



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TITULO DE INGENIERO CIVIL

**“Determinación de dirección y velocidades de desplazamiento de la REGME con
procesamiento de datos GPS del año 2013”**

TRABAJO DE TITULACIÓN.

AUTOR: Ruiz Iñaguazo, Luis Agustín

DIRECTOR: Serrano Agila, Richard Germán PhD.

LOJA - ECUADOR

2015



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

Septiembre, 2015

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Doctor.

Richard Germán Serrano Agila.

DOCENTE DE LA TITULACIÓN.

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación denominado: "Determinación de dirección y velocidades de desplazamiento de la REGME con procesamiento de datos GPS del año 2013" realizado por Luis Agustín Ruiz Ñaguazo, ha sido orientado desde su inicio hasta su culminación, el trabajo se encuentra científica y reglamentariamente en condiciones de presentarse para la graduación del postulante.

Por lo expuesto, autorizo su presentación, disertación y defensa.

Loja, 19 de octubre de 2015.

f) Serrano Agila, Richard Germán PhD.

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo Luis Agustín Ruiz Ñaguazo declaro ser autor del presente trabajo de titulación: “Determinación de dirección y velocidades de desplazamiento de la REGME con procesamiento de datos GPS del año 2013”, siendo el PhD. Richard Germán Serrano Agila director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

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

f)

Ruiz Ñaguazo, Luis Agustín

1105659260

DEDICATORIA

Dedico la presente tesis a Dios, que me ha guiado de forma incondicional en cada paso de mi vida.

A mis padres, María y Agustín, quienes con su ejemplo, sus sabios consejos y sobre todo amor supieron guiarme y educarme en todo, a lo largo de mi formación personal y profesional.

A mis hermanas: Lorena, Mafer y Joahhna, que han estado conmigo brindándome su apoyo en cada meta propuesta.

A mis amigos, compañeros y profesores; por confiar en mí y brindarme su amistad.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Técnica Particular de Loja y todo el cuerpo docente de la Titulación de Ingeniería Civil quienes con sus conocimientos han guiado mi formación profesional con el objeto del servicio a la sociedad.

A Richard Serrano, por su paciencia y por las orientaciones recibidas en la elaboración del presente trabajo y de vida en general.

Finalmente agradezco a todas las personas que me brindaron su ayuda para la culminación del presente trabajo, a mis amigos y compañeros universitarios de quienes he recibido apoyo moral y académico, recordaré que ante todo siempre está la amistad.

INDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
RESUMEN.....	1
ABSTARCT	2
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO I: GENERALIDADES.....	5
1.1. Sistema de referencia.....	6
1.1.1. Marco de referencia.	6
1.1.1.1. Marco de Referencia Terrestre Internacional ITRF.....	6
1.1.1.2. Marco de Referencia WGS84.....	7
1.1.1.3. Marco de Referencia en América Latina.....	8
1.1.2. Sistemas de coordenadas del posicionamiento terrestre.	9
Coordenadas cartesianas y esféricas.....	9
1.2. Evolución de la geodesia satelital.....	11
1.2.1. Estaciones permanentes y no permanentes.	11
1.2.2. Redes GNSS de monitoreo continuo	13
1.3. Red REGME.	15
1.4. Series temporales.	19
1.4.1. Series temporales GPS.....	19
1.4.2. Métodos de posicionamiento:.....	20
1.5. Modelo de regresión lineal.....	22
1.5.1. Ajuste por mínimos cuadrados.....	22
1.6. Velocidades de las estaciones de monitoreo continuo.....	24
1.6.1. Deformación de placas.	24
1.6.2. Deformaciones locales (volcánicas):.....	25

1.7. Aplicaciones.....	27
1.7.1. Determinación de deformaciones corticales.....	27
1.7.2. Determinación de la tendencia y magnitud del movimiento de laderas.....	30
1.7.3. Determinación del marco de referencia.....	31
CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA	33
2.1. Análisis de datos de estaciones.....	34
2.1.1. Criterio de selección de estaciones y de información.....	35
2.1.2. Descarga de datos RINEX.....	36
2.1.3. Delimitación por falta de datos.....	38
2.1.4. Obtención de coordenadas en SIRGAS:.....	40
2.2. Procesamiento y ajuste de coordenadas.....	40
2.2.1. Métodos de posicionamiento GNSS.....	41
2.2.2. Transformación a coordenadas geodésicas.....	41
2.3. Aplicación de mínimos cuadrados a los resultados.....	43
2.3.1. Modelo de regresión lineal.....	43
2.3.2. Determinación de la desviación estándar.....	44
2.3.3. Desarrollo del método estadístico en Matlab:.....	45
2.4. Visualización de la información en mapas georeferenciados.....	46
2.4.1. Inicio del mapa.....	46
2.4.2. Representación de puntos	48
2.5. Análisis vectorial de resultados.....	50
CAPÍTULO 3. RESULTADOS.....	52
3.1. Series de tiempo de estaciones GNSS:.....	60
3.1.1. CSRS-PPP.....	60
3.1.2. SIRGAS:.....	66
3.2. Velocidades.....	68
3.3. Mapeo de resultados.....	70
CONCLUSIONES.....	75
RECOMENDACIONES.....	77

4. BIBLIOGRAFÍA.....	78
5. ANEXOS.....	79
5.1. Anexo 1: Ficha técnica estación LJEC.	80
5.2. Anexo 2: Códigos del utilitario GUI de Matlab:.....	85
5.3. Anexo 3: Series temporales diarias y resultados de velocidades:.....	100
5.4. Anexo 4: Series temporales para datos semanales y resultados:.....	114

RESUMEN DE FIGURAS.

Figura 1: Estaciones del ITRF 2008.....	7
Figura 2: Ubicación de las estaciones que definen el marco WGS84	8
Figura 3: Sistema de coordenadas esféricas y cartesianas.....	10
Figura 4: Estación Permanente LJEC-Ecuador.....	12
Figura 5: Estaciones de monitoreo continuo del Ecuador y su cobertura a 50 Km.....	15
Figura 6: Series Temporales GPS Norte, Este y Up, para la estación RIOP de sus soluciones semanales y su tendencia lineal mediante ajuste con mínimos cuadrados.	20
Figura 7: Desplazamiento de placas	24
Figura 8: Movimiento de placas por vulcanismo activo	25
Figura 9: Serie Temporal de la estación LRCA con una duración de 15 años.....	28
Figura 10: Modelo de los desplazamientos co-sísmicos horizontales.....	29
Figura 11: Mapa de vectores de desplazamiento del movimiento de laderas producido en el sector de San Pedro	30
Figura 12: Proceso de Transformación del Marco de Referencia a una época distinta.	31
Figura 13: Diagrama de Flujo de la Metodología.....	34
Figura 14: Visor GNSS de datos geodésicos de la REGME.....	37
Figura 15: Selección de Estación para la descarga de datos.	37
Figura 16: Ingreso de Datos de descarga de estaciones de la REGME.....	38
Figura 17: Dato hábil para la descarga de la estación NORE1820.15D.z	38
Figura 18: Resultado del Mapeo con GMT de estaciones de Ecuador.....	49
Figura 19: Serie Temporal Estación LJEC	60
Figura 20: Serie Temporal estación LJEC con la recta de regresión mediante mínimos cuadrados.....	61
Figura 21: Serie Temporal Estación CUEC-Cuenca.....	62
Figura 22: Series de la Estación CUEC antes y después del sesgo con la recta de regresión lineal	63
Figura 23: Series Temporales Estación PJEC ubicada en Paján	64
Figura 24: Serie Temporal de la estación PJEC con la recta de regresión lineal.....	65
Figura 25: Serie Temporal de estación LJEC con datos semanales de (SIRGAS).....	66
Figura 26: Vectores de Velocidad para datos semanales.	70
Figura 27: Resultados de los vectores de velocidad para datos diarios.	71
Figura 28: Vector de Velocidad en la islas Galápagos para datos diarios.	72
Figura 29: Vector de Velocidad en la islas Galápagos para datos semanales.....	72
Figura 30: Modelos de Velocidades VEMOS SIRGAS y VEC_EC	73
Figura 31: Modelo VEC_EC en el archipiélago de Galápagos.	74
Figura 33: Serie Temporal de datos diarios estación ALEC.	100

Figura 34: Serie Temporal de datos diarios estación CHEC.	101
Figura 35: Serie Temporal de datos diarios estación CLEC.	102
Figura 36: Serie Temporal de datos diarios estación ECEC.	103
Figura 37: Serie Temporal de datos diarios estación ESMR.	104
Figura 38: Serie Temporal de datos diarios estación GLPS.	105
Figura 39: Serie Temporal de datos diarios estación GYEC.	106
Figura 40: Serie Temporal de datos diarios estación IBEC.	107
Figura 41: Serie Temporal de datos diarios estación MHEC.	108
Figura 42: Serie Temporal de datos diarios estación NJEC.	109
Figura 43: Serie Temporal de datos diarios estación PDEC.	110
Figura 44: Serie Temporal de datos diarios estación QUEM.	111
Figura 45: Serie Temporal de datos diarios estación RIOP.	112
Figura 46: Serie Temporal de datos diarios estación SEEC.	113
Figura 47: Serie Temporal de datos semanales estación ESMR.	114
Figura 48: Serie Temporal de datos semanales estación GLPS.	115
Figura 49: Serie Temporal de datos semanales estación GYEC.	116
Figura 50: Serie Temporal de datos semanales estación MHEC.	117
Figura 51: Serie Temporal de datos semanales estación NJEC.	118
Figura 52: Serie Temporal de datos semanales estación QUEM.	119
Figura 53: Serie Temporal de datos semanales estación RIOP.	120

RESUMEN DE TABLAS:

Tabla 1: Técnicas de Procesamiento	7
Tabla 2: Estaciones SIRGAS	14
Tabla 3: Estaciones de la REGME, con su ubicación y tipo de receptor.....	16
Tabla 4: Fecha de inicio de actividades de las estaciones de la REGME.....	35
Tabla 5: Número de datos disponibles de Estaciones de la REGME 2013.....	38
Tabla 6: Calendario GPS año 2013.....	40
Tabla 7: Resumen de estaciones de la REGME hábiles para el análisis.....	59
Tabla 8: Resultados Estación CUEC.....	64
Tabla 9: Resultados estación PJEC	65
Tabla 10: Resultados estación LJEC con datos semanales.	67
Tabla 11: Resultados de velocidades de la REGME con datos diarios.....	68
Tabla 12: Resultados de velocidades de datos semanales obtenidos en SIRGAS.....	68
Tabla 13: Comparación de Velocidades con datos semanales y diarios.....	69
Tabla 14: Vectores Resultantes para estaciones con datos diarios:.....	69

RESUMEN

El cálculo de las velocidades de movimiento de la corteza terrestre permite determinar características como el cambio del marco de referencia en el tiempo; el desplazamiento de las placas tectónicas producto de sismos; las deformaciones de estructuras y estratos del suelo; entre otras aplicaciones que son de gran utilidad en las diferentes ramas de la ingeniería civil, geológica y ciencias en general. Para generar dichas velocidades es necesario contar con campañas de medición GPS continuas, debido al constante movimiento de la corteza terrestre, que no permite obtener un posicionamiento fijo en el tiempo producto de fenómenos geofísicos de la dinámica terrestre, como: movimientos tectónicos, carga atmosférica, carga oceánica, entre otros. Para el presente estudio desarrollado en Ecuador se parte de los datos de la Red GNSS de Monitoreo continuo del Ecuador (REGME) para el año 2013, que mide el posicionamiento de sus estaciones de forma permanente, lo que permite obtener mediante un análisis estadístico series de tiempo, para conseguir la velocidad y dirección de desplazamiento de las estaciones, útiles en la determinación del comportamiento de la corteza terrestre.

Palabras Clave: Series Temporales GPS, Velocidad GPS, Movimiento de la Corteza Terrestre, Geodesia, Topografía, REGME.

ABSTARCT

The estimate of the velocity of crustal movement characteristics enable to determine parameters such as the frame of reference change over time; the movement of tectonic plates earthquakes product; structures and soil strata deformations; among other applications that are useful in different branches of civil engineering and geological sciences. To generate these velocities are needed continuous GPS measurement campaigns, due to the constant movement of the earth's crust, which does not allow for a fixed time product positioning of geophysical phenomena in the Earth's dynamics, as tectonic movements, air cargo, ocean freight, among others. For the present study carried out in Ecuador start with the data of the continuous GNSS Monitoring Network Ecuador (REGME) 2013, which measures the positioning of its stations permanently, allowing obtained by statistical analysis series time to get the speed and direction of travel of the seasons, useful in determining the behavior of the Earth's crust..

Words Key: GPS Series Temporary, GPS Velocity, Terrestrial bark movement, Geodesy, Topography, REGME.

INTRODUCCIÓN

Las velocidades de desplazamiento de estaciones permanentes GPS permiten al usuario del sistema de navegación global, conservar sus levantamientos en el tiempo así como generar avance en la información por medio de los estudios investigativos de la geodesia, además de la eliminación de errores en la obtención de levantamientos; las aplicaciones del estudio de las velocidades son numerosas y generan soluciones ideales para identificar con mayor precisión el posicionamiento de los puntos en la tierra.

El análisis de las velocidades inicia con un estudio estadístico que permite determinar la dirección y velocidad de desplazamiento de la corteza terrestre en el tiempo, basado en el procesamiento de datos del posicionamiento de estaciones GPS con series temporales para generar cálculos de mayor precisión, en miras de acercarse hacia el modelo de deformación real de la corteza terrestre.

A partir de las series temporales resultantes del análisis se realiza la elección del modelo estadístico apropiado para la obtención de la velocidad. En el caso del movimiento de la corteza se utiliza el modelo de regresión lineal; estos parámetros forman parte de los objetivos del presente estudio además del uso de herramientas informáticas de cálculo con el fin de llevar procesos eficientes.

En el presente trabajo se han desarrollado los procedimientos en base al análisis de la red GNSS de Monitoreo Continuo del Ecuador (REGME) que está distribuida homogéneamente en las diferentes provincias del Ecuador, los datos para el análisis se obtiene del portal de la institución (http://www.geoportaligm.gob.ec/visor_regme/) que para el presente trabajo se han considerado los datos del año 2013 tanto para datos diarios suministrados por el IGM, como para el caso de las soluciones semanales que se obtienen del Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS, www.sirgas.org).

El presente trabajo consta de cuatro capítulos, en el capítulo primero se presenta la fundamentación teórica necesaria para poseer un conocimiento adecuado en el desarrollo del análisis de las velocidades de desplazamiento de las estaciones permanentes de la REGME, además se describen algunas de las aplicaciones que se generan a partir de este estudio de velocidades y series de tiempo GPS como el caso de la generación de un marco de referencia estable en el tiempo, movimiento de laderas, obtención de las deformaciones corticales, entre otros.

En el capítulo dos se presenta la metodología realizada para la obtención de las velocidades y mapeo de los vectores resultantes, aquí se hace referencia desde la obtención de posiciones para los diferentes datos, semanales en SIRGAS y los diarios del IGM, y la

delimitación de la REGME conformada por 43 estaciones que luego de la reducción se realiza el análisis para 17 estaciones; luego el proceso de transformación de coordenadas diarias al ITRF2008 (IGS08) mediante procesamiento PPP (<http://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php>) de los datos de cada estación en formato RINEX. Luego se realiza el estudio estadístico preliminar que se produce con la observación de las series de tiempo para los parámetros Up, Norte y Este, en búsqueda de errores groseros (outliers). Con las series analizadas se efectúa el modelo de regresión con mínimos cuadrados para obtener la pendiente de la línea distancia-tiempo que es la recta ajustada al modelo lineal, este parámetro representa la velocidad, la incertidumbre de los datos usados es el valor de la desviación estándar de la gráfica. Definidos los datos de las velocidades el siguiente paso consiste en obtener a elaborar la gráfica con las magnitudes y dirección del vector N-E (resultante de las posiciones este y norte), con el fin de definir el comportamiento de la observación del conjunto de estaciones.

En el capítulo tres se presentan los resultados obtenidos tras el desarrollo de la metodología que consta de la gráfica de las series temporales que se presenta para las estaciones de Loja (LJEC), Paján (PJEC) y Cuenca (CUEC) para los datos diarios, mientras que para los datos semanales se presenta la estación LJEC en las que se resume el procedimiento que se realiza para toda la red en estudio. El desarrollo del cálculo de las velocidades se ha realizado un utilitario GUI de Matlab donde se introducen los pasos metodológicos para así presentar los datos cualitativos de las velocidades, a continuación se muestra la comparación del vector resultante entre los datos diarios y los datos semanales. En parte gráfica de las velocidades en el mapa del Ecuador se obtienen con el software Generic Mapping Tools (GMT) y se proponen las gráficas de los vectores de velocidad para el posicionamiento diarios y semanal además con el objeto de comparar los resultados obtenidos se presenta como referencia los modelos de velocidades VEMOS2009 propuesto por Drewes y VEC_EC por Cisneros, dichos estudios han sido realizados en periodos de 15 años. El capítulo cuatro contiene las conclusiones y recomendaciones para futuras investigaciones.

La parte primordial del cálculo de las velocidades es el sinnúmero de aplicaciones que genera el análisis de los campos de velocidades y la transcendencia hacia el uso en levantamientos topográficos que se genera en cada uno de los proyectos en el campo de la Ingeniería Civil.

1

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1. Sistema de referencia

Es la parametrización de las diferentes hipótesis, teorías, coeficientes, constantes, etc., que permiten posicionar un conjunto de puntos de acuerdo a un origen y con una orientación establecidas.

1.1.1. Marco de referencia.

Es la base para tomar el sistema de referencia convencional; el marco de referencia está conformado por un conjunto de puntos fijos definidos, que permiten determinar el posicionamiento en tiempo real, así como obtener las variaciones de las coordenadas en los levantamientos debido a sus cambios en cada uno de sus ejes, producidos por los desplazamientos episódicos, movimientos de placas, movimiento de polos, etc.

1.1.1.1. Marco de Referencia Terrestre Internacional ITRF.

El ITRF es el marco de referencia más usado en la actualidad por sus constantes actualizaciones, toma forma por un conjunto de estaciones fijas ubicadas a lo largo de todo el mundo, es establecido y mantenido por la International Earth Rotation Service (IERS, www.iers.org/), su marco se ha actualizado de acuerdo con el tiempo con respecto a las nuevas investigaciones y, en la actualidad se mantiene el marco ITRF2008.

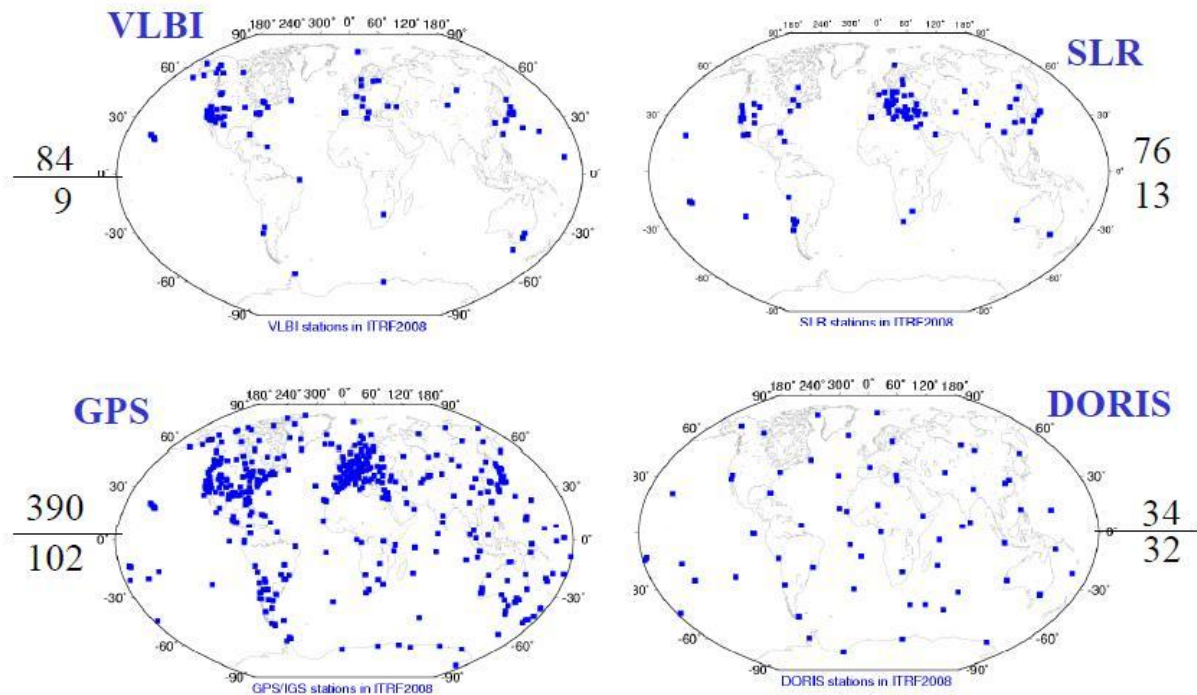
Según FURONES, (2011) el sistema que lo materializa “se define como geocéntrico (incluyendo la atmósfera y los océanos), la base para la escala la constituye el metro (en el Sistema Internacional) y con orientación de sus ejes tal como estableció la BIH en 1984:

- *Eje Z: Polo medio determinado por la IERS y llamado IERS Reference Pole (IRP) o Convencional Terrestrial Pole (CTP).*
- *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.”*

El sistema ha experimentado constantes evoluciones a partir de 1984 así para el 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 96, 97, 2000, 2005 y 2008; su variación se basa directamente en la incorporación de nuevas estaciones y la constante mejora en la precisión de medición y procesamiento acorde a los constantes avances científicos en la materia.

Las estaciones que lo conforman se encuentran distribuidas alrededor de la tierra y divididas de acuerdo a diferentes técnicas espaciales utilizadas en su medición, conforme a la siguiente figura:

Figura 1: Estaciones del ITRF 2008



Fuente: (ALTAMIMI, 2010)

El ITRF2008 toma los procedimientos utilizados en el ITRF 2005 y como parámetro diferente toma las soluciones completamente reprocesadas por cuatro técnicas de acuerdo a la siguiente descripción:

Tabla 1: Técnicas de Procesamiento

TC – AC	Periodo	Tipo de constreñimiento/Solución
IVS(VLBI)	1980.0 - 2009.0	Ninguna; Ecuación Normal
ILRS(LSR)	1983.0 - 2009.0	Libre; Varianza-Covarianza
IGS(GNSS)	1997.0 - 2009.5	Mínima; Varianza-Covarianza
IDS(DORIS)	1993.0 - 2009.0	Mínima; Varianza-Covarianza

Fuente: (IGN, 2014)

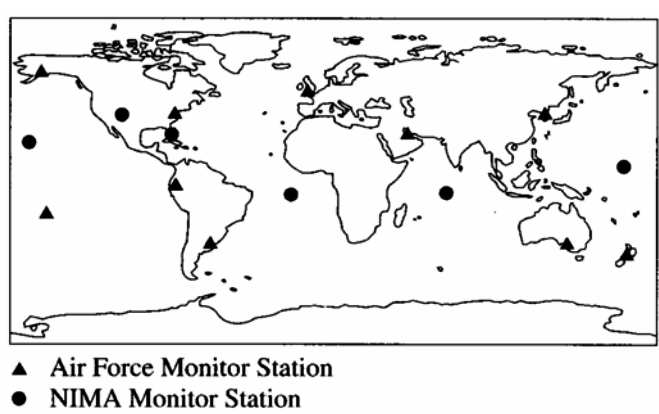
Elaboración: Agustín Ruiz

1.1.1.2. Marco de Referencia WGS84

El marco de referencia WGS84 es adoptado por la U.S. Defense Mapping Agency (DMA, www.dma.org.uk), y se forma para refinar 5 de las estaciones que pertenecen al marco del sistema Global Positional System-GPS como un subproducto del marco ITRF90 que es el de

mayor precisión. La primera versión se realizó el 2 de enero de 1994, más adelante es configurado para refinar 12 estaciones del ITRF94 y cambia de administrador por la U.S. National Imagery and Mapping Agency (NIMA, egsc.usgs.gov/nimamaps/) que sustituye a la U.S. Defense Mapping Agency. En la actualidad las estaciones base del sistema GPS han cambiado a 16 y para alinear se toman 49 estaciones de ITRF; en la figura 2 se puede observar la ubicación de las estaciones que definen el marco GPS (FURONES, 2011).

Figura 2: Ubicación de las estaciones que definen el marco WGS84



Fuente: (FURONES, 2011)

1.1.1.3. Marco de Referencia en América Latina.

En América del Sur y el Caribe se ha producido un gran avance en la geodesia satelital con la implementación de varios países al aporte internacional en el fortalecimiento del Marco de Referencia Internacional mediante la densificación de sus redes GNSS locales, la entidad encargada de este análisis es el Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas en sus siglas SIRGAS, quien dirige las actividades necesarias para obtener la actualización del sistema de referencia en América latina con la recolección de datos de las estaciones que la aportan en varios países que se describen más adelante.

De sus registros de datos en el Sur de América y el Caribe SIRGAS implementa un Marco de Referencia que en la actualidad presenta sus resultados en el SIGAS2001 lo que realiza es un análisis del Marco ITRF con el fin de corregir errores locales producidos por diferentes características propias del lugar de estudio, sus resultados se los puede encontrar de forma gratuita en su página web (www.sirgas.org), a parte del gran aporte de SIRGAS en implementación del ITRF se encuentra el aporte local por parte de Argentina con su sistema POSGAR y México quienes cuentan con redes densificadas y un análisis local de sus fenómenos terrestres, todos los países pertenecientes a SIRGAS están en constante actualización para fortalecer la georreferenciación local e internacional.

Actualmente el Ecuador no posee un marco de referencia local, sin embargo Instituto Geográfico Militar (IGM), frente a esta necesidad trabaja en su creación a través de modelos que se envían para actualización del marco de referencia internacional (ITRF). Los estudios realizados permiten aumentar la precisión del posicionamiento, así como llevar un continuo monitoreo del comportamiento de la corteza terrestre.

Al encontrarse en el cinturón de fuego del Pacífico (placas de Nazca y Sudamericana) y por las características volcánicas de la Cordillera de los Andes, el Ecuador genera una gran inversión en la densificación de la red con la implementación de estaciones permanentes GNSS que realizan el monitoreo de los fenómenos geofísicos locales.

1.1.2. Sistemas de coordenadas del posicionamiento terrestre.

El sistema de coordenadas permite parametrizar la posición de puntos, en el caso del posicionamiento terrestre se conforma por ejes fijos que intersecan en un punto común denominado origen y giran conforme lo hace la tierra. Existen varios sistemas de coordenadas terrestres que nacen a partir de las formas de medir y posicionar puntos en la navegación, el sistema cartesiano está conformado por tres ejes dimensionales X, Y, Z, y el geocéntrico por dos planos, el de meridiano que determina el eje de rotación y el ecuatorial que es perpendicular al eje rotacional. Existen otras formas de posicionar los puntos en la tierra que cambian conforme a la concepción de la forma de la tierra, por lo que cada sistema hace referencia a la evolución de la forma con la que se concibe la tierra en el tiempo, en la actualidad se tiene como referencia un geoide, lo que indica que la tierra es deforme en toda su extensión.

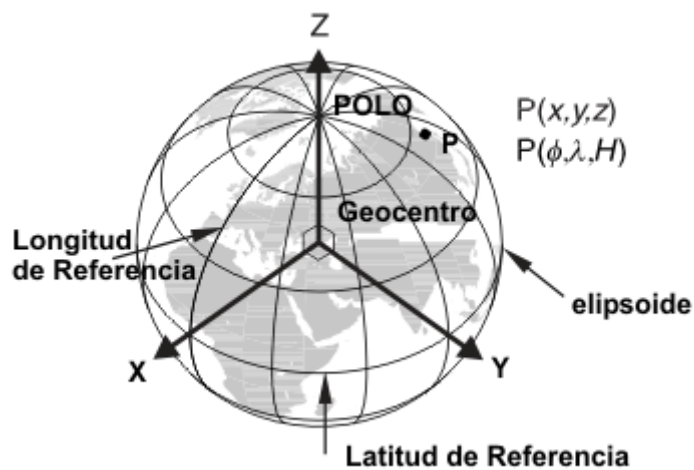
Para MILLER, (2014) el geoide está definido como “la superficie actual que coincide con el nivel del mar (ignorando las mareas y otros efectos dinámicos en el mar)”, donde la superficie actual determina a la masa deforme en la que se constituye la corteza terrestre, para su determinación se usan artificios geofísicos con el uso de las leyes gravitacionales propuestas por Newton.

Coordenadas cartesianas y esféricas.

Es aquel sistema que se representa en tres ejes de coordenadas definidos (X, Y, Z), en los cuales se ubican los puntos del marco de referencia y que tienen como geocentro el núcleo de la tierra. El sistema de coordenadas geocéntricas se basa en dos planos, el meridiano de Greenwich y el plano del Ecuador y se parametrizan por ángulos a partir de estos planos y la distancia radial del geocentro al punto de medición. Las coordenadas geocéntricas se conforman de los siguientes parámetros:

- a) **Latitud ϕ** , ángulo que forma el plano ecuatorial con la perpendicular al elipsoide desde un punto dado. Se toma positiva hacia el norte,
- b) **Longitud λ** , ángulo que forma el plano meridiano de un punto dado. Se toma positiva hacia el Este,
- c) **Altura r** , distancia a un punto desde el elipsoide medida a lo largo de la normal al elipsoide por este punto, positiva si es ascendente o el punto está fuera del elipsoide.

Figura 3: Sistema de coordenadas esféricas y cartesianas



Fuente: (Universidad Nacional de Colombia, 2014)

1.2. Evolución de la geodesia satelital.

Los constantes avances tecnológicos junto con los diferentes estudios científico-técnicos que se mantienen a la vanguardia con cada avance de telecomunicaciones e informática, ha determinado que la georreferenciación sea un instrumento que permita a profesionales de las diferentes ramas llevar a cabo levantamientos con alta precisión. Cada centro dedicado al estudio de las ciencias geodésicas realiza constantes actualizaciones a los sistemas de referencia de modo que la obtención de puntos sea cada vez más precisa y determinen un proceso ágil para el usuario.

La obtención de coordenadas se realiza mediante un proceso que parte de la medición con un receptor GNSS el mismo que recepta la información de los satélites (GPS, GLONAS), pero si se desean coordenadas con precisión en el espacio y el tiempo se vuelve necesario incluir en nuestro proceso de medición la corrección mediante el sistema de referencia que se encuentre más actualizado. Para MATEO, (2011), la superficie terrestre “se encuentra en constante cambio, producto de diferentes efectos geofísicos como son los movimientos tectónicos, la carga atmosférica, hidrológica y oceánica, el rebote post-glacial, etc”.

La superficie terrestre se encuentra en constante movimiento debido a fenómenos físicos que tienen influencia directa en su comportamiento, entonces para determinar un marco de referencia único y continuo en el tiempo, y debido a que se trabaja con una superficie que se encuentra en constante movimiento esta debe ser ajustada mediante el uso de la red de estaciones con la parametrización de su coordenada y velocidad de movimiento.

1.2.1. Estaciones permanentes y no permanentes.

En los puntos anteriores se ha mencionado que para la materialización del sistema de referencia es necesario contar con un conjunto de estaciones permanentes bien distribuidas a lo largo y ancho de la zona de estudio. Una estación permanente es un punto estático en el espacio en el cual se instala un receptor GNSS que se encuentra en operación las 24 horas del día los 7 días de la semana, a excepción de periodos de falla o de mantenimiento, y receptan información con un intervalo de registro estándar.

Los receptores GNSS por lo general son dispositivos de la más alta tecnología y para un funcionamiento automático en la descarga de datos, recolecta observaciones constantemente, verifica la calidad de datos con los estándares, transforma las observaciones a un formato convencional, que es administrado por un centro de estudios.

Figura 4: Estación Permanente LJEC-Ecuador



Fuente: (FÁREZ, 2010)

Las estaciones permanentes cumplen tres funciones de carácter científico: proveer de datos para estudiar los movimientos de la corteza terrestre y retardo ionosférico en su zona de influencia; servir como marco de referencia de orden cero y ofrece un servicio a los usuarios de la tecnología GPS para que puedan operar con un solo receptor de frecuencia única.

Para WOLF & GHILANI, (2010) los elementos necesarios en la instalación una estación permanente son:

- “Receptor y antena GPS geodésicos
- PC para almacenar y administrar la información
- Programas de automatización
- Conexión a Internet.
- Fuente interrumpible de energía (UPS).”

En la ubicación de las estaciones permanentes se debe tomar en cuenta que se coloque en un sitio estable que no tenga movimientos en su terreno que determinen variaciones en la

precisión al momento de llevar la medición de los datos, para FARCO S., (2006) “preferentemente la marca debe ser colocada en afloramientos rocosos muy estables y sin fracturas tratando de garantizar, en lo posible, que no haya influencias locales en los datos”

Las estaciones no permanentes son un conjunto de puntos ubicados en la densificación de las estaciones permanentes, son por lo general puntos fijos en el espacio ubicados mediante placas de cobre en sectores estratégicos con el fin de llevar cabo diferentes investigaciones y trabajos de tipo catastral, topográfico, etc.; estas estaciones también pueden ser transitorias en campañas de estudio de movimientos, de tránsito, con fines estructurales, etc.

1.2.2. Redes GNSS de monitoreo continuo

La parte de mayor importancia dentro del marco de referencia es su densificación y buena distribución de estaciones permanentes con el fin de obtener una excelente cobertura en el análisis de los fenómenos físicos que se producen en la tierra. Es importante que cada país cuente con una red propia para la determinación de correctos levantamientos de diferente índole y de esta forma determinar un marco de carácter nacional, regional e internacional de modo que las mediciones de carácter geodésico cuenten con la precisión adecuada en el estudio y puesta en marcha de diversos proyectos.

Las redes GNSS permiten el monitoreo continuo con sus estaciones permanentes, aunque se pueden extender con estaciones no permanentes cuando se requieren estudios en puntos específicos; en la obtención de una red que tenga un correcto funcionamiento es necesario concentrar su diseño de modo que se consiga una buena distribución en su posicionamiento y con la red se obtenga una cobertura que en lo posible alcance el 100% del área en análisis; al hablar de redes GNSS se indica que determinan medidas de dos conjuntos satelitales el GPS y GLONAS.

De acuerdo al trabajo realizado por el Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas se requiere de redes de monitoreo locales de amplia cobertura que ayuden a densificar las redes internacionales como es el caso de SIRGAS2000 que es una red que se establece para Latinoamérica y el Caribe y los países que la aportan son los que se presentan en la tabla 2, según SIRGAS, (2015), la red SIRGAS-CON está formada por: “Una red de cobertura continental (SIRGAS-C), densificación primaria del ITRF en Latinoamérica, (...), Redes nacionales de referencia (SIRGAS-N), que densifican la red continental y proveen acceso al marco de referencia a nivel nacional y local”.

Tabla 2: Estaciones SIRGAS

País	Red nacional de referencia		Estaciones incluidas en SIRGAS
	Nombre	Marco	
Argentina	POSGAR07: Posiciones geodésicas argentinas 2007	ITRF2005, época 2006.6	178
	CON*: RAMSAC: Red argentina de monitoreo satelital continuo		42
Bolivia	MARGEN: Marco Geodésico Nacional	SIRGAS95, época 1995.4	125
	CON*: Red de estaciones GPS continuas		6
Brasil	SIRGAS2000	SIRGAS2000, época 2000.4	1903
	CON*: RBMC: Red brasileira de monitoreo continuo		112
Chile	SIRGAS-CHILE	SIRGAS2000, época 2002.0	269
	CON*: Red de estaciones activas fijas		12
Colombia	MAGNA-SIRGAS: Marco geocéntrico nacional de referencia	SIRGAS95, época 1995.4	70
	CON*: MAGNA-ECO: MAGNA estaciones continuas		47
Costa Rica	CR05: Sistema de referencia Costa Rica 2005	ITRF2000, época 2005.8	-
	CON*: Red de estaciones GNSS continuas		11
Ecuador	Red básica GPS	SIRGAS95, época 1995.4	135
	CON*: REGME: Red GNSS de monitoreo continuo de Ecuador		32
El Salvador	SIRGAS-ES2007: Red geodésica básica nacional de El Salvador	SIRGAS, época 2007.8	34
	CON*: Estaciones GPS permanentes		1
Guyana Francesa	RGFG: Réseau Géodésique Français de Guyane	ITRF93, época 1995.0	7
			1
Guatemala	CON*: CORS: Red de estaciones de referencia de operación continua	SIRGAS	15
México	RGNP: Red geodésica nacional pasiva	ITRF2008, época 2010.0	
	CON*: RGNA: Red geodésica nacional activa		19
Panamá	Marco Geodésico Nacional	SIRGAS2000, época 2000.0	17
	CON*: Estaciones GPS permanentes		4
Perú	PERU96: Sistema Geodésico Nacional	SIRGAS95, época 1995.4	47
	CON*: Estaciones de rastreo permanente		3
Uruguay	SIRGAS-ROU98	SIRGAS95, época 1995.4	17
	CON*: REGNA-ROU: Red geodésica nacional activa		9
Venezuela	SIRGAS-REGVEN: Red geocéntrica venezolana	SIRGAS95, época 1995.4	156
	CON*: REMOS: Red de estaciones de monitoreo satelital GPS		3

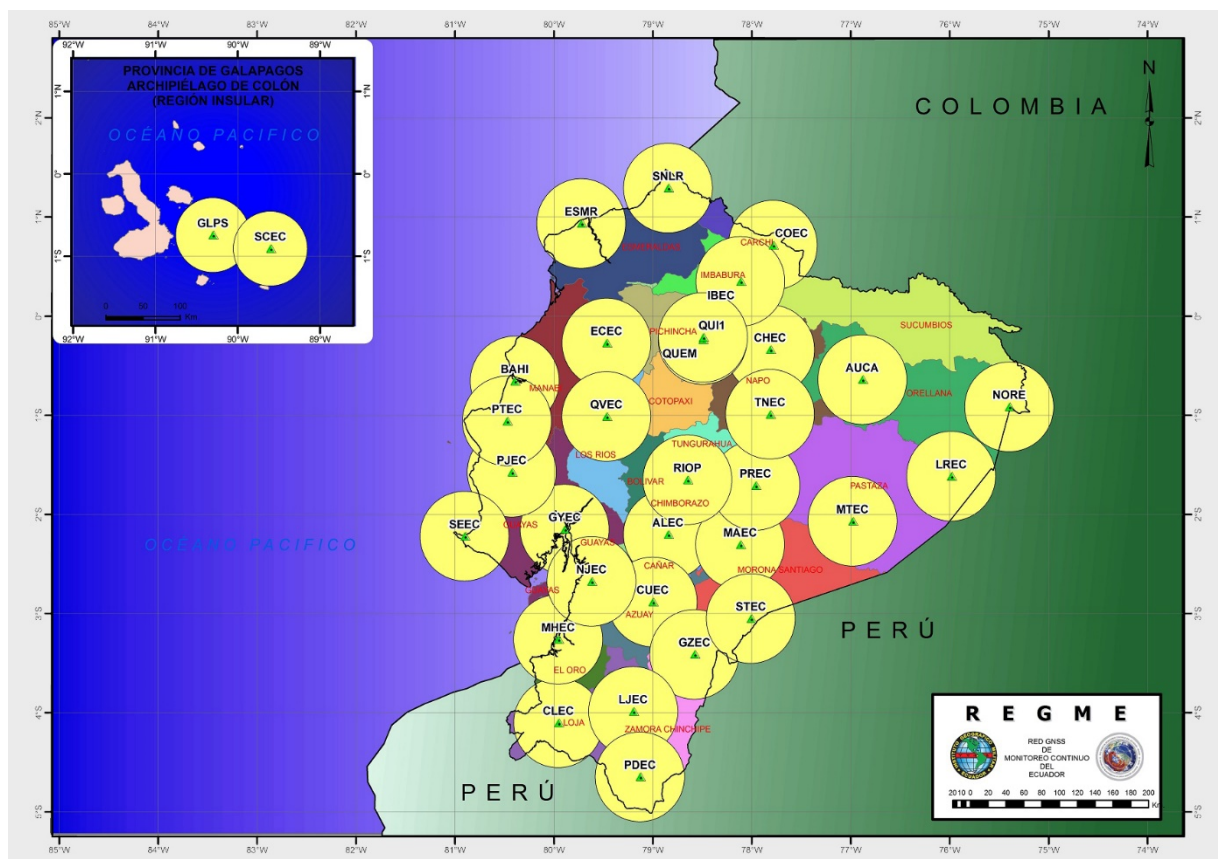
*CON: Estaciones de operación continua

Fuente y Elaboración: (SIRGAS, 2015)

1.3. Red REGME.

La Red GNSS de Monitoreo Continuo del Ecuador (REGME), nace con la necesidad de determinar un marco de referencia actualizado de acuerdo las diferentes aplicaciones geodésicas e ingenieriles y de acuerdo a las técnicas de posicionamiento actuales; la red consta de un conjunto de estaciones que reciben información de los diferentes sistemas de navegación global GPS y GLONAS y se enlazan con la Red Nacional GPS del Ecuador (RENAGE) y la red continental SIRGAS. La red cuenta al momento con una cobertura del 95% de la superficie del país y sus receptores mantienen un funcionamiento continuo exceptuando el caso de averías y mantenimiento. La institución que dirige las actividades encaminadas al estudio de la corteza terrestre y cartografía en el Ecuador es el Instituto Geográfico Militar (IGM).

