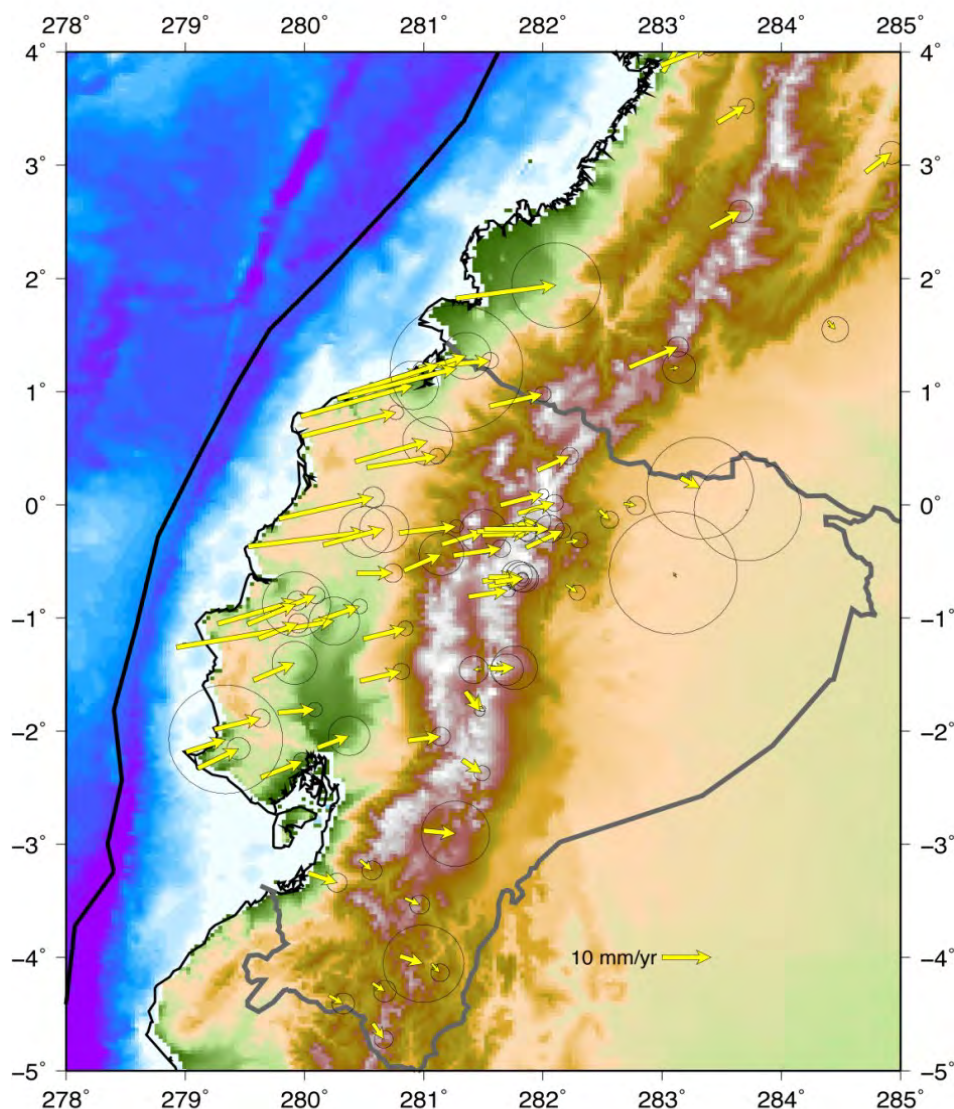


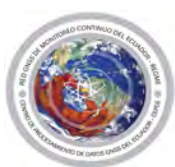
**CAMPO DE VELOCIDADES DEL ECUADOR - VEC_EC
OBTENIDO A TRAVÉS DE MEDICIONES DE CAMPAÑAS GPS
DE LOS ÚLTIMOS 15 AÑOS Y MEDIDAS DE UNA RED GPS PERMANENTE**



**Autor: CISNEROS REVELO, David Alexander
INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR
QUITO - ECUADOR**

**Asesor Científico: NOCQUET, Jean-Mathieu
Géosciences Azur
Sophia Antipolis - Valbonne, France**

JULIO - 2011



CAMPO DE VELOCIDADES DEL ECUADOR - VEC_EC OBTENIDO A TRAVÉS DE MEDICIONES DE CAMPAÑAS GPS DE LOS ÚLTIMOS 15 AÑOS Y MEDIDAS DE UNA RED GPS PERMANENTE

1.- Introducción

Partiendo del hecho que en la Tierra todo se mueve y su forma cambia constantemente, salta la pregunta de conocer con certeza si el Marco Geodésico de Referencia Nacional vigente en el Ecuador es dinámicamente compatible al movimiento lineal y no lineal de la corteza terrestre, brindando una cierta precisión al momento de expresar sus coordenadas referidas a una época y un ITRF definido.

Obviamente, este planteamiento inicial se lo podría resolver si habláramos de la existencia de un Marco de Referencia dinámico en el Ecuador el cual permita asimilar y compensar todo tipo de movimiento producido ya sea por fenómenos geofísicos, tectónicos, atmosféricos o simplemente por la consecuencia de nuevas realizaciones del ITRF y por ende su respectiva adopción.

Un marco de referencia dinámico es aquel que está definido en su totalidad por estaciones de operación continua, las mismas que permiten obtener medidas GNSS (GPS/GLONASS) en tiempo real (24hh/7dd/365yy).

En la actualidad, el Ecuador posee una Red GNSS de Monitoreo Continuo provista de equipos de última generación cuya distribución está en proceso de brindar una cobertura nacional, por tal razón la REGME a futuro permitirá definir un marco de referencia dinámico y compatible con las técnicas de navegación global vigentes en la actualidad.

Mientras esto suceda, es necesario contar con una Referencia Geodésica que permita desarrollar todas las actividades concernientes a la geoinformación. En consecuencia de lo anterior, el IGM, consciente de los problemas presentados en el Ecuador por la incompatibilidad entre el uso masivo de los Sistemas Satelitales de Navegación Global (GNSS) como el sistema GPS y los datums horizontales clásicos como el PSAD 56 (Provisional South American Datum of 1956), enfocó sus actividades técnicas para proporcionar un Marco Geodésico de Referencia acorde a las necesidades actuales y entró a formar parte del proyecto SIRGAS¹ (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas) a partir del año 1993, con el firme objetivo de determinar su Red Nacional GPS enlazada al Sistema de Referencia Terrestre Internacional ITRS² (International Terrestrial Reference System), mantenido por el IERS³ (International Earth Rotation and Reference Systems Service) lo cual garantiza que continuará siempre actualizado de acuerdo a los requerimientos de georeferenciación vigentes.

La campaña GPS para establecer el Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas SIRGAS, se desarrolló entre Mayo/Junio de 1995 (lo cual corresponde a la época **t0 = 1995.4**). Las coordenadas de las estaciones terrestres se refieren por lo tanto a esta época específica.

En aquel tiempo, el Ecuador participó conjuntamente con el resto de países de América, en la medición de tres puntos principales los cuales fueron en nuestro caso: BALTRA, LATACUNGA y ZAMORA.

1 SIRGAS - Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas, <http://www.sirgas.org/>

2 ITRS - The International Terrestrial Reference System, <http://www.iers.org/IERSEN/DataProducts/ITRS/itrs.html>

3 IERS - International Earth Rotation & Reference Systems Service, <http://www.iers.org>

Adicionalmente, el IGM materializó 135 puntos distribuidos a lo largo del territorio nacional con el objetivo de obtener una densificación del marco de referencia enlazado a SIRGAS. Las campañas de observación de la red GPS se desarrollaron entre los años 1994, 1996 y 1998.

Los resultados de este trabajo son las coordenadas Geocéntricas Cartesianas de 135 puntos expresadas en el Report 73: Processing of the Ecuadorian National GPS Network within the SIRGAS Reference Frame, cuya realización corresponde a SIRGAS95, ITRF94, época de referencia 1995,4; constituyéndose en la **REd Nacional GPS del Ecuador – RENAGE**.

La RENAGE, es el Marco Geocéntrico de Referencia Nacional materializado a través de estaciones Pasivas y el sustento técnico por el cual el Ecuador atravesó el umbral de la Geodesia Convencional a la era de los Sistemas Satelitales de Navegación Global.

La realización SIRGAS95, en el transcurso del tiempo ha experimentado varios agentes y fenómenos geofísicos que afectan su consistencia tales como el continuo desplazamiento de las placas tectónicas, los efectos de la subducción, sismos, fallas geológicas, deformación local e incluso diferencias en el cálculo de las efemérides y la actualización del ITRS.

Aparte de las deformaciones continuas tenemos también que considerar movimientos no continuos del terreno como por ejemplo los producidos por terremotos (movimientos no lineales). Las coordenadas SIRGAS deben ser corregidas por estos movimientos antes de ser utilizadas como un Marco de Referencia Nacional.

Las órbitas satelitales generadas por el IGS⁴ y utilizadas en el ajuste de la campaña SIRGAS95 se refieren al ITRF 94. Aplicando estas órbitas al procesamiento SIRGAS95 se está introduciendo una ligera restricción a este ITRF.

En consecuencia, las coordenadas SIRGAS95 de las estaciones terrestres que materializan la RENAGE, no son válidas para una época diferente a 1995.4, por tal razón es necesario trasladar las coordenadas a la época actual de observación para garantizar la compatibilidad entre el segmento espacial, el segmento de control y las mediciones realizadas por el usuario del sistema GPS.

Para compatibilizar estas diferencias con el tiempo, se requieren para cada estación las componentes de velocidad **V** (es decir, cambios en las coordenadas dX/dt , dY/dt , dZ/dt) y determinación de las nuevas coordenadas. Los datos de antiguas mediciones permiten evaluar los movimientos sucitados en el transcurso del tiempo, por tal razón, las velocidades se obtuvieron a partir de observaciones GPS repetidas de larga duración sobre sitios medidos en los últimos quince años.

En principio, si se tratara de una Red Activa de estaciones de medición continua la obtención de medidas repetitivas no sería una limitante, pero al ser una red pasiva materializada por medio de mojones de concreto empotrados en la superficie terrestre es importante obtener cuantas mediciones redundantes sea posible por cada sitio existente.

Precisamente esta compatibilización es el principal justificativo para desarrollar un Campo de Velocidad en el Ecuador que permita determinar con certeza la magnitud (diferencia expresada en metros) existente entre las coordenadas SIRGAS 95 y las calculadas en el marco de referencia vigente; IGS08.

4 IGS - International GNSS Service, <http://igscb.jpl.nasa.gov/>

El IGS realizó un reprocesamiento completo de las órbitas satelitales de 1994 – 2005 para superar inconsistencias debido a los avances en la modelización de las observaciones GPS y la evolución del ITRF. Ver <http://acc.igs.org/reprocess.html>.

En la figura No. 1, se puede apreciar que en los últimos 15 años, la precisión de las órbitas finales calculadas por el IGS/ ACC⁵ ha mejorado de 30 centímetros (en 1993, week 700) a cerca de 1 a 2 cm en la actualidad. Ver <http://igscb.jpl.nasa.gov/components/usage.html>.

