.

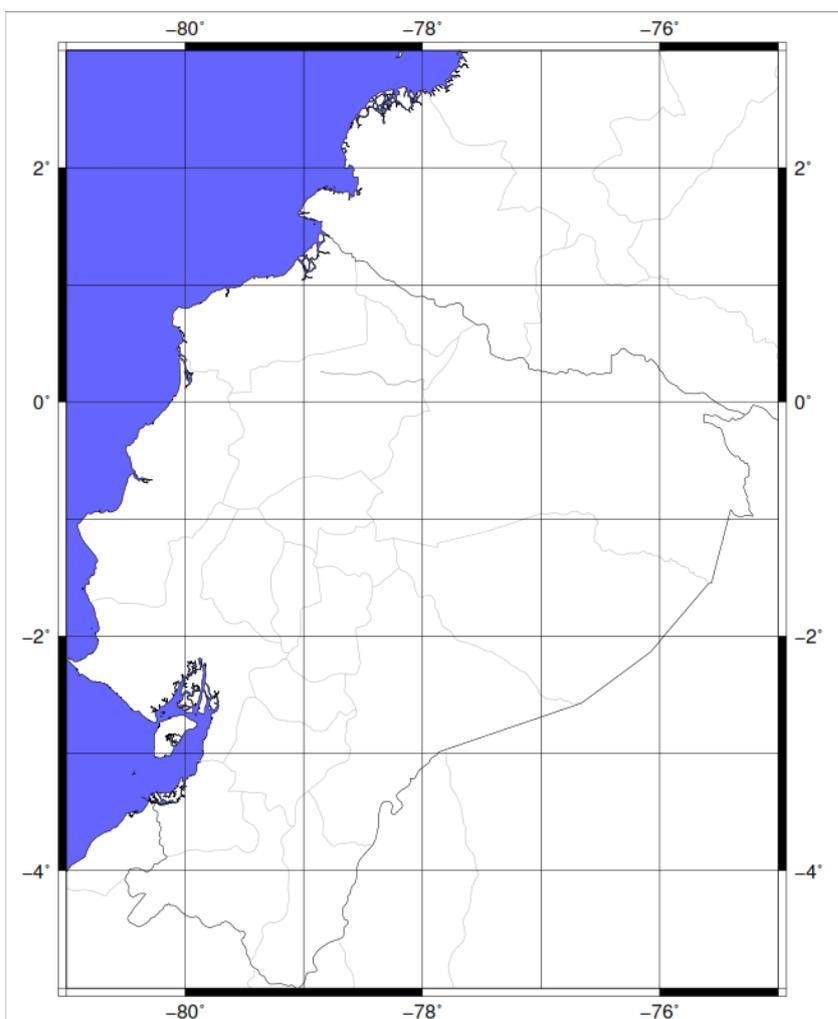
**-K:** Permite que no se cierre el fichero postscript.

**-P:** Indica que el mapa tendrá una orientación vertical.

En la presente investigación el módulo de inicio de mapa se ha hecho con el siguiente código:

```
pscoast -R-81/-75/-5/3 -JM7i -W0.02c -Dh -B2g1 -S100/100/255 -N1/0.25p -  
N2/0.02c/190/190/190 -X1.5c -Y3c -K -P>> Mapa1.ps
```

Los resultados obtenidos con este código se muestran en la **Figura 3.23**. El archivo debe ser guardado con extensión .bat; luego al archivo guardado se hace doble clic izquierdo lo que nos genera un archivo PostScript. Este archivo se abre en un lector de archivos PostScript. En esta investigación se utiliza la aplicación PDFCreator donde solo es necesario arrastrar el archivo PostScript a la aplicación en ejecución y guardar con el nombre que se desee.



**Figura 3.23.** Mapa generado con el módulo para iniciar mapa

**Fuente y Elaboración:** El autor

### 3.4.2 Módulo para inclusión de objetos especiales.

El principal objeto especial que se utiliza para dibujar los vectores de velocidad de desplazamiento es el módulo **psxy** que permite dibujar datos puntuales. En esta investigación se dibujan círculos y flechas con vectores a partir de un fichero con las características del objeto a dibujar.

Para la representación de puntos se puede realizar con las siguientes variantes:

**Sc:** Círculo.

**Svt:** Vector con dirección en grados.

**-O:** Permite que el resultado se añada al mapa base que se generó con los módulos anteriores.

Un ejemplo de la generación de este módulo es:

```
psxy V1.prn -R -J -Svt0.08/0.18/0.12 -Gred -O -K >> Mapa1.ps
```

En el ejemplo anterior, V1.prn es el nombre del fichero donde estarán insertados los datos de los elementos a dibujar.

En esta investigación es necesario dibujar las velocidades de desplazamientos que serán vectores mientras que la desviación estándar, epicentro y la ubicación inicial de las estaciones serán representadas con un círculo.

Para graficar los vectores es necesario ingresar los valores de latitud, longitud, dirección del vector, y la magnitud del vector; cada valor deberá ser ingresado con un espacio de separación; el fichero se guarda con extensión *.prn*.

Para graficar los círculos es necesario ingresar los valores de latitud, longitud y radio del círculo. El formato para el ingreso es igual que el usado para el ingreso de los vectores, es decir, cada dato se separa por un espacio y se guarda como un archivo con extensión *.prn*.

Los ficheros de extensión *.prn* deben tener la misma ubicación que el archivo *.bat*.



**Tabla 3.2.** Justificación de texto en GMT

<b>Justificación</b>	<b>Significado</b>
<b>LT</b>	Izquierda y arriba
<b>LM</b>	Izquierda y medio
<b>LB</b>	Izquierda y abajo
<b>CT</b>	Centro y arriba
<b>CM</b>	Centro y medio
<b>CB</b>	Centro y abajo
<b>RT</b>	Derecha y arriba
<b>RM</b>	Derecha y medio
<b>RB</b>	Derecha y bajo

Fuente y Elaboración: El autor

Todos los módulos deben estar alojados en un mismo archivo *.bat* y luego se obtendrá el mapa siguiendo el procedimiento indicado en el módulo para iniciar mapa.

**CAPÍTULO IV:  
RESULTADOS**

Aplicando la metodología indicada en el Capítulo III se obtiene, para cada estación, los siguientes:

- Serie temporal con datos diarios disponibles a un año antes del evento sísmico, es decir, desde el 08 de febrero de 2011 al 07 de febrero de 2012.
- Serie temporal con datos diarios disponibles a un año después del evento sísmico, es decir, desde el 09 de febrero de 2012 al 08 de febrero de 2013.
- Serie temporal con datos diarios disponibles un año antes y un año después del evento sísmico, es decir, desde el 08 de febrero de 2011 al 08 de febrero de 2013.
- Serie temporal con datos semanales de la red SIRGAS-CON un año antes y un año después del evento sísmico correspondientes a las semanas GPS 1622 a 1726.

Los resultados de las series temporales se resumen en la **Tabla 4.1**, así como se realiza en la **Tabla 4.2** la comparación entre:

- Serie antes y serie después del evento sísmico.
- Serie antes y serie antes-después del evento sísmico.
- Serie después y serie antes-después del evento sísmico.
- Serie antes-después y serie con datos de la red SIRGAS-CON.

Finalmente se muestra una apreciación más clara de los resultados con el mapeo en GMT de los vectores de velocidad entre:

- Velocidad Nor-Este (N-E) y dirección obtenidas de las series de antes, después; y, antes-después del evento sísmico.
- Velocidad N-E y dirección obtenidas de las series de datos diarios antes-después del evento sísmico así como de la series del mismo período con coordenadas semanales obtenidas de la red SIRGAS-CON.

#### **4.1 Estación Esmeraldas (ESMR)**

Los resultados obtenidos de las series temporales para la estación ESMR indicadas en la **Figura 4.1 – Figura 4.4** se muestran en la **Tabla 4.1** donde la V.N, V.E y V N-E representan velocidad Norte, velocidad Este Y velocidad Nor-Este respectivamente. Estas velocidades están expresadas en milímetro/año (mm/a). También se muestran las desviaciones estándar indicadas por  $\sigma$ .

**Tabla 4.1.** Resultados series temporales ESMR

Período	X		Y		Z		X-Y		
	V.N (mm/a)	$\sigma_{yx}$	V.ESTE (mm/a)	$\sigma_{yx}$	V. UP (mm/a)	$\sigma_{yx}$	V (N-E) (mm/a)	$\sigma$	Dirección (o)
Antes(A)	18.1984	0.5850	22.5650	0.6887	1.1786	1.3421	28.9890	0.9036	38.8858
Después(D)	17.9218	0.6866	10.8761	0.5746	14.1826	1.2033	20.9638	0.8953	58.7479
A-D	16.8788	0.2263	17.5005	0.2554	0.7908	0.4944	24.3138	0.3413	43.9640
SIRGAS	17.4011	0.2663	16.9020	0.2569	-0.7398	0.8242	24.2588	0.3698	45.8328

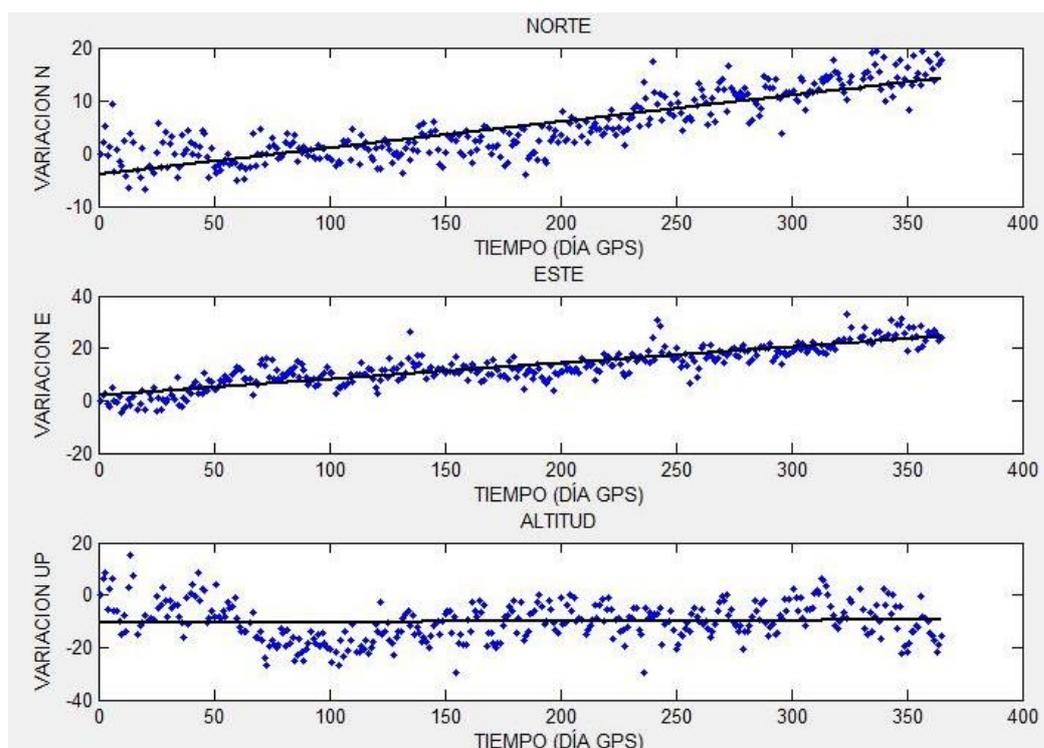
Fuente y Elaboración: El autor

Para una mejor comprensión de los resultados obtenidos se realiza la comparación entre los vectores de velocidad obtenidos en diferentes periodos y datos, los mismos que se indican en la **Tabla 4.2**.

**Tabla 4.2.** Comparación entre vectores de velocidades estación ESMR

COMPARACIÓN ENTRE:		V.N (mm/a)	V.E (mm/a)	V. UP (mm/a)	V (N-E) (mm/a)
Período Inicial	Período Final				
Antes	Después	0.2766	11.6889	-13.0041	8.0252
Antes	Antes- Después	1.3197	5.0646	0.3877	4.6753
Después	Antes- Después	1.0430	-6.6244	13.3918	-3.3500
Antes- Después	SIRGAS	-0.5223	0.5980	1.5306	0.0549