Figura 5: Estaciones de monitoreo continuo del Ecuador y su cobertura a 50 Km



Fuente: (IGM, 2015)

La red en la actualidad cuenta con 43 estaciones ubicadas bajo un diseño que permite una buena cobertura de todo el territorio ecuatoriano lo que incluye el Archipiélago de Galápagos, de sus estaciones el 70% permite la medición GNSS (GPS+GLONAS). Las

estaciones operan las 24 horas del día, los 7 días de la semana y los 365 días del año, estas proporcionan los datos necesarios para mantener actualizado el marco SIRGAS2000 con el que actualmente trabaja y el cálculo de velocidades en las posiciones X, Y, Z. En la actualidad es necesario contar con el tiempo como un parámetro de los levantamientos y de esta manera con las velocidades proporcionadas por el IGM para contar con posicionamiento de alta precisión.

Tabla 3: Estaciones de la REGME, con su ubicación y tipo de receptor.

ESTACIÓN	NOMBRE	LUGAR	RECEPTOR
ABEC	AMBATO	Terraza del edificio del GADM de Ambato. Av. Atahualpa y Papallacta	TRIMBLE NETR5
ALEC	ALAUSI	Terraza del edificio del GADM de Alausí, Av. 5 de junio y Ricaurte.	TRIMBLE NETR9
AUCA	BABAHOYO	Aproximadamente 25 m del centro de la pista del campamento AUCA	TRIMBLE NETRS
CHEC	EL CHACO	Terraza del edificio de Gestión Ambiental del Municipio, Calles Quito y los Guabos	TRIMBLE NETR9
CLEC	CELICA	Terraza del GADM de Célica	TRIMBLE NETR9
COEC	TULCAN	Cueva de Osos, en Tulcán, provincia del Carchi.	TRIMBLE NETR9
CUEC	CUENCA	ETAPA (nodo C1), en la Av. Cumandá y Abelardo J. Andrade,	TRIMBLE NETR9
CXEC	COTOPAXI	Terraza del Edificio del GADM de Cotopaxi	TRIMBLE NETR9
ECEC	EL CARMEN	Av. Chone y Libertad, techo del edificio del GADM del Carmen	TRIMBLE NETR9
EPEC	EPEC	Escuela Politécnica del Ejército. Av. Gral. Rumiñahui s/n.	TRIMBLE NETR9
EREC	EERSA RIOBAMBA	García Moreno, entre 10 de Agosto y Primera Constituyente.	TRIMBLE NETR9
ESMR	ESMERALDAS	terminal de OCP, a unos 5 Km del mar y a 15 Km. de la ciudad de Esmeraldas	TRIMBLE NETRS
FOEC	FRANSISCO DE ORELLANA	Av. 9 de Octubre y Miguel Gamboa esquina, terrazza del edificio de medio ambiente.	TRIMBLE NETR9
GLPS	GALAPAGOS	Parque Nacional Galápagos	ASHTECH UZ - 12
GUEC	GUAYAQUIL	25 DE Julio vía puerto Marítimo, Base Naval Sur.	TRIMBLE NETR9
GYEC	GUAYAQUIL	Avenida Guillermo Pareja Rolando No. 402, Manzana 90, Solar 10.	TRIMBLE NETR9

GZEC	GUALAQUIZA	Terraza del GADM de Gualaquiza calles 24 de Mayo y Cuenca.	TRIMBLE NETR9
IBEC	IBARRA	Edificio del Patronato del Consejo Provincial de Imbabura.	TRIMBLE NETR9
LJEC	LOJA	Universidad Técnica Particular de Loja edificio UGTI	TRIMBLE NETR9
LPEC	LAS PEÑAS	La terraza de la hostería María José, GADM Eloy Alfaro.	TRIMBLE NETR9
LREC	LOROCACHI	Batallón de Selva No.48 "Sangay"	LEICA GRX1200GG
MAEC	MACAS	Tercer piso del edificio principal del Gobierno Provincial de Morona Santiago	TRIMBLE NETR9
MHEC	MACHALA	Terraza del GADM del Oro	TRIMBLE NETR9
MTEC	MONTALVO	Batallón de Selva No. 49 "Capitán Chiriboga".	LEICA GRX1200GG
NJEC	NARANJAL	Frente al edificio del GADM del Naranjal.	TRIMBLE NETR9
NORE	NUEVO ROCAFUERTE	Hospital Franklin Tello, al margen del rio Napo	TRIMBLE NETRS
ONEC	CHONE	Universidad Laica Eloy Alfaro, edificio de la facultad de Electrónica.	TRIMBLE NETR9
OREC	EL ORO	Colegio Militar COMIL 3, "Héroes del 41".	TRIMBLE NETR9
PDEC	PALANDA	Loja y 24 de Mayo, bodegas del GADM de Palanda	TRIMBLE NETR9
PEEC	PEDEMALES	Terraza del GADM de Pedernales	TRIMBLE NETR9
PJEC	PAJAN	Rocafuerte y 5 de junio, GADM de Pajan	TRIMBLE NETR9
PREC	PALORA	1ro de Mayo y Sangay Casa de la Cultura	TRIMBLE NETR9
PTEC	PORTOVIEJO	COMIL No.7 Gral. Miguel Iturralde, en la Avenida Chone y Olímpica,	TRIMBLE NETR9
QUEM	PUENGASI	EMAAP, Puengasí, en la ciudad de Quito,	TRIMBLE NETRS
QUI1	QUITO	Edificio del IGM en la ciudad de Quito	ASHTech Z – XII3
QVEC	QUEVEDO	Universidad Técnica Estatal de Quevedo	TRIMBLE NETR9
RIOP	RIOBAMBA	Aeropuerto de la Brigada de Caballería Blindada No. 11 "Galápagos".	TRIMBLE NETRS
SCEC	SAN CRISTOBAL	Puerto Baquerizo Moreno (Isla San Cristóbal), en la Base Naval de la Armada	TRIMBLE NETR9
SEEC	SANTA ELENA	400 m del mareógrafo de La Libertad, provincia de Santa Elena	TRIMBLE NETR9

SIEC	SANTA ISABEL	Av. 3 de Noviembre y 24 de Mayo, GADM Santa Isabel	TRIMBLE NETR9
SNLR	SAN LORENZO	Armada de la Ciudad de San Lorenzo	TRIMBLE NETRS
STEC	SANTIAGO	Batallón de selva No. 61 "Santiago".	LEICA GRX1200GGPRO
TNEC	TENA	Concejo Provincial de Tena	TRIMBLE NETRS

Fuente: (IGM, 2015)

Elaboración: Agustín Ruiz

La red de monitoreo continuo del Ecuador REGME, está en continua evolución de acuerdo a los avances científico-tecnológicos en la materia con el fin de ofrecer a los usuarios del sistema la precisión necesaria en cada tipo de levantamiento, es así que actualmente casi todo su sistema se encuentra conformado por receptores GNSS que toman los sistemas de navegación satelital GPS y GLONAS que próximamente se unirá al sistema GALILEO, las estaciones que conforman la red así como su ubicación específica se puede observar en la tabla 3.

De acuerdo con el IGM, (2015) "la importancia de la REGME radica en la medición continua de puntos en el territorio nacional, que permite registrar y analizar el desplazamiento que éstos han sufrido en el transcurso del tiempo, debido a movimientos geodinámicos (sismo – tectónico – volcánicos)", por los constantes movimientos y mucho más por cuanto el país se encuentra ubicado en un lugar de placas tectónicas de constante movimiento sísmico se necesita determinar las velocidades y con esto llevar a cabo levantamientos con una mejor precisión.

1.4. Series temporales.

Las series de tiempo se realizan a partir de datos que presentan periodicidad y se pueden medir en diferentes tiempos equidistantes. En la representación gráfica se considera el eje de las abscisas el tiempo y en el de las ordenadas la variable en estudio, las principales características de una serie temporal son: la estacionalidad, la tendencia, el ciclo, el ruido, etc.; determinar los parámetros antes descritos permite determinar el comportamiento de la serie temporal.

La tendencia de una serie temporal indica el comportamiento de sus valores en el tiempo así como la forma, la estacionalidad y los ciclos de esta indican que existen periodos de tiempo que tienen comportamientos repetitivos. El ruido señala valores que son ajenos a la serie considerados como valores discordantes, existen otros parámetros que pueden definir la serie pero estos dependerán del tipo de datos presentes en el análisis.

Las series temporales se clasifican en discretas cuando es continua dependiendo de las observaciones, en determinísticas cuando es posible predecir valores; en estocásticas cuando el futuro se puede determinar de forma parcial por lo que se considera la serie como aleatoria, los objetivos principales de un análisis de series temporales es obtener su descripción mediante el gráfico de la misma y la predicción de comportamientos (MARIN, 2004).

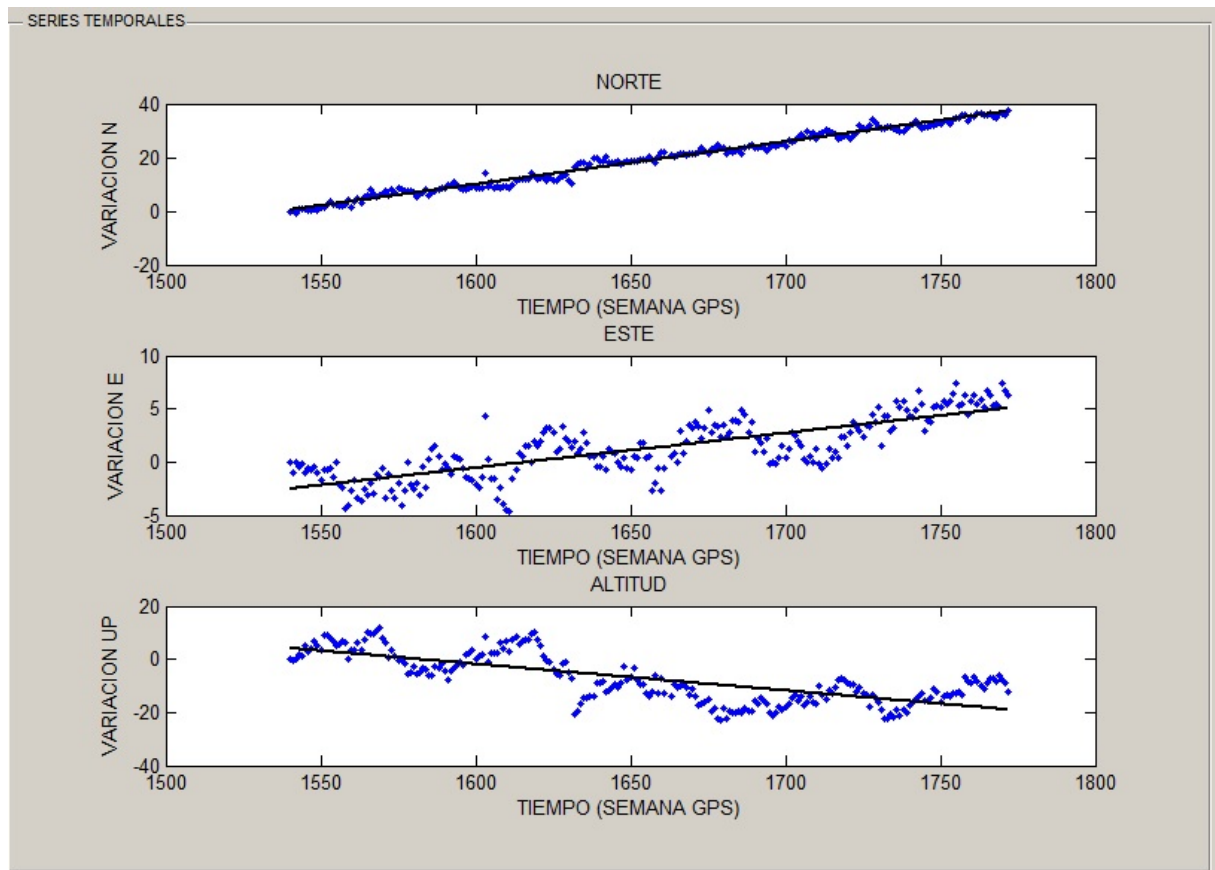
1.4.1. Series temporales GPS.

La serie temporal GPS es aquella que se realiza a partir de datos de coordenadas de estaciones permanentes o no permanentes para determinar diversas características. En el desarrollo de las series GPS es necesario contar con campañas de medidas de una gran cantidad de datos por lo que en este tipo de serie el análisis de datos futuros depende directamente de las mediciones realizadas. Para las series GPS se pueden determinar predicciones pero con un alto grado de incertidumbre, por su comportamiento que no es cíclico y depende de muchos parámetros como el nivel mar, gravedad, ubicación; entre otros.

Las series temporales GPS son estocásticas estacionarias debido al comportamiento aleatorio y las repeticiones en el tiempo respectivamente, aunque la periodicidad depende directamente del lugar de análisis puesto que en sectores sísmicos o volcánicos cambia el comportamiento de la serie por los movimientos producidos por los fenómenos antes señalados.

Existen muchos modelos que permiten determinar las características estadísticas de las series temporales, su análisis dependerá de los parámetros que definen la serie entre los que están la estacionalidad, tendencia, etc. Para el caso del uso de las series en el cálculo de las velocidades de las estaciones GPS el modelo más conveniente es el de regresión lineal, por cuanto permite determinar la pendiente de la recta por el método de mínimos cuadrados, que es la tendencia del movimiento de la estación. Este ajuste no es suficiente en sectores con movimientos tectónicos altos o volcánicos pues que su comportamiento cambia y para su análisis es necesario recurrir a otros modelos que determinen el comportamiento de dichas series.

Figura 6: Series Temporales GPS Norte, Este y Up, para la estación RIOP de sus soluciones semanales y su tendencia lineal mediante ajuste con mínimos cuadrados.



Fuente: Agustín Ruiz

1.4.2. Métodos de posicionamiento:

Existen tres métodos para obtener el posicionamiento GNSS de puntos y según RODRÍGUEZ, CIAMPAGNA, e IVARS, (2013), se describen de la siguiente forma:

- 1) *“El Posicionamiento Puntual Absoluto, que es la solución de los navegadores y dónde la posición se determina utilizando la medición con código junto al mensaje de navegación transmitido con un solo receptor. Los*

errores del satélite, medio de propagación de la señal y del receptor son corregidos marginalmente, por lo tanto la exactitud de la solución es a nivel de varios metros, típicamente 5 metros en planimetría y 10 metros en altura.

- 2) El Posicionamiento Relativo o Diferencial, que hace uso de mediciones simultáneas a los mismos satélites, con la finalidad de cancelar los errores orbitales, de los relojes de los satélites y del medio de propagación de la señal (tropósfera + ionósfera), a través de (básicamente) una doble diferencia satélite-receptor. Este método permite calcular una diferencia entre dos posiciones con una exactitud a nivel de mm./cm., por lo que requiere que una de ellas sea conocida a través de un marco de referencia, para aplicar el incremento de coordenadas (delta X, delta Y, delta Z) y así obtener la posición de los nuevos puntos.*
- 3) El Posicionamiento Puntual Preciso que emplea datos de medición con fase no diferenciados, es decir provenientes de un solo receptor de tipo geodésico, más datos de corrección de los errores en los relojes de los satélites y órbitas precisas, junto a un esquema de modelamiento adicional de errores, con la finalidad de obtener una solución con una exactitud a nivel de cm./dm.. En este caso los “puntos fijos” pasan a ser directamente los satélites.”*

De acuerdo con la descripción se observa que en el posicionamiento existe un análisis que avanza conforme al tiempo, en la actualidad es muy usado el posicionamiento diferencial, con el cual se determina con mayor precisión los levantamientos. Esta investigación busca el posicionamiento perenne en el tiempo por lo que el procesamiento es el ppp se elige por garantizar un análisis estadístico que toma en cuenta el tiempo de parada de la estación en el punto de análisis y la cercanía con estaciones permanentes. La presente investigación realiza el estudio de estaciones permanentes por lo que el tiempo no es una y el método brinda una mayor precisión en la obtención de datos de las estaciones permanentes de la REGME.

1.5. Modelo de regresión lineal.

Una de las formas de analizar las series temporales es mediante su representación gráfica como se lo observa en la figura 6, la tendencia de movimiento es lineal con varianza estable en el tiempo, las estaciones llevan el movimiento de la placa cercana y para otros casos se ven afectados por fallas locales que producen variaciones en el movimiento de placa, como es el caso de los sectores volcánicos y los producidos en la micro-fallas de la corteza terrestre como lo es en la placa de cocos en galápagos.

El modelo estadístico de regresión lineal permite homogeneizar un conjunto de datos cuya tendencia en el tiempo es lineal, lo que puede ser observado gráficamente. La regresión lineal convierte a un conjunto de datos dispersos en una recta lo que permite predecir datos intermedios que no han sido observados, así como también determinar una pendiente y una posición inicial de la variable lo que se traduce en una ecuación lineal entre la variable dependiente y la variable independiente; en el caso de las series temporales de las estaciones GNSS se comparan las posiciones (Norte-Sur, Este-Oeste o Up) en función del tiempo, que se traduce en un desplazamiento lento y continuo de la estación en el tiempo. Este parámetro determina que en la obtención de un levantamiento preciso además de los datos de posicionamiento se debe tomar como referencia el tiempo por el movimiento continuo de la corteza terrestre.

En el análisis y cálculo de la presente investigación se toma como parámetro para la obtención de resultados el ajuste por mínimos cuadrados de las coordenadas (N, E, UP) representadas en el tiempo para cada estación de la REGME entre las que se puede evidenciar por observación una relación lineal.

1.5.1. Ajuste por mínimos cuadrados.

Al aplicar el ajuste por mínimos cuadrados se determina el mínimo error cuadrático de la distancia entre los valores observados y los valores predichos, con la formulación de una ecuación lineal, según HANKE & WICHERN (2006) para poder reducir los residuales al cuadrado es necesario que:

1. *“La suma de los residuales de los errores al cuadrado será igual a cero*
2. *Por ende, la media muestral de los residuales será cero también.*
3. *La covarianza muestral entre las variables explicativas y los residuales será cero*
4. *La línea de regresión de MCO siempre cruzará la media de la muestra, ie, la media de x y la media de y.”*

Si la muestra con la que se trabaja cumple las características antes descritas se dice que el modelo de mínimos cuadrados se ajusta perfectamente a un comportamiento lineal. Del análisis por mínimos cuadrados se obtienen dos parámetros que son la pendiente de la recta de regresión lineal y la ordenada con el origen de la ecuación lineal, además de estos valores antes mencionados se obtiene el coeficiente de correlación R cuyo valor es un buen estimador de la tendencia de linealidad de los datos procesados.

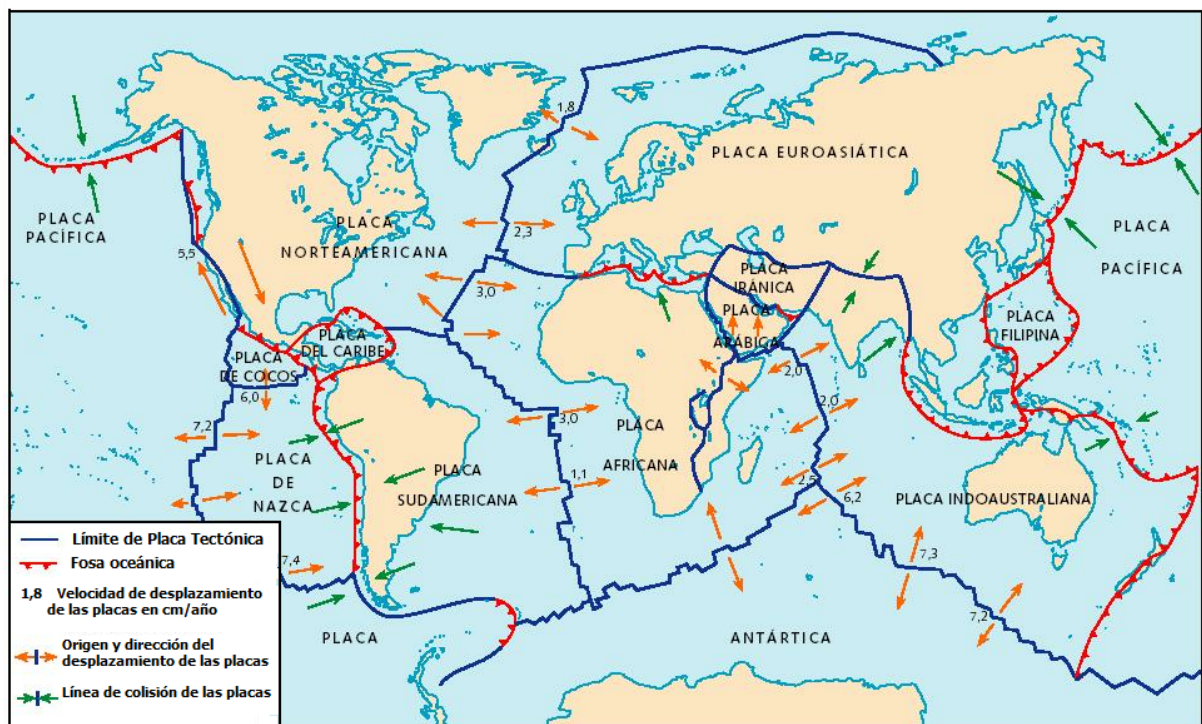
El valor característico de la regresión realizada es el factor R que tiene valores entre 0 y 1, mientras más cercano se encuentre de 1 mayor será la correspondencia con el método de regresión lineal. La medida de este factor representa la fuerza con la que se relacionan las dos variables, además del cálculo de los coeficientes, es necesario el cálculo de sus desviaciones típicas mediante un modelo estocástico.

1.6. Velocidades de las estaciones de monitoreo continuo.

Las velocidades de las estaciones de monitoreo continuo se realizan a partir de la recolección de datos de las estaciones permanentes y con no permanentes, con el fin de determinar la magnitud y dirección de desplazamiento. El movimiento que produce la deformación se produce por fenómenos físicos de la corteza terrestre entre los más relevantes para las posiciones norte y este, es el de tectónica de placas y vulcanismo, para el caso de posición up se ve afectada por la gravedad, el cambio del nivel medio del mar, etc.

1.6.1. Deformación de placas.

Figura 7: Desplazamiento de placas



Fuente: (ROSALES, 2012)

Existe una constante movilización de la corteza terrestre que se da por el fenómeno producido entre placas y difiere de acuerdo a su ubicación geográfica. La dirección de movimiento se determina en función del proceso geológico que produce el movimiento y se obtiene al verificar el tipo de falla producida en la placa, sea de tensión, compresión o corte, lo que determina una aducción, subducción o movimiento lateral. Estos fenómenos físicos producen deformaciones en el tiempo, que son determinadas por los diferentes marcos de referencia terrestre, la tendencia geográfica se observa en la figura 7, en la que se puede observar que las placas que generan una magnitud mayor son las cercanas al denominado Cinturón de Fuego del Pacífico.

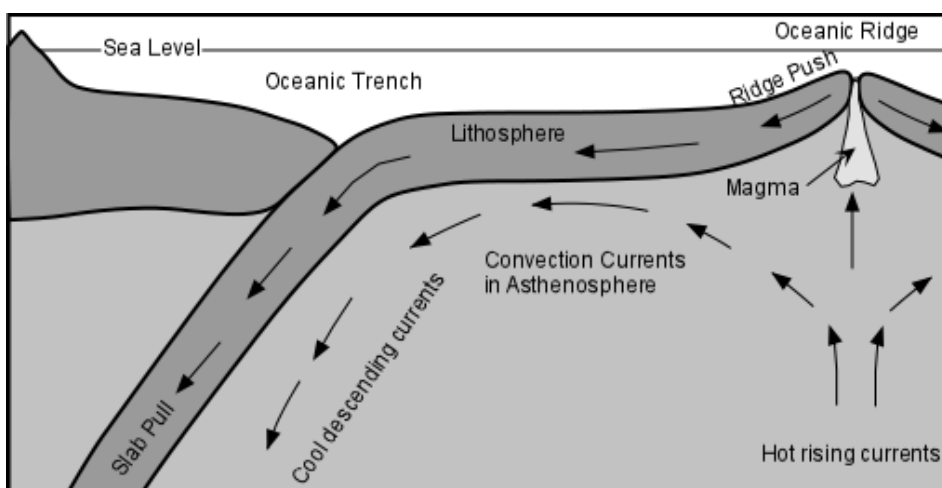
Las placas tectónicas son la placa Pacífica, placa Norteamericana, placa Sudamericana, placa Africana, placa Euroasiática, placa Indoaustraliana, placa Filipina, Placa de Cocos, placa de Nazca, Placa Juan de Fuca, Placa Árábica, Placa Escocesa, Placa de Caribe. El contacto de las placas genera entre ellas un movimiento leve cuando la energía se acumula, mientras que genera grandes movimientos cuando la energía se dispersa; es entonces cuando se producen sismos. Otro fenómeno que se da por el movimiento tectónico es la presencia de sismos lentos.

Para analizar el caso de Ecuador es necesario observar la tendencia del movimiento producido entre la placa de nazca y la placa sudamericana. El movimiento que aquí se produce es el de subducción. La tendencia indica un movimiento hacia el oeste, otro de los desplazamientos es el generado por la micro-falla de Cocos que al entrar en contacto con la placa de Nazca produce aducción, pero la tendencia del movimiento del Archipiélago es de la placa de Nazca hacia el noroeste.

1.6.2. Deformaciones locales (volcánicas):

Otra de las deformaciones de mayor influencia en el comportamiento de las series de tiempo es el movimiento producido por fallas volcánicas, que lleva la influencia del movimiento de las placas. El movimiento volcánico se produce por fallas locales y la presión del magma desde el núcleo de la tierra. La intensidad depende del tipo de actividad volcánica, si presenta vulcanismo activo los movimientos tendrán una mayor magnitud comparado con los que no llevan esta tendencia. Para obtener la magnitud y dirección del movimiento de este tipo de falla de la corteza es necesario revisar la estación ubicada cerca al volcán y verificar en primer lugar de forma gráfica el comportamiento que presenta para definir de forma correcta el modelo a ocuparse.

Figura 8: *Movimiento de placas por vulcanismo activo*



Fuente: (NELSON, 2012)

En el Ecuador está presente el movimiento volcánico por ser parte de la cordillera de los Andes que es un conjunto montañoso que pasa por América del Sur este conjunto montañoso se encuentra conformado por volcanes que están en distintas fases de actividad. Gran parte de los volcanes ubicados en Ecuador están inactivos por su pasividad en varios años de acuerdo a lo estudios del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional.

En Ecuador los volcanes presentan vulcanismo activo e inactivo, por lo que generan diferentes magnitudes conforme a su actividad, en las zonas activas los movimientos son mayores debido a erupciones que generan fuerzas de gran magnitud; las inactivas llevan el movimiento lento levemente afectado por la fuerza que provoca el magma del núcleo terrestre, según el reporte de Instituto Geofísico EPN, (2015) los volcanes que se encuentran en erupción son el Reventador, Tungurahua, Sangay, mientras que los que presentan vulcanismo activo son Sumaco, Chacana, Guagua Pichincha, Nevado Cayambe.

1.7. Aplicaciones.

En diferentes campos de la ingeniería existen múltiples aplicaciones de la determinación de las velocidades así como el análisis de las series de tiempo, la mayoría de estas aplicaciones permiten la estimación del movimiento y deformaciones de la corteza terrestre. Otras aplicaciones permiten la determinación del movimiento de construcciones civiles durante el proceso constructivo. Los deslizamientos de taludes, movimientos volcánicos, deformaciones corticales producidas por sismos, son otros fenómenos físicos que se presentan para las aplicaciones ingenieriles.

1.7.1. Determinación de deformaciones corticales.

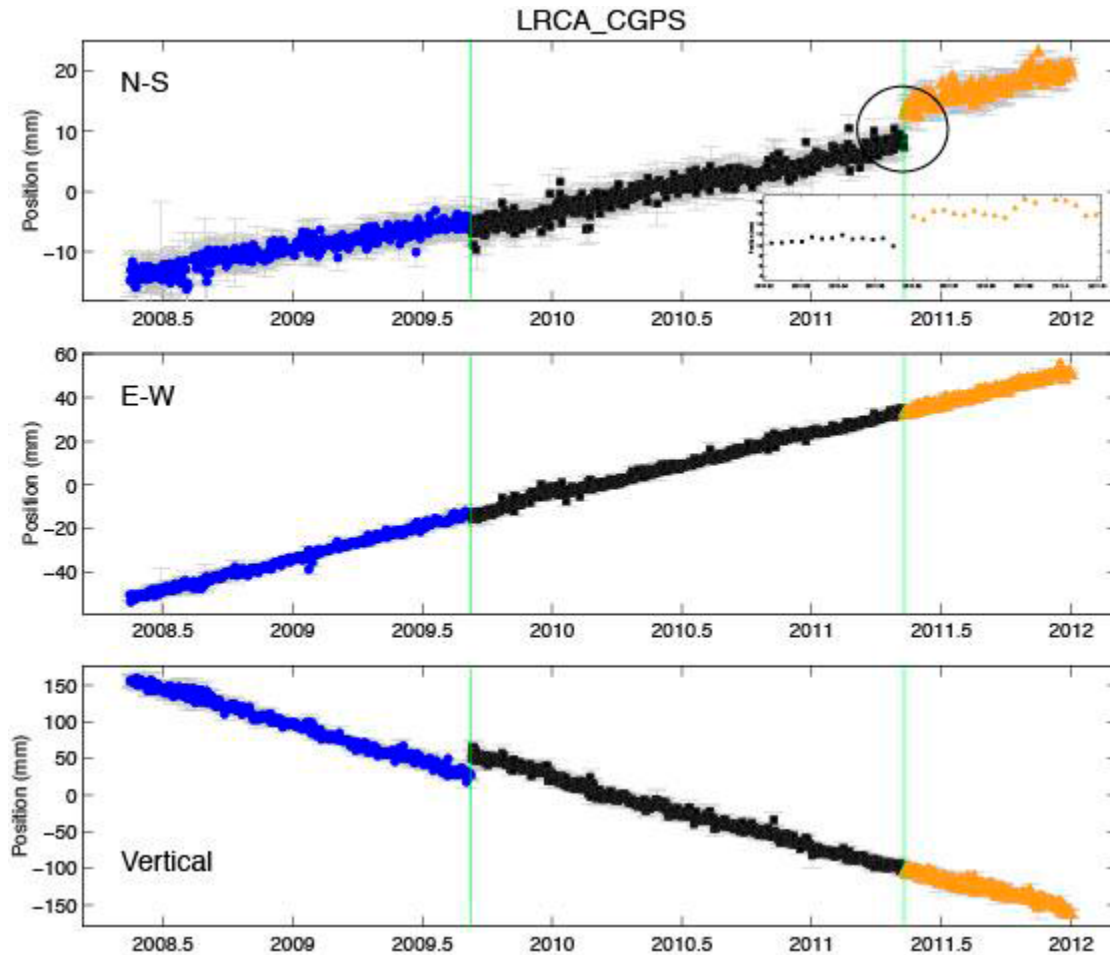
Cuando se habla de deformaciones corticales se hace referencia a los movimientos y cambios que se producen en la corteza terrestre. La determinación de este movimiento depende del tipo de esfuerzo que provoca esta deformación para obtener el desplazamiento que ha sufrido conforme a una posición inicial que es dada por el Marco de Referencia. Una manera de estimar el valor de la deformación y obtener sus velocidades es con el análisis de las series GPS, para esto se debe determinar las velocidades de las estaciones cercanas a las zonas de estudio de los desplazamientos sísmicos. Para obtener este parámetro es necesario contar con gran cantidad de datos de coordenadas correspondientes al tiempo de análisis así como también con una extensa cobertura de las zonas donde se intenta predecir el desplazamiento.

En el estudio realizado por ECHEVERRIA, KHAZARADZE, & et. al., (2011), el primer paso para obtener los desplazamientos corticales es la definición de la zona de estudio buscando las estaciones cercanas que ocupen la zona donde se produce el sismo, además de las estaciones permanentes pertenecientes a la zona de estudio se deben colocar vértices de estudio luego del sismo. Para determinar los desplazamientos cosísmicos producidos en el lugar se necesita el resultado de las campañas de medición incluidas las estaciones no permanentes de la zona con las que se obtiene el campo de velocidades, en este tipo de análisis es necesario contar con una buena campaña de medición de datos en el tiempo con la correcta densificación de los puntos de estudio para determinar resultados con mejor precisión, además de revisar los parámetros antes y después de la ocurrencia del sismo en la búsqueda del salto sísmico.

En el análisis se debe revisar tanto si existe cambios de tendencia en la serie temporal así como si existe la presencia de saltos cosísmicos, es necesario revisar que los saltos producidos pertenecen al sismo, investigando movimientos de la estación en el tiempo en análisis. En la figura 9 se puede observar la serie temporal de una de las estaciones del

estudio en la que los autores desarrollan un análisis de la serie temporal para verificar anomalías, identificando que en el paso de la sección en color negro a la sección de color amarillo es el salto producido por el sismo, mientras que el salto producido en la serie UP es debido a un cambio de posición de la estación por mantenimiento.

Figura 9: Serie Temporal de la estación LRCA con una duración de 15 años

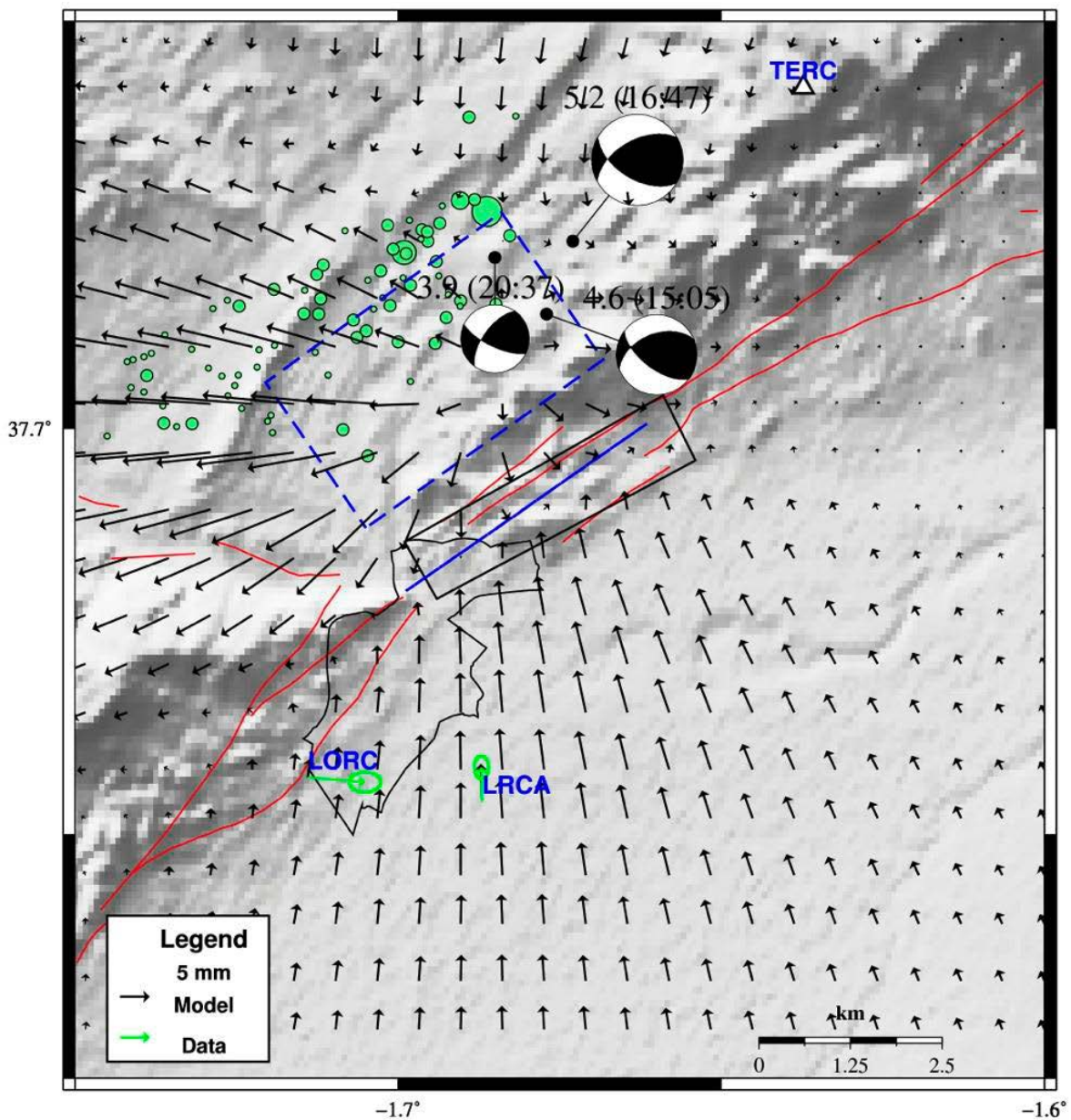


Fuente: (ECHEVERRIA, KHAZARADZE, & et. al., 2011)

Luego del análisis de las series de tiempo y la determinación de desplazamientos sísmicos y el cambio de tendencia de las velocidades de las estaciones GNSS, se realiza el cálculo respectivo del desplazamiento real producido por estos saltos a fin de identificar la relación del movimiento entre las diferentes estaciones y así producir un mapa que presente los resultados a partir de una interpolación realizada entre los diferentes vertices de estudio de la zona concerniente al sismo. En el estudio de Echeverria y Khazaradze no existía una tendencia abrupta debido a la magnitud del sismo de 5.2 , los resultados se presentan en la figura 10 en la que se puede observar la tendencia de movimiento que se produjo por la presencia del sismo, con un cambio de las deformaciones corticales pertenecientes a la zona de estudio que deben encontrarse predefinidas por el movimiento de las placas tectónicas.