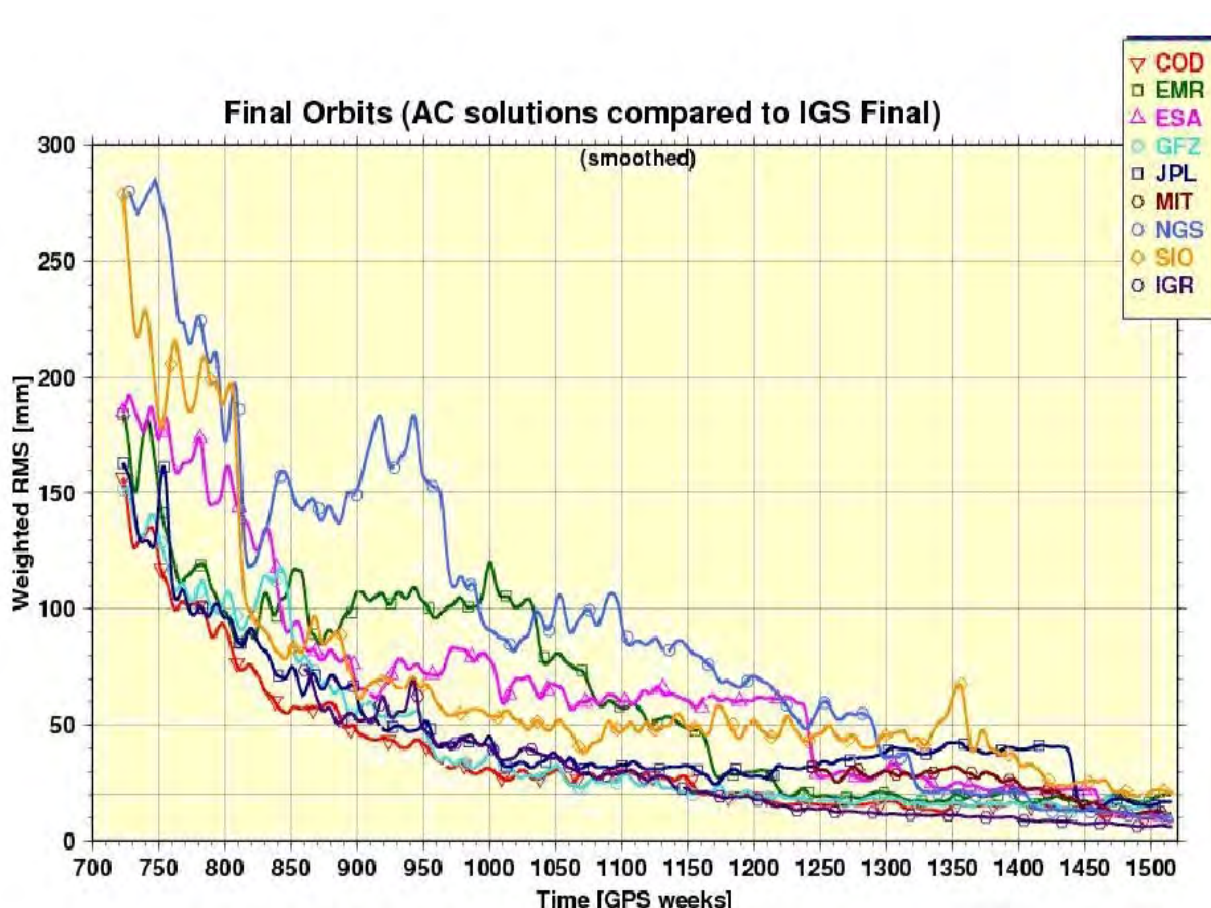


Figura 1: Weighted orbit RMS of the IGS Rapid (IGR) products and AC Final orbit solutions during 1994-2009 with respect to the IGS Final orbit products. (COD – Center for Orbit Determination in Europe, Switzerland; EMR – Natural Resources Canada; ESA - European Space Agency; GFZ GeoForschungsZentrum Potsdam, Germany; JPL – Jet Propulsion Laboratory, U.S.A.; MIT- Massachusetts Institute of Technology, U.S.A.; NGS – National Geodetic Survey, NOAA, U.S.A.; SIO - Scripps Institute of Oceanography, U.S.A.). The newest AC - GRG (CNES, CLS and GRG of France) is not shown here, since currently (May 2009), it is not yet included in the IGS combinations. (Courtesy of the IGS ACC, see <http://acc.igs.org/>). Fuente: <http://igscb.jpl.nasa.gov/components/usage.html>

La disponibilidad de nuevas órbitas homogéneas de alta calidad con una versión más precisa del ITRF y la obtención del campo de velocidad; permite proponer una actualización del Marco de Referencia del Ecuador compatible con el ITRF vigente.

⁵ IGS /ACC - IGS Analysis Center Coordinator. <http://acc.igs.org/reprocess.html>

2.- Descripción del set de datos usados en el proyecto

A lo largo de los quince años transcurridos desde la época 1995.4 a la cual se refiere el Marco de Referencia Nacional del Ecuador (SIRGAS95), se han realizado varias campañas con mediciones GPS de los sitios que materializan la red pasiva RENAGE. Algunas de estas mediciones (lamentablemente no todas) han sido repetidas en épocas diferentes de un mismo sitio.

Por otro lado, en los últimos cuatro años se han instalado varias estaciones de operación continua dentro del territorio nacional, administradas por entidades del estado y distribuidas en redes con múltiples propósitos (marco de referencia, geofísica, seguridad nacional, etc).

La precisión obtenida al calcular un campo de velocidad depende no solo de la estrategia de procesamiento aplicada para el cálculo; también influye la calidad de las observaciones GPS, la duración de cada una de ellas (es importante contar con mediciones GPS de larga duración) y la cantidad de mediciones repetidas de un mismo punto obtenidas en épocas diferentes de tiempo, por esta razón, se analizó toda la información generada en las campañas de medición de la red pasiva RENAGE (y las densificaciones que se derivan de ésta) y la red activa REGME (junto con las demás subredes IGEPN - ADN) entre los años 1994 (enero de 1994, GPS Week 730) y 2011 (marzo de 2011, GPS Week 1627); con el objetivo de obtener una gran precisión del campo y un recubrimiento a escala del territorio nacional.

Para garantizar la mayor cantidad posible de puntos cuyas medidas GPS sean redundantes en el transcurso del tiempo, se tomó como margen de partida en un primer nivel, todos los puntos base usados como referencia geodésica y pertenecientes a la Red Nacional GPS del Ecuador RENAGE; la cual como se mencionó anteriormente, fue materializada por medio de 135 puntos distribuidos de manera homogénea a lo largo del Ecuador. Las observaciones GPS obtenidas en este nivel, corresponden a los proyectos SIRGAS95, RENAGE y CASA desarrollados entre los años 1994, 1996 y 1998. Ver Figuras No. 2, 3 y 4.

En un segundo nivel, se tomó en cuenta los puntos densificados a partir de la RENAGE, como es el caso de la Red GPS Costera, Red GPS Oriental, Red GPS de Quito, Red GPS Ecuador 2007, etc.

Finalmente, se incluyó en un tercer nivel, todos aquellos proyectos cuyos puntos base usados como referencia tengan por lo menos un tiempo mínimo de observación de datos GPS equivalente a 180 minutos y otorguen medidas redundantes de puntos establecidos en los dos niveles descritos anteriormente. Se menciona el término proyectos con el fin de simplificar la cantidad de puntos incluidos dentro de éste.

Es importante señalar que todos los datos de observaciones GPS obtenidos en los niveles 1, 2 y 3; **corresponden a redes pasivas** materializadas por medio de mojones de concreto y su correspondiente referencia física establecida por medio de una placa de aluminio en el centro.



Figura No.2: Localización de los sitios ocupados durante la campaña GPS desarrollada en 1994.

Fuente: Report 73.

IGM - DGFI - SIRGAS

Figura No.3: Localización de los sitios ocupados durante la campaña GPS desarrollada en 1996. Fuente: Report 73.

IGM - DGFI - SIRGAS





Figura No.4: Localización de los sitios ocupados durante la campaña GPS desarrollada en 1998.

Fuente: Report 73.
IGM - DGFI – SIRGAS

Para derivar las velocidades de estaciones no equipadas con receptores GPS permanentes (redes pasivas), necesitamos al menos una (preferiblemente más de una) medición de repetición (campaña GPS con sesiones de larga duración) en el tiempo (t_i) para otra determinación de coordenadas. Esta es la principal limitante encontrada en lo que se refiere a los datos, pues existen puntos que lamentablemente no poseen medidas GPS redundantes que permitan establecer un cálculo de velocidad siendo la destrucción prematura del monumento la principal causa por la cual no se efectuaron medidas GPS posteriores. El segundo elemento tomado en cuenta es la duración entre la primera y la última medición. Decidimos usar únicamente los puntos que tienen por lo menos un periodo de observación de dos años con el fin de garantizar la precisión del procesamiento y la calidad de la información usada en el proyecto.

Todos los datos en formato original (formatos nativos binarios) provenientes de las mediciones GPS descritas en los niveles 1, 2 y 3, fueron convertidos a formato universal **RINEX**⁶ mediante el uso de la herramienta **TEQC**⁷, posteriormente; todos los archivos RINEX de observación (.xxO) fueron sometidos a un estricto control de calidad con el fin de filtrar únicamente los datos óptimos para el procesamiento de las soluciones libres por medio del software científico **GAMIT/GLOBK**⁸ y finalmente fueron almacenados con una doble compresión utilizando **HATANAKA**⁹ y **gzip**¹⁰. Los sitios de campaña GPS (previo al procesamiento preliminar) se muestran en la Figura No. 5.

6 RINEX - The Receiver Independent Exchange Format, ver: www.ngs.noaa.gov/CORS/Rinex2.html

7 TEQC - Translation, Editing, Quality Check, ver: <http://facility.unavco.org/software/teqc/teqc.html>

8 GAMIT/GLOBK – software de procesamiento GPS científico, ver: <http://www-gpsg.mit.edu/~simon/gtgk/>

9 HATANAKA – compresión RINEX, ver: <http://sopac.ucsd.edu/dataArchive/hatanaka.html>
<http://facility.unavco.org/data/hatanaka.html>

10 Gzip – algoritmo de compresión GNU, ver: <http://www.gzip.org/>

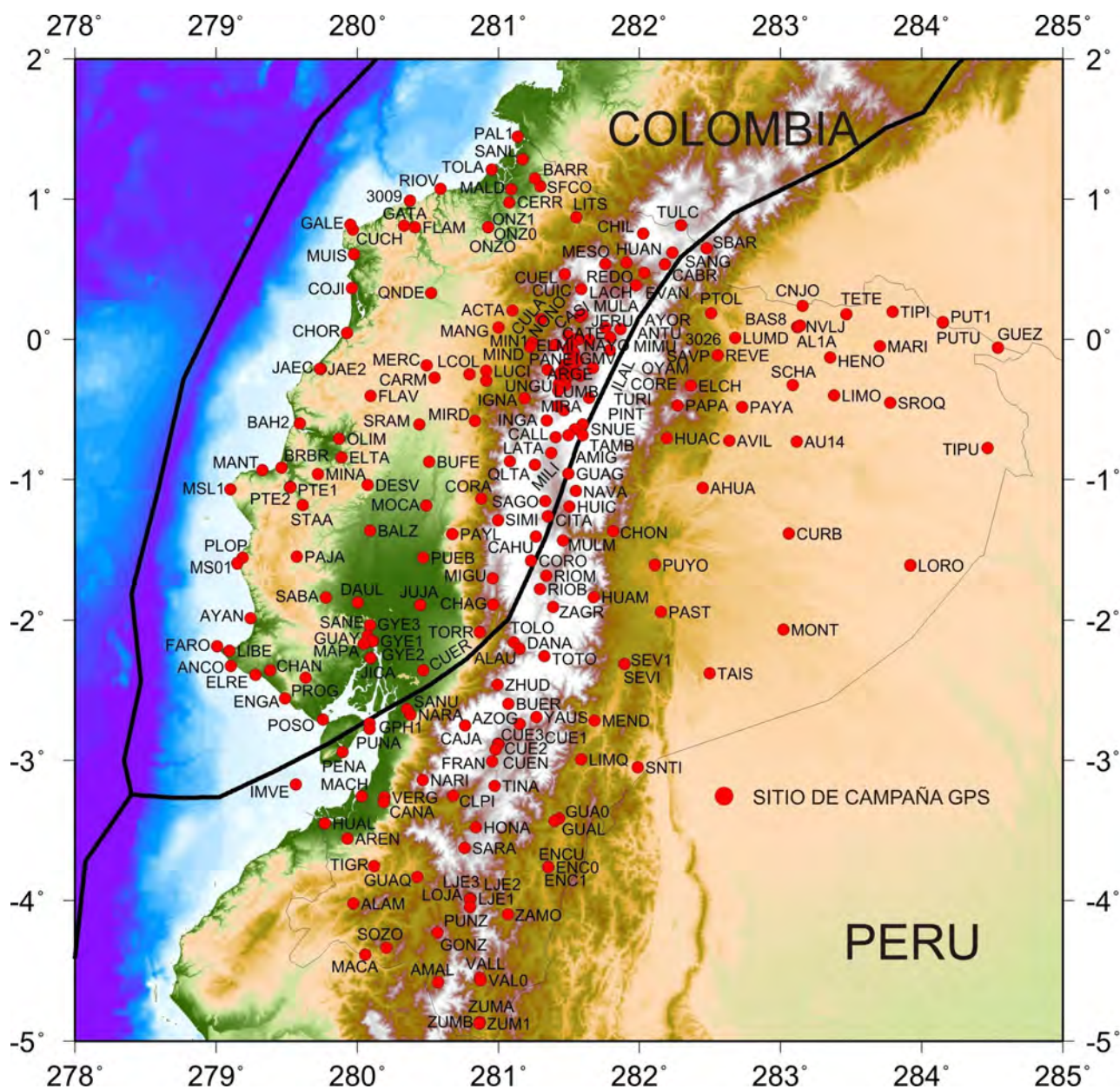


Figura No. 5: Sitios de campaña GPS preliminares (previo al procesamiento de datos)