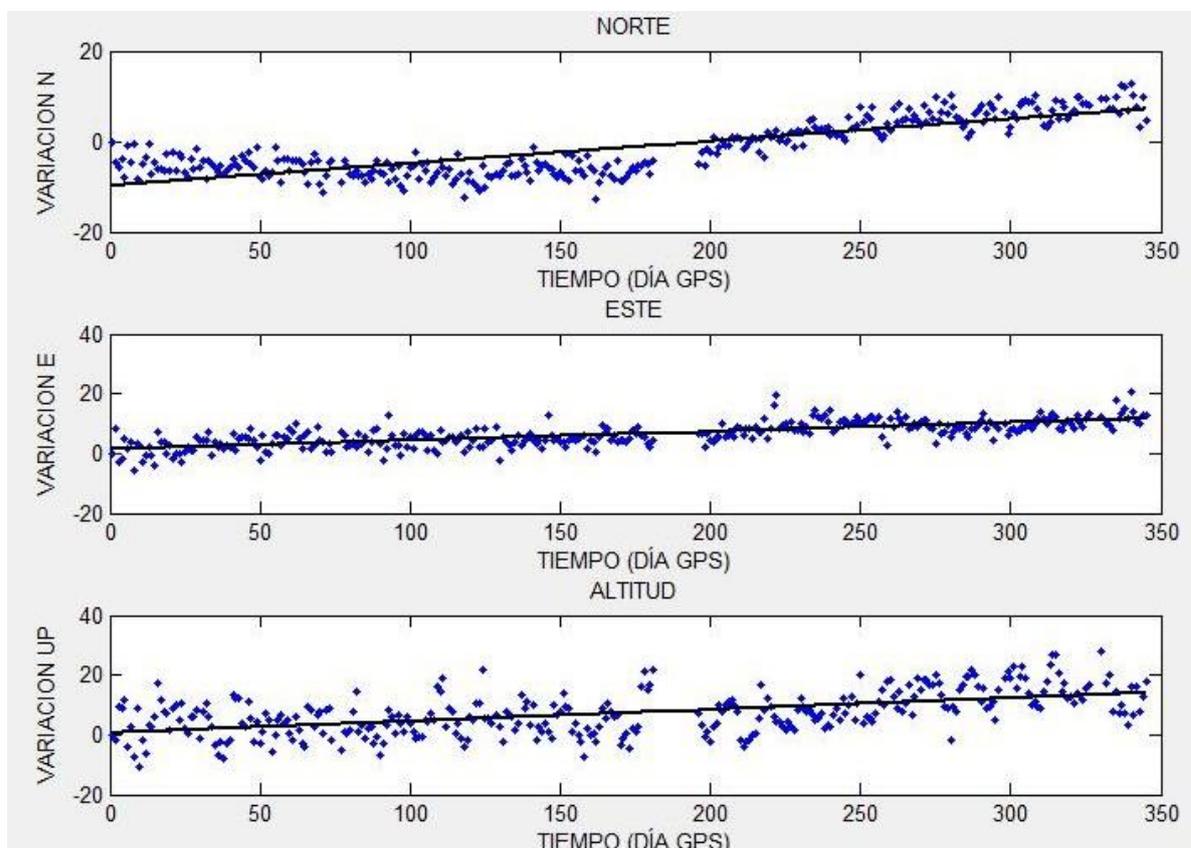
Fuente y Elaboración: El autor



**Figura 4.1.** Serie Temporal estación ESMR antes del evento sísmico

Fuente y Elaboración: El autor

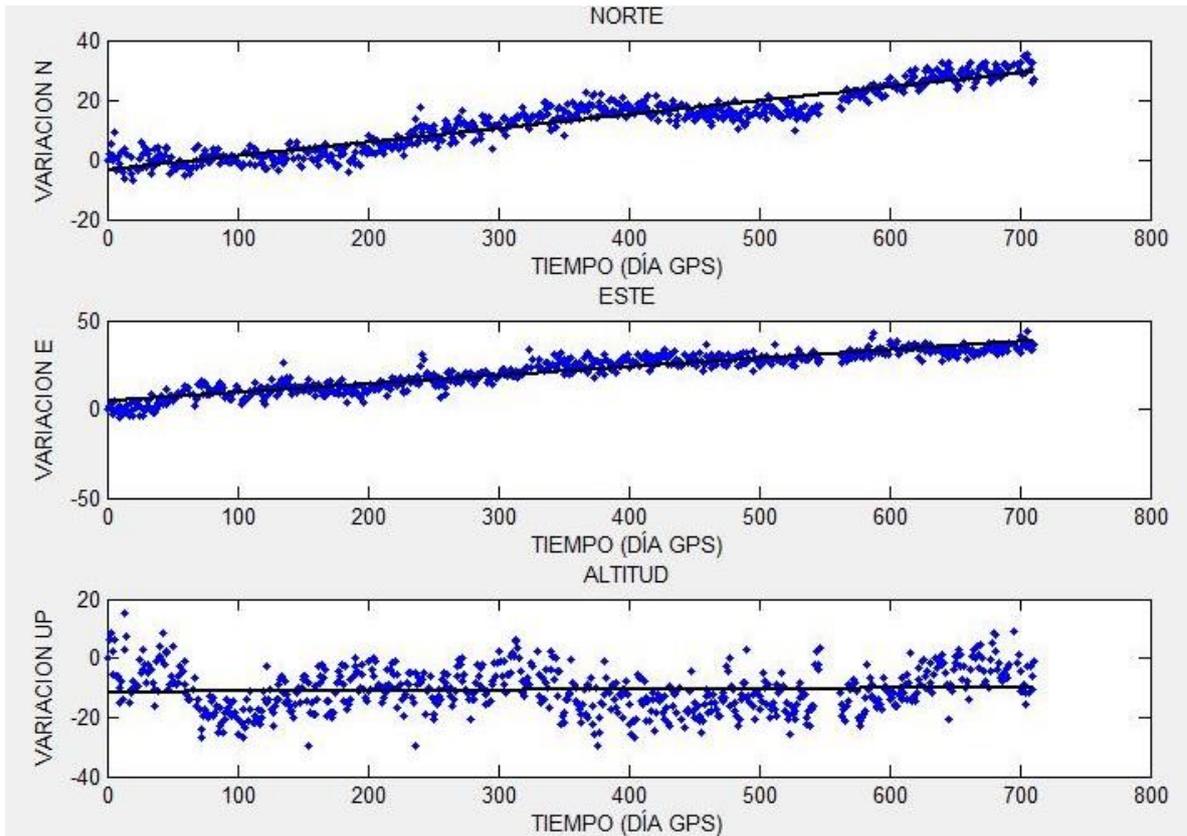
En la **Figura 4.1** se puede apreciar que el movimiento de la estación antes del evento sísmico tiende hacia el Nor-Este, no se identifica ninguna discontinuidad. El desplazamiento en la coordenada Este está más ajustada a la recta de regresión. La coordenada Up es la más dispersa a la recta de regresión y su pendiente es casi horizontal, lo que indica que el movimiento de la estación GPS en esta dirección es mínima.



**Figura 4.2.** Serie Temporal estación ESMR después del evento sísmico

**Fuente y Elaboración:** El autor

En la **Figura 4.2** se aprecia que el movimiento de la estación después del evento sísmico tiende hacia el Nor-Este, de manera menos pronunciada que la serie anterior especialmente en la coordenada Este y no se identifica ninguna discontinuidad. Sin embargo hay una ausencia de datos entre los días 6 al 21 de agosto de 2012, los mismos que en consideración del número total de datos de observación, período de análisis y la tendencia luego de la ausencia de dichos datos se continua con el proceso normal, sin ser requerido ningún tipo de tratamiento para el relleno de datos en el periodo faltante. El desplazamiento en la coordenada Este es la más ajustada a la recta de regresión. La coordenada Up es la más dispersa a la recta de regresión y su pendiente es incluso más pronunciada que la obtenida en Este, lo que indica que el movimiento de la estación GPS tiende más en altura que en el Este, concordando con los valores obtenidos.

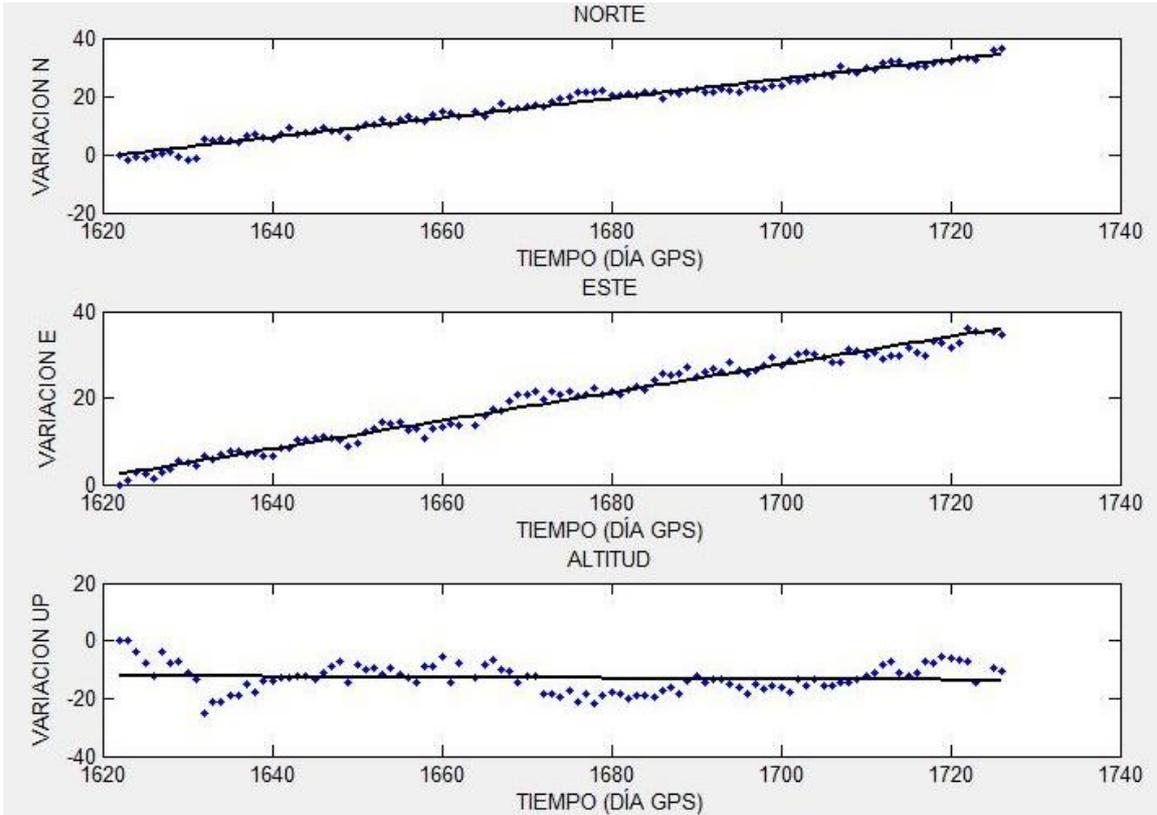


**Figura 4.3.** Serie Temporal estación ESMR antes-después del evento sísmico

**Fuente y Elaboración:** El autor

En la **Figura 4.3** se aprecia que el movimiento de la estación antes-después del evento sísmico tiende hacia el Nor-Este, no se identifica ninguna discontinuidad. Existe un breve cambio de tendencia especialmente en el Norte a partir del evento sísmico. El desplazamiento en la coordenada Este está más ajustada a la recta de regresión. La coordenada Up es la más dispersa a la recta de regresión y su pendiente es casi horizontal, lo que indica que el movimiento de la estación GPS en esta dirección es mínima.

En la **Figura 4.4** se aprecia que el movimiento de la estación antes-después del evento sísmico con datos semanales de la Red SIRGAS-CON tiende hacia el Nor-Este. A diferencia de las series anteriores el desplazamiento en la coordenada Norte está más ajustada a la recta de regresión. La coordenada Up es la más dispersa a la recta de regresión y su pendiente es la menos pronunciada, lo que indica que el movimiento de la estación GPS en esta dirección es la de menor magnitud.



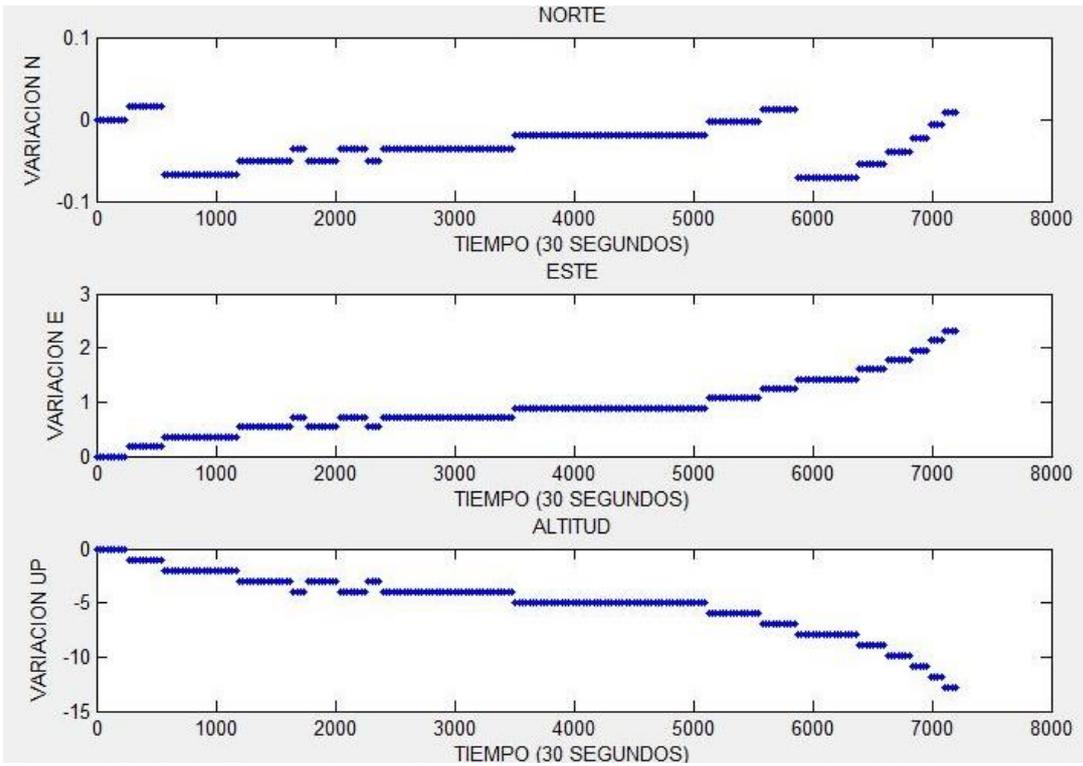
**Figura 4.4.** Serie Temporal ESMR semanas 1622 a 1726

**Fuente y Elaboración:** El autor

La estación ESMR luego del evento sísmico disminuye todos sus vectores de velocidad de desplazamiento. La velocidad Nor-Este disminuye de 28.99mm/a a 20 mm/a. La comparación entre los resultados obtenidos con datos diarios y datos semanales de la red SIRGAS-CON presenta una diferencia en la velocidad Nor-Este es de 0.055 mm/a.

