



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA  
CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO  
AMBIENTE**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO GEÓGRAFO Y DEL MEDIO  
AMBIENTE**

**TEMA: OBTENCIÓN DE COORDENADAS PRECISAS DE  
ESTACIONES DE MONITOREO CONTINUO Y SIMULACIÓN  
SÍSMICA PARA DETECCIÓN DE MOVIMIENTOS RÁPIDOS.**

**AUTORES: LÓPEZ VACA DANIEL ALEJANDRO  
NEGRETE MIRANDA DANIELA CRISTINA**

**DIRECTOR: ING. ROBAYO NIETO ALEXANDER**

**SANGOLQUÍ**

**2016**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN**  
**CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, “OBTENCIÓN DE COORDENADAS PRECISAS DE ESTACIONES DE MONITOREO CONTINUO Y SIMULACIÓN SÍSMICA PARA DETECCIÓN DE MOVIMIENTOS RÁPIDOS” realizado por el señor DANIEL ALEJANDRO LÓPEZ VACA y la señorita DANIELA CRISTINA NEGRETE MIRANDA, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor DANIEL ALEJANDRO LÓPEZ VACA y la señorita DANIELA CRISTINA NEGRETE MIRANDA para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 3 de octubre del 2016

Atentamente,

Ing. Alexander Robayo

Director del Proyecto de Titulación.



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN**  
**CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE**

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, DANIEL ALEJANDRO LÓPEZ VACA, con cédula de identidad N° 171647889-4, y yo DANIELA CRISTINA NEGRETE MIRANDA con cédula de identidad N° 171924101-8 declaramos que este trabajo de titulación “OBTENCIÓN DE COORDENADAS PRECISAS DE ESTACIONES DE MONITOREO CONTINUO Y SIMULACIÓN SÍSMICA PARA DETECCIÓN DE MOVIMIENTOS RÁPIDOS” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas. Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 3 de octubre del 2016

  
Daniel Alejandro López Vaca

CC: 171647889-4

  
Daniela Cristina Negrete Miranda

CC: 171924101-8



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN**  
**CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE**

**AUTORIZACIÓN**

Yo, DANIEL ALEJANDRO LÓPEZ VACA, y yo DANIELA CRISTINA NEGRETE MIRANDA, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “OBTENCIÓN DE COORDENADAS PRECISAS DE ESTACIONES DE MONITOREO CONTINUO Y SIMULACIÓN SÍSMICA PARA DETECCIÓN DE MOVIMIENTOS RÁPIDOS” cuyo contenido, ideas y criterios son autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 3 de octubre del 2016

  
Daniel Alejandro López Vaca

CC: 171647889-4

  
Daniela Cristina Negrete Miranda

CC: 171924101-8

## DEDICATORIA

Esta tesis la quiero dedicar con mucho cariño:

A mi Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mi madre por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, quien a lo largo de mi vida ha velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento, depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento de mi inteligencia y capacidad. Le amo infinitamente

A mis hermanos, Carlos, Oswaldo y Mateo, por estar siempre presentes en los momentos más importantes de mi vida, por sus palabras de aliento y por ser incondicionales.

A mis tíos queridos, Luis, Klever, Inés y Marco, por ser una bendición en mi vida, que a pesar de la distancia han sido un gran apoyo y aliento para conseguir mis objetivos.

A mí enamorada Danny el apoyo que me has brindado ha sido sumamente importante, en estos últimos casi tres años has estado a mi lado inclusive en los momentos y situaciones más tormentosas, siempre ayudándome. No fue sencillo culminar con éxito este proyecto, sin embargo siempre fuiste muy motivadora y esperanzadora, diciéndome que pronto lo lograríamos. Me ayudaste hasta donde te era posible, incluso más que eso, muchas gracias, amor.

A mi familia en general, amigos y seres queridos que siempre han estado dándome sus palabras de apoyo para continuar cumpliendo todos mis objetivos y metas trazadas.

“La dicha de la vida consiste en tener siempre algo que hacer, alguien a quien amar y alguna cosa que esperar”. Thomas Chalmers

**Daniel**

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto de titulación en primer lugar a Dios, quien me ha dado el regalo de la vida, la salud, la familia y todas las bendiciones que me ha permitido llegar alcanzar mis metas hasta el día de hoy.

A mis amados padres, quienes se han preocupado constantemente por darme su amor, apoyo, comprensión y aliento para que logre lo que me proponga; porque gracias a sus enseñanzas he crecido y me he convertido en la mujer que soy.

A mi hermano Mateo, quien con sus ocurrencias alegra mi vida dándome su cariño a cada instante, además de ser mi apoyo y mi compinche.

A mis abuelitos, tíos y primos, que siempre me han apoyado y están preocupados por mi bienestar, por verme feliz y triunfar.

A Dani, mi enamorado, con quien he compartido alegrías, tristezas, enojos, triunfos, miles de momentos que aunque en inicio podían ser malos, siempre terminaban en risas y felicidad. Por ser mi soporte y alentarme en todo momento.

**Daniela**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida y darme siempre la fortaleza para cumplir mis metas.

A mi amada madre, por el esfuerzo incomparable que ha hecho en toda su vida por brindarnos un mejor futuro a mis hermanos y a mí, superando las adversidades que se les han presentado. A ella que con su amor, confianza y sus consejos de perseverancia me brindaron la guía necesaria para alcanzar tan anhelada meta.

A Danny, por ser a más de mí enamorada sido una excelente compañera de tesis y convertirse en mi mejor amiga, gracias por todo este tiempo compartido y por haber sido mí apoyo en la culminación de esta etapa.

A nuestro director, Ing. Alexander Robayo, por compartirnos sus conocimientos y brindarnos su ayuda y colaboración en la realización de este proyecto, por su apoyo incondicional, porque su ayuda fue fundamental para la culminación del mismo y muchas gracias por ser más que un docente un buen amigo.

A todas las personas que de una u otra manera colaboraron en este proyecto de tesis, de manera especial al Instituto Geográfico Militar al área de Geodesia, por dedicarnos su valioso tiempo y brindarnos su ayuda.

**Daniel**

## **AGRADECIMIENTOS**

Gracias Dios por permitirme cumplir un logro más en mi desarrollo personal; por ser mi ayuda y guía en todo momento; además de permitirme compartir mis triunfos con las personas que amo.

A mi madre, por todo el amor, preocupación y apoyo incondicional que me ha dado durante toda mi vida; por enseñarme alcanzar cualquier reto que me proponga y no dejarme vencer por cualquier dificultad que se presente, muchas gracias.

A mi padre, quien siempre me apoya y me alienta en todos los retos que me propongo, muchas gracias por estar a mi lado cuando lo he necesitado.

A mis queridos abuelitos Elsa y Fausto, quienes han sido un pilar fundamental en mi vida al estar siempre pendientes de mi desarrollo intelectual y sobre todo personal.

Este proyecto es el resultado de un esfuerzo conjunto, por esto quiero agradecer a Dani, quien ha demostrado ser un compañero de tesis excepcional, un gran amigo en quien puedo confiar y un excelente enamorado que siempre me va apoyar.

Quiero agradecer también a nuestro director, Ing. Alexander Robayo, quien a lo largo de este tiempo nos ha compartido sus conocimientos y nos ha guiado en la realización de nuestro proyecto de titulación. Muchas gracias por todo el apoyo que nos brindó.

Al Instituto Geográfico Militar y a todas las personas que colaboraron en la culminación de este proyecto de titulación, gracias.

**Daniela**



## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN .....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD .....	iii
AUTORIZACIÓN .....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTOS .....	vii
AGRADECIMIENTOS .....	viii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvi
RESUMEN.....	xix
ABSTRACT.....	xx
CAPÍTULO I.....	1
1. GENERALIDADES .....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Definición Del Problema .....	2
1.3. Justificación .....	3
1.4. Descripción Del Área De Estudio .....	3
1.4.1. Sismo de Guayaquil .....	4
1.4.2. Sismo Manabí.....	5

1.4.3.	Simulación sísmica.....	10
1.5.	Objetivo General.....	10
1.5.1.	Objetivos Específicos .....	10
1.6.	Metas .....	11
CAPÍTULO II .....		12
2.	MARCO TEÓRICO.....	12
2.1.	Sistema Global de Navegación Por Satélite –GNSS .....	12
2.2.1.	Segmento espacial.....	13
2.2.2.	Segmento de control.....	13
2.2.3.	Segmento de usuario .....	13
2.3.	Servicios del Sistemas GNSS .....	13
2.4.	Métodos de Posicionamiento GNSS .....	14
2.5.	Posicionamiento Preciso de Punto (PPP) .....	15
2.5.1.	Ecuaciones de observación.....	16
2.5.2.	Correcciones para el método PPP .....	19
2.5.3.	Tipos de posicionamiento PPP .....	23
2.6.	Posicionamiento Cinemático en Tiempo Real – RTK.....	25
2.7.	Sistema De Referencia.....	25
2.7.1.	Sistema de referencia terrestre convencional (CTRS) .....	26

2.7.2.	Sistema de Referencia para las Américas SIRGAS .....	27
2.7.3.	Sistema de Referencia para el Ecuador .....	27
2.7.4.	Sistema de referencia para el satélite .....	27
2.8.	Marco De Referencia.....	28
2.8.1.	Marco de referencia terrestre internacional ITRF .....	28
2.8.2.	Marco de Referencia para las Américas SIRGAS .....	28
2.9.	Sistema De Coordenadas .....	29
2.10.	Estaciones de monitoreo continuo en el Ecuador .....	29
2.11.	Software Bernese 5.2.....	30
2.12.	Series temporales .....	31
2.12.1.	Clasificación de las series temporales .....	31
2.12.2.	Aplicaciones de las Series Temporales .....	32
2.13.	Riesgo sísmico.....	32
2.13.1.	Placas Tectónicas .....	34
2.13.2.	Historia sísmica del Ecuador.....	35
2.13.3.	Sismo.....	36
2.13.4.	El ciclo sísmico .....	36
2.13.5.	Elementos de un sismo .....	38
2.13.6.	Ondas sísmicas .....	39

2.14.	Medición de las dimensiones sísmicas.....	40
2.14.1.	Intensidad. ....	40
2.14.2.	Magnitud. ....	40
CAPÍTULO III.....		41
3.	METODOLOGÍA.....	41
3.1.	Procesamiento datos GNSS.....	41
3.1.1.	Selección de estaciones.....	42
3.1.2.	Selección del intervalo de observación.....	42
3.1.3.	Selección de periodo de análisis.....	42
3.1.4.	Recopilación de archivos RINEX.....	42
3.1.5.	Tratamiento de Archivos RINEX.....	43
3.1.6.	Transformación de T02 a formato TGD.....	45
3.1.7.	Transformación de datos TGD a formato .O.....	46
3.1.8.	Edición de datos.....	47
3.1.9.	Control de calidad.....	49
3.1.10.	Procesamiento con el software científico Bernese.....	50
3.1.10.1.	Generación de Campañas.....	51
3.1.11.	Preparación de archivos de entrada para el procesamiento.....	52
3.1.11.1.	Generación de Process Control Files-PCF.....	57

3.1.12.	Ejecución de un PCF .....	68
3.2.	Simulación Sísmica .....	69
3.3.	Generación de Series Temporales .....	70
CAPÍTULO IV.....		71
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	71
4.1.	Resultados Procesamiento de Punto Preciso-PPP.....	71
4.1.1	Sismo 28 de abril 2015- Guayaquil.....	71
4.1.2.	Sismo 16 de abril 2016 Manabí .....	75
4.2	Simulación sísmica .....	91
CAPÍTULO V .....		96
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	96
5.1.	Conclusiones.....	96
5.2.	Recomendaciones .....	97
5.3.	Referencias Bibliográficas.....	98

**ÍNDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 1.-</b> Correcciones en el método PPP.....	19
<b>Tabla 2.-</b> Estaciones seleccionada para el procesamiento.....	42
<b>Tabla 3.-</b> Directorios de cada campaña a procesar.....	53
<b>Tabla 4.-</b> Carpeta STA y archivos de entrada .....	57
<b>Tabla 5.-</b> Descripción de los programas a ejecutarse para la obtención de soluciones diarias y semanales. ....	59
<b>Tabla 6.-</b> Descripción de los archivos de entrada y salida en los programas a ejecutarse para la obtención de soluciones diarias y semanales.....	61
<b>Tabla 7.-</b> Descripción de los programas a ejecutarse para el Procesamiento de Punto Preciso .....	64
<b>Tabla 8.-</b> Descripción de los archivos de entrada y salida en los programas a ejecutarse para el Procesamiento de Punto Preciso .....	65
<b>Tabla 9.-</b> Variaciones temporales sufridas por la estación GUEC.....	71
<b>Tabla 10.-</b> Desplazamientos registrados después del evento estación GUEC .....	72
<b>Tabla 11.-</b> Variaciones temporales sufridas por la estación ECEC.....	75
<b>Tabla 12.-</b> Desplazamientos registrados después del evento estación ECEC .....	76
<b>Tabla 13.-</b> Variaciones temporales sufridas por la estación QVEC.....	79
<b>Tabla 14.-</b> Desplazamientos registrados después del evento estación QVEC .....	80
<b>Tabla 15.-</b> Variaciones temporales sufridas por la estación ESMR.....	83
<b>Tabla 16.-</b> Desplazamientos registrados después del evento estación ESMR .....	84

<b>Tabla 17.-</b> Variaciones temporales sufridas por la estación PJEC.....	87
<b>Tabla 18.-</b> Desplazamientos registrados después del evento estación PJEC .....	88
<b>Tabla 19.-</b> Desplazamientos promedio sufridos por las estaciones.....	91
<b>Tabla 20-</b> Solución de posicionamiento estático simulación sísmica .....	92
<b>Tabla 21-</b> Soluciones de posicionamiento cinemático con RTK, simulación sísmica .....	92

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.-</b> Localización sismo con epicentro en la ciudad de Guayaquil. ....	4
<b>Figura 2.-</b> Estación de Monitoreo Continuo GUEC.....	5
<b>Figura 3.-</b> Localización sismo con epicentro en zona norte provincia de Manabí ....	6
<b>Figura 4.-</b> Intensidad sismo 16 de Abril y 8 mayores réplicas.....	7
<b>Figura 5.-</b> Estación de Monitoreo Continuo ECEC. ....	8
<b>Figura 6.-</b> Estación de Monitoreo Continuo ESMR.....	8
<b>Figura 7.-</b> Estación de Monitoreo Continuo PJEC.....	9
<b>Figura 8.-</b> Estación de Monitoreo Continuo QVEC.....	9
<b>Figura 9.-</b> Mapa de ubicación Sigchos.....	10
<b>Figura 10.-</b> Métodos de posicionamiento GNSS .....	15
<b>Figura 11.-</b> Geometría PPP .....	16
<b>Figura 12.-</b> Desplazamientos de centro de fase de la antena aprobada por IGS en el cuerpo fijo por satélite sistema de referencia (metros) .....	20
<b>Figura 13.-</b> Desplazamientos verticales periódicos de las masas de agua .....	22
<b>Figura 14.-</b> Estaciones de monitoreo continuo en Ecuador .....	30
<b>Figura 15.-</b> Modelo estático de la Tierra.....	33
<b>Figura 16.-</b> Mosaico de placas que constituyen la corteza externa de la Tierra .....	34
<b>Figura 17.-</b> Historia Sísmica de Ecuador 1541-1990.....	36



<b>Figura 18.-</b> Comportamiento general de: dentro del ciclo sísmico: Intersísmico, Presísmico, Cosísmico y Postsísmico.....	37
<b>Figura 19.-</b> Elementos constitutivos de un sismo .....	38
<b>Figura 20.-</b> Metodología a emplear para el procesamiento de datos GNSS .....	41
<b>Figura 21.-</b> Metodología para el procesamiento de datos .....	41
<b>Figura 22.-</b> Ingreso a carpeta a través de CMD .....	44
<b>Figura 23.-</b> Descompresión archivos Hatanaka .....	44
<b>Figura 24.-</b> Script para transformación de archivos .T02 a .TGD .....	45
<b>Figura 25.-</b> Script para transformación de archivos .TGD a archivos de observación .....	47
<b>Figura 26.-</b> Script para la edición de los archivos de observación a archivos de observación .....	48
<b>Figura 27.-</b> Archivos de observación antes y después de ser editados las cabeceras	48
<b>Figura 28.-</b> Script para la edición de las cabeceras de los archivo de observación ..	50
<b>Figura 29.-</b> Archivo resumen del control de calidad.....	50
<b>Figura 30.-</b> Directorio del Software Bernese 5.2 .....	51
<b>Figura 31.-</b> Estructura de las campañas a procesar .....	53
<b>Figura 32.-</b> Edición de “Process Control Files” en Bernese .....	58
<b>Figura 33.-</b> Lista de programas a editar de los “Process Control Files” .....	58
<b>Figura 34. –</b> Rutina a ejecutar para la obtención de soluciones diarias y semanales .....	59

<b>Figura 35.-</b> Rutina a ejecutar para el Procesamiento de Punto Preciso – PPP.....	64
<b>Figura 36.-</b> Toma punto, utilizando procesamiento estático.....	69
<b>Figura 37.-</b> Posicionamiento del punto sobre el vehículos para la simulación sísmica.....	70
<b>Figura 38.-</b> Toma punto, utilizando procesamiento RTK por radio.....	70
<b>Figura 39.-</b> Variación coordenadas cartesianas, Estación GUEC.....	73
<b>Figura 40.-</b> Variación coordenadas cartesianas durante ciclo sísmico, Estación GUEC.....	74
<b>Figura 41.-</b> Variación coordenadas cartesianas, Estación ECEC.....	77
<b>Figura 42.-</b> Variación coordenadas cartesianas durante ciclo sísmico, Estación ECEC.....	78
<b>Figura 43.-</b> Variación coordenadas cartesianas, Estación QVEC.....	81
<b>Figura 44.-</b> Variación coordenadas cartesianas durante ciclo sísmico, Estación QVEC.....	82
<b>Figura 45.-</b> Variación coordenadas cartesianas, Estación ESMR.....	85
<b>Figura 46.-</b> Variación coordenadas cartesianas durante ciclo sísmico, Estación ESMR.....	86
<b>Figura 47.-</b> Variación coordenadas cartesianas, Estación PJEC.....	89
<b>Figura 48.-</b> Variación coordenadas cartesianas durante ciclo sísmico, Estación PJEC.....	90
<b>Figura 49.-</b> Foto GPS utilizado para la simulación sísmica.....	92
<b>Figura 50.-</b> Variación coordenadas cartesianas simulación sísmica.....	95

## RESUMEN

Este trabajo busca diagnosticar el desplazamiento que podrían haber sufrido algunas las estaciones de monitoreo continuo de la Red GNSS de Monitoreo Continuo del Ecuador-REGME por el sismo registrado el 16 abril de 2016 a las 18:58:37 UTC, con una magnitud momento de 7.8 (según IG-EPN), entre los poblados de Pedernales y Cojimíes, en la zona norte de la provincia de Manabí. Para la selección de las estaciones de monitoreo continuo analizadas se tomó en cuenta la cercanía de la estación al epicentro y la disponibilidad de observaciones antes, durante y después del evento sísmico. El post procesamiento de las observaciones se realizó a través del software científico Bernese 5.2. Debido a la magnitud del sismo y con el propósito de evitar alteraciones en los resultados del trabajo por afectaciones en la Red GNSS de Monitoreo Continuo del Ecuador; se realizó un procesamiento absoluto mediante la técnica de Posicionamiento de Punto Preciso-PPP, método que utiliza observables; código C/A y fase de las portadoras junto con archivos de efemérides precisas y correcciones de los relojes de los satélites, obteniendo resultados con nivel centimétrico de precisión.

### Palabras Clave:

- **PROCESAMIENTO DE PUNTO PRECISO-PPP**
- **ESTACIONES DE MONITOREO CONTINUO**
- **DESPLAZAMIENTO SÍSMICO**
- **REGME.**

## **ABSTRACT**

This paper seeks to diagnose the displacement that might have suffered some GNSS stations of the GNSS Continuous Monitoring Network of Ecuador-REGME, cause by the earthquake registered on April 16, 2016 at 18:58:37 UTC, with a moment magnitude of 7.8 (according to IG-EPN), located between the towns of Pedernales and Cojimíes, in the north of the province of Manabí. For the selection of continuous monitoring stations, it was considered the proximity of the station to the epicenter and the availability of observations before, during and after the seismic event. The post-processing of the observations was executed through scientific software Bernese 5.2. Due to the magnitude of the earthquake and with the purpose of avoiding changes in the results of work by affectations in the GNSS Continuous Monitoring Network of Ecuador; an absolute processing was performed using the technique of Precise Point Positioning-PPP, method that uses observables; C / A code and carrier phases with precise ephemeris files and satellite clock corrections, obtaining results with centimeter-level accuracy.

### **Keywords:**

- **PRECISE POINT PROCESSING-PPP**
- **CONTINUOUS MONITORING STATIONS**
- **SEISMIC SHIFT**
- **REGME.**

# CAPÍTULO I

## 1. GENERALIDADES

### 1.1. ANTECEDENTES

Ecuador se encuentra ubicado en la región noroccidente de América del Sur, tiene una superficie aproximada de 283.500 Km<sup>2</sup>, incluyendo las Islas Galápagos y una población de 14'483.499 habitantes (INEC, Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2010). Es un territorio sísmicamente activo por cuando se encuentra atravesado por el Cinturón de fuego del Pacífico lo que se ha evidenciado históricamente a través de numerosos terremotos; varios de ellos muy destructivos, entre los que se pueden citar: el terremoto de Esmeraldas de 1906 con una magnitud momento de 8.8; Ambato de 1949 (Mw=6.8) que dejó cerca de 5050 fallecidos (Egüez, et al., 2013); Reventador en 1987 (Mw=6.1 y 6.9) que provocó deslizamientos de lodo y avalanchas de rocas destruyendo parte del oleoducto ecuatoriano causando un gran impacto en la economía del país; Bahía de Caráquez en 1998 (Mw=7.2) que afectó cerca del 60% de las edificaciones de la zona (Ortiz, 2013).

Estudios realizados en otros países han demostrado que sismos de magnitudes momento mayores a cinco pueden provocar desplazamientos en estaciones de monitoreo continuo cercanas al epicentro; así por ejemplo, Chile (Concepción y Centro de Estudios Científicos) y Estados Unidos (Universidades de Hawaii, Memphis y Ohio y el Instituto de Tecnología de California), analizaron el terremoto de la ciudad de Concepción del 27 de febrero de 2010, de magnitud M=8.8. Los científicos compararon las mediciones de las estaciones de GPS ubicadas en la región antes y después del terremoto, llegando a la conclusión que además de Concepción (lugar más cercano al epicentro), Santiago de Chile se movió unos 27 centímetros hacia el suroeste y Buenos Aires unos 2,5 centímetros hacia el oeste;

también hubo "movimiento significativo" en ciudades como Valparaíso (Chile) y Mendoza (Argentina) (BBC Mundo, 2010).

Además se han realizado estudios de monitoreo de fenómenos geodinámicos aplicando técnicas GNSS y estudios del desplazamiento de estaciones permanentes en función a la distancia al epicentro de máximo cien kilómetros. Algunos de estos eventos analizados han sido: el terremoto de Japón en marzo 2011 de  $M_w=9.0$  (Yang, Zhaosheng, Zhige, Huijie, & Maolei, 2011) terremoto de Lorca en mayo de 2011 de  $M_w=5.1$  y profundidad 1 km (Mendoza, et al., 2012); terremoto en Turquía en octubre 2011 de  $M_w=7.2$  y 16 km de profundidad (Wang, et al., 2015); entre otros.

## **1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Los constantes movimientos físicos a los que está sometida la superficie de la Tierra afectan la posición horizontal y vertical de un punto; estos cambios de posición deben ser identificados oportunamente ya que si no son corregidos pueden generar una serie de problemas en la cartografía y obras de ingenierías, especialmente en trabajos que utilizan datos de alta precisión.

Este trabajo busca identificar cómo se vieron afectadas las estaciones de monitoreo continuo GUEC, por el sismo ocurrido en Guayaquil el 28 de abril del 2015, y las estaciones QVEC, PJEC, ECEC y ESMR por el sismo del 16 de abril de 2016, entre los poblados de Pedernales y Cojimíes, en la zona norte de la provincia de Manabí; ayudando así con el cumplimiento uno de los objetivos del IGM que es, mantener un Marco Geodésico de Referencia Nacional actualizado.

La medición continua de puntos en el territorio nacional, es de gran importancia para la REGME, debido que permite registrar y analizar los desplazamientos de origen geodinámico (sismo – tectónico – volcánicos) que han sufrido los puntos con el paso del tiempo, brindando así la información necesaria con la cual se mantendrá el marco de referencia (IGM, Instituto Geográfico Militar, 2013).

### **1.3. JUSTIFICACIÓN**

Una estación de monitoreo continuo es una señal informativa que forma parte de una red geodésica que indica la coordenada exacta de ese punto, la cual se calcula con la mayor precisión posible. Al existir un evento sísmico este puede causar desplazamientos anómalos en las estaciones de monitoreo continuo más cercanas a este punto.

En una entrevista realizada por Borís Pávlishev (2013) para la radio La voz de Rusia, al vicedirector del Instituto de Física de la Tierra, Evgueni Rogozhin sobre el tema “Los terremotos alteran la exactitud de los satélites”, este afirmó que:

“Un terremoto de gran magnitud altera notablemente la superficie de la Tierra. Pienso que habría que introducir una corrección en aquellos terremotos que ocurrieron después de ser establecida la correspondiente red, ya sea GPS o GLONASS. Si tenemos una red de este tipo y ocurre un terremoto, pues tendríamos que calcular la deformación de la superficie y hacer las correcciones. En caso contrario las mediciones quedarán equivocadas”

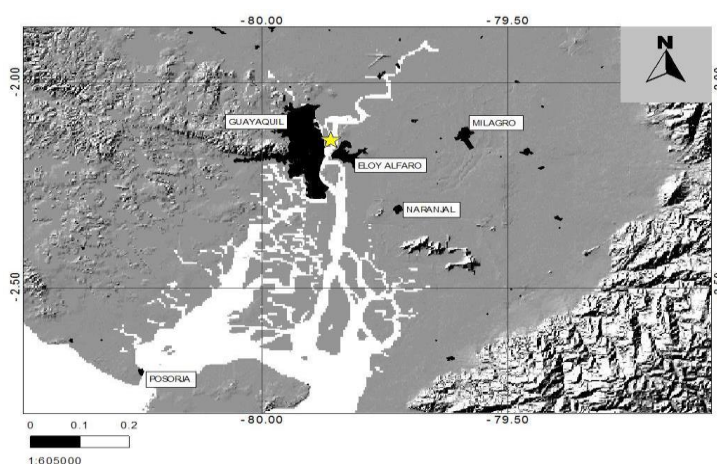
En el Ecuador actualmente se han suscitado algunos sismos de magnitud momento mayor a 5, entre ellos el 28 de abril de 2015 en Guayaquil y del 16 de abril de 2016 entre Pemales y Cojimíes entre los más fuertes y devastadores registrados en la costa ecuatoriana en el presente siglo. El Ecuador cuenta con la Red GNSS de Monitoreo Continuo, que se distribuye en el 95% del territorio ecuatoriano, está conformada por 33 estaciones, enlazadas a SIRGAS, que captan datos GNSS (GPS+GLONASS), las cuales podrían ser objeto de estudio (IGM, Instituto Geográfico Militar, 2013).

### **1.4. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

Para el presente trabajo se utilizarán como áreas de estudio los epicentros de los sismos a estudiar, además de las estaciones de monitoreo continuo cercanas a cada uno de los eventos sísmicos como se presenta a continuación:

### 1.4.1. Sismo de Guayaquil

El sismo se registró el martes 28 de abril de 2015, a las 06:19 am, por la Red Nacional de Sismógrafos del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, presentó una magnitud  $M_w$  5.9, y 71 km. de profundidad, el epicentro se encuentra en la ciudad de Guayaquil, provincia de Guayas, región costa del Ecuador. En la figura 1, se muestra la localización del epicentro con coordenadas  $2.14^\circ S$ ,  $79.86^\circ W$  (estrella amarilla).



**Figura 1.-** Localización sismo con epicentro en la ciudad de Guayaquil.

**Fuente:** IG-EPN, 2015

En el Informe Sísmico Especial No.2 2015 del IG-EPN, se indica que a partir de los datos obtenidos se estimó que en la zona del epicentro del sismo se registró una intensidad máxima de 5 grados en la Escala Macrosísmica Europea (EMS), lo que indica que el evento sísmico fue sentido por gran parte de la población, tanto dentro como fuera de las edificaciones; además de la caída de objetos livianos de perchas y estanterías. En relación a las edificaciones, no se registraron daños estructurales, salvo en pocas construcciones muy vulnerables. En las zonas perimetrales de la ciudad de Guayaquil se reportó una intensidad de 4 EMS, sin registrarse daños en las edificaciones. Además este sismo fue sentido en Cañar, El Oro, Manabí y Los Ríos, con una intensidad de 3 EMS, sentido levemente por los habitantes.



Para el análisis del sismo antes mencionado, se utilizará la estación de monitoreo continuo GUEC en la ciudad de Guayaquil, provincia del Guayas, la cual se encuentra ubicada en el tercer piso del edificio principal del INOCAR, Instituto Oceanográfico de la Armada, en la ciudad de Guayaquil, Av. 25 de Julio vía puerto Marítimo, Base Naval Sur. (IGM, Instituto Geográfico Militar, 2015). En la siguiente figura 2, se muestra la estación de monitoreo continuo GUEC.



**Figura 2.-** Estación de Monitoreo Continuo GUEC.  
**Fuente:** IGM, 2015

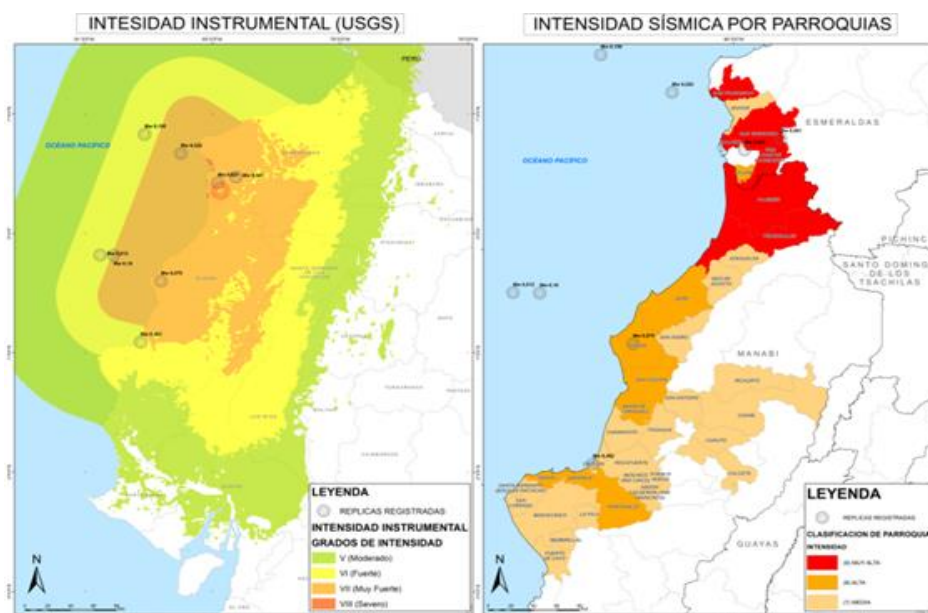
#### **1.4.2. Sismo Manabí**

El día sábado 16 de abril del 2016 se registró un sismo de magnitud 7.8 (Mw). Su epicentro está localizado en la costa ecuatoriana en la zona norte de la provincia de Manabí entre los poblados de Pedernales y Cojimíes (figura 3), a una profundidad de 20 km. (IG-EPN, Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional, 2016).