En lo que respecta a la Red Activa, cuyas medidas GPS son obtenidas por medio de estaciones de monitoreo continuo instaladas en el Ecuador a partir del año 2007 (excepto QUI1, RIOP y GLPS que fueron instaladas en la década de 1990), se analizó la información de la **REGME** – IGM (Red GNSS de Monitoreo Continuo del Ecuador), la red activa del IGEPN (Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional) y las estaciones activas que son parte del proyecto ADN-IRD-IGEPN (Andes del Norte). Ver Figura No. 6.

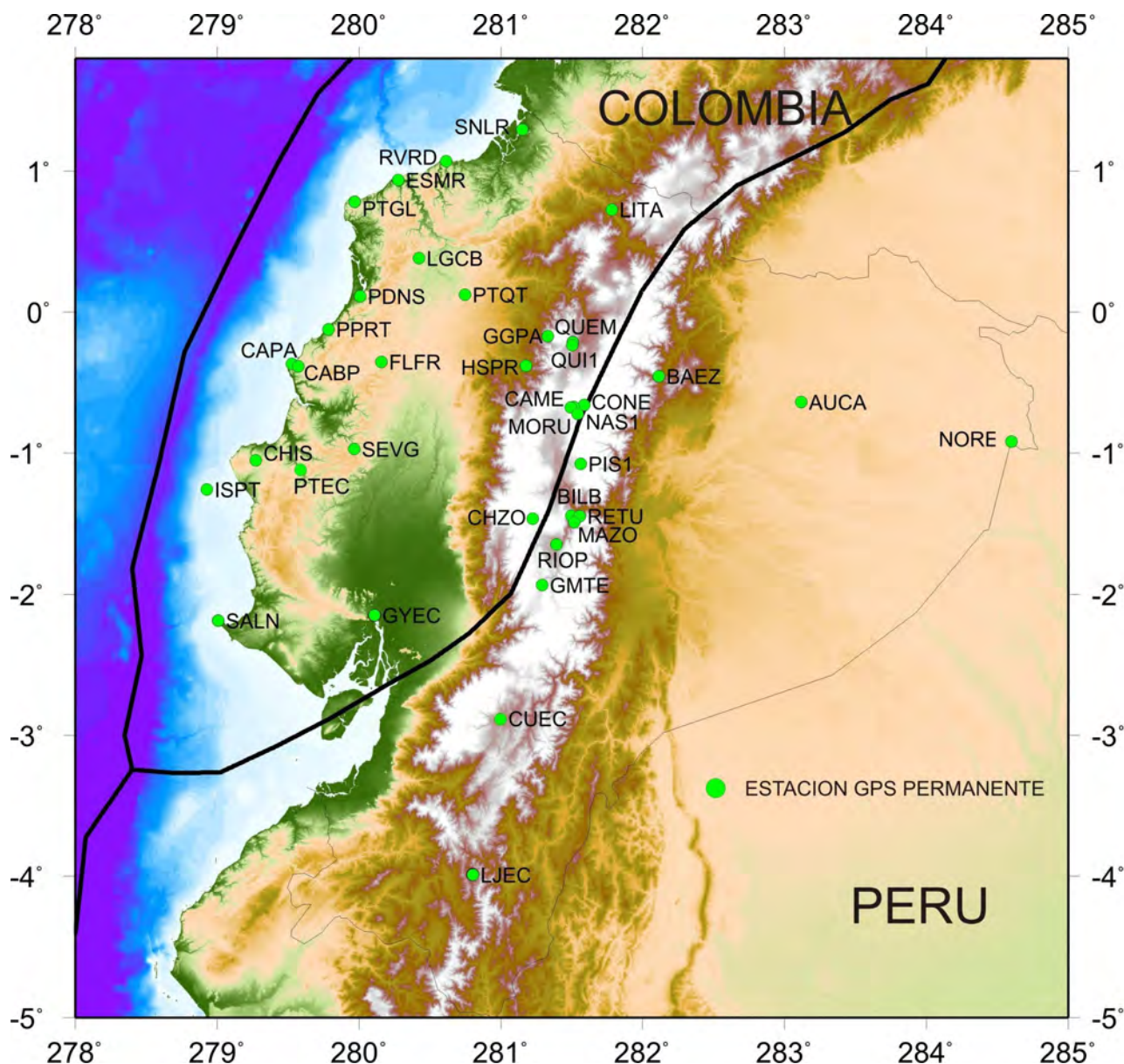


Figura No. 6: Estaciones GPS permanentes dentro del territorio continental

Las estaciones de la REGME: QVEC, MAEC y TNEC no fueron incluidas en el cálculo del campo de velocidad debido a que su funcionamiento y remisión de datos tiene menos de un año, lo cual es un periodo demasiado corto para obtener una buena determinación de velocidad.

De igual manera ocurre con la estación permanente NORE, ubicada en Nuevo Rocafuerte y de propiedad del Instituto Geofísico de la EPN.

Al agrupar los sitios de la Red Activa y Pasiva preliminares (previo al procesamiento de los datos GPS), se puede observar un recubrimiento a escala del Ecuador; lo cual permite discriminar los sitios que no cumplan con un criterio de aceptación en el análisis de la calidad de sus datos. Ver Figura No. 7.

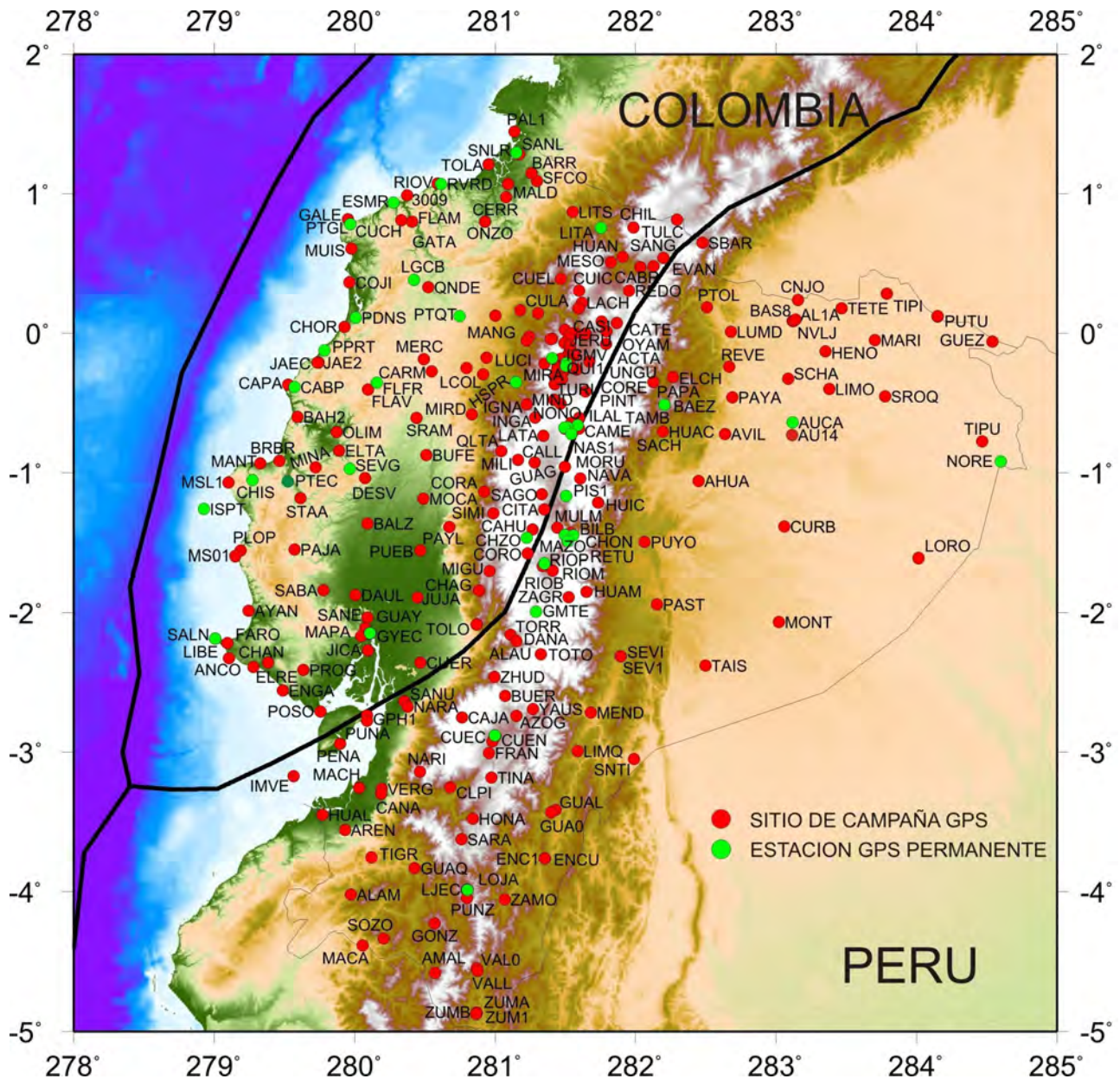


Figura No. 7: Estaciones GPS Permanentes y Sitios de Campañas GPS dentro del territorio continental (previo al procesamiento de datos)

The map displays the northern Andes region, spanning the border between Colombia (top) and Ecuador (bottom). The study area is defined by a black outline. Latitude ranges from 1°N to 5°S, and longitude ranges from 278°W to 285°W. Topographic shading indicates elevation, with higher elevations in the Andes. Major cities like Bogotá, Quito, and Guayaquil are labeled. The map shows the locations of 60 GPS stations, marked with red dots and labeled with codes. A legend indicates that red dots represent 'SITIO GPS, NO SE OBTUVO VELOCIDAD' (GPS station, no velocity obtained). The map also shows the locations of major cities and geographical features, including the Pacific Ocean, the Andes mountains, and the Amazon basin.

Sin embargo, el planteamiento para incluir estos sitios dentro del procesamiento; es realizar una campaña de medidas GPS de los puntos que sean posibles y proceder a realizar un recálculo de velocidad conjuntamente con los existentes.