Del estudio de Echeverria y Khazaradze se puede determinar la importancia del cálculo de las velocidades de desplazamiento lento de estaciones permanentes y no permanentes GPS, y de las series temporales para el estudio del comportamiento de la corteza terrestre producido antes y luego de un sismo. De este estudio se verifica el cambio de tendencia en el movimiento típico de la estación por la presencia del sismo. Con el cálculo del desplazamiento producido en la estación se puede obtener una corrección de la posición para introducirla en el marco de referencia y así tomar en cuenta el desplazamiento episódico producido en la zona.

Figura 10: Modelo de los desplazamientos co-sísmicos horizontales.

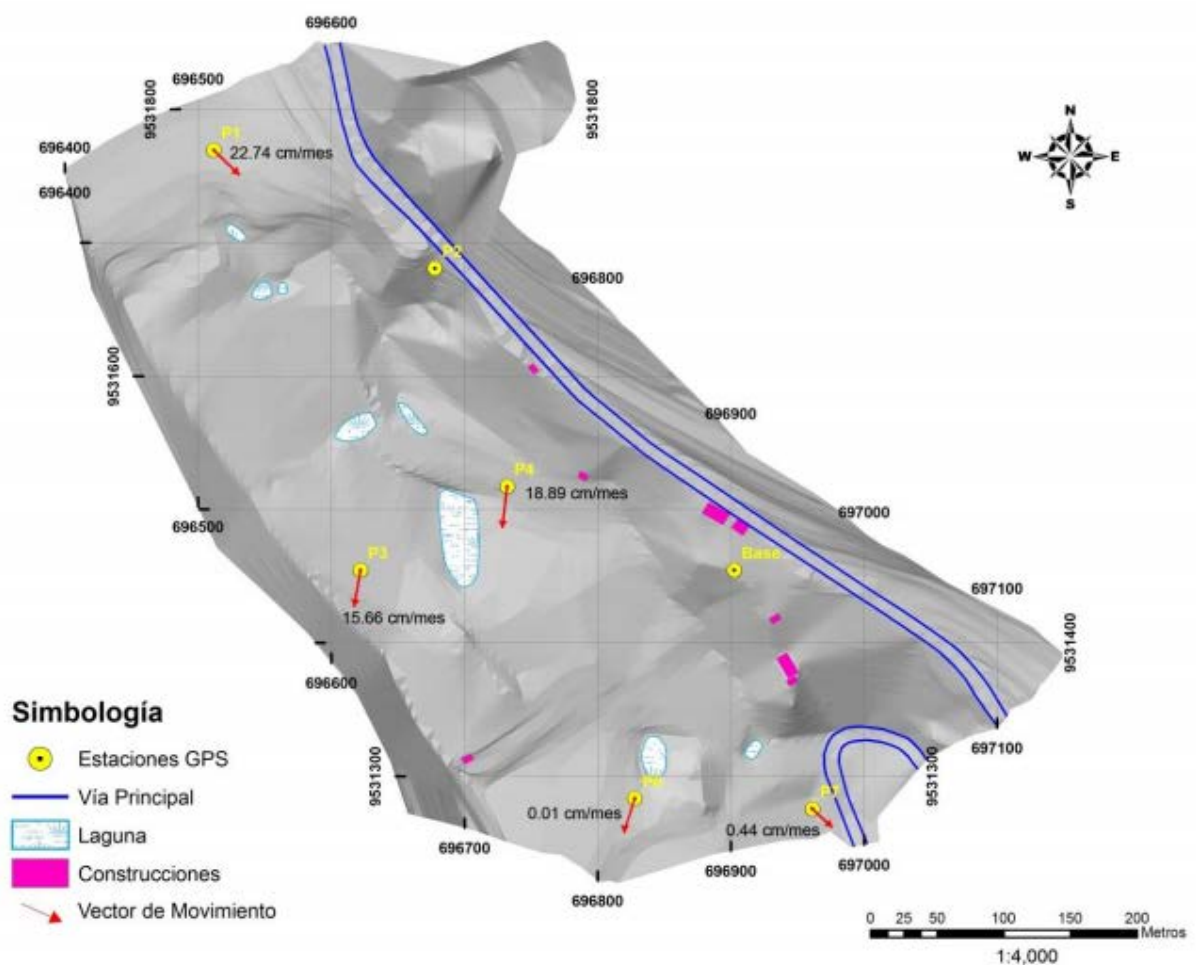


Fuente: (ECHEVERRIA, KHAZARADZE, & et. al., 2011)

1.7.2. Determinación de la tendencia y magnitud del movimiento de laderas.

El movimiento de laderas depende en general de la zona de estudio y de la caracterización geológica de los materiales del lugar por lo que el potencial del movimiento que se produce en una magnitud depende del tipo de suelo de la zona de estudio. Los movimientos que producen los fenómenos geológicos del suelo son lentos pero peligrosos en el tiempo, la determinación de estos movimientos permitirá al ingeniero realizar medidas de prevención con la implementación de obras civiles de modo que el movimiento no afecte económicamente a los sectores aledaños al talud. Para este tipo de estudio se realizan campañas de medición con redes de monitoreo no permanentes, en zonas que dependen del estudio geotécnico en puntos que demanden atención para detectar el desplazamiento lento en el tiempo.

Figura 11: Mapa de vectores de desplazamiento del movimiento de laderas producido en el sector de San Pedro



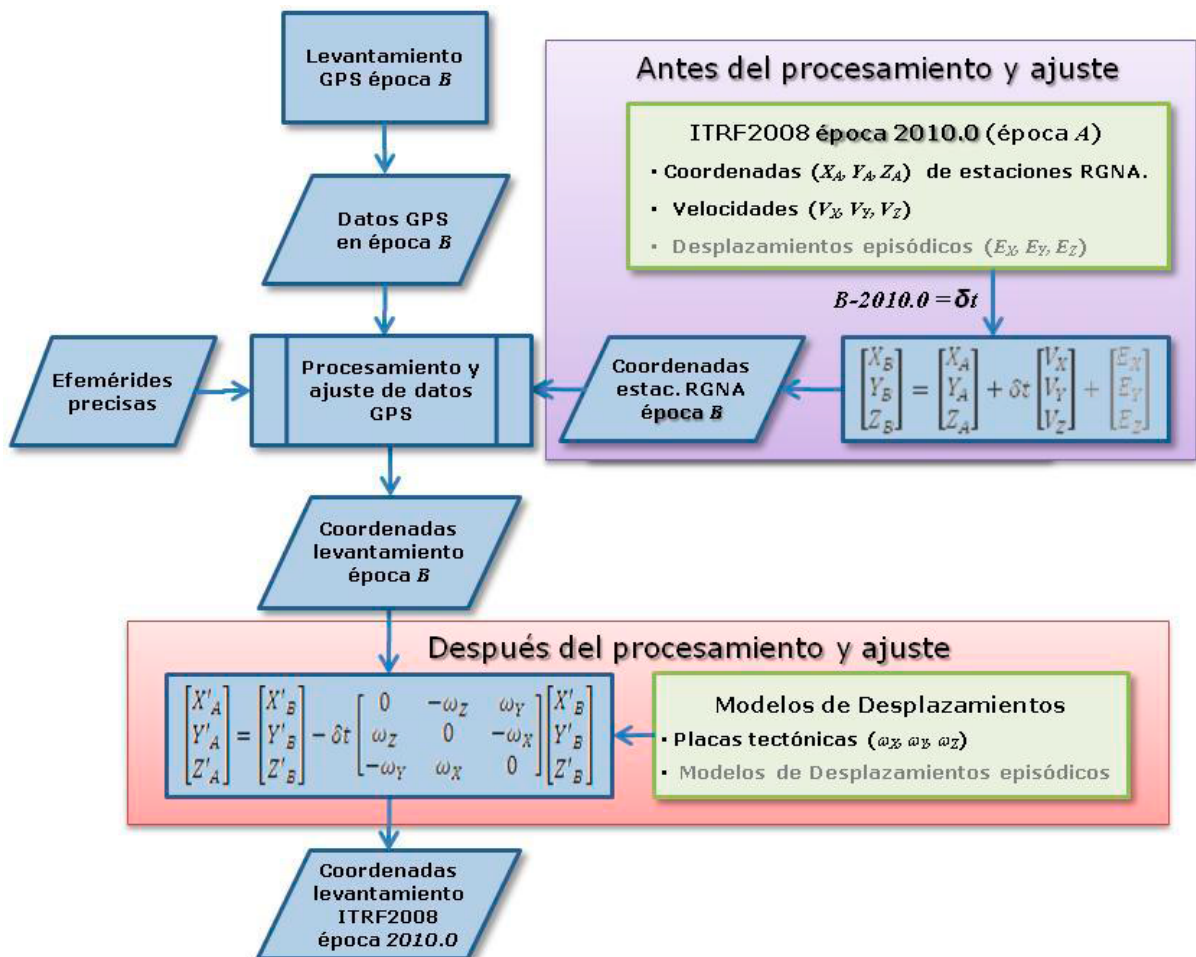
Fuente: (ZÁRATE T., 2011)

En el análisis del movimiento de laderas usando datos GPS se tomará como referencia el estudio realizado por ZÁRATE T., (2011), que determina un análisis del movimiento de

ladera en un sector de San Pedro de Vilcabamba usando técnicas de detección en campo con el uso de estaciones GPS, para lo cual toma 6 puntos de referencia ubicados a distancias de aproximadamente 180-500m y un punto base donde se coloca la estación de monitoreo GPS en esta campaña de medición con estaciones no permanentes ubicadas homogéneamente alrededor de la zona de estudio, el tiempo de estudio fue de 198 días receptando datos cada 15 segundos, en periodos de 30 minutos, con los datos obtenidos se elaboran las series temporales para determinar el vector de desplazamiento. En el estudio se realiza un cálculo de la deformación desde una coordenada inicial hacia una final para determinar el desplazamiento ocurrido y de esta forma calcular la velocidad en función del tiempo cuyos vectores pueden observarse en la figura 11.

1.7.3. Determinación del marco de referencia.

Figura 12: Proceso de Transformación del Marco de Referencia a una época distinta.



Fuente: (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2012)

Esta es una de las aplicaciones de mayor relevancia en el cálculo de velocidades del monitoreo GNSS, ya que permite a los usuarios del sistema satelital la permanencia de sus

levantamientos en el tiempo. En la corrección del marco de referencia, además del cálculo de la velocidad es necesario realizar otras correcciones de carácter ionosférico, troposférico, del nivel medio del mar, de desplazamientos episódicos, del modelo tectónico de placas etc. En la determinación del modelo óptimo de velocidades se debe realizar un pre-procesamiento y un post- procesamiento del modelo de velocidades con la reducción de los desplazamientos episódicos que serán eliminados como deformación. De esta forma se obtendrá la velocidad del desplazamiento cortical de las placas tectónicas con la tendencia propia del lugar. De acuerdo con una publicación realizada por Instituto Nacional de Estadística y Geografía de México, (2012), los pasos que se deben realizar para la transformación y corrección de coordenadas a corde al marco de referencia se describen en el diagrama mostrado en la figura 12.

El marco de referencia es la base de la medición y transformación para diferentes épocas de mediciones de levantamientos topográficos en el tiempo, que tiene multiples aplicaciones. Para su constante actualización se debe contar con una red de estaciones permanentes bien densificada y activas para su retroalimentación. El marco referencial a la fecha es el ITRF 2008 descrito en el numeral 1 del presente capítulo. Además de este marco de referencia existen otros como el SIRGAS2000 que es administrado por SIRGAS, institución que realiza estudios geodésicos en latinoamérica. Este marco se encuentra actualizado por varios países y es un gran aporte en el ITRF.

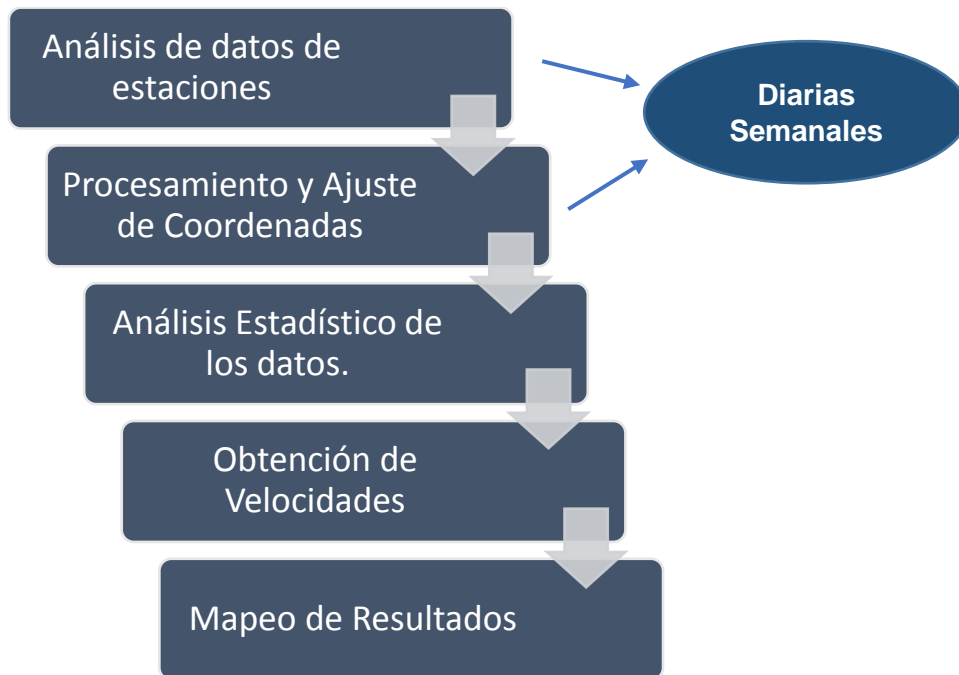
De acuerdo al estudio realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía de México, (2012), los parámetros que se deben tomar en cuenta en el procesamiento de las coordenadas se detallan a continuación:

- *“Antes del procesamiento y ajuste. Obtener coordenadas de las estaciones de referencia en la época de medición de los datos a procesar.*
- *Procesamiento y ajuste de los datos utilizando las coordenadas de las estaciones de referencia en la época de medición de los datos.*
- *Después del procesamiento y ajuste. Llevar las coordenadas resultantes del ajuste, que están en la época de medición, a la época.”*

CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA

En el presente trabajo se ha aplicado los métodos inductivo y deductivo; con los cuales se determinó las velocidades de desplazamiento, las que posteriormente se fundamentaron con conceptos, principios y definiciones. Para obtener los resultados se sigue el diagrama propuesto en la figura 13 y que será descrito en este capítulo.

Figura 13: Diagrama de Flujo de la Metodología



Fuente y Elaboración: Agustín Ruiz

2.1. Análisis de datos de estaciones.

Para obtener las coordenadas a ser usadas en la presente investigación se procede de la siguiente manera:

- a) Obtener los datos RINEX del Instituto Geográfico Militar (IGM), entidad que suministra y dirige los estudios concernientes a las estaciones permanentes en Ecuador.
- b) Realizar la transformación de datos al marco de referencia ITRF 2008 mediante la aplicación PPP del Canadian Spatial Reference.

En la suministración de datos es necesario determinar las estaciones de las que se va a llevar a cabo el cálculo de las velocidades puesto que por la continua actualización de la geodesia en el Ecuador se ha efectuado un incremento en el número de estaciones en los últimos años y es justamente el año 2013 donde se incorporan un gran número de

estaciones por lo cual se vuelve necesario obtener una delimitación de la REGME en donde consten las estaciones de las que se puede realizar el análisis y cuenten con el suficiente número de datos para el cálculo.

2.1.1. Criterio de selección de estaciones y de información.

Actualmente la REGME genera información de 43 estaciones permanentes; en la Tabla 4 se muestra los nombres de dichas estaciones, así como el lugar donde opera y la fecha de su instalación.

Tabla 4: Fecha de inicio de actividades de las estaciones de la REGME.

ESTACIÓN	NOMBRE	DESDE
RIOP	RIOBAMBA	1996/13
LJEC	LOJA	2009/01
QUI1	QUITO	2010/03
GYEC	GUAYAQUIL	2010/04
QVEC	QUEVEDO	2011/01
PTEC	PORTOVIEJO	2011/03
LREC	LOROCACHI	2011/09
MTEC	MONTALVO	2011/09
STEC	SANTIAGO	2011/10
NORE	NUEVO ROCAFUERTE	2012/08
TNEC	TENA	2012/08
ECEC	EL CARMEN	2012/10
NJEC	NARANJAL	2012/10
AUCA	BABAHOYO	2012/11
ESMR	ESMERALDAS	2012/11
QUEM	PUENGASI	2012/11
ALEC	ALAUSI	2012/12
CHEC	EL CHACO	2012/12
CUEC	CUENCA	2012/12
EREC	EERSA RIOBAMBA	2012/12
GLPS	GALAPAGOS	2012/12
IBEC	IBARRA	2012/12
PDEC	PALANDA	2012/12
PJEC	PAJAN	2012/12
PREC	PALORA	2012/12
SCEC	SAN CRISTOBAL	2012/12
SEEC	SANTA ELENA	2012/12
SNLR	SAN LORENZO	2012/12
CLEC	CELICA	2013/01
GZEC	GUALAQUIZA	2013/01
MHEC	MACHALA	2013/01
MAEC	MACAS	2013/03
COEC	TULCAN	2013/04

CXEC	COTOPAXI	2014/03
EPEC	EPEC	2014/04
OREC	EL ORO	2014/06
SIEC	SANTA ISABEL	2014/07
LPEC	LAS PEÑAS	2014/08
ONEC	CHONE	2014/08
PEEC	PEDEMALES	2014/08
GUEC	GUAYAQUIL	2014/10
FOEC	FRANSISCO DE ORELLANA	2014/11
ABEC	AMBATO	2014/12

Fuente: (IGM, 2015)

Elaboración: Agustín Ruiz

Para fines de esta investigación se tomarán en cuenta únicamente los datos de las estaciones que fueron instaladas hasta el 28 de febrero de 2013, porque de ellas se puede obtener la información necesaria para efectuar un adecuado análisis estadístico del periodo 2013. Como se observa en la tabla 4 existen 12 estaciones bajo el siguiente detalle: COEC, CXEC, EPEC, OREC, SIEC, LPEC, ONEC, PEEC, GUEC, FOEC, ABEC, que no se analizarán, quedando como universo 31 estaciones, en las que se continúa con el siguiente paso que es la descarga de datos desde la página web del IGM.

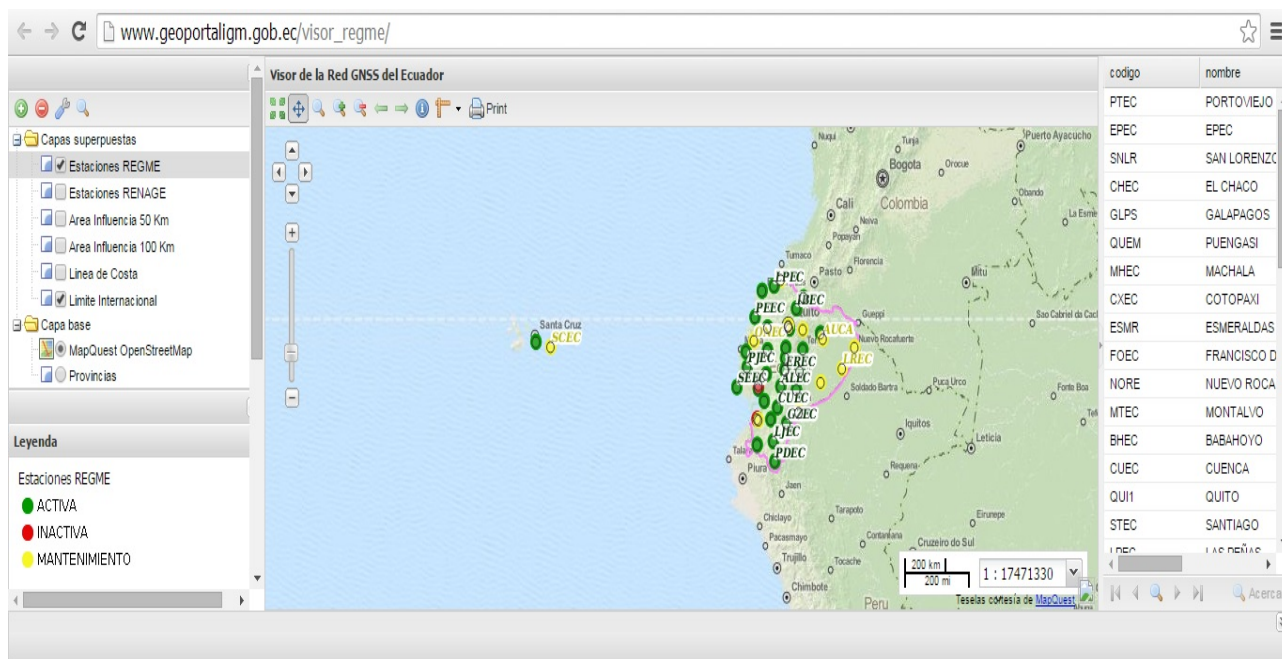
2.1.2. Descarga de datos RINEX.

Los datos obtenidos de la REGME ingresan al centro de procesamiento CEGPE que es el que se encarga de corregir los primeros errores. El CEGPE es también responsable de procesar los datos y de efectuar su envío a las agencias como el Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS) y el Instituto Geográfico Militar (IGM).

La adquisición de las coordenadas se realiza en formato RINEX a través de la página web (www.geoportaligm.gob.ec), que es administrada por el IGM. El proceso para obtener los datos es el siguiente:

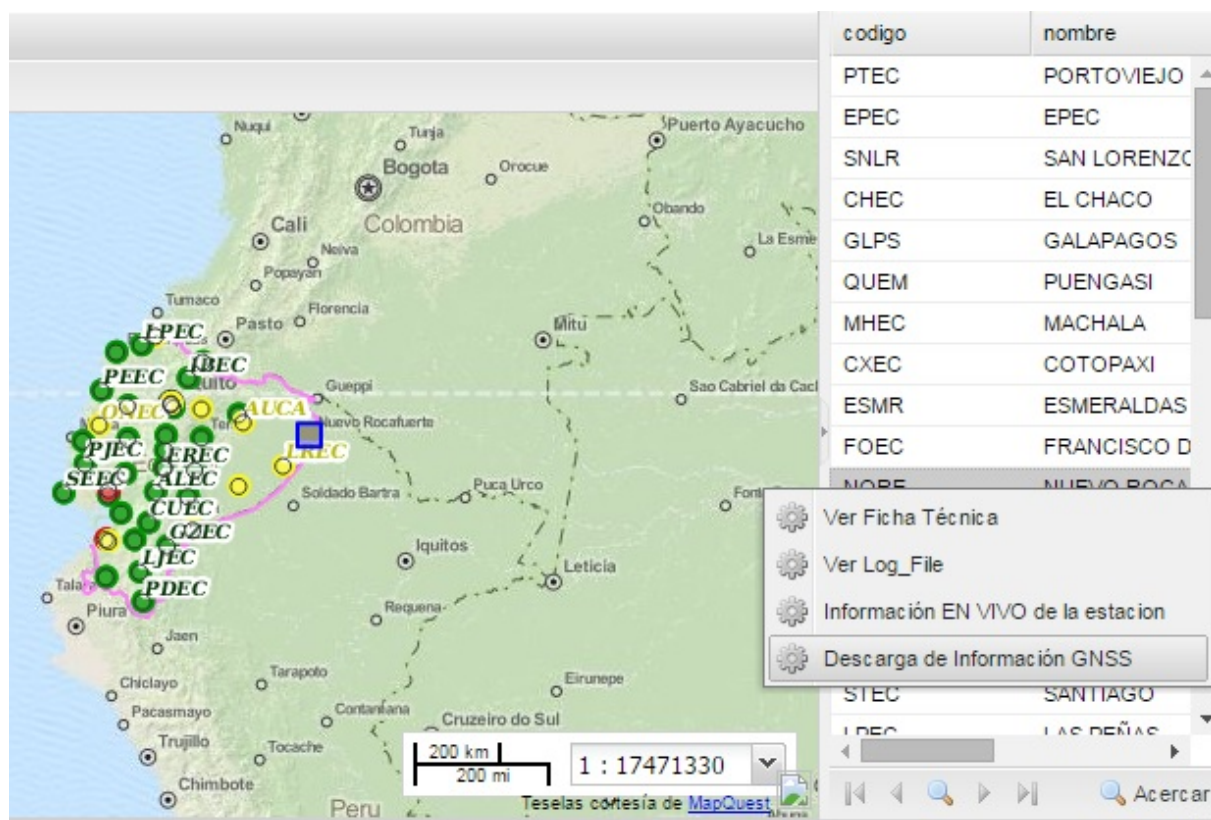
- a) Ingreso al sitio web: (http://www.geoportaligm.gob.ec/visor_regme/), en donde se presentará la siguiente pantalla:

Figura 14: Visor GNSS de datos geodésicos de la REGME.



b) Selección de la estación de la cual se realizará la descarga de datos, parte lateral derecha.

Figura 15: Selección de Estación para la descarga de datos.



c) Ingresar el usuario y contraseña proporcionados por el IGM.

- d) Completar la información solicitada en el portal como: día de descarga, lapso en el que se desea obtener, y la aplicación que se le dará al mismo.

Figura 16: Ingreso de Datos de descarga de estaciones de la REGME.

Figura 17: Dato hábil para la descarga de la estación NORE1820.15D.z

DESCARGA DE DATOS	Tamaño	Fecha Modificación
descargas/NORE1820.15D.z	0.00 Mb	06/07/15 02:55:07
descargas/NORE1820.15N	0.00 Mb	06/07/15 02:55:06
Manuales y Software		Fuente
Windows	Software	http://sopac.ucsd.edu/dataArchive/hatanaka.html
Linux 32 bits	Software	http://sopac.ucsd.edu/dataArchive/hatanaka.html
Linux 64 bits	Software	http://sopac.ucsd.edu/dataArchive/hatanaka.html
Manual HATANAKA	Manual	IGM - GNSS

2.1.3. Delimitación por falta de datos.

Al momento de obtener los datos de las 31 estaciones de la REGME del año 2013 se observa que no todas poseen información completa, faltan ciertos datos de algunos días. Para corregir esto se descartan las estaciones que no poseen el número suficiente de datos para realizar esta investigación; ya que al no disponer de suficiente información, el nivel de confianza será bajo. En la tabla 5 se presenta el número de datos recolectados que dispone cada estación.

Tabla 5: Número de datos disponibles de Estaciones de la REGME 2013

ESTACIÓN	NOMBRE	DATOS
LJEC	LOJA	365
MHEC	MACHALA	365
NJEC	NARANJAL	365
PDEC	PALANDA	365

GZEC	GUALAQUIZA	364
RIOP	RIOBAMBA	364
SEEC	SANTA ELENA	364
ALEC	ALAUSI	363
CLEC	CELICA	362
CHEC	EL CHACO	361
ECEC	EL CARMEN	361
GLPS	GALAPAGOS	361
GYEC	GUAYAQUIL	361
IBEC	IBARRA	345
PJEC	PAJAN	340
ESMR	ESMERALDAS	339
QUEM	PUENGASI	335
PTEC	PORTOVIEJO	313
CUEC	CUENCA	311
MAEC	MACAS	158
NORE	NUEVO ROCAFUERTE	145
TNEC	TENA	134
PREC	PALORA	125
SCEC	SAN CRISTOBAL	123
EREC	EERSA RIOBAMBA	113
AUCA	BABAHOYO	104
QUI1	QUITO	89
STEC	SANTIAGO	77
QVEC	QUEVEDO	74
MTEC	MONTALVO	64
SNLR	SAN LORENZO	63
LREC	LOROCACHI	56

Fuente y Elaboración: Agustín Ruíz

Como se puede observar existen 13 estaciones con datos de entre 56 y 158 que para la presente investigación se descartan, por cuanto para el desarrollo estadístico de esta información se ha considerado tomar datos mayores a 300 que proporcione un nivel de confianza del 82%.

Las estaciones descartadas son las siguientes: MAEC, NORE, TNEC, PREC, SCEC, EREC, AUCA, QUI1, STEC, QVEC, MTEC, SNLR, LREC; la falta de datos en estas estaciones se puede deber a que la estación se encontraba en mantenimiento o sufrió alguna avería dentro de este año aunque hay algunos que la institución encargada del custodio y procesamiento de datos los post-procesa para poder obtener un cálculo correcto y los publica luego de verificar que el procedimiento sea el correcto.

2.1.4. Obtención de coordenadas en SIRGAS:

En la presente investigación al realizar la descarga de datos se trabaja con soluciones diarias, para aplicar una comparación de las velocidades se toma como referencia las coordenadas publicadas en la página oficial de SIRGAS, en la cual la descarga de datos de las estaciones de la REGME se presenta en soluciones semanales

La tabla 6 contiene los datos de las coordenadas semanales obtenidos a través de la página de SIRGAS (<http://www.sirgas.org/index.php?id=153>), para el año 2013 se tiene 62 semanas (1721-1773), para descargar en el sitio web se escoge el archivo .sum del cual se toma el dato de la coordenada de la cual se está realizando la descarga, en el presente caso las estaciones de la REGME.

Tabla 6: Calendario de semanas GPS año 2013

ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
1721	1725	1729	1734	1738	1742
1722	1726	1730	1735	1739	1743
1723	1727	1731	1736	1740	1744
1724	1728	1732	1737	1741	1745
1725	1729	1733	1738	1742	1746
		1734			1747
JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1747	1751	1756	1760	1764	1769
1748	1752	1757	1761	1765	1770
1749	1753	1758	1762	1766	1771
1750	1754	1759	1763	1767	1772
1751	1755	1760	1764	1768	1773

Fuente: (PRIETO, 2012), **Elaboración:** Agustín Ruíz

2.2. Procesamiento y ajuste de coordenadas.

En el ajuste y procesamiento de datos es necesario hacer dos tipos de transformaciones, la primera es la corrección de errores de tipo de posicionamiento que se puede realizar mediante tres métodos el de posicionamiento absoluto, el diferencial y el puntual preciso (ppp), el tercero es el que se aplica en esta investigación; en la presente parte de la metodología se hablara en un breve resumen acerca de los métodos de procesamiento de las coordenadas de las estaciones GNSS. La segunda transformación es el traslado de las coordenadas al marco de referencia ITRF2008, que en la actualidad se normalizan la mayoría de trabajos de posicionamiento en el tiempo.

2.2.1. Métodos de posicionamiento GNSS.

El método ppp avanza conforme al tiempo por la creación de un sinnúmero de herramientas informáticas que permiten al usuario obtener el ajuste y procesamiento de sus posiciones con rapidez y bajo un análisis minucioso, una de las herramientas informáticas es el CSRS-PPP administrada por el Natural Resources Canada además del post-procesamiento del posicionamiento este software realiza la transformación hacia el marco de referencia ITRF2008, para su uso se debe crear un usuario en su página web (<http://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php?locale=en>), el procedimiento se presenta en el anexo2.

Para el post-procesamiento en la obtención del posicionamiento preciso se debe contar con el número necesario de satélites, por lo que las estaciones que no cuentan con el número suficiente no se puede realizar el cálculo, la situación antes descrita fue el parámetro para la eliminar la estación PTEC que cuenta con 81 coordenadas para el análisis estadístico por lo que la mayoría de días no fueron convertidos por falta de satélites en la observación del receptor GNSS.

2.2.2. Transformación a coordenadas geodésicas.

Con el análisis realizado mediante la aplicación CSRS-PPP explicado en el numeral anterior, se procede al cambio del sistema. Esto nos permite aproximar los resultados hacia el omportamiento real de la corteza terrestre para esto se realiza una transformación de coordenadas del sistema convencional Mercator obtenidas en la transformación al ITRF2008 a un sistema de coordenadas geodésico cartesiano, el procedimiento realizado puede ser revisado en (WOLF & GHILANI, 2010) y se describe a continuación:

El primer paso es obtener las coordenadas en un sistema de coordenadas geocéntrico con el siguiente procedimiento:

A) Calcular la longitud como:

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

B) Calcular D_p :

$$D_p = \sqrt{X_p^2 + Y_p^2} \quad (\text{Ecuación 2})$$

C) Calcular la latitud ϕ_0 aproximada con el valor del elipsoide $e = 0.081819191$ y la ecuación:

$$\phi_0 = \tan^{-1} \left[\frac{Z_p}{D_p(1-e^2)} \right] \quad (\text{Ecuación 3})$$

D) Calcular R_{Np} con el valor ϕ_0 que se obtiene en 3:

$$R_{Np} = \frac{a}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 \phi_0}} \quad (\text{Ecuación 4})$$

E) Calcular el valor mejorado para la latitud con ϕ_0 y R_{Np} obtenidos en C y D:

$$\phi_p = \tan^{-1} \left(\frac{Z_p + e^2 R_{Np} \sin(\phi_0)}{D_p} \right) \quad (\text{Ecuación 5})$$

F) Repetir los pasos D y E hasta que el cambio de ϕ entre iteraciones sea despreciable. Este valor será la latitud de la estación.

G) Con una de las siguientes ecuaciones calcule la altura geocéntrica y con la última iteración de D y E:

Para latitudes menores a 45° use:

$$h_p = \frac{D_p}{\cos(\phi_p)} - R_{Np} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Para latitudes mayores de 45° use:

$$h_p = \left[\frac{Z_p}{\sin(\phi_p)} \right] - R_{Np}(1 - e^2) \quad (\text{Ecuación 7})$$

De donde:

$X_p =$ Coordenada x de mercator ITRF2008

$Y_p =$ Coordenada y de mercator ITRF2008

$Z_p =$ Coordenada z de mercator ITRF2008

Luego de obtener el posicionamiento en el sistema geocéntrico elipsoidal se realiza el traslado de coordenadas a través de la matriz de rotación con lo que se obtiene las coordenadas en el sistema geodésico cartesiano, así:

$$\begin{bmatrix} \Delta n \\ \Delta e \\ \Delta u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \phi \cos \lambda & -\sin \phi \sin \lambda & \cos \phi \\ -\sin \lambda & \cos \lambda & 0 \\ \cos \phi \cos \lambda & \cos \phi \sin \lambda & \sin \phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} = R(\phi, \lambda) \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} \quad (\text{Ecuación 8})$$

El presente estudio se realiza con las coordenadas y lo que se consigue es obtener el desplazamiento con mayor precisión para próximas investigaciones, el análisis se lo realiza con el error de cada estación mediante la resta del primer valor con cada uno de las siguientes coordenadas.

2.3. Aplicación de mínimos cuadrados a los resultados.

Con los datos de las coordenadas geodésicas se realiza el análisis estadístico, en dos pasos. El primero de pre-procesamiento en el que se elimina los outliers o errores groseros de la red para que estos no afecten la tendencia de la pendiente de la gráfica posición versus tiempo, que es la velocidad de desplazamiento de la estación en análisis, como segundo criterio se realiza el análisis estadístico de regresión lineal mediante ajuste con mínimos cuadrados de acuerdo a la tendencia lineal de los datos de las estaciones, una vez realizado este cálculo se procede a desarrollar el análisis estocástico de las variables, para de esta forma obtener la varianza y desviación estándar de los parámetros de la ecuación lineal en análisis.

2.3.1. Modelo de regresión lineal.

Para aplicar el método de regresión lineal se calculan los coeficientes de la serie temporal de la pendiente de la recta que es la velocidad de movimiento lento de la estación en comparación y el valor cero en las ordenadas es la coordenada inicial de referencia de la recta de regresión estos con los dos coeficientes representados en la siguiente ecuación lineal:

$$X = vt + x_0 \quad (\text{Ecuación 9})$$

Para su determinación se ocupa el método de mínimos cuadrados que reduce el error cuadrático, los parámetros del método de ajuste por mínimos cuadrados con la aplicación de las siguientes ecuaciones:

$$v = \frac{n(\sum X_i * t_i) - (\sum t_i)(\sum X_i)}{n(\sum t_i^2) - (\sum t_i)^2} \quad (\text{Ecuación 10})$$

$$x_0 = \frac{(\sum t_i) - v(\sum X_i)}{n} \quad (\text{Ecuación 11})$$

Donde n es el número de datos del análisis, t es el tiempo de cada posición y x es la coordenada (N, E, UP) según corresponda.

Para obtener un criterio de la linealidad de la serie se debe calcular el valor R que es el parámetro que indica cuán ajustado se encuentra el método de mínimos cuadrados al modelo lineal de la serie. Para determinar se aplica la siguiente ecuación:

$$R = \frac{n(\sum X_i * t_i) - (\sum t_i)(\sum X_i)}{\sqrt{[n(\sum t_i^2) - (\sum t_i)^2] * [n(\sum X_i^2) - (\sum X_i)^2]}} \quad (\text{Ecuación 12})$$

Para TORRE, (2011) el parámetro del factor r significa:

“Si $r = -1$ todos los puntos se encuentran sobre la recta existiendo una correlación que es perfecta e inversa.

Si $r = 0$ no existe ninguna relación entre las variables.

Si $r = 1$ todos los puntos se encuentran sobre la recta existiendo una correlación que es perfecta y directa.”

2.3.2. Determinación de la desviación estándar.

Para obtener la desviación estándar de los parámetros que afectan la ecuación lineal de la estación se realiza un procedimiento para determinar la propagación de errores en la ecuación lineal, para obtener la desviación existen diferentes procedimientos con el uso de diversas herramientas estadísticas como: la construcción de series temporales de resultados y sus valores estadísticos, en el presente caso se determina la incertidumbre a partir de la propagación de errores que se produce al evaluar la varianza de los datos mediante la siguientes ecuaciones:

Con la ecuación de la varianza:

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{n-2} * \sum_{i=1}^n (x_i - vt_i - x_0)^2 = \frac{\chi^2(n,m)}{n-2} \quad (\text{Ecuación 13})$$

Con la propagación de errores se determina

$$\sigma_v^2 = \sum_{j=1}^n \left(\frac{\partial m}{\partial x_j} \sigma_x \right)^2 \quad (\text{Ecuación 14})$$

$$\sigma_{x0}^2 = \sum_{j=1}^n \left(\frac{\partial x_0}{\partial x_j} \sigma_x \right)^2 \quad (\text{Ecuación 15})$$

Mediante operación se obtiene:

$$\sigma_{x0}^2 = \frac{\sum t_i^2}{n(\sum t_i^2) - (\sum t_i)^2} \frac{\chi^2(n,m)}{n-2} \quad (\text{Ecuación 16})$$

$$\sigma_v^2 = \frac{n}{n(\sum t_i^2) - (\sum t_i)^2} \frac{\chi^2(n,m)}{n-2} \quad (\text{Ecuación 17})$$

Con las ecuaciones 16 y 17 se obtiene el grado de incertidumbre en los valores de la ecuación producida mediante regresión lineal que pueden ser revisadas en (TAYLOR, 1997).