**Figura 3.-** Localización sismo con epicentro en zona norte provincia de Manabí  
**Fuente:** IG-EPN, 2016

El sismo registrado se originó por la subducción de la placa de Nazca (placa oceánica) en la placa Sudamericana (placa continental). Hasta el momento el IG-EPN (11 de septiembre 2016) ha registrado 2 512 réplicas. En la figura 4, se muestra a continuación se presenta la ubicación e intensidades sísmicas registradas del evento principal del 16 de abril y de las 8 réplicas con magnitud momento mayor a 6.



**Figura 4.- Intensidad sismo 16 de Abril y 8 mayores réplicas**

**Fuente:** Secretaria de Gestión de Riesgos, Informe de situación N°71- Terremoto 7.8 , Pedernales, 2016

Para determinar la intensidad que presentó este sismo el IG-EPN realizó un recorrido en campo para recopilar información de las afectaciones, en las zonas de Pedernales y San José de Chamanga la intensidad máxima fue de 9 EMS. La intensidad de este sismo generó el colapso de edificaciones vulnerables y daños estructurales en construcciones que no contaban con normas técnicas.

El Informe sísmico especial N. 18 – 2016, indica que en Canoa, Jama, Bahía de Caráquez, y las zonas centrales de Portoviejo y Manta, el sismo tuvo una intensidad de 8 EMS, con la presencia de daños e incluso el colapso de ciertas edificaciones. Finalmente, en las provincias de Esmeraldas, Guayas, Santa Elena, Los Ríos y parte de Santo Domingo de los Tsáchilas, la intensidad fue de 4 EMS, lo que generó daños no estructurales y fisuras en las paredes que no implican daños estructurales.

Este terremoto de gran magnitud dejó 663 personas fallecidas 9 personas desaparecidas (DINASED/FGE, 18/05/2016). En las primeras 72 horas se registraron 6.274 personas heridas y con afectaciones directas (MSP, IESS, Instituto de Seguridad Social de la Policía Nacional, Instituto de Seguridad Social de las Fuerzas Armadas). Gracias a la ayuda técnica y humanitaria tanto nacional como extranjera fueron rescatadas con vida 113 personas (USAR SGR). Además se entregaron 737.787 Kits de alimentos (MTT4, MIES CC.FF.AA. 17 de mayo de 2016) y se brindó albergue a 28.775 personas afectadas (Sala de Monitoreo y Operaciones y Coordinación General y Datos de Inclusión. 18 de mayo de 2016).

Para el análisis de los posibles desplazamientos causados por es el sismo se analizan las siguientes estaciones de monitoreo continuo:

**ECEC- El Carmen:** la estación se encuentra ubicada en la provincia de Manabí en la ciudad de El Carmen; en el techo del edificio principal del Municipio de El Carmen (figura 5). En la Av. Chone y Libertad. (IGM, Instituto Geográfico Militar, 2014)



**Figura 5.-** Estación de Monitoreo Continuo ECEC.

**Fuente:** IGM, 2014

**ESMR-Esmeraldas:** esta estación se encuentra instalada en la provincia de Esmeraldas en la ciudad de Esmeraldas; en el terminal de OCP, a unos 5 Km del mar y a 15 Km de la ciudad de Esmeraldas. (IGM, Instituto Geográfico Militar, 2014). En la figura 6 se muestra la estación de monitoreo continuo.



**Figura 6.-** Estación de Monitoreo Continuo ESMR.

**Fuente:** IGM, 2014

**PJEC- Paján:** esta estación se encuentra en la provincia de Manabí en la ciudad de Paján, ubicada en la terraza del edificio (figura 7) donde funcionan las instalaciones del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Paján, calles Rocafuerte y 5 de junio. (IGM, Instituto Geográfico Militar, 2014)



**Figura 7.-** Estación de Monitoreo Continuo PJECE.

**Fuente:** IGM, 2014

**QVEC-Quevedo:** la estación se encuentra ubicada en la provincia de Los Ríos en la ciudad de Quevedo, en el tercer piso en la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (figura 8), Campus Universitario “Ing. Manuel Hanz” Km 1.5 Vía Sto. Domingo (IGM, Instituto Geográfico Militar, 2014).



**Figura 8.-** Estación de Monitoreo Continuo QVEC.

**Fuente:** IGM, 2014

Para el presente estudio no toma en cuenta las estaciones de Pedernales-PEEC, debido a que los datos de observación no se encontraban disponibles en el Geoportal del IGM y la estación Chone-ONEC, la cual fue desactivada ya que presentó problemas de posicionamiento.

### 1.4.3. Simulación sísmica

La simulación sísmica se llevó a cabo en el cantón Sigchos, el cual se ubica al nor-occidente de la provincia de Cotopaxi, colindando con los cantones de Latacunga, Saquisilí, Pujilí y La Maná; además en la provincia de Pichincha el cantón Mejía y en la provincia Santo Domingo de los Tsáchilas con el cantón Santo Domingo de los Colorados (Gobierno Autónomo Descentralizado Sigchos, 2016). En la figura 9 se muestra la ubicación del cantón Sigchos.

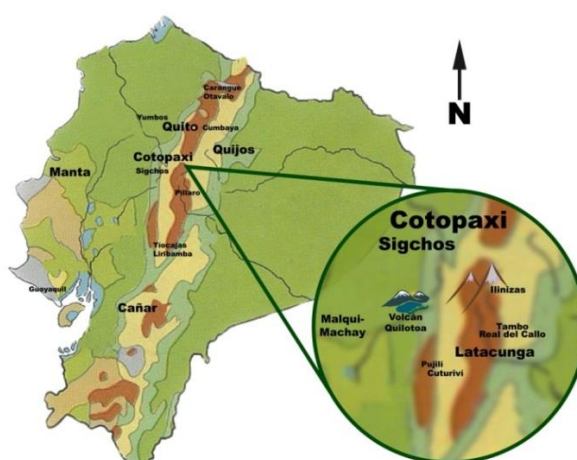


Figura 9.- Mapa de ubicación Sigchos.

Fuente: Instituto Panamericano de Geografía e Historia, 2011

## 1.5. OBJETIVO GENERAL

Obtener coordenadas precisas de las estaciones de monitoreo continuo (GUEC, QVEC, PJEC, ECEC y ESMR), simulación sísmica para la detección de movimientos rápidos provocados por actividad sísmica, utilizando software científico Bernese 5.2.

### 1.5.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Postprocesar mediante software científico Bernese 5.2 los datos de las estaciones de monitoreo continuo: GUEC para los sismos del 28 de abril de 2015 y QVEC, PJEC, ECEC y ESMR para el evento del 16 de abril del 2016 y los datos de la simulación sísmica.
- Analizar los desplazamientos presísmico, cosísmico y postsísmico que podrían haber sufrido las estaciones GUEC para los sismos del 28 de abril de 2015 y

QVEC, PJEC, ECEC y ESMR para el evento del 16 de abril del 2016 y los datos de la simulación sísmica.

- Simular un sismo para detectar movimientos rápidos.

## **1.6. METAS**

- Datos depurados de las estaciones GUEC, QVEC, PJEC, ECEC y ESMR utilizados en el desarrollo del proyecto.
- Dos (2) postproceso en software Bernese 5.2 de los datos de las estaciones de monitoreo continuo GUEC, QVEC, PJEC, ECEC y ESMR un mes antes de los sismos del 28 de abril de 2015 y 16 de abril de 2016 respectivamente.
- Dos (2) postproceso en software Bernese 5.2 de los datos de las estaciones de monitoreo continuo GUEC, QVEC, PJEC, ECEC y ESMR para los días de los sismos el 28 de abril de 2015 y 16 de abril de 2016 respectivamente.
- Dos (2) postproceso en software Bernese 5.2 de los datos de las estaciones de monitoreo continuo GUEC, QVEC, PJEC, ECEC y ESMR una semana después de los sismos del 28 de abril de 2015 y 16 de abril de 2016 respectivamente.
- Un (1) postproceso en software Bernese 5.2 de los datos obtenidos en la simulación sísmica.
- Un (1) diagnóstico del desplazamiento que podría haber sufrido la estación de monitoreo continuo antes, durante y después del sismo registrado el 28 de abril de 2015 y 16 de abril de 2016.
- Un (1) diagnóstico del desplazamiento que podría haber sufrido el punto tomando por el receptor doble frecuencia en durante la simulación sísmica.
- Un (1) informe de la simulación sísmica
- Datos depurados de la simulación captados por un receptor doble frecuencia.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. SISTEMA GLOBAL DE NAVEGACIÓN POR SATÉLITE –GNSS

Al conjunto de tecnologías de sistemas de navegación por satélite encargadas de proveer el posicionamiento geoespacial con cobertura global de manera autónoma se lo denomina como GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite)

El Sistema Global de Navegación por Satélite fue desarrollado en los años 70, en conjunto con el desarrollo militar estadounidense con la misión de guiar misiles, localizar objetivos y guiar tropas. Actualmente tiene como objetivo determinar la posición en longitud, latitud, altitud, y tiempo en base a una red de satélites y un receptor GNSS.

##### **Estructura GNSS:**

- Segmento espacial
- Segmento de control
- Segmento de usuarios

No se entiende un GNSS sin alguno de estos tres elementos. Cuenta con decenas de canales, que permiten realizar observaciones mediante señales GPS, Glonass, Galileo y Compass simultáneamente.



### **2.2.1. Segmento espacial**

Segmento formado por las diferentes constelaciones de satélites de navegación que se reparten en los distintos planos orbitales girando alrededor de la Tierra, garantizando una cobertura global todo el tiempo en conjunto con los satélites de comunicación que forman los sistemas de aumento ayudando así en la corrección de errores de posicionamiento.

### **2.2.2. Segmento de control**

Segmento compuesto por el conjunto de estaciones ubicadas en tierra que capturan la información de los satélites del segmento espacial con el propósito de monitorear, corregir la posición orbital y temporal garantizando las prestaciones del Sistema Global de Navegación por Satélite.

### **2.2.3. Segmento de usuario**

Segmento compuesto por los equipos GNSS que reciben las señales de los satélites del segmento espacial.

## **2.3. SERVICIOS DEL SISTEMAS GNSS**

El Sistema Global de Navegación por Satélite busca satisfacer las necesidades de sus usuarios en:

**Cobertura:** GNSS debe asegurar cobertura mundial con un mínimo de cuatro satélites para poder calcular la posición en longitud, latitud, altitud, y tiempo.

**Disponibilidad:** GNSS a más de garantizar una cobertura mundial, debe garantizar un servicio permanente, es decir, debe estar disponible todo el tiempo, por lo cual, se ha optado por colocar un mayor número de satélites en caso de que alguno falle o esté en mantenimiento.

**Precisión:** GNSS debe proporcionar un posicionamiento espacial y temporal preciso. Dependiendo del tipo de posicionamiento con rangos que van desde el metro hasta el centímetro.

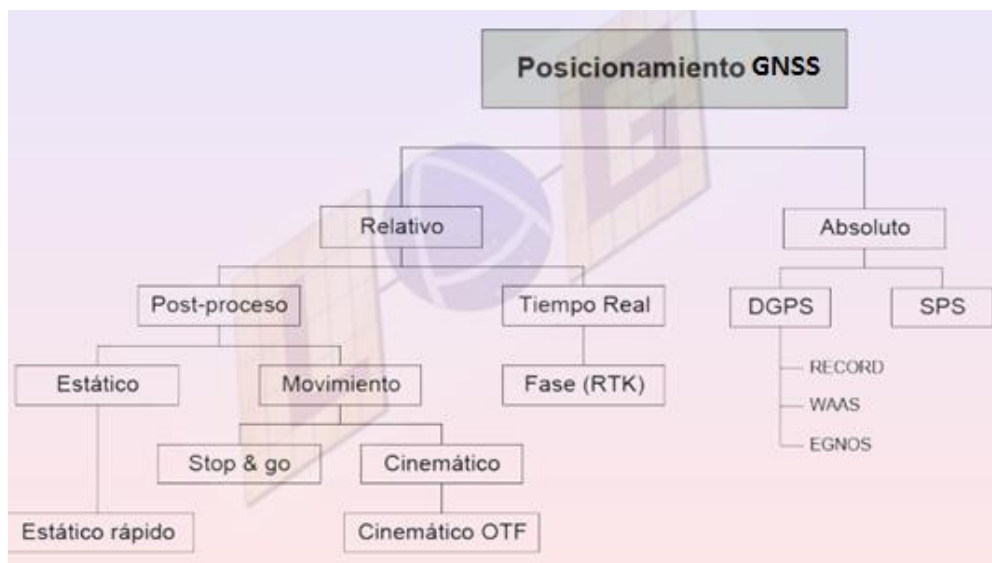
**Integridad:** GNSS debe proporcionar información con un alto grado de fidelidad.

**Continuidad de servicio:** GNSS debe garantizar su servicio en el sentido de mantener siempre encendida su señal, ya que el Gobierno Norteamericano podría apagar o bloquear la señal que envían sus satélites dirigida a usuarios civiles, impidiendo así su servicio y disponibilidad.

Actualmente GNSS tiene multitud de aplicaciones militares y civiles en la aviación, navegación marítima, transporte férreo, automoción, agricultura, inspección y mapeo de territorios, sincronización de equipos, telefonía móvil, servicios de localización y emergencia, elaboración de mapas de la ionosfera (Garcia, 2008).

## **2.4. MÉTODOS DE POSICIONAMIENTO GNSS**

Existen dos formas de determinar la posición de un punto, mediante un Posicionamiento Absoluto o independiente; el cual calcula la posición a partir de la triangulación de mínimo cuatro satélites; y un Posicionamiento Relativo; que calcula la posición de un receptor móvil a partir de la posición de un fijo de coordenadas ya conocidas. En la figura 10 se presentan los métodos de posicionamiento GNSS.



**Figura 10.-** Métodos de posicionamiento GNSS

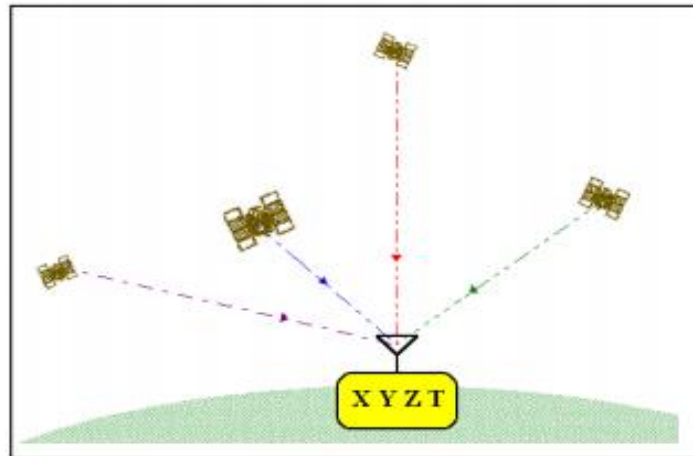
**Fuente:** Laboratorio de Astronomía, Geodesia y Cartografía, Universidad de Cádiz, 2014 (Paredes, 2013)

## 2.5. POSICIONAMIENTO PRECISO DE PUNTO (PPP)

El Posicionamiento GNSS de Punto Preciso (PPP) es un método de post - procesamiento que se basa en la obtención de coordenadas precisas a partir de observaciones GNSS de un solo receptor sin tomar en cuenta correcciones o información de otras estaciones, es decir, elimina la necesidad de adquirir los datos de seguimiento simultáneos desde una estación de referencia, como se muestra la figura 11 (Acuña, 2008).

Al tomar en cuenta que solo se trabaja con observaciones de un solo receptor y se obtienen resultados independientes de ajuste, este método no se encuentra limitado a la longitud de línea base.

Cuenta con una precisión a nivel del centímetro hasta el decímetro, para lo cual a más de usar las observaciones del receptor se usan datos de corrección de errores de relojes, satélites y órbitas precisas, sumado a un esquema de modelamiento adicional de errores.



**Figura 11.- Geometría PPP**

**Fuente:** Acuña. G. Introducción al Posicionamiento GPS de Punto Preciso (PPP), 2008

El método PPP no es una técnica diferencial, haciendo que el datum geodésico se defina a través de la información proporcionada por los relojes satelitales y las órbitas y no por las restricciones asignadas a estaciones de referencia. Para obtener soluciones precisas es sumamente importante la consistencia entre los parámetros de rotación de la Tierra y las correcciones del reloj de los satélites, para esto se debe usar información de la misma fuente. (Paredes, 2013)

Para la obtención de coordenadas precisas mediante el Posicionamiento GPS de Punto Preciso (PPP) se deben realizar una serie de correcciones, procedimientos, parámetros, entre otras consideraciones que serán detalladas a continuación:

### 2.5.1. Ecuaciones de observación

Para relacionar las observaciones de doble frecuencia y las de pseudo-distancia con las coordenadas del receptor y a los parámetros de error del reloj del receptor, el retardo troposférico, ambigüedad y ruidos de la medición, se utilizan las siguientes ecuaciones de observación simplificadas (Kouba, 2003):

$$l_p = \rho + c(dt - dT) + T_r + \varepsilon_p \quad (1)$$

$$l_\phi = \rho + c(dT - dt) + T_r + N\lambda + \varepsilon_\phi \quad (2)$$

donde:

$l_p$ : combinación ionosfera libre L1 y L2 para medición de pseudo-distancia.

$l_\phi$ : combinación ionosfera libre L1 y L2 para medición de la fase portadora.

$dT$ : desfase entre el reloj del receptor y el tiempo GPS.

$dt$ : desfase entre el reloj del satélite y el tiempo GPS.

$c$ : velocidad de la luz.

$T_r$ : retardo de la señal por atmosfera neutra.

$N$ : ambigüedad no entera.

$\lambda$ : longitud de onda de las fases portadoras L1 y L2.

$\epsilon_p, \epsilon_\phi$ : componentes del ruido de las mediciones (incluido multitrayectoria).

$\rho$ : es la distancia geométrica entre la posición del satélite en el instante  $t$  y la posición del receptor en el instante  $T$ . Esta distancia se calcula del siguiente modo.

$$\rho = \sqrt{(X_s - X)^2 + (Y_s - Y)^2 + (Z_s - Z)^2} \quad (3)$$

Y además el instante  $T$  es:

$$T = t + \rho/c \quad (4)$$

Alternativamente, para el posicionamiento relativo entre dos estaciones ( $i, j$ ), los errores del reloj satelital  $dt$  pueden ser eliminados de una manera sencilla, restando las correspondientes ecuaciones de observación; realizados desde las dos estaciones ( $i, j$ ) en el mismo satélite ( $k$ ) (Kouba, 2003), es decir:

$$l_{p_{ij}}^k = \Delta\rho_{ij}^k + c\Delta dT_{ij} + \Delta T r_{ij}^k + \Delta\epsilon_{p_{ij}}^k \quad (5)$$

$$l_{\phi_{ij}}^k = \Delta\rho_{ij}^k + c\Delta dT_{ij} + \Delta T r_{ij}^k + \Delta N_{ij}^k \lambda + \Delta\epsilon_{\phi_{ij}}^k \quad (6)$$

Aquí  $\Delta\rho_{ij}^k$ ,  $\Delta T r_{ij}^k$ ,  $\Delta N_{ij}^k$ ,  $\Delta\epsilon_{p_{ij}}^k$ ,  $\Delta\epsilon_{\phi_{ij}}^k$  denotan la simple diferencia. Además al restar las ecuaciones de observación (5), (6) pertenecientes a las estaciones ( $i, j$ ) y del satélite  $k$  de las ecuaciones correspondientes de las estaciones ( $i, j$ ) a la satélite  $l$ , se forman ecuaciones de observación doble diferenciada de ecuaciones, donde los

errores de la diferencia del reloj de la estación  $\Delta dT_{ij}$ , que son los mismos para ambas diferencias simples, los cuales también son eliminados:

$$l_{Pij}^{kl} = \Delta\rho_{ij}^{kl} + \Delta Tr_{ij}^{kl} + \Delta\varepsilon_{Pij}^{kl} \quad (7)$$

$$l_{\phi ij}^{kl} = \Delta\rho_{ij}^{kl} + \Delta Tr_{ij}^{kl} + \Delta N_{ij}^{kl} \lambda + \Delta\varepsilon_{\phi ij}^{kl} \quad (8)$$

donde

$\Delta\rho_{ij}^{kl}$ ,  $\Delta Tr_{ij}^{kl}$ ,  $\Delta N_{ij}^{kl}$ ,  $\Delta\varepsilon_{Pij}^{kl}$ ,  $\Delta\varepsilon_{\phi ij}^{kl}$  representan las respectivas dobles diferencias de la estación (i, j) y el par de satelitales (k, l).

Además, las ambigüedades iniciales L1 y L2, se utilizan para evaluar las ambigüedades ionosféricas libres  $\Delta N_{ij}^{kl}$ , convirtiéndose en números enteros. Por consiguiente, una vez que las ambigüedades L1 y L2 se resuelven, las ambigüedades ionosféricas libres, se conocen y pueden ser eliminadas de la ecuación (7), convirtiéndola en una ecuación equivalente a la ecuación de pseudorango (8); esto quiere decir que las observaciones de doble diferencia de fase con ambigüedades fija se convertirán en observaciones precisas de pseudorango, las cuales se derivan de la medición de las diferencias de fase precisa sin ambigüedades. Es por ello, que el posicionamiento relativo posee la mayor precisión posible, la cual se encuentra al nivel o por debajo del mm de precisión (Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger, & Collins, 1997).

Para el desarrollo del método de posicionamiento de punto preciso-PPP se utilizan los productos precisos del IGS los cuales sirven para la corrección del reloj del satélite (dt) y el retardo troposférico (Tr), el cual se puede expresar como un producto del retardo cenital troposférico “zpd” y una función de “mapeo” (M). Esto da el modelo matemático de localización de puntos (Kouba, 2003).

$$f_P = \rho + cdT + M zpd + \varepsilon_P - l_P = 0 \quad (9)$$

$$f_\phi = \rho + cdT + M zpd + N\lambda + \varepsilon_\phi - l_\phi = 0 \quad (10)$$

Las ecuaciones (9) y (10) se encargan de fijar los relojes y posiciones de los satélites conocidos, además contienen las observaciones y las incógnitas que pertenecen a una sola estación única. Es importantes saber que el posicionamiento de punto preciso (ecuaciones (7), (8)) permite que la posición, las soluciones de retardo del trayecto troposférico cenital y reloj del receptor que sean compatibles con el sistema de referencia global implícito por los productos IGS órbita / reloj (Gendt, G., 1996), (Gendt, G., 1998).

### 2.5.2. Correcciones para el método PPP

El método PPP realiza algunas correcciones para poder obtener buenos resultados la cuales se dividen como se indica en la tabla a continuación:

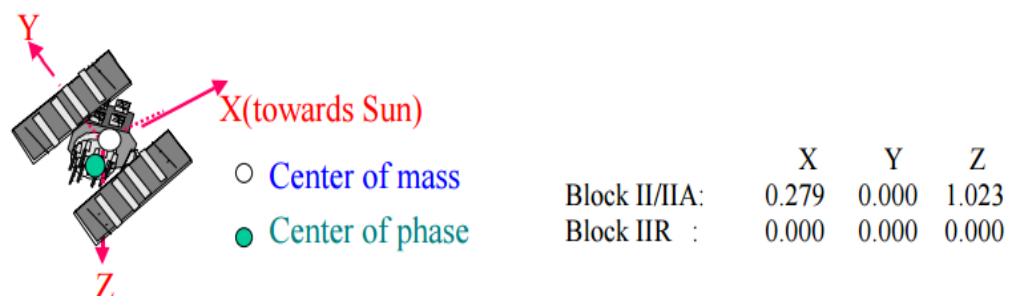
**Tabla 1**  
Correcciones en el método PPP

EFECTOS DEL SATÉLITE	Desplazamiento de la antena del satélite
	Fase Wind-up
EFECTOS DE DESPLAZAMIENTO DEL SITIO DE OBSERVACIÓN	Mareas terrestres
	Deformación rotacional debido al movimiento polar
	Carga Oceánica
	Carga atmosférica
	Parámetros de rotación de la Tierra
	Corrección a los relojes de los satélites
	Corrección por relatividad a los relojes de los satélites.
	Variación del centro de fase de antenas de los receptores.
	Sesgos diferenciales de códigos

**Fuente:** Paredes, 2013.

### 2.5.2.1. Efectos del satélite

**Desplazamiento de la antena del satélite:** Las mediciones GNSS se obtiene relación al centro de fase de la antena del satélite, mientras que la información del satélite como órbitas, relojes y modelos utilizados entregados por la IGS están referidos al centro de masa del mismo satélite como se muestra en la figura 12. Por lo tanto, se debe que conocer las compensaciones de centro de fase satélite y centro de masa para realizar las respectivas correcciones controlando la orientación del vector de desplazamiento (Rothacher & Mader, 2002).



**Figura 12.-** Desplazamientos de centro de fase de la antena aprobada por IGS en el cuerpo fijo por satélite sistema de referencia (metros)

**Fuente:** Kouba, J. 2003

**Fase Wind-Up:** Las fases portadoras que se observan, poseen una dependencia directa con la orientación mutua de las antenas del satélite y del receptor usualmente hacia el norte, puesto que si en cualquiera de estas existe una rotación alrededor del eje vertical, la fase portadora se modificará hasta por un ciclo. A esto se lo conoce como “Phase Wind-up” (Paredes, 2013).

Las antenas experimentan rotaciones lentas causadas por la continua reorientación de los paneles solares del satélite solar hacia el sol y los cambios en la geometría satelital.

Esta corrección es no significativa para métodos de posicionamiento relativo, ya que este error está totalmente absorbido en las soluciones del reloj de la estación o eliminado por doble diferencia. Mientras que para métodos de posicionamiento absoluto, si esta corrección se despreciara y se fijaran los



relojes IGS y las órbitas, los errores resultantes de la posición y de relojes serán al nivel del decímetro, (Paredes, 2013).

#### **2.5.2.2. Efectos de desplazamiento del sitio de observación**

A nivel mundial la Tierra sufre movimientos periódicos reales o aparentes. Dado que la mayoría de estos movimientos son periódicos y sobre amplias zonas de la Tierra, son casi nulos en métodos de posicionamientos relativos con líneas de base <100 km., por lo tanto, no necesitan ser considerados. Sin embargo, al utilizar un método absoluto para la obtención de coordenadas precisas utilizando PPP estos movimientos deben ser modelados para su corrección (Paredes, 2013).

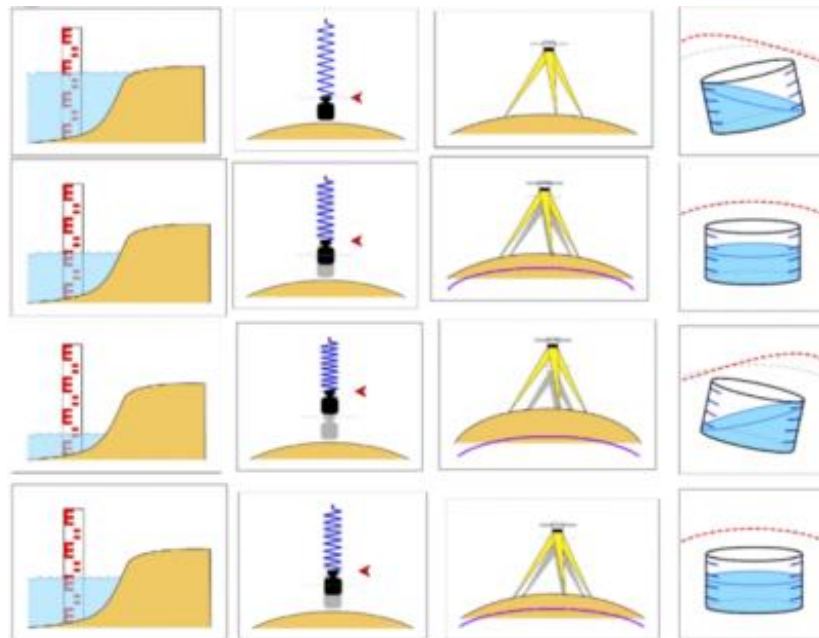
Esto ha sido logrado mediante la adición de los términos de corrección en los efectos de desplazamiento del sitio de observación.

**Mareas terrestres:** Las mareas terrestres son la consecuencia de los efectos gravitatorios de la Luna y Sol junto con la velocidad de rotación de la Tierra y la presencia de los continentes. Las cuales producen una fuerza perturbadora variable, cuyo efecto genera desplazamientos verticales y horizontales, generando deformaciones elásticas en la superficie terrestre (Machín, 1969).

**Deformación rotacional debido al movimiento polar (mareas del polo):** Al igual que las deformaciones debidas al sol y a la luna, atracciones que causan deformaciones periódicas en la posición de las estaciones de monitoreo continuo, los cambios de eje de rotación de la Tierra con respecto a la corteza terrestre, es decir, el movimiento polar, provoca deformaciones periódicas debido a los cambios de hora en el potencial centrífugo de la Tierra (Bock, 1998). Estos movimientos causan deformaciones periódicas debido a cambios diminutos en el potencial centrífugo terrestre (Kouba, 2003).

**Carga oceánica:** Es similar al efecto de las mareas terrestres. Las mareas generadas por la luna y por el sol producen desplazamientos verticales periódicos de las masas de agua como se puede observar en la figura 13. Provocando un fenómeno de carga sobre el fondo oceánico, desencadenando desplazamientos

horizontales y verticales de la corteza terrestre, variaciones de gravedad que afectan directamente a observaciones geodésicas y geofísicas (Pedraza & Tocho, 2011).



**Figura 13.-** Desplazamientos verticales periódicos de las masas de agua

**Fuente:** Pedraza A. y Tocho C., 2011

**Carga atmosférica:** se conoce como carga atmosférica a la variante en el tiempo y distribución de la presión atmosférica que generan una respuesta elástica en la corteza de la Tierra (Bock, 1998). En el posicionamiento, esta respuesta puede provocar desplazamientos verticales menores a 1 cm. Esta carga no posee una fuerza de tendencia periódica (Acuña, 2008). Pero se la puede estimar a través de modelos que utilizan presiones promedio e instantáneas.

**Parámetros de rotación de la Tierra (ERP):** la posición del Polo y la diferencia de tiempo (UT1-UTC), combinado con las convenciones para el tiempo sideral, la nutación y precesión, facilitan transformaciones precisas entre los sistemas de referencia terrestres y de inercia que se requieren en el análisis global de GPS (Acuña, 2008).

**Corrección a los relojes de los satélites:** Para un posicionamiento con alto grado de confiabilidad es imprescindible la sincronización entre los relojes

ubicados en los satélites y los relojes ubicados en la tierra, los cuales se ven afectados por la relatividad (Dach, Hugentobler, Fridez, & Meindl, 2007).