En lo que respecta a la red SIRGAS-CON, se usaron datos de estaciones permanentes de países vecinos, como es el caso de Colombia a través del IGAC, Brasil a través del IBGE y Perú a través del IGN - DGFI. Estos datos fueron usados para mejorar la cobertura de la red a nivel regional e identificar a esta escala movimientos o desplazamientos provocados por fenómenos geofísicos (principalmente efectos de la subducción) y así aplicar correcciones necesarias para evitar la distorsión del campo de velocidad.

Cabe recalcar que previo al uso de la información, se tomó contacto con los responsables de la Red de Estaciones Permanentes de cada institución y se solicitó la autorización respectiva para la disponibilidad de los datos, amparado en los lazos de cooperación existentes a través del proyecto SIRGAS; destacando finalmente el desarrollo del estudio sin ánimo de lucro y únicamente con fines científicos. Ciertas estaciones continuas SIRGAS_CON están incluidas también dentro de la red global del IGS .

El detalle de estaciones permanentes (cercanas al área de estudio) de la Red SIRGAS-CON usadas en el proyecto y su correspondiente ubicación, se muestra a continuación en la Tabla No.1 y Figura No.9.

CÓDIGO IGS	NOMBRE	PAÍS
CART	CARTAGENA	COLOMBIA
CUCU	CUCUTA	COLOMBIA
ARCA	ARAUCA	COLOMBIA
QUIB	QUIBDO	COLOMBIA
BOGT	BOGOTA	COLOMBIA
CALI	CALI	COLOMBIA
NEVA	NEIVA	COLOMBIA
POPA	POPAYAN	COLOMBIA
FLOR	FLORENCIA	COLOMBIA
TUMA	TUMACO	COLOMBIA
PSTO	PASTO	COLOMBIA
BRAZ	BRAZILIA	BRASIL
BRFT	EUSEBIO	BRASIL
CHPI	CACHOEIRA	BRASIL
POVE	PORTO VELHO	BRASIL
SAGA	S. G. CACHOEIRA	BRASIL
CALL	CALLAO	PERU
IQUI	IQUITOS	PERU

Tabla No. 1: Detalle de estaciones SIRGAS_CON usadas en el proyecto

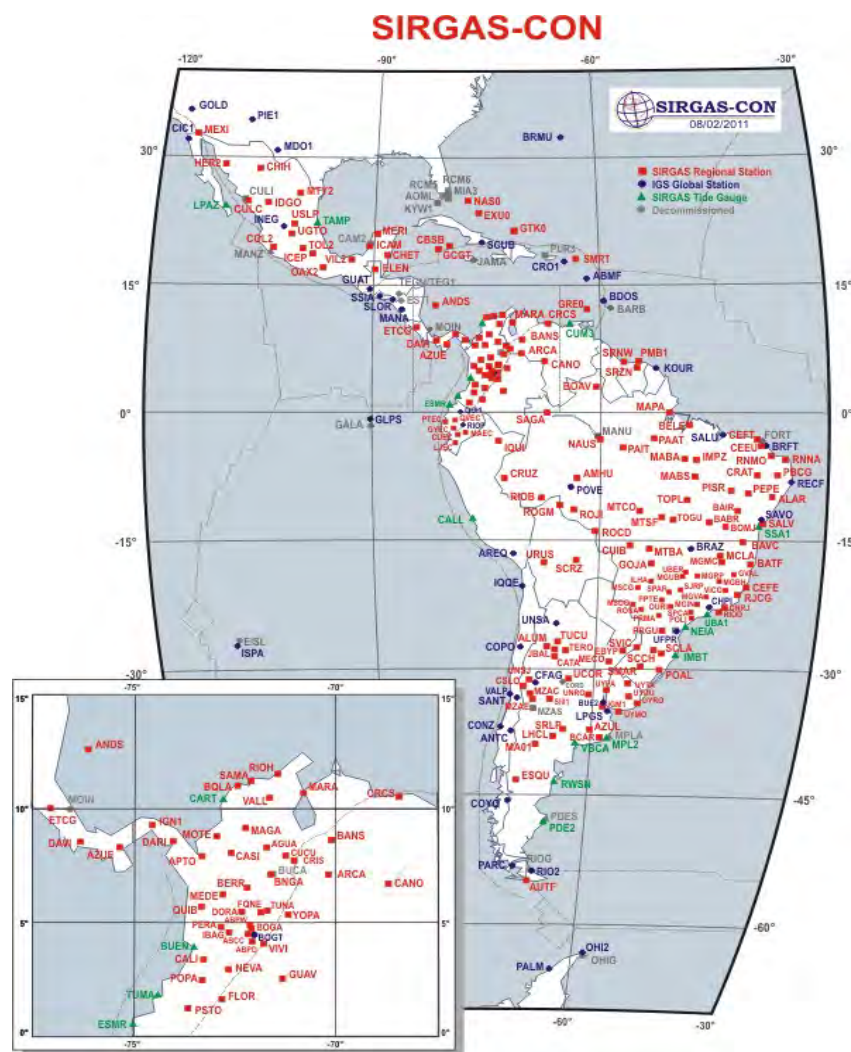


Figura No. 9: Network SIRGAS_CON. Fuente: <http://www.sirgas.org/index.php?id=61>

El total de datos usados en el cálculo del VEC_Ec, correspondientes a observaciones GPS en formato RINEX, se resume en la siguiente Tabla No. 2.

Denominación	Archivos RINEX	Descripción
RED GPS PASIVA	2146	RENAGE – Densificaciones posteriores
RED GPS ACTIVA	31811	REGME_IGM – IGEPN – ADN
RED SIRGAS-CON	65700	IGAC_COLOMBIA IBGE_BRASIL – IGN_PERU
REFERENCE NETWORK IGS	154027	IGS
TOTAL ARCHIVOS RINEX INGRESADOS EN EL PROCESAMIENTO GAMIT:	253684	

Tabla No. 2: Detalle de archivos RINEX ingresados en el procesamiento con el software GAMIT

Finalmente, la ubicación de los sitios que conforman el Campo de Velocidad del Ecuador tanto del territorio continental como del Archipiélago de Galápagos, se presenta en las Figuras No. 10, 11 y 12.

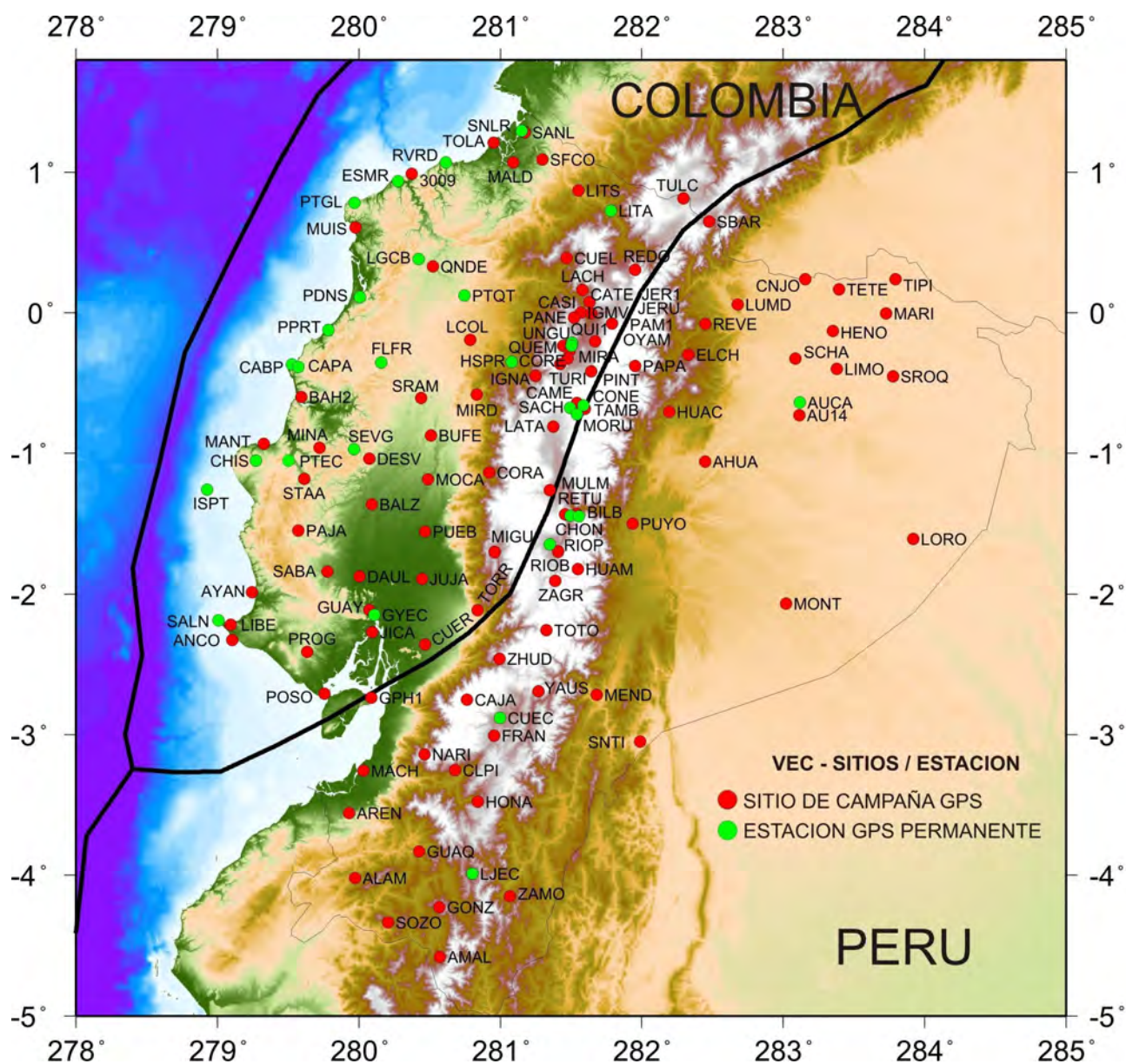


Figura No. 10: Ubicación de los sitios del territorio continental que materializan el Campo de Velocidad - VEC_Ec