2.3.3. Desarrollo del método estadístico en Matlab:

En el desarrollo de la metodología estadística se ha contado con el apoyo del lenguaje de programación MATLAB en el cual se puede realizar diversos tipos de análisis estadísticos de una forma eficiente por su rapidez de cálculo. Posee una plataforma de fácil manejo de datos con el uso de matrices, en el programa puede obtener las gráficas de series de tiempo y los resultados de las velocidades de la ecuación de regresión. La incertidumbre de los resultados que se obtiene con el análisis de la desviación estándar mediante la propagación de errores cuadráticos, para lo cual se debe partir de los datos preliminares obtenidos del procesamiento de los datos crudos y el código lleva el procedimiento de transformación de datos geodésicos; parte del código usado puede ser visualizado a continuación, mientras que el utilitario completo puede visualizarse en el anexo 2.

```
DATOS=%Matriz con los datos tiempo, X, Y, Z de la estación
SEMANA=DATOS(:,1);
X=DATOS(:,2);
Y=DATOS(:,3);
Z=DATOS(:,4);
%VECTOR DE TRASLACIÓN%
dX = (X-X(1,1))*1000;
dY = (Y-Y(1,1))*1000;
dZ = (Z-Z(1,1))*1000;

%DATOS QUE NO VARÍAN%
LATITUD = atand(Y./X);
D = sqrt(X.^2+Y.^2);

%DATOS VARIABLES%
LO = atand(Z./(D*(1-0.081819191^2)));
R0 = 6378137./sqrt(1-(((0.081819191).^2)*(sin(((pi*LO)/180).^2))));
e=1;
while e>10^-100
    LO = atand((Z+((0.081819191^2))*sin(((pi*LO)/(180)))).*(R0))./(D));
    R1= 6378137./sqrt(1-(((0.081819191).^2)*(sin(((pi*LO)/180).^2))));
    e=R0(1,1)-R1(1,1);
    R0=R1;
end

if LO(1,1)<45
    h=(D./(cos(((pi*LO)/(180)))))-R0;
else h=(Z./sind(LO))-R0.*(1-0.081819191^2);
end
R=[-sind(LO(1,1))*cosd(LATITUD(1,1)), -
sind(LATITUD(1,1))*sind(LO(1,1)), cosd(LO(1,1));-
sind(LATITUD(1,1)), cosd(LATITUD(1,1)), 0; cosd(LO(1,1))*cosd(LATITUD(1,1)), co
sd(LO(1,1))*sind(LATITUD(1,1)), sind(LO(1,1))];
DELTA=[dX,dY,dZ];
I=R*DELTA';
```

```
P=I' ;
```

```
%REGRESIÓN LINEAL
```

```
C1=polyfit(SEMANA,P(:,1),1);  
S1=SEMANA;  
E1=[S1,P(:,1),S1.*P(:,1),S1.^2,P(:,1).^2,(C1(2)+C1(1)*S1-P(:,1)).^2];  
ss=sum(E1);  
e1=sqrt(p9*ss(6)/((p9*ss(4)-ss(1)^2)*(p9-2)));  
X1=polyval(C1,S1);  
C2=polyfit(SEMANA,P(:,2),1);  
E2=[S1,P(:,2),S1.*P(:,2),S1.^2,P(:,2).^2,(C2(2)+C2(1)*S1-P(:,2)).^2];  
ss=sum(E2);  
e2=sqrt(p9*ss(6)/((p9*ss(4)-ss(1)^2)*(p9-2)));  
Y1=polyval(C2,S1);  
C3=polyfit(SEMANA,P(:,3),1);  
E3=[S1,P(:,3),S1.*P(:,3),S1.^2,P(:,3).^2,(C3(2)+C3(1)*S1-P(:,3)).^2];  
ss=sum(E3);  
e3=sqrt(p9*ss(6)/((p9*ss(4)-ss(1)^2)*(p9-2)));  
Z1=polyval(C3,S1);
```

2.4. Visualización de la información en mapas georeferenciados.

Para la generación de gráficos se utiliza la herramienta informática gratuita Generic Mapping Tools (GMT) que trabaja con lenguaje de programación a través de la creación de un fichero (.batch) que contiene los comandos suficientes para generar un archivo PostScript que imprime los resultados del mapeo generados por las herramientas del programa.

En el mapeo los datos importantes son la ubicación, las magnitudes, la dirección de desplazamiento del vector velocidad, y la desviación típica; en la generación del mapa se han creado archivos separados por espacios en formato (.prn), los cuales contienen la magnitud de los vectores y la escala. A continuación se describe de forma breve el procedimiento realizado en el mapeo de los resultados.

2.4.1. Inicio del mapa

Para iniciar el mapa es necesario el uso de los módulos *pscoast* o *psbasemap*. Estos generan la base a la que se le incorporarán posteriormente otros objetos. Las diferencias son que *pscoast* pinta las líneas de costa y, opcionalmente, los límites nacionales y grandes ríos utilizando coordenadas geográficas (en grados) a partir de la base de datos que viene con el programa; *psbasemap* permite utilizar coordenadas planas (UTM por ejemplo), como contrapartida no se tiene acceso a las bases de datos que utiliza *pscoast*.

pscoast. Genera un mapa de la región de los datos propuestos utilizando una base de datos espacial que incluye costas, límites nacionales y ríos. La base de datos está en coordenadas geográficas y, por tanto, para añadir datos estos deberán estar también en coordenadas geográficas. Deben utilizarse como mínimo las opciones -R, -J y -W para determinar respectivamente, la región que se va a representar, el sistema de proyección y

escala, así como el tipo de línea con el que se representarán los datos. La región, así como los intervalos de anotación en el marco se especifican en coordenadas geográficas (grados y décimas de grado).

En pscoast se determinan las siguientes opciones:

-R se usa para determinar la posición a ser mapeada. Se coloca en coordenadas por ejemplo las coordenadas de Ecuador: -R-92/-71/-5/3

-J se utiliza para ver qué tipo de coordenadas serán introducidas en el mapa, así como la escala para el ejemplo: -JM10.5i

-W se usa para determinar la pluma de dibujo y el color. En este caso: -W0.02c

-D resolución. Selecciona la resolución de la base de datos de la que se extraerán los elementos, la resolución puede ser: f máxima, h alta, i intermedia, l baja, c muy baja.

-N detalle [pluma] Pinta los límites nacionales y los límites regionales. El nivel de detalle puede ser:

1. Límites nacionales
2. Límites provinciales
3. Límites marinos
4. Todos los límites (1-3)

-I detalle [pluma] Pinta los ríos, detalle indica el grado de detalle de los ríos pintados (10 niveles y la opción a para pintarlos todos).

-S color Establece el color o tramas para pintar el mar.

-K permite la incorporación de nuevos elementos al mapa, se usa en cada línea del código.

-X e **-Y** sirven para posicionar el mapa en la hoja de impresión.

Ejemplo: pscoast -R-92/-71/-5/3 -JM10.5i -W0.02c -Dh -B1g1 -S100/100/255 -N1/0.25p -N2/0.02c/190/190/190 -X1.5c -Y5c -K >> Ecuador1.ps

Este ejemplo dibuja el mapa de Ecuador, pinta al mapa de blanco y el mar de celeste.

Para introducir texto y diferentes símbolos se utilizan otros comandos como pstext, pslegend, psxy. El comando **psxy** permite incluir puntos líneas o polígonos en el mapa. Los puntos pueden representarse mediante diferentes iconos, tamaños y colores. Las líneas

mediante diversos tipos de línea, anchos y colores; los polígonos mediante tramas, colores y anchos de línea. La codificación de la geometría de los objetos y de los datos temáticos asociados se hace en ficheros aparte que pueden tener formato ASCII o binario como un archivo .prn.

2.4.2. Representación de puntos

En formato ASCII un fichero de puntos está formado por una línea por cada uno de los puntos. La primera columna contiene la coordenada X y la segunda columna la coordenada Y. La tercer columna contiene el tamaño del icono salvo en aquellos iconos (elipse por ejemplo) que requieren varios valores para especificar tamaño y forma. Estos casos se especifican más adelante, la opción que indica a psxy que se van a pintar puntos es **-S**. Se trata de una opción con múltiples variantes que indican el tipo de icono que se utilizará: Sx Signo más, Sy Línea vertical, Sa Estrella, Sb Barra, Sc Círculo, Sd Diamante, St Triángulo, Si Triángulo invertido, Ss Cuadrado, Sp Pentágono, -Sh Hexágono, Sg Octágono, Sl1"cadena", Se elipse (dirección en grados, eje mayor y eje menor en las columnas 3,4 y 5), Sv Vector (dirección en grados y longitud en las columnas 3 y 4), Sw Tarta (radio, dirección de comienzo y dirección final en las columnas 3,4 y 5)

Para especificar el color del que se pintarán los símbolos se utiliza la opción -G para pasar al módulo un único color para todos los símbolos o la opción -C para seleccionar un fichero de paleta de color que se utilizará para transformar los valores de la tercera columna del fichero de puntos en colores.

Ejemplo: psxy puntos.prn -R -J -Svt0.02/0.09/0.08 -Gblue -O -K >> Ecuador1.ps

En este caso se dibujaron vectores para identificar la velocidad y se utiliza un archivo con estas coordenadas, en la tercera columna se pone el valor de la dirección y en el siguiente la magnitud del vector.

-S determina la figura a dibujar en este caso v (indica que se va a dibujar el vector con la cola en el punto de las coordenadas y la flecha donde determinan la dirección y magnitud), el primer valor indica la pluma del vector, el segundo y tercero la relación de la flecha con el grosor de la línea.

Para las coordenadas a dibujar, si en un comando anterior ya se usó los comandos -R y -J se los deja sin valores en otro caso se especifica las coordenadas a dibujar.

El formato de salida del script es (.ps) para lo cual se determina el uso de otra herramienta como lo es "PDF creator" para obtener los mapas de salida en formato PDF. Para este trabajo se usa un archivo inicial .batch para que se ejecute en el sistema Windows.

Ejemplo final:

```
pscoast -R-92/-74/-6/4 -JM10.5i -W0.02c -Dh -B2g1 -S100/100/255 -N1/0.25p -  
N2/0.02c/190/190/190 -X1.5c -Y3c -K >> Ecuador.ps
```

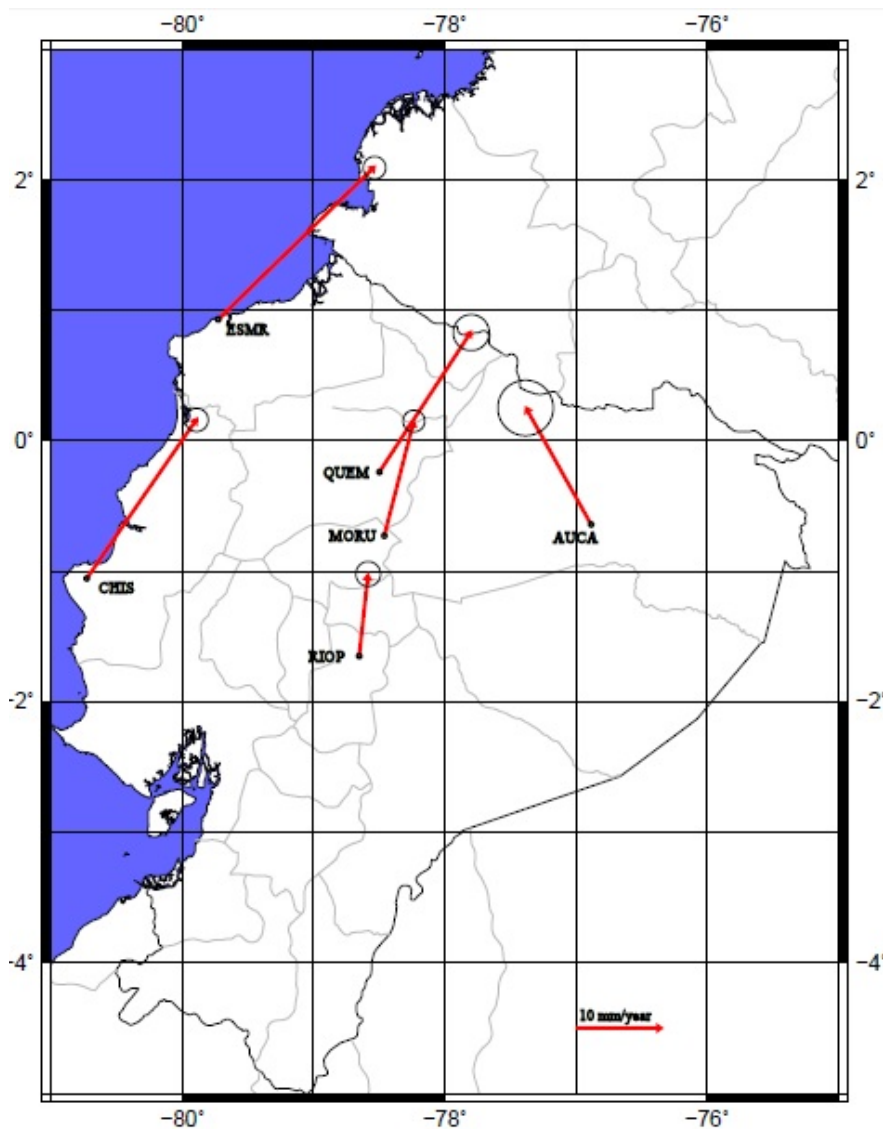
```
psxy puntos.prn -R -J -Svt0.06/0.15/0.15 -Gblue -O -K >> Ecuador.ps
```

```
psxy cir.prn -R -J -Sc -W0.04c -O -K >> Ecuador.ps
```

```
pstext texto.prn -R -J -O -Sthin -Gblack -K >> Ecuador.ps
```

En el cual puntos.prn, cir.prn, texto.prn contienen los datos necesarios para el dibujo que se obtiene en de la metodología antes descrita a continuación se muestra un ejemplo del dibujo que se desea representar.

Figura 18: Resultado del Mapeo con GMT de estaciones de Ecuador



Fuente: Agustín Ruiz

2.5. Análisis vectorial de resultados.

Para analizar los resultados, lo primero es identificar la posición en la que se produce el movimiento de desplazamiento lento. Este desplazamiento puede ser identificado en la gráfica de las series temporales de acuerdo a cada posición analizada; para el caso del norte puede ser (N/S) dependiendo de la tendencia de la serie si su pendiente es positiva se dirige hacia el norte y si es negativa hacia el sur; para la gráfica del Este de la misma forma puede ser (E/O) este cuando la pendiente sea positiva y oeste en caso contrario; para la posición up se verifica si va hacia arriba o hacia abajo.

Para el mapeo se grafica la coordenada N-E por lo que este vector mide el movimiento de desplazamiento en planimetría. Para el caso de la altura es necesario realizar un análisis no solo del posicionamiento y su movimiento, sino de su ubicación, el valor de la gravedad en el

punto en la que se encuentra ubicado y si es posible contar con datos de mareógrafos del sitio en análisis puesto que este parámetro depende de la posición del nivel del mar.

Luego de obtener el posicionamiento de cada estación se determina el desplazamiento global de las estaciones en modo de verificar si siguen la tendencia de movimiento de la paca. Como parámetro de comparación para el mapeo se utiliza los modelos propuestos por Drewes(2009) y Cisneros(2012) que son los modelos de velocidades para el IGS08 y para el marco de referencia de próxima creación en el Ecuador respectivamente. Estos modelos se pueden encontrar en CISNEROS & NOCQUET, (2012), de los cuales el modelo de Drewes toma valores para el posicionamiento hasta el 2009 y los publica en el modelo VEMOS2009 mientras que Cisneros realiza un análisis de 15 años de medición de las redes permanentes GPS del Ecuador.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS

En este capítulo se presenta el desarrollo de las series de tiempo GPS del año 2013, tanto para los datos obtenidos con el uso de la herramienta del CSRS-PPP, como de las semanales administradas por SIRGAS; los datos son diarios, el día 1 de la serie corresponde al 1 de enero y el día 365 corresponde al 31 de diciembre del año en mención y semanales iniciado con la primera semana de enero hasta la cuarta semana de diciembre (62 semanas), con coordenadas que inician desde 1721 hasta la 1773 respectivamente.

Para el análisis y posterior representación gráfica de los resultados, se ha elaborado una herramienta digital denominada utilitario GUI de Matlab, que sirve como conexión para el cálculo y grafica de datos, y operará de acuerdo a los pasos propuestos en la metodología, por medio de ello se consigue el fin propuesto en los objetivos del presente trabajo investigativo como es el cálculo de la magnitud de la velocidad y dirección del vector de desplazamiento de las estaciones de la REGME.

En la *tabla 7*, se presentan las 17 estaciones que en el año 2013 reúnen las condiciones y características necesarias para el desarrollo del presente trabajo investigativo; los resultados de sus datos diarios y semanales se encuentran expresados en los en los anexos 3 y 4.

Con la finalidad de presentar todas las formas posibles de análisis e interpretación de las series de tiempo GPS, se ha considerado como parte de este capítulo describir el procedimiento y resultados de las estaciones LJEC, CUEC y PJEC, aplicándolo tanto para soluciones diarias como semanales.

Tabla 7: Resumen de estaciones de la REGME hábiles para el análisis.

ESTACIÓN	NOMBRE	LATITUD	LONGITUD	ANTENA	RECEPTOR	DESDE	AGENCIA
ALEC	ALASI	2° 12' 07.76276" S	78° 50' 50.66235" W	TRM59800.00	TRIMBLE NETR9	2012/12	IGM
CHEC	EL CHACO	00° 20' 21.36820" S	77° 48' 51.99762" W	TRM59800.00	TRIMBLE NETR9	2012/12	IGM
CLEC	CELICA	4° 06' 11.00831" S	79° 57' 19.99665" W	TRM59800.00	TRIMBLE NETR9	2013/01	IGM
CUEC	CUENCA	02° 52' 59.8724" S	79° 00' 08.9902" W	TRM59800.00	TRIMBLE NETR9	2012/12	Cuenca
ECEC	EL CARMEN	0° 16' 18.65214" S	79° 27' 06.73179" O	TRM59800.00	TRIMBLE NETR9	2012/10	IGM
ESMR	ESMERALDAS	0° 56' 04.7260" N	79° 43' 27.7485" W	TRM41249.00	TRIMBLE NETRS	2012/11	INSTITUTO GEOFÍSICO ESPN
GLPS	GALAPAGOS	0° 44' 34.8017" S	90° 18' 13.2354" W	ASH701945 B_M	ASHTech UZ - 12	2012/12	Jet Propulsion Laboratory
GYEC	GUAYAQUIL	02° 08' 57.69037" S	79° 53' 30.71684" W	TRM59800.00	TRIMBLE NETR9	2010/04	IGM
IBEC	IBARRA	0° 21' 00.55887" N	78° 06' 56.47255" W	TRM55971.00	TRIMBLE NETR9	2012/12	INSTITUTO GEOFÍSICO ESPN
LJEC	LOJA	03° 59' 17.74105" S	79° 11' 54.73463" W	TRM59800.00	TRIMBLE NETR9	2009/01	IGM
MHEC	MACHALA	3° 15' 38.87503" S	79° 57' 26.33065" W	TRM59800.00	TRIMBLE NETR9	2013/01	IGM
NJEC	NARANJAL	02° 40' 30.58834" S	79° 37' 15.05628" W	TRM59800.00	TRIMBLE NETR9	2012/10	IGM
PDEC	PALANDA	04° 38' 51.26936" S	79° 07' 52.57581" W	TRM59800.00	TRIMBLE NETR9	2012/12	IGM
PJEC	PAJAN	1° 33' 08.65690" S	80° 25' 30.70872" W	TRM59800.00	TRIMBLE NETR9	2012/12	IGM
QUEM	PUENGASI	00° 14' 13.39077" S	78° 29' 50.46117" W	TRM41249.00	TRIMBLE NETRS	2012/11	INSTITUTO GEOFÍSICO ESPN
RIOP	RIOBAMBA	01° 39' 02.1471" S	78° 39' 03.9856" W	TRM41249.00	TRIMBLE NETRS	1996/13	INSTITUTO GEOFÍSICO ESPN
SEEC	SANTA ELENA	2° 13' 10.67858" S	80° 54' 14.37326" W	TRM59800.00	TRIMBLE NETR9	2012/12	IGM

Fuente

y

Elaboración:

Agustín

Ruiz

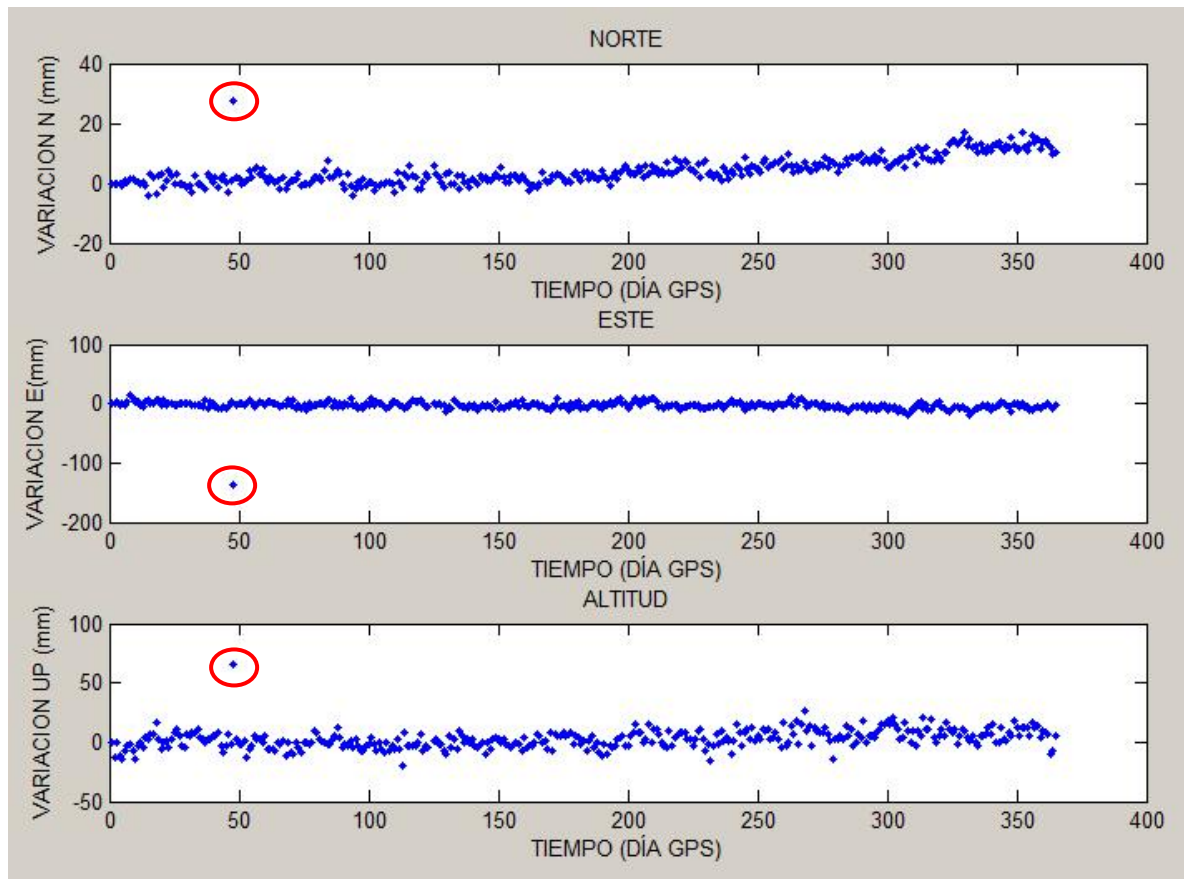
3.1. Series de tiempo de estaciones GNSS:

Para la obtención de la velocidad de desplazamiento, se inició con la identificación de error de las coordenadas geodésicas a partir de la resta de los datos con respecto a la primera posición, luego por medio del análisis gráfico se determina el comportamiento de la estación, pues ello permite verificar visualmente la tendencia lineal y descartar outliers; a continuación se presentan los errores que se pudieron identificar y la interpretación de las series en análisis.

3.1.1. CSRS-PPP.

Los resultados de la serie temporal LJEC, situada en la provincia y cantón Loja, con el cálculo desarrollado en utilitario GUI denominado análisis de series temporales se presenta la gráfica con los datos de descarga del CSRS-PPP (*Figura 19*), existe un punto que denota una posición alejada de la tendencia del posicionamiento; en esta estación excepto por el outlier identificado que corresponde al día 48 cuyas variaciones son N: 91 mm, E: 121.2 mm, UP: 22.1 mm, las posiciones se encuentra en el rango de la varianza por lo que se procede a determinar la recta de regresión y la velocidad (pendiente de la línea distancia vs tiempo)

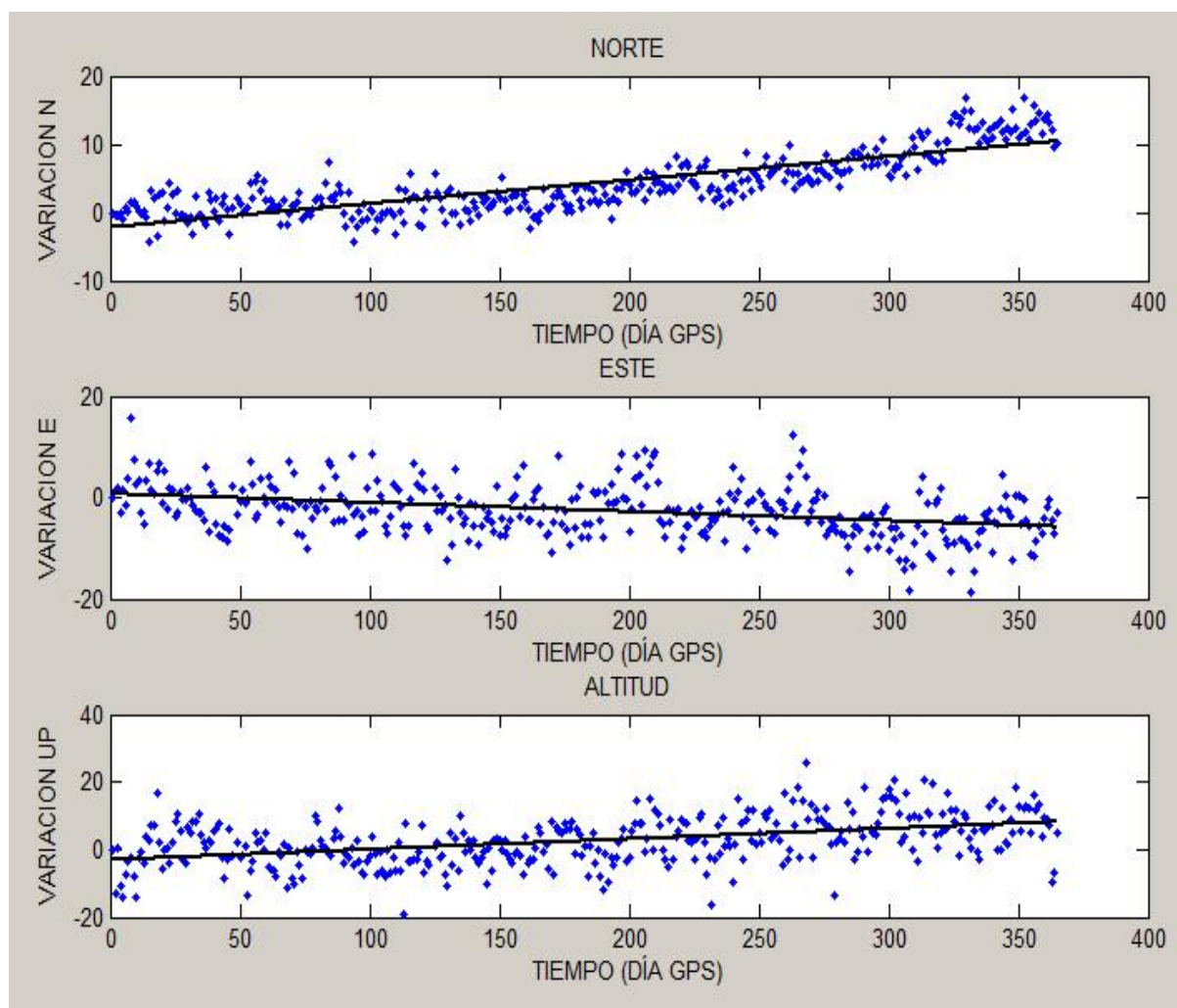
Figura 19: Serie Temporal Estación LJEC



Fuente y Elaboración: Agustín Ruiz

En la Figura 20 se observa que el componente Norte tiene pendiente positiva y el componente este pendiente negativa. Con este análisis se concluye que la dirección de desplazamiento de esta estación es Nor-este. En el parámetro Up se observa una tendencia ascendente; con las posiciones Norte, Este, y Up se desarrolla el proceso descrito en la metodología que se encuentra programado en un utilitario, la figura 20 muestra la recta de regresión de conformidad con lo siguiente:

Figura 20: Serie Temporal estación LJEC con la recta de regresión mediante mínimos cuadrados



Fuente y Elaboración: Agustín Ruiz

Los valores de las velocidades y desviación estándar (grado de incertidumbre) se encuentra en la siguiente tabla resumen, la cual además contiene el número de datos analizados, la dirección y magnitud del vector resultante.

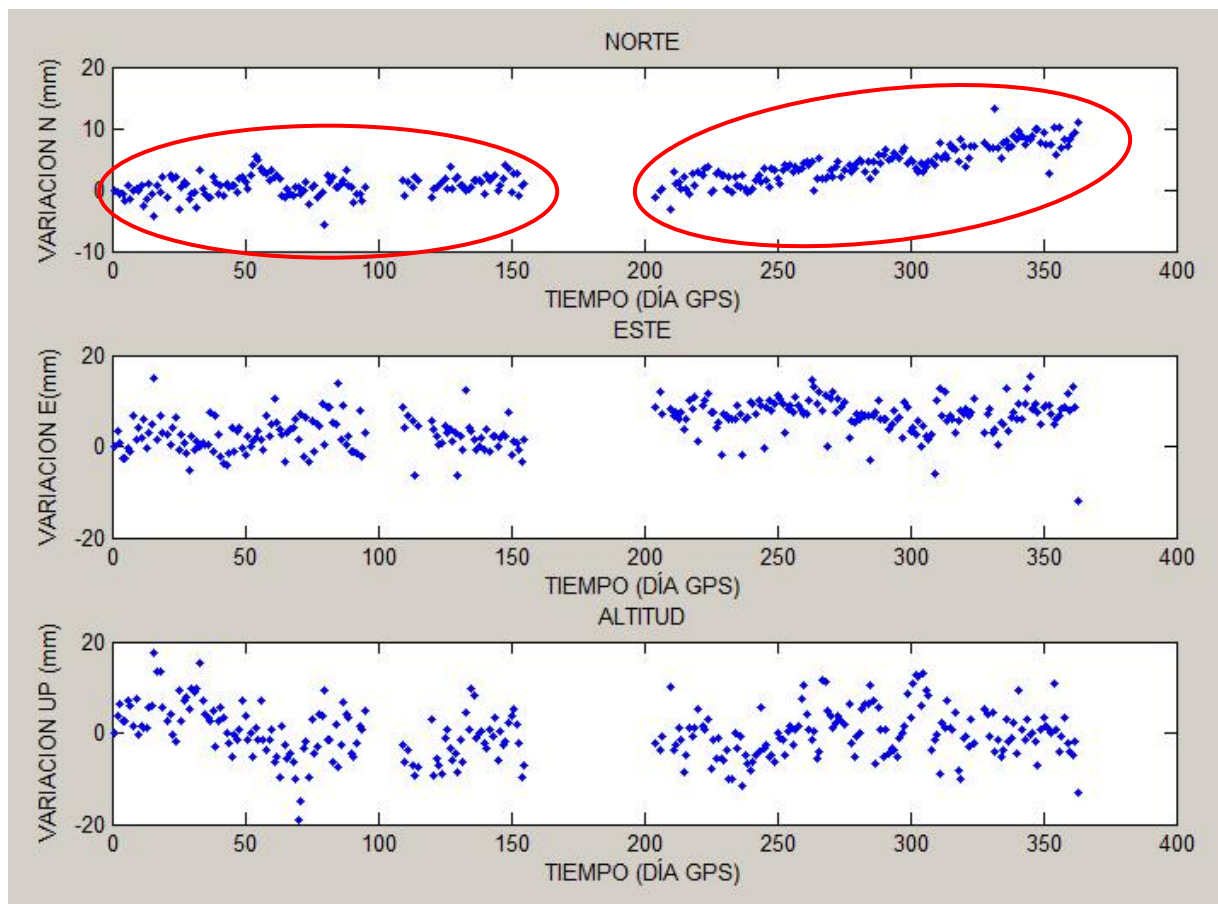
Tabla 8: Tabla de resultados de la estación LJEC

Estación LJEC	
DETALLE	RESULTADO
LATITUD:	-79.198538
LONGITUD:	-3.98826
COTA:	2143.352
DATOS PROCESADOS:	363
VELOCIDAD NORTE (mm/año):	12.647 ± 0.447
VELOCIDAD ESTE (mm/año):	-6.515 ± 0.854
VELOCIDAD UP (mm/año):	11.265 ± 1.158
VELOCIDAD N-E (mm/año):	14.227 ± 0.964
DIRECCIÓN VR:	117.256

Fuente y Elaboración: Agustín Ruiz

Para el análisis de las estaciones CUEC y PJEC de Cuenca y Paján, se requiere otro procedimiento de análisis. Estas estaciones no mantienen datos de forma continua, por lo que se realiza el análisis de las series antes y después del intervalo en el que no se tiene datos, para luego realizar un promedio de los resultados obtenidos previamente.

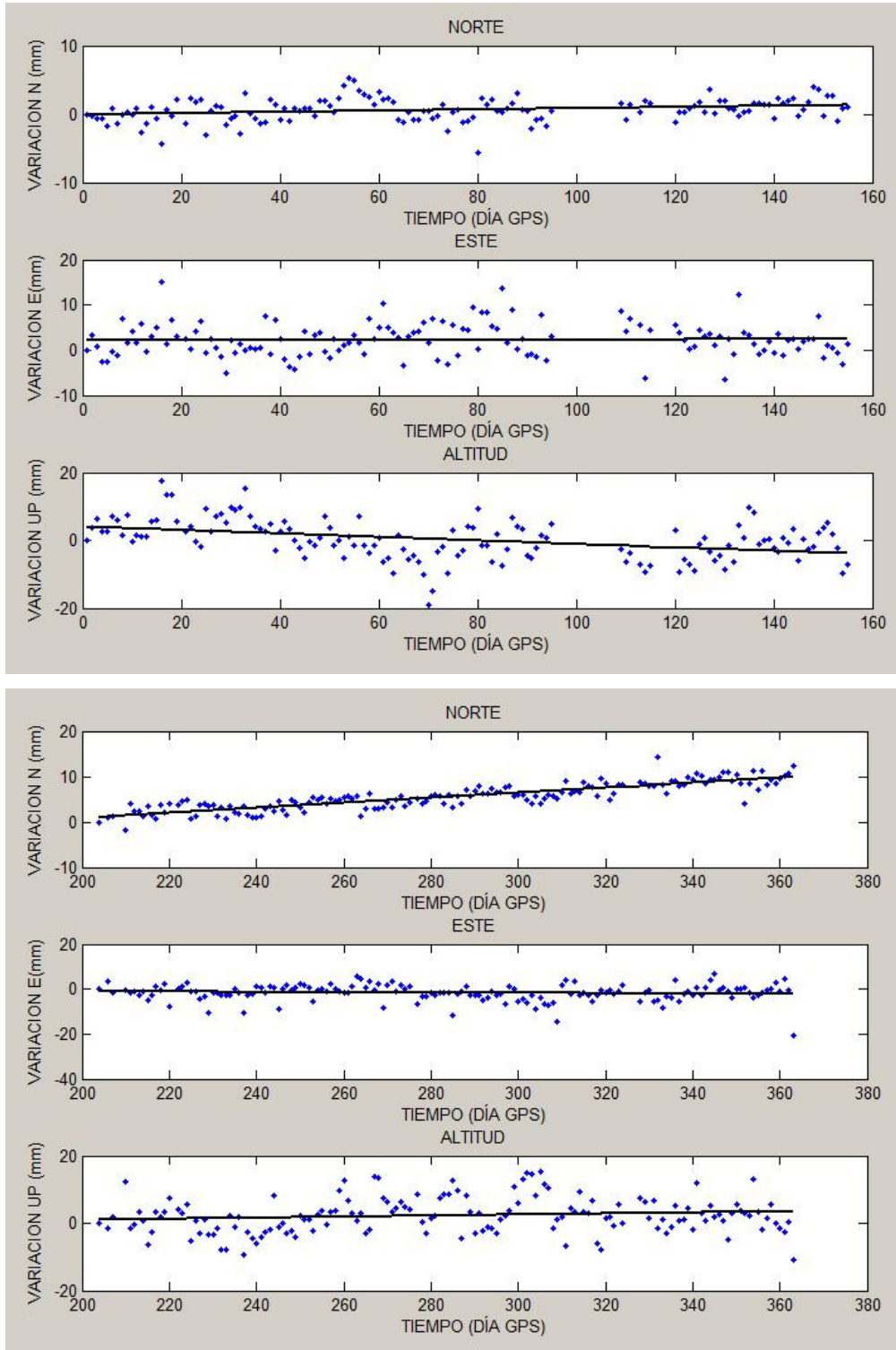
Figura 21: Serie Temporal Estación CUEC-Cuenca



Fuente y Elaboración: Agustín Ruiz

Como se puede visualizar en la Figura 22 la serie completa genera una gráfica con dos tendencias por lo cual se analiza cada una por separado, obteniendo así una pendiente que incluya los datos faltantes en la serie.

Figura 22: Series de la Estación CUEC antes y después del sesgo con la recta de regresión lineal



Fuente y Elaboración: Agustín Ruiz

La estación CUEC tiene un grado de confianza bajo del 85% por falta de datos, pero como es superior al 80% en la relación a los parámetros establecidos en la metodología se los considera en el análisis; los resultados de las velocidades se presentan en la Tabla 9.