**Corrección por relatividad a los relojes de los satélites:** Leick, Rapoport, & Tatarnikov (2004) nos indica que: “los relojes atómicos en los satélites están afectados por relatividad especial (debido la velocidad del satélite) y relatividad general por la diferencia en el potencial gravitacional para la posición del satélite respecto al potencial en la superficie de la Tierra”. Para el posicionamiento GPS todos estos efectos se los debe enmendar mediante la corrección por relatividad (ICD-GPS-200, 1993).

**Variación del centro de fase de antenas de los receptores:** el punto de referencia en el posicionamiento GNSS es el centro de fase de la antena del receptor. Para la medición de la altura de la antena, es necesario conocer la relación entre el punto de referencia y otro externo que sea accesible (ARP, antenna reference point), con el fin de enlazar la posición determinada por GPS con un marca geodésica o monumento en tierra (Leick, Rapoport, & Tatarnikov, 2004). Se debe considerar, que el centro de fase varía según el ángulo de elevación de las señales incidentes enviadas por el satélite a la antena. La relación entre el ARP y el centro de fase es parametrizada en términos de desplazamientos del centro fase (PCO, phase center offsets) y variaciones del centro de fase (PCV, phase center variations). El mayor desplazamiento es en altura, el cual puede alcanzar el decímetro o más. Los PCO y PVC también dependen de la frecuencia, y obviamente, del modelo de la antena. Estas correcciones en PPP son obligatorias (Paredes, 2013).

### **2.5.3. Tipos de posicionamiento PPP**

PPP tiene varios tipos de posicionamiento, los cuales se clasifican dependiendo de cómo se obtiene la solución. Estos tipos son: en tiempo real y post-proceso, los cuales a su vez posee un método estático y un método cinemático.

### **2.5.3.1. Posicionamiento PPP en post-proceso (PP-PPP)**

PPP en post-proceso, brinda las precisiones más semejantes a la técnica diferencial GPS. Este método también puede ser realizado a través de servicios gratuitos en línea o softwares como Bernese, RTKLIB o BNC, en donde el carga los archivos RINEX de observación y la solución es calculada de manera automática con precisiones al nivel del centímetro. La desventaja de este método es que requiere largas horas de observación para obtener mejores resultados (Rizos, 2010), (Paredes, 2013).

### **2.5.3.2. Posicionamiento PPP en tiempo real (RT-PPP)**

En este tipo de posicionamiento, los datos son transmitidos en formato RTCM a través de medios físicos de corto alcance ( VHF / UHF, WiFi, telefonía móvil o enlace de comunicaciones por satélite). Para obtener resultados con precisión centimétrica en el posicionamiento, se necesita información en tiempo real de las órbitas precisas y los relojes precisos. Las desventajas de este tipo de PPP corresponden con la disponibilidad de la recepción de datos en tiempo real. (Paredes, 2013)

#### **2.5.3.2.1. Real Time eXtended (RTX)**

Este posicionamiento PPP, realiza sus cálculos de orbitas precisas y las correcciones de los relojes precisos en base en una red privada de estaciones de referencia continua mundial. Además las correcciones atmosféricas locales son determinadas por medio de una red de estaciones de referencia continua regional. La desventaja de este método está en que es de uso privado y no maneja formatos de mensajería estándar.

#### **2.5.3.2.2. Método PPP estático**

Es conocido como PPP tradicional, en el cual se mide un punto que se encuentra fijo sobre la superficie terrestre; este método filtra la información con la finalidad de obtener resultados con una excelente precisión.

### 2.5.3.2.3. *Método PPP Cinemático*

PPP cinemático se utiliza para determinar la posición de un receptor GPS época-época-por-época (Zumberge, Heflin, Jefferson, Watkins, & Webb, 1997), (Han, Kwon, & Jekeli, 2001). La disponibilidad, calidad y resolución de la información precisa de los relojes satelitales son el factor más importantes para la aplicación de este método. Con PPP cinemático puede obtener posiciones absolutas con calidad sub-decimétrica, gracias a la precisión actual de las órbitas precisas finales y, de los relojes satelitales del IGS (Gao & Shen, 2002).

## **2.6. POSICIONAMIENTO CINEMÁTICO EN TIEMPO REAL – RTK**

Método de posicionamiento relativo tiene como objetivo la obtención de coordenadas en tiempo real a partir de un receptor GNSS base o referencia que se encontrará en una coordenada conocida y en modo estático, el cual enviará las respectivas correcciones a un receptor GNSS móvil enlazado a través de una antena de radio para obtener un posicionamiento muy preciso en relación con la estación base con precisiones al nivel del centímetro entre  $1 \text{ ó } 2 \text{ cm} \pm 1 \text{ ppm}$ .

El posicionamiento cinemático en tiempo real actualmente se ha convertido en uno de los métodos de posicionamiento GNSS de alta precisión más comunes en áreas pequeñas (Farjar, s. f.).

## **2.7. SISTEMA DE REFERENCIA**

Sistema de referencia es una definición conceptual de teorías, hipótesis, algoritmos necesarios para transformaciones espaciales y temporales y las constantes utilizadas en las definiciones y correcciones, que permiten situar una tripleta de ejes coordenados en el espacio, definiendo su origen y orientación.

Los sistemas de referencia permiten determinar la posición de un punto sobre la Tierra. Ayudan en el estudio del movimiento y deformaciones de la corteza terrestre, convirtiéndose en una parte fundamental para el desarrollo de las ciencias de la Tierra, como la Geodesia, Geofísica, Geodinámica, Cartografía, Topografía

(Furones, Sistema y Marco de Referencia Terrestre. Sistemas de Coordenadas., 2011).

### **2.7.1. Sistema de referencia terrestre convencional (CTRS)**

Sistema de referencia convencional es un sistema de referencia donde todas las constantes numéricas, parámetros e hipótesis y teorías para el establecimiento del sistema de referencia son especificadas de modo concreto (Furones, 2010).

El sistema de referencia terrestre internacional más conocido como ITRS es el sistema de referencia más preciso. Es observado, calculado y mantenido por el Servicio Internacional de Rotación de la Tierra y Sistemas de Referencia.

Se definieron los ejes coordenados como fijos, es decir, que giran junto con la Tierra, de tal manera que las coordenadas de un punto, serán siempre las mismas. Ángel Martín Furones (2010-2011) en su publicación *Sistema y Marco De Referencia Terrestre. Sistemas De Coordenadas* indica que los convencionalismos del sistema de referencia convencional son:

- Su origen se encuentra en el centro de masas terrestre (incluyendo océanos y atmósfera)
- Su polo coincide con el polo definido por el CIO (Convventional International Origin) para 1903.0, el cual fue adoptado oficialmente en 1967 por la IAU y la IAG.
- Eje X: Meridiano de Greenwich Convencional determinado por la IERS y llamado IERS Reference Meridian (IRM) o Greenwich Mean Origin (GMO).
- Eje Y: Formando una tripleta dextrógira con los ejes anteriores sobre el plano del ecuador convencional.
- Eje Z: Polo medio determinado por la IERS y llamado IERS Reference
- La escala ligada a la unidad de medida en el sistema internacional, el metro.
- Su evolución en orientación con el tiempo no crea rotación global residual con relación a la corteza.

### **2.7.2. Sistema de Referencia para las Américas SIRGAS**

El sistema de referencia para las Américas SIRGAS tiene su definición idéntica a la del Sistema Internacional de Referencia Terrestre (SIRGAS, 2015).

### **2.7.3. Sistema de Referencia para el Ecuador**

Según la ley de la Cartografía ecuatoriana, el Sistema de Referencia Geodésico del Ecuador está referido al Datum Provisional para Sudamérica 1956 (PSAD56), su elipsoide de referencia es el Internacional de Hayford y su punto de origen o datum se encuentra en La Canoa Venezuela. Es decir, todos los trabajos cartográficos, topográficos, planimétricos, entre otros, deben estar georeferenciados en PSAD56, el cual solamente tiene un alcance nacional y/o regional por lo que su densificación solamente tiene cobertura en el país o países que lo adoptaron como oficial, lo cual se presenta como problemática en el momento de compatibilizar la geoinformación de otro sistema de referencia, como por ejemplo en zonas de frontera o límites políticos (Ruano, s.f.). Luego del sismo ocurrido el 16 de abril del 2016 el Instituto Geográfico Militar como organismo rector de la cartografía en el Ecuador, ha propuesto adoptar el Sistema de Referencia SIRGAS, ITRF2008, Época 2016.43 (IGM, s.f. ).

### **2.7.4. Sistema de referencia para el satélite**

Para los satélites los sistemas de referencia se definen de manera totalmente distinta a los terrestres, ya que solo se encuentran levemente relacionados con el geocentro o centro de masas de la Tierra. El sistema de referencia satelital se encuentra definido por los parámetros orbitales de alta precisión del satélite, conocidos como efemérides del satélite o datos orbitales. Estas efemérides se basan en las coordenadas adoptadas por un número de estaciones de rastreo y un modelo geopotencial adoptado para el campo gravitacional terrestre y constante previamente definidas.

## **2.8. MARCO DE REFERENCIA**

Luego de la definición de un sistema de referencia se lo debe materializar a través de observaciones, es decir, por un conjunto de puntos localizados sobre la superficie terrestre con coordenadas y velocidades conocidas, a esta se la conoce como marco de referencia. Las materializaciones más comunes son dadas por puntos de control obtenidos mediante medidas en el terreno y redes geodésicas (Furones, 2010).

### **2.8.1. Marco de referencia terrestre internacional ITRF**

El Marco de referencia terrestre internacional ITRF es la materialización del sistema de referencia terrestre internacional mediante coordenadas de una serie de estaciones distribuidas mundialmente las mismas que son establecidas y mantenidas por el IERS.

El marco está formado por coordenadas cartesianas y velocidades de una serie de estaciones equipadas con técnicas de observación espacial (VLBI, SLR, LLR, GPS desde 1991 y DORIS) desde 1994. Si se desean coordenadas geodésicas se recomienda el uso del elipsoide GRS80. Estas coordenadas definen implícitamente el origen, la escala y la orientación de los ejes coordenados X, Y, Z, del sistema de referencia (Furones, 2010).

### **2.8.2. Marco de Referencia para las Américas SIRGAS**

A pesar de que las estaciones que conforman el marco de referencia terrestre internacional ITRF se encuentran distribuidas mundialmente y ofrecen una buena cobertura en algunos casos resultan insuficientes y a veces muy distantes para la utilización por parte de generadores y consumidores de información georeferenciada. Por lo cual, se vio la necesidad de establecer una densificación a nivel continental, nacional y regional que permita un acceso directo al marco de referencia terrestre internacional.

El sistema SIRGAS es el resultado de la conjunción de esfuerzos internacionales en una gran cantidad de factores que lo ubican en el primer lugar



de la lista de sistemas de referencia regionales debido a su estructura, consistencia, precisión y exactitud lo clasifican como un marco de referencia a seguir y se constituye en el fundamento básico para el avance de los sistemas de referencia nacionales en América. Por esta razón, la ONU en su Séptima Conferencia Cartográfica para las Américas recomendó la adopción de SIRGAS como sistema de referencia oficial para todos los países de América (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2004).

## **2.9. SISTEMA DE COORDENADAS**

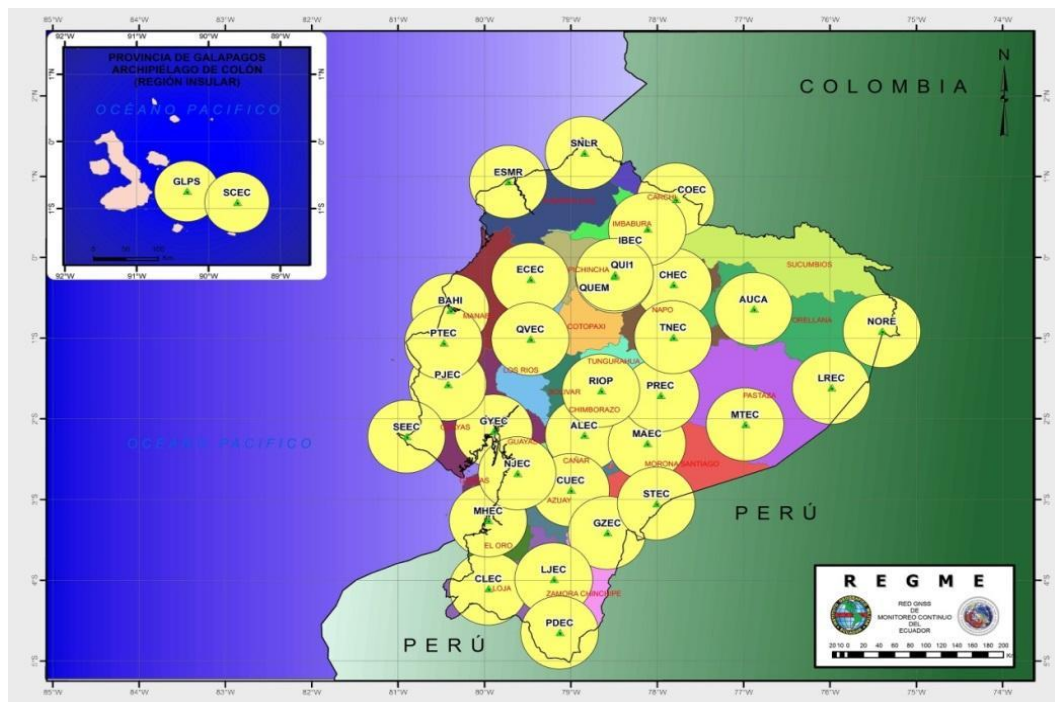
Sistema de coordenadas es la parametrización de las coordenadas de los puntos que forman el marco de referencia. En este sentido existen infinitos sistemas de coordenadas para parametrizar el marco de referencia (Furones, 2010).

Un sistema de coordenadas se describe por:

- Origen
- Orientación de los ejes
- Unidad de medida

## **2.10. ESTACIONES DE MONITOREO CONTINUO EN EL ECUADOR**

El Instituto Geográfico Militar ha establecido la Red de estaciones de monitoreo continuo en el Ecuador, que es el conjunto de estaciones GNSS (GPS+GLONASS) de monitoreo continuo, enlazadas a la Red Continental SIRGAS-CON. Actualmente, se encuentran distribuidas a lo largo del territorio nacional, como se puede observar en la figura 14. Son estaciones de recepción continua, que captan datos GPS y GLONASS las 24 horas del día, los 365 días del año, proporcionando información necesaria para realizar el procesamiento diferencial de información GPS, considerando la variación de las coordenadas en el transcurso del tiempo (IGM, Instituto Geográfico Militar, 2013).



**Figura 14.-** Estaciones de monitoreo continuo en Ecuador

**Fuente:** Geoportal IGM, 2013

## 2.11. SOFTWARE BERNESE 5.2

El software BERNESE GNSS fue desarrollado por el Instituto Astronómico de la Universidad de Berna, es una herramienta científica que cumple con altos estándares de calidad para aplicaciones geodésicas que utilizan Sistemas de Navegación Global por Satélite (GNSS). La versión 5.2 de Berna, continúa siendo un paquete de post- procesamiento con un alto rendimiento, alta precisión y gran flexibilidad GPS / GLONASS (Bernese GNSS Software, 2016), (Valverde, 2014).

Las principales aplicación del software Bernese son:

- Rápido y eficiente procesamiento de frecuencias simples y dobles.
- Tratamiento automatizado de redes permanentes.
- Post-procesamiento en tiempo casi real para el reprocesamiento de años de datos GNSS
- Procesamiento de datos de un gran número de receptores.
- Combinación de diferentes tipos de receptores, teniendo fase de receptor y antena de satélite.

- Procesamiento combinado de observaciones GPS y GLONASS.
- Resolución de la ambigüedad en las líneas de base largas (2000 km y más).
- Análisis de los receptores cinemáticas reales ( incluso en los aviones )
- Monitoreo de ionósfera y tropósfera.
- Estimación de desviación de reloj y tiempo de transferencia.
- Determinación de la órbita de los satélites LEO GNSS y la estimación de parámetros relacionados
- Validación en órbita SLR

El GNSS Software Berna, consta de más de 450.000 líneas de código fuente en unos 1.500 módulos. El programa del menú actúa como interfaz de usuario para la mayor parte de los casi 100 programas que ejecuta. Estos programas se activan al desplegar menús que reflejan las principales partes del software de una manera lógica.

## **2.12. SERIES TEMPORALES**

Una serie temporal es el conjunto de observaciones  $z_1, z_2, \dots, z_k$  generadas secuencialmente en el tiempo (Lizarazo, Mora, & Santa, 2011). Otra definición clara es la que nos da Marín (s. f.): *“Una serie tiempo es conjunto de observaciones, las cuales se encuentran ordenados cronológicamente y espaciados entre sí de manera uniforme, así los datos usualmente son dependientes entre sí”*.

El análisis de una serie implica el manejo de un conjunto de dos variables: la variable de estudio y la variable tiempo a la cual se encuentran ligadas las observaciones. El uso de series temporales informa de la variación de la variable a lo largo del tiempo; se realiza este análisis a través del desarrollo de modelos estadísticos con los cuales se pueda describir el comportamiento de la(s) variable(s) de estudio. También se las utiliza para determinar la tendencia de las observaciones por medio del uso de modelos de pronóstico, basado en condiciones pasadas o actuales.

### **2.12.1. Clasificación de las series temporales**

Dependiendo de cómo sean de observaciones se puede clasificar una serie temporal en:

- **Determinísticas:** Son aquellas en las que se puede predecir exactamente los valores.
- **Estocásticas:** Son aquellas en las que se puede predecir los valores de forma parcial en base a las observaciones pasadas, además los valores futuros poseen una distribución de probabilidad condicionada a valores pasados.

### **2.12.2. Aplicaciones de las Series Temporales**

Las series temporales pueden ser aplicadas en cualquier rama de la ciencia, se utilizan tanto en análisis de mercados, aspectos económicos como tasa de desempleo, natalidad o mortalidad o en electrocardiogramas y electroencefalogramas, entre otros.

En las ciencias de la Tierra, se puede usar las series temporales en la determinación de la posición, distancia, desplazamientos o velocidades de desplazamiento de una estación permanente para mantener actualizado el marco de referencia de un país. Además sirve para determinar el comportamiento de las placas tectónicas, interpretar el comportamiento de un evento sísmico.

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

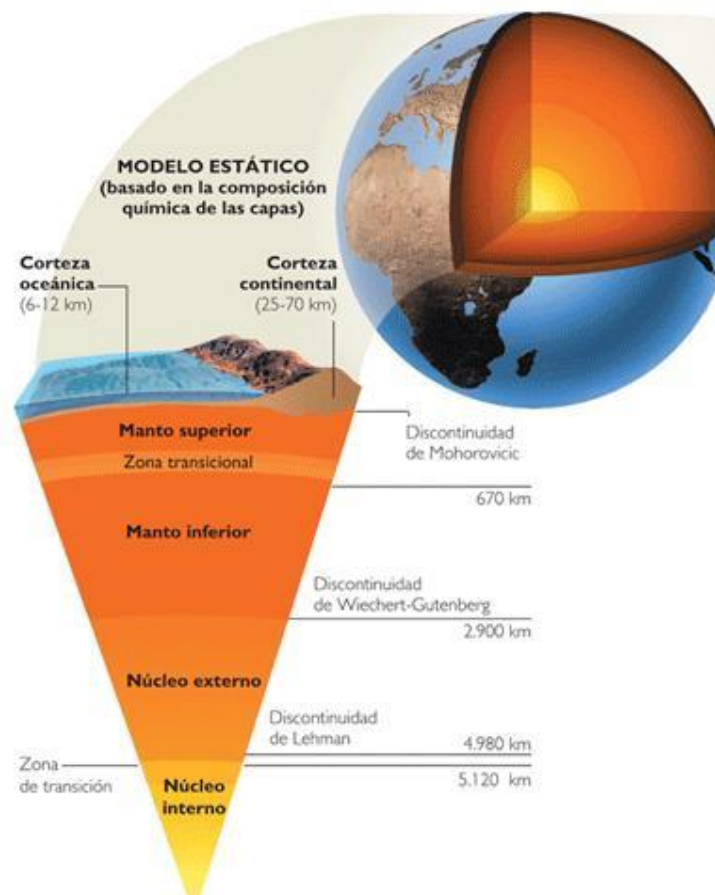
### **2.13. RIESGO SÍSMICO**

En general se llama sismo a cualquier vibración o estremecimiento del suelo. La Tierra puede temblar por diversas razones, entre las se tienen:

- Explosiones volcánicas
- Colapsos del subsuelo
- Cualquier tipo de deslizamientos o acomodamientos que se produzcan debajo de la superficie terrestre.

Los sismos provocados a explosiones por explosiones volcánicas pueden ser de gran magnitud, sin embargo, la mayor parte de los sismos, sobre todo los más fuertes son de origen tectónico.

La Tierra, nuestro planeta, está formado por capas concéntricas. La más superficial es la corteza, cuyo espesor es de aproximadamente 30 km en los continentes y se reduce a 15 km en los océanos. El límite inferior de la corteza se conoce como discontinuidad de Mohorovic como se puede ver en la figura 15, por debajo está el manto que se extiende hasta una profundidad de 2900 km, donde se encuentra el núcleo de la Tierra. Tomando en cuenta que el radio de la Tierra es de 6378 km, resulta que el núcleo de la terrestre es una esfera de 3478 km.

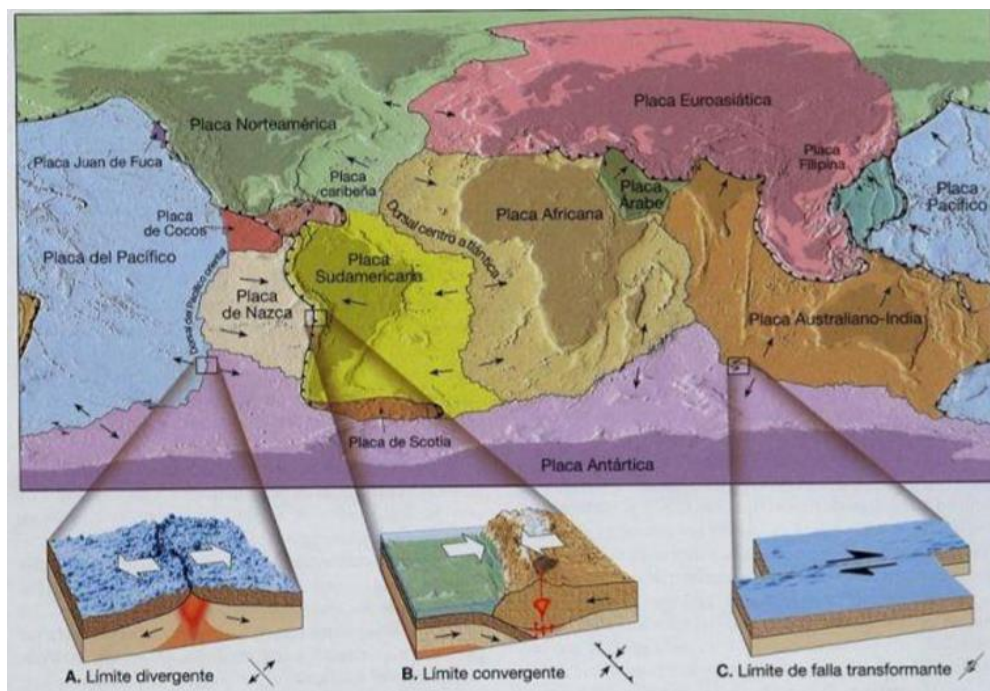


**Figura 15.-** Modelo estático de la Tierra

**Fuente:** CMC1TECTONICA, s.f.

La litósfera es la capa más externa de la Tierra, está compuesta por la corteza y parte del manto. Presenta un comportamiento de cuerpo rígido, tiene un espesor de aproximadamente 100 km.

Dicha capa externa no es continua, sino está partida en pedazos similares a los pedazos de un balón de fútbol, a estas porciones se las llama placas, como se puede ver en la figura 16. Entre las más importantes tenemos: placa de Nazca, Sudamericana, Africana, Euroasiática, Australiana y Antártica.



**Figura 16.-** Mosaico de placas que constituyen la corteza externa de la Tierra

**Fuente:** W.B. Hamilton , U.S Geological Survey

### 2.13.1. Placas Tectónicas

Las placas se encuentran en contacto y se desplazan entre sí, en ocasiones se mueven paralelamente sobre sus límites, pero otras ocasiones una se hunde por debajo de otra, dando lugar al fenómeno de subducción. Las causas de los movimientos de las placas se desconocen, pero se cree que se debe a lentas corrientes de convección en el manto, el cual arrastraría a las placas a desplazarse.

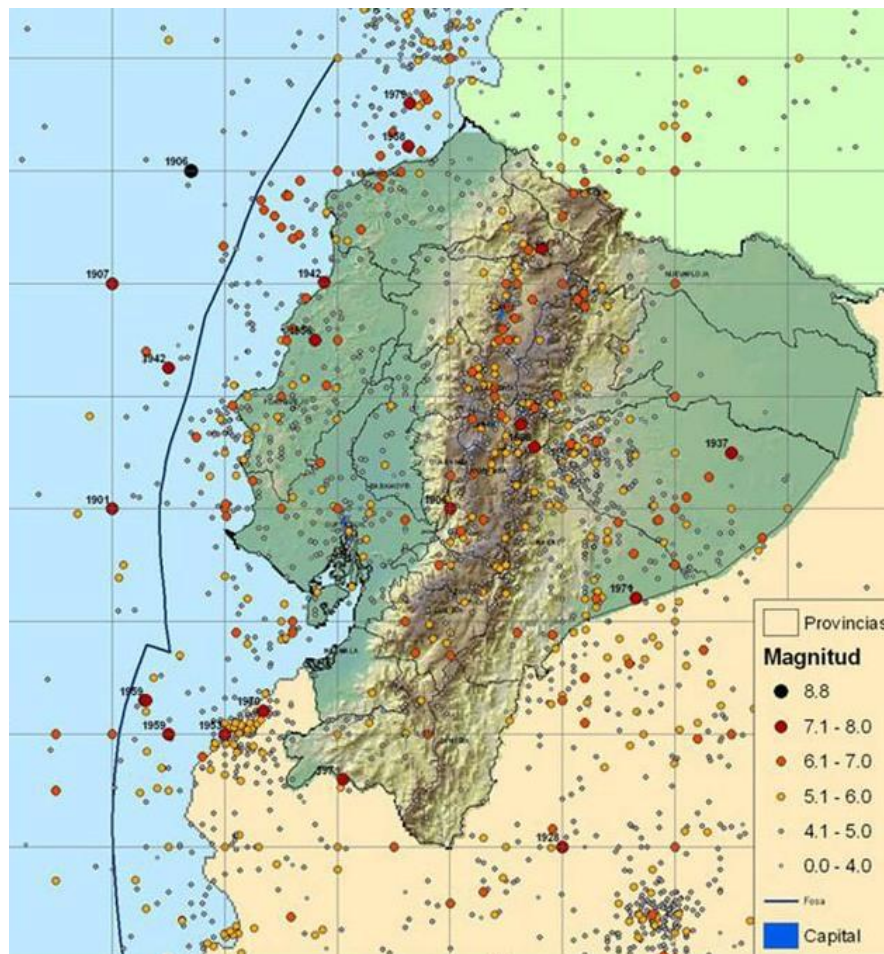
En medio de los límites entre placas de una zona de subducción, se encuentra una falla o sistema de fallas.

El hundimiento de una placa bajo la otra es de manera continua, ya que la fricción origina discontinuidades en el desplazamiento. Por ello, el esfuerzo se acumula hasta llegar a un nivel mayor que la fuerza de fricción entre las placas, lo que produce un deslizamiento súbito que genera las ondas sísmicas o vibraciones del terreno, las mismas que constituyen el sismo. Así, cada movimiento repentino es un sismo, pero al mismo tiempo ese movimiento es el que mantiene a la placa continental por encima del océano. De esta manera, el motor que genera los sismos es el mismo que origina los cambios geológicos (Herrera, Ponce, & Suarez, 2007).

### **2.13.2. Historia sísmica del Ecuador**

El Ecuador está ubicado en el Anillo de Fuego del Pacífico, convirtiendo al país en una zona de alto riesgo sísmico. Es así que en 475 años (1541-2016) se han registrado 38 terremotos destructivos en todas las regiones del país.

El Catálogo Sísmico del Ecuador (Egred, 1999) señala aquellos sismos que han causado un impacto significativo en las diversas ciudades del país (con magnitudes mayores a 5.7 e intensidades que varían entre VI y VII) entre ellos están: terremoto de 1541 en Quito con una magnitud de 7; sismo de 1749 que causó destrucción parcial de la ciudad de Loja, posteriormente en 1797 el sismo en Riobamba, en agosto de 1868 en la ciudad de Ibarra se produjo un evento sísmico de magnitud 7.7; para enero de 1906 en Esmeraldas se registró un gran terremoto con una magnitud 8.8; en provincia de Manabí, en mayo de 1942 se registró un sismo de magnitud 7.9, seguido del sismo de 1958 con magnitud estimada 7.8 en Esmeraldas; en la amazonía, provincia de Napo, en marzo de 1987 se dio un sismo de magnitud 6.9 (magnitudes antes mencionadas corresponden a escala de Richter) (Correa, Hinojosa, & Taipe, 2004). Desde 1999 hasta el presente año, el Ecuador se encontraba en una etapa de “silencio sísmico”; es decir, sin registrar sismos que presenten magnitudes significativas; pero el 16 de abril de 2016 este periodo terminó, con la llegada de un sismo de 7.8 Mw registrado en Manabí. En la figura 17 se presenta los sismos registrados entre 1541 y 1990 en el Ecuador.



**Figura 17.-** Historia Sísmica de Ecuador 1541-1990

**Fuente:** Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional citado por Ochoa & Ulcuango, 2014

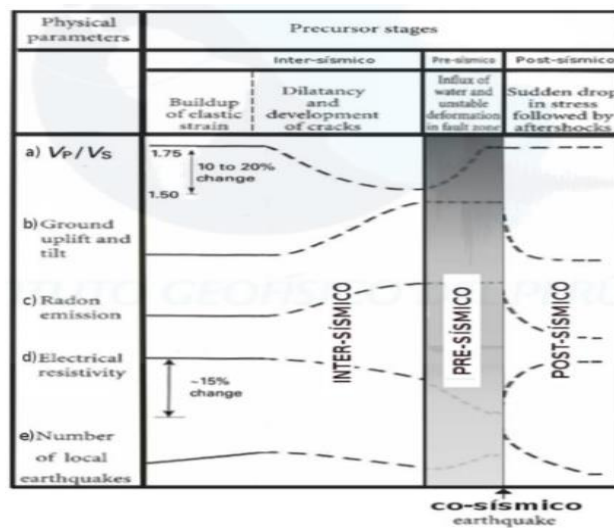
### 2.13.3. Sismo

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, 2013).

### 2.13.4. El ciclo sísmico

Hablar del ciclo sísmico es hablar de la acumulación y liberación de la energía contenida dentro de las fallas geológicas. El ciclo sísmico se relaciona con las etapas de un sismo, es decir; antes, durante y después de un sismo, donde se pueden observar los diferentes cambios en los registros de los precusores. El comportamiento variable de los precusores en el tiempo, como se puede observar en la figura 18, permite dividir el ciclo sísmico en las siguientes etapas:





**Figura 18.-** Comportamiento general de: dentro del ciclo sísmico: Intersísmico, Presísmico, Cosísmico y Postsísmico

Fuente: Flores, 2010

#### 2.13.4.1. *Etapa presísmica*

Etapa antes de la ocurrencia del sismo donde se incrementa el desarrollo de anomalías y la variación de sus precursores sísmicos, debido a la intensa alteración de la corteza por la filtración del agua en las grietas que por presión rompen la corteza provocando su debilitamiento (Ruegg, et al., 2009).