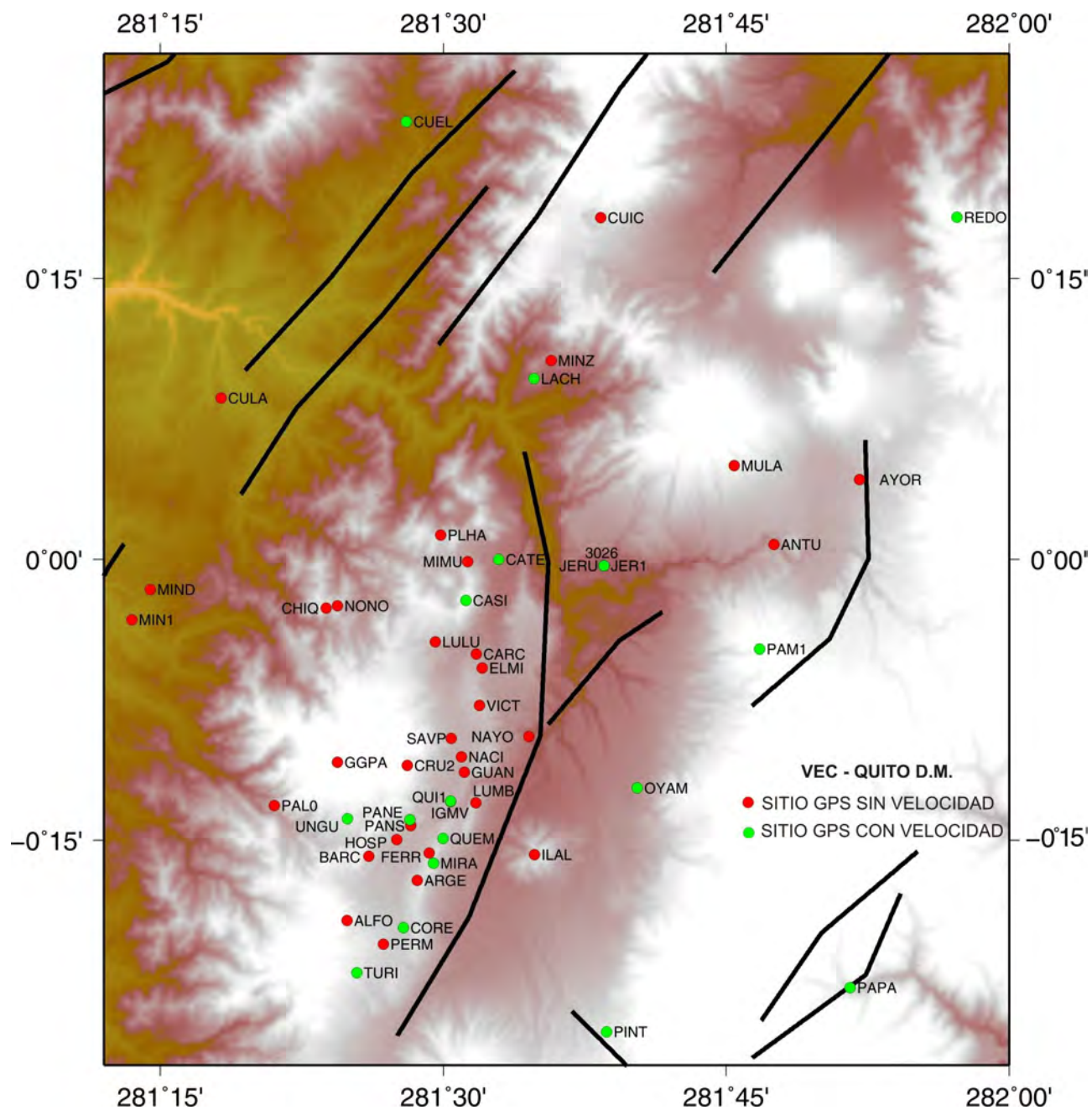


Figura No. 11: Ubicación de los sitios VEC_Ec dentro del Distrito Metropolitano de Quito.

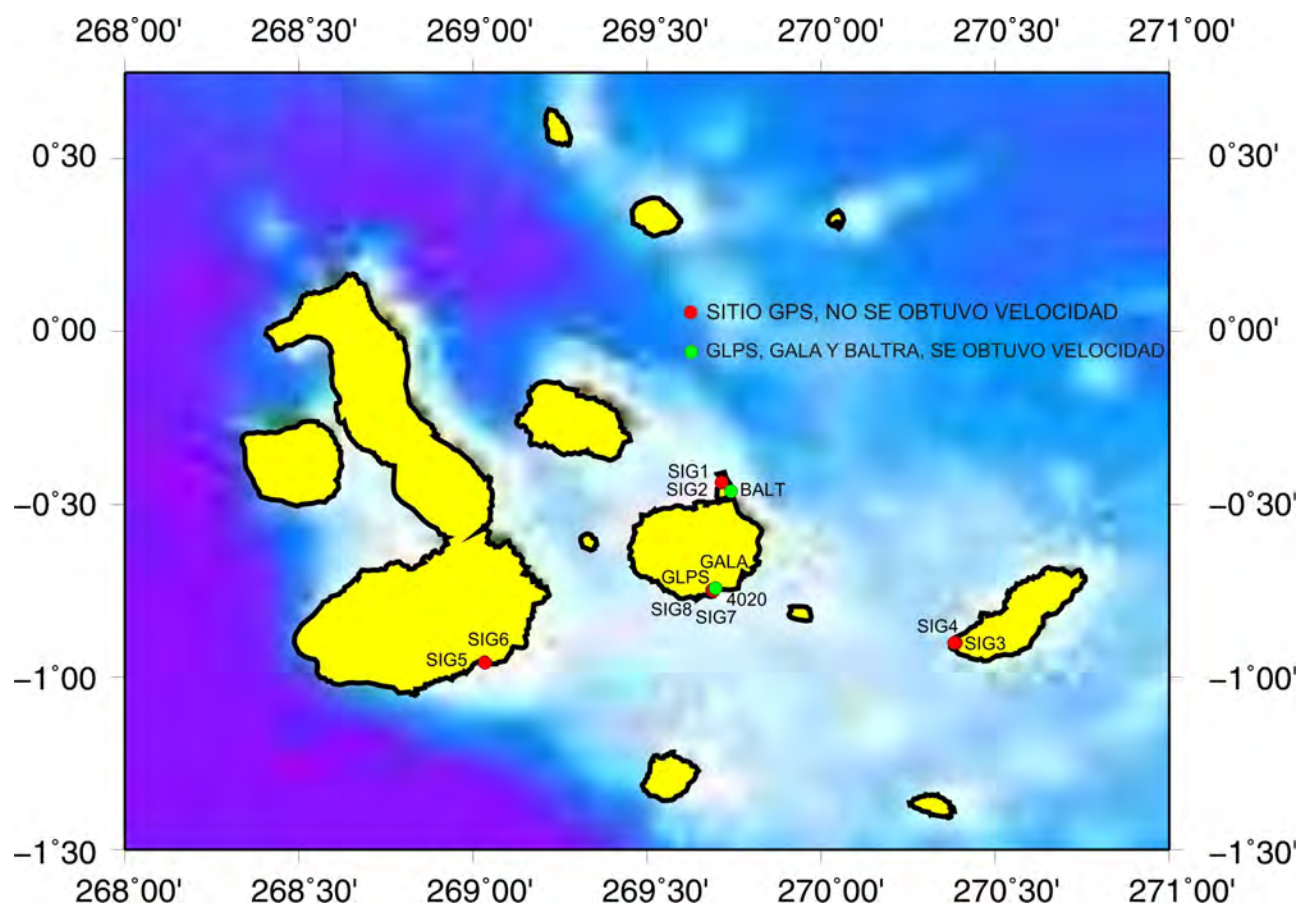


Figura No. 12: Ubicación de los sitios del Archipiélago de Galápagos que materializan el Campo de Velocidad

3.- Procesamiento de los datos GPS mediante el software científico GAMIT / GLOBK

La plataforma de procesamiento científico usado en el proyecto es el software GAMIT/GLOBK versión 10.4 desarrollado por el Instituto de Tecnología de Massachusetts (King & Bock, 2010) y el sistema operativo LINUX (distribución Ubuntu 10.10), el cual es una herramienta informática muy poderosa que permite desarrollar aplicaciones con alta seguridad, escalabilidad e interoperabilidad para automatizar el tratamiento y flujo de datos.

Tanto el sistema operativo como el software de procesamiento científico son herramientas informáticas catalogadas como Open Source.

En este estudio, el procesamiento de datos se ha llevado a cabo en dos etapas, la primera con GAMIT y la segunda utilizando GLOBK.

GAMIT, realiza el cálculo de soluciones libres (libre de un marco de referencia) en el espacio, para lo cual utiliza dobles diferencias de fase entre las estaciones y satélites para cancelar completamente los efectos de las variaciones del reloj. GAMIT incorpora un algoritmo de mínimos cuadrados ponderados para calcular las posiciones relativas de un conjunto de estaciones.

La estrategia de procesamiento adoptada incluye la aplicación de variables que intervienen en un procesamiento científico, a través de la inclusión (download) de los Parámetros de Rotación de la Tierra (EOP), Órbitas Precisas del IGS (efemérides Reprocesadas-repro1), Grillas Atmosféricas, Carga Oceánica, efectos de las mareas de la Luna y del Sol (ut1, luntab, soltab) respecto al Marco de Referencia.

El procesamiento también incluye parámetros calculados como los Retrasos al Cenit de las ondas de los satélites inducidas por la tropósfera, la posición y las ambigüedades de fase. Dado que el modelo funcional sobre las observaciones y los parámetros no es lineal, el ajuste por mínimos cuadrados para cada sesión es necesario (en ciertos casos) repetirlo hasta encontrar la convergencia.

El resultado del procesamiento son los h-files obtenidos por cada día procesado, los cuales poseen todas las estimaciones de la solución libre (loosely constrained), conjuntamente con las matrices de varianza/covarianza.

En definitiva los h-files contienen las soluciones libres en el espacio (las cuales son homogéneas en un día, pero varían con respecto a los demás días de cálculo) por tal razón es necesario estabilizarlas dentro de un Marco de Referencia con el fin de analizar la repetibilidad, las series temporales, verificar la calidad de los datos (RINEX de cada sitio), confirmar la calidad del procesamiento y analizar el comportamiento de las soluciones estabilizadas en el transcurso del tiempo.

GLOBK, es un Filtro de Kalman cuyo propósito es combinar soluciones obtenidas del procesamiento de datos GPS. La entrada primaria son las soluciones libres - loosely constrained (h-files) obtenidas del procesamiento GPS con GAMIT. Estas soluciones son usadas en tres aplicaciones con GLOBK:

- Para generar series de tiempo de las estaciones, realizar test de repetibilidad e identificar y remover outliers de cada estación.
- Para obtener una estimación promedio de las coordenadas de múltiples días de procesamiento, combinando sesiones individuales de las observaciones de los sitios GPS.

- Para estimar velocidades de las estaciones a partir de las coordenadas promedio obtenidas de varios años de observación repetitiva.

De acuerdo a esta introducción, describimos la segunda parte del procesamiento la cual se refiere a la “Estabilización de la Solución Libre”, generalmente conocido como Marco de Referencia, para lo cual usamos GLOBK. Para realizar el proceso de estabilización, tomamos cada solución libre (ASCII h-files) obtenido del procesamiento con GAMIT y lo convertimos en formato GLX (formato binario reconocido por GLOBK, binary h-files).



Asumiendo el modelo de transformación de Helmert que forma parte de los filtros de Kalman, calculamos en primera instancia siete parámetros de transformación (3 rotaciones, 3 traslaciones y 1 factor de escala) y usamos estos parámetros para “exprimir” las soluciones libres de todos los días dentro de un Marco de Referencia Global (por ejemplo ITRF94, ITRF2005, IGS08, ect). En este caso usamos el IGS08.

Para el cálculo de los 7 parámetros de Helmert debemos escoger estaciones del IGS como referencia, tomando en cuenta una buena geometría, es decir, cuya ubicación cubra toda el área del proyecto por niveles de distancia en los cuatro cuadrantes (en lo posible las más cercanas) y considerando únicamente las estaciones que no sufran efectos geodinámicos o estén afectadas por fenómenos geofísicos transitorios (cambios bruscos de la posición con respecto al movimiento lineal).

Las etapas que conlleva el procesamiento científico usando GAMIT/GLOBK y la obtención final de las velocidades se resume en el siguiente esquema:



4.- Evaluación de la calidad de los resultados obtenidos del procesamiento GAMIT/GLOBK

Para evaluar la calidad de los resultados del procesamiento hay dos opciones, la Desviación Estándar que se obtiene de la matriz varianza y covarianza de las coordenadas y componentes de la velocidad; y la Repetibilidad diaria (REP), que es el promedio ponderado del error cuadrático. A pesar de que la desviación estándar formal es el primer indicador de la calidad del procesamiento por lo general proporciona valores muy optimistas por la calidad de los parámetros, sin embargo, la Repetibilidad proporciona una medida más realista de la precisión de las coordenadas de la estación y es un indicador de la dispersión de las soluciones de todos los días (JM Nocquet, 2008).

En este punto, con el fin de **evaluar la calidad** de nuestro **procesamiento**, hemos seleccionado la **Repetibilidad** que se da por la siguiente expresión (Blewitt, 1989):

$$REP = \left(\frac{\frac{n}{n-1} \sum_{i=1}^n \frac{(R_i - R_m)^2}{\sigma_i^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\sigma_i^2}} \right)^{1/2} \quad (1)$$

donde n es el número de días de ocupación, R_i es la estimación de coordenadas, σ_i es la desviación estándar de las coordenadas para el i día y R_m es la media ponderada de las coordenadas de la estación.