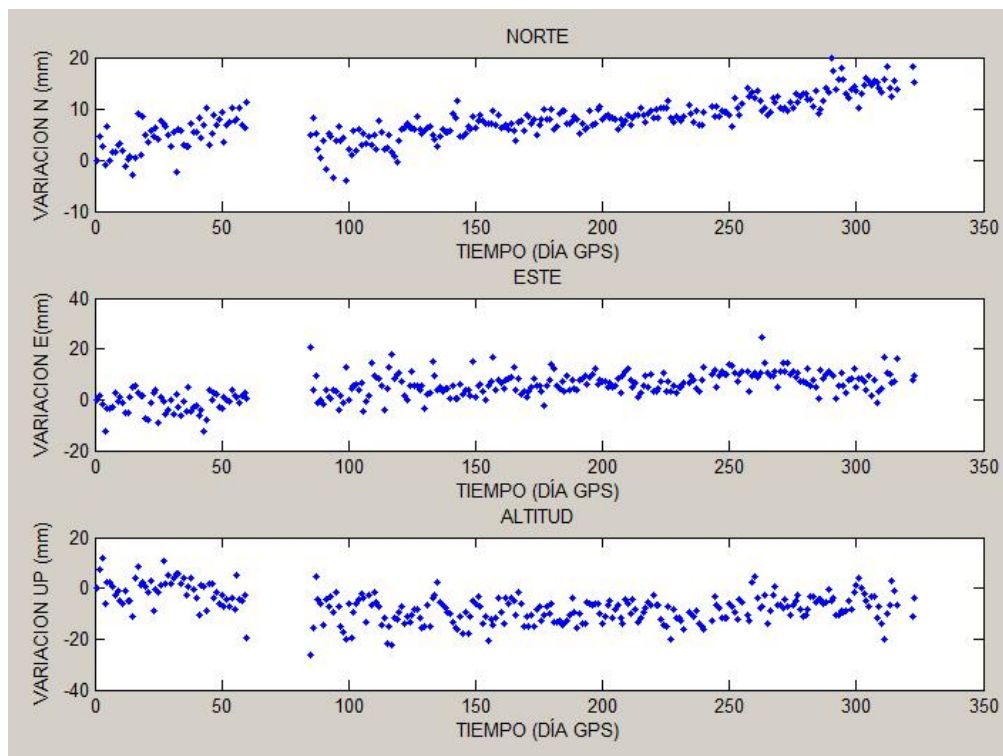
Tabla 9: Resultados Estación CUEC

ESTACIÓN:	CUEC1		RESULTANTE
LATITUD:	-79.002497		
LONGITUD:	-2.883297		
COTA:	2631.111		
DATOS PROCESADOS:	159	152	311
VELOCIDAD NORTE (mm/año):	3.286 ± 1.122	20.367 ± 0.966	11.827 ± 1.044
VELOCIDAD ESTE (mm/año):	0.194 ± 2.528	-2.456 ± 2.427	-1.131 ± 2.478
VELOCIDAD UP (mm/año):	-18.65 ± 3.697	5.792 ± 3.428	-6.429 ± 3.563
VELOCIDAD N-E (mm/año):	3.292 ± 2.766	20.515 ± 2.612	11.88 ± 2.688
DIRECCIÓN VR:	86.616	96.876	91.746

Fuente y Elaboración: Agustín Ruiz

En la estación PJEC existe falta de continuidad entre el día 61 y 84, pero en este caso los datos se ubican mayoritariamente en un sector, por lo cual se determina la regresión con el conjunto universo de datos puesto que no existe cambio de tendencia como se observa en la siguiente figura.

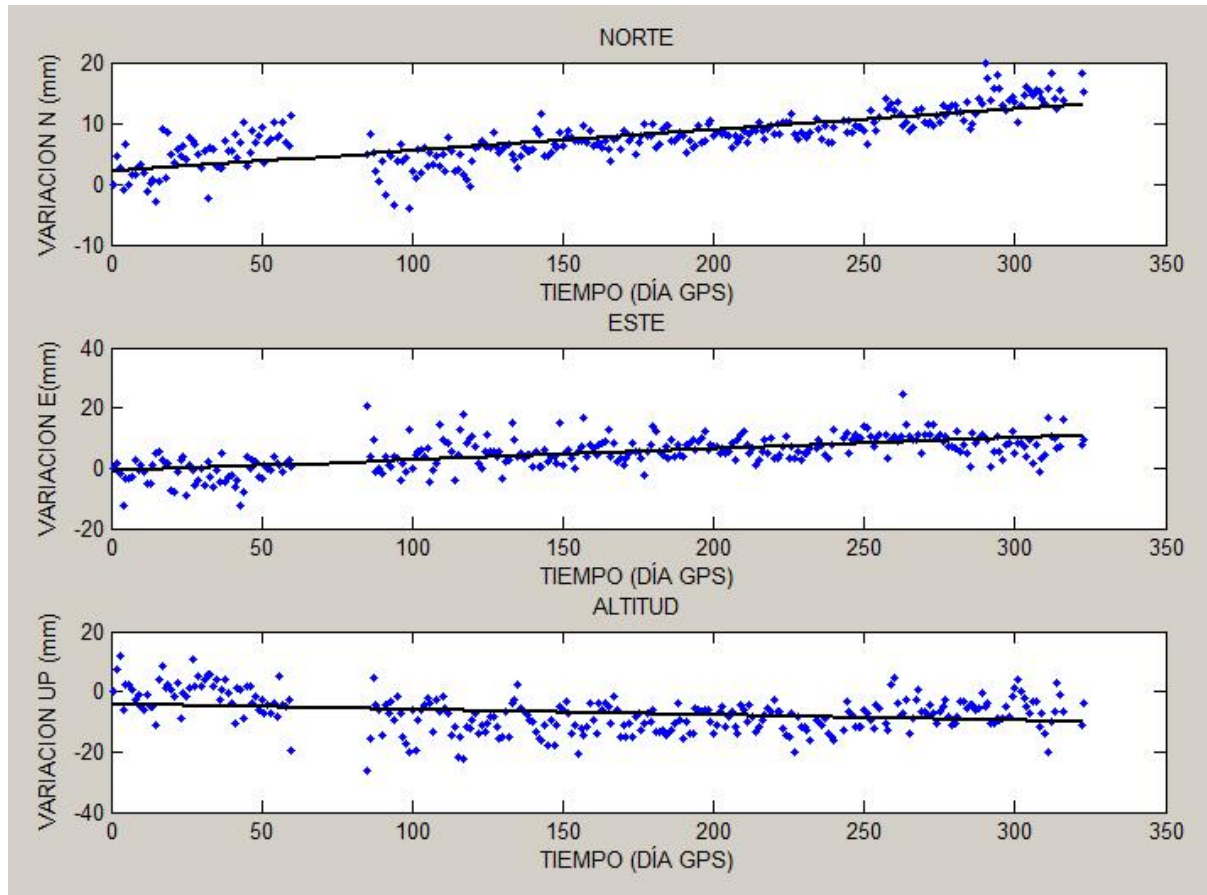
Figura 23: Series Temporales Estación PJEC ubicada en Paján



Fuente y Elaboración: Agustín Ruiz

La recta de regresión de la figura 24 sigue la tendencia de la dispersión de los puntos que continua después del salto, además se puede visualizar que el movimiento es hacia el noreste con una pendiente negativa. Los resultados de la recta así como los cualitativos de la velocidad se pueden observar a continuación.

Figura 24: Serie Temporal de la estación PJEC con la recta de regresión lineal.



Fuente y Elaboración: Agustín Ruiz

Tabla 10: Resultados estación PJEC

Estación PJEC	
DETALLE	RESULTADO
LATITUD:	-80.425196
LONGITUD:	-1.552403
COTA:	146.718
DATOS PROCESADOS:	290
VELOCIDAD NORTE (mm/año):	12.441 ± 0.595
VELOCIDAD ESTE (mm/año):	13.335 ± 1.006
VELOCIDAD UP (mm/año):	-6.575 ± 1.366
VELOCIDAD N-E (mm/año):	18.237 ± 1.168
DIRECCIÓN VR:	43.013

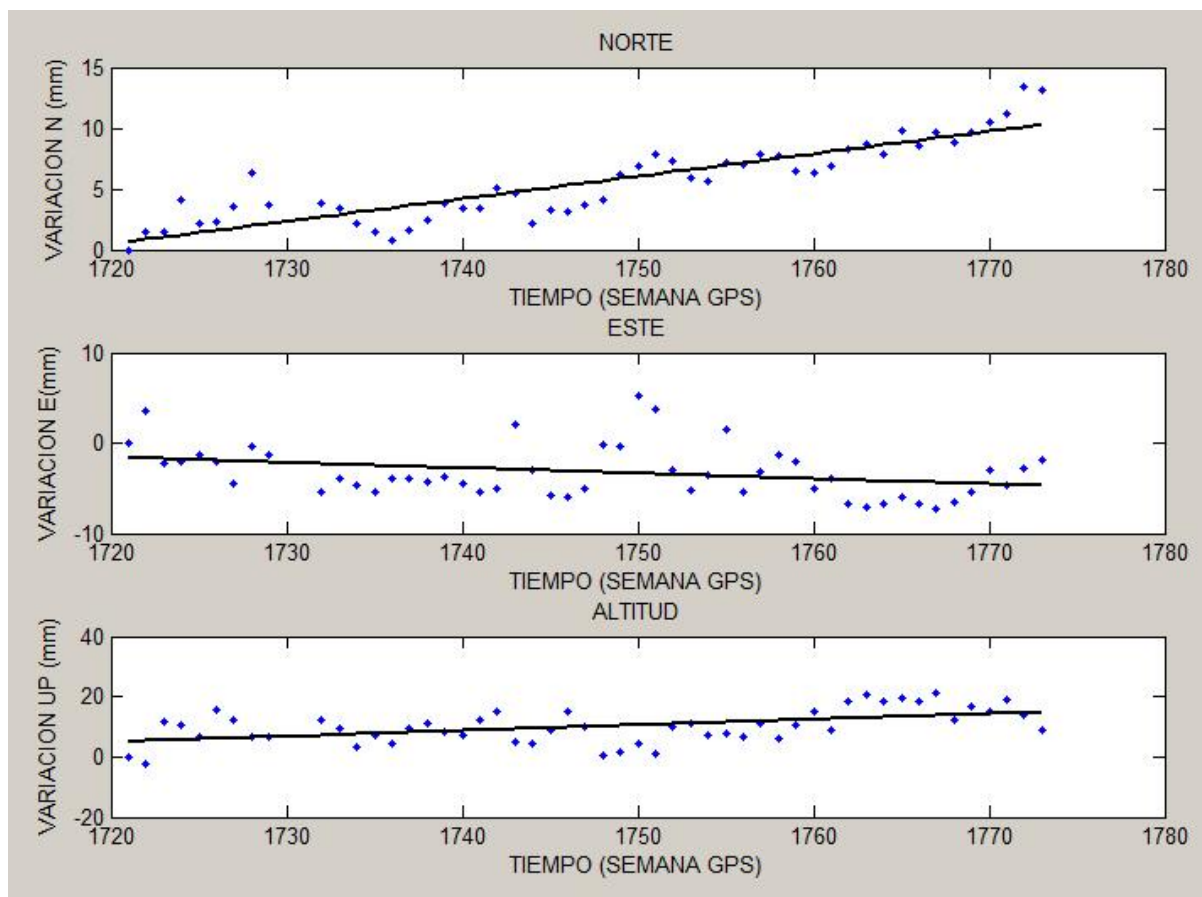
Fuente y Elaboración: Agustín Ruiz

3.1.2. SIRGAS:

En el caso de las series de las coordenadas obtenidas en SIRGAS, se observa que la dispersión de los datos con respecto a la media es mayor pero se conserva la tendencia lineal, como se explicó en la metodología el procesamiento de datos en este caso se realiza a partir de las soluciones semanales, para la presente investigación el análisis de estos datos sirven como un parámetro de comparación de la magnitud de la velocidad y su dirección N-E con las obtenidas del CSRS-PPP.

La figura 25 y tabla 11, presenta los resultados del análisis de los datos de la estación LJEC (Loja). Se puede observar que no existe ningún dato fuera de rango puesto que a estos ya se les realiza un análisis estadístico antes de su publicación, los valores de las magnitudes entre la serie semanal y diaria difieren por lo antes mencionado pero se encuentran cercanos en magnitud y dirección.

Figura 25: Serie Temporal de estación LJEC con datos semanales de (SIRGAS)



Fuente y Elaboración: Agustín Ruiz

En la serie de LJEC que ya fue descrita en los resultados diarios del CSRS-PPP se observa que la dirección de movimiento es hacia el noroeste; la pendiente Up es positiva. Por el bajo

número de datos en el año y al tratarse de semanas GPS la desviación estándar aumenta lo que indica un mayor grado de incertidumbre de los resultados cualitativos que se visualizan a continuación.

Tabla 11: Resultados estación LJEC con datos semanales.

ESTACIÓN LJEC (SIRGAS)	
DETALLE	RESULTADO
LATITUD:	-79.198538
LONGITUD:	-3.98826
COTA:	2143.334
DATOS PROCESADOS:	51
VELOCIDAD NORTE (mm/año):	9.663 ± 0.727
VELOCIDAD ESTE (mm/año):	-3.11 ± 1.32
VELOCIDAD UP (mm/año):	9.804 ± 2.352
VELOCIDAD N-E (mm/año):	10.151 ± 1.507
DIRECCIÓN VR:	107.843

Fuente y Elaboración: Agustín Ruiz

3.2. Velocidades.

Las velocidades de desplazamiento de las estaciones REGME analizadas y la desviación estándar de las mismas se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12: Resultados de velocidades de la REGME con datos diarios.

ESTACIÓN	VELOCIDAD (mm/año)					
	NORTE	σ (\pm)	ESTE	σ (\pm)	UP	σ (\pm)
ALEC	10.031	0.480	4.208	0.608	10.596	1.355
CHEC	13.750	0.479	-0.581	0.839	1.720	1.296
CLEC	6.588	0.451	-8.845	0.804	5.675	1.191
CUEC	11.827	1.044	-1.131	2.478	-6.429	3.563
ECEC	15.104	0.602	6.821	0.849	-1.350	1.119
ESMR	21.534	0.568	19.760	0.578	8.172	1.559
GLPS	13.803	0.390	-51.691	0.485	-1.918	0.744
GYEC	5.602	0.451	5.415	0.797	-11.987	1.026
IBEC	15.965	0.486	-0.034	0.647	-0.490	1.365
LJEC	12.647	0.447	-6.515	0.854	11.265	1.158
MHEC	13.033	0.543	-0.603	0.772	-2.249	1.196
NJEC	11.983	0.435	2.757	0.774	3.672	1.106
PDEC	9.287	0.411	-3.027	0.749	6.055	1.045
PJEC	12.441	0.595	13.335	1.006	-6.575	1.366
QUEM	18.612	0.419	9.425	0.819	9.807	1.447
RIOP	10.789	0.420	5.567	0.564	8.763	1.010
SEEC	13.890	0.522	4.010	1.045	-1.818	1.352

Fuente y Elaboración: Agustín Ruiz

Tabla 13: Resultados de velocidades de datos semanales obtenidos en SIRGAS

ESTACIÓN	VELOCIDAD (mm/año)					
	NORTE	σ (\pm)	ESTE	σ (\pm)	UP	σ (\pm)
CUEC	4.757	0.614	8.865	0.680	-0.449	1.545
ESMR	17.575	0.772	20.633	0.468	6.153	1.547
GLPS	10.413	0.623	-50.134	0.459	-1.013	1.555
GYEC	1.849	0.708	5.735	0.474	-9.523	1.540
LJEC	9.671	0.727	-3.017	1.325	9.801	2.333
MHEC	14.259	1.052	-3.592	1.524	10.353	3.153
NJEC	8.712	1.174	3.405	1.658	18.351	3.081
QUEM	14.371	0.588	9.198	0.466	5.166	2.170
RIOP	7.649	0.588	3.639	0.379	8.909	1.679

Fuente y Elaboración: Agustín Ruiz

Para el análisis de datos SIRGAS no se cuenta con el total de estaciones, por lo que la comparación del vector N-E de cada estación solo se realiza entre las estaciones con las que se tiene información. La Tabla 14 presenta la comparación de los resultados descritos.

Tabla 14: Comparación de Velocidades con datos semanales y diarios.

ESTACIÓN	Semanales (SIRGAS)		DIRECCIÓN	Diarios (IGM/CSRS-PPP)		DIRECCIÓN
	VELOCIDAD (mm/año)			VELOCIDAD (mm/año)		
	N-E	σ (\pm)		N-E	σ (\pm)	
ESMR	27.103	0.903	40.4236451	29.227	0.810	47.45934773
GLPS	51.204	0.774	168.266644	53.502	0.622	165.0489064
GYEC	6.026	0.852	17.8714066	7.792	0.916	45.9747963
LJEC	10.131	1.512	107.325476	14.227	0.964	117.2564259
MHEC	14.705	1.852	104.139921	13.047	0.944	92.65101814
NJEC	9.354	2.032	68.6523779	12.296	0.888	77.04417986
QUEM	17.063	0.750	57.3788092	20.863	0.920	63.14186111
RIOP	8.470	0.700	64.5577526	12.141	0.703	62.70662221

Fuente y Elaboración: Agustín Ruiz

Como se puede observar los resultados de las velocidades para los datos diarios y semanales son similares en su magnitud y dirección. Se puede comparar su semejanza en un estudio realizado por MOYA, BASTOS, & RIVAS, (2014) en el cual se establece una comparación de las dos metodologías de cálculo y su aproximación. En esta investigación se compara también los resultados pero el análisis es realizado de los datos diarios. El resultado de los vectores de desplazamiento N-E para el resto de estaciones analizadas se presenta en la tabla 15.

Tabla 15: Vectores resultantes para estaciones con datos diarios:

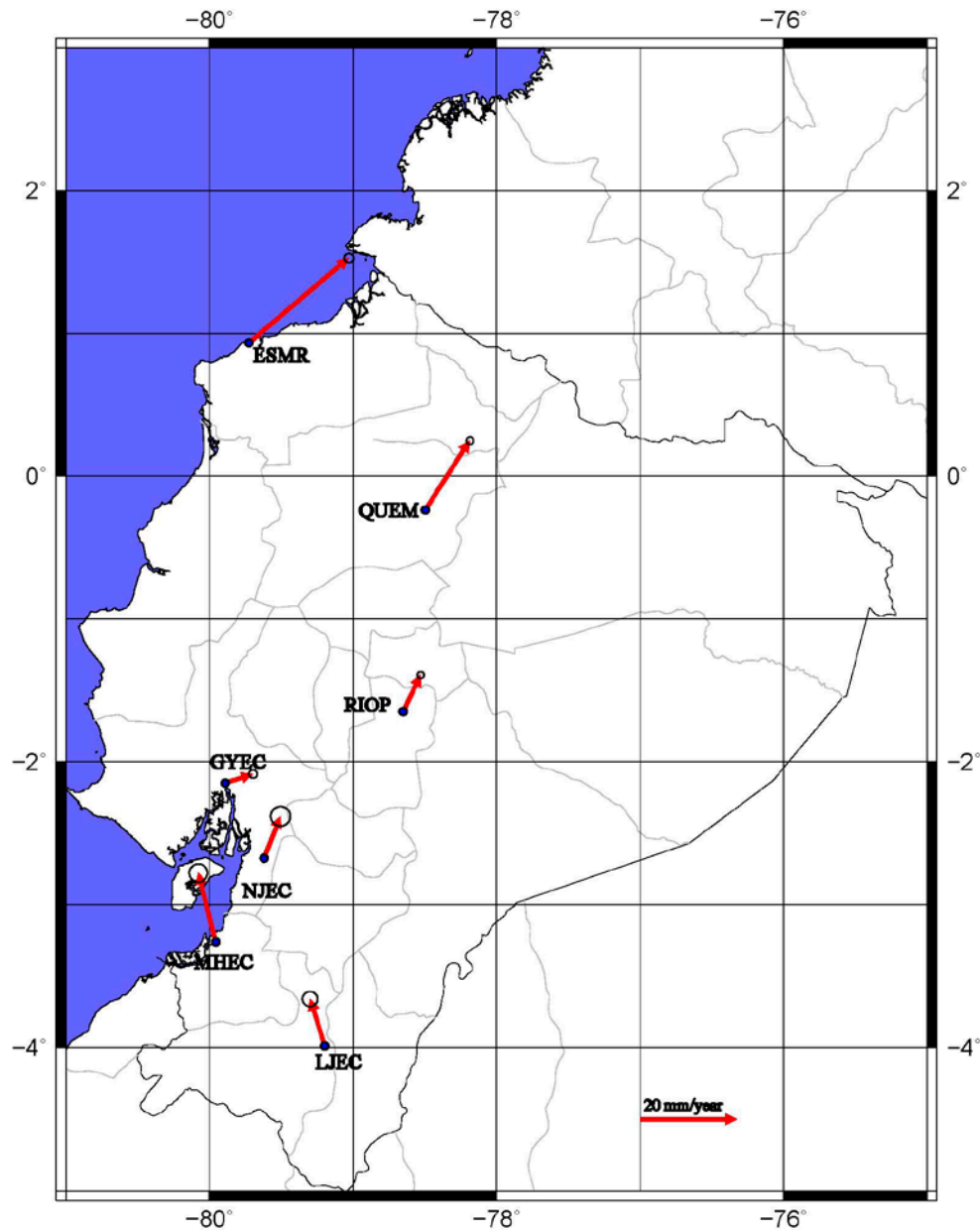
ESTACIÓN	VELOCIDAD (mm/año)		DIRECCIÓN
	N-E	σ (\pm)	
ALEC	10.878	0.775	67.2404753
CHEC	13.762	0.966	92.4186517
CLEC	11.029	0.922	143.3208285
CUEC	11.873	2.724	95.462507
ECEC	16.572	1.041	65.69622951
IBEC	15.965	0.809	90.12297809
PDEC	9.768	0.854	108.055012
PJEC	18.237	1.168	43.01339089
SEEC	14.457	1.168	73.897788

Fuente y Elaboración: Agustín Ruiz

3.3. Mapeo de resultados.

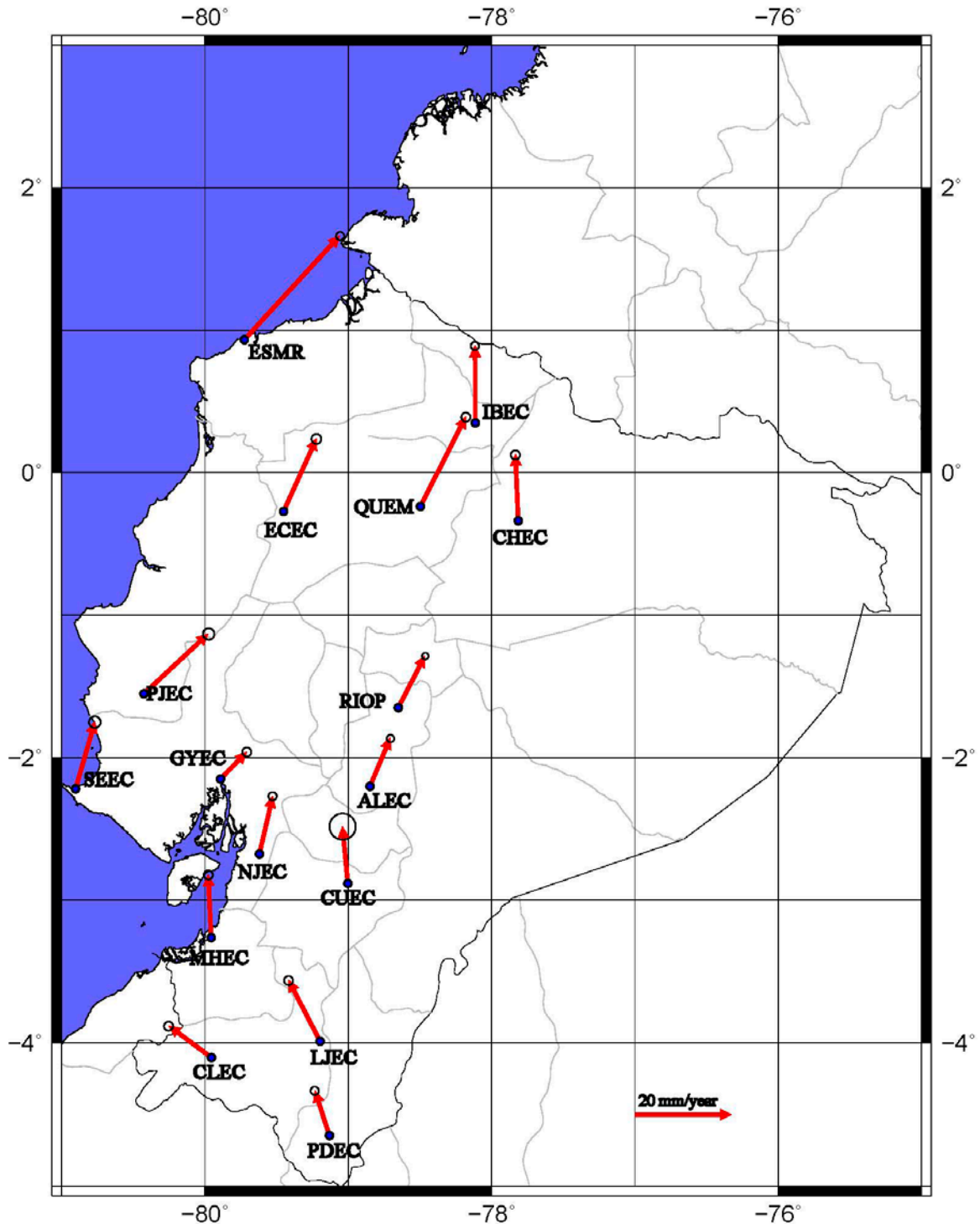
Con respecto a los resultados obtenidos se procede a realizar la gráfica de los vectores de velocidad, tanto para los datos de SIRGAS como para los diarios del procesamiento PPP, y además con el fin de realizar una comparación y el análisis de los resultados se presenta la gráfica realizada por Cisneros, la gráfica de velocidades del modelo que obtiene Drewes.

Figura 26: Vectores de Velocidad para datos semanales.



Fuente y Elaboración: Agustín Ruiz

Figura 27: Resultados de los vectores de velocidad para datos diarios.



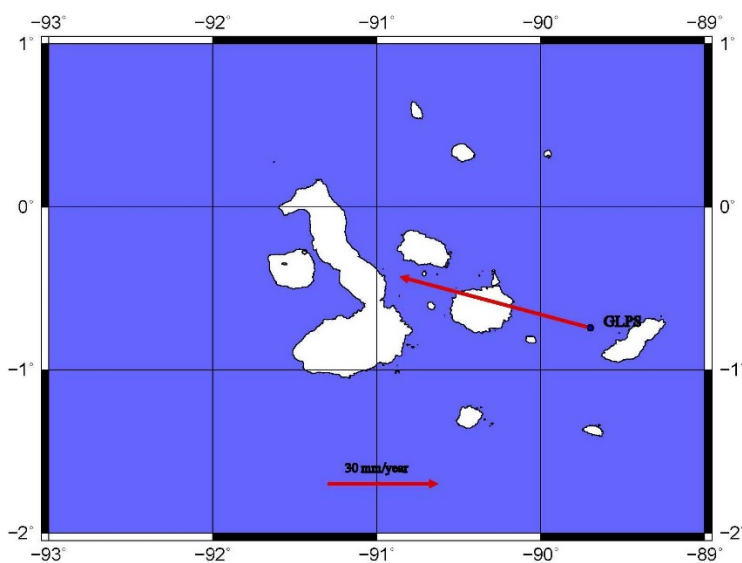
Fuente y Elaboración: Agustín Ruiz

Como se puede observar en el mapa realizado de los resultados se determina que las velocidades comparables entre los datos semanales y diarios conservan la misma dirección de movimiento así como una magnitud cercana, además se visualiza que las velocidades generan un movimiento en tres sectores de acuerdo a la cercanía a la placa de Nazca y a la cordillera de los andes, mientras que en la parte norte se observa un movimiento de mayor

magnitud que en el sur donde se visualiza un cambio de dirección en comparación con las demás velocidades.

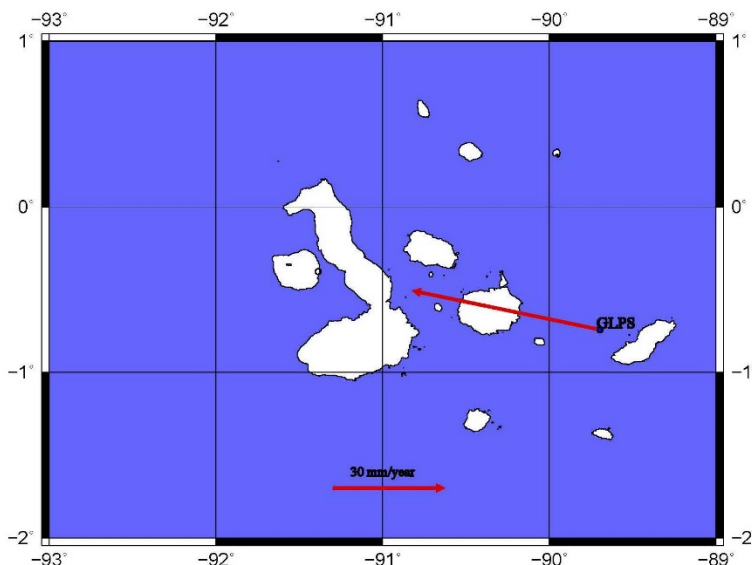
Para el caso de las Archipiélago de Galápagos se genera otro tipo de comportamiento por cuanto se encuentra ubicada cerca de la falla de cocos y además en la placa de nazca que tiene mayor fuerza de movimiento, por lo que su magnitud es superior en comparación con el resto de estaciones, por otra parte se puede visualizar que lleva un cambio de dirección con respecto al movimiento usual pero así mismo se observa que para los datos semanales y diarios son iguales como se observa a continuación.

Figura 28: Vector de Velocidad en la islas Galápagos para datos diarios.



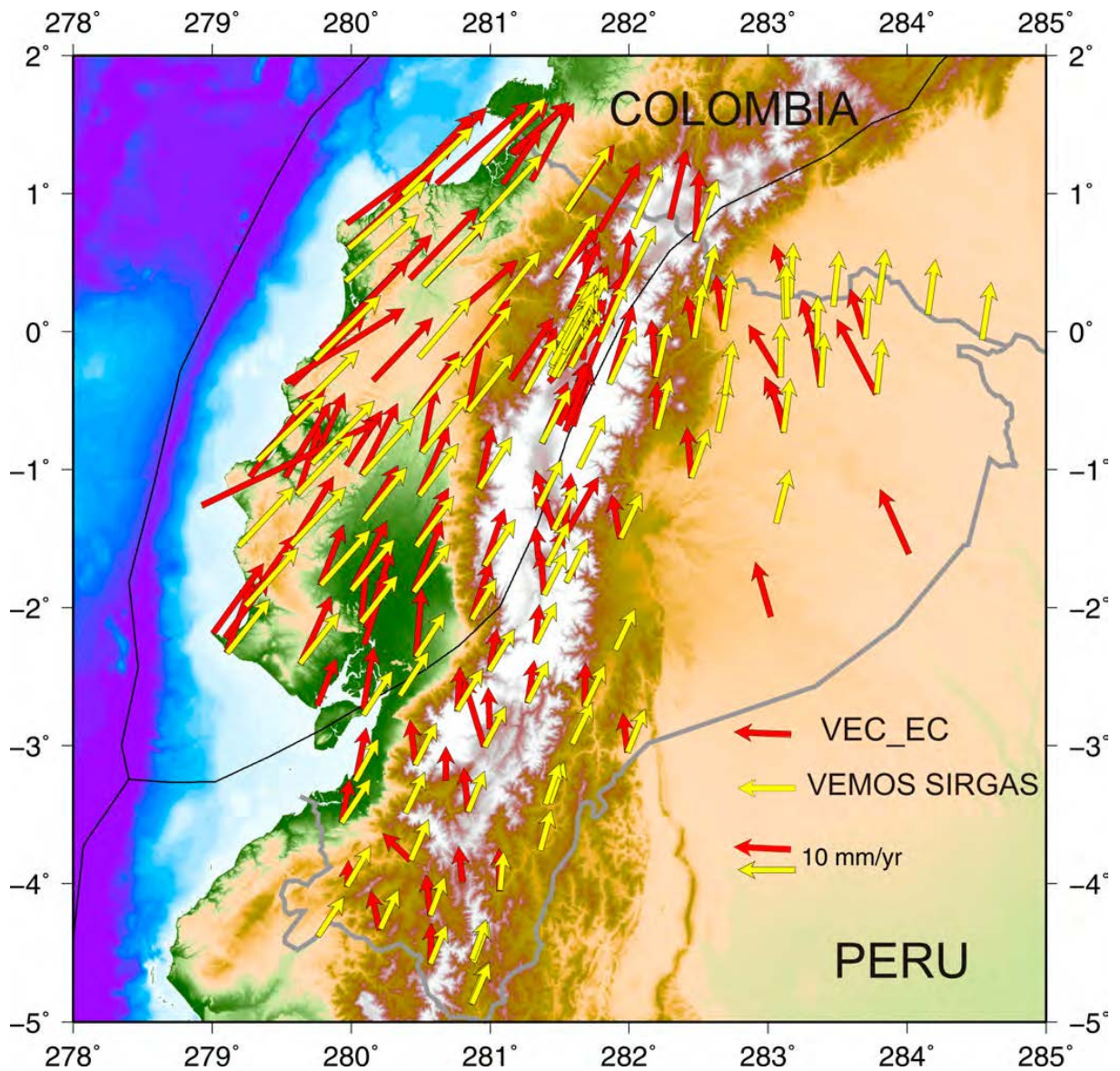
Fuente y Elaboración: Agustín Ruiz

Figura 29: Vector de Velocidad en la islas Galápagos para datos semanales



Fuente y Elaboración: Agustín Ruiz

Figura 30: Modelos de Velocidades VEMOS SIRGAS y VEC_EC



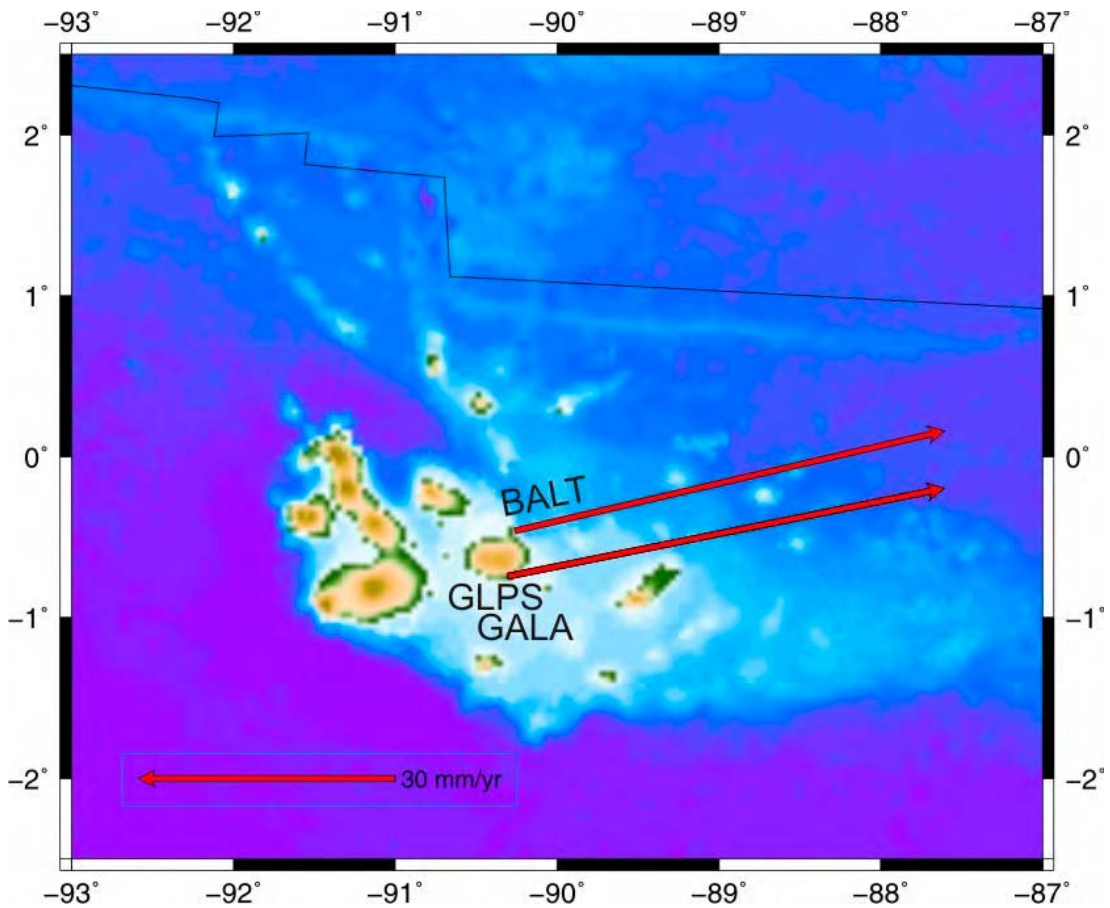
Fuente: (CISNEROS & NOCQUET, 2012)

Se puede visualizar que de la comparación realizada a los resultados obtenidos en el año 2013, con los modelos de Drewes y Cisneros se conserva la dirección y magnitud, aunque es necesario indicar que existen algunas diferencias, que analizadas estadísticamente se deben al mayor número de datos con los que se desarrollaron estos modelos, pues la cantidad de datos infiere de sobremanera para la precisión de los resultados, aunque también por la aleatoriedad del comportamiento de la corteza terrestre puede ser cambiante por las diferentes temporadas.

El comportamiento de las Islas Galápagos es diferente con respecto a las estaciones ubicadas en el Ecuador continental. Esto se debe a que la estación GLPS está ubicada en la

Placa de Cocos que tiene un comportamiento dinámico diferente al de la Placa Sudamericana. En la figura 31 tomada del modelo VEC_EC, se observa que la dirección de desplazamiento de estación GLPS y BALT es Nor-este. Con los datos del año 2013, la dirección de desplazamiento es Nor-oeste, por lo cual se debe realizar un estudio concreto del porqué de este movimiento.

Figura 31: Modelo VEC_EC en el archipiélago de Galápagos.



Fuente: (CISNEROS & NOCQUET, 2012)

CONCLUSIONES.

- La gráfica de las series temporales de datos GNSS, permite identificar de forma visual diversas características y así escoger un adecuado modelo estadístico para el cálculo de las velocidades.
- El aumento o disminución de datos genera un cambio en la desviación estándar de la velocidad lo que indica una variación en el grado de incertidumbre de los resultados obtenidos.
- La dirección de movimiento de las 17 estaciones en el año 2013 es hacia el noreste aunque existen sectores con inclinaciones de movimiento hacia el noroeste sobretodo en la parte sur del Ecuador.
- El comportamiento de las velocidades Norte y Este difieren en su comportamiento con respecto a la altitud (UP), por las variaciones de los fenómenos geofísicos que los producen, para el primer caso se relacionan directamente con el movimiento de las placas tectónicas mientras que el otro depende de la gravedad y los cambios del nivel del mar.
- El desplazamiento de las estaciones cercanas a la placa tectónica conservan su dirección, mientras que las más lejanas cambia la dirección y magnitud de movimiento.
- Los vectores de velocidad determinados para el año 2013 en relación a los realizados para otras temporadas presentan similares características, aunque se identifican cambios en los valores de magnitud y en la dirección de desplazamiento, lo que indica el comportamiento semi-aleatorio con relación al movimiento de la corteza terrestre.
- El uso de estaciones no permanentes para el monitoreo continuo del comportamiento de la corteza terrestre es indispensable para estudios de sectores donde es necesario abarcar una mayor cobertura y análisis de zonas específicas.
- En la ingeniería civil la determinación de las velocidades de desplazamiento de las redes de monitoreo continuo abre un sinnúmero de campos de investigación, como la determinación de movimientos en edificaciones y su incidencia en el comportamiento de las estructuras, la determinación del movimiento de laderas, medición del nivel medio del mar, actualización del catastro de las ciudades, entre otros.
- Las velocidades de desplazamiento lento de las estaciones de monitoreo GPS son indispensables en el establecimiento del Marco de Referencia para la conservación de las mediciones geodésicas en el tiempo.