#### 2.13.4.2. *Etapa intersísmica*

Etapa durante la cual se acumula la deformación elástica o energía. Marcada por la deformación de la parte superior de la corteza por agrietamientos o fisuras que se incrementan en el tiempo, causadas por la acumulación de energía que deforma la parte superior de la corteza. Esta etapa termina con la liberación inminente de la energía acumulada y ocupa más del 90 % del ciclo sísmico (Ruegg, et al., 2009).

#### 2.13.4.3. *Etapa cosísmica*

Es la etapa más corta del ciclo sísmico, es el momento donde ocurre el sismo, tiene una duración que va desde unos cuantos segundos hasta algunos minutos. Se describe a través de deformaciones elásticas debido al debilitamiento de la corteza

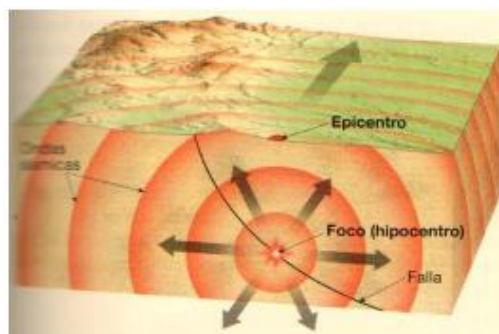
produciendo la liberación de la energía acumulada provocando rupturas abruptas y el movimiento rápido de la corteza terrestre (Ruegg, et al., 2009).

#### **2.13.4.4. Etapa post-sísmica o relajación**

Etapa del ciclo sísmico después del sismo, donde se redistribuyen las tensiones. Se caracteriza por un estado de calma relativa, consolidando los materiales sueltos del suelo y reactivando fallas pequeñas cercanas al epicentro, con la ocurrencia eventual de sismos pequeños (réplicas) (Ruegg, et al., 2009).

#### **2.13.5. Elementos de un sismo**

Para comprender de mejor manera un sismo, es necesario conocer el proceso que se lleva a cabo al interior de la corteza terrestre. A continuación se presentan algunos conceptos básicos que se muestran en la figura 19.



**Figura 19.-** Elementos constitutivos de un sismo

**Fuente:** Tarbuck & Lutgens, 2013

##### **2.13.5.1. 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, 2013).

##### **2.13.5.2. Epicentro**

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

### **2.13.6. Ondas sísmicas**

Durante los sismos se libera una gran cantidad de energía en forma de calor y ondas sísmicas (Tarbuck & Lutgens, 2013).

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

#### ***2.4.3.1 Ondas internas***

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). 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, 2013).

#### ***2.4.3.2 Ondas superficiales***

Cuando se tiene una estructura de capas o una superficie libre, se puede transmitir ondas de otro tipo, las cuales son apreciables únicamente cerca de la superficie, por lo cual se denominan superficiales (Herraíz, 1997). Representan la energía atrapada por la superficie terrestre, generándose por la interacción de la estructura interna de la tierra con las ondas internas, propagándose paralelamente por la superficie de medio. Estas ondas poseen una amplitud máxima en la superficie y disminuyen exponencialmente a medida que se profundizan, razón por la cual los sismos de poca profundidad transmiten más energía generando un efecto destructor mayor. Se dividen en dos tipos: ondas Rayleigh y ondas Love, estas ondas son utilizadas para realizar estimaciones del momento sísmico, la profundidad focal y el

mecanismo focal. En otras aplicaciones se utiliza para diferenciar a los sismos de las pruebas nucleares.

## **2.14. MEDICIÓN DE LAS DIMENSIONEN SÍSMICAS.**

Los terremotos se pueden medir según los daños que causan o según la energía que liberan; es decir, por su intensidad o por su magnitud.

### **2.14.1. 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, 2013).

### **2.14.2. Magnitud.**

Es un número que busca caracterizar la energía sísmica liberada y el tamaño de un sismo. Tiene el fin de comparar los sismos en todo el mundo, era necesario una medición que no se basara en parámetros que varíen considerablemente de una parte del mundo a otra, por tal motivo se desarrolló una serie de escala de magnitud (Tarbuck & Lutgens, 2013).

La magnitud es un número que determina el tamaño relativo de un sismo, basándose en medir el movimiento máximo que un sismógrafo registra. Existen distintas escalas de medición, 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 aplicación limitada, ya que sus medidas no son satisfactorias para sismos grandes. La escala de magnitud de momento (Mw) está basada en el concepto de momento sísmico y se aplica de manera uniforme a todos los tamaños de sismos, pero es más complicada de calcular. Las escalas de magnitud deben producir aproximadamente un mismo valor para cualquier sismo dado (USGS, 2012).

## CAPÍTULO III

### 3. METODOLOGÍA

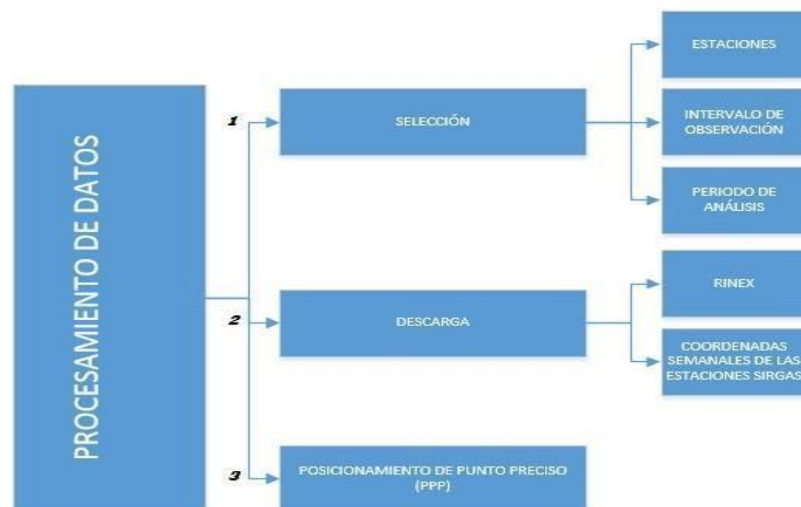
#### 3.1. PROCESAMIENTO DATOS GNSS

La metodología empleada es presentada en las figuras 20 y 21; se describirán a detalle a continuación:



**Figura 20.-** Metodología a emplear para el procesamiento de datos GNSS

**Fuente:** Autores



**Figura 21.-** Metodología para el procesamiento de datos

### 3.1.1. Selección de estaciones

Para la selección de las estaciones de monitoreo continuo analizadas se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Cercanía de la estación al epicentro.
- Disponibilidad de datos RINEX antes, durante y después del evento sísmico.

Estaciones seleccionadas

**Tabla 2**

Estaciones seleccionada para el procesamiento.

ESTACIÓN	FECHA DEL SISMO	EPICENTRO	PROVINCIA	CIUDAD	X (m)	Y (m)	Z(m)	DISTANCIA AL EPICENTRO (Km)
GUEC	28/04/2015	Guayaquil	Guayas	Guayaquil	1117208,8991	-6274503,3967	-251124,1392	15,44
ESMR	16/04/2016	Pedernales	Esmeraldas	Esmeraldas	1137650,1000	-6275256,29659	103347,77146	68,66
ECEC	16/04/2016	Pedernales	Manabí	El Carmen	1167630,0255	-6270565,72496	-30060,33138	83,70
QVEC	16/04/2016	Pedernales	Los Ríos	Quevedo	1165494,1046	-6269857,62240	-111925,70475	157,27
PJEC	16/04/2016	Pedernales	Manabí	Paján	1060545,9235	-6287136,61841	-171639,14596	218,74

### 3.1.2. Selección del intervalo de observación

Para la descarga de datos se han tomado en cuenta los siguientes intervalos de observación:

- RINEX con un intervalo de observación de 30 segundos para el primer y tercer periodo.
- RINEX con un intervalo de observación de 1 segundo para el segundo periodo.

### 3.1.3. Selección de periodo de análisis

Para notar los cambios en las coordenadas y facilitar el análisis se tomaron en cuenta tres periodos:

- Primer periodo: Cuatro semanas antes del sismo
- Segundo periodo: Día del sismo
- Tercer periodo: Dos semanas después del sismo

### 3.1.4. Recopilación de archivos RINEX

Ya definidas las estaciones de monitoreo continuo, el periodo de análisis y el intervalo de observación, se realizó el proceso de registro en el IGM, para que se proporcione un usuario y contraseña para acceder a la información.

El acceso a la información se hizo mediante el Geoportal del IGM <http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/>. “Datos Geodésicos > Visor Geográfico”

Se seleccionó la estación de monitoreo continuo y a continuación se ingresaron los datos de usuario y clave para acceder a la información GNSS del Geoportal.

### **3.1.5. Tratamiento de Archivos RINEX**

Para el tratamiento de los archivos RINEX descargados del Geoportal del IGM se usaron herramientas gratuitas de la UNAVCO `crx2rnx`, `runpkr00` y `teqc` que pueden ser descargadas de <http://www.unavco.org/> y deben ser copiadas y pegadas en el siguiente path `C:\Windows\System32`. Las mismas que ayudan a la descompresión, transformación, edición y control de calidad, de los archivos descargados del Geoportal del IGM.

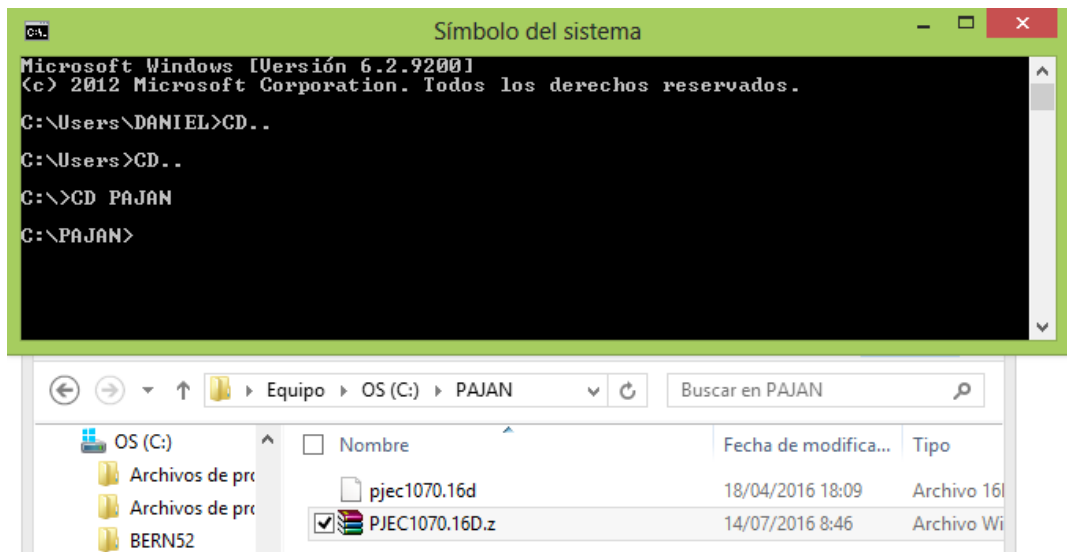
Se pueden usar en los sistemas operativos de Windows, Linux, Solaris y Mac OS. El presente trabajo se realizó en el sistema operativo Windows 8 debido a la facilidad para generar scripts para automatizar el trabajo.

#### ***3.1.5.1. RINEX con un intervalo de observación de 30 segundos***

Los datos descargados de las estaciones de monitoreo continuo de la REGME con un intervalo de observación de 30 segundos del Geoportal del IGM utilizan una doble compresión, la primera con WinZip o WinRar y la segunda utiliza el algoritmo Hatanaka para todos sus archivos de observación RINEX. Los archivos Hatanaka contienen una letra “d” en lugar de una letra “o”, como el último carácter del archivo.

Para su descompresión se debe utilizar la herramienta gratuita `CRX2RNX.EXE`.

Se debe descomprimir el archivo con WinZip o WinRar como se lo hace con cualquier otro archivo `.rar` o `.zip`. Se ingresa al CMD y se dirige a la carpeta donde se encuentra en archivo descomprimido como indica la figura 22.



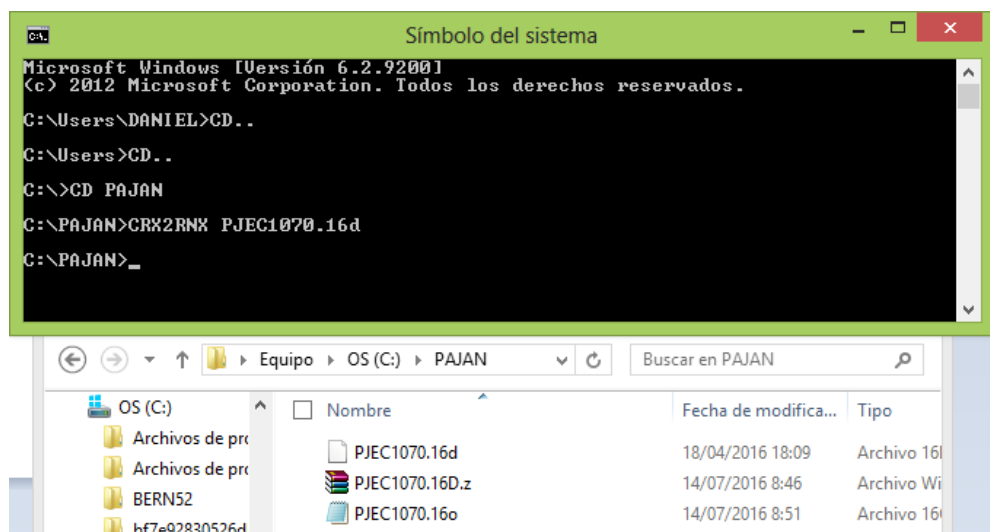
**Figura 22.-** Ingreso a carpeta a través de CMD

En el ejemplo es el archivo es, que se encuentra en la dirección:

La instrucción básica utilizada para la transformación es la siguiente:

CRX2RNX espacio y el nombre del archivo

Una vez dentro de la carpeta, se digita la instrucción CRX2RNX espacio y el nombre del archivo descomprimido con WinZip o WinRar. Según en ejemplo sería: CRX2RNX PJE1070.16d como se puede ser en la figura 23.



**Figura 23.-** Descompresión archivos Hatanaka



Se creará el archivo RINEX de observación para el ejemplo, el cual contiene los datos necesarios para el post procesamiento en software científico Bernese 5.2.

### 3.1.5.2. *RINEX con un intervalo de observación de 1 segundo*

Los datos descargados de las estaciones de monitoreo continuo de la REGME con un intervalo de observación de 1 segundo del Geoportal del IGM vienen en formatos de archivos Trimble (R00 / T00 / T01 / T02).

Para su tratamiento se usaron herramientas gratuitas runpkr00 y Teqc. Las cuales ayudan a la transformación de los datos crudos, edición y control de calidad de los mismos.

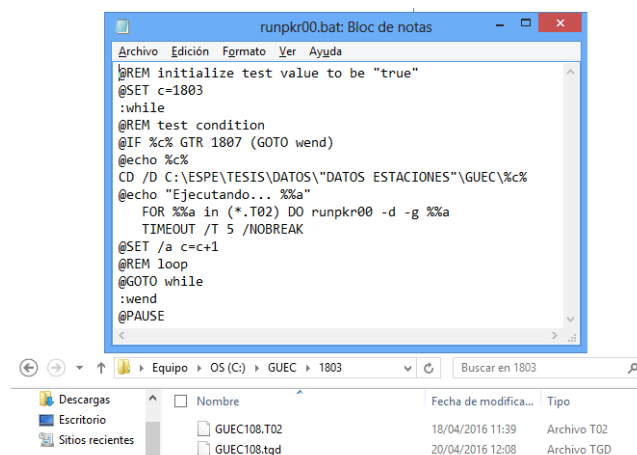
### 3.1.6. Transformación de T02 a formato TGD

El ejecutable runpkr00 es una aplicación que traduce formatos de archivos Trimble (R00 / T00 / T01 / T02) en archivos legibles para el teqc (.DAT / .TGD).

La instrucción básica utilizada para la transformación es la siguiente:

```
runpkr00 -d -g NombreDelArchivo.T0X
```

Para automatizar el proceso se desarrolló un Script al cual se le indica en qué estación se va a trabajar y la semana inicial. Para que identifique los archivos T02 y los transforme en archivos TGD como se muestra en la figura 24.



**Figura 24.-** Script para transformación de archivos .T02 a .TGD

### 3.1.7. Transformación de datos TGD a formato .O

El ejecutable `teqc` es una aplicación que toma los datos TGD los cuales poseen datos binarios y los transforma en archivos RINEX de observación OBS, navegación NAV y meteorológicos MET, dependiendo si existe una estación meteorológica, para este último.

La instrucción básica utilizada para la transformación es la siguiente:

```
teqc -week SSSS -tr d +nav nameDOY0.YYn,nameDOY0.YYg +met
      nameDOY0.YYm +obs nameDOY0.YYo nameDOY0.tgd
```

donde:

*SSSS*: semana GPS

*Name*: nombre de la estación de 4 dígitos

*DOY*: día GPS

*YY*: dos últimos dígitos del año Juliano

*nameDOY0.tgd*: archivo de donde se obtendrán los RINEX

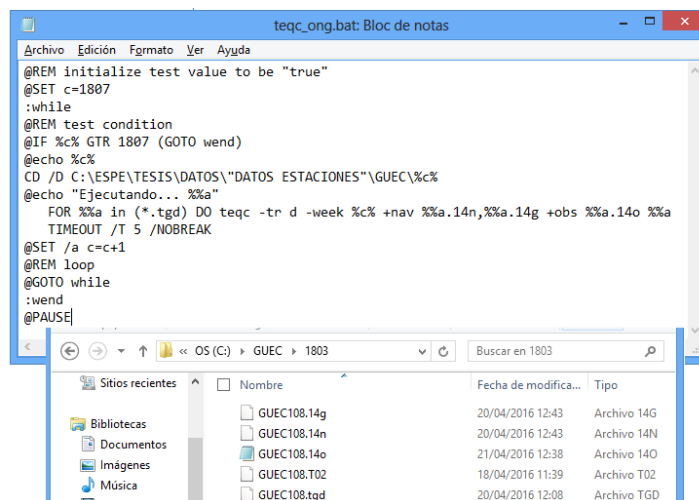
*nameDOY0.YYn*: nombre del archivo que se obtiene de navegación GPS

*nameDOY0.YYg*: nombre del archivo que se obtiene de navegación GLONASS

*nameDOY0.YYm*: nombre del archivo que se obtiene de meteorológico

*nameDOY0.YYo*: nombre del archivo que se obtiene de observación

Para automatizar el proceso se desarrolló un Script al cual se le indica en que estación se va a trabajar y la semana inicial. Para que identifique los archivos TGD y los transforme en archivos RINEX como se muestra en la figura 25.



**Figura 25.-** Script para transformación de archivos .TGD a archivos de observación

### 3.1.8. Edición de datos

Para el post procesamiento en el software Bernese se necesita que exista la información precisa de cada una de las estaciones a post procesar, respetando el formato RINEX 2.11. Para cumplir con estos requisitos y que no existan inconsistencias los archivos RINEX se deben editar, el teqc permite al usuario cambiar encabezados, corregir cualquier metadato, intervalos de rastreos, selección de observaciones, etc.

La instrucción básica utilizada para la edición es la siguiente:

```
teqc -O.r "RUN BY" -O.o "OBSERVER" -O.ag "AGENCY" -O.mo
"MARKER NAME" -O.mn "MARKER NUMBER" -O.m "REC #" -O.rt "REC
TYPE" -O.an "ANT #" -O.at "ANT TYPE + DOME" -O.dec INTERVAL (s)
nameDOY0.YY0 > nameDOY0a.YY0
```

donde:

O.x: es la instrucción de edición (existe una instrucción diferente para cada línea a editarse)

nameDOY0.YY0: es el nombre original del archivo

nameDOY0a.YY0: es el nombre del nuevo archivo editado

Los datos que se editan en la instrucción deben ser obtenidos del logfile de cada estación los cuales pueden encontrar en ftp://ftp.sirgas.org/pub/gps/DGF/station/log/

Para automatizar el proceso se desarrolló un Script al cual se le indica en qué estación se va a trabajar y la semana inicial. Para que identifique los archivos .O y los edite como se muestra en la figura 26.

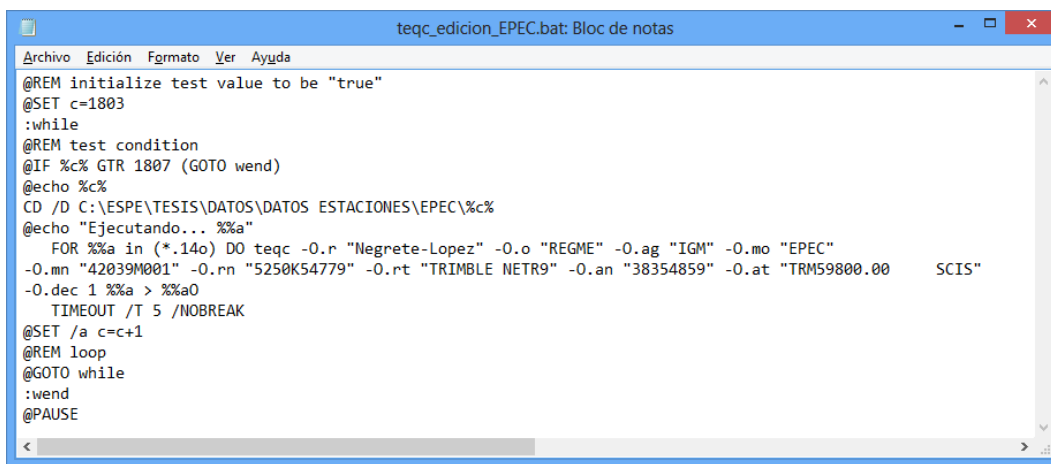


Figura 26.- Script para la edición de los archivos de observación a archivos de observación

Las cabeceras de los archivos de observación quedan editados como muestra la figura 27.

<pre> 2.11 OBSERVATION DATA M (MIXED) RINEX VERSION / TYPE teqc 2013Mar15 CTC 20150724 19:20:10UTCPCM / RUN BY / DATE Linux 2.4.21-27.Elsmp[Opteron]gcc Linux x86_64 =+ 0.000 (antenna height) COMMENT -0.31489040 (latitude) COMMENT -78.44632243 (longitude) COMMENT 2522.980 (elevation) COMMENT BIT 2 OF LLI FLAGS DATA COLLECTED UNDER A/S CONDITION COMMENT EPEC (CODO code) COMMENT EPEC MARKER NAME EPEC MARKER NUMBER -Unknown- -Unknown- OBSERVER / AGENCY 5250K54779 TRIMBLE NETR9 4.85 REC # / TYPE / VERS 38354859 TRM59800.00 SCIS ANT # / TYPE 1277937.6630 -6251282.0009 -34831.5794 APPROX POSITION XYZ 0.0000 0.0000 0.0000 ANTENNA: DELTA H/E/N 1 1 WAVELENGTH FACT L1/2 7 L1 L2 C1 P1 P2 S1 S2 # / TYPES OF OBSERV 16 LEAP SECONDS SNR is mapped to RINEX snr flag value [0-9] COMMENT L1 &amp; L2: min(max(int(snr_dBHz/6), 0), 9) COMMENT 2015 2 7 0 0 0.0000000 GPS TIME OF FIRST OBS END OF HEADER 15 2 7 0 0 0.0000000 0 19G23R24G31R17G27R05G11R18R14R15G16G32 G04G19G14R03G03G01R04 122498139.880 7 95453146.50444 23310617.602 23310626.828 45.100 29.600 118260437.264 7 91980194.110 6 22115248.922 22115246.996 22115262.047 43.200 37.500 128880602.980 6 100426538.22243 24525162.109 24525181.883 39.600 23.000 108867202.500 8 84674655.261 7 20344435.336 20344434.047 20344445.113 51.100 47.400 </pre>	<pre> 2.11 OBSERVATION DATA M (MIXED) RINEX VERSION / TYPE teqc 2015Jun23 Negrete-Lopez 20160420 21:04:07UTCPCM / RUN BY / DATE EPEC MARKER NAME 42029M001 MARKER NUMBER REGME-CEPGE IGM_EC OBSERVER / AGENCY 5225K50230 TRIMBLE NETR9 4.85 REC # / TYPE / VERS 54539 TRM59800.00 SCIS ANT # / TYPE 1277937.6630 -6251282.0009 -34831.5794 APPROX POSITION XYZ 0.0000 0.0000 0.0000 ANTENNA: DELTA H/E/N 7 L1 L2 C1 P1 P2 S1 S2 WAVELENGTH FACT L1/2 30.0000 # / TYPES OF OBSERV 16 LEAP SECONDS SNR is mapped to RINEX snr flag value [0-9] COMMENT L1 &amp; L2: min(max(int(snr_dBHz/6), 0), 9) COMMENT Forced Modulo Declination to 30 seconds COMMENT 2015 2 7 0 0 0.0000000 GPS TIME OF FIRST OBS END OF HEADER 15 2 7 0 0 0.0000000 0 19G23R24G31R17G27R05G11R18R14R15G16G32 G04G19G14R03G03G01R04 122498139.880 7 95453146.50444 23310617.602 23310626.828 45.100 29.600 118260437.264 7 91980194.110 6 22115248.922 22115246.996 22115262.047 43.200 37.500 128880602.980 6 100426538.22243 24525162.109 24525181.883 39.600 23.000 108867202.500 8 84674655.261 7 20344435.336 20344434.047 20344445.113 51.100 47.400 </pre>
--	--

Figura 27.- Archivos de observación antes y después de ser editados las cabeceras

### 3.1.9. Control de calidad

El control de calidad es un proceso crucial que garantiza el estado en el que se encuentran las observaciones GNSS, detectando posibles errores que pudieran tener para depurarlas y así asegurar resultados confiables.

Los principales parámetros para determinar la validez de los archivos son: valores multipath para cada una de las portadoras (Moving average MP1 y MP2), número de saltos de ciclo para ángulos de elevación mayores y menores a los 10 grados (IOD slips & IOD or MP slips) y número de épocas ideales y obtenidas (#expt & #have), las cuales permiten determinar el porcentaje medio de recepción de las observaciones.

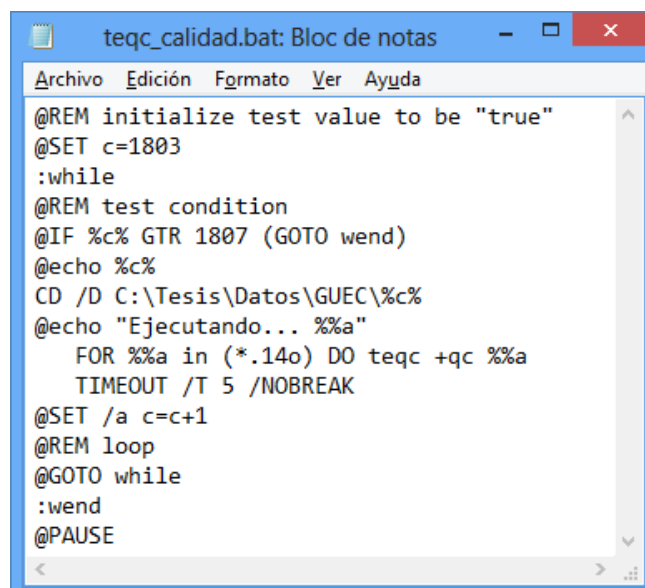
La instrucción básica utilizada para el control de calidad es la siguiente:

```
teqc +qc -nav nameDOY0.YYn,nameDOY0.YYg nameDOY0.YYo
```

donde:

*+qc*; es la instrucción para el control de calidad

Para la automatización en la edición de las cabeceras de los archivos de observación como se puede ver en la figura 28.



```
@REM initialize test value to be "true"
@SET c=1803
:while
@REM test condition
@IF %c% GTR 1807 (GOTO wend)
@echo %c%
CD /D C:\Tesis\Datos\GUEC\%c%
@echo "Ejecutando... %a"
    FOR %a in (*.14o) DO teqc +qc %a
    TIMEOUT /T 5 /NOBREAK
@SET /a c=c+1
@REM loop
@GOTO while
:wend
@PAUSE
```

**Figura 28.-** Script para la edición de las cabeceras de los archivo de observación

Al ejecutar el control de calidad se lo puede revisar por medio del archivo resumen como se lo puede ser en la figura 29.

```

Moving average MP1      : 0.584084 m
Moving average MP2      : 0.511797 m
Points in MP moving avg : 50
Mean S1 S2             : 44.90 (sd=4.84 n=46026) 36.51 (sd=8.17 n=45754)
No. of Rx clock offsets : 0
Total Rx clock drift    : 0.000000 ms
Rate of Rx clock drift  : 0.000 ms/hr
Avg time between resets : Inf minute(s)
Freq no. and timecode   : 2 12816 ffffff
Report gap > than      : 10.00 minute(s)
epochs w/ msec clk slip : 0
other msec mp events    : 0 (: 1180) {expect ~= 1:50}
IOD signifying a slip   : >400.0 cm/minute
IOD slips < 10.0 deg*  : 119
IOD slips > 10.0 deg   : 501
IOD or MP slips < 10.0* : 143
IOD or MP slips > 10.0 : 537
* or unknown elevation
  first epoch  last epoch  hrs  dt  #expt  #have  %  mp1  mp2  o/slps
SUM 15  2  7 00:00 15  2  7 23:59 24.00 30  46111 45748 99  0.58  0.51  85

```

**Figura 29.-** Archivo resumen del control de calidad.

### 3.1.10. Procesamiento con el software científico Bernese

En el presente proyecto se utilizó la versión 5.2 del software Bernese, bajo el Sistema Operativo Windows. El programa trabaja bajo licencia, para este caso se utilizó la obtenida por el Instituto Geográfico Militar, la cual fue instalada durante el tiempo de desarrollo del proyecto.

Para el procesamiento de datos, el programa ofrece dos opciones: manual, en el cual el usuario ejecuta cada rutina de procesamiento de manera secuencial y automático, esta opción se realiza a través de la herramienta BPE, proceso en el cual se programa una rutina que cumpla un objetivo geodésico, con la finalidad de optimizar el tiempo sobre todo cuando se trabaja con bastantes datos como en el procesamiento de la red SIRGAS. Esta segunda opción fue la que se utilizó en el presente proyecto.

Bernese 5.2 se compone de cuatro directorios principales (Sanchez, 2013), los cuales se muestran en la figura 30 y se describen a continuación :

- BERN52: en donde se encuentran librerías, archivos generales necesarios para el procesamiento, los ejecutables de cada *script*.
- GPSDATA: en este directorio se almacenan las campañas a procesar
- GPSUSER: el cual contiene información necesaria para el procesamiento automático
- GPSTEMP: es el directorio en donde se almacenan los archivos temporales para el BPE (proceso automático)



**Figura 30.-** Directorio del Software Bernese 5.2

### 3.1.10.1. Generación de Campañas

Para el procesamiento de datos en este software, primero se tiene que crear la campaña y definir la semana y día GPS en el cual se va a trabajar; para esto se debe seguir el siguiente procedimiento:

Primero se debe añadir el nombre de esta a las lista de campañas activas; para esto se va a `MENU>CAMPAING>EDIT LIST OF CAMPAIGNS` y una vez agregada se guardan los cambios.