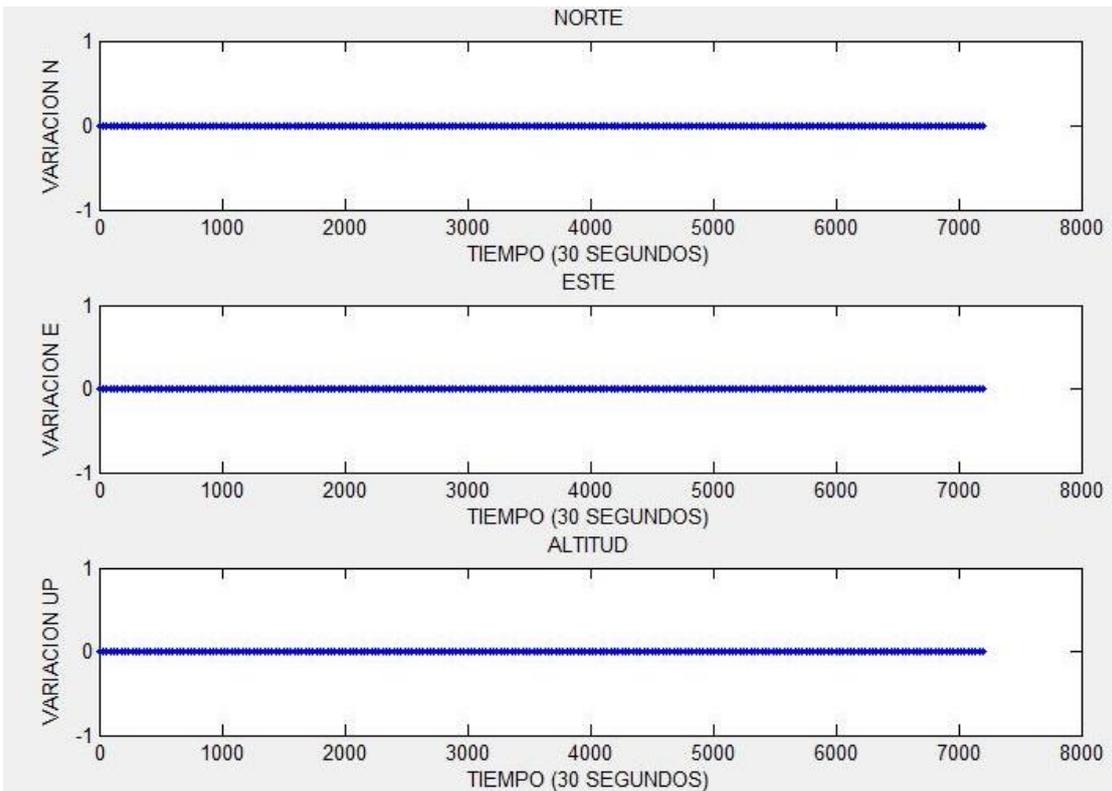
No es apreciable por inspección visual la existencia de un salto sísmico, sin embargo esto no significa que la estación no haya sido afectada por el movimiento sísmico. La **Figura 4.5** muestra los cambios producidos una hora antes y una hora después del evento sísmico; aquí la estación se comporta de una manera aleatoria en el norte, ascendente en el este y descendente en Up; sin mostrarse una tendencia clara tal como lo es el movimiento oscilatorio de un sismo.

La **Figura 4.6** muestra el comportamiento de la estación en un periodo de dos horas, tiempo en el que la estación no está sometida a ninguna fuerza o movimiento que altere su normal comportamiento y por tanto no existe ningún vector de velocidad de desplazamiento.



**Figura 4.5.** Serie Temporal estación ESMR datos cada 30seg entre las 04:54a.m a 06:54 a.m. del 08 de febrero de 2012

**Fuente y Elaboración:** El autor



**Figura 4.6.** Serie Temporal estación ESMR datos cada 30seg entre las 21:00 a 23:00 del día 15 de febrero de 2012

**Fuente y Elaboración:** El autor

## 4.2 Estación Quevedo (QVEC)

Los resultados obtenidos de las series temporales para la estación QVEC indicadas en la **Figura 4.7 – Figura 4.10** se muestran en la **Tabla 4.3**.

**Tabla 4.3.** Resultados series temporales QVEC

Período	X		Y		Z		X-Y		
	V.N (mm/a)	$\sigma_{yx}$	V.E (mm/a)	$\sigma_{yy}$	V. UP (mm/a)	$\sigma_{yz}$	V (N-E) (mm/a)	$\sigma$	Dirección (o)
<b>Antes(A)</b>	6.5699	0.7121	11.8913	0.9875	-37.5348	2.2562	13.5855	1.2174	28.9207
<b>Después(D)</b>	9.6881	0.7291	-8.3085	1.2246	-64.3769	2.7951	12.7628	1.4252	130.6165
<b>A-D</b>	7.2411	0.2703	5.9625	0.4501	-29.7879	1.0414	9.3800	0.5250	50.5309
<b>SIRGAS</b>	8.9287	0.3717	5.3838	0.5121	-6.7712	0.7871	10.4263	0.6327	58.9110

Fuente y Elaboración: El autor

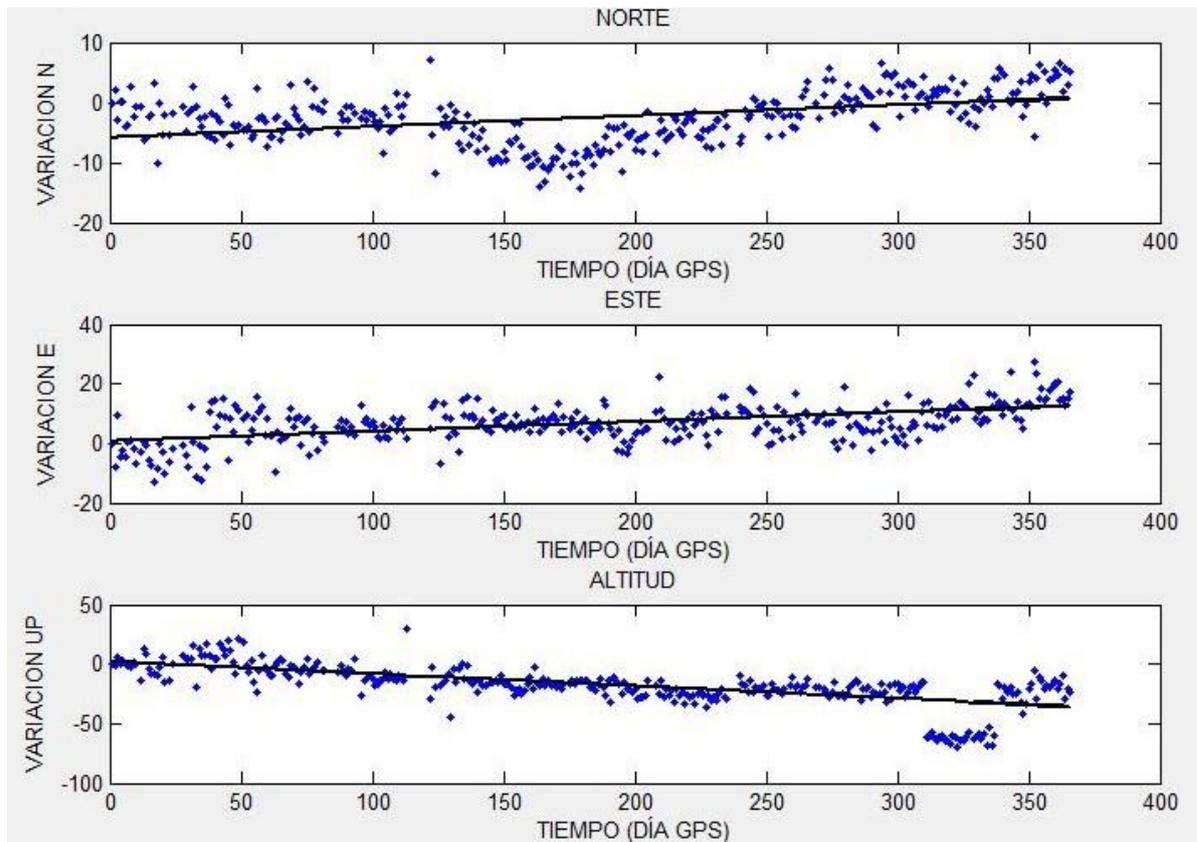
Para una mejor comprensión de los resultados obtenidos se realiza la comparación entre los vectores de velocidad obtenidos en diferentes períodos y datos los mismos que se indican en la **Tabla 4.4**.

**Tabla 4.4.** Comparación entre vectores de velocidades estación QVEC

COMPARACIÓN ENTRE:		V.N (mm/a)	V.ESTE (mm/a)	V. UP (mm/a)	V (N-E) (mm/a)
Período Inicial	Período Final				
Antes	Después	-3.1181	20.1998	26.8421	0.8227
Antes	Antes- Después	-0.6711	5.9287	-7.7468	4.2055
Después	Antes- Después	2.4470	-14.2710	-34.5889	3.3828
Antes- Después	SIRGAS	-1.6877	0.5787	-23.0168	-1.0463

Fuente y Elaboración: El autor

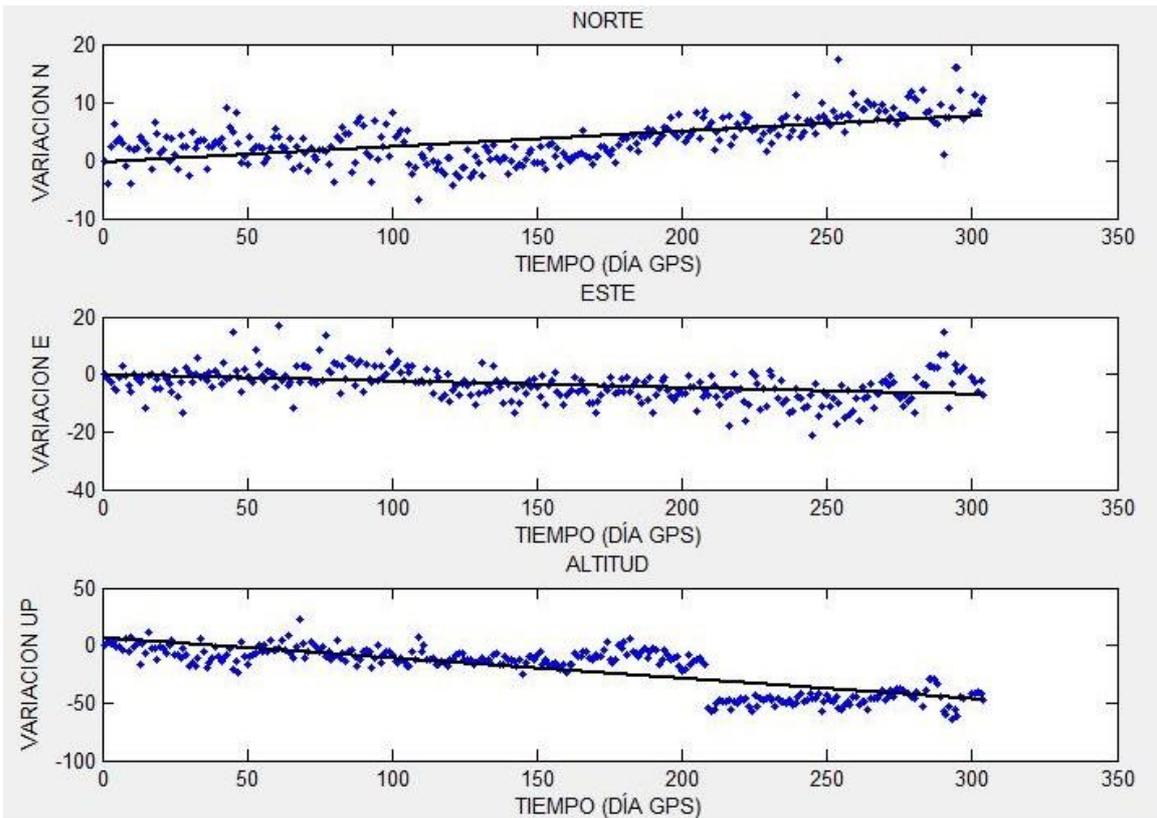
En la **Figura 4.7** se puede apreciar que el movimiento de la estación antes del evento sísmico tiende hacia el Nor-Este. El desplazamiento en la coordenada Este está más ajustada a la recta de regresión. En la dirección Norte se observa un poco de dispersión en puntos sin embargo al final de la serie se muestra una tendencia más clara. Es en la dirección Up donde se debe considerar el mayor interés debido a una tendencia más pronunciada que el resto de vectores, indicando que es la velocidad de desplazamiento más alta en esta serie, lo que se valida con los resultados obtenidos; también presenta un salto entre el día 19 de diciembre de 2011 hasta el 11 de enero de 2012, luego de esto regresa a la tendencia de la recta de regresión. El salto se presenta únicamente en la coordenada Up y se mantiene por un período de tiempo; indicando que la causa del salto no es un fenómeno físico sino que está directamente relacionado con manipulación directa de la estación. Los datos registrados durante el salto han sido considerados para la elaboración de la serie temporal.