RECOMENDACIONES.

- Para obtener mayor exactitud en los resultados, se debe generar modelos con gran cantidad de datos de estaciones GNSS, con lo que las velocidades de desplazamiento pueden ser determinadas y actualizadas constantemente, para generar cálculos semanales es necesario dos años como mínimo.
- Realizar otra investigación en la estación CUEC para analizar las causas que originaron una variación de la pendiente, puesto que se observa en las series diaria y semanal que se conserva el cambio de tendencia.
- Identificar los movimientos producidos por sismos para la corrección de la velocidad y la toma de este valor como un desplazamiento episódico.
- Es necesario revisar el comportamiento anómalo de las series de tiempo GPS de las estaciones de monitoreo en el análisis gráfico lo que permitiría evidenciar y tratar a tiempo errores en la mejora de la precisión en la obtención de las velocidades.
- Se debe analizar la ubicación de las estaciones de monitoreo que se sitúan en edificios de gran altitud debido a que la interacción suelo-estructura afecta el monitoreo continuo del posicionamiento.
- Generar una densificación de las estaciones en sitios donde se produzcan movimientos anómalos y con cambios de dirección con respecto a la del movimiento de la placa, así como en los sectores cercanos a la misma.
- Revisar las variaciones existentes entre los diferentes periodos de observación y análisis con el fin de conseguir una mejor precisión en el cálculo de las velocidades de desplazamiento.
- Obtener soluciones a la falta de datos por mantenimiento o por falta de satélites en la observación del posicionamiento GPS, por medio del relleno de datos comprobando la utilización de herramientas estadísticas que permitan predecir el comportamiento del movimiento, en miras a obtener magnitudes y direcciones que se ajusten de mejor forma al modelo real.

4. BIBLIOGRAFÍA

- ALTAMIMI, Z. (2010). *ITRF2008 and the IGS Contribution*. Newcastle: IGS Workshop.
- CISNEROS, D., & NOCQUET, J. (2012). CAMPO DE VELOCIDADES DEL ECUADOR OBTENIDO A TRAVÉS DE MEDICIONES DE CAMPAÑAS GPS DE LOS ÚLTIMOS 15 AÑOS Y MEDIDAS DE UNA RED GPS PERMANENTE. *Revista Geoespacial de la ESPE*, 30-49.
- ECHEVERRIA, A., KHAZARADZE, G., & et. al. (2011). Deformación cortical mediante GPS en el Este de la Cordillera Bética. Especial énfasis en el terremoto de Lorca. *Física de la Tierra*, 113-127.
- FARCO S., S. I. (2006). *Redes GPS en México y su aplicación en la sismotectónica*. DF: Universidad Autónoma de México.
- FÁREZ, C. A. (2010). *IMPLANTACIÓN DE UNA ESTACIÓN PERMANENTE*. Loja: UTPL.
- FURONES, Á. M. (2011). *SISTEMA Y MARCO DE REFERENCIA TERRESTRE. SISTEMAS DE COORDENADAS*. Valencia: Universidad de Valencia.
- HANKE, J., & WICHERN, D. (2006). *Pronósticos en los negocios*. Naucalpan de Juarez: PEARSON Educación.
- IGM. (15 de 05 de 2015). *GeoportalIGM*. (I. G. MILITAR, Editor) Obtenido de http://www.geoportaligm.gob.ec/wordpress/?page_id=207
- IGN. (15 de 04 de 2014). *International Terrestrial Reference Frame (ITRF)*. Obtenido de http://itrf.ensg.ign.fr/ITRF_solutions/2008/input_data.php
- Instituto Geofísico EPN. (12 de 07 de 2015). *Escuela Politécnica Nacional*. Recuperado el 14 de 07 de 2015, de <http://www.igepn.edu.ec/red-de-observatorios-vulcanologicos-rovig>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2012). *Procesamiento de Datos GPS Considerando Deformaciones del Marco Geodésico en el Tiempo*. México, DF.: Dirección General de Geografía y Medio Ambiente.
- MARIN, J. M. (2004). *Series Temporales*. Madrid: UC3M.
- MATEO, M. L. (2011). *Determinación precisa de velocidades en las estaciones GNSS de medición continua de América Latina*. Cuyo: Universidad Nacional del Cuyo.
- MILLER, M. (2014). *Geofísica de la Tierra Sólida*. Concepción: Universidad de Concepcion.

- MOYA, J., BASTOS, S., & RIVAS, M. J. (2014). Comparación entre las velocidades reportadas por SIRGAS y las obtenidas de un procesamiento PPP en línea. *Uniciencia*, 1-14.
- NELSON, S. N. (16 de 01 de 2012). *Tulane University*. Recuperado el 03 de 07 de 2015, de <http://www.tulane.edu/~sanelson/eens1110/pltect.htm>
- PRIETO, J. (10 de 01 de 2012). *Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Topografía, Geodesia y Cartografía*. Recuperado el 30 de 07 de 2015, de Universidad Politécnica de Madrid: <http://gps.topografia.upm.es/www/2013G.htm>
- RODRÍGUEZ, R., CIAMPAGNA, J., & IVARS, L. (18 de 07 de 2013). *Café Geodésico*. Recuperado el 30 de 07 de 2015, de <http://cafegeodesico.blogspot.com/2013/07/el-posicionamiento-puntual-preciso-ppp.html>
- ROSALES, F. (2012). *El modelamiento del movimiento de las placas tectónicas*. Bogota: Universidad Nacional de Colombia.
- SIRGAS. (11 de 01 de 2015). *Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas*. Recuperado el 17 de 07 de 2015, de <http://www.sirgas.org/index.php?id=61>
- SIRGAS. (15 de 05 de 2015). *Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas*. Obtenido de <http://www.sirgas.org/index.php?id=55>
- TAYLOR, J. R. (1997). *An Introduction to Error Analysis*. 55D Gate Five Road: University Science Books.
- TORRE, L. (2011). *Física I*. Madrid: Escuela Politécnica de Ingeniería de Minas y Energía. Universidad Nacional de Colombia. (14 de 04 de 2014). *Sistema de información de la Amazonía Colombiana*. Obtenido de <http://www.unal.edu.co/siamac/sig/geoide.html>
- WOLF, P. R., & GHILANI, C. D. (2010). *Topografía*. DF: Alfaomega Grupo Editorial.
- ZÁRATE T., B. A. (2011). Monitoreo de movimientos de ladera en el sector de San Pedro de Vilcabamba mediante procedimientos GPS. *MASKANA*, 17-25.

5. ANEXOS

5.1. Anexo 1: Ficha técnica estación LJEC.

REGME

RED GNSS DE MONITOREO CONTINUO DEL ECUADOR Formulario Informativo Estación de Monitoreo Continuo LOJA - LJEC

FORMULARIO

Preparado: Equipo Técnico REGME –
CEPGE Autor: Lic. Alberto Chávez B.
Revisado: Ing. David A. Cisneros R.
Fecha: 15 de enero de 2009
Actualización: 30 de Noviembre de 2014
Versión: 8.00



IDENTIFICACIÓN DE LA ESTACIÓN GNSS

Nombre de la Estación: Loja
Ecuador Identificación de la Estación: LJEC
Código Internacional: 42010M001
Información Adicional: ljec.20130306.log (log file
vigente) Propietario Equipos: IGM – Ecuador
Responsable Mantenimiento: CEPGE
e-mail contacto: cepge@m ail.igm.gob.ec

INFORMACIÓN SOBRE LA LOCALIZACIÓN

Provincia: Loja
Ciudad: Loja
Tipo de Monumentación: Estructura mixta de acero y concreto de 2.00m de alto, en el centro se encuentra empotrado el dispositivo de centrado forzoso: (CF-IGM-IBGE-v1).
Ubicación: La estación se encuentra ubicada en el tercer piso del edificio de CITTES en la UTPL, Av. San Cayetano Alto s/n.



Estación de Monitoreo Continuo **LJEC**

COORDENADAS OFICIALES

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

Coordenadas Geodésicas			
Latitud:	03° 59' 17.74105" S	Sigma:	0.005 m.
Longitud:	79° 11' 54.73463 " W	Sigma:	0.001 m.
Altura Elipsoidal:	2143.532 m	Sigma:	0.006 m.
Altura Nivelada *:	2125.395 m	Fuente:	IGM - CEPGE
Coordenadas Planas (UTM 17 SUR)			
Norte:	9558951.395 m.	Sigma:	0.001 m.
Este:	700008.336 m.	Sigma:	0.005 m.

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

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

INFORMACIÓN DEL EQUIPO GNSS

1.1. Receptor

4.1.1. Tipo de Receptor: TRIMBLE NETR9
 Número de Serie: 5035K70011
 Sistema Satelital: GPS+GLONASS
 Fecha de Instalación: 24 febrero 2013

1.2. Antena

4.2.1. Modelo de Antena: GNSS CHOKE
 Nombre Rinex: TRM59800.00 NONE
 Número de Serie: 34353903
 Sistema Satelital: GPS+GLONASS
 Altura de la Antena: 0.010m.
 Detalle de Altura: Distancia vertical desde el tope del dispositivo de centrado forzoso hasta el ARP (Antenna Reference Point). Ver figura inferior.
 Modelo RADOME: Ninguna (NONE)
 Número de Serie: Ninguna (NONE)
 Fecha de instalación: 24 febrero 2013

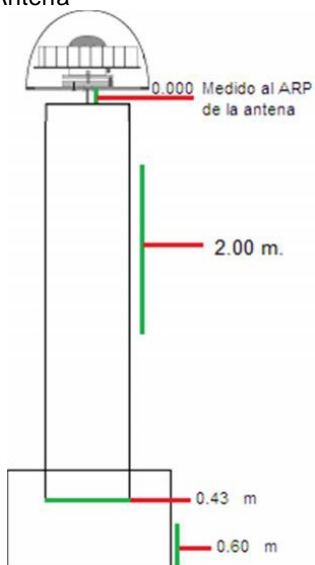
NOTA TÉCNICA:

Acceso LOG FILE OFICIAL: <http://www.sirgas.org/index.php?id=179>

Acceso Datos REGME - PROTOCOLO LIBERACIÓN IGM:

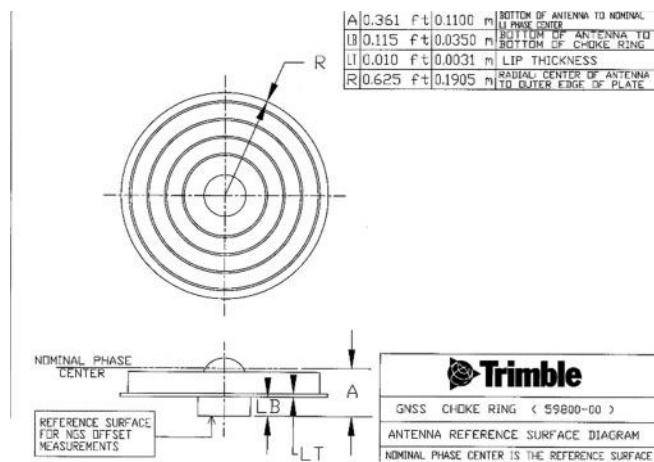
<http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/datos-geodesicos/>

4.3 Esquema de Altura de la Antena



4.3.1 Esquema de la Antena TRM59800.00

Fuente: <ftp://igsceb.jpl.nasa.gov/pub/station/general/antenna.gra>



Fuente: [National Geodetic Survey - Antenna Calibrations](#)

INFORMACIÓN DEL SENSOR METEOROLÓGICO

1.3. Detalles Técnicos del Sensor

5.1.1. Modelo de sensor:	MET A4
Fabricante sensor:	Paroscientific, Inc.
Numero de serie:	128104
Intervalo de registro:	60 segundos
Altura de sensor:	1.50 m.
Información obtenida:	Humedad, Presión, Temperatura
Fecha de Instalación:	11 de Noviembre de 2013
Red Asociada:	REGMET - IGM



ESTACIÓN METEOROLÓGICA LJEC

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Observables:	(7) C1, L1, P1, S1, P2, L2, S2
Intervalo de Registro:	1 y 30 segundos
Ángulo de Máscara:	0 grados
Archivo Diario:	Si
Formato de Archivo:	Original TRIMBLE (T02) Rinex (versión 2.11)
Servidor de Búsqueda:	www.geoportaligm.gob.ec www.igm.gob.ec
Transmite Correcciones Diferenciales por Internet en tiempo real:	SI
Servidor Cáster NTRIP:	Ninguno

INFORMES Y CONTACTOS

7.1 - Para información Técnica REGME-CEPGE contactar:

Agencia: INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR, Gestión Cartográfica, CEPGE GNSS
Dirección: Av. Seniergues E4-676 y Gral. Telmo Paz y Miño, El Dorado. Quito.
Teléfono: (593) (2) 39 75 100 al 130, extensión 2013
Fax: (593) (2) 39 75 186
Página Web: www.igm.gob.ec www.geoportaligm.gob.ec/index_2.html

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

Contacto (2): Lic. Alberto Chavez B.
E – mail: alberto.chavez@mail.igm.gob.ec
cepge@mail.igm.gob.ec

7.2 Para información sobre comercialización y adquisición de datos contactar:

Agencia: INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR, Gestión Mercadotecnia
Dirección: Av. Seniergues E4-676 y Gral. Telmo Paz y Miño, El Dorado. Quito
Teléfono: (593) (2) 39 75 194 Ext.2508
Fax: (593) (2) 39 75 194
Contactos: Ing. Fabián Santamaría
E – mail: fabian.santamaria@mail.igm.gob.ec

7.3 Instituciones participantes

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

Instituto Geográfico Militar del Ecuador

www.igm.gob.ec

Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas

www.sirgas.org/

Universidad Técnica Particular de Loja (Ing. Richard Serrano)

www.utpl.edu.ec/

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Brasil)

www.ibge.gov.br/

5.2. Anexo 2: Códigos del utilitario GUI de Matlab:

Código para la ventana de análisis de series temporales con sus algoritmos de rutina:

```
function varargout = ANALISIS_SERIES_GPS(varargin)
% ANALISIS_SERIES_GPS M-file for ANALISIS_SERIES_GPS.fig
%     ANALISIS_SERIES_GPS, by itself, creates a new ANALISIS_SERIES_GPS or
%     raises the existing
%     singleton*.
%
%     H = ANALISIS_SERIES_GPS returns the handle to a new
ANALISIS_SERIES_GPS or the handle to
%     the existing singleton*.
%
%     ANALISIS_SERIES_GPS('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls
the local
%     function named CALLBACK in ANALISIS_SERIES_GPS.M with the given
input arguments.
%
%     ANALISIS_SERIES_GPS('Property','Value',...) creates a new
ANALISIS_SERIES_GPS or raises the
%     existing singleton*. Starting from the left, property value pairs
are
%     applied to the GUI before ANALISIS_SERIES_GPS_OpeningFcn gets
called. An
%     unrecognized property name or invalid value makes property
application
%     stop. All inputs are passed to ANALISIS_SERIES_GPS_OpeningFcn via
varargin.
%
%     *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
%     instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help ANALISIS_SERIES_GPS

% Last Modified by GUIDE v2.5 16-Aug-2015 13:02:49

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @ANALISIS_SERIES_GPS_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @ANALISIS_SERIES_GPS_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [] , ...
                  'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT
```

```

% --- Executes just before ANALISIS_SERIES_GPS is made visible.
function ANALISIS_SERIES_GPS_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles,
varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to ANALISIS_SERIES_GPS (see VARARGIN)

% Choose default command line output for ANALISIS_SERIES_GPS
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);
clear global

% UIWAIT makes ANALISIS_SERIES_GPS wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = ANALISIS_SERIES_GPS_OutputFcn(hObject, eventdata,
handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes on button press in CALC.
function CALC_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to CALC (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

%ALGORITMO PARA EL CÁLCULO DE LAS VELOCIDADES
global DATOS DFT
[p9,p8]=size(DATOS);
if p8~=4 || p9==0
    warndlg('INGRESE PRIMERO LOS DATOS','ANÁLISIS DE SERIES GPS')
else
    SEMANA=DATOS(:,1);
    X=DATOS(:,2);
    Y=DATOS(:,3);
    Z=DATOS(:,4);
    %VECTOR DE TRASLACIÓN%
    dX = (X-X(1,1))*1000;
    dY = (Y-Y(1,1))*1000;
    dZ = (Z-Z(1,1))*1000;

    %DATOS QUE NO VARÍAN%
    LATITUD = atand(Y./X);
    D = sqrt(X.^2+Y.^2);

    %DATOS VARIABLES%
    LO = atand(Z./(D*(1-0.081819191^2)));

```

```

R0 = 6378137./sqrt(1-(((0.081819191).^2)*(sin(((pi*LO)/180).^2))));
e=1;
while e>10^-100
LO = atand((Z+((0.081819191^2)*sin(((pi*LO)/(180)))).*(R0))./(D));
R1= 6378137./sqrt(1-(((0.081819191).^2)*(sin(((pi*LO)/180).^2))));
e=R0(1,1)-R1(1,1);
R0=R1;
end

if LO(1,1)<45
    h=(D./(cos(((pi*LO)/(180))))) -R0;
else h=(Z./sind(LO))-R0.*(1-0.081819191^2);
end
R=[-sind(LO(1,1))*cosd(LATITUD(1,1)), -
sind(LATITUD(1,1))*sind(LO(1,1)), cosd(LO(1,1));-
sind(LATITUD(1,1)), cosd(LATITUD(1,1)), 0; cosd(LO(1,1))*cosd(LATITUD(1,1)), co
sd(LO(1,1))*sind(LATITUD(1,1)), sind(LO(1,1))];
DELTA=[dX,dY,dZ];
I=R*DELTA';
P=I';

%REGRESIÓN LINEAL
C1=polyfit(SEMANA,P(:,1),1);
S1=SEMANA;
E1=[S1,P(:,1),S1.*P(:,1),S1.^2,P(:,1).^2,(C1(2)+C1(1)*S1-P(:,1)).^2];
ss=sum(E1);
e1=sqrt(p9*ss(6)/((p9*ss(4)-ss(1)^2)*(p9-2)));
X1=polyval(C1,S1);
C2=polyfit(SEMANA,P(:,2),1);
E2=[S1,P(:,2),S1.*P(:,2),S1.^2,P(:,2).^2,(C2(2)+C2(1)*S1-P(:,2)).^2];
ss=sum(E2);
e2=sqrt(p9*ss(6)/((p9*ss(4)-ss(1)^2)*(p9-2)));
Y1=polyval(C2,S1);
C3=polyfit(SEMANA,P(:,3),1);
E3=[S1,P(:,3),S1.*P(:,3),S1.^2,P(:,3).^2,(C3(2)+C3(1)*S1-P(:,3)).^2];
ss=sum(E3);
e3=sqrt(p9*ss(6)/((p9*ss(4)-ss(1)^2)*(p9-2)));
Z1=polyval(C3,S1);

%VELOCIDAD DE MOVIMIENTO
TIPO=get(handles.TIPO,'Value');
LAT=vpa(LATITUD(1,1),15);
LONG=vpa(LO(1,1),15);
COT=vpa(h(1,1),15);
switch TIPO
    case 1
        VN=C1(1)*365;
        dVN=e1*365;
        VE=C2(1)*365;
        dVE=e2*365;
        VU=C3(1)*365;
        dVU=e3*365;
    case 2
        VN=C1(1)*365/7;
        dVN=e1*365/7;
        VE=C2(1)*365/7;
        dVE=e2*365/7;
        VU=C3(1)*365/7;
        dVU=e3*365/7;
    case 3
        VN=C1(1)*365*24*30;

```

```

        dVN=e1*365*24*60*30;
        VE=C2(1)*365*24*60*30;
        dVE=e2*365*24*60*30;
        VU=C3(1)*365*24*60*30;
        dVU=e3*365*24*60*30;
    end
    if VN>0&&VE>0
        dVc= vpa(atan(VN/VE),15);
    elseif VN<0&&VE<0
        dVc= vpa(360-atan(VN/VE),15);
    elseif VN<0&&VE>0
        dVc= vpa(270+atan(VN/VE),15);
    elseif VN>0&&VE<0
        dVc= vpa(180+atan(VN/VE),15);
    end
    VNE= vpa(sqrt(VN^2+VE^2),15);
    dVNE=vpa(sqrt(dVN^2+dVE^2),15);
    VE=vpa(VE,15);
    dVE=vpa(dVE,15);
    VN=vpa(VN,15);
    dVN=vpa(dVN,15);
    VUP=vpa(VU,15);
    dVU=vpa(dVU,15);
    DFT=[LAT;LONG;COT;length(SEMANA);VN;dVN;VE;dVE;VUP;dVU;VNE;dVNE;dVc];

%ASIGNACIÓN DE DATOS
set(handles.VNE, 'String',char(VNE))
set(handles.dVc, 'String',char(dVc))
set(handles.LONG, 'String',char(LONG))
set(handles.LAT, 'String',char(LAT))
set(handles.COT, 'String',char(COT))
set(handles.VN, 'String',char(VN))
set(handles.VE, 'String',char(VE))
set(handles.VUP, 'String',char(VUP))
set(handles.ND, 'String',length(SEMANA))
set(handles.dVN, 'String',char(dVN))
set(handles.dVE, 'String',char(dVE))
set(handles.dVU, 'String',char(dVU))
set(handles.dVNE, 'String',char(dVNE))

%GRÁFICO DE SERIES TEMPORLES
RR=get(handles.RR,'Value');
subplot(3,1,1)
plot(SEMANA,P(:,1),'.b')
hold on
if RR==0
    plot(S1,X1,'-k','linewidth',1.5)
end
title('NORTE')
switch TIPO
case 1
    xlabel('TIEMPO (DÍA GPS)')
case 2
    xlabel('TIEMPO (SEMANA GPS)')
case 3
    xlabel('TIEMPO (30 SEGUNDOS)')
end
ylabel('VARIACION N (mm)')
hold off
subplot(3,1,2)
plot(SEMANA,P(:,2),'.b')

```



```

hold on
if RR==0
    plot(S1,Y1,'-k','linewidth',1.5)
end
title('ESTE')
switch TIPO
    case 1
        xlabel('TIEMPO (DÍA GPS)')
    case 2
        xlabel('TIEMPO (SEMANA GPS)')
    case 3
        xlabel('TIEMPO (30 SEGUNDOS)')
end
ylabel('VARIACION E(mm)')
hold off
subplot(3,1,3)
plot(SEMANA,P(:,3),'.b')
hold on
if RR==0
    plot(S1,Z1,'-k','linewidth',1.5)
end
title('ALTITUD')
switch TIPO
    case 1
        xlabel('TIEMPO (DÍA GPS)')
    case 2
        xlabel('TIEMPO (SEMANA GPS)')
    case 3
        xlabel('TIEMPO (30 SEGUNDOS)')
end
ylabel('VARIACION UP (mm)')
hold off
clear global DATOS
end

```

```

function VNE_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to VNE (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of VNE as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of VNE as a
double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function VNE_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to VNE (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function dVc_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to dVc (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of dVc as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of dVc as a
double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function dVc_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to dVc (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function LAT_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to LAT (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of LAT as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of LAT as a
double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function LAT_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to LAT (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function LONG_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to LONG (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of LONG as text

```

```

%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of LONG as a
double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function LONG_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to LONG (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function COT_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to COT (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of COT as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of COT as a
double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function COT_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to COT (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function ND_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to ND (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of ND as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of ND as a
double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function ND_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to ND (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB

```

```

% handles      empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%      See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on selection change in TIPO.
function TIPO_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to TIPO (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: contents = cellstr(get(hObject,'String')) returns TIPO contents as
cell array
%      contents{get(hObject,'Value')} returns selected item from TIPO

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function TIPO_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to TIPO (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: popupmenu controls usually have a white background on Windows.
%      See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function VN_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to VN (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of VN as text
%      str2double(get(hObject,'String')) returns contents of VN as a
double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function VN_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to VN (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%      See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function VE_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to VE (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of VE as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of VE as a
double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function VE_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to VE (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in INP.
function INP_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to INP (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
INGRESO_DATOS

function VUP_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to VUP (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of VUP as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of VUP as a
double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function VUP_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to VUP (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function dVN_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to dVN (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of dVN as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of dVN as a
double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function dVN_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to dVN (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%        See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function dVE_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to dVE (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of dVE as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of dVE as a
double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function dVE_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to dVE (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%        See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function dVU_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to dVU (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of dVU as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of dVU as a
double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function dVU_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to dVU (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function dVNE_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to dVNE (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of dVNE as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of dVNE as a
double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function dVNE_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to dVNE (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in IMP.
function IMP_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to IMP (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
%ALGORITMO PARA GUARDAR LOS RESULTADOS
global DFT N
g=length(DFT);
Z=strrep(N,'.csv','');
if strcmp(Z,N)==1
    Z=strrep(N,'.txt','');
end
[P,D]=uiputfile('.txt','GUARDAR RESULTADOS');
if P==0
    return
else R=sprintf('%s%s',D,P);
    if g<3
        warndlg('GENERE PRIMERO EL CÁLCULO','ANÁLISIS DE SERIES GPS')
    end
end

```

```

else
    D1=[];
    for i=1:g
        if i<3
            D1=[D1;eval(round(DFT(i)*1000000)/1000000)];
        else
            D1=[D1;eval(round(DFT(i)*1000)/1000)];
        end
    end
    DFT=D1;
    fid=fopen(R, 'w');
    fprintf(fid, '%s\n', 'ESTACIÓN: ', Z);
    fprintf(fid, '%s\n', 'LATITUD: ', DFT(1));
    fprintf(fid, '%s\n', 'LONGITUD: ', DFT(2));
    fprintf(fid, '%s\n', 'COTA: ', DFT(3));
    fprintf(fid, '%s\n', 'DATOS PROCESADOS: ', DFT(4));
    fprintf(fid, '%s%s\n', 'VELOCIDAD NORTE: ', DFT(5), ' ± ', DFT(6));
    fprintf(fid, '%s%s\n', 'VELOCIDAD ESTE: ', DFT(7), ' ± ', DFT(8));
    fprintf(fid, '%s%s\n', 'VELOCIDAD UP: ', DFT(9), ' ± ', DFT(10));
    fprintf(fid, '%s%s\n', 'VELOCIDAD N-E: ', DFT(11), ' ± ', DFT(12));
    fprintf(fid, '%s\n', 'DIRECCIÓN VR: ', DFT(13));
    fclose(fid);
    clear global DFT N
end
end

```

```

% --- Executes on button press in G_IMG.
function G_IMG_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to G_IMG (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

%ALGORITMO PARA GUARDAR LAS IMAGENES DE LA SERIE

```

formatos = {'*.jpg', 'JPEG (*.jpg)'; '*.tif', 'TIFF (*.tif)'};
[nomb,ruta] = uiputfile(formatos, 'GUARDAR IMAGEN');
if nomb==0, return, end
fName = fullfile(ruta,nomb);
F = getframe(gca,[-60 -50 710 530]);
imwrite(F.cdata,fName);

```

```

% --- Executes on button press in RR.
function RR_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to RR (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of RR

```


Código para el lector de datos

```
function varargout = INGRESO_DATOS(varargin)
% INGRESO_DATOS MATLAB code for INGRESO_DATOS.fig
%   INGRESO_DATOS, by itself, creates a new INGRESO_DATOS or raises the
existing
%   singleton*.
%
%   H = INGRESO_DATOS returns the handle to a new INGRESO_DATOS or the
handle to
%   the existing singleton*.
%
%   INGRESO_DATOS('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the
local
%   function named CALLBACK in INGRESO_DATOS.M with the given input
arguments.
%
%   INGRESO_DATOS('Property','Value',...) creates a new INGRESO_DATOS or
raises the
%   existing singleton*. Starting from the left, property value pairs
are
%   applied to the GUI before INGRESO_DATOS_OpeningFcn gets called. An
%   unrecognized property name or invalid value makes property
application
%   stop. All inputs are passed to INGRESO_DATOS_OpeningFcn via
varargin.
%
%   *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help INGRESO_DATOS

% Last Modified by GUIDE v2.5 24-Sep-2014 19:18:34

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',   gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @INGRESO_DATOS_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @INGRESO_DATOS_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [], ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before INGRESO_DATOS is made visible.
function INGRESO_DATOS_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
```

```

% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin command line arguments to INGRESO_DATOS (see VARARGIN)

% Choose default command line output for INGRESO_DATOS
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes INGRESO_DATOS wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = INGRESO_DATOS_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject handle to figure
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes on button press in INS.
function INS_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to INS (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
p=get(handles.T1, 'data');

n1=iscell(p);
global DATOS
if n1==1
clear global;
else
DATOS=p;
end
close INGRESO_DATOS

% --- Executes on button press in IMP.
function IMP_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to IMP (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
%ALGORITMO PARA EL INGRESO DE DATOS
global N
[N,D]=uigetfile('*.csv;*.txt','abrir');
if N==0
return
else R=sprintf('%s%s',D,N);
A=fopen(R,'r');
DATOS=textscan(A,'%f %f %f %f', 'delimiter',' ');
fclose(A);
DATOS=cell2mat(DATOS);
[p9,p8]=size(DATOS);
if p8~=4 || p9==0

```

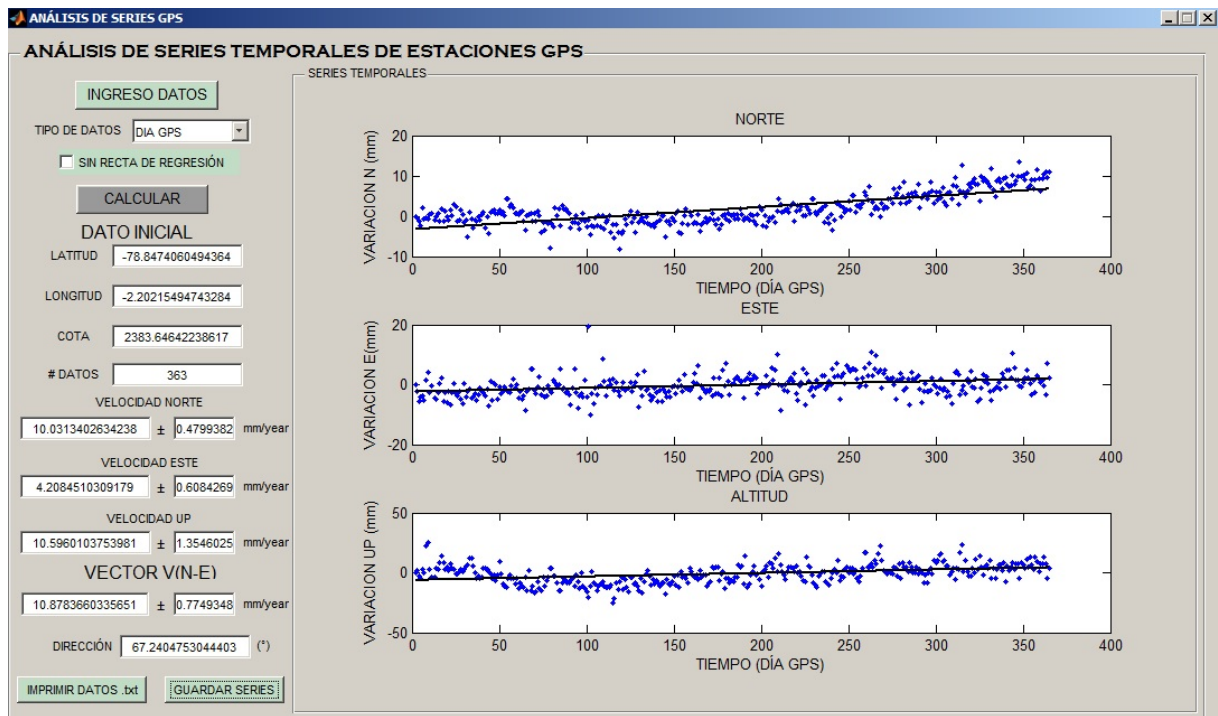
```

        warndlg('LOS DATOS NO ESTÁN INGRESADOS CONFORME A LO
SOLICITADO', 'ANÁLISIS DE SERIES GPS')
    else
        set(handles.T1, 'data', DATOS)
    end
end
end