Posteriormente se debe activar la dirección de la campaña creada en `“MENU>CAMPAING >SELECT ACTIVE CAMPAIGN”`.

Una vez especificada la dirección y el nombre, se crea la campaña mediante `“MENU>CAMPAING>CREATE NEW CAMPAIGN”`. Al realizar este paso, se van

a crear automáticamente los subdirectorios, para los archivos de entrada, los cuales se van a ubicar en GPSDATA>CAMPAING en una carpeta con el nombre elegido para dicha sesión a procesarse (Dach, Hugentobler, Fridez, & Meindl, 2007).

Finalmente se debe definir una SESSION TABLE. Una campaña consiste de una o más sessions table que en conjunto cubren el intervalo total de observación de los datos.

El identificador de una session table es una cadena de 4 caracteres compuesta como dddf donde ddd representa el día de año (DOY) del comienzo del intervalo de tiempo y f es un carácter alfanumérico la identificación de la sesión dentro del día (Dach, Hugentobler, Fridez, & Meindl, 2007).

Una vez realizada la creación y configuración de la “campaña” se copian todos datos necesarios para iniciar el procesamiento con el software BERNESE.

### **3.1.11. Preparación de archivos de entrada para el procesamiento**

Para el correcto procesamiento de los datos es necesario poseer los archivos generales que sirven para todas las campañas tales como: efemérides, receptores, antenas, satélites, modelos de nutación, entre otros; que se almacenan en el directorio BERN50/GPS y que pueden ser descargados de la página web de Bernese. Además de acuerdo a cada campaña se deben modificar los archivos de entrada, los cuales se encuentran almacenados en el directorio GPSDATA, dentro de la carpeta CAMPAING, donde se encuentra la subcarpeta de la campaña a procesar, nombrada a criterio personal. En el interior de esta carpeta se encuentran once directorios (Figura 31), en donde se debe colocar los archivos de entrada con los que se realizará el procesamiento de los datos.





**Figura 31.-** Estructura de las campañas a procesar

En la tabla 3, que se presenta a continuación, se describe brevemente el contenido de cada directorio, los archivos de entrada que debe contener cada uno y donde obtener dichos archivos.

**Tabla 3**  
Directorios de cada campaña a procesar

DIRECTORIO	CONTENIDO	DONDE OBTENER DATOS
ATM	Modelos ionosféricos de entrada (.ION)	Los modelos ionosféricos diarios se obtienen de: ftp://ftp.unibe.ch/aiub/CODE/ (Archivos COD <sub>www</sub> ?.ION)
BPE	Contiene los archivos que se generan en el modo Automático	En el procesamiento
GRD	Mallas globales diarias con los coeficientes de entrada para la <i>Vienna Mapping Function</i> (VMF)	Se obtienen de: <a href="http://ggosatm.hg.tuwien.ac.at/DELAY/GRID/VMFG/">http://ggosatm.hg.tuwien.ac.at/DELAY/GRID/VMFG/</a> Como ellas están distribuidas a intervalos de 6 horas, por cada día deben bajarse 4 archivos más el primero del siguiente día: yyyy = año, mm = mes, dd = día del mes - VMFG_yyyymmdd.H00,

Continua →

		<ul style="list-style-type: none"> <li>- VMFG_yyyymmdd.H06</li> <li>- VMFG_yyyymmdd.H12</li> <li>- VMFG_yyyymmdd.H18</li> </ul> VMFG_yyyymm(dd+1).H00
OBS	Mediciones en formato Bernese.	En el procesamiento
ORB	Archivos con las órbitas GNSS y los parámetros de orientación terrestre	En este directorio deben copiarse los archivos con las efemérides satelitales precisas y los parámetros de orientación terrestre del IGS. Se obtienen de cualquier banco de datos del IGS: <b>CDDIS</b> (ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gps/products/) <b>SOPAC</b> (ftp://garner.ucsd.edu/pub/products/) <b>IGS-CB</b> (ftp://igscb.jpl.nasa.gov/pub/product/)
OBX	Contiene los archivos RINEX descartados por el software.	En el procesamiento
OUT	Reportes de cálculo del preanálisis, solución diaria y solución semanal.	En el procesamiento
OUT0	Reportes de cálculo de la preparación y preprocesamiento.	En el procesamiento

Continua →

RAW	<p>Contiene los archivos RINEX de cada estación de Monitoreo continuo. (Archivos de observación)</p>	<p>Se obtienen de los bancos de datos del IGS y de SIRGAS.</p>
SOL	<p>Contiene los archivos de las soluciones de coordenadas. (Archivos de salida).</p>	<p>En el procesamiento</p>
STA	<p>Contiene los archivos de información de las Estaciones. Tabla de abreviaciones de los nombres de las estaciones (ECU.ABB). Valores iniciales de las coordenadas (ECU11.CRD). Valores iniciales de las velocidades (ECU11.VEL). Efectos por carga oceánica (AMSUR.BLQ). Efectos por carga atmosférica de origen mareal (AMSUR.ATL). Información de las estaciones (AMSUR52.STA) SESSIONS.SES</p>	<p>Los archivos AMSUR.BLQ, AMSUR.ATL y AMSUR52.STA se obtienen en <a href="ftp://ftp.sirgas.org/pub/gps/DGF/BERN52_SIR/">ftp://ftp.sirgas.org/pub/gps/DGF/BERN52_SIR/</a></p> <p>Para los archivos .CRD y .VEL existen archivos ya generados, que se pueden descargar del <a href="ftp://ftp:unibe.ch.aiub/BSWUSER50/STA">ftp://ftp:unibe.ch.aiub/BSWUSER50/STA</a></p> <p>Archivo SESSIONS.SES se genera automáticamente cuando se crea la campaña.</p>

**Fuente:** Sánchez, 2013 adaptado por los autores, 2016

En los directorios BPE, OBS, ORX, OUT, OUT0 y SOL no se debe colocar ningún archivo de entrada, puesto que estas carpetas sirven para los archivos que se generan durante el procesamiento.

Para que el software Bernese pueda leer correctamente estos archivos de entrada es importante tener en cuentas las siguientes consideraciones:

- Verificar que los nombres y extensiones de los archivos se encuentren con letras mayúsculas.
- Para los archivos de la carpeta .GRD se debe unificar los archivos antes mencionados en uno diario con extensión .GRD; se lo puede realizar a través de la ventana del CMD utilizando el siguiente comando:

```
Copy VMFG_YYYYMMDD.H00+VMFG_YYYYMMDD.H06+
```

```
VMFG_YYYYMMDD.H12+VMFG_YYYYMMDD.H18+
```

```
VMFG_YYYYMM(dd+1).H00 VMFwww?.GRD
```

El nombre de los archivos de salida debe estar en mayúsculas, iniciar con VMF e identificarse con la semana y el día de la semana: VMFwww?.GRD, por ejemplo VMF17500.GRD, VMF17501.GRD,

- En la carpeta ORB se debe colocar un archivo diario con las órbitas con el nombre IGSwww?.SP3 y uno semanal con los parámetros de orientación terrestre IGSwww7.ERP. El archivo .ERP debe ser cambiado a la extensión .IEP, para que el software pueda realizar el procesamiento
- En la carpeta STA se encuentran siete archivos imprescindibles para iniciar el procesamiento de datos; de estos, los archivos .CRD, .VEL y .ABB deben ser generados o modificados correctamente con la finalidad de incluir las estaciones de monitoreo continuo a utilizar y así evitar errores en el procesamiento. A continuación se describe el procedimiento que se debe seguir para cada uno de estos archivos:

**Tabla 4**  
Carpeta STA y archivos de entrada

<b>.CRD</b>	Este archivo debe contener las coordenadas a priori de cada estación a procesar; estas se pueden obtener del IGS o de las soluciones semanales de SIRGAS. En caso de no disponer de ellas, se puede realizar un post-proceso en cualquier software de procesamiento (comercial o en línea) o como última opción se puede utilizar las coordenadas aproximadas que se encuentran en el encabezado del RINEX.
<b>.VEL</b>	Para este archivo los datos de las velocidades iniciales de cada estación, pueden ser obtenidas de la página de SIRGAS. En el caso de que se considere insignificante la afectación del movimiento de placas en a la posición de la estación se puede trabajar con velocidad cero.
<b>.ABB</b>	En el presente archivo se definen las abreviaturas que constan de dos caracteres para cada estación como identificador de cada una en el momento en el que el software ejecuta las respectivas rutinas, es importante que dicha abreviatura no se repita para no ocasionar errores en el procesamiento.

**Fuente:** AIUB, 2016 y Sánchez, 2013 adaptado por los autores, 2016

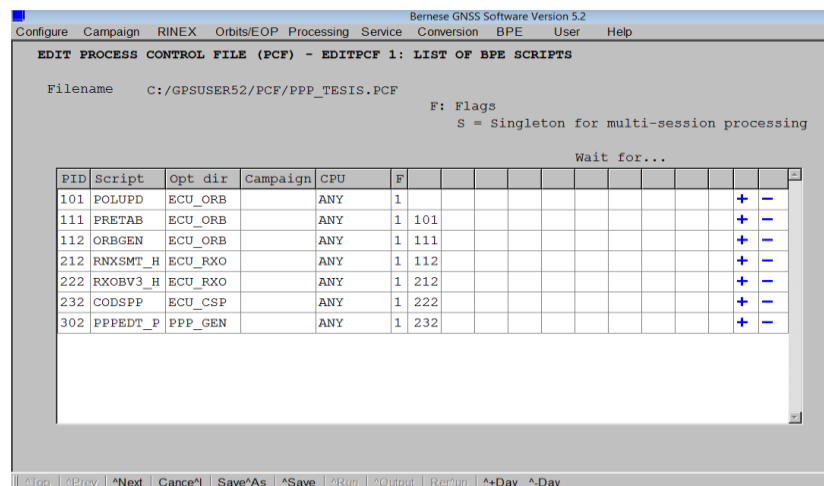
### 3.1.11.1. Generación de Process Control Files-PCF

El procesamiento automático en Bernese se realiza a través de “Process control Files” (PCF), los cuales tienen que ser creados en función de lo que se desee realizar; utilizando los manuales de Bernese, en donde se explica lo que se va a realizar y qué programa se debe utilizar para cada caso.

Los PCF que viene por default y los que se crean se guardan en la carpeta GPSUSER52>PCF. En esta carpeta se debe generar un nuevo archivo con extensión .PCF, el cual se va a editar dentro del software siguiendo los pasos que se muestran a continuación:

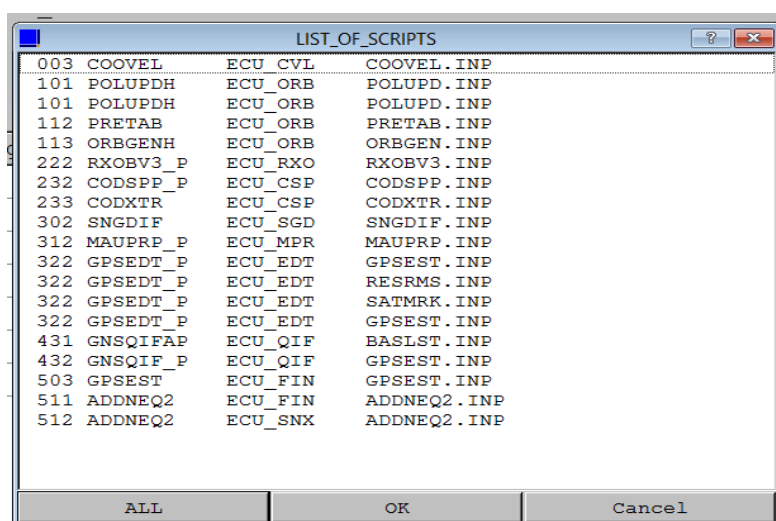
Primero se edita la lista de programas que se van a ejecutar automáticamente, para esto se va a MENU>BPE>EDIT PROCES CONTROL FILE, en la pantalla que sale se deben agregar los programas que se van a ejecutar automáticamente (figura

32), en el orden que indica el manual. Una vez ingresado todos los programas se guarda los cambios realizados.



**Figura 32.-** Edición de “Process Control Files” en Bernese

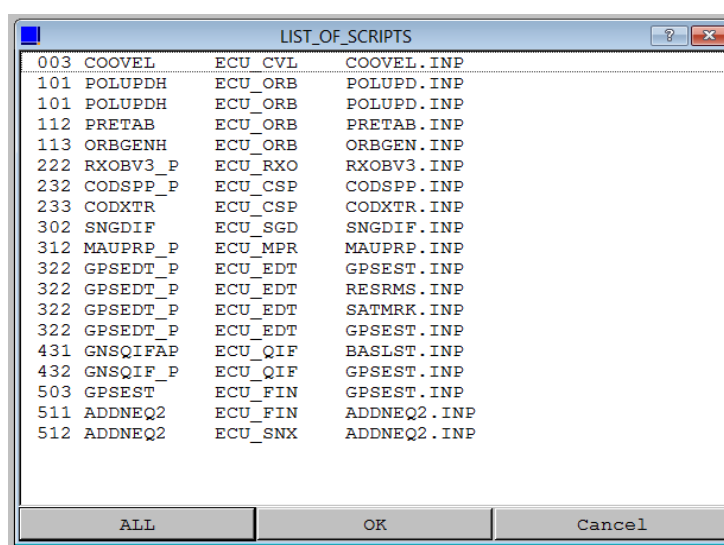
Posteriormente se debe editar uno por uno los programas que se va a utilizar; para esto se va a MENU>BPE>EDIT PCF PROGRAM INPUT FILES, que despliega la pantalla que se muestra en la figura 33. Este proceso se realiza con la finalidad de colocar los archivos de entrada correctos para el procesamiento en cada paso.



**Figura 33.-** Lista de programas a editar de los “Process Control Files”

### 3.1.11.1.1. PCF para realizar el procesamiento de las soluciones diarias y semanales

Una vez preparada la información de entrada, se trabajó en forma automática desarrollando un PCF para ejecutar la rutina; la cual se configuró en el software de acuerdo a las condiciones requeridas. Las soluciones se han calculado para cada una de las Estaciones de Monitoreo Continuo seleccionadas anteriormente, utilizando los procedimientos que se describen a continuación en la figura 34 y la tabla 5:



**Figura 34.** – Rutina a ejecutar para la obtención de soluciones diarias y semanales

**Tabla 5**

Descripción de los programas a ejecutarse para la obtención de soluciones diarias y semanales.

RUTINA	DESCRIPCIÓN
COOVEL	Actualización de las coordenadas de referencia a la época de medición
POLUPDH	Conversión del archivo con los parámetros de orientación terrestre (EOP) del formato IGS al formato Bernese.
PRETAB	Transformación de las efemérides del IGS al sistema quasi-inercial ICRF
ORBGENH	Integración de las órbitas en el sistema quasi-inercial.

Continua →

RXOBV3_P	Conversión de archivos RINEX a formato Bernese.
CODSPP_P	Sincronización de los relojes de los receptores.
CODXTR	Resumen de elementos de salida del programa CODSPP
SNGDIF	Creación de líneas de base (Simple Diferencias)
MAUPRP_P	Detección de mediciones defectuosas y saltos de ciclo.
GPSEDT_P	<p>Realiza una doble diferencia de fase.</p> <p>Ejecuta cuatro programas en secuencia:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. GPSEST: Ajuste por mínimos cuadrados de las observaciones correspondientes a cada línea de base para generar residuales y poder confirmar la detección de las mediciones defectuosas y saltos de ciclo detectados por el MAUPRP. En este ajuste las ambigüedades se manejan como números reales (float solution).</li> <li>2. RESRMS: Evaluación estadística de los residuales generados por GPSEST.</li> <li>3. SATMRK: Marcación/eliminación de las observaciones defectuosas en los archivos que contienen las mediciones.</li> <li>4. GPSEST: Estimación, mediante ajuste por mínimos cuadrados, de las ambigüedades detectadas en cada línea de base.</li> </ol> <p>Se utiliza para crear archivos residuales (limpios) finales y almacenar archivos de ecuaciones normales.</p>
GNSQIFAP	Prepara la ejecución paralela de la etapa de resolución de la ambigüedad sobre la base de la estrategia QIF. Se aplica a todas las líneas base que posean un valor menor a uno dado por el servidor BPE y a un valor máximo especificado por V_BL_QIF.
GNSQIF_P	Es un paso del proceso de la resolución de ambigüedades que se realiza para cada línea base que se encuentra procesado. Troposfera estima una solución flotante que se

Continua →



	introduce y fija mientras que las coordenadas de la segunda estación son calculadas con respecto a las coordenadas de la primera estación.
GPSEST	Ajuste por mínimos cuadrados de la red diaria y estimación de parámetros troposféricos. Las coordenadas de todas las estaciones tienen una restricción de 1,0 m, con ello la solución es semilibre.
ADDNEQ2	Combinación de las soluciones diarias en una semanal. Las coordenadas de todas las estaciones tienen una restricción de 1,0 m, con ello la solución es semilibre.

Fuente: AIUB, 2016 y Sánchez, 2013 adaptado por los autores, 2016

**Tabla 6**

Descripción de los archivos de entrada y salida en los programas a ejecutarse para la obtención de soluciones diarias y semanales.

RUTINA	INPUT	OUTPUT
COOVEL	Posiciones y velocidades de referencia (\STA\ECU11.CRD, ECU11.VEL).	Posiciones en la época de medición (\STA\APR $_{www}$ 7.CRD), $_{www}$ = semana GPS.
POLUPDH	Archivo IGS con EOPs diarios (\ORB\IGS $_{www}$ 7.IEP).	Archivo en formato Bernese con EOPs cada 12 horas (\ORB\IGS $_{www}$ 7.ERP).
PRETAB	Efemérides precisas del IGS (\ORB\IGS $_{www}$ ?.SP3) y EOPs en formato Bernese (\ORB\IGS $_{www}$ 7.ERP).	Órbitas tabulares (\ORB\IGS $_{www}$ ?.TAB) y correcciones a los errores de los relojes satelitales (\ORB\IGS $_{www}$ ?.CLK).
ORBGENH	Órbitas tabulares (\ORB\IGS $_{www}$ ?.TAB) y EOPs en formato Bernese (\ORB\IGS $_{www}$ 7.ERP).	Órbitas estándar (\ORB\IGS $_{www}$ ?.STD), representadas por una función polinómica y por tanto conocidas en cualquier instante de tiempo.

Continua →

<b>RXOBV3_P</b>	Archivos RINEX diarios (\RAW\????ddd0.yyO), <i>ddd</i> = día consecutivo del año, <i>yy</i> = dos últimos dígitos del año.	Mediciones de código (\OBS\????ddd0.CZH, .CZO) y de fase (\OBS\????ddd0.PZH, .PZO) en formato Bernese).
<b>CODSPP_P</b>	Órbitas estándar (.STD), correcciones a los relojes satelitales (.CLK), EOPs (.ERP), observaciones de código (.CZH, .CZO).	Observaciones de código (.CZH, .CZO) y de fase (.PSH, .PZO) corregidas por los offsets de los relojes de los receptores
<b>SNGDIF</b>	Mediciones de fase (\OBS\????ddd0.PZH, .PZO).	<i>Single differences</i> (\OBS\????ddd0.PSH, .PSO).
<b>MAUPRP_P</b>	<i>Single differences</i> (.PSH, .PSO), órbitas (.STD) y EOPs (.ERP).	<i>Single differences</i> (.PSH, .PSO) revisadas: saltos de ciclo identificados, ambigüedades identificadas, mediciones defectuosas marcadas.
<b>GPSEDT_P</b>		
• GPSEST	<i>Single differences</i> (.PSH, .PSO), órbitas (.STD), EOPs (.ERP), reducciones a las cargas oceánica (\STA\AMSUR.BLQ) y atmosférica (\STA\AMSUR.ATL).	Archivos con residuales (\OUT\????ddd0.RES), uno por cada línea de base.
• RESRMS	Residuales (\OUT\????ddd0.RES).	Reporte para marcado/borrado de observaciones defectuosas (\OUT\????ddd0.EDT), un archivo por cada línea de base.
• SATMARK	Reportes generados por	Observaciones (.PSH, .PSO) depuradas, libres de errores

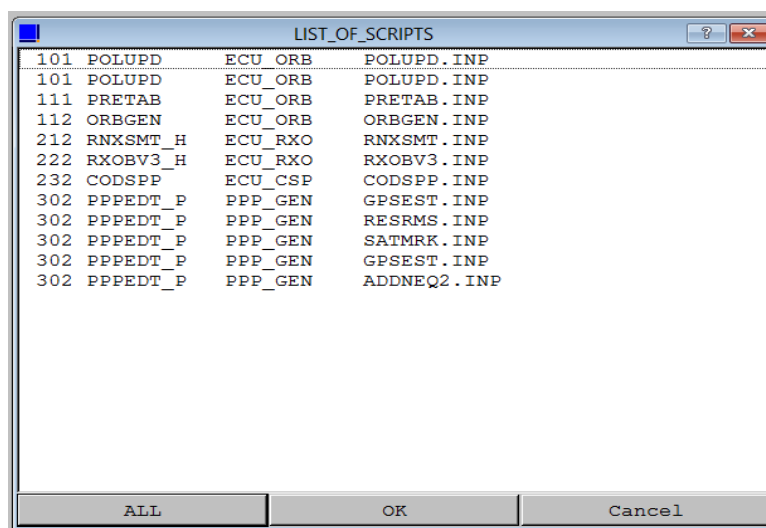
Continua →

<p>• GPSEST</p>	<p>RESRMS (\OUT\????ddd0.EDT)</p> <p><i>Single differences</i> (.PSH, .PSO), órbitas (.STD), EOPs (.ERP), reducciones a las cargas oceánica (.BLQ) y atmosférica (.ATL), modelos ionosféricos (\ATM\COD<sub>www</sub>?.ION).</p>	<p>groseros, con ambigüedades y saltos de ciclo identificados.</p> <p><i>Single differences</i> (.PSH, .PSO) con ambigüedades resueltas.</p>
<p>GPSEST</p>	<p><i>Single differences</i> (.PSH, .PSO), órbitas (.STD), EOPs (.ERP), reducciones a las cargas oceánicas (.BLQ) y atmosféricas (.ATL), modelos troposféricos VMF (\GRD\VMF<sub>www</sub>?.GRD).</p>	<p>Archivos con ecuaciones normales diarias en formato binario de Bernese (\SOL\EC2<sub>www</sub>?.NQ0) y en formato SINEX (\SOL\EC2<sub>www</sub>?.SNX), parámetros troposféricos (\ATM\EC2<sub>www</sub>?.TRP). Los archivos SINEX diarios se generan con el programa ADDNEQ2. Los archivos finales se identifican con EC2 para diferenciarlos de los generados con Bernese50 (ECU) e indicar que contienen resultados compatibles con el segundo reprocesamiento del IGS (IG2).</p>
<p>ADDNEQ2</p>	<p>Ecuaciones normales diarias (\SOL\EC2<sub>www</sub>?.NQ0).</p>	<p>Solución semanal semilibre en formato SINEX (\SOL\EC2<sub>www</sub>7.SNX).</p>

Fuente: AIUB, 2016 y Sánchez, 2013 adaptado por los autores, 2016

### 3.1.11.1.2. PCF para realizar el Procesamiento de Punto Preciso - PPP para el día del sismo.

Para obtener las soluciones en el día del sismo se realiza la siguiente rutina en el software (figura35):



**Figura 35.-** Rutina a ejecutar para el Procesamiento de Punto Preciso – PPP

**Tabla 7**

Descripción de los programas a ejecutarse para el Procesamiento de Punto Preciso

RUTINA	DESCRIPCIÓN
<b>POLUPDH</b>	Conversión del archivo con los parámetros de orientación terrestre (EOP) del formato IGS al formato Bernese.
<b>PRETAB</b>	Transformación de las efemérides del IGS al sistema quasi-inercial ICRF
<b>ORBGENH</b>	Integración de las órbitas en el sistema quasi-inercial.
<b>RNXSMT_H</b>	Seleccionará los tipos de observación de acuerdo a la lista de prioridad que se da en V_OBSINF. Las observaciones de código se depuran, mientras que las mediciones de fase única se copian del archivo original en el nuevo archivo RINEX (extensión SMT).
<b>RXOBV3_P</b>	Conversión de archivos RINEX a formato Bernese.

Continúa →

<b>CODSPP_P</b>	Sincronización de los relojes de los receptores.
<b>PPPEDT_P</b>	<p>Ejecuta los siguientes cinco programas de procesamiento, los cuales depuran los datos de la estación y se calcula la solución PPP.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. GPSEST: generar un archivo residual para la detección de datos basada en un combinación lineal ionosférica (L3).</li> <li>2. RESRMS: muestra un archivo residual con los valores que superen un umbral determinado.</li> <li>3. SATMRK: identifica valores atípicos en los archivos de observación. Las observaciones se mantienen en los archivos, y los valores antes identificados se marcan como malas observaciones.</li> <li>4. GPSEST: continúa con el paso anterior depurando las observaciones que no eran buenas para el procesamiento. Los resultados se almacenan en archivos de resultados stationwise para su uso posterior.</li> <li>5. ADDNEQ2: generar archivos de resultados de PPP para cada estación.</li> </ol>

Fuente: AIUB, 2016 y Sánchez, 2013 adaptado por los autores, 2016

### Tabla 8

Descripción de los archivos de entrada y salida en los programas a ejecutarse para el Procesamiento de Punto Preciso

<b>RUTINA</b>	<b>INPUT</b>	<b>OUTPUT</b>
<b>POLUPDH</b>	Archivo IGS con EOPs diarios (\ORB\IGS <sub>www</sub> 7.IEP).	Archivo en formato Bernese con EOPs cada 12 horas (\ORB\IGS <sub>www</sub> 7.ERP).
<b>PRETAB</b>	Efemérides precisas del IGS (\ORB\IGS <sub>www</sub> ?.SP3)	Órbitas tabulares (\ORB\IGS <sub>www</sub> ?.TAB) y correcciones a los errores

Continua →

	y EOPs en formato Bernese (\ORB\IGS <sub>www</sub> 7.ERP)	de los relojes satelitales (\ORB\IGS <sub>www</sub> ?.CLK).
<b>ORBGENH</b>	Órbitas tabulares (\ORB\IGS <sub>www</sub> ?.TAB) y EOPs en formato Bernese (\ORB\IGS <sub>www</sub> 7.ERP)	Órbitas estándar (\ORB\IGS <sub>www</sub> ?.STD), representadas por una función polinómica y por tanto conocidas en cualquier instante de tiempo.
<b>RXOBV3_P</b>	Archivos RINEX diarios (\RAW\????ddd0.yyO), <i>ddd</i> = día consecutivo del año, <i>yy</i> = dos últimos dígitos del año.	Mediciones de código (\OBS\????ddd0.CZH, .CZO) y de fase (\OBS\????ddd0.PZH, .PZO) en formato Bernese).
<b>CODSPP_P</b>	Órbitas estándar (.STD), correcciones a los relojes satelitales (.CLK), EOPs (.ERP), observaciones de código (.CZH, .CZO).	Observaciones de código (.CZH, .CZO) y de fase (.PSH, .PZO) corregidas por los offsets de los relojes de los receptores
<b>PPPEDT_P</b> • GPSEST	<i>Single differences</i> (.PSH, .PSO), órbitas (.STD), EOPs (.ERP), reducciones a las cargas oceánica (\STA\AMSUR.BLQ) y atmosférica (\STA\AMSUR.ATL).	Archivos con residuales (\OUT\????ddd0.RES), uno por cada línea de base.

Continúa →

<ul style="list-style-type: none"> <li>• RESRMS</li> </ul>	Residuales (\OUT\????ddd0.RES).	Reporte para marcado/borrado de observaciones defectuosas (\OUT\????ddd0.EDT), un archivo por cada línea de base.
<ul style="list-style-type: none"> <li>• SATMARK</li> </ul>	Reportes generados por RESRMS (\OUT\????ddd0.EDT)	Observaciones (.PSH, .PSO) depuradas, libres de errores groseros, con ambigüedades y saltos de ciclo identificados.
<ul style="list-style-type: none"> <li>• GPSEST</li> </ul>	<i>Single differences</i> (.PSH, .PSO), órbitas (.STD), EOPs (.ERP), reducciones a las cargas oceánica (.BLQ) y atmosférica (.ATL), modelos ionosféricos (\ATM\COD <sub>www</sub> ? IO N).	Coordenadas de la estación (.CRD, en el directorio de /STA de la campaña), Correcciones del reloj del receptor (reloj de formato RINEX con extensión CLK, en el directorio fuera de la campaña), Parámetro troposférico específico de la estación (. PRT y la troposfera SINEX con extensión TRO, en el directorio de ATM de la campaña), • archivo normal ecuación (extensión NQ0, en el directorio SOL de la campaña).
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ADDNEQ2</li> </ul>	Coordenadas de la estación (extensión CRD,	Coordenadas de estación y

Continua →

	en el directorio de STA de la campaña), Parámetro troposférico específico de la estación (. PRT y la troposfera SINEX con extensión TRO, en el directorio de ATM de la campaña),	SINEX (con extensión SNX, en el directorio SOL de la campaña).
--	---	--

**Fuente:** AIUB, 2016 y Sánchez, 2013 adaptado por los autores, 2016

### 3.1.12. Ejecución de un PCF

El programa Bernese ejecuta los PCF a través de la herramienta Bernese Processing Engine (BPE). Para ellos se siguen los pasos que se muestran a continuación:

El primer paso es resetear el CPU, esto sirva para que el programa borre cualquier proceso que se haya realizado anteriormente, con lo cual se evita posibles errores en el procesamiento. Para realizar este primer paso se va a MENU>BPE>RESET CPU FILE. Es importante realizar este paso siempre que se desee ejecutar una rutina.

Una vez realizado el paso anterior, se inicializa la rutina para esto se va a MENU>BPE>START BPE PROCESSING

En la pantalla que se despliega es necesario indicar si se desea procesar toda la semana o solo un día de observaciones; una vez que se haya ingresado esta información se selecciona la opción NEXT.

En esta nueva pantalla que aparece se debe elegir el PCF que se desea ejecutar, para esto se selecciona la opción que dice “Process control file- (PCF)”, una vez seleccionado se escoge la opción “RUN”, con lo cual el programa empezará a ejecutarse.



### 3.2. SIMULACIÓN SÍSMICA

Con la finalidad de disponer de un punto fijo para realizar la simulación sísmica; se tomó un punto utilizando la técnica de posicionamiento estático, para posteriormente ser postprocesado en el software Leica Geo Office, junto con los datos de la estación de Cotopaxi – CXEC. En la figura 36 se muestra el armado del equipo la toma del punto GPS.



**Figura 36.-** Toma punto, utilizando procesamiento estático.

El punto determinado se trasladó al vehículo, el cual permitirá realizar la simulación sísmica; para esto se utilizó una plomada y una aplicación propia del equipo GPS, la cual mediante un sonido confirmaba cuando el punto superior se encontraba sobre el punto fijo, como se muestra en la figura 37.