**Figura 4.7.** Serie Temporal estación QVEC antes del evento sísmico

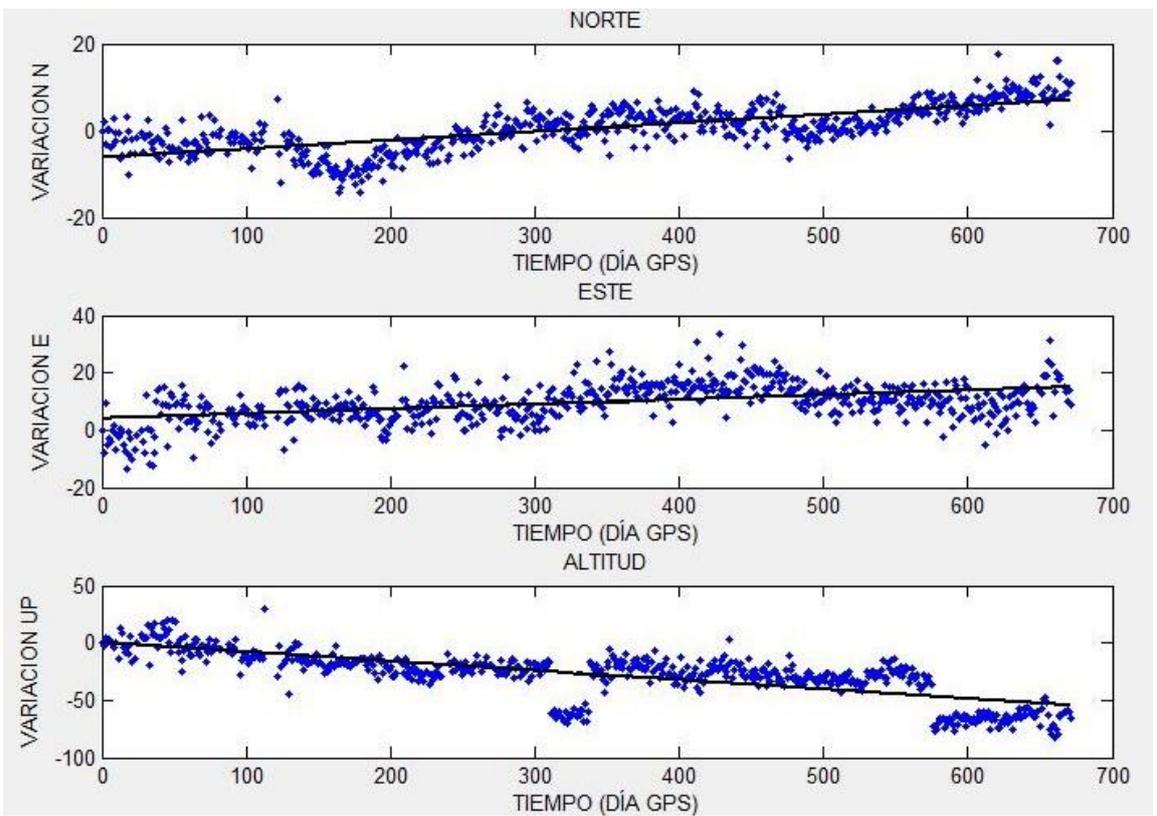
**Fuente y Elaboración:** El autor

En la **Figura 4.8** se aprecia que el movimiento de la estación después del evento sísmico tiende hacia el Nor-Oeste. El desplazamiento en la coordenada Este es la más ajustada a la recta de regresión. Es en la dirección Up donde se debe considerar el mayor interés debido a una tendencia más pronunciada que el resto de vectores, indicando que es la velocidad de desplazamiento más alta en esta serie, lo que se valida con los resultados obtenidos; también presenta un salto a partir del día 04 de septiembre de 2012. El salto se presenta únicamente en la coordenada Up y se mantiene a lo largo del periodo de análisis, el inicio del salto está muy cercano al evento sísmico en estudio. La causa de la presencia del salto se puede atribuir a la presencia del algún fenómeno físico o a una manipulación directa de la estación. Los datos registrados durante el salto han sido considerados para la elaboración de la serie temporal.



**Figura 4.8.** Serie Temporal estación QVEC después del evento sísmico

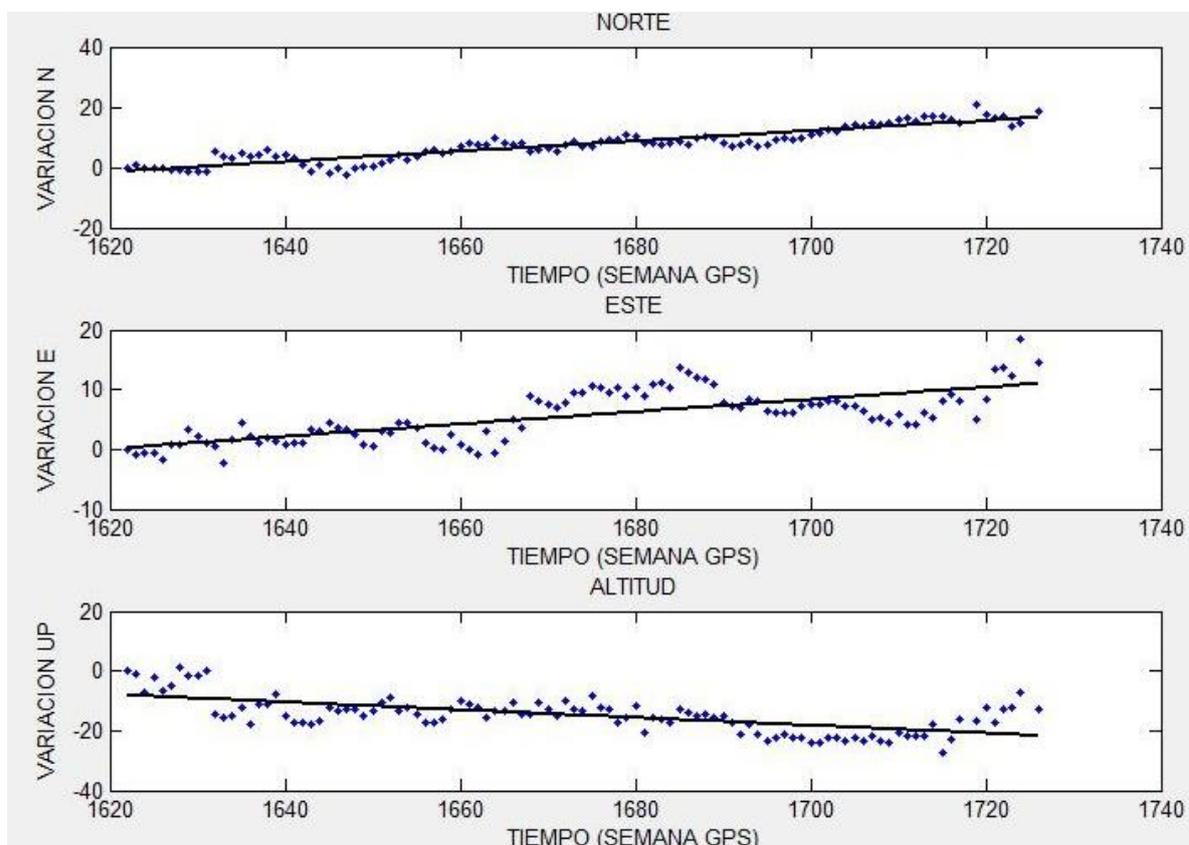
Fuente y Elaboración: El autor



**Figura 4.9.** Serie Temporal estación QVEC antes-después del evento sísmico

Fuente y Elaboración: El autor

En la **Figura 4.9** se puede apreciar que el movimiento de la estación antes-después del evento sísmico tiende hacia el Nor-Este. Las anomalías encontradas son las dos analizadas en las dos últimas series. La variación Este está más ajustada a la recta de regresión. La coordenada Norte es la más dispersa a la recta de regresión. La variación en Up presenta la recta de regresión más pronunciada, lo que indica que el movimiento de la estación GPS en esta dirección es la de mayor magnitud.



**Figura 4.10.** Serie Temporal QVEC semanas 1622 a 1726

**Fuente y Elaboración:** El autor

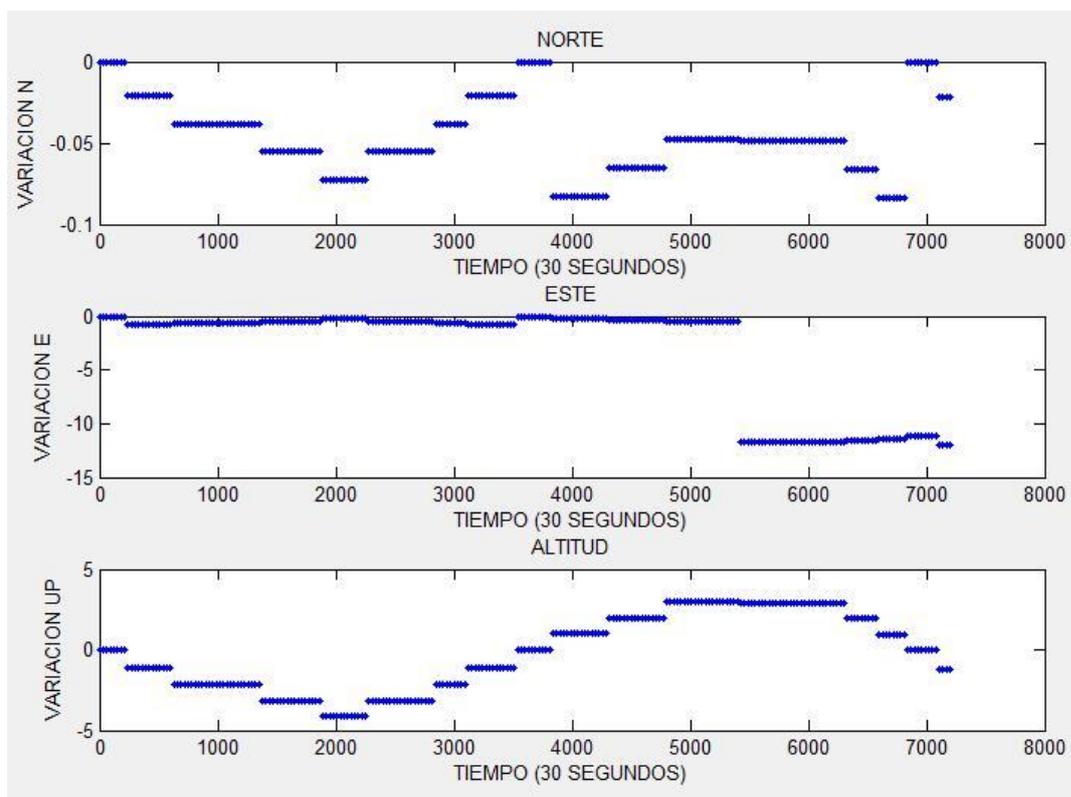
En la **Figura 4.10** se aprecia que el movimiento de la estación antes-después del evento sísmico con datos semanales de la red SIRGAS-CON tiende hacia el Noreste. A diferencia de las series anteriores el desplazamiento en la coordenada Norte está más ajustada a la recta de regresión. La coordenada Up es la más dispersa a la recta de regresión y su pendiente es la más pronunciada, lo que indica que el movimiento de la estación GPS en esta dirección es la de mayor magnitud.

La estación QVEC luego del evento sísmico aumenta el vector de velocidad de desplazamiento Norte, y disminuye en las coordenadas restantes. La velocidad Nor-Este disminuye de 13.5855 mm/a a 12.7628 mm/a. La comparación entre los resultados

obtenidos con datos diarios y datos semanales de la Red SIRGAS-CON en la velocidad Nor-Este es de 1.04mm/a.

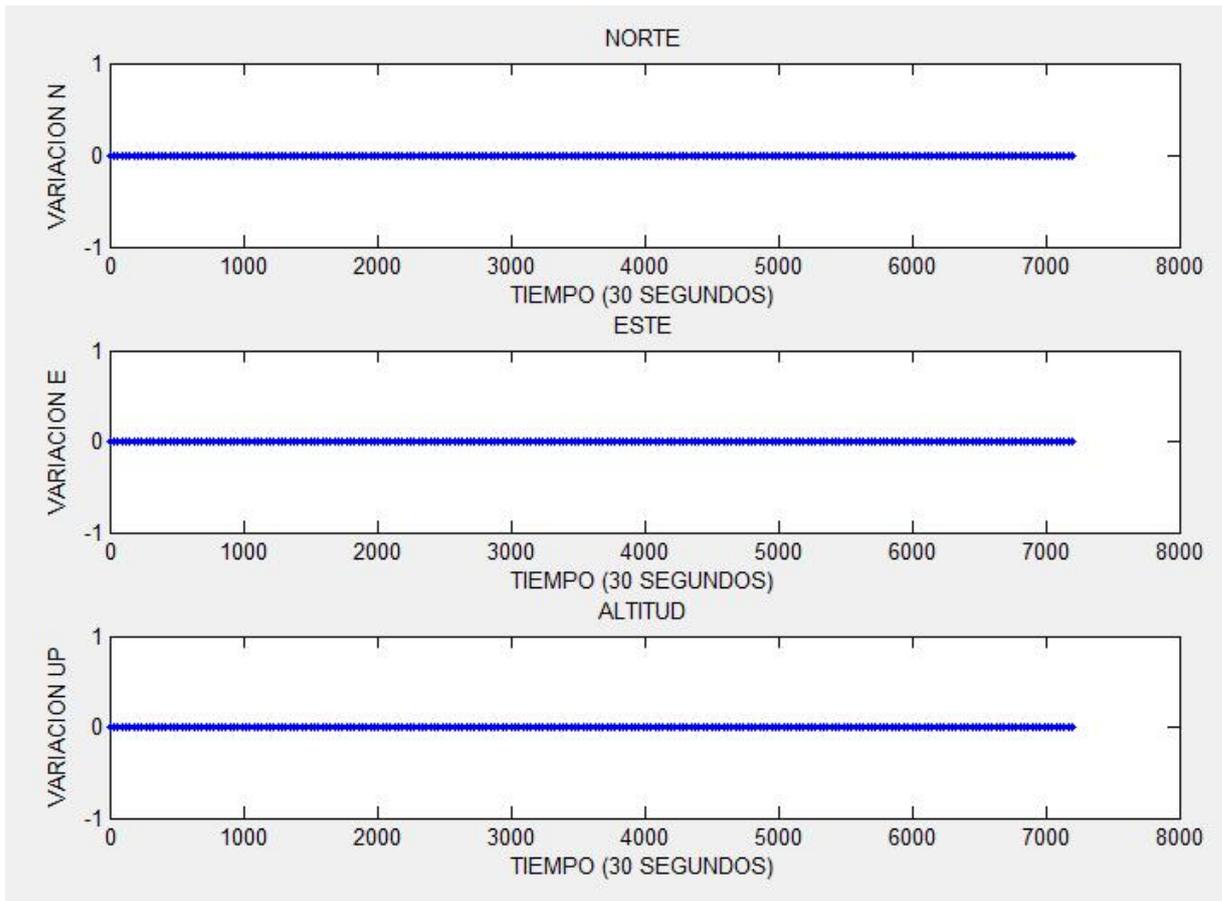
No es apreciable por inspección visual la existencia de un salto sísmico, sin embargo esto no significa que la estación no haya sido afectada por el movimiento sísmico. La **Figura 4.11** muestra los cambios producidos una hora antes y una hora después del evento sísmico; aquí la estación se comporta de una manera aleatoria en el Norte, mientras que en el Este se presenta una variación en el momento exacto de ocurrencia del sismo así como una variación abrupta momentos después del evento sísmico que además se mantiene, y puede ser explicado como un cambio ocurrido en una réplica del sismo. En la coordenada Up se muestra una variación inconstante entre valores de mayor y menor magnitud, indicando la ausencia de una tendencia, igual a lo que ocurre con los movimientos producidos por un sismo.