% --- Executes on button press in X.
function X_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to X (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
close INGRESO_DATOS

```

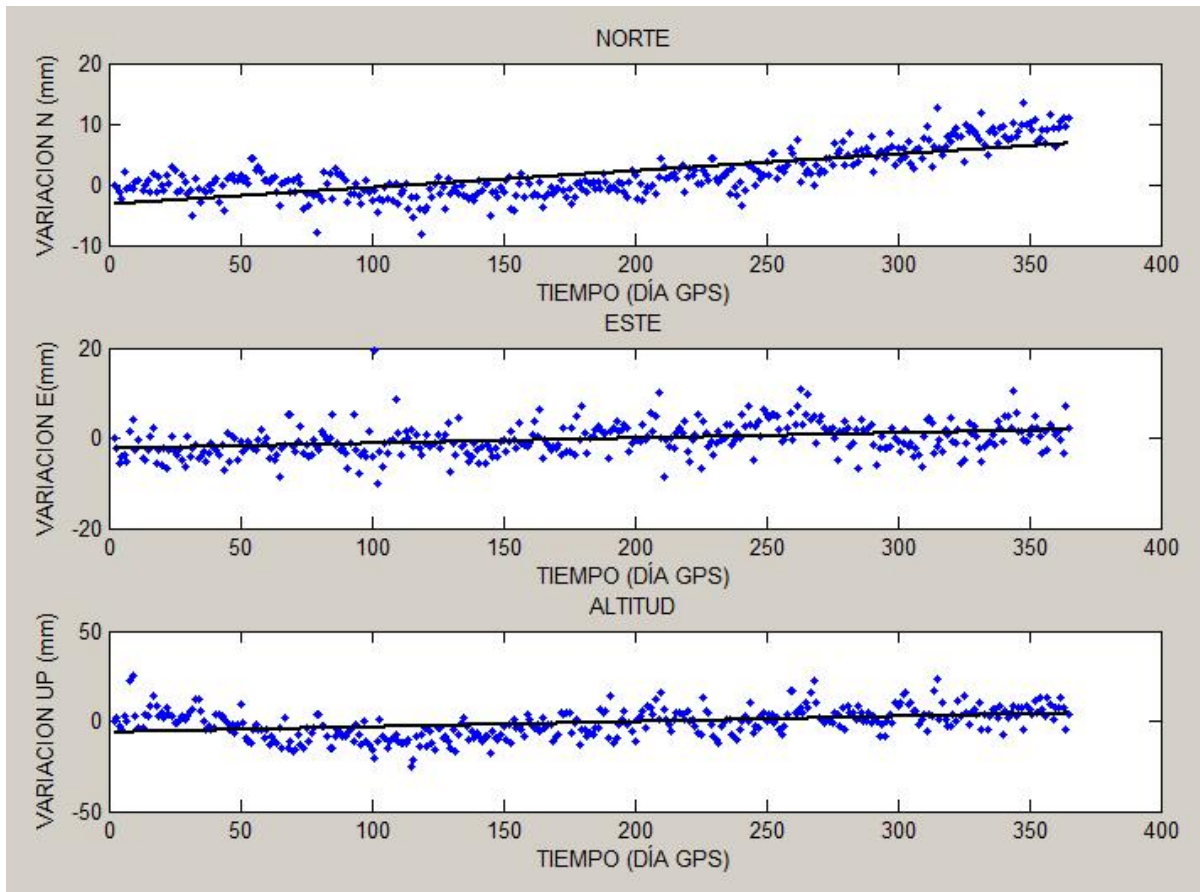
Captura de Pantalla del Utilitario:



5.3. Anexo 3: Series temporales diarias y resultados de velocidades:

Estación ALEC:

Figura 32: Serie Temporal de datos diarios estación ALEC.



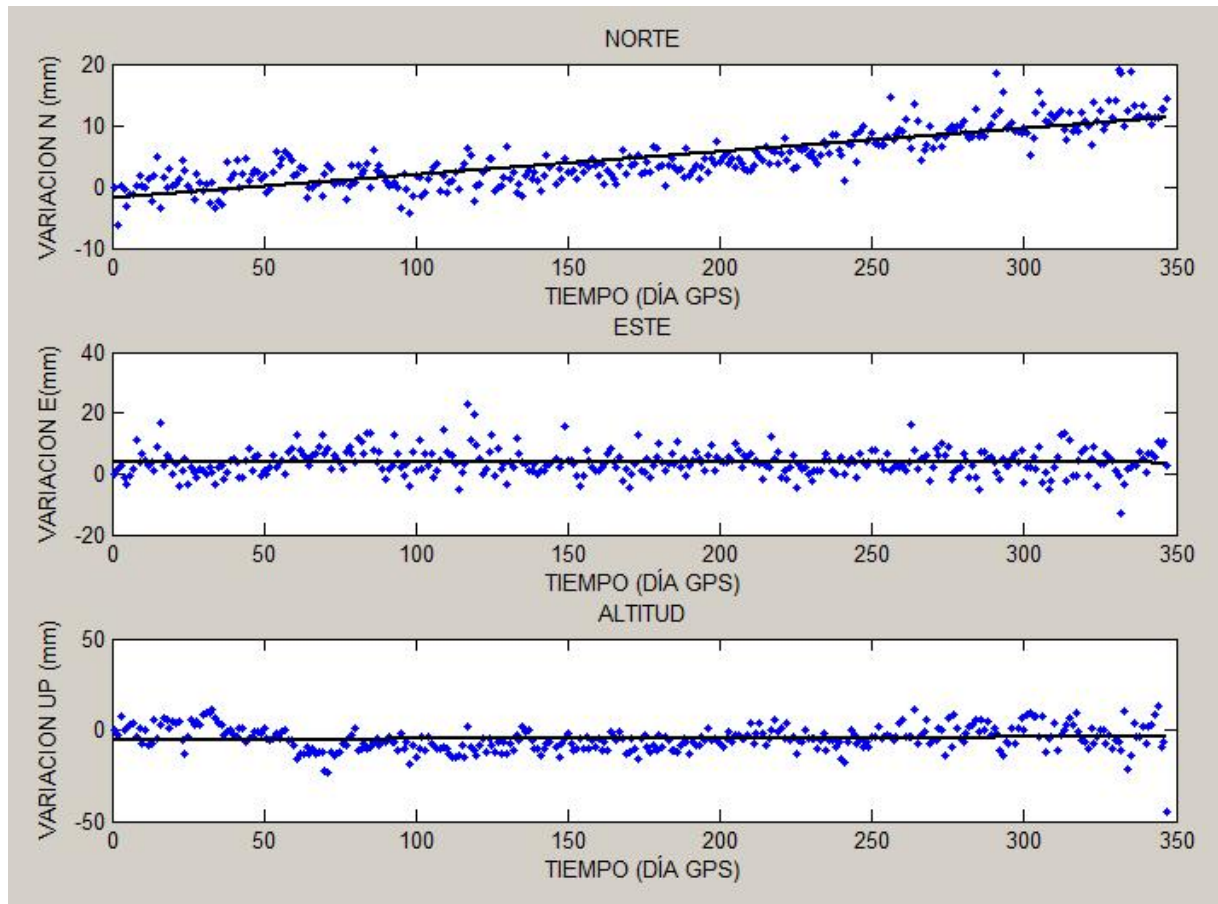
Fuente y Elaboración: Agustín Ruiz

RESULTADOS:

Estación: ALEC
Latitud: -78.847406
Longitud: -2.202155
Cota: 2383.646000
Datos procesados: 363
Velocidad Norte: 10.031 ± 0.48
Velocidad Este: 4.208 ± 0.608
Velocidad Up: 10.596 ± 1.355
Velocidad N-E: 10.878 ± 0.775
Dirección N-E: 67.24

Estación CHEC:

Figura 33: Serie Temporal de datos diarios estación CHEC.



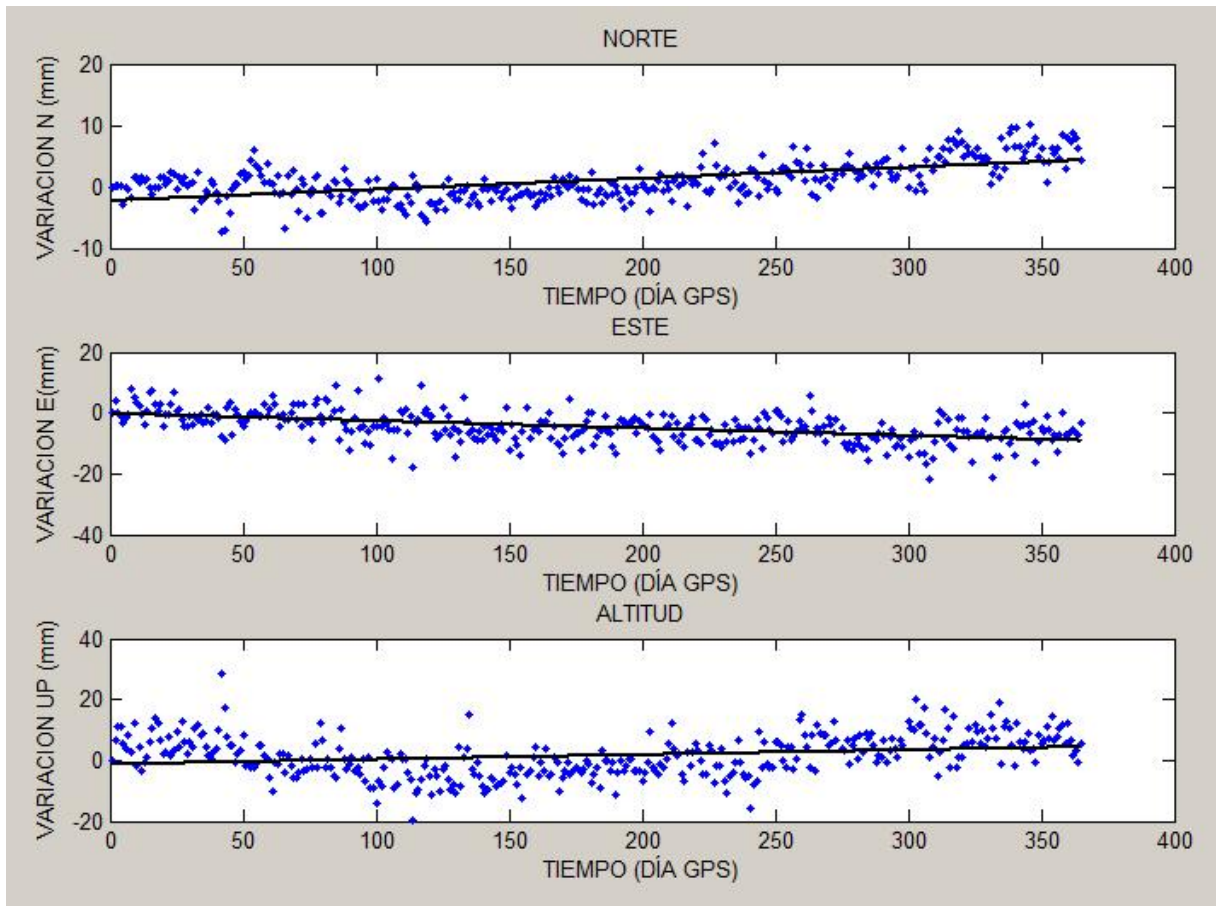
Fuente y Elaboración: Agustín Ruiz

RESULTADOS:

Estación: CHEC
Latitud: -77.814444
Longitud: -0.339267
Cota: 1643.672000
Datos procesados: 346
Velocidad Norte: 13.75 ± 0.479
Velocidad Este: -0.581 ± 0.839
Velocidad Up: 1.72 ± 1.296
Velocidad N-E: 13.762 ± 0.966
Dirección N-E: 92.419

Estación CLEC:

Figura 34: Serie Temporal de datos diarios estación CLEC.



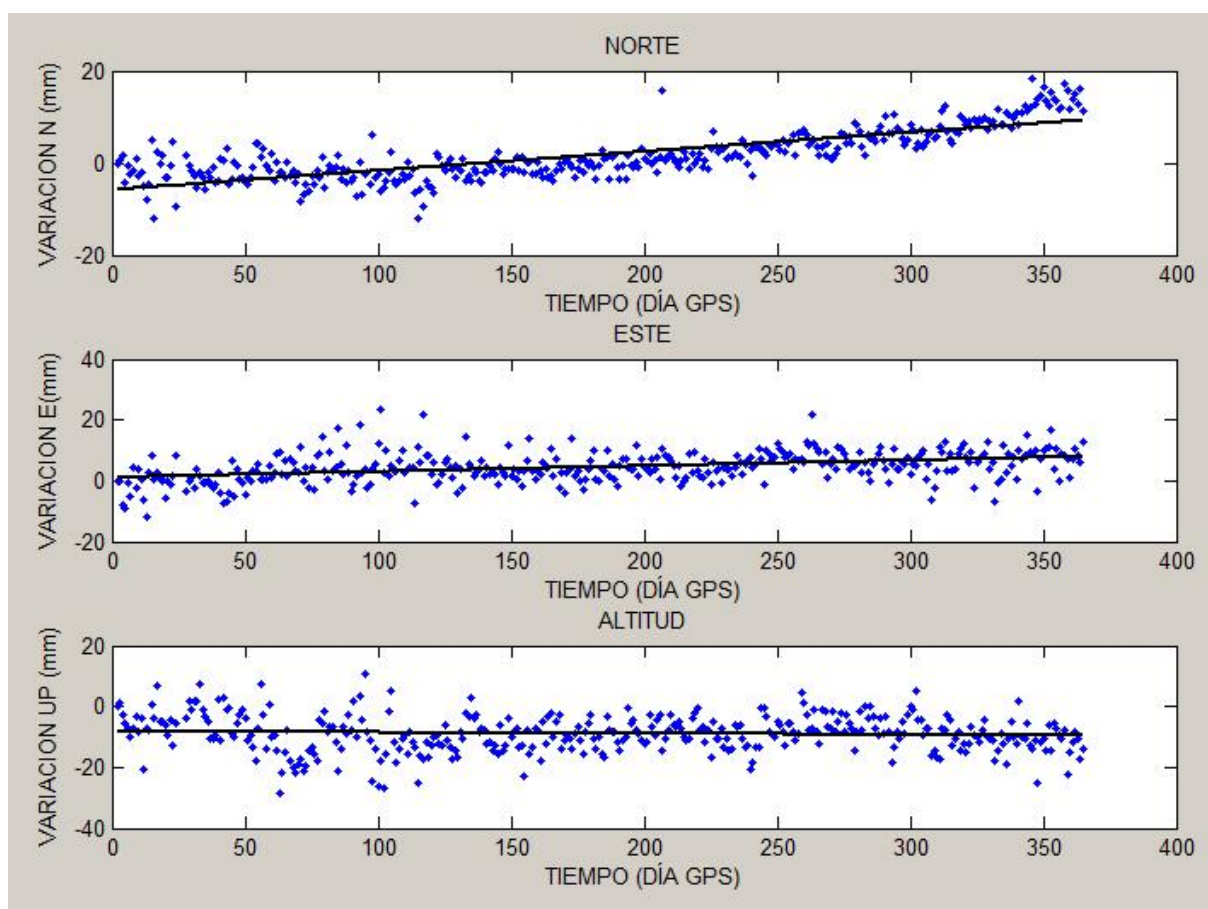
Fuente y Elaboración: Agustín Ruiz

RESULTADOS:

Estación: CLEC
Latitud: -79.955554
Longitud: -4.103057
Cota: 2024.178000
Datos procesados: 362
Velocidad Norte: 6.588 ± 0.451
Velocidad Este: -8.845 ± 0.804
Velocidad Up: 5.675 ± 1.191
Velocidad N-E: 11.029 ± 0.922
Dirección N-E: 143.321

Estación ECEC:

Figura 35: Serie Temporal de datos diarios estación ECEC.



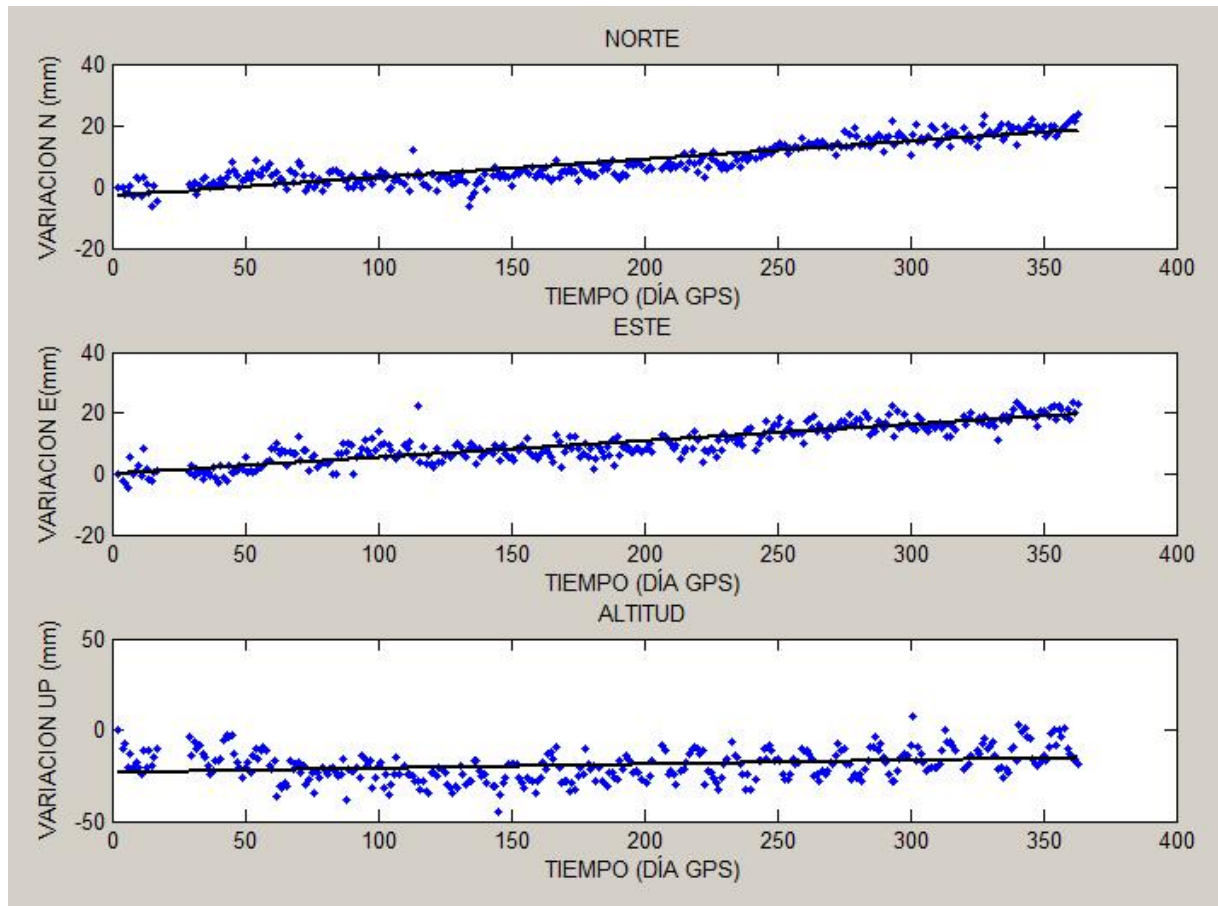
Fuente y Elaboración: Agustín Ruiz

RESULTADOS:

Estación: ECEC
Latitud: -79.451869
Longitud: -0.271846
Cota: 284.797000
Datos procesados: 361
Velocidad Norte: 15.104 ± 0.602
Velocidad Este: 6.821 ± 0.849
Velocidad Up: -1.35 ± 1.119
Velocidad N-E: 16.572 ± 1.041
Dirección N-E: 65.696

Estación ESMR:

Figura 36: Serie Temporal de datos diarios estación ESMR.



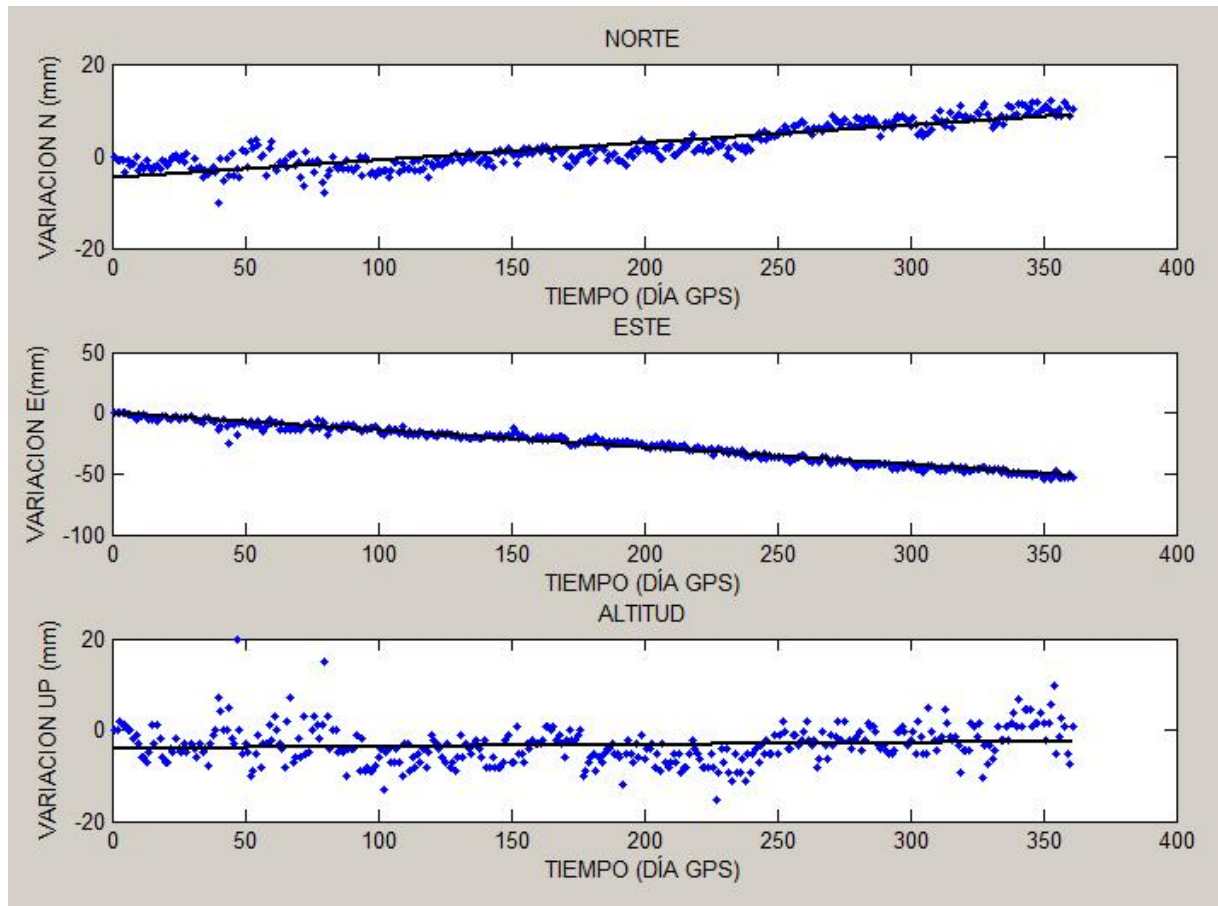
Fuente y Elaboración: Agustín Ruiz

RESULTADOS:

Estación: ESMR
Latitud: -79.724372
Longitud: 0.934649
Cota: 251.705000
Datos procesados: 338
Velocidad Norte: 21.534 ± 0.568
Velocidad Este: 19.76 ± 0.578
Velocidad Up: 8.172 ± 1.559
Velocidad N-E: 29.227 ± 0.81
Dirección N-E: 47.459

Estación GLPS:

Figura 37: Serie Temporal de datos diarios estación GLPS.



Fuente y Elaboración: Agustín Ruiz

RESULTADOS:

Estación: GLPS

Latitud: -89.696331

Longitud: -0.742999

Cota: 1.784000

Datos procesados: 359

Velocidad Norte: 13.848 ± 0.393

Velocidad Este: -51.691 ± 0.485

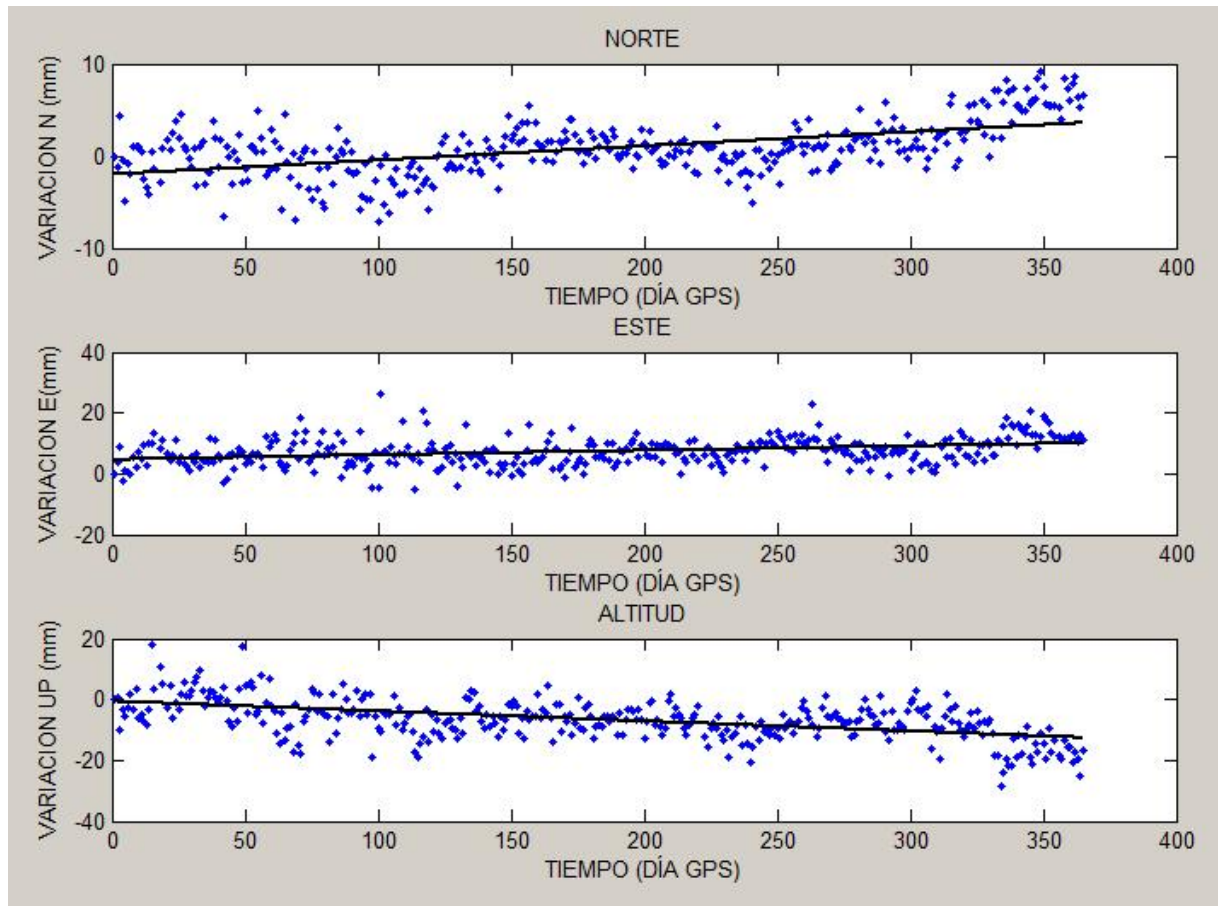
Velocidad Up: 1.56 ± 0.742

Velocidad N-E: 53.514 ± 0.624

Dirección N-E: 165.002

Estación GYEC:

Figura 38: Serie Temporal de datos diarios estación GYEC.



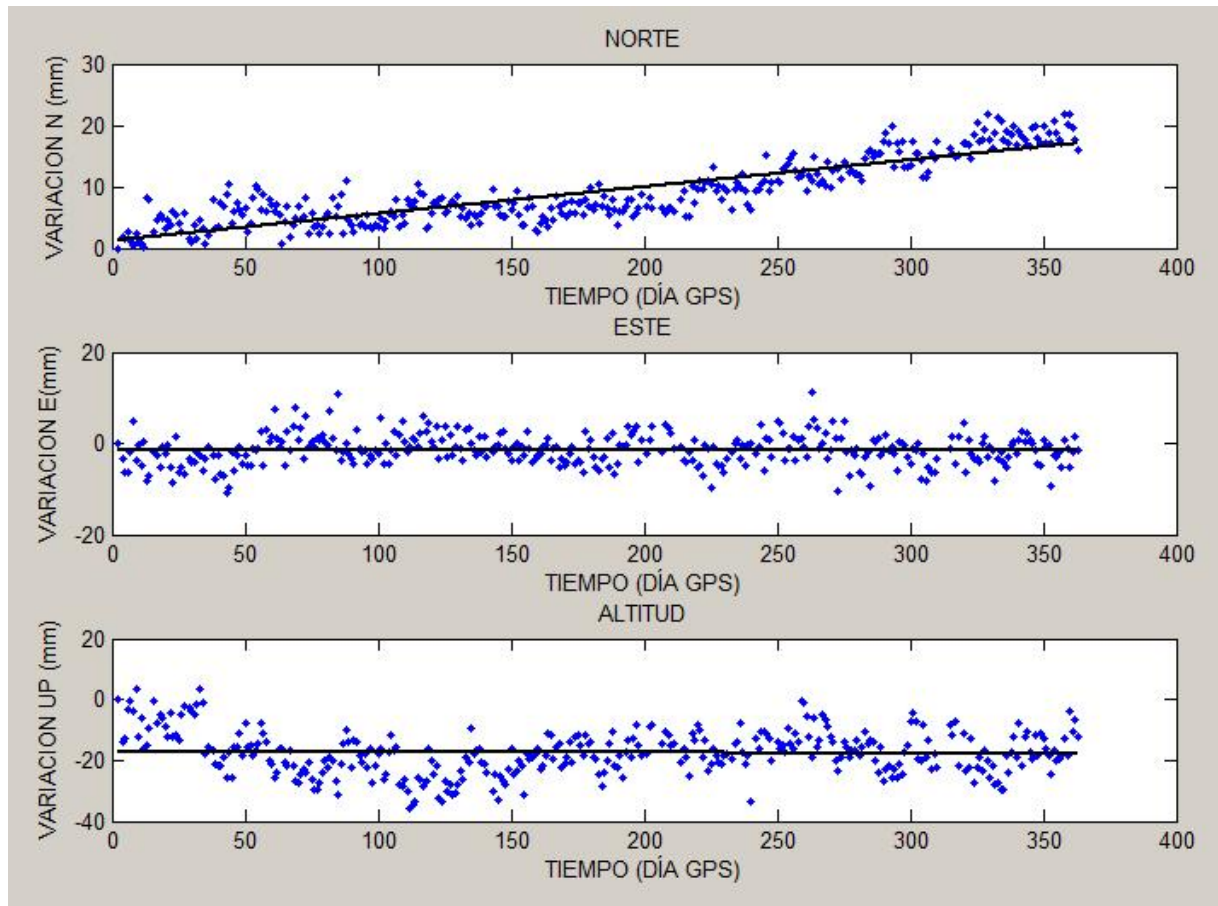
Fuente y Elaboración: Agustín Ruiz

RESULTADOS:

Estación: GYEC
Latitud: -79.891865
Longitud: -2.149356
Cota: 35.199000
Datos procesados: 360
Velocidad Norte: 5.602 ± 0.451
Velocidad Este: 5.415 ± 0.797
Velocidad Up: -11.987 ± 1.026
Velocidad N-E: 7.792 ± 0.916
Dirección N-E: 45.975

Estación IBEC:

Figura 39: Serie Temporal de datos diarios estación IBEC.



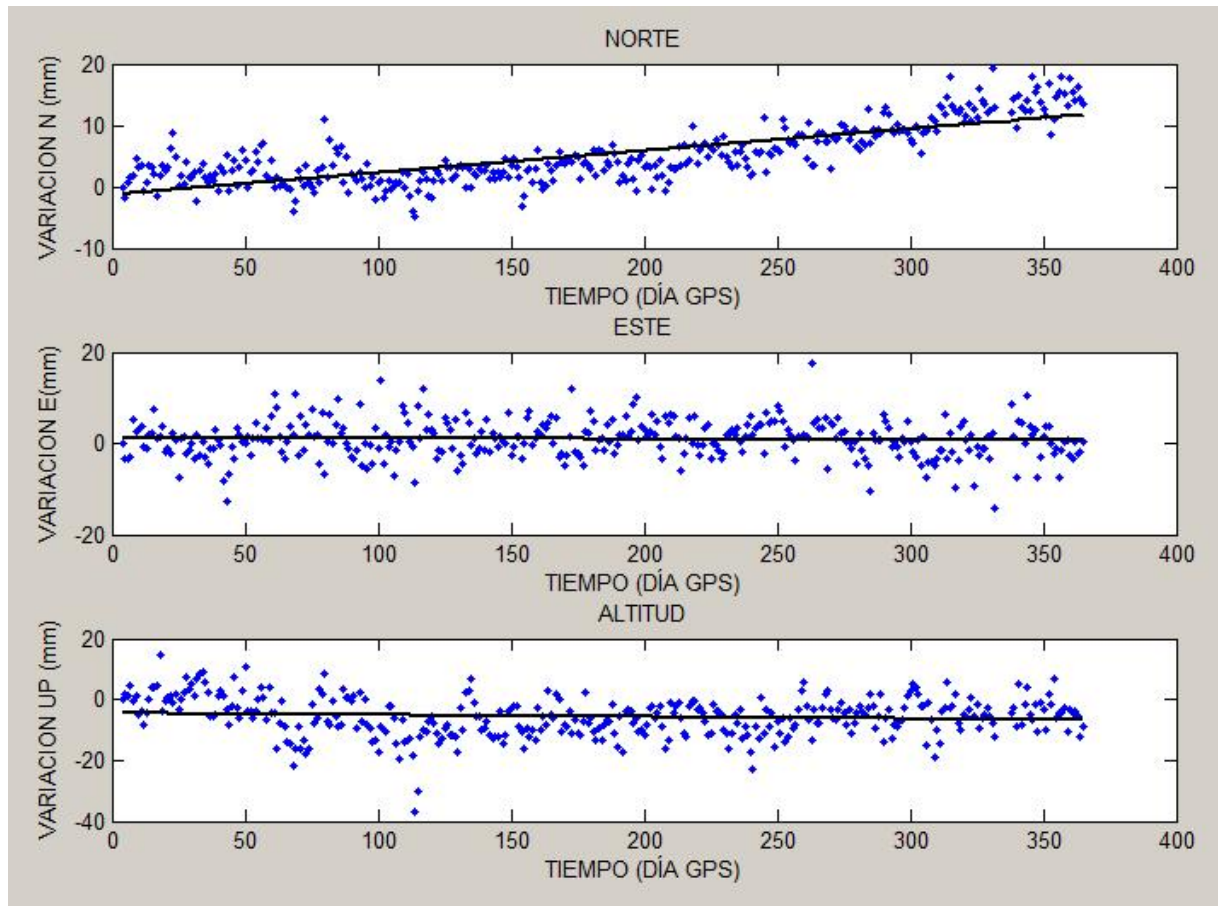
Fuente y Elaboración: Agustín Ruiz

RESULTADOS:

Estación: IBEC
Latitud: -78.115686
Longitud: 0.350157
Cota: 2246.221000
Datos procesados: 343
Velocidad Norte: 15.965 ± 0.486
Velocidad Este: -0.034 ± 0.647
Velocidad Up: -0.49 ± 1.365
Velocidad N-E: 15.965 ± 0.809
Dirección N-E: 90.123

Estación MHEC:

Figura 40: Serie Temporal de datos diarios estación MHEC.



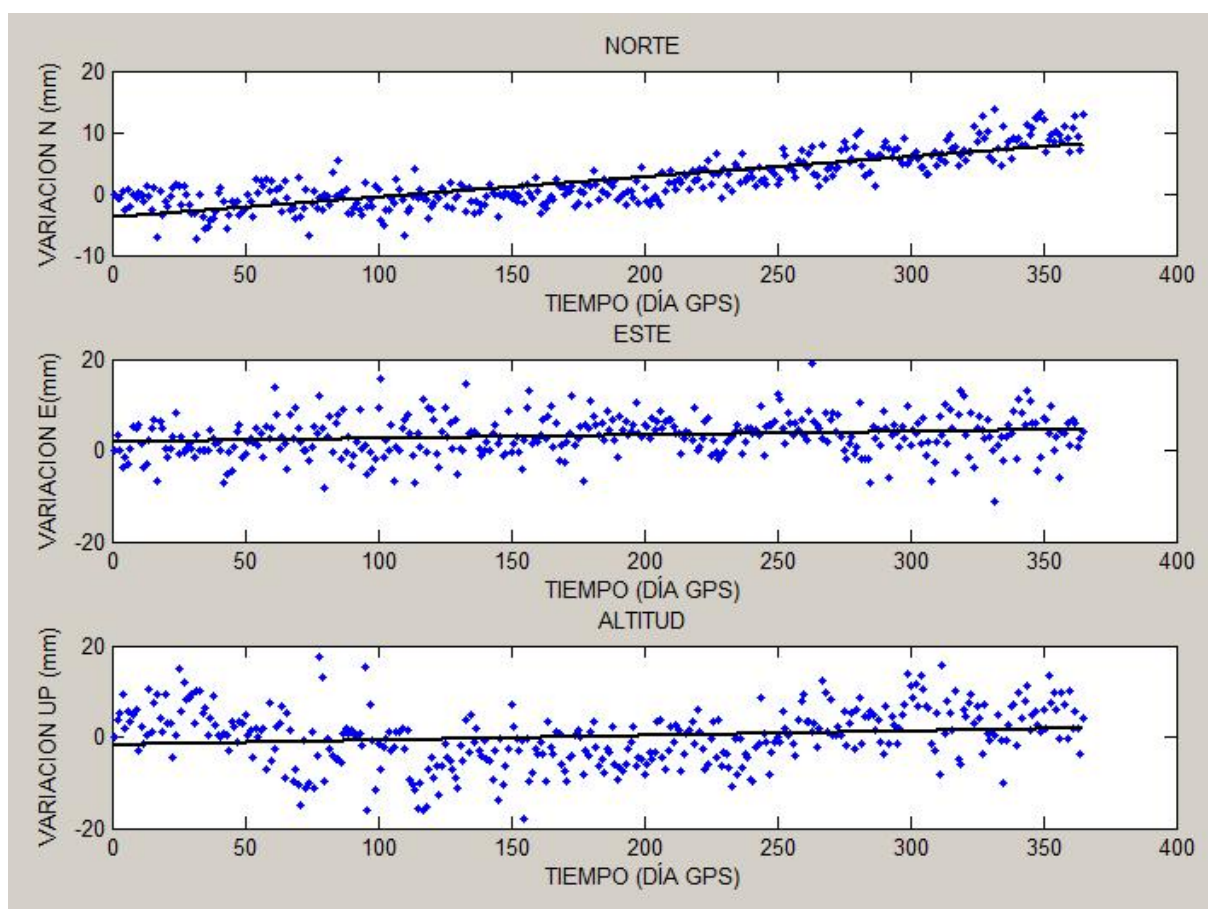
Fuente y Elaboración: Agustín Ruiz

RESULTADOS:

Estación: MHEC
Latitud: -79.957314
Longitud: -3.260797
Cota: 54.877000
Datos procesados: 357
Velocidad Norte: 13.033 ± 0.543
Velocidad Este: -0.603 ± 0.772
Velocidad Up: -2.249 ± 1.196
Velocidad N-E: 13.047 ± 0.944
Dirección N-E: 92.651

Estación NJEC:

Figura 41: Serie Temporal de datos diarios estación NJEC.



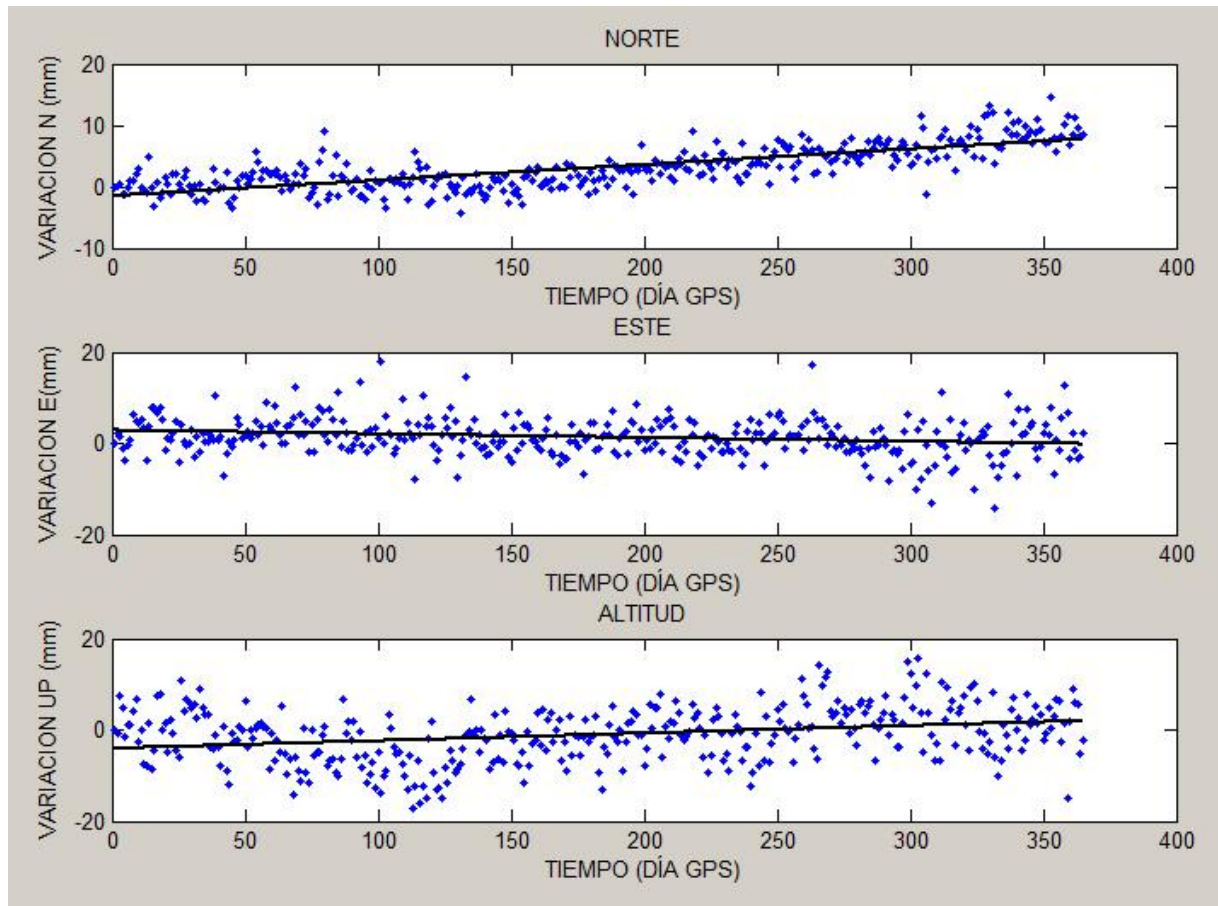
Fuente y Elaboración: Agustín Ruiz

RESULTADOS:

Estación: NJEC
Latitud: -79.620849
Longitud: -2.675162
Cota: 51.318000
Datos procesados: 365
Velocidad Norte: 11.983 ± 0.435
Velocidad Este: 2.757 ± 0.774
Velocidad Up: 3.672 ± 1.106
Velocidad N-E: 12.296 ± 0.888
Dirección N-E: 77.044

Estación PDEC:

Figura 42: Serie Temporal de datos diarios estación PDEC.