**Figura 37.-** Posicionamiento del punto sobre el vehículos para la simulación sísmica.

Una vez colocado el equipo sobre el auto se armó y configuró los equipos para un posicionamiento RTK por radio, tomando como base un punto facilitado por el Municipio de Sigchos, el cual proporcionó las correcciones al GPS móvil que se encontraba sobre el automóvil, como se observa en la figura 38



**Figura 38.-** Toma punto, utilizando procesamiento RTK por radio.

Para determinar el comportamiento de un receptor GPS durante un sismo, se realizó manualmente una simulación sísmica; con una duración 1 minuto con 5 segundos moviendo el vehículo, tratando de reproducir el movimiento sísmico en base a uno de los videos disponibles en la web (<https://www.youtube.com/watch?v=tPm4f4VPwls>) del sismo registrado el 16 de abril donde se observa el comportamiento de un vehículo con las mismas características.

### **3.3. GENERACIÓN DE SERIES TEMPORALES**

Para el diagnóstico del desplazamiento que podrían haber sufrido las estaciones de monitoreo continuo: GUEC, QVEC, PJEC, ECEC Y ESMR, durante los sismos del 28 de abril de 2015 y 16 de abril de 2016 respectivamente, se graficó las series temporales, las cuales son herramienta necesaria en el tratamiento de datos geodésicos y geofísicos que dependen del tiempo (Otero & Sevilla, 2002).

## CAPÍTULO IV.

### 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4.1. Resultados Procesamiento de Punto Preciso-PPP

Una vez finalizado el post procesamiento de las observaciones mediante la técnica de Posicionamiento de Punto Preciso (PPP); utilizando el software científico Bernese 5.2., se obtuvieron los siguientes resultados, para cada estación:

##### 4.1.1 Sismo 28 de abril 2015- Guayaquil

##### 4.1.1.1. Estación Guayas – GUEC

**Tabla 9**

Variaciones temporales sufridas por la estación GUEC

FECHA	DÍA GPS	X (m)	Y (m)	Z (m)	$\Delta X$ (cm)	$\Delta Y$ (cm)	$\Delta Z$ (cm)
25/04/2015	115	1117209,157	-6274503,989	-251124,369	-0,04	-0,41	-0,22
26/04/2015	116	1117209,157	-6274503,985	-251124,367	-0,47	0,21	-0,23
27/04/2015	117	1117209,162	-6274503,987	-251124,364	0,68	-0,57	0,25
28/04/2015	118	1117209,155	-6274503,982	-251124,367	0,35	0,49	-0,27
29/04/2015	119	1117209,152	-6274503,986	-251124,364	-0,65	-0,50	0,56
30/04/2015	120	1117209,158	-6274503,981	-251124,37	-0,14	0,09	-0,34
01/05/2015	121	1117209,160	-6274503,982	-251124,366	0,18	0,29	0,06
02/05/2015	122	1117209,158	-6274503,985	-251124,367			

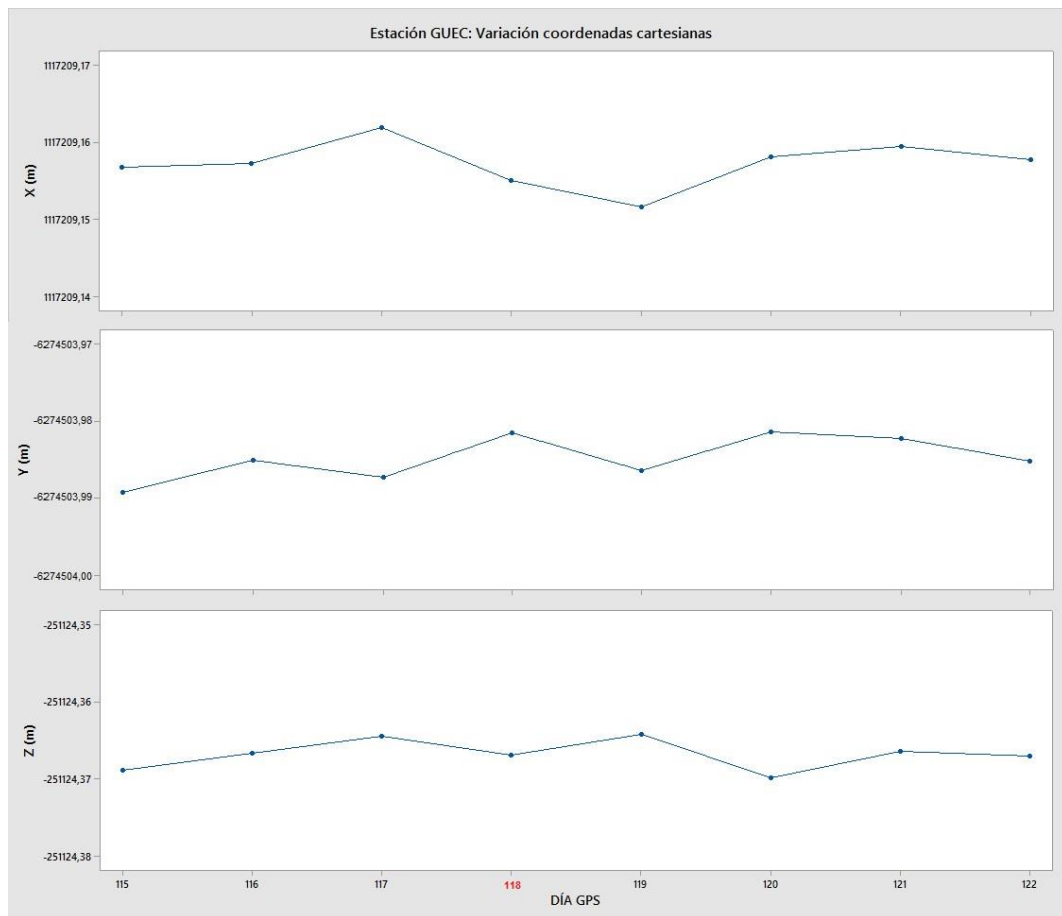
En la tabla 9 se muestran las soluciones posicionales en coordenadas cartesianas tridimensionales de la estación de monitoreo continuo Guayas – GUEC tres días antes y cuatro días después del sismo registrado. Se calculó los desplazamientos en la estación GUEC, antes del día del sismo se registraron desplazamientos con valores máximos de  $\Delta x = 0,68$  cm,  $\Delta y = 0,57$  cm y  $\Delta z = 0,25$  cm y mínimos de  $\Delta x = 0,04$  cm,  $\Delta y = 0,21$  cm y  $\Delta z = 0,22$  cm. En el día del sismo se determinó desplazamientos con valores de  $\Delta x = 0,35$  cm,  $\Delta y = 0,49$  cm y  $\Delta z = -0,27$  cm. En los cuatro días posteriores al sismo se registraron desplazamientos con valores máximos de  $\Delta x = 0,65$  cm,  $\Delta y = 0,50$  cm y  $\Delta z = 0,56$  cm y mínimos de  $\Delta x = -0,14$  cm,  $\Delta y = -0,09$  cm y  $\Delta z = -0,06$  cm.

**Tabla 10**

Desplazamientos registrados después del evento estación GUEC

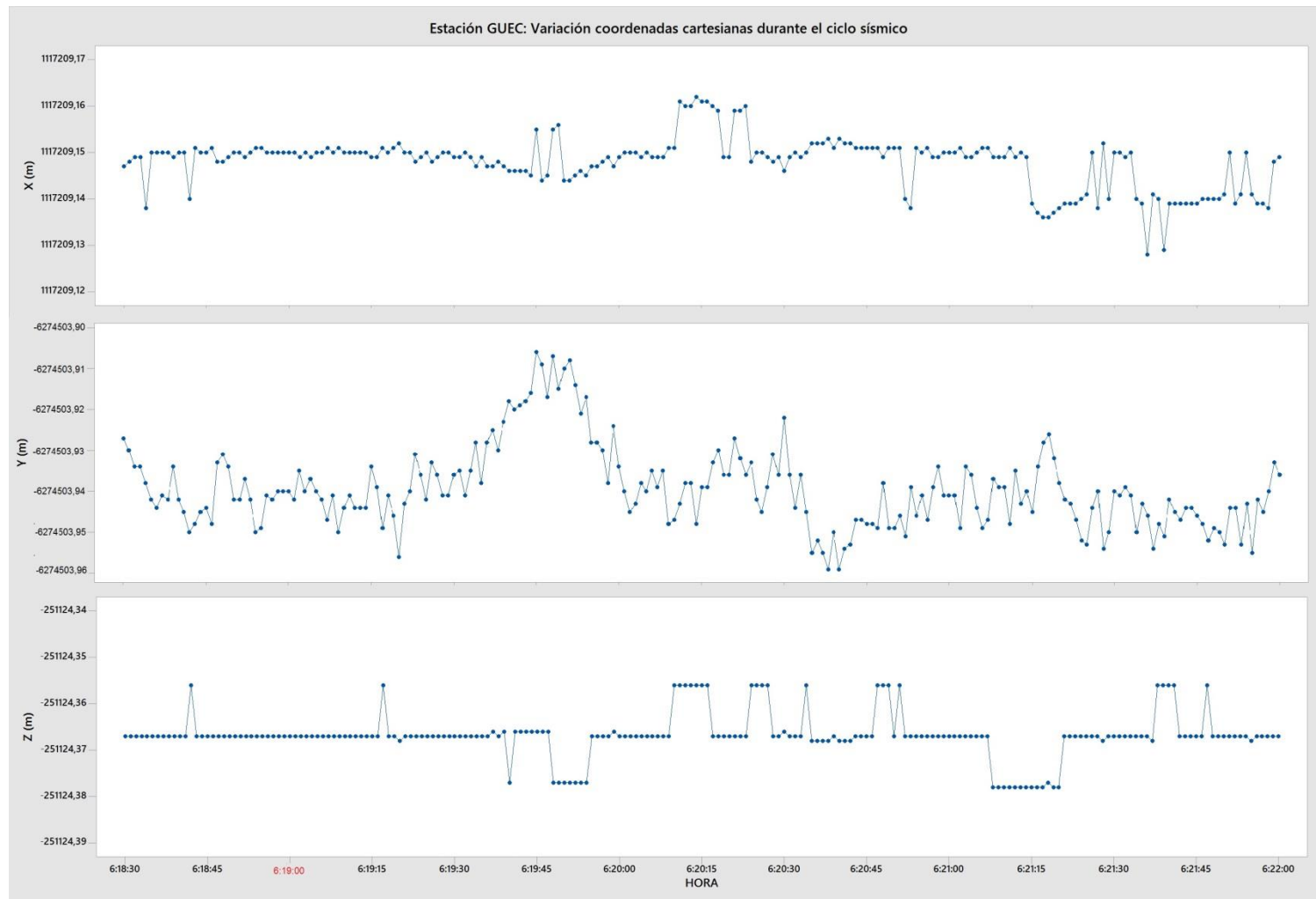
DÍA GPS	Desplazamientos		
	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)
119	0,35	0,49	-0,27
120	-0,30	-0,01	0,29
121	-0,44	0,08	-0,05
122	-0,26	0,37	0,01
<b>Promedio</b>	-0,16	0,23	0,00

Posteriormente se comparó con los 4 días siguientes al sismo, en la tabla 10 se presenta el promedio de los desplazamientos en coordenadas cartesianas tridimensionales para la estación GUEC cuyos valores son:  $\Delta x = -0,16$  cm,  $\Delta y = 0,23$  cm y  $\Delta z = -0,00$  cm.



**Figura 39.-** Variación coordenadas cartesianas, Estación GUEC

La figura 39 muestra el comportamiento diario de la estación de monitoreo continuo Guayas – GUEC antes, durante y después del sismo. El sismo se registró el día GPS 118 pero no se identifica ninguna discontinuidad en las coordenadas cartesianas tridimensionales, se puede apreciar pequeños desplazamientos en las coordenadas con menores al centímetro.



**Figura 40.-** Variación coordenadas cartesianas durante ciclo sísmico, Estación GUEC

La figura 40 muestra el comportamiento a cada segundo de la estación de monitoreo continuo Guayas – GUEC el 28 abril de 2015 entre las 06:18:30 horas hasta las 06:21:00 horas. Desde las 06:18:30 horas hasta las 06:18:40 horas no se identifica ninguna discontinuidad en las coordenadas, a partir de las 06:18:40 horas hasta las 06:20:35 horas se puede apreciar desplazamientos en las coordenadas con valores entre  $0,9 \text{ cm} > \Delta x > 0,09 \text{ cm}$ ,  $3,2 \text{ cm} > \Delta y > 0,1 \text{ cm}$  y  $1,1 \text{ cm} > \Delta z > 0 \text{ cm}$ . Luego de las 06:20:35 horas se puede apreciar que la estación se estabiliza.

#### 4.1.2. Sismo 16 de abril 2016 Manabí

##### 4.1.2.1. Estación EL Carmen – ECEC

**Tabla 11**

Variaciones temporales sufridas por la estación ECEC

FECHA	DÍA GPS	X (m)	Y (m)	Z (m)	$\Delta X$ (cm)	$\Delta Y$ (cm)	$\Delta Z$ (cm)
13/04/2016	104	1167630,0289	-6270565,7374	-30060,3316	0,00	-0,99	-0,11
14/04/2016	105	1167630,0289	-6270565,7275	-30060,3305	0,67	-0,15	0,30
15/04/2016	106	1167630,0222	-6270565,7260	-30060,3335	-0,85	0,88	0,14
16/04/2016	107	1167630,0307	-6270565,7348	-30060,3349	19,91	0,27	-4,45
17/04/2016	108	1167629,8316	-6270565,7375	-30060,2904	0,41	-0,17	-0,28
18/04/2016	109	1167629,8275	-6270565,7358	-30060,2876	0,48	0,83	0,01
19/04/2016	110	1167629,8227	-6270565,7441	-30060,2877	-0,39	-0,28	-0,07
20/04/2016	111	1167629,8266	-6270565,7413	-30060,2870	0,38	0,17	-0,01
21/04/2016	112	1167629,8228	-6270565,7430	-30060,2869			

En la tabla 11 se muestran las soluciones posicionales en coordenadas cartesianas tridimensionales de la estación de monitoreo continuo EL Carmen – ECEC tres días antes y cinco días después del sismo registrado. Se determinó los desplazamientos en la estación ECEC, antes del día del sismo se registraron desplazamientos con valores máximos de  $\Delta x = 0,85$  cm,  $\Delta y = 0,99$  cm y  $\Delta z = 0,30$  cm y mínimos de  $\Delta x = 0,00$  cm,  $\Delta y = 0,15$  cm y  $\Delta z = 0,11$  cm. Para el día del sismo se determinó desplazamientos con valores de  $\Delta x = 19,91$  cm,  $\Delta y = 0,27$  cm y  $\Delta z = -4,45$  cm. En los cuatro días posteriores al sismo se registraron desplazamientos con valores máximos de  $\Delta x = 0,48$  cm,  $\Delta y = 0,83$  cm y  $\Delta z = 0,28$  cm y mínimos de  $\Delta x = 0,38$  cm,  $\Delta y = 0,17$  cm y  $\Delta z = 0,01$  cm

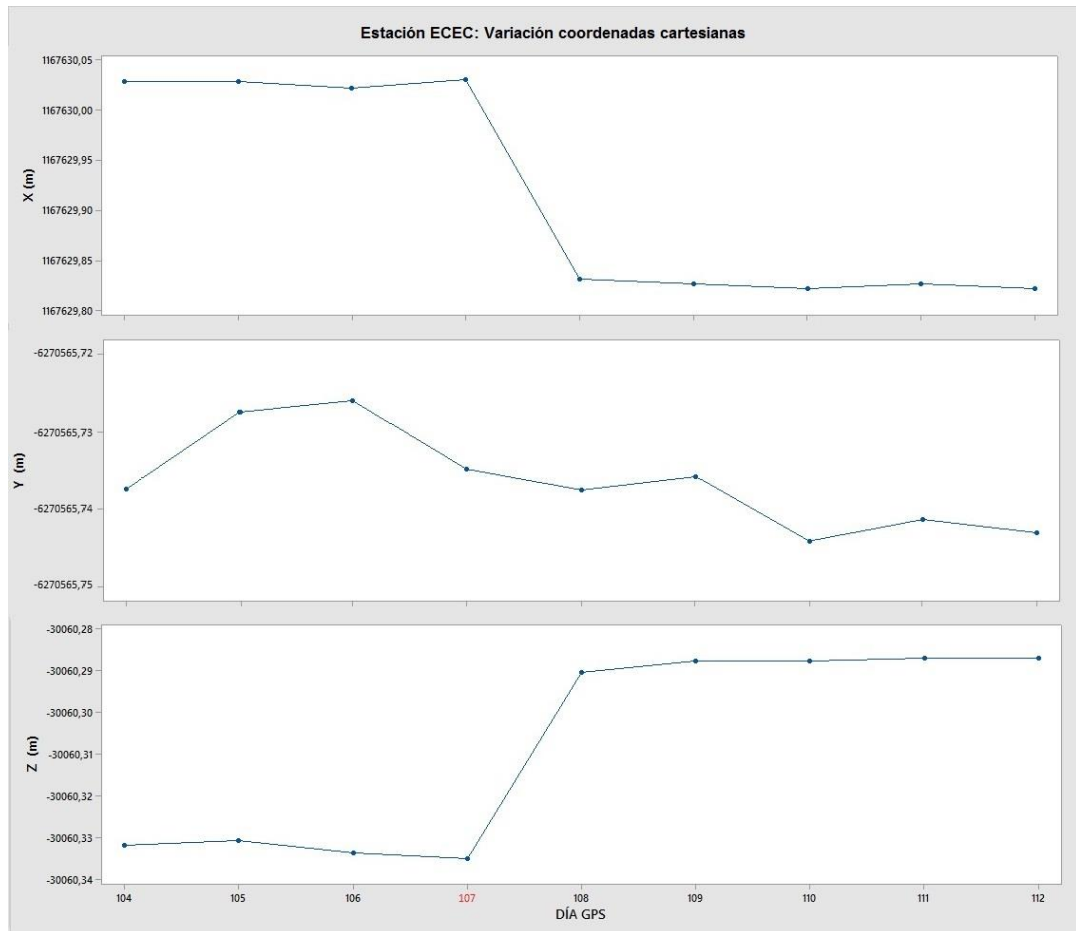
**Tabla 12**

Desplazamientos registrados después del evento estación ECEC

DÍA GPS	Desplazamientos		
	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)
108	19,91	0,27	-4,45
109	20,32	0,10	-4,73
110	20,80	0,93	-4,72
111	20,41	0,65	-4,79
112	20,79	0,82	-4,80
<b>Promedio</b>	20,45	0,55	-4,70

Posteriormente se comparó con los 5 días subsiguientes al sismo, en la tabla 12 se presenta el promedio de los desplazamientos en coordenadas cartesianas tridimensionales para la estación ECEC cuyos valores son:  $\Delta x = 20,45$  cm,  $\Delta y = 0,55$  cm y  $\Delta z = -4,70$  cm.





**Figura 41.-** Variación coordenadas cartesianas, Estación ECEC

La figura 41 muestra el comportamiento diario de la estación de monitoreo continuo EL Carmen – ECEC antes, durante y después del sismo. Hasta el día GPS 107 no se identifica ninguna discontinuidad en las coordenadas cartesianas tridimensionales, a partir del día 108 se puede apreciar desplazamientos en las coordenadas con valores aproximados de  $\Delta x = 19$  cm,  $\Delta y = 0,5$  cm y  $\Delta z = 5$  cm.

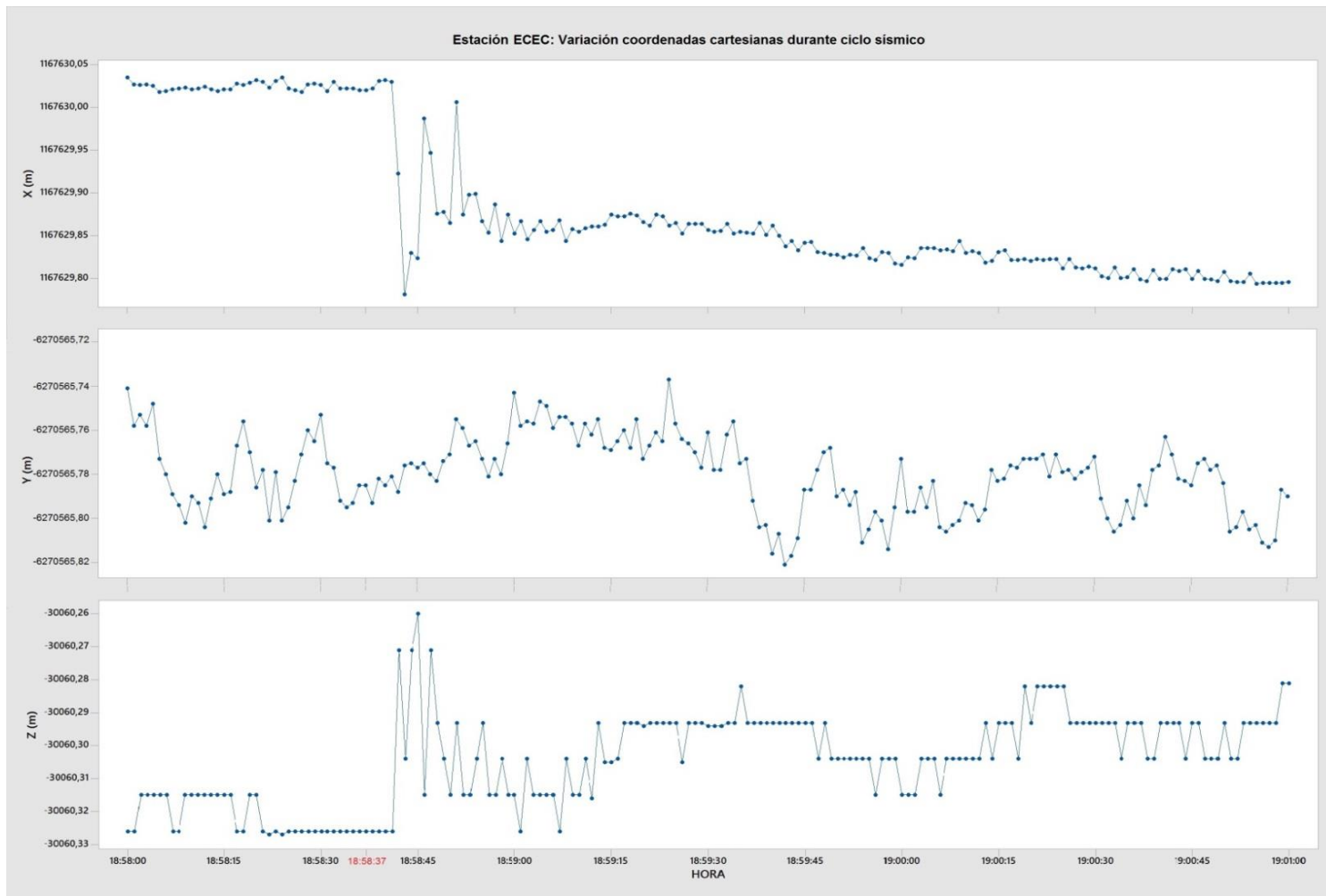


Figura 42.- Variación coordenadas cartesianas durante ciclo sísmico, Estación ECEC

La figura 42 muestra el comportamiento a cada segundo de la estación de monitoreo continuo EL Carmen – ECEC el 16 abril de 2016 entre las 18:58:00 horas hasta las 19:01:00 horas. Desde las 18:58:00 horas hasta las 18:58:40 horas no se identifica ninguna discontinuidad en las coordenadas cartesianas tridimensionales, a partir de las 18:58:40 horas hasta las 18:59:10 horas se puede apreciar desplazamientos en las coordenadas con valores entre  $25\text{ cm} > \Delta x > 5\text{ cm}$ ,  $6\text{ cm} > \Delta y > 2\text{ cm}$  y  $7\text{ cm} > \Delta z > 1\text{ cm}$ . Luego de las 18:59:10 horas se puede apreciar que la estación se estabiliza con desplazamientos de aproximados de  $\Delta x = 19\text{ cm}$ ,  $\Delta y = 0.5\text{ cm}$  y  $\Delta z = 5\text{ cm}$ .

#### 4.1.2.2. Estación Quevedo – QVEC

**Tabla 13**

Variaciones temporales sufridas por la estación QVEC

FECHA	DÍA GPS	X (m)	Y (m)	Z (m)	$\Delta X$ (cm)	$\Delta Y$ (cm)	$\Delta Z$ (cm)
13/04/2016	104	1165494,1141	-6269857,6390	-111925,7094	0,90	0,31	-0,54
14/04/2016	105	1165494,1051	-6269857,6421	-111925,7040	0,07	-2,04	0,35
15/04/2016	106	1165494,1044	-6269857,6217	-111925,7075	-0,67	1,26	-0,17
16/04/2016	107	1165494,1111	-6269857,6343	-111925,7058	5,54	-0,24	-3,09
17/04/2016	108	1165494,0557	-6269857,6319	-111925,6749	0,40	0,08	-0,51
18/04/2016	109	1165494,0517	-6269857,6327	-111925,6698	-0,30	1,70	0,06
19/04/2016	110	1165494,0547	-6269857,6497	-111925,6704	0,91	-0,28	0,04
20/04/2016	111	1165494,0456	-6269857,6469	-111925,6708	-0,49	-0,20	0,18
21/04/2016	112	1165494,0505	-6269857,6449	-111925,6726			

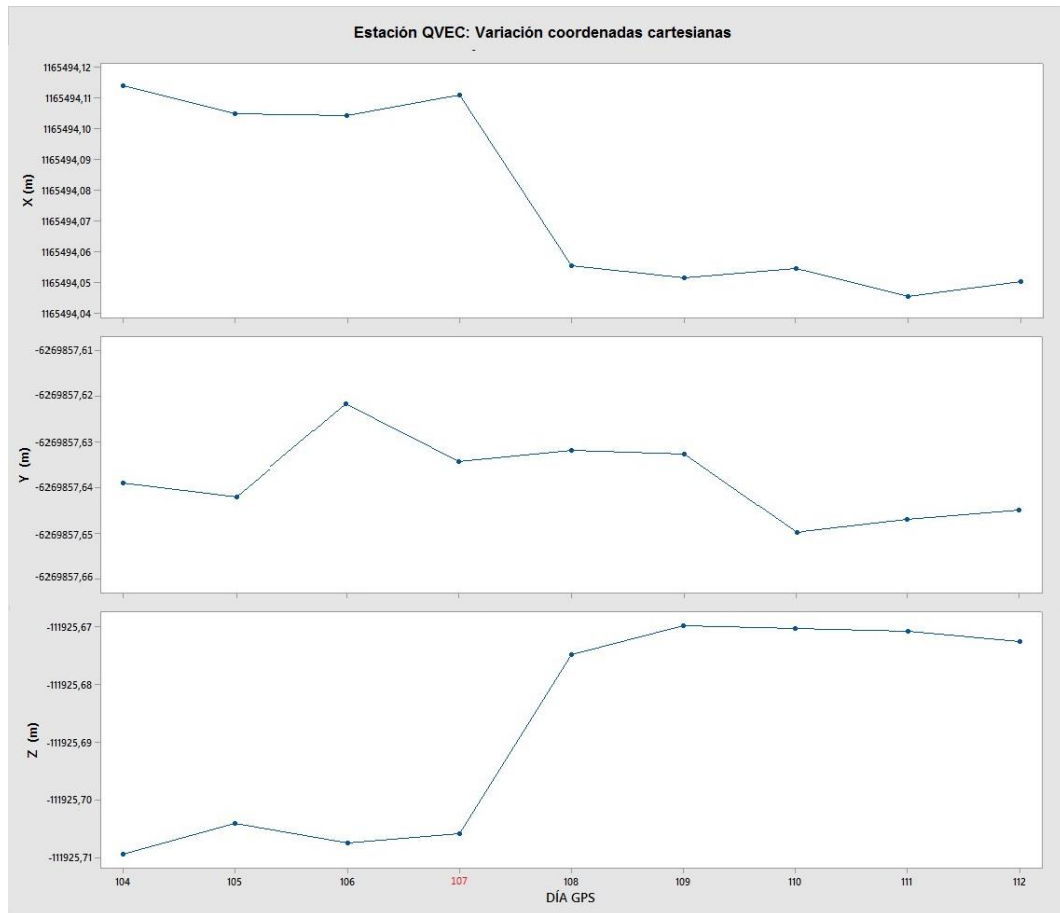
En la tabla 13 se muestran las soluciones posicionales en coordenadas cartesianas tridimensionales de la estación de monitoreo continuo Estación Quevedo – QVEC tres días antes y cinco días después del sismo registrado. Se determinó los desplazamientos en la estación QVEC, antes del día del sismo se registraron desplazamientos con valores máximos de  $\Delta x = 0,90$  cm,  $\Delta y = 2,04$  cm y  $\Delta z = 0,54$  cm y mínimos de  $\Delta x = 0,07$  cm,  $\Delta y = 0,31$  cm y  $\Delta z = 0,17$  cm. Para el día del sismo se determinó desplazamientos con valores de  $\Delta x = 5,54$  cm,  $\Delta y = 0,24$  cm y  $\Delta z = 3,09$  cm. En los cuatro días posteriores al sismo se registraron desplazamientos con valores máximos de  $\Delta x = 0,91$  cm,  $\Delta y = 1,70$  cm y  $\Delta z = 0,51$  cm y mínimos de  $\Delta x = 0,30$  cm,  $\Delta y = 0,08$  cm y  $\Delta z = 0,04$

**Tabla 14**

Desplazamientos registrados después del evento estación QVEC

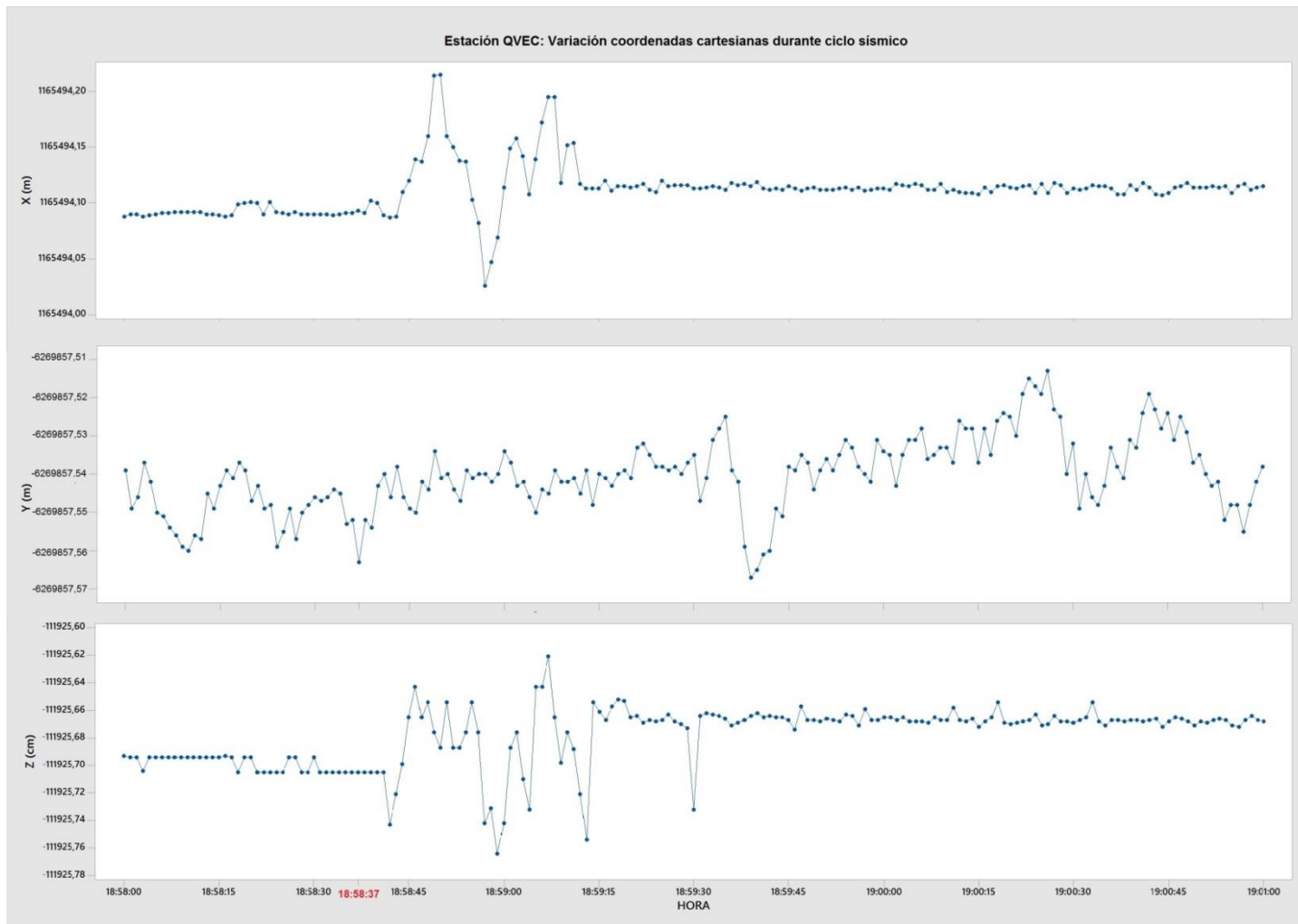
DÍA GPS	Desplazamientos		
	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)
108	5,54	-0,24	-3,09
109	5,94	-0,16	-3,60
110	5,64	1,54	-3,54
111	6,55	1,26	-3,50
112	6,06	1,06	-3,32
<b>Promedio</b>	5,95	0,69	-3,41

Posteriormente se comparó con los 5 días subsiguientes al sismo, en la tabla 14 se presenta el promedio de los desplazamientos en coordenadas cartesianas tridimensionales para la estación QVEC cuyos valores son:  $\Delta x = 5,95$  cm,  $\Delta y = 0,69$  cm y  $\Delta z = 3,41$  cm.