La **Figura 4.12** muestra el comportamiento de la estación en un periodo de dos horas, tiempo en el que la estación no está sometida a ninguna fuerza o movimiento que altere su normal comportamiento y por tanto no existe ningún vector de velocidad de desplazamiento.



**Figura 4.11.** Serie Temporal estación QVEC datos cada 30seg entre las 04:54a.m a 06:54 a.m. del 08 de febrero de 2012

**Fuente y Elaboración:** El autor



**Figura 4.12.** Serie Temporal estación QVEC datos cada 30seg entre las 18:47 a 20:47 del día 01 de octubre de 2012.

**Fuente y Elaboración:** El autor

### 4.3 Estación San Lorenzo (SNLR)

Los resultados obtenidos de las series temporales para la estación SNLR indicadas en la **Figura 4.13 – Figura 4.15** se muestran en la **Tabla 4.5**.

**Tabla 4.5.** Resultados series temporales SNLR

Período	X		Y		Z		X-Y		
	V.N (mm/a)	$\sigma_{yx}$	V.E (mm/a)	$\sigma_{yy}$	V. UP (mm/a)	$\sigma_{yz}$	V (N-E) (mm/a)	$\sigma$	Dirección (o)
<b>Antes(A)</b>	21.8085	1.7291	30.4566	2.3037	8.3140	3.9005	37.4595	2.8804	35.6046
<b>Después(D)</b>	13.9030	0.7313	4.9671	0.9727	13.9292	1.3555	14.7636	1.2169	70.3397
<b>A-D</b>	10.7863	0.4065	10.3608	0.5527	-0.9601	0.8756	14.9563	0.6861	46.1526

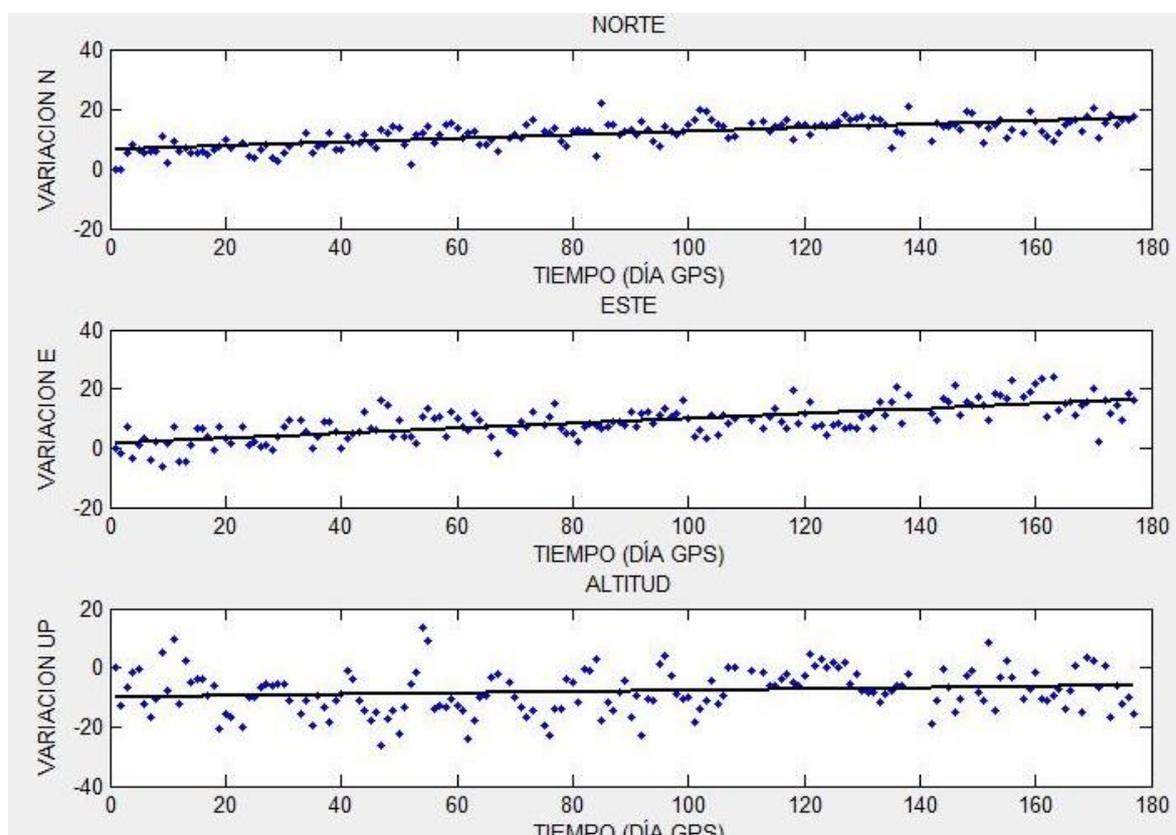
**Fuente y Elaboración:** El autor

Para una mejor comprensión de los resultados obtenidos se realiza la comparación entre los vectores de velocidades obtenidos en diferentes periodos y datos los mismos que se indican en la **Tabla 4.6**.

**Tabla 4.6.** Comparación entre vectores de velocidades estación QVEC

COMPARACIÓN ENTRE:		V.N	V.ESTE	V. UP	V (N-E)
Período Inicial	Período Final	(mm/a)	(mm/a)	(mm/a)	(mm/a)
Antes	Después	7.9055	25.4894	-5.6152	22.6958
Antes	Antes- Después	11.0222	20.0957	9.2741	22.5032
Después	Antes- Después	3.1167	-5.3937	14.8893	-0.1926

Fuente y Elaboración: El autor



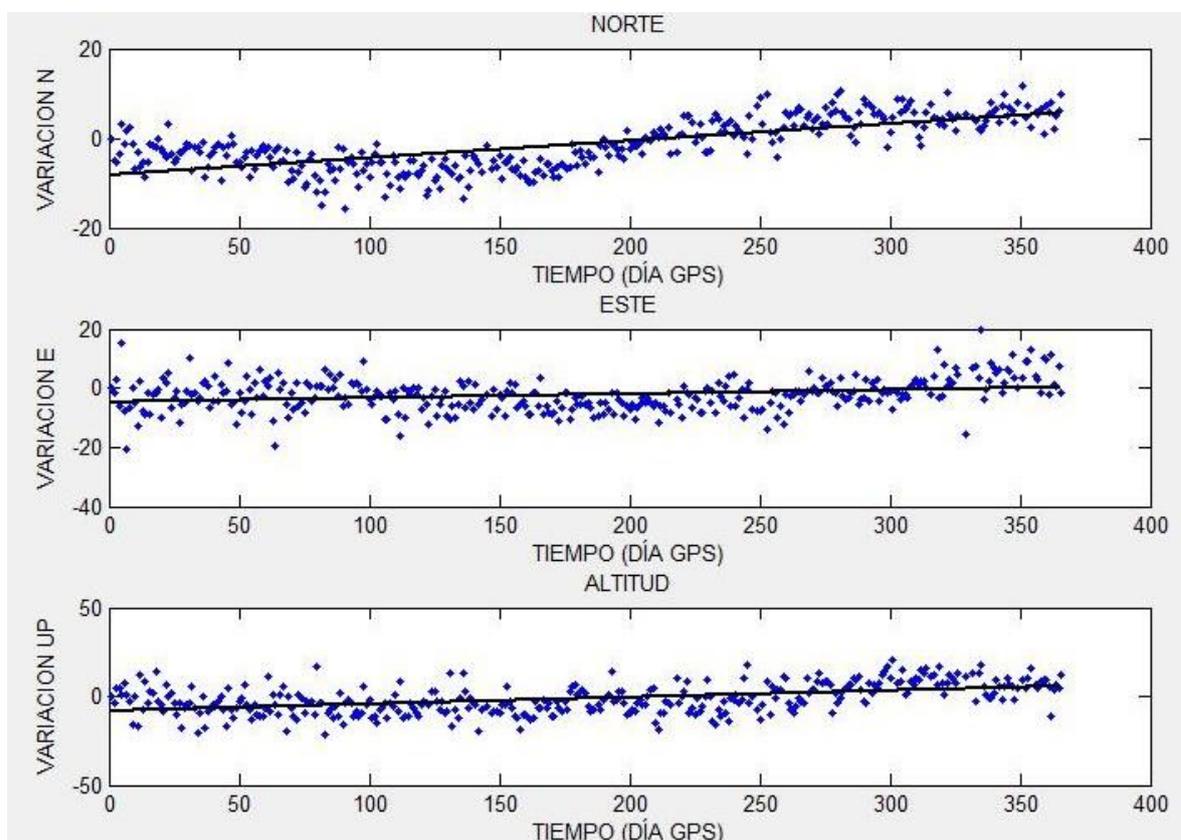
**Figura 4.13.** Serie Temporal estación SNLR antes del evento sísmico

Fuente y Elaboración: El autor

En la **Figura 4.13** se aprecia que el movimiento de la estación antes del evento sísmico tiende hacia el Nor-Este, no se identifica ninguna discontinuidad. El desplazamiento en las coordenadas Norte y Este están muy ajustadas a la recta de regresión. La coordenada Up tiene una pendiente casi horizontal, lo que indica que el movimiento de la estación GPS en esta dirección es mínima.

En la **Figura 4.14** se aprecia que el movimiento de la estación después del evento sísmico tiende hacia el Nor-Este, de manera más pronunciada que la serie anterior especialmente en Norte y no se identifica ninguna discontinuidad. El desplazamiento en la coordenada Este es la que más se ajusta a la recta de regresión. La coordenada Norte es la más dispersa a la

recta de regresión. La pendiente de la coordenada Up es la más pronunciada, indicando que el movimiento de la estación GPS tiende más en altura.

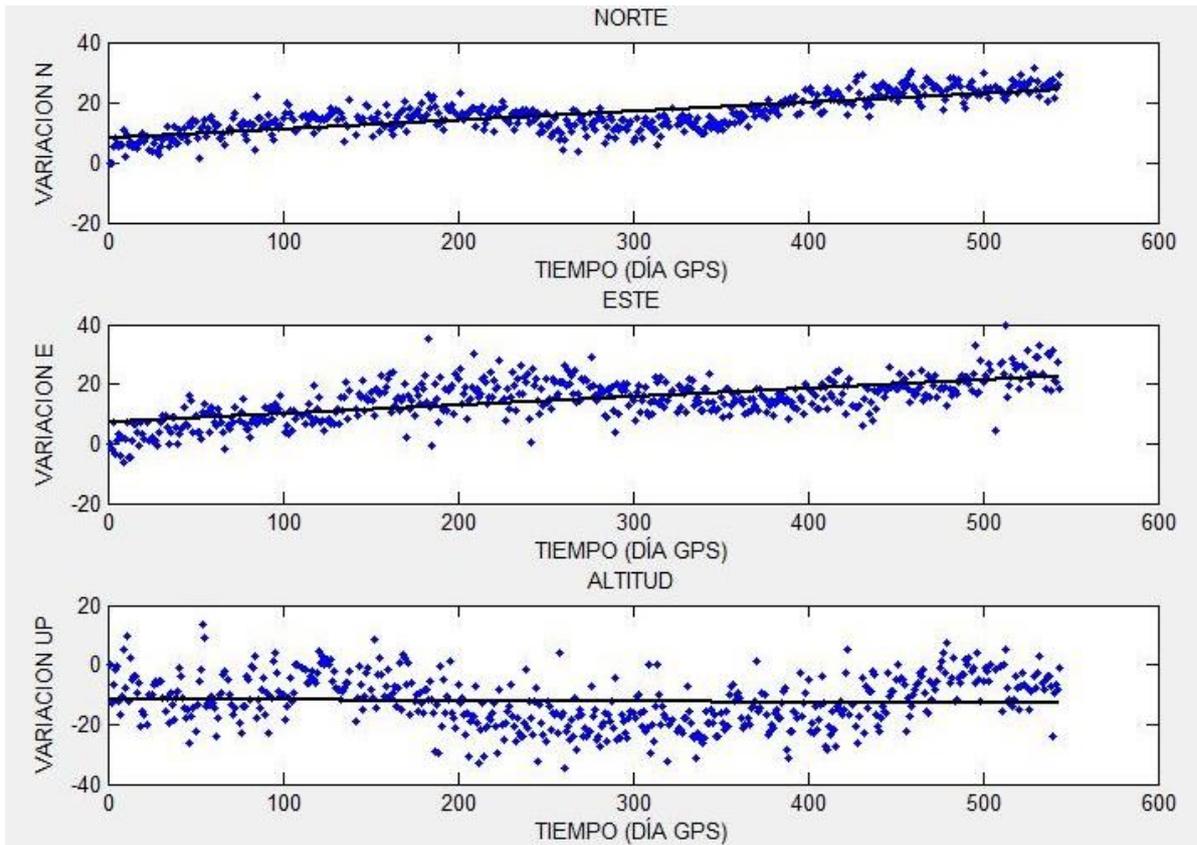


**Figura 4.14.** Serie Temporal estación SNLR después del evento sísmico

**Fuente y Elaboración:** El autor

En la **Figura 4.15** se aprecia que el movimiento de la estación antes-después del evento sísmico tiende hacia el Nor-Este y no se encuentra ninguna discontinuidad. Los desplazamientos de las coordenadas Este y Norte están bastante ajustados a la recta de regresión, y sus valores son muy parecidas tal como se indica en los resultados. La coordenada Up es la más dispersa a la recta de regresión y su pendiente es bastante cercana a la horizontalidad, lo que indica que el movimiento de la estación GPS en esta dirección es la de menor magnitud.