La Repetibilidad por lo tanto, permite cuantificar la magnitud en término de la diferencia y variación de la coordenada de un mismo punto en el transcurso del tiempo; considerando todos los agentes externos que puedan provocar un salto importante en las series de tiempo de esta estación. El cálculo de la Repetibilidad y las Series Temporales serán expresadas en el Marco de Referencia aplicado en la estabilización de las soluciones. Una buena repetibilidad garantiza un buen procesamiento de datos GPS.

Se efectuó el análisis de la repetibilidad y las series de tiempo de todos los datos GPS (que cumplen con un factor de calidad) obtenidos en los últimos quince años y que son parte del proyecto de investigación.

5.- Análisis de la Repetibilidad y las Series de Tiempo

El análisis de la repetibilidad y las series de tiempo comprende dos aspectos diferentes: análisis a corto plazo y análisis a largo plazo.

La Repetibilidad a corto plazo, permite verificar la precisión del cálculo (procesamiento) de una campaña GPS en particular.

La Repetibilidad a largo plazo, permite verificar la precisión del cálculo de una campaña GPS a corto plazo conjuntamente con varias campañas GPS a largo plazo, observando un nivel de acuerdo lineal el cual se desplaza en el tiempo.

Dado que el proyecto abarca datos de los últimos 15 años, es conveniente realizar un análisis de repetibilidad y series de tiempo a largo plazo con el fin de confirmar la calidad del procesamiento, analizar el comportamiento de las soluciones estabilizadas en el transcurso del tiempo, detectar saltos en las series de tiempo, outliers, ruido, errores de altura en la componente vertical e incompatibilidad de códigos usados en el nombre de los sitios. Este análisis permite depurar los errores (principalmente los outlier) y obtener una Solución Acumulada “limpia” (depurada y libre de errores) de la cual se obtendrán las velocidades finales de los sitios que conforman el Campo de Velocidad.

Tanto las series de tiempo como la repetibilidad, están expresadas en el Marco de Referencia Global usado en el proyecto, es decir el IGS08.

Para obtener las series temporales, otorgamos un peso menor a la componente vertical, por tal razón esta componente tiene mayor desviación estándar que la componente horizontal.

Las series de tiempo muestran los resultados obtenidos respecto al valor promedio de las posiciones de los puntos calculadas para cada día.

La desviación estándar de las series de tiempo obtenidas con GLOBK posee dos contribuciones, una contribución de la precisión del cálculo libre y otra contribución de la definición del marco de referencia.

Analizando las series de tiempo para los sitios de campaña GPS denominados: LATA (Latacunga) y 3009 (Tachina-Esmeraldas), se puede apreciar los residuales una vez retirada la pendiente. La Repetibilidad a Largo Plazo está en el orden de los 3-5 mm en las componentes horizontales.

La componente vertical tiene un nivel de repetibilidad de 10 cm. El error que aparece en el año 2001 es inducido debido a que la información de la altura de la antena durante esta campaña desapareció y no fue posible conseguir una copia de respaldo de los formularios de campo lo cual afecta notablemente esta componente.

Por otro lado, analizando las series de tiempo de la estación permanente denominada RIOP (Riobamba), observamos que la Repetibilidad a Largo Plazo está en el orden de los 2 mm en las componentes horizontales.

La componente vertical tiene un nivel de repetibilidad de 4 mm. A diferencia de los dos sitios anteriores, RIOP no posee un error en esta componente, puesto que la información de la altura de la antena es plenamente conocida y no provoca ninguna incertidumbre en el análisis de la repetibilidad.

En los gráficos anexos, el nivel de repetibilidad (wrms) en la mayor parte de las series de tiempo es muy bueno. El nivel de dispersión de la repetibilidad dentro del ITRF, se mantiene dentro de los 3-5 mm en la componente horizontal y 20 mm en la componente vertical.

Este análisis implica, que el nivel de acuerdo entre la solución obtenida del procesamiento GAMIT/GLOBK y el IGS08; es compatible.

Es importante recordar que para el cálculo de una serie de tiempo se necesitan al menos dos mediciones GPS de larga duración de un mismo punto en épocas diferentes de tiempo. Existen sitios de la red pasiva que poseen únicamente una medida GPS, por tal razón; no se puede obtener su

correspondiente serie de tiempo y en consecuencia no existirá un cálculo de velocidad para estos sitios; sin embargo se asume que la velocidad calculada para un sitio se mantiene en los demás puntos cercanos dentro de 1 km de distancia.

El análisis de la Repetibilidad y las Series de Tiempo obtenidas a largo plazo tanto de los sitios de campaña como de las estaciones permanentes, se presentan en el Anexo No.1 y Anexo No. 2, respectivamente.

6.- Estimación de la velocidad de los sitios, a través de mediciones GPS de los últimos 15 años

Las velocidades son vectores de tasa de desplazamiento que tienen una dirección y una magnitud definida. GLOBK toma todas las soluciones libres calculadas para cada día de observación GPS y las ingresa al Filtro de Kalman, el cual por medio de la estimación secuencial de mínimos cuadrados y teniendo en cuenta los procesos estocásticos, acumula progresivamente coordenadas y velocidades de todas las soluciones libres (filtra únicamente las soluciones que mantienen un valor X^2 aceptable) obteniendo una **Solución Acumulada final.**

El Filtro de Kalman toma la primera época de medida t_1 y la asocia con la segunda época de medida t_2 , obteniendo la primera solución acumulada SA1, a continuación toma esta primera solución acumulada SA1 y la asocia con la tercera época de medida t_3 , obteniendo la segunda solución acumulada SA2 y continua el mismo proceso acumulando progresivamente coordenadas y velocidades de todas las épocas de medida t_n ; hasta llegar a obtener una solución acumulativa final SAF.

En cada solución acumulativa, el Filtro de Kalman realiza el cálculo de mínimos cuadrados verificando un nivel de acuerdo y filtra únicamente las soluciones que mantienen un valor X^2 aceptable ($X^2 < 1$; el valor óptimo es igual a 0.7), garantizando de esta manera una solución acumulada final, con un nivel de precisión fiable.

Esta solución acumulada final, posee las coordenadas y velocidades de los sitios (dirección y magnitud) a lo largo de los 15 años de mediciones GPS y referida a una época específica. En nuestro caso la época de referencia es 2011.0. Esta solución se encuentra libre en el espacio (en un lugar cuyos ejes son totalmente desconocidos) por tal razón es necesario estabilizarla dentro de un Marco de Referencia definido, el cual tiene un origen, velocidades y posiciones conocidas (parámetros calculados por el ITRF).

En esta etapa, GLOBK permite calcular los saltos que aparecen en la series temporales. También implementa el “Ruido de Markov”, el cual permite tomar en cuenta la correlación temporal de un sitio en el transcurso de varios días de observación GPS (evalúa el cambio de la coordenda de un sitio en el transcurso de varios días de observación). Esta etapa es importante para obtener al final desviaciones estándar que reflejen el nivel de precisión de las velocidades. Es importante también atribuir un “peso realista” a cada observación incluida en el cálculo de la solución final.

Para conseguir valores óptimos del Ruido de Markov, hemos usado el software CATS (Williams, 2003) que permite definir el tipo y el nivel de ruido de la series temporales de la estaciones permanentes. Después usamos la fórmula descrita por Floyd et al., 2010 para calcular el nivel de ruido de Markov equivalente. Hemos tomado el valor de la mediana de este ruido para aplicar a las estaciones de campaña que no tienen suficiente cantidad de medidas GPS para hacer un análisis complejo del nivel

de ruido en estos sitios. Además, hemos visto que las campañas de 1994 y 1998 tienen un nivel de ruido más alto que las otras campañas. En 1994, este resultado es debido a un número reducido de estaciones del IGS existentes en ese tiempo, lo que forzó a calcular líneas base muy largas, cuya consecuencia disminuye la precisión del cálculo.

Para la campaña GPS de 1998, el uso de los receptores codeless ASHTECH L-XII generó un problema sobre la componente Este; debido a un error de reloj existente en este tipo de receptor. Ver <http://facility.unavco.org/data/docs/ashtech-L2P-codeless.html>. En conclusión, para mejorar la precisión del cálculo y mitigar los efectos descritos anteriormente, decidimos añadir un ruido de 3 mm adicional para los sitios de estas campañas GPS.

6.1.- Estabilización de la Solución Acumulada

Para estabilizar la Solución Acumulada, GLOBK asume el modelo de transformación de Helmert y calcula catorce parámetros de transformación: 3 Rotaciones (R), 3 Traslaciones (T), 1 Factor de Escala (D) y sus respectivas tasas de variación (rates R1, R2, R3, T1, T2, T3 y D) con respecto al ITRF.

Estos 14 parámetros son usados para estabilizar la Solución Acumulada (libre) dentro de un Marco de Referencia Global (por ejemplo ITRF94, ITRF2000, IGS08, etc), por tal razón la solución acumulada está referida a un ITRF y una época de referencia definida.

Para el cálculo de los 14 parámetros debemos escoger estaciones del IGS como referencia, tomando en cuenta una buena geometría, es decir, cuya ubicación cubra toda el área del proyecto por niveles de distancia en los cuatro cuadrantes (en lo posible las más cercanas), que posean coordenadas en el ITRF que estamos calculando el proyecto (en este caso IGS08) y considerando únicamente las estaciones que no sufran efectos geodinámicos o estén afectadas por fenómenos geofísicos transitorios (cambios bruscos de la posición con respecto al movimiento lineal).

Dado que GLOBK asume un modelo lineal, la ecuación general que se resuelve para obtener la solución final y las velocidades de los sitios es la siguiente:

$$X^i_s (ts) = X^i_{ITRF} (t0) + V^i_{ITRF} (ts-t0) + T_{ITRF \rightarrow S} (ts) + R_{ITRF \rightarrow S} (ts) X^i_{ITRF} (ts) + \varepsilon_{ITRF \rightarrow S} (ts) X^i_{ITRF} (ts)$$

donde la posición de un sitio X^i dentro de una diaria solución libre s , a una época de la solución (ts) es igual a una posición X^i expresada dentro de un ITRF a una época de medida $t0$ + la velocidad del punto V^i dentro del ITRF con la época de la solución ts – la época de referencia para la posición $t0$:

$$X^i_s (ts) = X^i_{ITRF} (t0) + V^i_{ITRF} (ts-t0);$$

esta parte de la ecuación describe la serie de tiempo obtenida de la solución libre.

A continuación, se describe la estabilización de la solución libre, aplicando los parámetros de transformación entre la solución libre y el ITRF, donde:

T es la traslación del ITRF para la solución s a la época (ts) , obteniendo la Traslación de la solución libre al ITRF y a una época definida, $T_{ITRF \rightarrow S} (ts)$;

R es la rotación del ITRF para la solución s a la época (ts) , obteniendo la Rotación de la solución libre al ITRF y a una época definida, $R_{ITRF \rightarrow S} (ts)$;

ε es el factor de escala del ITRF para la solución s a la época (ts) , $\varepsilon_{ITRF \rightarrow S} (ts)$.

Las estaciones IGS usadas como referencia para estabilizar las soluciones libres se presentan en la Tabla No. 3 y en la Figura No. 13, cabe recalcar que ciertas estaciones también forman parte de la red SIRGAS_CON.