**Figura 43.-** Variación coordenadas cartesianas, Estación QVEC

La figura 43 muestra el comportamiento diario de la estación de monitoreo continuo Quevedo – QVEC antes, durante y después del sismo. Hasta el día GPS 107 no se identifica ninguna discontinuidad en las coordenadas cartesianas tridimensionales, a partir del día 108 se puede apreciar desplazamientos en las coordenadas con valores aproximados de  $\Delta x = 5$  cm,  $\Delta y = 0,5$  cm y  $\Delta z = 3$  cm.



**Figura 44.-** Variación coordenadas cartesianas durante ciclo sísmico, Estación QVEC

La figura 44 muestra el comportamiento a cada segundo de la estación de monitoreo continuo Quevedo – QVEC el 16 abril de 2016 entre las 18:58:00 horas hasta las 19:01:00 horas. Desde las 18:58:00 horas hasta las 18:58:42 horas no se identifica ninguna discontinuidad en las coordenadas cartesianas tridimensionales, a partir de las 18:58:42 horas hasta las 18:59:15 horas se puede apreciar desplazamientos en las coordenadas con valores entre  $10\text{ cm} > \Delta x > 3\text{ cm}$ ,  $3\text{ cm} > \Delta y > 1\text{ cm}$  y  $8\text{ cm} > \Delta z > 1\text{ cm}$ . Luego de las 18:59:15 horas se puede apreciar que la estación se estabiliza con desplazamientos de aproximados de  $\Delta x = 5\text{ cm}$ ,  $\Delta y = 0,5\text{ cm}$  y  $\Delta z = 3\text{ cm}$ .

#### 4.1.2.3. Estación Esmeraldas – ESMR

**Tabla 15**

Variaciones temporales sufridas por la estación ESMR

FECHA	DÍA GPS	X (m)	Y (m)	Z (m)	$\Delta X$ (cm)	$\Delta Y$ (cm)	$\Delta Z$ (cm)
13/04/2016	104	1137650,1088	-6275256,2941	103347,7723	0,09	-0,94	0,08
14/04/2016	105	1137650,1079	-6275256,2847	103347,7715	0,19	-0,14	-0,16
15/04/2016	106	1137650,1060	-6275256,2833	103347,7731	0,91	0,18	0,20
16/04/2016	107	1137650,0969	-6275256,2851	103347,7711	2,25	-1,88	1,26
17/04/2016	108	1137650,0744	-6275256,2663	103347,7585	0,27	0,57	0,20
18/04/2016	109	1137650,0717	-6275256,2720	103347,7565	-0,12	0,02	-0,13
19/04/2016	110	1137650,0729	-6275256,2722	103347,7578	0,05	0,15	0,27
20/04/2016	111	1137650,0724	-6275256,2737	103347,7551	0,20	-0,39	0,08
21/04/2016	112	1137650,0704	-6275256,2698	103347,7543			

En la tabla 15 se muestran las soluciones posicionales en coordenadas cartesianas tridimensionales de la estación de monitoreo continuo Esmeraldas – ESMR tres días antes y cinco días después del sismo registrado. Se determinó los desplazamientos en la estación ESMR, antes del día del sismo se registraron desplazamientos con valores máximos de  $\Delta x = 0,91$  cm,  $\Delta y = 0,94$  cm y  $\Delta z = 0,20$  cm y mínimos de  $\Delta x = 0,09$  cm,  $\Delta y = 0,14$  cm y  $\Delta z = 0,08$  cm. Para el día del sismo se determinó desplazamientos con valores de  $\Delta x = 2,25$  cm,  $\Delta y = 0,57$  cm y  $\Delta z = 1,26$  cm. En los cuatro días posteriores al sismo se registraron desplazamientos con valores máximos de  $\Delta x = 0,27$  cm,  $\Delta y = 0,83$  cm y  $\Delta z = 0,27$  cm y mínimos de  $\Delta x = 0,05$  cm,  $\Delta y = 0,02$  cm y  $\Delta z = 0,08$  cm.

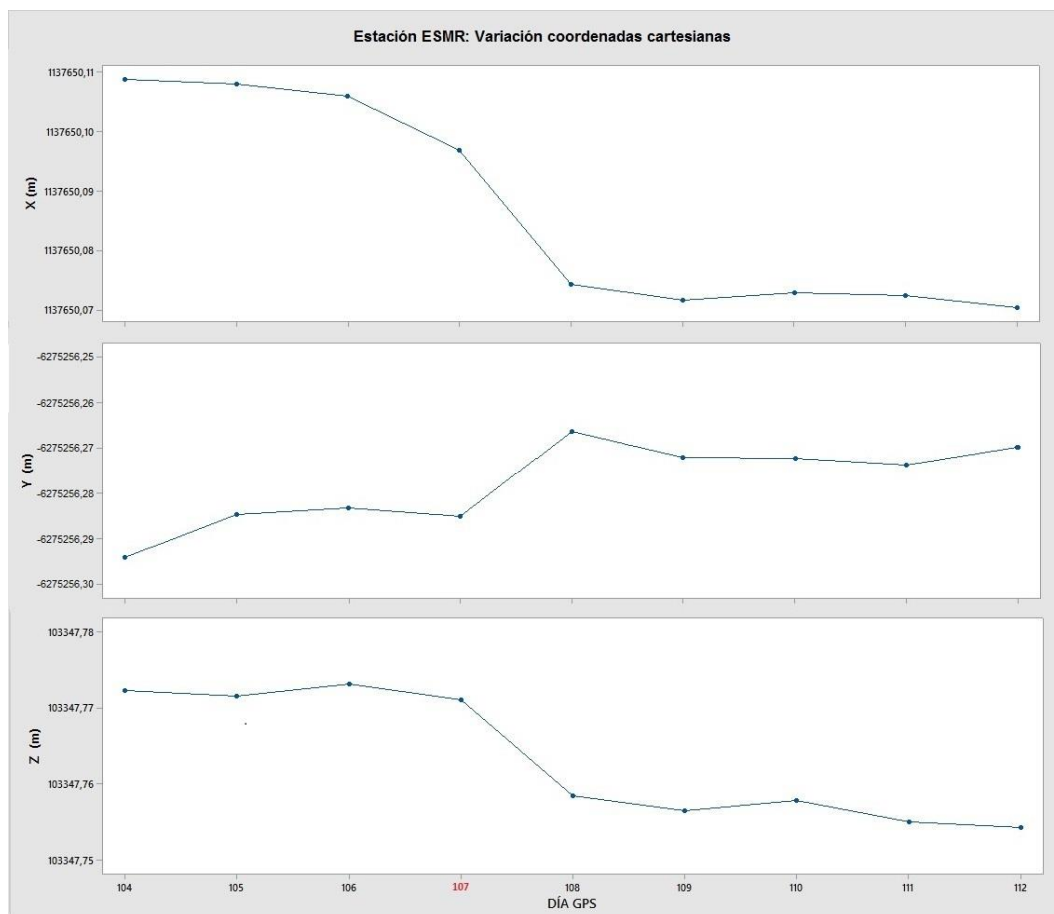
**Tabla 16**

Desplazamientos registrados después del evento estación ESMR

DÍA GPS	Desplazamientos		
	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)
108	2,25	-1,88	1,26
109	2,52	-1,31	1,46
110	2,40	-1,29	1,33
111	2,45	-1,14	1,60
112	2,65	-1,53	1,68
<b>Promedio</b>	2,45	-1,43	1,47

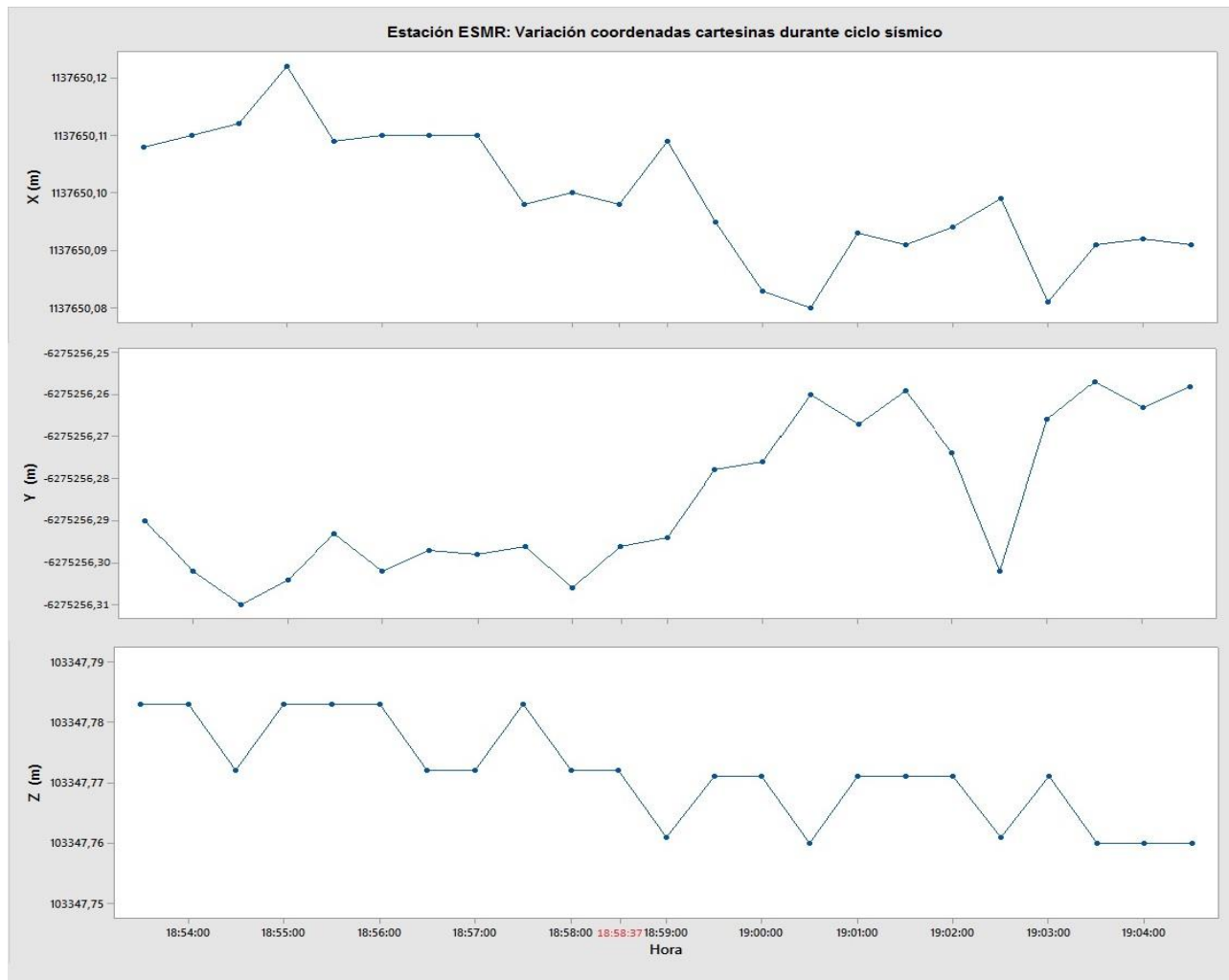
Posteriormente se comparó con los 5 días subsiguientes al sismo, en la tabla 16 se presenta el promedio de los desplazamientos en coordenadas cartesianas tridimensionales para la estación ESMR cuyos valores son:  $\Delta x = 2.45$  cm,  $\Delta y = 1.43$  cm y  $\Delta z = 1.47$  cm.





**Figura 45.-** Variación coordenadas cartesianas, Estación ESMR

La figura 45 muestra el comportamiento diario de la estación de monitoreo continuo Esmeraldas – ESMR antes, durante y después del sismo. Hasta el día GPS 107 no se identifica ninguna discontinuidad en las coordenadas cartesianas tridimensionales, a partir del día 108 se puede apreciar desplazamientos en las coordenadas con valores aproximados de  $\Delta x = 3$  cm,  $\Delta y = 1,5$  cm y  $\Delta z = 1,5$  cm.



**Figura 46.-** Variación coordenadas cartesianas durante ciclo sísmico, Estación ESMR

La figura 46 muestra el comportamiento a cada 30 segundos de la estación de monitoreo continuo Esmeraldas – ESMR el 16 abril de 2016 entre las 18:54:00 horas hasta las 19:04:00 horas. Desde las 18:54:00 horas hasta las 18:59:00 horas no se identifica ninguna discontinuidad en las coordenadas cartesianas tridimensionales, a partir de las 18:59:00 horas hasta las 18:59:30 horas se puede apreciar desplazamientos en las coordenadas con valores entre  $3\text{ cm} > \Delta x > 1\text{ cm}$ ,  $4\text{ cm} > \Delta y > 1\text{ cm}$  y  $1\text{ cm} > \Delta z > 0,5\text{ cm}$ . Luego de las 18:59:30 horas se puede apreciar que la estación se estabiliza excepto en la coordenada Y. Ya estabilizada completamente la estación se obtuvieron desplazamientos aproximados de  $\Delta x = 3\text{ cm}$ ,  $\Delta y = 1,5\text{ cm}$  y  $\Delta z = 1\text{ cm}$ .

#### 4.1.2.4. Estación Paján – PJEC

**Tabla 17**

Variaciones temporales sufridas por la estación PJEC

FECHA	DÍA GPS	X (m)	Y (m)	Z (m)	$\Delta X$ (cm)	$\Delta Y$ (cm)	$\Delta Z$ (cm)
13/04/2016	104	1060545,9312	-6287136,6330	-171639,1485	0,66	-0,92	-0,27
14/04/2016	105	1060545,9246	-6287136,6238	-171639,1458	0,17	-0,37	0,00
15/04/2016	106	1060545,9229	-6287136,6201	-171639,1458	-1,12	-0,06	0,34
16/04/2016	107	1060545,9341	-6287136,6195	-171639,1492	0,64	0,47	0,80
17/04/2016	108	1060545,9277	-6287136,6242	-171639,1572	0,00	0,00	0,00
18/04/2016	109	NO HAY DATOS	NO HAY DATOS	NO HAY DATOS	0,71	-1,05	-0,26
19/04/2016	110	1060545,9206	-6287136,6137	-171639,1546	0,59	0,82	0,26
20/04/2016	111	1060545,9147	-6287136,6219	-171639,1572	-0,24	0,01	0,58
21/04/2016	112	1060545,9171	-6287136,6220	-171639,1630			

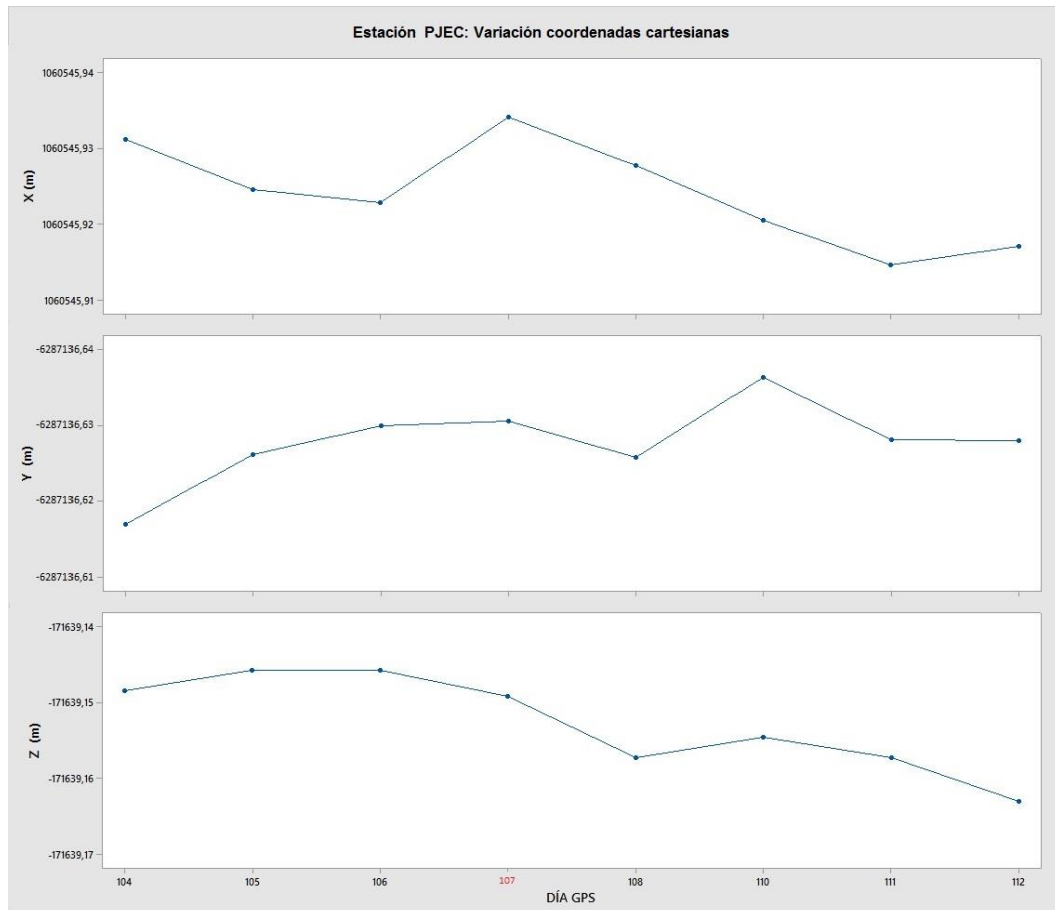
En la tabla 17 se muestran las soluciones posicionales en coordenadas cartesianas tridimensionales de la estación de monitoreo continuo Paján – PJEC tres días antes y cinco días después del sismo registrado. Se determinó los desplazamientos en la estación ECEC, antes del día del sismo se registraron desplazamientos con valores máximos de  $\Delta x = 1,12$  cm,  $\Delta y = 0,92$  cm y  $\Delta z = 0,34$  cm y mínimos de  $\Delta x = 0,17$  cm,  $\Delta y = 0,06$  cm y  $\Delta z = 0,00$  cm. Para el día del sismo se determinó desplazamientos con valores de  $\Delta x = 0,64$  cm,  $\Delta y = 0,47$  cm y  $\Delta z = 0,80$  cm. En los cuatro días posteriores al sismo se registraron desplazamientos con valores máximos de  $\Delta x = 0,71$  cm,  $\Delta y = 1,05$  cm y  $\Delta z = 0,58$  cm y mínimos de  $\Delta x = 0,24$  cm,  $\Delta y = 0,01$  cm y  $\Delta z = 0,26$  cm. Para el día GPS 110 no existen datos.

**Tabla 18**

Desplazamientos registrados después del evento estación PJEC

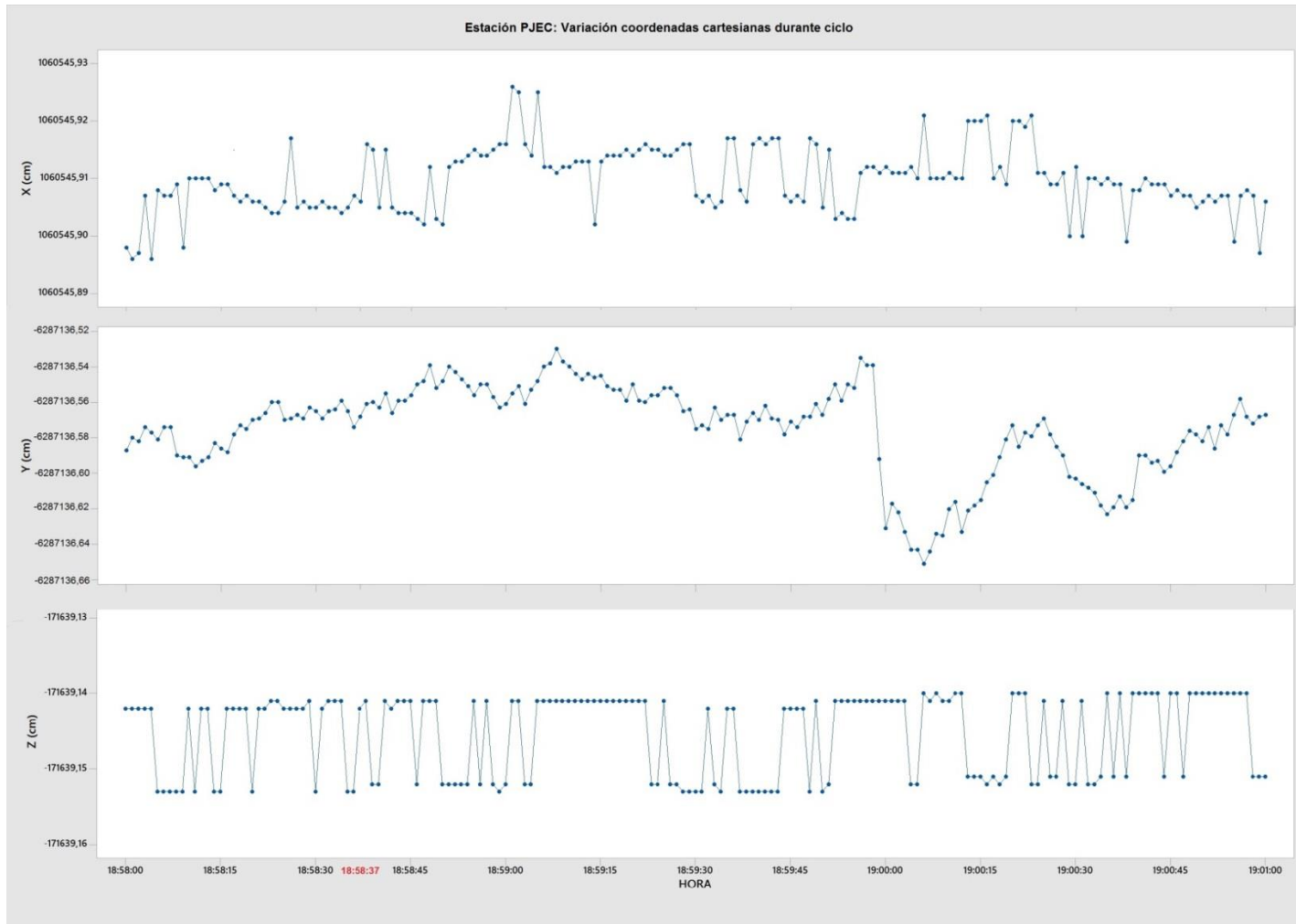
DÍA GPS	Desplazamientos		
	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)
108	0,64	0,47	0,80
110	1,35	-0,58	0,54
111	1,94	0,24	0,80
112	1,70	0,25	1,38
<b>Promedio</b>	1,41	0,10	0,88

Posteriormente se comparó con los 5 días subsiguientes al sismo, en la tabla 18 se presenta el promedio de los desplazamientos en coordenadas cartesianas tridimensionales para la estación PJEC cuyos valores son:  $\Delta x = 1,41$  cm,  $\Delta y = 0,10$  cm y  $\Delta z = 0,88$  cm.



**Figura 47.-** Variación coordenadas cartesianas, Estación PJEC

La figura 47 muestra el comportamiento diario de la estación de monitoreo continuo Paján – PJEC antes, durante y después del sismo. Hasta el día GPS 107 no se identifica ninguna discontinuidad en las coordenadas cartesianas tridimensionales, a partir del día 108 se puede apreciar desplazamientos en las coordenadas con valores aproximados de  $\Delta x = 1,5$  cm,  $\Delta y = 0,5$  cm y  $\Delta z = 1$  cm.



**Figura 48.-** Variación coordenadas cartesianas durante ciclo sísmico, Estación PJEC

La figura 48 muestra el comportamiento a cada segundo de la estación de monitoreo continuo Paján – PJEC el 16 abril de 2016 entre las 18:58:00 horas hasta las 19:01:00 horas. Desde las 18:58:00 horas hasta las 19:01:00 horas no se identifica ninguna discontinuidad en las coordenadas cartesianas tridimensionales, pero se pueden apreciar desplazamientos en las coordenadas con valores entre 1,5 cm  $\Delta x > 0$  cm, 1 cm  $\Delta y > 0$  cm y 1 cm  $\Delta z > 0$  cm.

#### 4.1.5. Variación de las coordenadas antes y después del sismo

**Tabla 19**

Desplazamientos promedio sufridos por las estaciones

Estación	Desplazamientos			
	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Módulo (cm)
ECEC	20,45	0,55	-4,7	20,99
QVEC	5,95	0,69	-3,41	6,89
ESMR	2,45	-1,43	1,47	3,20
PJEC	1,41	0,1	0,88	1,67

La tabla 19 presenta los desplazamientos promedio que sufrieron las estaciones de monitoreo continuo analizadas. Se encuentran ordenadas de mayor a menor; siendo la estación ECEC la que sufrió un mayor desplazamiento con 20,99 cm y la menor la estación PJEC con 1,67 cm.

## 4.2 SIMULACIÓN SÍSMICA

Para la obtención de los resultados de posicionamiento de la simulación sísmica se utilizó un receptor GNSS doble frecuencia marca GeoSun modelo eFix R1 (figura 49) que cuenta con las siguientes precisiones:

**Post proceso Estático** Hz: 5mm + 1ppm. V: 10mm + 1ppm

**Tiempo Real Kinemático RTK**

- GSM/GPRS. Alcance nominal 100km. Alcance Típico mejor a 40km.
- RTK menos de 40 Km. RMS Hz: 1cm + 1 ppm. V: 2cm + 1ppm
- RTK 40 a 100 Km centimétrico mejor de 3cm a 5cm

– RTF (Flotante) 100 a 150 Km centimétrico mejor a 10cm



**Figura 49.-** Foto GPS utilizado para la simulación sísmica

Fuente: KafilGps, s.f.