En esta estación no se ha realizado la serie temporal con datos semanales de la Red SIRGAS-CON; debido a disponibilidad de datos se encuentra a partir de la semana 1676, es decir luego de la ocurrencia del evento sísmico, y la velocidad obtenida no sería de un periodo de análisis igual por lo tanto, no es posible establecer ninguna correlación.



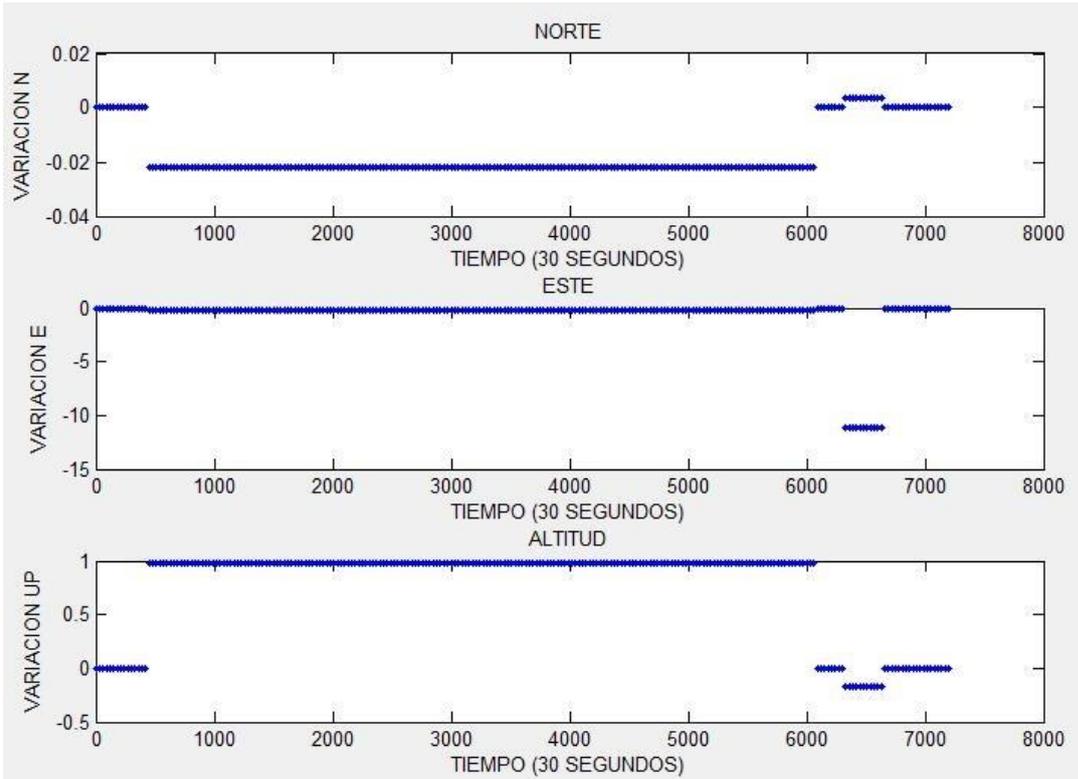
**Figura 4.15.** Serie Temporal estación SNLR antes-después del evento sísmico

**Fuente y Elaboración:** El autor

La estación SNLR luego del evento sísmico disminuye sus vectores de velocidad de desplazamiento en Este y Norte. La velocidad Nor-Este disminuye de 37.46mm/a a 14.76 mm/a. La velocidad obtenida con datos antes- después del evento sísmico tiene vectores de desplazamiento bastante similares a los obtenidos con datos luego del evento sísmico con una diferencia de vector de velocidad Noreste de -0.19mm/a.

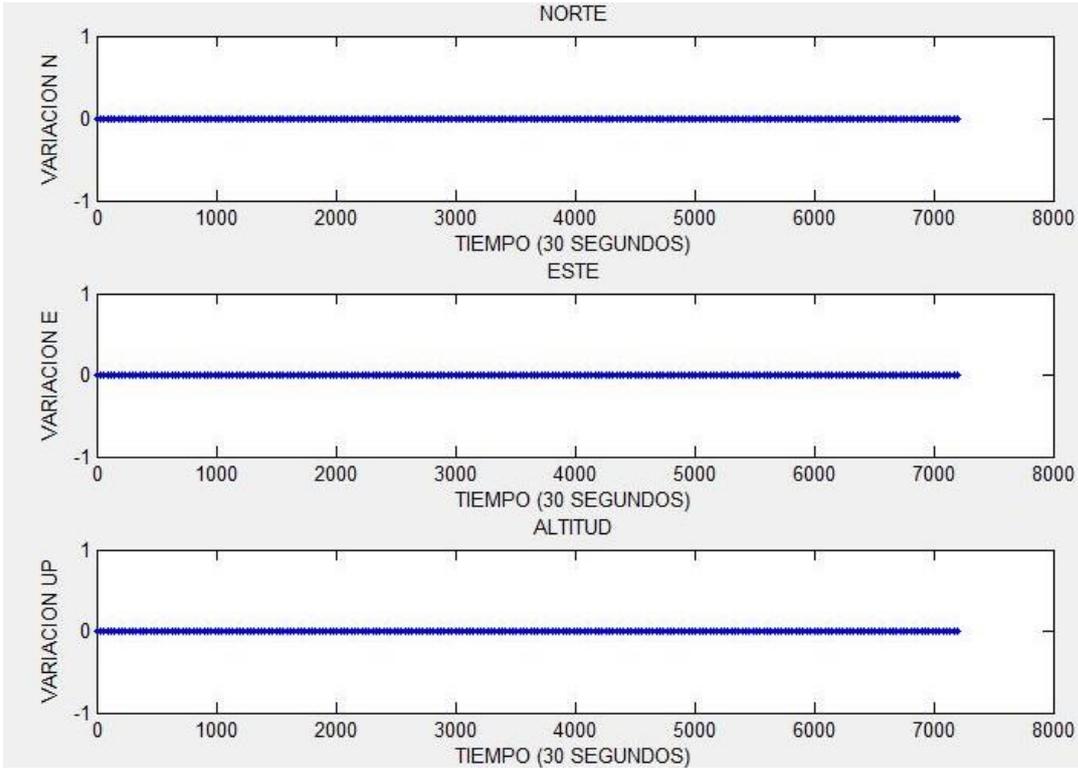
La **Figura 4.16** muestra los cambios producidos una hora antes y una hora después del evento sísmico; aquí la estación se comporta de una manera relativamente uniforme y conservando una tendencia horizontal. En el momento de ocurrencia del evento sísmico no muestra ninguna variación por lo que se puede determinar que el evento sísmico no fue registrado por la estación GPS, aunque si presenta algunos desplazamientos posteriores que podrían corresponder a una réplica del evento sísmico.

La **Figura 4.17** muestra el comportamiento de la estación en un periodo de dos horas, tiempo en el que la estación no está sometida a ninguna fuerza o movimiento que altere su normal comportamiento y por tanto no existe ningún vector de velocidad de desplazamiento.



**Figura 4.16.** Serie Temporal estación SNLR datos cada 30seg entre las 04:54a.m a 06:54 a.m. del 08 de febrero de 2012

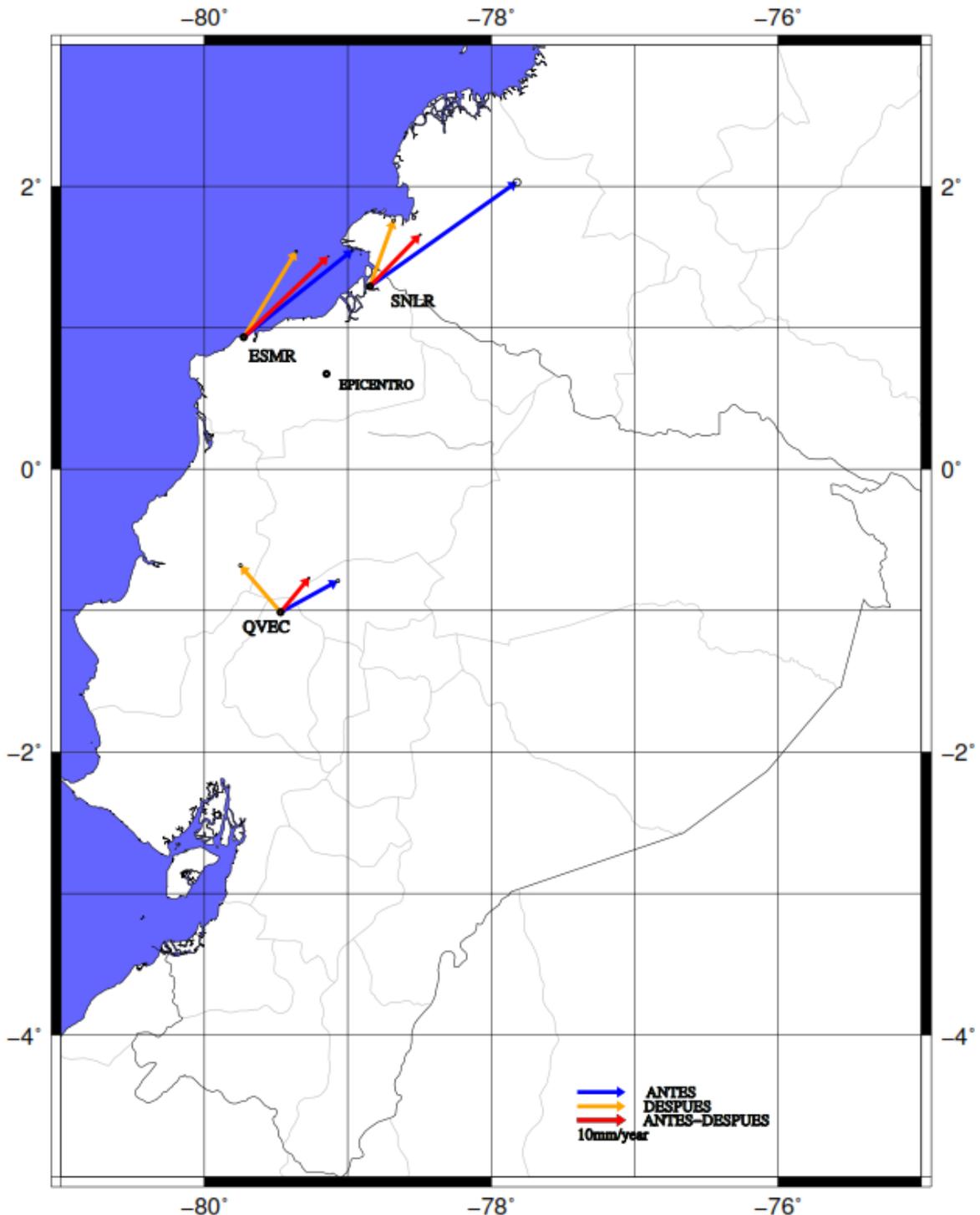
**Fuente y Elaboración:** El autor



**Figura 4.17.** Serie Temporal estación SNLR datos cada 30seg entre las 20:00 a 22:00 del día 23 de agosto de 2012

**Fuente y Elaboración:** El autor

Los resultados se muestran de manera esquemática en la **Figura 4.18** donde se puede apreciar las velocidades de desplazamiento antes, después y antes-después del evento sísmico con flechas de color azul, anaranjado y rojo antes-después del evento sísmico; todas ellas representadas con su desviación estándar.