CÓDIGO IGS	NOMBRE	PAÍS
LPGS	LA PLATA	ARGENTINA
BDOS	BARBADOS	BARBADOS
BRAZ	BRAZILIA	BRASIL
POVE	PORTO VELHO	BRASIL
ISPA	ISLA DE LA PLATA	CHILE
EISL	EASTER ISLAND	CHILE
BOGT	BOGOTA	COLOMBIA
RIOP	RIOBAMBA	ECUADOR
GLPS	GALAPAGOS	ECUADOR
QUI1	QUITO 1	ECUADOR
KOUR	KOUROU	FRANCE
MANA	MANAGUA	NICARAGUA
CRO1	SAINT CROIX	USA
BRMU	BERMUDA	UNITED KINGDOM
ASC1	ASCENSION	UNITED KINGDOM
RIOG	RIO GRANDE	ARGENTINA
UFPR	CURITIBA	BRASIL
COPO	COPIAPO	CHILE
SALU	SAO LUIS	BRASIL
FORT	FORTALEZA	BRASIL
GALA	GALAPAGOS	ECUADOR
BRFT	EUSEBIO	BRASIL
MDO1	FORT DAVIS	USA
SSIA	SAN SALVADOR	EL SALVADOR
CFAG	CAUCETE	ARGENTINA
AREQ	AREQUIPA	PERU
GOUG	GOUGH	UNITED KINGDOM
CORD	CORDOBA	ARGENTINA
PARC	PUNTA ARENAS	CHILE
ELEN	SANTA ELENA	GUATEMALA
SCUB	SANTIAGO DE CUBA	CUBA

Tabla No. 3: Estaciones IGS usadas como referencia en la estabilización con GLOBK

En geodesia, este procedimiento se define generalmente como “Estabilización”, pero es más conocido como "Marco de Referencia". Por lo tanto nuestra solución está bien definida dentro de un marco de referencia mundial, por lo que podemos utilizarlo para evaluar y obtener con precisión las velocidades de nuestras estaciones GPS y definir un marco de referencia muy estable.

7.- Análisis del Campo de Velocidades del Ecuador, conforme a la cinemática de las Placas Tectónicas presentes en América del Sur y sus efectos a nivel local.

Actualmente los sistemas de geodésia espacial y en particular el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), ofrecen la posibilidad de ubicar un punto con una precisión Milimétrica permitiendo cuantificar los movimientos de la superficie terrestre y aportando información esencial para modelizar los procesos responsables de la deformación de la corteza terrestre (Nocquet, Mothes, Alvarado, 2008).

Nuestro planeta Tierra no es un cuerpo totalmente inerte, pues en su interior continua muy caliente y actúa como un verdadero “motor” de los cambios geológicos que afectan a su superficie. Esto determina que la corteza terrestre se mueva en diferentes direcciones, conforme a la cinemática de las Placas Tectónicas presentes a lo largo del planeta.

Teóricamente, la corteza terrestre se encuentra dividida en al menos 15 Placas Tectónicas, las mismas que interactúan entre sí; moviéndose en diferentes direcciones y con magnitudes independientes, tal como se muestran en la Figura No. 15.



Figura No. 15: Cinemática de las Placas Tectónicas o Litosféricas en el mundo, fuente: Kious y Tilling.

Para analizar los resultados obtenidos del VEC_Ec, es necesario revisar inicialmente la Cinemática de las Placas Litosféricas presentes en la corteza terrestre Sudamericana, particularmente en el Ecuador; las cuales contribuyen en el cálculo de la velocidad.

El Ecuador está situado sobre la zona de frontera en la cual se “acomoda” el movimiento de convergencia de la placa oceánica de Nazca hacia el continente Sudamericano. Cuantificar la cinemática actual de la placa Nazca es un ejercicio difícil porque la placa Nazca, exclusivamente oceánica, tiene solamente algunas islas y archipiélagos en donde las medidas de geodesia espacial son posibles. Actualmente, dos sitios poseen mediciones continuas: la Isla de Pascua y el Archipiélago de Galápagos. Ver Figura No. 18.

La Fosa de Subducción, Zona de Acoplamiento y Convergencia de Placas, se encuentra a una distancia aproximada de 100 – 200 Km de la costa continental Ecuatoriana.



Figura No. 16: Características del contacto entre las placas de Nazca y Sudamericana en la zona del Ecuador. Modificado de: Collot et al, 2006.

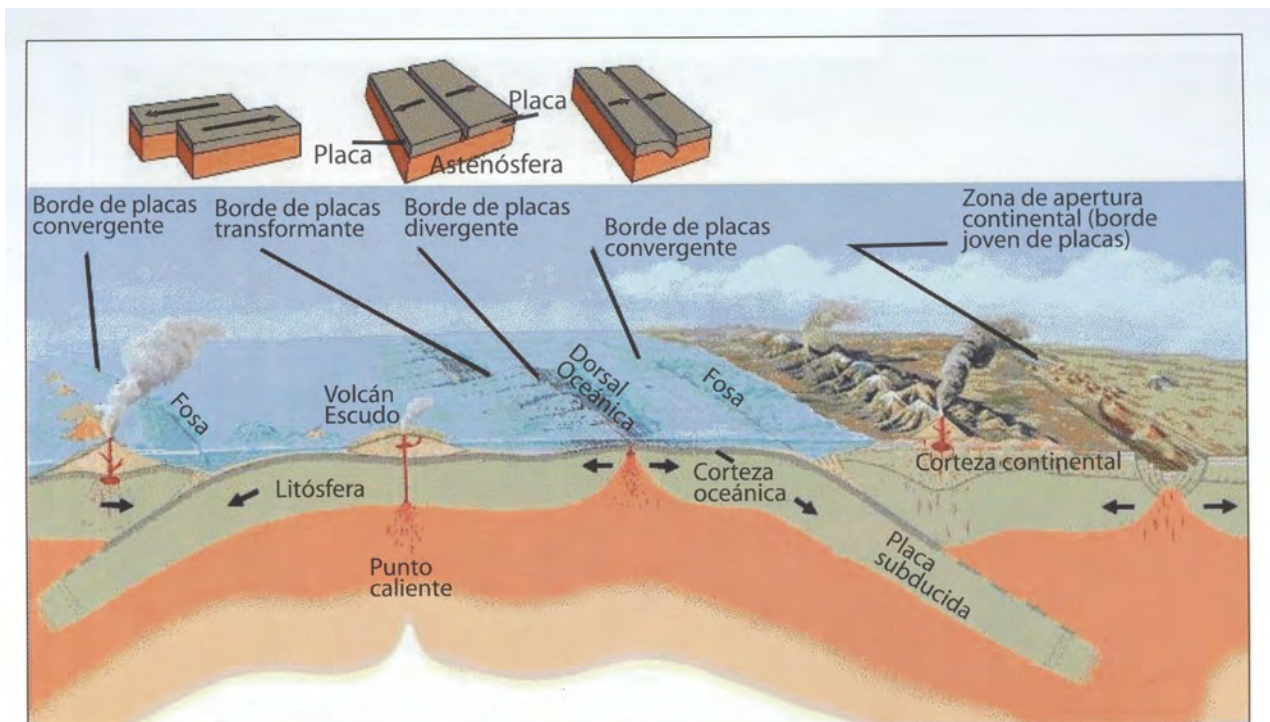


Figura No. 17: Esquema de la dinámica tectónica. Tomado de Kious y Tilling.

Para estimar el movimiento de la placa de América del Sur, podemos utilizar los sitios de la red de seguimiento mundial IGS (<http://igsb.jpl.nasa.gov>). La figura No. 18, muestra las velocidades residuales de los sitios una vez retirado el movimiento de la placa América del Sur.

Para los sitios localizados sobre la parte estable del continente, se ve que estas velocidades residuales son inferiores a 1 mm/año (rms -0.4 mm/año), lo cual muestra una alta rigidez de la placa suramericana. Con una docena de sitios geodésicos bien repartidos, un excelente acuerdo entre el movimiento de los sitios y el movimiento global de la placa; la cinemática de América del sur está bien determinada y definida por una referencia fuerte dentro del cual nosotros podemos representar los movimientos medidos en Ecuador para las aplicaciones tectónicas (Nocquet, Mothes, Alvarado, 2008).



Figura No. 18: Cinemática de las placas en la zona de América del Sur. Las velocidades están expresadas tomando de referencia 1 América del Sur fijo. Las soluciones son de Angermann et al. (1999), Kendrick et al. (2003), Kentramp et al. (2002) y del IGS (Ferlandet et al., 2000) del día 23 de Enero 2008. Fuente: Geodesia, geodinámica y ciclo sísmico en Ecuador, J.M. Nocquet, P. Mothes, A Alvarado (2008).

Como podemos apreciar en la figura anterior, la Placa Submarina de Nazca converge con la Placa Continental de Sudamerica en la Foza de Subducción (zona de acoplamiento o convergencia), la cual se encuentra a una distancia aproximada de 100 – 200 Km de la costa continental.

La zona costera en mayor magnitud que la región andina, se ve afectada por la subducción de estas dos placas. El movimiento estimado en la Costa es de 2 cm/año; mientras que en la Sierra de los

Andes el movimiento estimado es de 1.5 cm/año.

Por otro lado, existe una zona relativamente estable (en comparación a las dos anteriores) que se encuentra al Este de la Placa Sudamericana, es decir alejada del efecto de la subducción y de la Región Andina. La velocidad en esta zona es relativamente estable y los sitios se mueven en un solo bloque en común con la Placa Sudamericana. Se estima que el movimiento aproximado es de 1.1 cm/año.

Conforme a la anterior ilustración, dividiremos el área del proyecto de investigación en tres zonas con diferentes escenarios de **comportamiento Geofísico**. Ver Figura No.19.

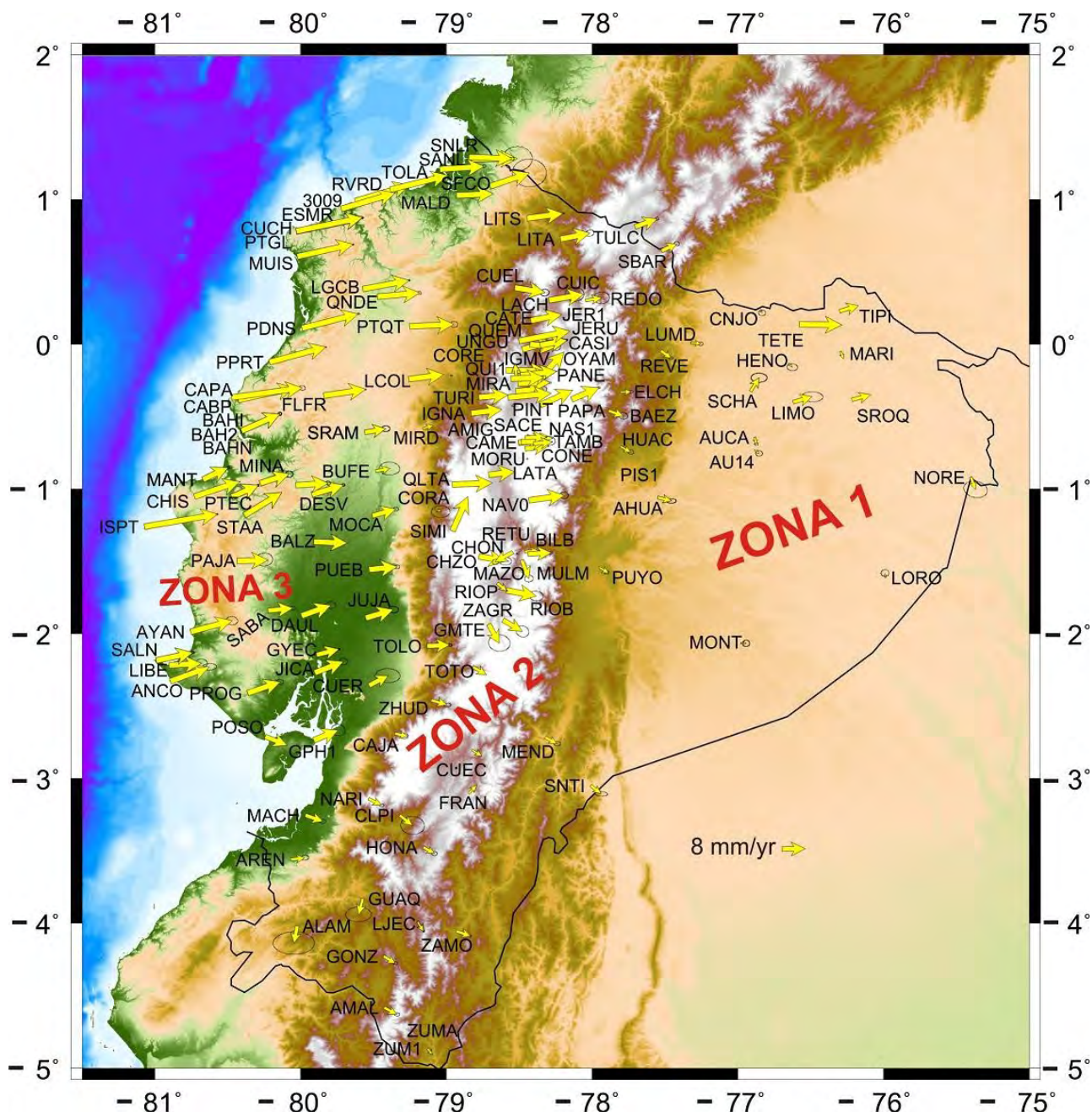


Figura No. 19: Zonificación del VEC_Ec, conforme a la cinemática de las placas litosféricas y sus efectos **Geofísicos**.