**Tabla 20**

Solución de posicionamiento estático simulación sísmica

SOLUCIÓN – ESTÁTICO		
X (m)	Y (m)	Z (m)
1231005,0274	-6260466,2398	-76345,3999

**Tabla 21**

Soluciones de posicionamiento cinemático con RTK, simulación sísmica

SIMULACIÓN – RTK						
TIEMPO	X (m)	Y (m)	Z (m)	$\Delta X$ (cm)	$\Delta Y$ (cm)	$\Delta Z$ (cm)
0:00:01	1231005,033	-6260466,243	-76345,376	-0,54	0,33	-2,36
0:00:02	1231005,031	-6260466,248	-76345,377	-0,38	0,77	-2,27
0:00:03	1231005,032	-6260466,249	-76345,377	-0,46	0,96	-2,24
0:00:04	1231005,045	-6260466,238	-76345,453	-1,74	-0,20	5,28
0:00:05	1231005,026	-6260466,241	-76345,424	0,17	0,11	2,44
0:00:06	1231004,974	-6260466,253	-76345,329	5,39	1,35	-7,06
0:00:07	1231005,046	-6260466,227	-76345,486	-1,83	-1,28	8,57
0:00:08	1231005,010	-6260466,237	-76345,364	1,74	-0,32	-3,58
0:00:09	1231004,996	-6260466,242	-76345,371	3,17	0,25	-2,87
0:00:10	1231005,044	-6260466,223	-76345,480	-1,63	-1,64	7,97

Continua →



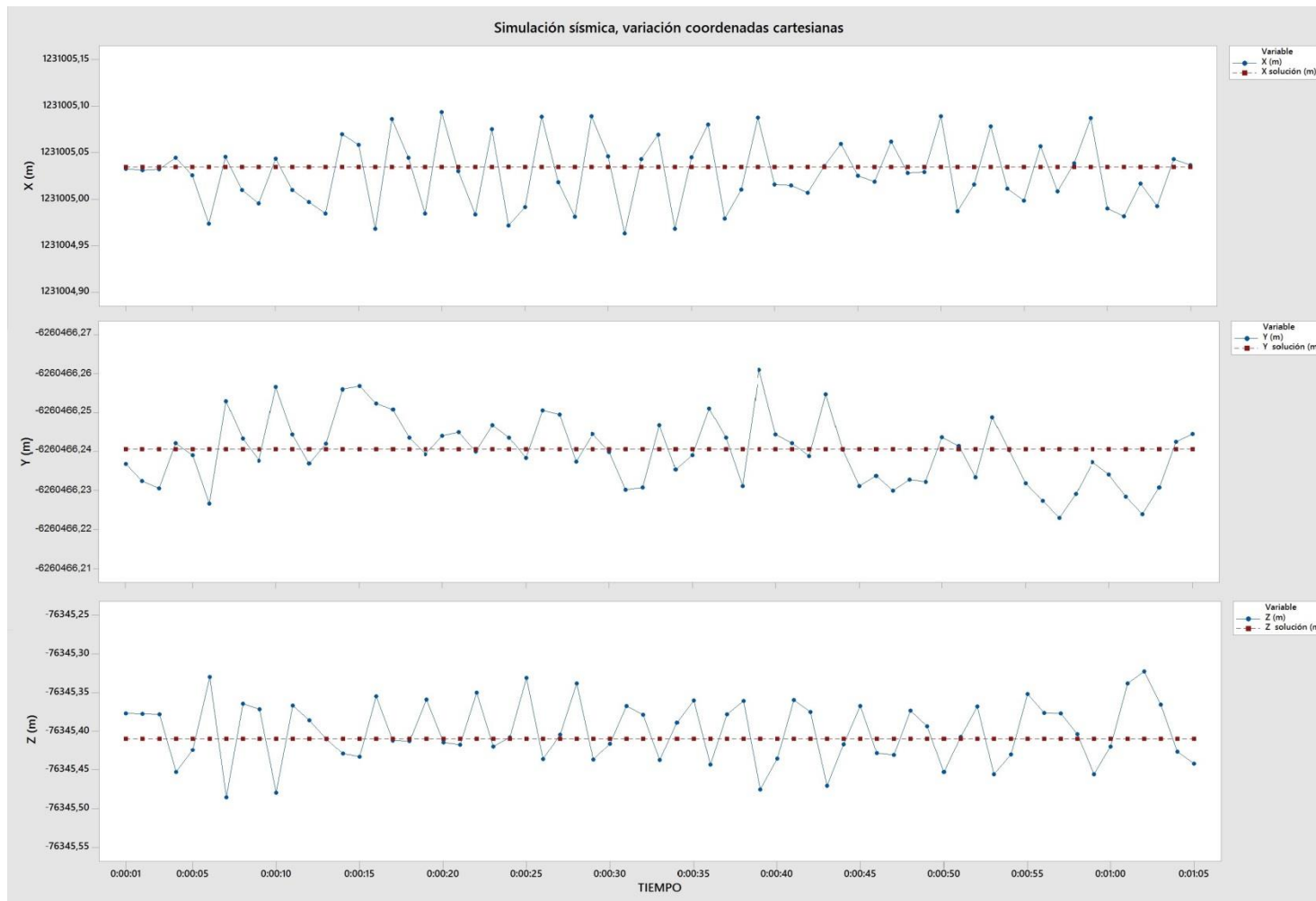
0:00:11	1231005,010	-6260466,236	-76345,366	1,73	-0,43	-3,36
0:00:12	1231004,997	-6260466,243	-76345,385	3,05	0,32	-1,46
0:00:13	1231004,985	-6260466,238	-76345,410	4,27	-0,19	0,99
0:00:14	1231005,070	-6260466,224	-76345,429	-4,25	-1,58	2,89
0:00:15	1231005,058	-6260466,223	-76345,433	-3,08	-1,66	3,29
0:00:16	1231004,968	-6260466,228	-76345,355	5,90	-1,23	-4,51
0:00:17	1231005,086	-6260466,229	-76345,412	-5,88	-1,07	1,20
0:00:18	1231005,045	-6260466,236	-76345,412	-1,71	-0,35	1,26
0:00:19	1231004,984	-6260466,241	-76345,358	4,29	0,08	-4,14
0:00:20	1231005,093	-6260466,236	-76345,414	-6,60	-0,39	1,40
0:00:21	1231005,030	-6260466,235	-76345,417	-0,29	-0,48	1,73
0:00:22	1231004,983	-6260466,240	-76345,350	4,40	0,01	-4,99
0:00:23	1231005,075	-6260466,233	-76345,419	-4,81	-0,66	1,94
0:00:24	1231004,972	-6260466,236	-76345,408	5,57	-0,34	0,77
0:00:25	1231004,991	-6260466,242	-76345,330	3,59	0,18	-6,94
0:00:26	1231005,089	-6260466,229	-76345,436	-6,13	-1,04	3,60
0:00:27	1231005,018	-6260466,230	-76345,404	0,93	-0,94	0,40
0:00:28	1231004,981	-6260466,243	-76345,338	4,61	0,27	-6,22
0:00:29	1231005,089	-6260466,235	-76345,436	-6,18	-0,44	3,65
0:00:30	1231005,046	-6260466,240	-76345,416	-1,87	0,02	1,61
0:00:31	1231004,963	-6260466,250	-76345,367	6,41	1,00	-3,26
0:00:32	1231005,043	-6260466,249	-76345,378	-1,56	0,94	-2,14
0:00:33	1231005,069	-6260466,233	-76345,437	-4,19	-0,66	3,71
0:00:34	1231004,968	-6260466,245	-76345,389	5,94	0,47	-1,13
0:00:35	1231005,045	-6260466,241	-76345,360	-1,79	0,11	-4,02
0:00:36	1231005,080	-6260466,229	-76345,443	-5,30	-1,09	4,34
0:00:37	1231004,979	-6260466,236	-76345,378	4,84	-0,34	-2,23
0:00:38	1231005,010	-6260466,249	-76345,361	1,73	0,90	-3,93
0:00:39	1231005,087	-6260466,219	-76345,475	-6,01	-2,09	7,55
0:00:40	1231005,016	-6260466,236	-76345,435	1,16	-0,42	3,55
0:00:41	1231005,015	-6260466,238	-76345,359	1,28	-0,20	-4,08
0:00:42	1231005,007	-6260466,241	-76345,375	2,07	0,14	-2,49
0:00:43	1231005,036	-6260466,225	-76345,471	-0,81	-1,47	7,08
0:00:44	1231005,059	-6260466,239	-76345,416	-3,21	-0,04	1,63
0:00:45	1231005,025	-6260466,249	-76345,367	0,24	0,91	-3,31
0:00:46	1231005,019	-6260466,246	-76345,429	0,84	0,64	2,87
0:00:47	1231005,062	-6260466,250	-76345,431	-3,44	1,02	3,08
0:00:48	1231005,028	-6260466,247	-76345,373	-0,07	0,74	-2,68
0:00:49	1231005,029	-6260466,248	-76345,393	-0,16	0,80	-0,65
0:00:50	1231005,089	-6260466,236	-76345,453	-6,15	-0,35	5,27

Continua →

0:00:51	1231004,987	-6260466,239	-76345,407	4,06	-0,13	0,71
0:00:52	1231005,016	-6260466,247	-76345,368	1,17	0,68	-3,21
0:00:53	1231005,078	-6260466,231	-76345,455	-5,11	-0,86	5,55
0:00:54	1231005,012	-6260466,240	-76345,430	1,59	-0,03	3,04
0:00:55	1231004,998	-6260466,248	-76345,352	2,90	0,84	-4,81
0:00:56	1231005,057	-6260466,253	-76345,376	-2,98	1,28	-2,39
0:00:57	1231005,009	-6260466,257	-76345,377	1,89	1,73	-2,32
0:00:58	1231005,039	-6260466,251	-76345,404	-1,13	1,10	0,36
0:00:59	1231005,087	-6260466,243	-76345,456	-5,99	0,29	5,56
0:01:00	1231004,990	-6260466,246	-76345,419	3,72	0,61	1,94
0:01:01	1231004,982	-6260466,252	-76345,338	4,57	1,18	-6,21
0:01:02	1231005,017	-6260466,256	-76345,322	1,06	1,63	-7,77
0:01:03	1231004,993	-6260466,249	-76345,365	3,48	0,93	-3,47
0:01:04	1231005,043	-6260466,237	-76345,426	-1,58	-0,24	2,66
0:01:05	1231005,037	-6260466,235	-76345,442	-0,94	-0,44	4,22

En la tabla 21 se muestran las soluciones posicionales en coordenadas cartesianas tridimensionales de la simulación sísmica, las cuales fueron comparadas con la solución estática de la tabla 20; registrando desplazamientos con valores máximos de  $\Delta x = 6,60$  cm,  $\Delta y = 2,09$  cm y  $\Delta z = 8,57$  cm y mínimos de  $\Delta x = 0,07$  cm,  $\Delta y = 0,01$  cm y  $\Delta z = 0,36$  cm.

La figura 50 muestra la solución de posicionamiento estático y el comportamiento del receptor GNSS durante la simulación sísmica donde claramente se identifica discontinuidad en las coordenadas cartesianas tridimensionales, se puede apreciar desplazamientos en las coordenadas con valores aproximados de  $\Delta x = 7$  cm,  $\Delta y = 2$  cm y  $\Delta z = 9$  cm.



**Figura 50.-** Variación coordenadas cartesianas simulación sísmica

## **CAPÍTULO V**

### **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. CONCLUSIONES**

- El posicionamiento absoluto mediante la técnica de Posicionamiento de Punto Preciso–PPP, es un buen método que permite determinar la detección de movimientos rápidos y diagnosticar el comportamiento de la estación a cada segundo.
- En el sismo registrado el 28 de abril de 2015 de magnitud 5.9 Mw, y 71 km de profundidad, la estación de Guayas – GUEC, se presentaron variaciones solo durante la etapa cosísmica, con desplazamientos que llegaron a los 4 centímetros, para posteriormente estabilizarse en su posición original sin sufrir ningún desplazamiento permanente.
- En el sismo del 16 de abril del 2016, todas las estaciones de monitoreo continuo analizadas presentaron desplazamientos permanentes en sus coordenadas, siendo la estación ECEC la más afectada con un desplazamiento promedio de 20,99 cm; las otras estaciones presentan variaciones posicionales menores que van entre 6,89 cm y 1,67 cm.
- Los desplazamientos de las estaciones de monitoreo continuo causados por un sismo no son directamente proporcionales a la distancia del epicentro, dependen también de las características geomorfológicas del terreno, es así que la estación de Esmeraldas – ESMR con una distancia de 68,66 km al epicentro presentó un desplazamiento de 3,20 cm, mientras que la estación de El Carmen – ECEC que está a 83,70 km tuvo un desplazamiento mayor de 20,99 cm.
- Las estaciones analizadas son parte de la red SIRGAS, por lo cual los resultados de las coordenadas y los desplazamientos obtenidos fueron

comparados con las soluciones semanales publicados por SIRGAS obteniendo resultados similares, con variaciones al nivel del milímetro.

- A través de la simulación sísmica, se evidenció que los receptores GNSS L1/L2 afectados por sismos de magnitudes mayores a 5 Mw, sí detectan movimientos rápidos durante el ciclo sísmico, con lo cual se puede determinar el comportamiento y los desplazamientos de las estaciones durante el sismo.
- A partir de la simulación sísmica realizada en campo, se determinó que en la etapa presísmica el punto se encontraba estable, con variaciones milimétricas; durante la etapa cosísmica los desplazamientos detectados a cada segundo reflejaron valores máximos de  $\Delta x = 6,60$  cm,  $\Delta y = 2,09$  cm y  $\Delta z = 8,57$  cm, finalmente en el etapa postsísmica el punto regresó a su posición inicial; puesto que la simulación se llevó a cabo sobre un cuerpo que no cuenta con las características geomorfológicas del suelo.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- Para la simulación sísmica se recomienda utilizar la técnica de Posicionamiento PPP en tiempo real, para poder comparar los resultados entre la misma técnica de posicionamiento (en el presente estudio no se pudo utilizar este método debido a una limitada disponibilidad de equipos).
- Debido a los desplazamientos registrados en las estaciones analizadas se recomienda la remediación de las mismas, por lo cual deben ser nuevamente posicionadas y ajustadas a la Red GNSS de Monitoreo Continuo del Ecuador-REGME para ser utilizadas, mientras tanto deberían salir de funcionamiento.
- Se recomienda posicionar de nuevo una muestra significativa de puntos cercanos al epicentro del sismo de la Red Nacional GPS del Ecuador – RENAGE, para identificar posibles afectaciones en la red pasiva del Ecuador.
- Para investigaciones futuras se sugiere complementar este estudio con las características geomorfológicas del suelo a fin de identificar estaciones con mayor vulnerabilidad ante un evento sísmico.

### 5.3. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña, G. (2008). *Introducción al Posicionamiento GPS de Punto Preciso (PPP): Fundamentos Teóricos*. Recuperado el 1 de julio de 2016, de [http://www.ppp%20acuña%20gustavo\\_files/frame0.html](http://www.ppp%20acuña%20gustavo_files/frame0.html)
- BBC Mundo. (9 de marzo de 2010). *El terremoto cambio de lugar a Concepción*. Recuperado el 19 de febrero de 2016, de [http://www.bbc.com/mundo/ciencia\\_tecnologia/2010/03/100309\\_terremoto\\_ciudades\\_men.shtml](http://www.bbc.com/mundo/ciencia_tecnologia/2010/03/100309_terremoto_ciudades_men.shtml)
- Bernese GNSS Software. (2016). *Website of the Bernese GNSS Software*. Recuperado el 27 de febrero de 2016, de <http://www.bernese.unibe.ch/>
- Bock, Y. (1998). *Reference systems, GPS for Geodesy*. Berlin: Springer.
- CMC1TECTONICA. (s. f.). *Modelo estático del interior de la tierra*. Recuperado el 12 de agosto de 2016, de <https://cmc1tectonica.wikispaces.com/2+MODELO+EST%C3%81TICO+DE+LA+INTERIOR+DE+LA+TIERRA?responseToken=0c92fb5a8d397147dfcf1f14b15dbfb79>
- Correa, C., Hinojosa, D., & Taípe, M. (2004). *Sismicidad histórica del Ecuador. Cálculo de aceleraciones máximas, energía sísmica liberada y estimación de peligro sísmico*. Recuperado el 8 de septiembre de 2016, de Scribd, Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional: <https://es.scribd.com/doc/23752462/SISMICIDAD-HISTORICA-DEL-ECUADOR>
- Dach, R., Hugentobler, U., Fridez, P., & Meindl, M. (2007). *Bernese GPS Software Version 5.2*. Recuperado el 28 de febrero de 2016, de Bernese GNSS Software: <http://www.bernese.unibe.ch/docs/DOCU52.pdf>
- Egred, J. (1999). *Catálogo sísmico del Ecuador*. Recuperado el 19 de agosto de 2016, de Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional: <https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4>

&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwi0ztOjwHPAhXJdx4KHdKNBfcQFggu  
 MAM&url=http%3A%2F%2Fbibdigital.epn.edu.ec%2Fbitstream%2F15000  
 %2F1593%2F1%2FCD-2275.pdf&usg=AFQjCNFwchraT9B-  
 pSj\_qZiCzUnstWYaPg&sig2=

Egüez, A., Alvarado, A., Yepes, H., Machette, M., Costa, C., & Dart, R. (2013). *Database and Map of Quaternary faults and folds of Ecuador and its offshore regions*. Retrieved marzo 3, 2016, from USGS, Publications Warehouse: <http://pubs.usgs.gov/of/2003/ofr-03-289/>

Farjar, M. (s. f.). *Tema 12: Aplicaciones Topográficas del G.P.S.* Recuperado el 27 de febrero de 2016, de Open Course Ware, Universidad Politécnica de Madrid: [http://ocw.upm.es/ingenieria-cartografica-geodesica-y-fotogrametria/topografia-ii/Teoria\\_GPS\\_Tema\\_12.pdf](http://ocw.upm.es/ingenieria-cartografica-geodesica-y-fotogrametria/topografia-ii/Teoria_GPS_Tema_12.pdf)

Flores, C. (2010). *Análisis y Evaluación de los diferentes métodos geofísicos usados para la predicción de terremotos*. Recuperado el 28 de febrero de 2016, de Universidad Nacional de San Agustín –Peru, Facultad de Geología, Geofísica y Minas: <http://www.igp.gob.pe/hernando.tavera/documentos/formacion%20profesional/3Flores,%20C.2010.pdf>

Furones, M. (2010). *Sistema y Marco de Referencia Terrestre Sistemas de Coordenadas*. Recuperado el 3 de julio de 2016, de Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría, Universidad Politécnica de Valencia.: <http://www.upv.es/unigeo/index/docencia/etsigct/astronomia/teoria/astronomia210.pdf>

Furones, M. (2011). *Sistema y Marco de Referencia Terrestre. Sistemas de Coordenadas*. Recuperado el 3 de julio de 2016, de Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría Universidad Politécnica de Valencia.: <http://www.upv.es/unigeo/index/docencia/etsigct/astronomia/teoria/astronomiaT2.pdf>

- Gao, Y., & Shen, X. (junio de 2002). A New Method for Carrier-Phase-Based Precise Point Positioning. *Navigation*, 49, 109-116.
- Garcia, D. (2008). *Sistema GNSS (GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM)*. Recuperado el 1 de agosto de 2016, de <http://arantxa.ii.uam.es/~jms/pfcsteleco/lecturas/20080125DavidGarcia.pdf>
- Gendt, G. (1996). *Comparison of IGS Troposphere Estimations*. Recuperado el 21 de agosto de 2016, de [ftp://igsceb.jpl.nasa.gov/pub/resource/pubs/ac\\_ws96b.pdf](ftp://igsceb.jpl.nasa.gov/pub/resource/pubs/ac_ws96b.pdf)
- Gendt, G. (1998). *IGS Combination of Tropospheric Estimates*. Recuperado el 21 de agosto de 2016, de Cite Seer X: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.560.3298&rep=rep1&type=pdf>
- Gobierno Autónomo Descentralizado Sigchos. (2016). *Ubicación cantón Sigchos*. Recuperado el 7 de septiembre de 2016, de <http://gadmsigchos.gob.ec/pag2015/index.php/cantons/ubicacion>.
- Hamilton, W. (1979). *US Geological Survey Prof.* Recuperado el 8 de agosto de 2016, de US Geological Survey: [https://scholar.google.com/scholar?hl=es&as\\_sdt=0,5&cluster=9541973393817098235](https://scholar.google.com/scholar?hl=es&as_sdt=0,5&cluster=9541973393817098235)
- Han, S., Kwon, J., & Jekeli, C. (mayo de 2001). Accurate Absolute GPS Positioning through Satellite Clock Error Estimation, *Journal of Geodesy*. *Journal of Geodesy*, 75, 33-43.
- Herraíz, M. (1997). *Conceptos básicos de sismología para ingenieros*. Lima: Universidad Complutense de Madrid.
- Herrera, I., Ponce, L., & Suarez, G. (2007). *Los sismos y sus causas*. Obtenido de Instituto de Geofísica, UNAM.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Collins, J. (1997). *GPS - Theory and Practice* (Vol. 4ta Edición). New York: Springer.



- ICD-GPS-200. (1993). *Interface control document, NAVSTAR GPS Space Segment*. Recuperado el 3 de julio de 2016, de GPS:GOV: <http://www.gps.gov/technical/icwg/ICD-GPS-200C.pdf>
- IG-EPN, I. G. (2016). *INFORME SÍSMICO ESPECIAL N. 18 - 2016*. Quito.
- IG-EPN, Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional. (2015). *INFORME SÍSMICO ESPECIAL NO. 2*. Quito.
- IG-EPN, Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional. (2016). *INFORME SÍSMICO ESPECIAL N. 13 - 2016*. Recuperado el 19 de abril de 2016, de <http://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/1317-informe-sismico-especial-n-13-2016>
- IGM, Instituto Geográfico Militar. (2013). *Red GNSS de Monitoreo Continuo del Ecuador – REGME*. Recuperado el 19 de marzo de 2016, de IGM, Instituto Geográfico Militar: <http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/wp-content/uploads/2013/01/RED-GNSS-DE-MONITOREO-CONTINUO-DEL-ECUADOR.pdf>
- IGM, Instituto Geográfico Militar. (2014). *Formulario Informativo de la Estación de Monitoreo Continuo EL CARMEN - ECEC*. Recuperado el 18 de marzo de 2016, de REGME: [http://www.geoportaligm.gob.ec/wordpress/?wpfb\\_dl=42](http://www.geoportaligm.gob.ec/wordpress/?wpfb_dl=42)
- IGM, Instituto Geográfico Militar. (2014). *Formulario Informativo de la Estación de Monitoreo Continuo PAJAN - PJEC*. Recuperado el 18 de marzo de 2016, de [http://www.geoportaligm.gob.ec/wordpress/?wpfb\\_dl=34](http://www.geoportaligm.gob.ec/wordpress/?wpfb_dl=34)
- IGM, Instituto Geográfico Militar. (2014). *Formulario Informativo Estación de Monitoreo Continuo GUAYAS – GUEC*. Recuperado el 18 de marzo de 2016, de [http://www.geoportaligm.gob.ec/wordpress/?wpfb\\_dl=61](http://www.geoportaligm.gob.ec/wordpress/?wpfb_dl=61)
- IGM, Instituto Geográfico Militar. (2015). *REGME, Formulario Informativo Estación de Monitoreo Continuo GUAYAS – GUEC*. Recuperado el 18 de marzo de 2016, de [http://www.geoportaligm.gob.ec/wordpress/?wpfb\\_dl=61](http://www.geoportaligm.gob.ec/wordpress/?wpfb_dl=61)

IGM, Instituto Geográfico Nacional. (2003). *¿Qué es la Geodesia?* Recuperado el 21 de julio de 2016, de <https://www.ign.es/ign/layoutIn/actividadesGeodesiaGd.do>

IGM, Instituto Geográfico Militar. (2014). *Formulario Informativo de la Estación de Monitoreo Continuo QUEVEDO -QVEC*. Recuperado el 18 de marzo de 2016, de [http://www.geoportaligm.gob.ec/wordpress/?wpfb\\_dl=11](http://www.geoportaligm.gob.ec/wordpress/?wpfb_dl=11)

INEC, Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2010). *Censo de población y vivienda 2010*. Recuperado el 10 de marzo de 2016, de <http://www.inec.gob.ec/cpv/>

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2004). *Adopción del Marco Geocéntrico Nacional de Referencia MAGNA-SIRGA, como datum oficial de Colombia*. Recuperado el 3 de Julio de 2016, de Instituto Geográfico Agustín Codazzi: <http://www.igac.gov.co/wps/wcm/connect/4b831c00469f7616afeebf923ecdf8fe/adopcion.pdf?MOD=AJPERES>

IPGH, Instituto Panamericano de Geografía e Historia. (2011). *Mapa de Ubicación cantón Sigchos*. Recuperado el 7 de septiembre de 2016, de <http://www.ipgh.gob.ec/index.php/noticias/8-noticias-seccion-nacional/100-los-sigchos-el-ultimo-refugio-de-los-incas-quitenos>

KafilGps. (s. f.). *eFixR1 - Doble Frecuencia + Colector*. Recuperado el 18 de agosto de 2016, de <http://www.kafilgps.com/new/index.php/22-productos/garmin/35-efixr1>

Kouba, J. (2003). *A guide to using International GNSS Service (IGS) products*. Recuperado el 1 de julio de 2016, de International GNSS Service: <ftp://igsb.jpl.nasa.gov/pub/resource/pubs/UsingIGSProductsVer21.pdf>.

Laboratorio De Astronomía, Geodesia y Cartografía. (2014). *SISTEMAS GNSS: Funcionamiento, Posicionamiento y Precisión*. Recuperado el 10 de marzo de 2016, de Universidad de Cádiz Andalucía: [http://lagc.uca.es/web\\_lagc/docs/curso\\_rap/Presentacion\\_II.pdf](http://lagc.uca.es/web_lagc/docs/curso_rap/Presentacion_II.pdf)

- Leick, A., Rapoport, L., & Tatarnikov, D. (2004). *GPS Satellite Surveying* (Vol. 3era Edición). New Jersey: Wiley.
- Lizarazo, S., Mora, H., & Santa, L. (2011). Análisis de tendencias de movimiento de estaciones GNSS/GPS mediante series de tiempo geodésicas en Colombia. *UD y la Geomática*, 9, 41-51.
- Machín, C. (1969). *Mareas terrestres - digital-csic Digital CSIC*. Recuperado el 1 de julio de 2016, de Digital.CSIC: [http://digital.csic.es/bitstream/10261/29180/1/N62\\_1969.pdf](http://digital.csic.es/bitstream/10261/29180/1/N62_1969.pdf)
- Marín, J. (s. f.). *Series temporales*. Recuperado el 29 de junio de 2016, de Universidad Carlos III de Madrid, Departamento de Estadística: <http://halweb.uc3m.es/esp/Personal/personas/jmmarin/esp/EDescrip/tema7.pdf>
- Mendoza, L., Kehm, A., Koppert, A., Martín Dávila, J., Gárate, J., & Becker, M. (2012). *The Lorca Earthquake observed by GPS: a Test Case for GPS Seismology*. Retrieved febrero 24, 2016, from Revistas Científicas Complutenses: <https://revistas.ucm.es/index.php/FITE/article/download/.../38563>
- Ochoa, J., & Ulcuango, F. (2014). *Estudio de la seguridad sísmica y diseño del reforzamiento estructural de una vivienda de tres pisos*. Recuperado el 8 de septiembre de 2016, de Repositorio digital Escuela Politécnica Nacional: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/7152/1/CD-5348.pdf>. estructural de una vivienda de tres pisos. Quito: Escuela Politécnica Nacional
- Ortiz, O. (2013). *Sismotectónica y peligrosidad sísmica en Ecuador*. Recuperado el 4 de marzo de 2016, de Repositorio Digital SENESCYT: <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/1221/1/T-SENESCYT-000352.pdf>
- Otero, J., & Sevilla, M. (2002). *Aplicación de un método autorregresivo al análisis de series temporales de observaciones GPS en la estación permanente de Lanzarote*. Recuperado el 14 de agosto de 2016, de Research Gate:

[https://www.researchgate.net/publication/283316487\\_Aplicacion\\_de\\_un\\_metodo\\_autorregresivo\\_al\\_analisis\\_de\\_series\\_temporales\\_de\\_observaciones\\_GPS\\_en\\_la\\_estacion\\_permanente\\_de\\_Lanzarote](https://www.researchgate.net/publication/283316487_Aplicacion_de_un_metodo_autorregresivo_al_analisis_de_series_temporales_de_observaciones_GPS_en_la_estacion_permanente_de_Lanzarote)

Paredes, M. (2013). *Procesamiento PPP de observaciones GNSS utilizando software libre RTKLIB*. Recuperado el 1 de julio de 2016, de Scribd: <https://es.scribd.com/doc/238464273/Procesamiento-Ppp-de-Observaciones-Gnss-Utilizando-Software-Libre-Rtklib>

Pedraza, A., & Tocho, C. (2011). *Efectos de mareas terrestres: observación y modelado*. Recuperado el 2 de julio de 2016, de DocSlide: <http://documents.tips/documents/la-carga-oceanica-y-su-modelado.html#>

Riesgos, S. d. (2016). *INFORME DE SITUACION N°71 – 19/05/2016 (20h30) Terremoto 7.8 - Pedernales*. Quito.

Rizos, C. (2010). *Making sense of the GNSS techniques*. Recuperado el 21 de julio de 2016, de CRCnetbase: <http://www.crcnetbase.com/doi/abs/10.1201/9781420087345-c11>

Rogozhin, E. (2013). Vicedirector del Instituto de Física de la Tierra. (B. Pávlishev, Entrevistador) Moscú.

Rothacher, M., & Mader, G. (2002). *Receiver and Satellite Antenna Phase Center Offsets and Variations Network, Data and Analysis Center Workshop 2002, Position Paper of the "Antenna Session"*. Recuperado el 28 de julio de 2016, de International GNSS Service: <http://igs.cb.jpl.nasa.gov/igs/resource/pubs/02ott/session8.pdf>

Ruano, M. (s.f.). *Cambio en el Ecuador del Sistema Referencial Geodésico PSAD-56 al WGS-84*. Recuperado el 1 de julio de 2016, de Instituto Geográfico Militar: [http://www.igm.gob.ec/work/files/sist\\_%20referencial.pdf](http://www.igm.gob.ec/work/files/sist_%20referencial.pdf)

Ruegg, J., Rudloff, A., Vigny, C., Madariaga, R., de Chabaliera, J., Campos, J., . . . Dimitrova, D. (2009). *Interseismic strain accumulation measured by GPS in the seismic gap between Constitución and Concepción in Chile*. Retrieved

julio 25, 2016, from ScienceDirect:  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031920109000399>

Russell, R. (2010). *Ventanas al Universo*. Recuperado el 15 de marzo de 2016, de [http://www.windows2universe.org/earth/geology/quake\\_1.html&lang=sp](http://www.windows2universe.org/earth/geology/quake_1.html&lang=sp)

Sanchez, L. (2013). *Instructivo para la instalación y configuración del Bernese GNSS Software V. 5.2*. DEUTSCHES GEODÄTISCHES FORSCHUNGSINSTITUT, Regional Network Associate Analysis Centre for SIRGAS. Recuperado el 25 de julio de 2016, de DEUTSCHES GEODÄTISCHES FORSCHUNGSINSTITUT, International GNSS Service: [http://www.geoportaligm.gob.ec/wordpress/?wpfb\\_dl=66](http://www.geoportaligm.gob.ec/wordpress/?wpfb_dl=66)

SIRGAS. (2015). *Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas*. Recuperado el 3 de julio de 2016, de <http://www.sirgas.org/index.php?id=64>

Tarbuck, E., & Lutgens, F. (2013). *Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física*. Recuperado el 21 de marzo de 2016, de OSOP, Innovative Geophysical Solutions: <http://www.osop.com.pa/wp-content/uploads/2014/04/TARBUCK-y-LUTGENS-Ciencias-de-la-Tierra-8va-ed.-1.pdf>

UNAVCO. (2016). *Teqc Tutorial Basics of Teqc Use and Teqc Products*. Recuperado el 26 de julio de 2016, de <http://www.unavco.org/>

USGS. (2012). *U.S Geological Survey, Earthquake Glossary - magnitude*. Recuperado el 17 de marzo de 2016, de <http://earthquake.usgs.gov/learn/glossary/?term=magnitude>

Valverde, J. (2014). *Diseño Geodésico I*. Recuperado el 10 de marzo de 2016, de SlidePlayer:  
[https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjRgMrIt9PLAhULGR4KHXIImBp4QFgg aMAA&url=https%3A%2F%2Fjfv.files.wordpress.com%2F2014%2F02%2Fprocesamiento-datos-gnss\\_general.ppsx&usg=AFQjCNGvCGTTrhauOzZkWDW-IvJKT](https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjRgMrIt9PLAhULGR4KHXIImBp4QFgg aMAA&url=https%3A%2F%2Fjfv.files.wordpress.com%2F2014%2F02%2Fprocesamiento-datos-gnss_general.ppsx&usg=AFQjCNGvCGTTrhauOzZkWDW-IvJKT)

- Villavicencio, J. (s. f.). *Introducción a las series de tiempo* . Recuperado el 19 de julio de 2016, de Instituto de Estadística de Puerto Rico: [http://www.estadisticas.pr/iepr/LinkClick.aspx?fileticket=4\\_BxecUaZmg%3D&tabid=100](http://www.estadisticas.pr/iepr/LinkClick.aspx?fileticket=4_BxecUaZmg%3D&tabid=100)
- Wang, C., Ding, X., Li, Q., Shan, X., Zhu, W., Guo, B., & Liu, P. (2015). *Coseismic and postseismic slip models of the 2011 Van earthquake, Turkey, from InSAR, offset-tracking, MAI, and GPS observations*. Retrieved marzo 10, 2016, from Journal of Geodynamics.: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jog.2015.08.006>
- Yang, S., Zhaosheng, N., Zhige, J., Huijie, C., & Maolei, P. (2011). *Co-seismic displacements of 2011 Japan Mw9.0 earthquake recorded by far-field GPS stations*. Retrieved febrero 24, 2016, from Science Direct: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S167498471530183X>
- Zumberge, J., Heflin, M., Jefferson, D., Watkins, M., & Webb, F. (1997). *Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks*. Recuperado el 21 de julio de 2016, de <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/96JB03860/pdf>