**Figura 4.18.** Velocidades de desplazamientos con su desviación estándar obtenidas con datos diarios antes, después, y antes-después del evento sísmico

Fuente y Elaboración: El autor

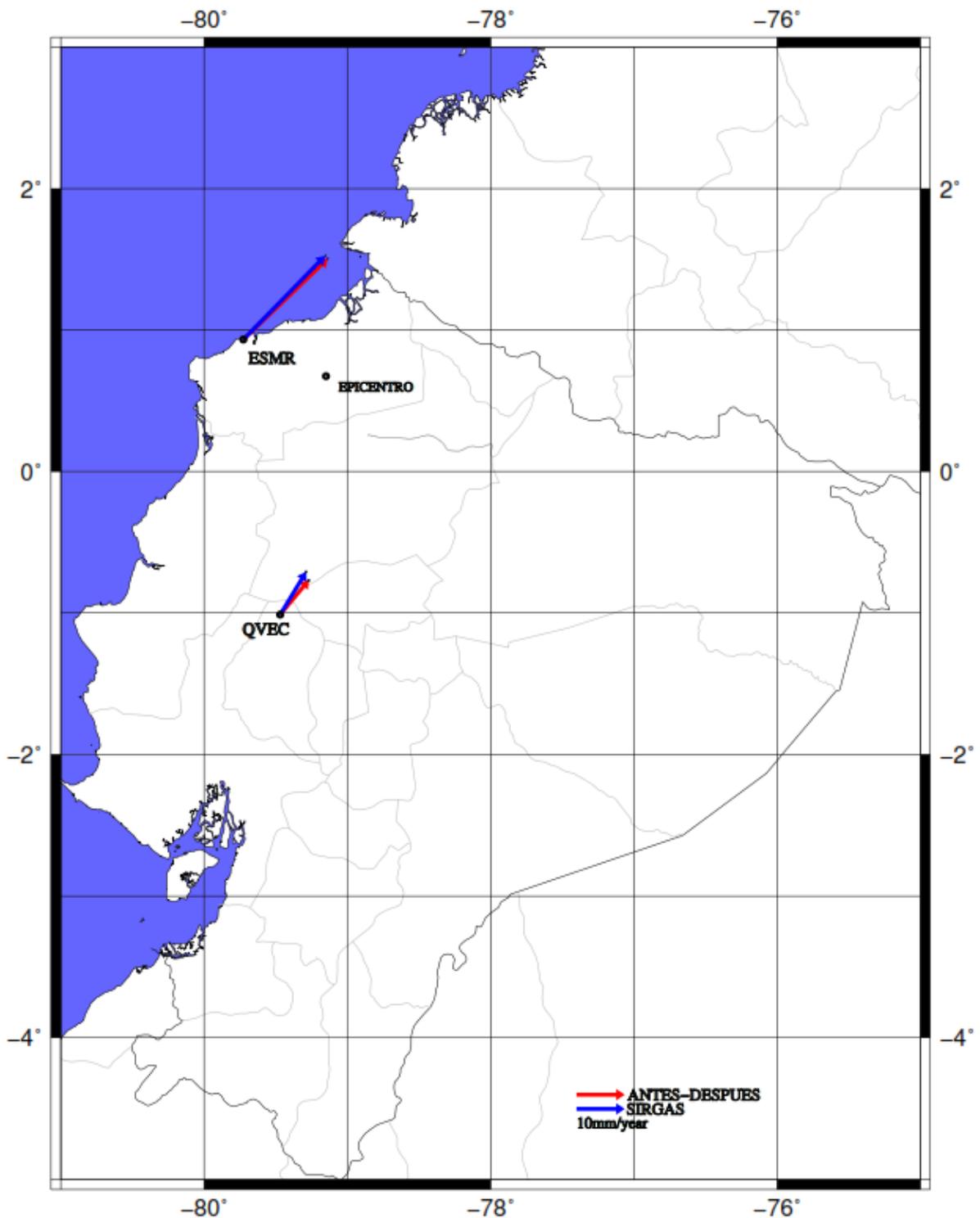
La dirección de desplazamiento se mantiene constante en todas las estaciones donde se muestra una dirección de desplazamiento Nor-Este tanto antes, después y antes-después del evento sísmico; a excepción del vector de desplazamiento después del evento sísmico en la estación QVEC donde tiene una dirección de desplazamiento Nor-Oeste. Se precia que el ángulo de orientación es menor antes del evento sísmico. El mayor ángulo de orientación se presenta luego del evento sísmico

Los valores de desviación estándar en la estación ESMR, QVEC y SNLR son de  $\pm 0.3413$ ,  $\pm 0.5250$  y  $\pm 0.6861$  respectivamente.

La mayor velocidad de desplazamiento antes del evento sísmico se encuentra en la estación SNLR con un valor  $37.4595\text{mm/año}$ , mientras que después y antes-después del evento sísmico las mayores velocidades de desplazamiento se presentan en la estación ESMR con valores de  $20.9368\text{ mm/año}$  después y  $20.9638\text{mm/año}$  antes-después del evento sísmico.

En la **Figura 4.19** se aprecian las velocidades de desplazamiento obtenidas antes-después del evento sísmico con datos diarios RINEX y coordenadas semanales de la red SIRGAS-CON con flechas de color rojo y azul respectivamente, los resultados indican una diferencia de  $0.05493\text{ mm/a}$  y  $1^{\circ}52'7.61''$  en la estación ESMR y de  $1.0463\text{mm/año}$  con una diferencia de dirección de  $8^{\circ}22'48.68''$  en la estación QVEC. Como se indicó la estación SNLR no consta con datos disponibles antes del evento sísmico por lo que no se considera para el mapeo.

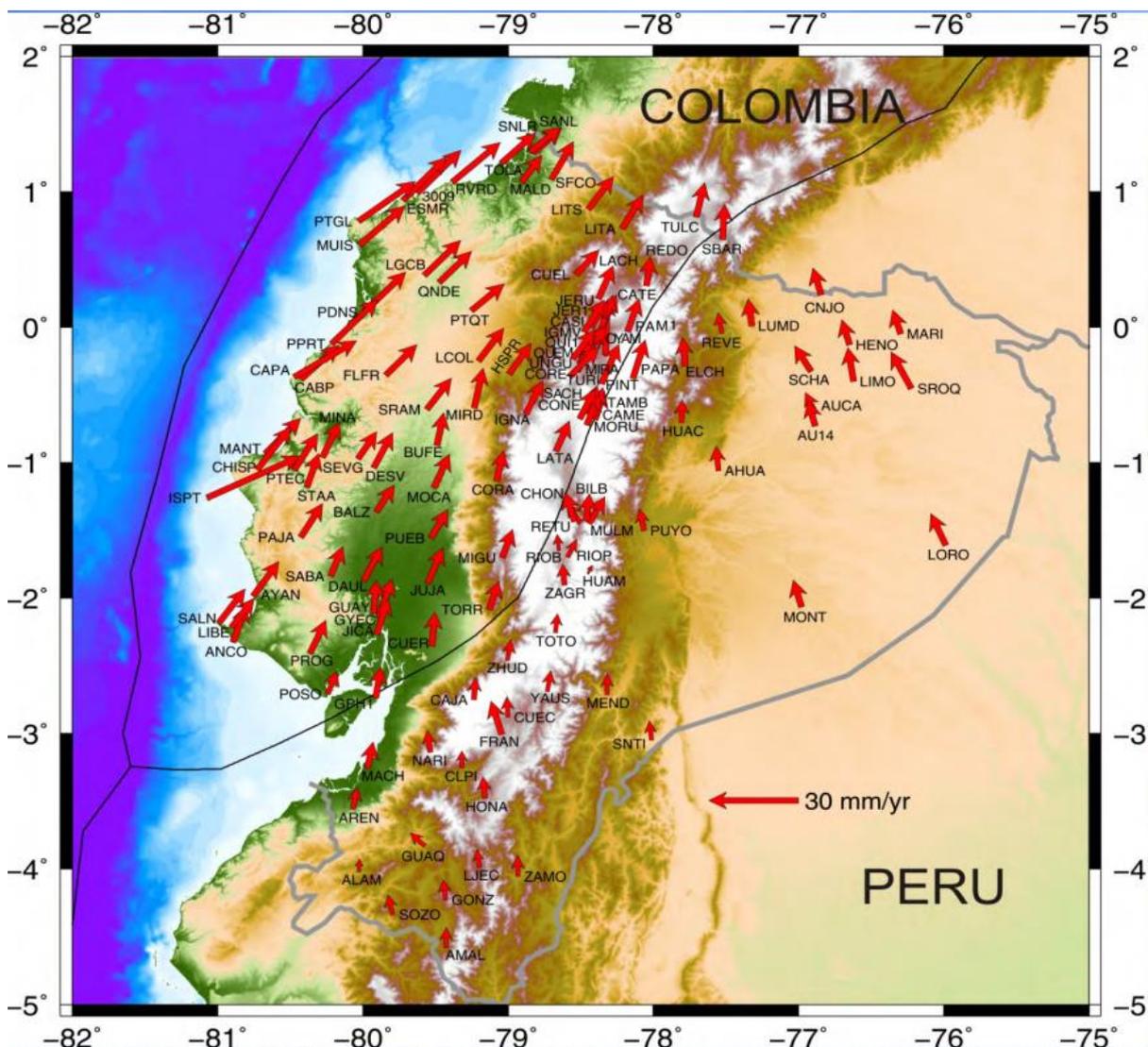
Las desviaciones estándar obtenidas en las velocidades Nor-Este son de  $\pm 0.3414$ ,  $\pm 0.6237$  y  $\pm 0.6861$  en las estaciones ESMR, QVEC y SNLR respectivamente. Todos los vectores tienen una dirección Nor-Este y presentan un menor ángulo de orientación las velocidades obtenidas con datos diarios.



**Figura 4.19.** Velocidades de desplazamientos con su desviación estándar obtenidas con datos diarios y coordenadas SIRGAS antes-después del evento sísmico

**Fuente y Elaboración:** El autor

En la **Figura 4.20** se puede observar las direcciones de desplazamiento de varias estaciones de la Red GNSS donde se incluye las estaciones en estudio ESMR y SNLR; se aprecia que las direcciones de desplazamiento tienen el mismo sentido mostrado en el mapeo obtenido con los resultados de la investigación, lo que muestra la confiabilidad de los resultados obtenidos.



**Figura 4.20.** Campo de Velocidades del Ecuador -VEC\_Ec

Fuente: (Cisneros, 2011)

## CONCLUSIONES

- Las velocidades de desplazamiento obtenidas antes del evento sísmico con coordenadas diarias RINEX son de 28.9890, 13.5855 y 37.4595 mm/año para las estaciones ESMR, QVEC y SNLR, respectivamente.
- Las velocidades de desplazamiento obtenidas después del evento sísmico con coordenadas diarias RINEX son de 20.9638, 12.7628 y 14.9563 mm/año para las estaciones ESMR, QVEC y SNLR, respectivamente.
- Las velocidades de desplazamiento obtenidas antes-después del evento sísmico con coordenadas diarias RINEX son de 24.3138, 9.3800 y 14.9563 mm/año para las estaciones ESMR, QVEC y SNLR, respectivamente.
- Las velocidades de desplazamiento obtenidas antes-después del evento sísmico con coordenadas semanales de la red SIRGAS-CON son de 24.259, 10.4263 mm/año para las estaciones ESMR y QVEC, respectivamente.
- Las velocidades de desplazamiento obtenidas con datos diarios RINEX y coordenadas de la red SIRGAS-CON presentan valores muy cercanos en sus velocidades y ángulos de desplazamiento.
- Las series temporales obtenidas muestran que la metodología aplicada ha sido correcta y se ajusta a las características de datos con los que se está trabajando.
- Las direcciones de desplazamiento en todas las estaciones han sido hacia el noreste a excepción de la estación QVEC después del evento sísmico que toma una dirección noroeste.
- Los desplazamientos producidos durante el evento sísmico son visibles únicamente con las series generadas con datos cada 30 segundos.
- La estación SNLR no registra el movimiento producido por el evento sísmico ni si quiera en la serie generada con intervalos de observación de 30 segundos.
- Las velocidades obtenidas con datos antes del evento sísmico presentan magnitudes mayores que las obtenidas después del evento sísmico.
- Las direcciones de desplazamiento obtenidos con datos antes del evento sísmico presentan valores menores a los obtenidos después del evento sísmico.
- Las direcciones de desplazamiento obtenidas corresponde a las direcciones encontradas en investigaciones similares como la elaborada por el Ing. David Cisneros con datos desde el año 1944 hasta 2010.

## RECOMENDACIONES

- Con el objetivo de obtener una mayor precisión en los resultados, se debe descargar la mayor cantidad de datos disponibles.
- En trabajos futuros se debe complementar el análisis con datos obtenidos de la Red Nacional de Sismógrafos (RENSIG).
- Para investigaciones futuras con una base de datos más amplia, se podría trabajar con periodos de análisis mayores así como intervalos de observación menores; es decir cada segundo.
- Esta investigación debe ser aplicada en lo posible a eventos sísmicos con una magnitud mayor a la estudiada.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alonso Sarría, F. A. (13 de 02 de 2006). *Universidad de Murcia*. Obtenido de <http://www.um.es/geograf/sigmur/GMTtuthtml/index.html>
- Capilla Romá, R., Soria Pozo, A., & Martín Furones, A. (2012). *Posicionamiento Preciso de Punto (PPP): Una técnica de futuro. Análisis de la innovación técnica de posicionamiento GNSS PPP para toma de datos en Tiempo Real en el territorio y aplicaciones forestales*. Valencia: Universidad Politecnica de Valencia.
- Centro Regional de Sismología para América del Sur. (1997). *Peligro sísmico en Latinoamérica y el Caribe*. Pan American Institute of Geography and History (PAIGH).
- Cisneros, D. (2011). *Campo de velocidades del Ecuador -VEC\_EC obtenido a través de mediciones de campañas GPS de los últimos 15 años y medidas de una red GPS permanente*. Quito: Instituto Geográfico Militar del Ecuador.
- Cisneros, D. (2013). *Análisis de la Red Nacional GPS enlazada al sistema de referencia SIRGAS95 y su evolución hacia la nueva infraestructura soportada por la Red GNSS de monitoreo continuo del Ecuador*. Quito: Instituto Geográfico Militar del Ecuador.
- Cisneros, D. (2014). *Procesamiento Científico Ecuatoriano de datos GPS generados por estaciones permanentes ubicadas en países de la región SIRGAS*. Quito: IGM.
- Comité Ejecutivo de la Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2011). Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-11. En *Capítulo 2: Peligro Sísmico y Requisitos de diseño Sismo-resistente*.
- Furones, Á. M. (2011). Sistema y Marco de Referencia Terrestre. Sistema de coordenadas. *Universidad Politécnica de Valencia*.
- Gurtner, W., & Estey, L. (2007). "RINEX: El Formato Receptor Cambio Independiente".
- Instituto de Geología Universidad Nacional Autónoma de México. (s.f.). La Teoría de la Tectónica de Placas y la Deriva Continental. México. Recuperado el 25 de 06 de 2015,

de <http://www.geologia.unam.mx/igl/index.php/difusion-y-divulgacion/temas-selectos/568-la-teoria-de-la-tectonica-de-placas-y-la-deriva-continental>

Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. (30 de 01 de 2012). Recuperado el 15 de 05 de 2015, de <http://www.igepn.edu.ec/>: <http://www.igepn.edu.ec/noticias/575-terremoto-de-esmeraldas-de-1906-uno-de-los-sismos-m%C3%A1s-grandes-la-historia>

Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. (2013). Informe Sísmico para el Ecuador Año 2012. Quito, Ecuador. Recuperado el 15 de 05 de 2015, de <http://www.igepn.edu.ec/>

Instituto Geográfico Militar . (21 de 07 de 2015). *Geoportal IGM*. Obtenido de [http://www.geoportaligm.gob.ec/visor\\_regme/](http://www.geoportaligm.gob.ec/visor_regme/)

Instituto Geográfico Militar. (2014). *Informe de la determinación de la metodología de transformación entre sistemas de referencia PSAD56 y distintas realizaciones del ITRF*. Quito.