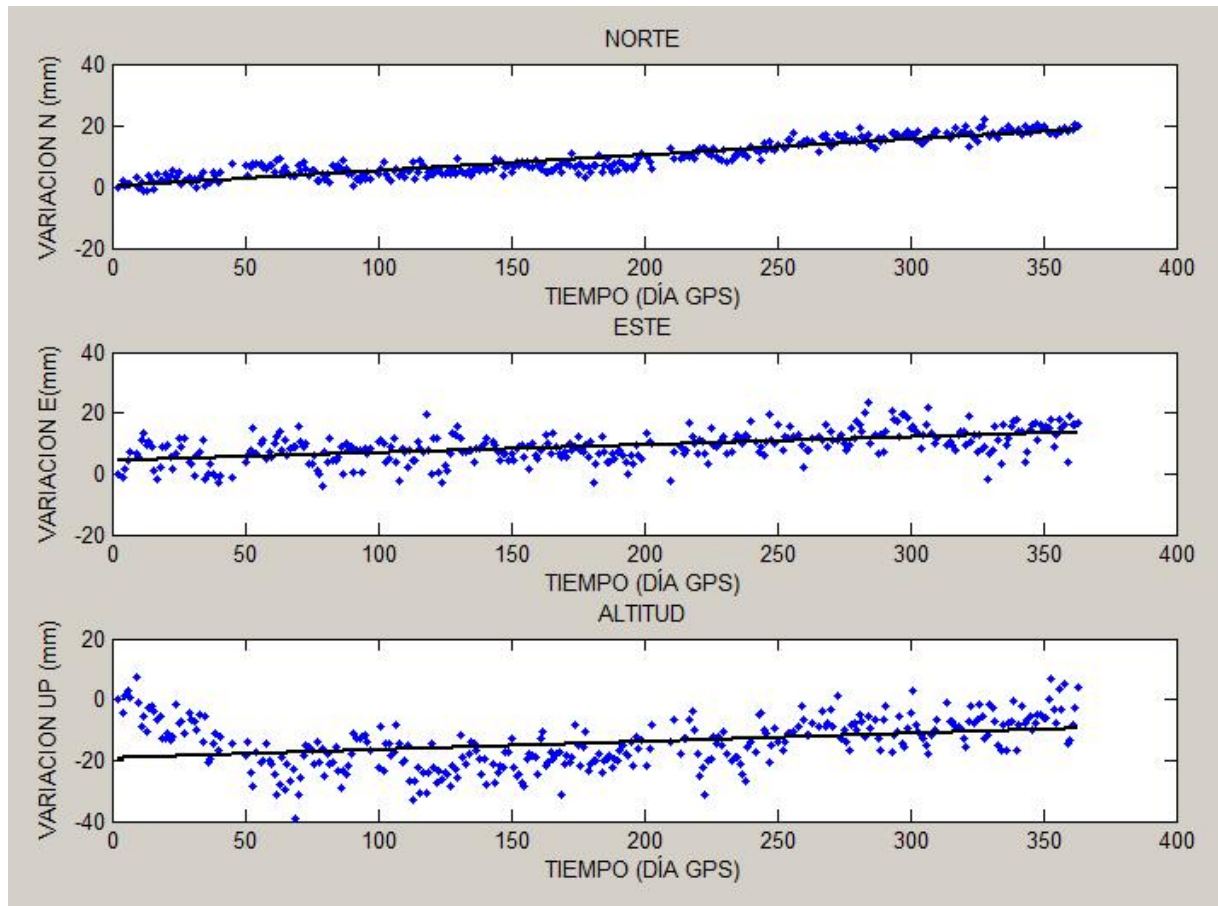
Fuente y Elaboración: Agustín Ruiz

RESULTADOS:

Estación: PDEC
Latitud: -79.131271
Longitud: -4.647574
Cota: 1143.018000
Datos procesados: 365
Velocidad Norte: 9.287 ± 0.411
Velocidad Este: -3.027 ± 0.749
Velocidad Up: 6.055 ± 1.045
Velocidad N-E: 9.768 ± 0.854
Dirección N-E: 108.055

Estación QUEM:

Figura 43: Serie Temporal de datos diarios estación QUEM.



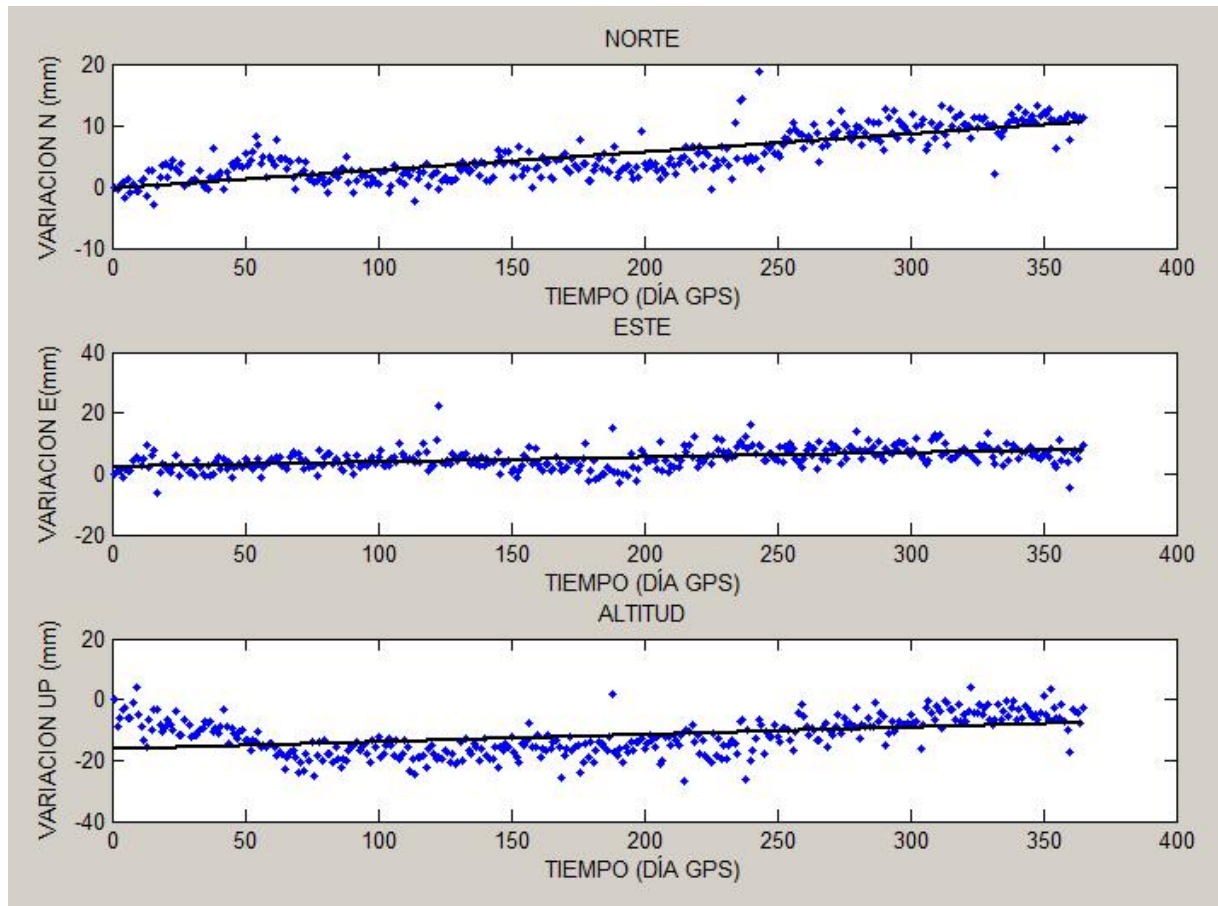
Fuente y Elaboración: Agustín Ruiz

RESULTADOS:

Estación: QUEM
Latitud: -78.497349
Longitud: -0.237051
Cota: 3054.677000
Datos procesados: 327
Velocidad Norte: 18.612 ± 0.419
Velocidad Este: 9.425 ± 0.819
Velocidad Up: 9.807 ± 1.447
Velocidad N-E: 20.863 ± 0.92
Dirección N-E: 63.142

Estación ROP:

Figura 44: Serie Temporal de datos diarios estación RIOP.



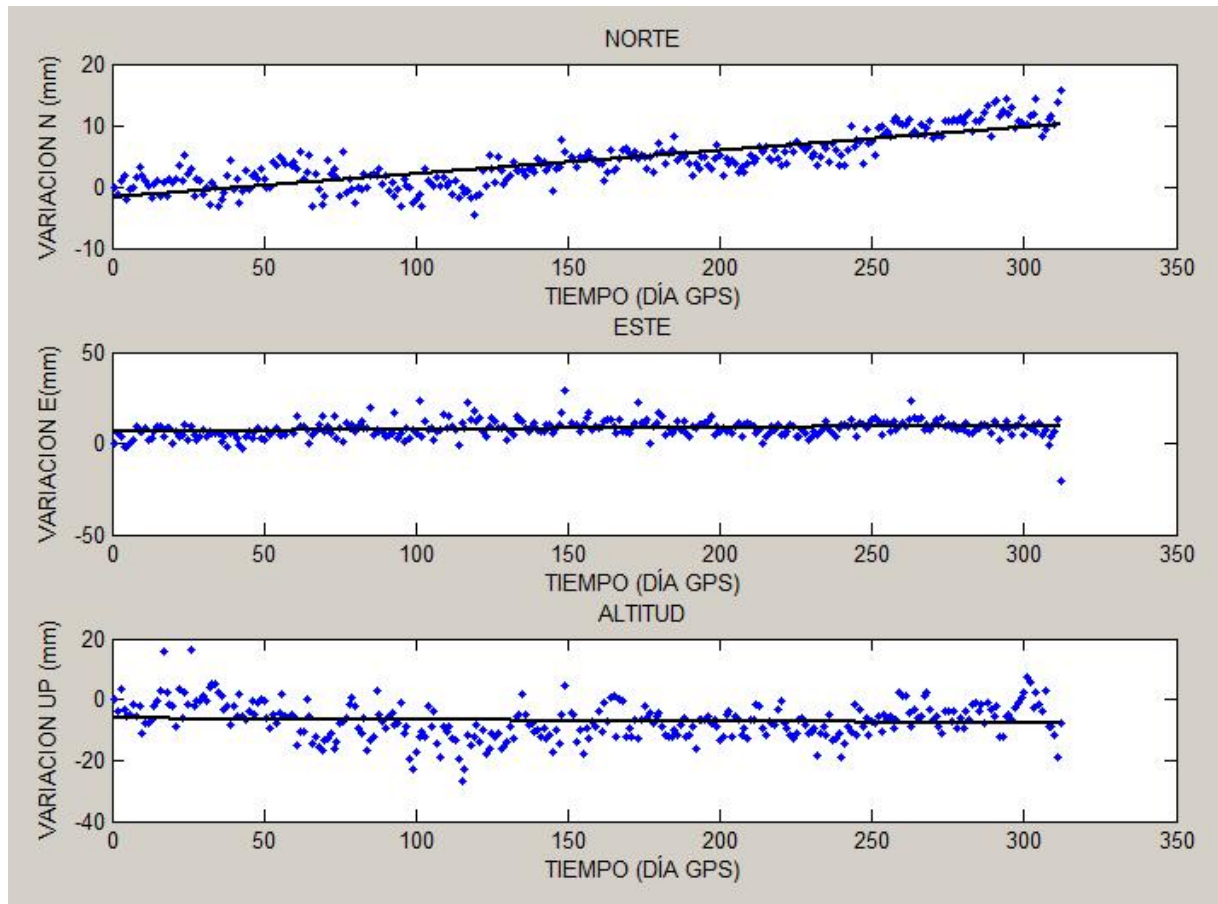
Fuente y Elaboración: Agustín Ruiz

RESULTADOS:

Estación: RIOP
Latitud: -78.651107
Longitud: -1.650595
Cota: 2817.181000
Datos procesados: 363
Velocidad Norte: 10.789 ± 0.42
Velocidad Este: 5.567 ± 0.564
Velocidad Up: 8.763 ± 1.01
Velocidad N-E: 12.141 ± 0.703
Dirección N-E: 62.707

Estación SEEC:

Figura 45: Serie Temporal de datos diarios estación SEEC.



Fuente y Elaboración: Agustín Ruiz

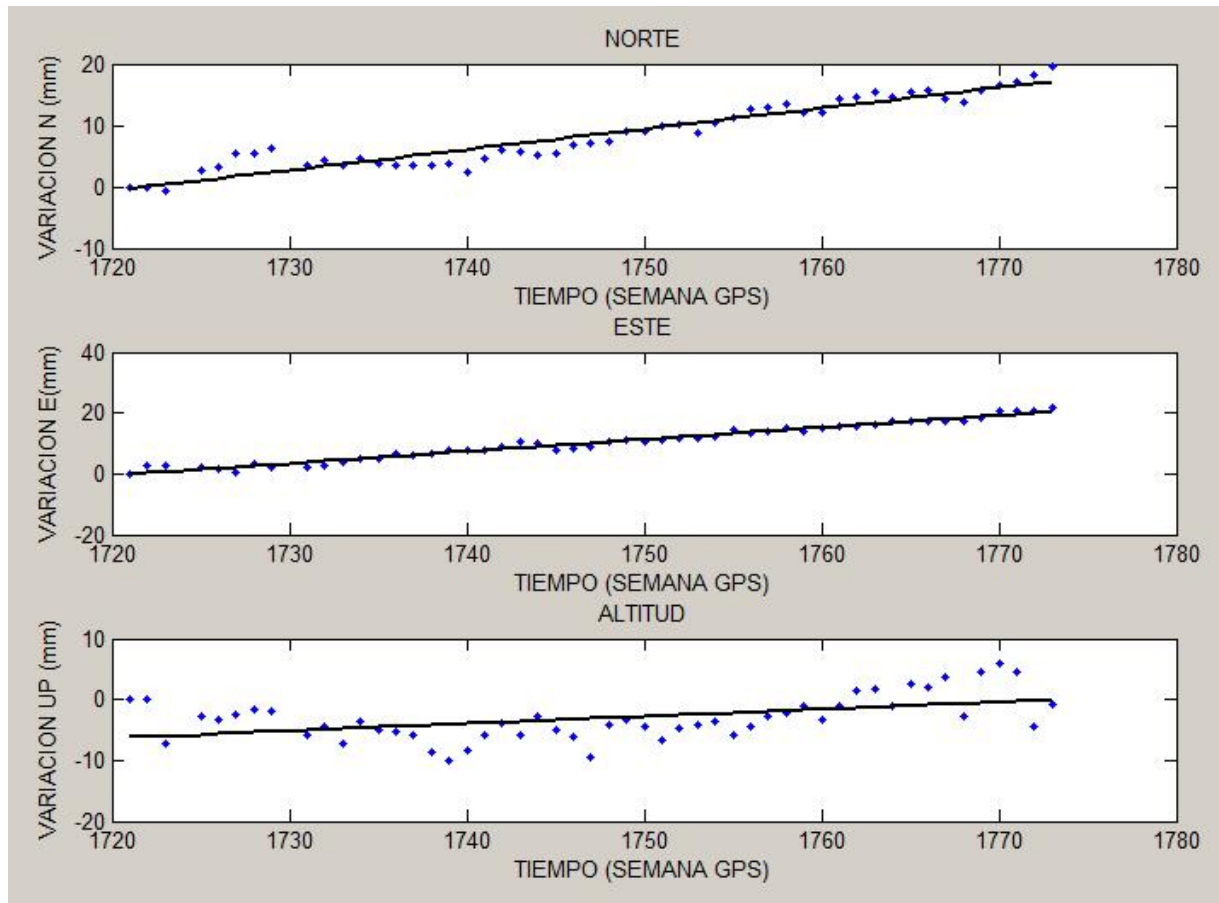
RESULTADOS:

Estación: SEEC
Latitud: -80.903992
Longitud: -2.219631
Cota: 29.729000
Datos procesados: 310
Velocidad Norte: 13.89 ± 0.522
Velocidad Este: 4.01 ± 1.045
Velocidad Up: -1.818 ± 1.352
Velocidad N-E: 14.457 ± 1.168
Dirección N-E: 73.898

5.4. Anexo 4: Series temporales para datos semanales y resultados:

Estación ESMR:

Figura 46: Serie Temporal de datos semanales estación ESMR.



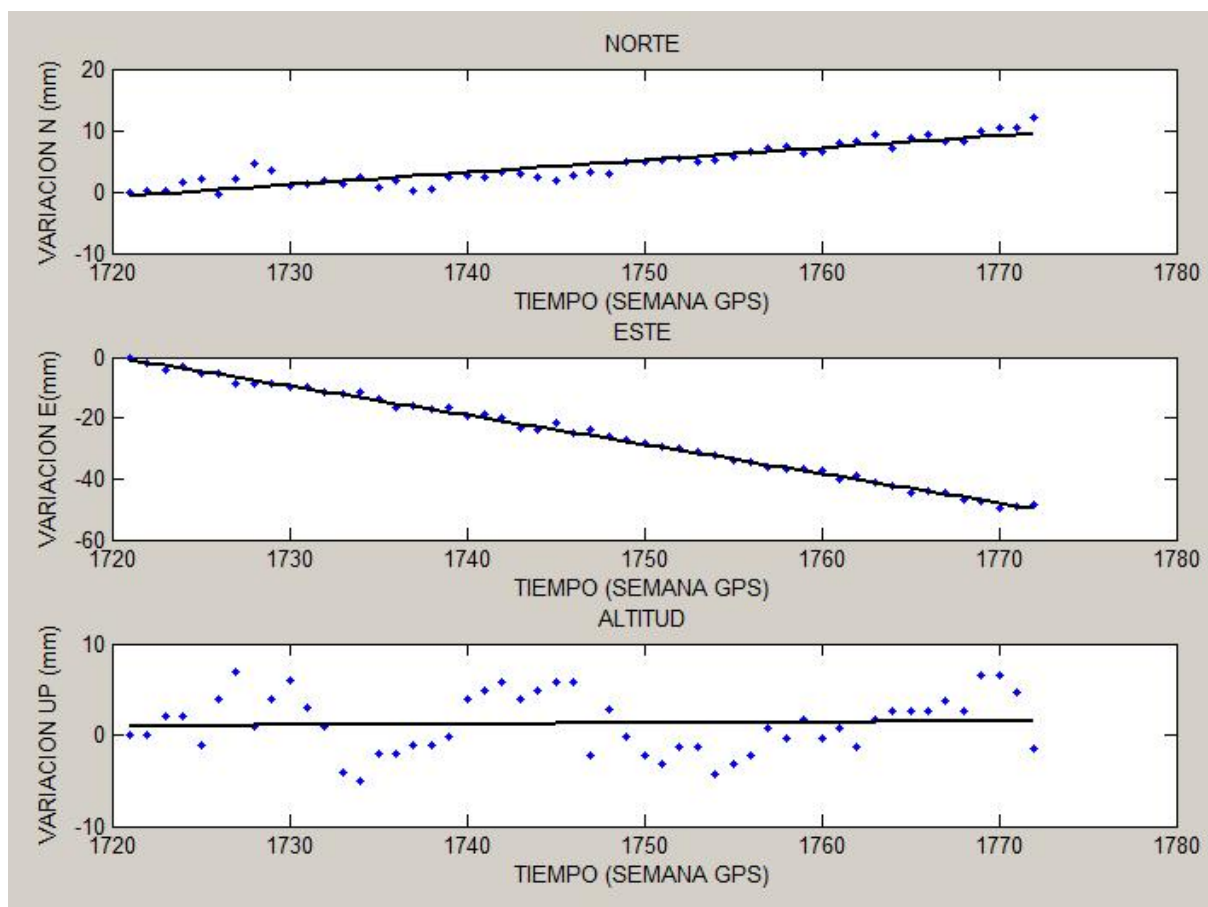
Fuente y Elaboración: Agustín Ruiz

RESULTADOS:

Estación: ESMR_SIRGAS
Latitud: -79.724372
Longitud: 0.934649
Cota: 251.686000
Datos procesados: 51
Velocidad Norte: 17.575 ± 0.772
Velocidad Este: 20.633 ± 0.468
Velocidad Up: 6.153 ± 1.547
Velocidad N-E: 27.103 ± 0.903
Dirección N-E: 40.424

Estación GLPS:

Figura 47: Serie Temporal de datos semanales estación GLPS.



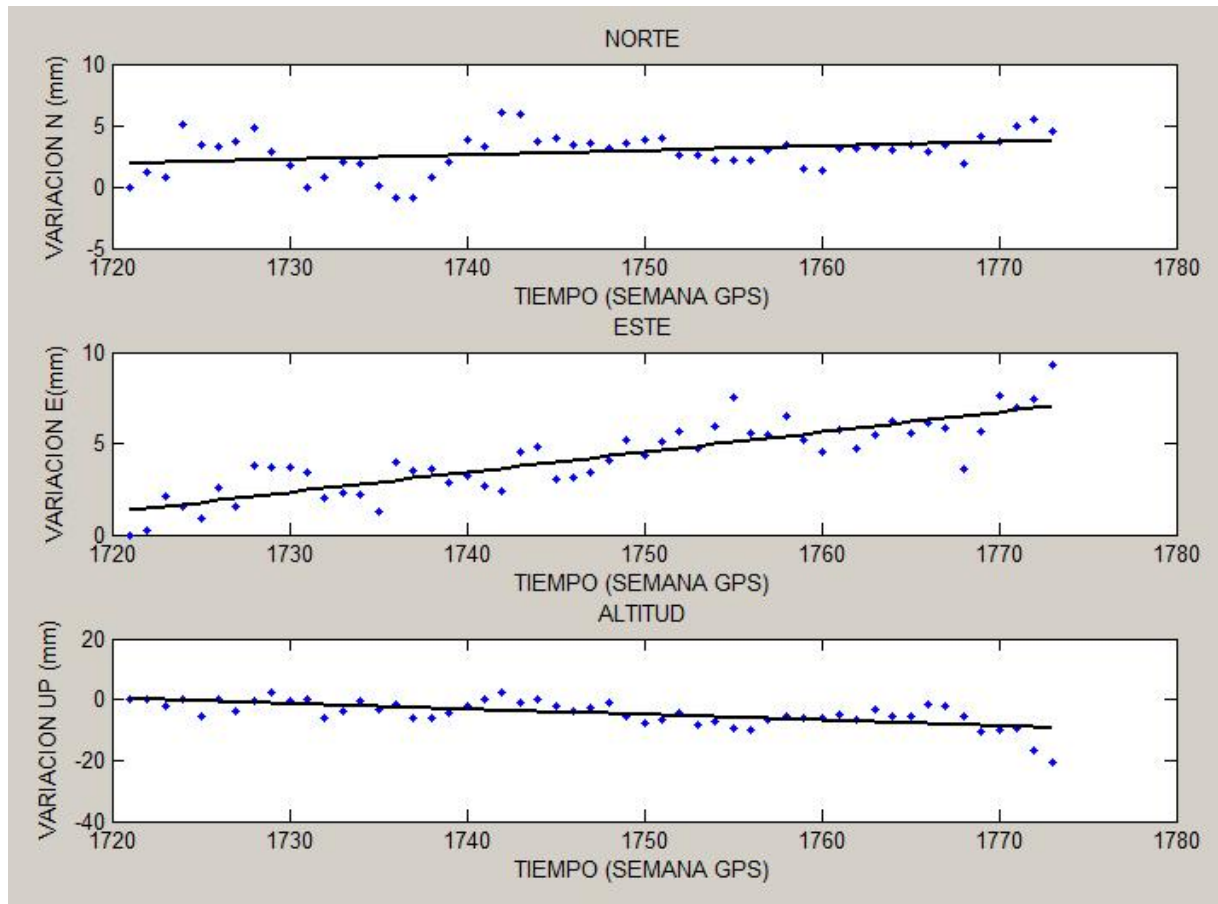
Fuente y Elaboración: Agustín Ruiz

RESULTADOS:

Estación: GLPS_SIRGAS
Latitud: -89.696331
Longitud: -0.742999
Cota: 1.777000
Datos procesados: 52
Velocidad Norte: 10.433 ± 0.624
Velocidad Este: -50.133 ± 0.458
Velocidad Up: 0.57 ± 1.542
Velocidad N-E: 51.207 ± 0.775
Dirección N-E: 168.244

Estación GYEC:

Figura 48: Serie Temporal de datos semanales estación GYEC.



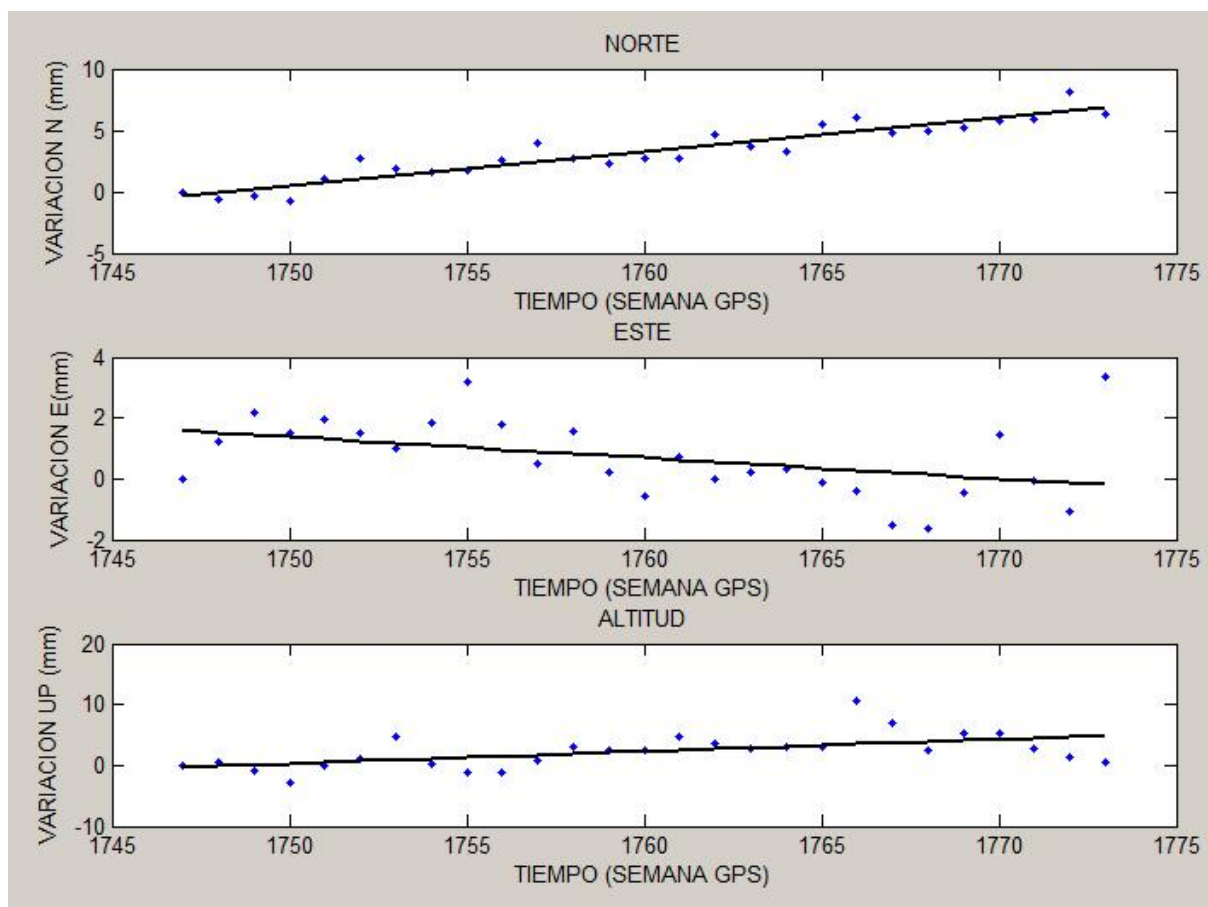
Fuente y Elaboración: Agustín Ruiz

RESULTADOS:

Estación: GYEC_SIRGAS
Latitud: -79.891865
Longitud: -2.149356
Cota: 35.192000
Datos procesados: 53
Velocidad Norte: 1.849 ± 0.708
Velocidad Este: 5.735 ± 0.474
Velocidad Up: -9.523 ± 1.54
Velocidad N-E: 6.026 ± 0.852
Dirección N-E: 17.871

Estación MHEC:

Figura 49: Serie Temporal de datos semanales estación MHEC.



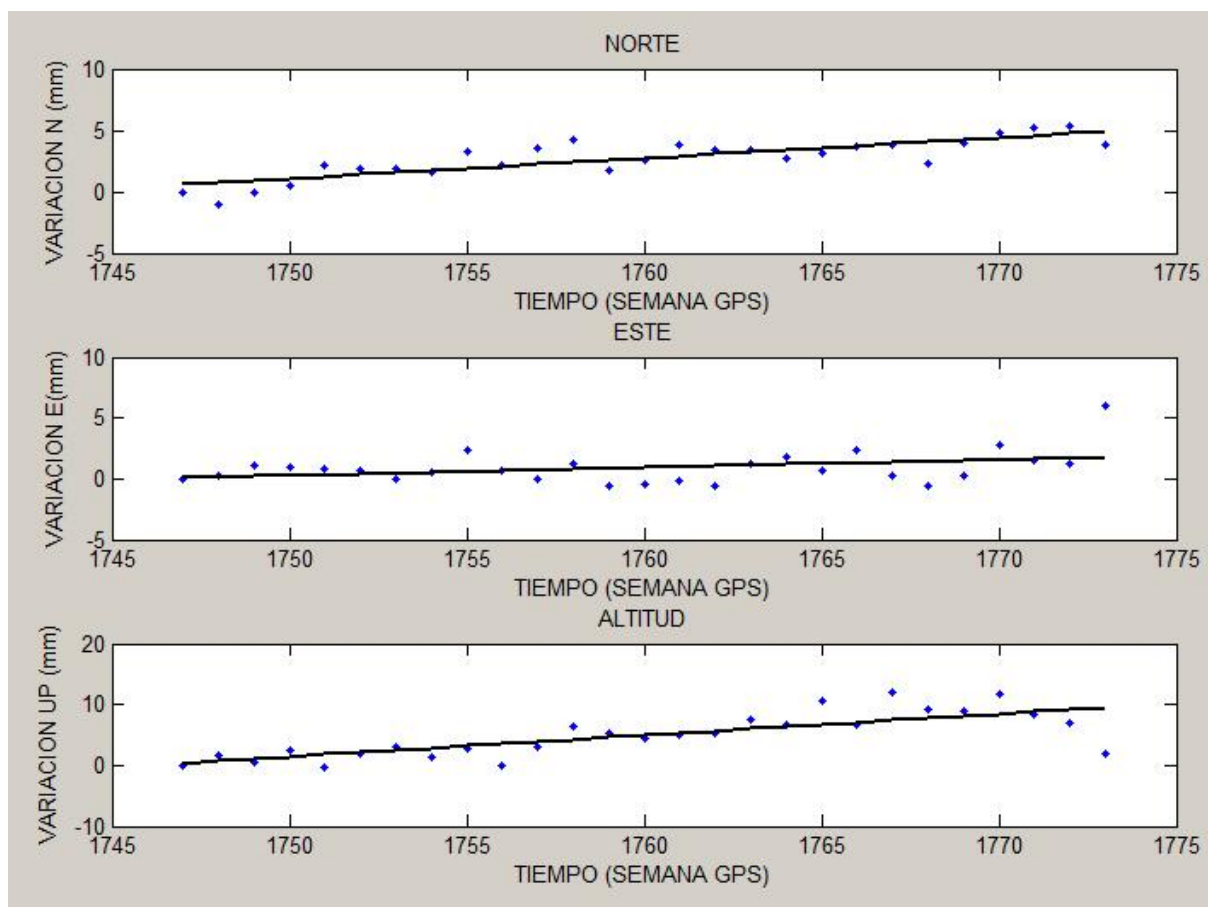
Fuente y Elaboración: Agustín Ruiz

RESULTADOS:

Estación: MHEC_SIRGAS
Latitud: -79.957314
Longitud: -3.260797
Cota: 54.866000
Datos procesados: 27
Velocidad Norte: 14.259 ± 1.052
Velocidad Este: -3.592 ± 1.524
Velocidad Up: 10.353 ± 3.153
Velocidad N-E: 14.705 ± 1.852
Dirección N-E: 104.14

Estación NJEC:

Figura 50: Serie Temporal de datos semanales estación NJEC.



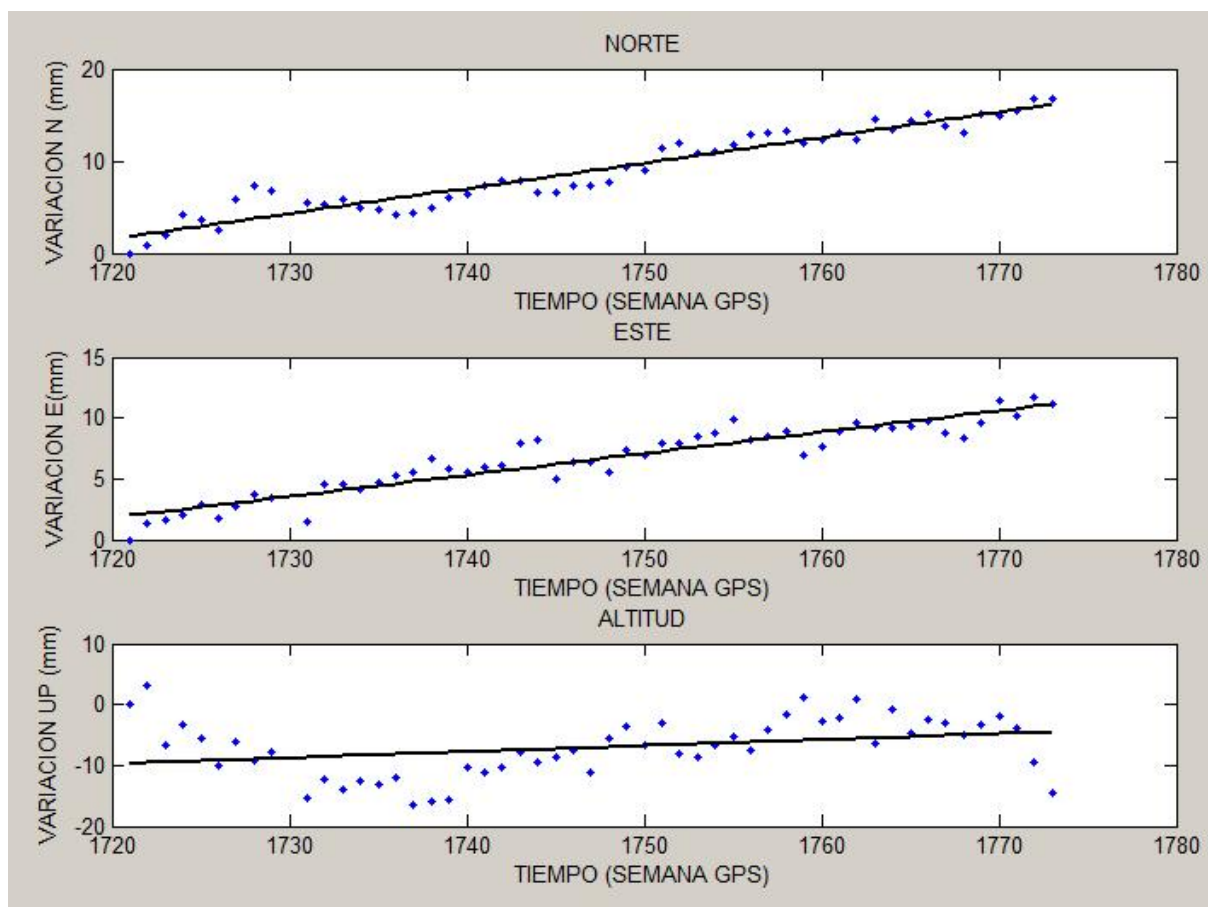
Fuente y Elaboración: Agustín Ruiz

RESULTADOS:

Estación: NJEC_SIRGAS
Latitud: -79.620849
Longitud: -2.675162
Cota: 51.315000
Datos procesados: 27
Velocidad Norte: 8.712 ± 1.174
Velocidad Este: 3.405 ± 1.658
Velocidad Up: 18.351 ± 3.081
Velocidad N-E: 9.354 ± 2.032
Dirección N-E: 68.652

Estación QUEM:

Figura 51: Serie Temporal de datos semanales estación QUEM.



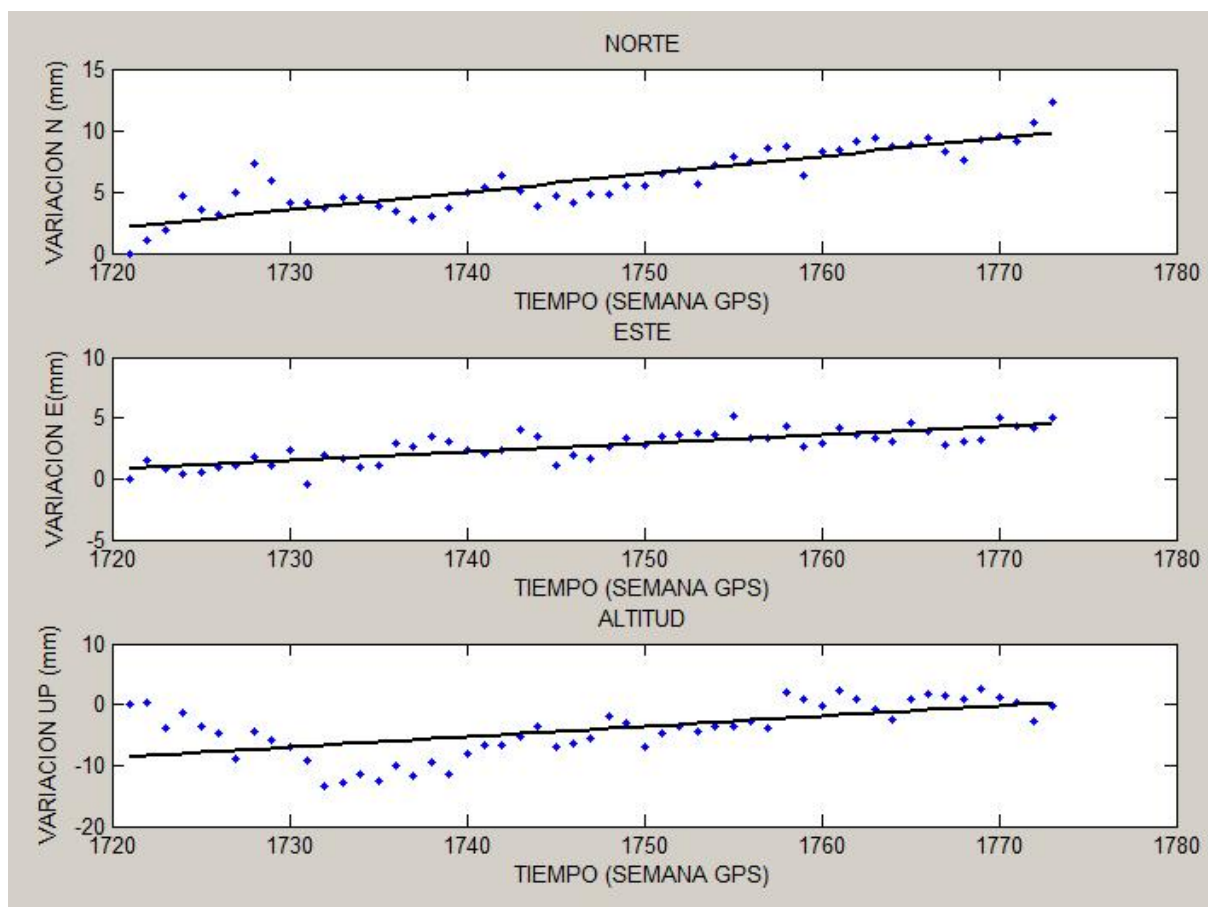
Fuente y Elaboración: Agustín Ruiz

RESULTADOS:

Estación: QUEM_SIRGAS
Latitud: -78.497349
Longitud: -0.237051
Cota: 3054.669000
Datos procesados: 52
Velocidad Norte: 14.371 ± 0.588
Velocidad Este: 9.198 ± 0.466
Velocidad Up: 5.166 ± 2.17
Velocidad N-E: 17.063 ± 0.75
Dirección N-E: 57.379

Estación RIOP:

Figura 52: Serie Temporal de datos semanales estación RIOP.



Fuente y Elaboración: Agustín Ruiz

RESULTADOS:

Estación: RIOP_SIRGAS
Latitud: -78.651107
Longitud: -1.650595
Cota: 2817.168000
Datos procesados: 53
Velocidad Norte: 7.649 ± 0.588
Velocidad Este: 3.639 ± 0.379
Velocidad Up: 8.909 ± 1.679
Velocidad N-E: 8.47 ± 0.7
Dirección N-E: 64.558