Instituto Geográfico Nacional (IGN). (13 de 07 de 2015). IGN. Mendoza, Mendoza, Argentina. Recuperado el 15 de Julio de 2015, de <http://www.ign.gob.ar/archivos/ramsac/estacion2.php?estacion=MZAC>

Instituto Geográfico Nacional República de Argentina. (s.f.). <http://www.ign.gob.ar/>. Recuperado el 18 de 06 de 2015, de <http://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/Geodesia/Introduccion>

Instituto Geológico de Estados Unidos. (24 de 07 de 2012). *U.S Geological Survey*. (D. d. Unidos, Editor) Recuperado el 17 de 05 de 2015, de <http://earthquake.usgs.gov/learn/glossary/?term=magnitude>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (s.f.). <http://www.inegi.org.mx/>. Recuperado el 17 de 06 de 2015, de [http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geodesia/que\\_es\\_geoide.aspx](http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geodesia/que_es_geoide.aspx)

- Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutierrez. (13 de 08 de 2015). *Numerictron*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/numerictron/unidad-4/4-3-regresion-por-minimos-cuadrados-lineal-y-cuadratica>
- Internacional Earth Rotation and Reference System Service. (2013). *IERS*. Recuperado el 21 de Julio de 2015, de <http://www.iers.org/IERS/EN/DataProducts/ITRS/itrs.html>
- Ivars, L. (18 de Julio de 2013). *Café Geodésico*. Recuperado el 07 de Julio de 2015, de <http://cafegeodesico.blogspot.com/2013/07/el-posicionamiento-puntual-preciso-ppp.html>
- Lizarazo, S. C., Mora Paéz, H., & Fernando Santa, L. (2013). Análisis de tendencias de movimiento de estaciones GNSS/GPS mediante series de tiempo geodésicas en Colombia, 2008-2011. *UD y la Geomáticas*, 41-51.
- Molina, A. S. (1995). *Ingeniería Sísmica* (Segunda ed.). Bogota, Colombia: Ediciones Uniandes.
- Natural Resource Canada. (27 de 05 de 2014). *Natural Resource Canada*. Recuperado el 02 de 08 de 2015, de <http://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/geomatics/geodetic-reference-systems/tools-applications/10925>
- Ochoa , J., & Ulcuango, F. (2014). *Estudio de la seguridad sísmica y diseño del reforzamiento estructural de una vivienda de tres pisos*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Paguay , J. G., & Trujillo, M. M. (2010). *Evaluación de la construcción informal de edificaciones en zonas urbano marginales de la ciudad de Riobamba*. Universidad Nacional de Chimborazo.
- Prieto, J. (2012). *Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Topografía, Geodesia y Cartografía Universidad Politécnica de Madrid*. Obtenido de <http://gps.geo.upm.es/www/2012G.htm>
- Rizos, C., Janssen , V., Roberts, C., & Grinter, T. (2012). *Precise Point Positioning: Is the Era of Differential GNSS Positioning Drawing to an End?* Roma: FIG Working Week 2012.

Russell, R. (19 de 01 de 2010). *Ventanas al Universo*. Recuperado el 15 de 05 de 2015, de [http://www.windows2universe.org/earth/geology/quake\\_1.html&lang=sp](http://www.windows2universe.org/earth/geology/quake_1.html&lang=sp)

Sarachaga, M. H. (1997). *Conceptos básicos de sismología para ingenieros* (Primera ed.). Lima, Perú: Universidad Nacioanl de Ingeniería - CISMID.

SIRGAS. (11 de Enero de 2015). *SIRGAS*. Recuperado el 17 de Agosto de 2015, de <http://www.sirgas.org/index.php?id=181>

Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas. (08 de 06 de 2015). <http://www.sirgas.org/index.php?id=15>. Recuperado el 21 de Julio de 2015, de <http://www.sirgas.org/index.php?id=15>

Tarbuck, E. J., & Lutgens, F. K. (2005). *Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física* (Octava ed.). Madrid: Pearson Education S.A.

Tarbuck, E. J., & Lutgens, F. K. (2013). *Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física* (Décima ed.). Madrid: Pearson Educación S.A.

Wolf, P. R., & Ghilani, C. D. (2009). *Topografía*. México D.F: Alfaomega Grupo Editor.

Zakatov, P. (1997). *Curso de Geodesia Superior*. Madrid: RUBIÑOS-1860, S.A.

Zurita, P. (2011). *Informe técnico para la adopción del marco geodésico de referencia nacional SIRGAS -Ecuador*. Quito: Instituto Geográfico Militar.

## **ANEXOS**

## Anexo 1. Ficha Técnica estación ESMR



I N S T I T U T O  
*Geográfico Militar*

REGME - ESMR

### REGME RED GNSS DE MONITOREO CONTINUO DEL ECUADOR Formulario Informativo Estación de Monitoreo Continuo ESMERALDAS - ESMR

#### 0. FORMULARIO

Preparado: Equipo Técnico REGME – CEPGE  
Autor: S.P. Javier Benavides C.  
Revisado: Ing. David A. Cisneros R.  
Fecha: 10 de noviembre de 2012  
Actualización: 30 de Noviembre de 2014  
Versión: 8.00



#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA ESTACIÓN GNSS

Nombre de la Estación: Esmeraldas Ecuador  
Identificación de la Estación: ESMR  
Código Internacional: 420141M001  
Información Adicional: [esmr\\_20090708.log](#) (log file vigente)  
Propietario Equipos: Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional  
Responsable Mantenimiento: Ing. Patricia Mothes  
e-mail contacto: [pmothes@igepep.edu.ec](mailto:pmothes@igepep.edu.ec)

#### 2. INFORMACIÓN SOBRE LA LOCALIZACIÓN

Provincia: Esmeraldas  
Ciudad: Esmeraldas  
Tipo de Monumentación: Estructura piramidal de acero de 1.00 m de altura. La base de la antena se coloca 0.184m. verticalmente por encima de un perno.

Ubicación: La estación está instalada en el terminal de OCP, a unos 5 Km del mar y a 15 Km. de la ciudad de Esmeraldas



Estación de Monitoreo Continuo ESMR



### 3. COORDENADAS OFICIALES

ITRF: 94  
DATUM: SIRGAS 95  
EPOCA DE REFERENCIA: 1995.4  
ELIPSOIDE DE REFERENCIA: GRS80

Coordenadas Geodésicas			
Latitud:	0° 56' 04.7260" N	Sigma:	0.003 m.
Longitud:	79° 43' 27.7485" W	Sigma:	0.003 m.
Altura Elipsoidal:	251.754 m	Sigma:	0.004 m.
Altura Nivelada *:		Fuente:	IGM - CEPGE
Coordenadas Planas (UTM 17 SUR)			
Norte:	103332.347m	Sigma:	0.003 m.
Este:	641938.213m	Sigma:	0.003 m.

\*Altura Trigonométrica, referida al nivel medio del mar; con origen en el mareógrafo de La Libertad.

**Nota:** Las coordenadas semanales fijas de esta estación se pueden encontrar en la página web de SIRGAS, en la siguiente dirección: <http://www.sirgas.org/index.php?id=153>

### 4. INFORMACIÓN DEL EQUIPO GNSS

#### 4.1. Receptor

4.1.1. Tipo de Receptor: TRIMBLE NETRS  
Número de Serie: 4541260349  
Sistema Satelital: GPS  
Fecha de Instalación: 03 abril 2007

#### 4.2. Antena

4.2.1. Modelo de Antena: ZEPHYR GEODETIC (NGS ID: TRM41249.00)  
Nombre Rinex: TRM41249.00 NONE  
Número de Serie: 60035111  
Sistema Satelital: GPS  
Altura de la Antena: 1.184 m.  
Detalle de Altura: Distancia vertical desde la plataforma de cemento hasta el ARP (Antenna Reference Point). Ver figura inferior.

Modelo RADOME: Ninguna (NONE)  
Número de Serie: Ninguna (NONE)  
Fecha de instalación: 03 abril 2007

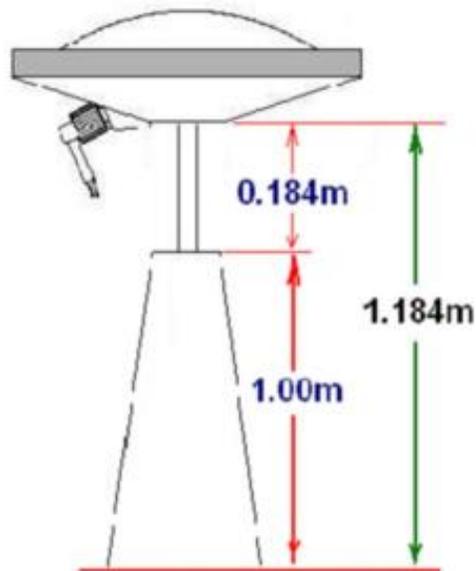
#### NOTA TÉCNICA:

Acceso LOG FILE OFICIAL: <ftp://ftp.sirgas.org/pub/gps/DGF/station/log>

Acceso Datos REGME - PROTOCOLO LIBERACIÓN IGM:  
<http://www.geoportalmgm.gob.ec/portal/index.php/datos-geodesicos/>

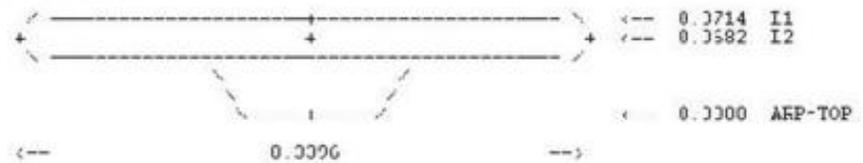


4.3 Esquema de Altura de la Antena



4.3.1 Esquema de la Antena TRM41249.00

TRM41249.00



ARP: Antenna Reference Point  
 I1 : I1 Phase Center  
 PCR: Top of Chokingring  
 GCP: Top of Ground Plane  
 PPA: Top of Preamplifier  
 TOP: Top of Pole

I2 : I2 Phase Center  
 BCR: Bottom of Chokingring  
 HGP: Httos of Ground Plane  
 DPA: Bottom of Preamplifier





## 5. INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Observables: (7) C1, L1, P1, S1, P2, L2, S2  
Intervalo de Registro: 30 segundos  
Ángulo de Máscara: 0 grados  
Archivo Diario: Si  
Formato de Archivo: Rinex (versión 2.11)  
Servidor de Búsqueda: [www.geoportaligm.gob.ec](http://www.geoportaligm.gob.ec) [www.igm.gob.ec](http://www.igm.gob.ec)  
Transmite Correcciones Diferenciales por Internet en tiempo real: NO  
Servidor Cáster NTRIP: Ninguno

## 6. INFORMES Y CONTACTOS

6.1 - Para información Técnica IGEPN contactar:

Agencia: INSTITUTO GEOFISICO ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
Dirección: Av. Ladrón de Guevara S/N, EPN Ing. CIVIL Quito  
Teléfono: (593) (2) 22 25 655  
Fax: (593) (2) 22 27 031  
Página Web: [www.epn.edu.ec](http://www.epn.edu.ec)

Contacto (1): Patricia Mothes  
E - mail: [pmothes@igepn.edu.ec](mailto:pmothes@igepn.edu.ec)

Contacto (2): Paúl Jarrin  
E - mail: [piarrin@igepn.edu.ec](mailto:piarrin@igepn.edu.ec)

6.2 Para información sobre comercialización y adquisición de datos contactar:

Agencia: INSTITUTO GEOFISICO ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
Dirección: Av. Ladrón de Guevara S/N, EPN Ing. CIVIL Quito  
Teléfono: (593) (2) 22 25 655  
Fax: (593) (2) 22 27 031  
Contactos: Patricia Mothes  
E - mail: [pmothes@igepn.edu.ec](mailto:pmothes@igepn.edu.ec)

6.3 - Para información Técnica REGME-CEPGE contactar:

Agencia: INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR, Gestión Cartográfica, CEPGE GNSS  
Dirección: Av. Seniergues E4-676 y Gral. Telmo Paz y Miño, El Dorado. Quito.  
Teléfono: (593) (2) 39 75 100 al 130, extensión 2013  
Fax: (593) (2) 39 75 186  
Página Web: [www.igm.gob.ec](http://www.igm.gob.ec) [www.geoportaligm.gob.ec/index2.html](http://www.geoportaligm.gob.ec/index2.html)

Contacto (1): Ing. David A. Cisneros R.  
E - mail: [david.cisneros@mail.igm.gob.ec](mailto:david.cisneros@mail.igm.gob.ec)  
[cepge@mail.igm.gob.ec](mailto:cepge@mail.igm.gob.ec)

Contacto (2): Lic. Alberto Chavez B.  
E - mail: [Javier.benavides@mail.igm.gob.ec](mailto:Javier.benavides@mail.igm.gob.ec)  
[cepge@mail.igm.gob.ec](mailto:cepge@mail.igm.gob.ec)



I N S T I T U T O  
*Geográfico Militar*

REGME - ESMR

#### 6.4 Instituciones participantes

La **REGME - ESMR**, cuenta con el apoyo de las siguientes instituciones:

- **Instituto Geográfico Militar del Ecuador**  
[www.igm.gob.ec](http://www.igm.gob.ec)
- **Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas**  
[www.sirgas.org/](http://www.sirgas.org/)
- **Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional**  
<http://www.igepn.edu.ec/>

**Fuente:** (Instituto Geográfico Militar , 2015)