ZONA 1:

Esta zona está ubicada en la parte Oriental, al Este de la Cordillera de los Andes y alejada de la zona de Subducción.

En término del desplazamiento, podemos ver que no existe mayor magnitud en los sitios ubicados en esta zona, lo cual concuerda con la teoría. La mayor parte de los sitios tienen una velocidad mínima y una dirección similar conforme a la tendencia del movimiento de la placa Sudamericana.

ZONA 2:

Entre el interior estable de la placa América del Sur y la fosa de subducción se extiende una zona de deformación, que comprende la Cordillera de los Andes y parte de la planicie costera. Esta zona es conocida como bloque nor andino.

Los sitios presentes en este sector, muestran un comportamiento variable en cuanto a la magnitud de su velocidad y los vectores se desplazan en diferentes direcciones de manera independiente.

Esta zona posee afectación de la subducción y deformación local producida por la presencia de la cordillera y su actividad sísmica/volcánica.

ZONA 3:

Nos referimos por completo a la zona costera. En esta zona el movimiento es inestable e independiente. Los sitios se mueven en magnitudes diferentes en relación a la parte estable de la placa sudamericana. Posee gran influencia de efectos causados por la subducción de las placas marítima de Nazca y continental de Sudamérica en la zona de convergencia de las mismas (foza de subducción) provocando también la presencia de deformación local.

Luego que la placa Nazca subduce bajo el margen Ecuatoriano, una parte de la interface entre la placa Nazca y el margen queda bloqueado. Esta zona acumula esfuerzos cizallantes que aumentan con el tiempo. Este es el régimen inter-sísmico. Cuando los esfuerzos pasan un cierto umbral, el deslizamiento se inicia y un sismo ocurre (Nocquet, Mothes, Alvarado, 2008); destruyendo en términos geodésicos el Marco de Referencia densificado en este sector.

El campo de velocidad se obtuvo a partir de medidas GPS redundantes en los últimos quince años, de un total de 30 Estaciones GPS Permanentes y 102 Sitios de Campaña GPS, ubicados de manera homogénea a lo largo del territorio nacional.

8.- Campo de Velocidades del Ecuador - VEC_Ec

Bajo estas consideraciones importantes y resumiendo todo el proceso descrito en los párrafos anteriores, se presenta a continuación el 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.

Las velocidades están expresadas con respecto al Marco de Referencia Global y corresponde con la siguiente realización:

Marco Geodésico de Referencia Global: IGS08

Época de referencia: 2011.0

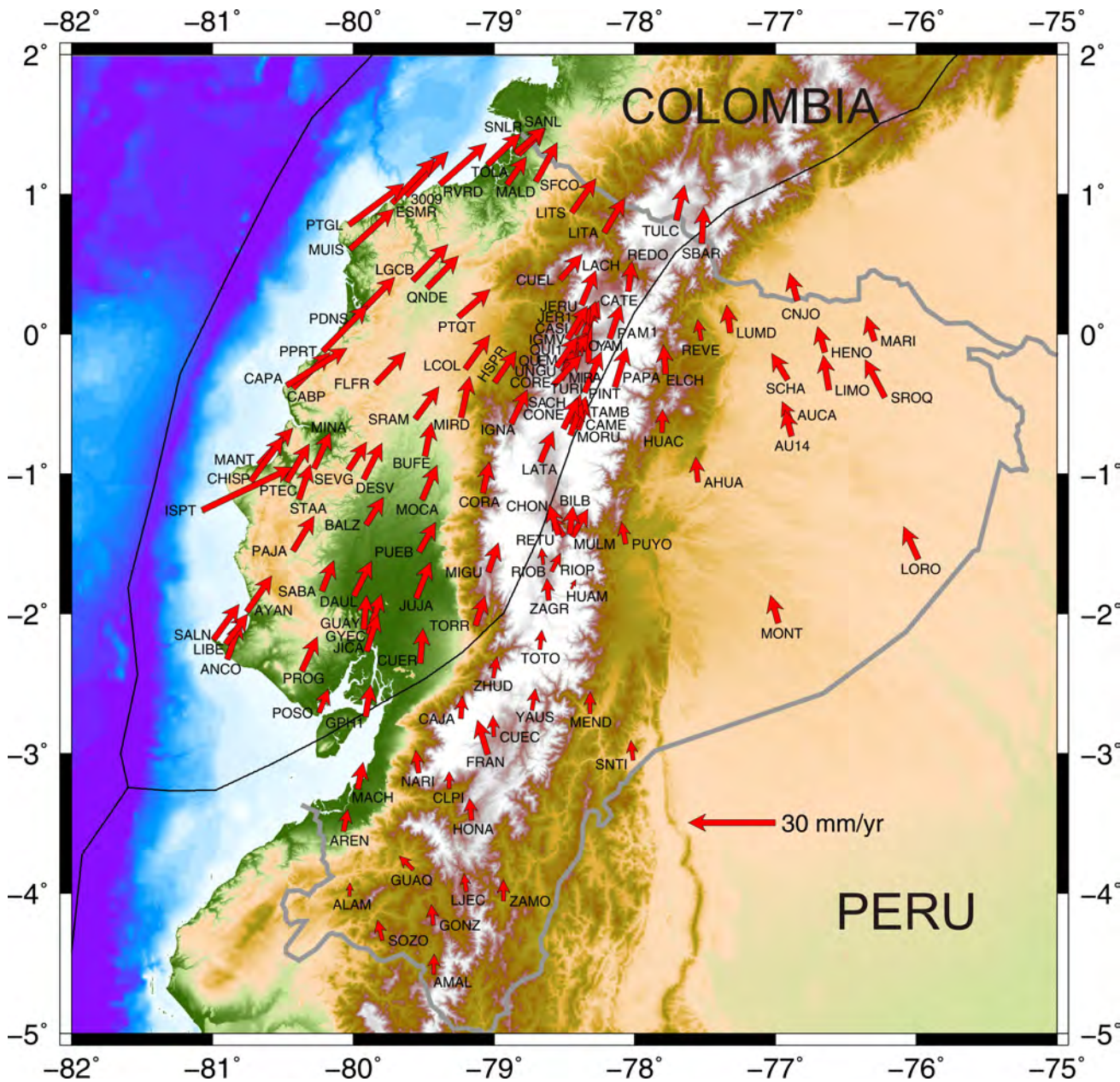
El Anexo No. 3 muestra los vectores del Campo de Velocidad, la magnitud del desplazamiento y su tendencia conforme al Marco de Referencia Global.

Las coordenadas Geocéntricas Cartesianas XYZ y las componentes de velocidad $v(X)$, $v(Y)$, $v(Z)$ resultantes de los sitios que conforman el Campo de Velocidad, se presentan en el Anexo No. 4.

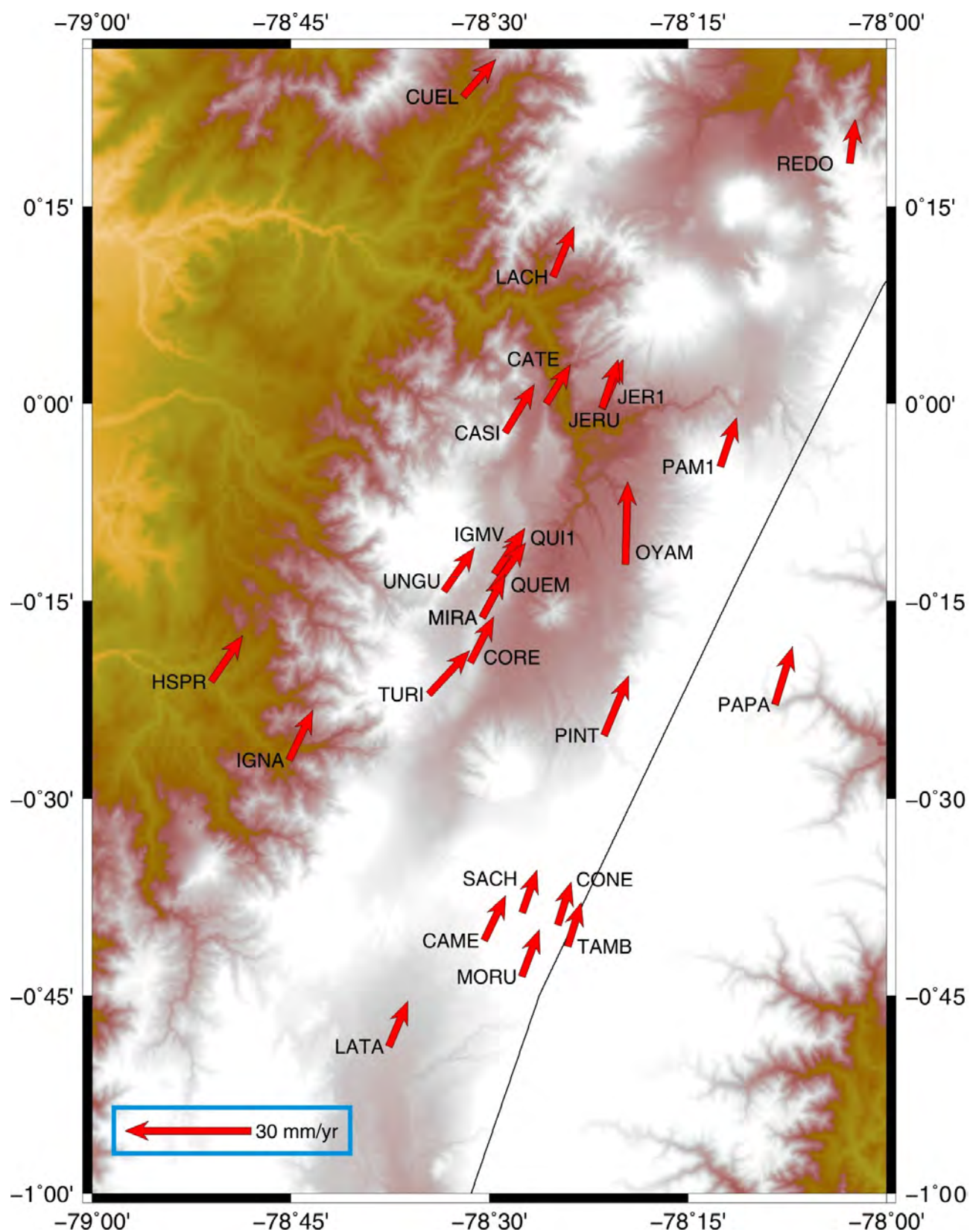
Si el Campo de Velocidad VEC_Ec es utilizado, la referencia bibliográfica correspondiente es:

Cisneros, D. and Nocquet, JM. (2011). 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, IGM – IGEPN – GEOAZUR - IRD. Nice – France , 2011.

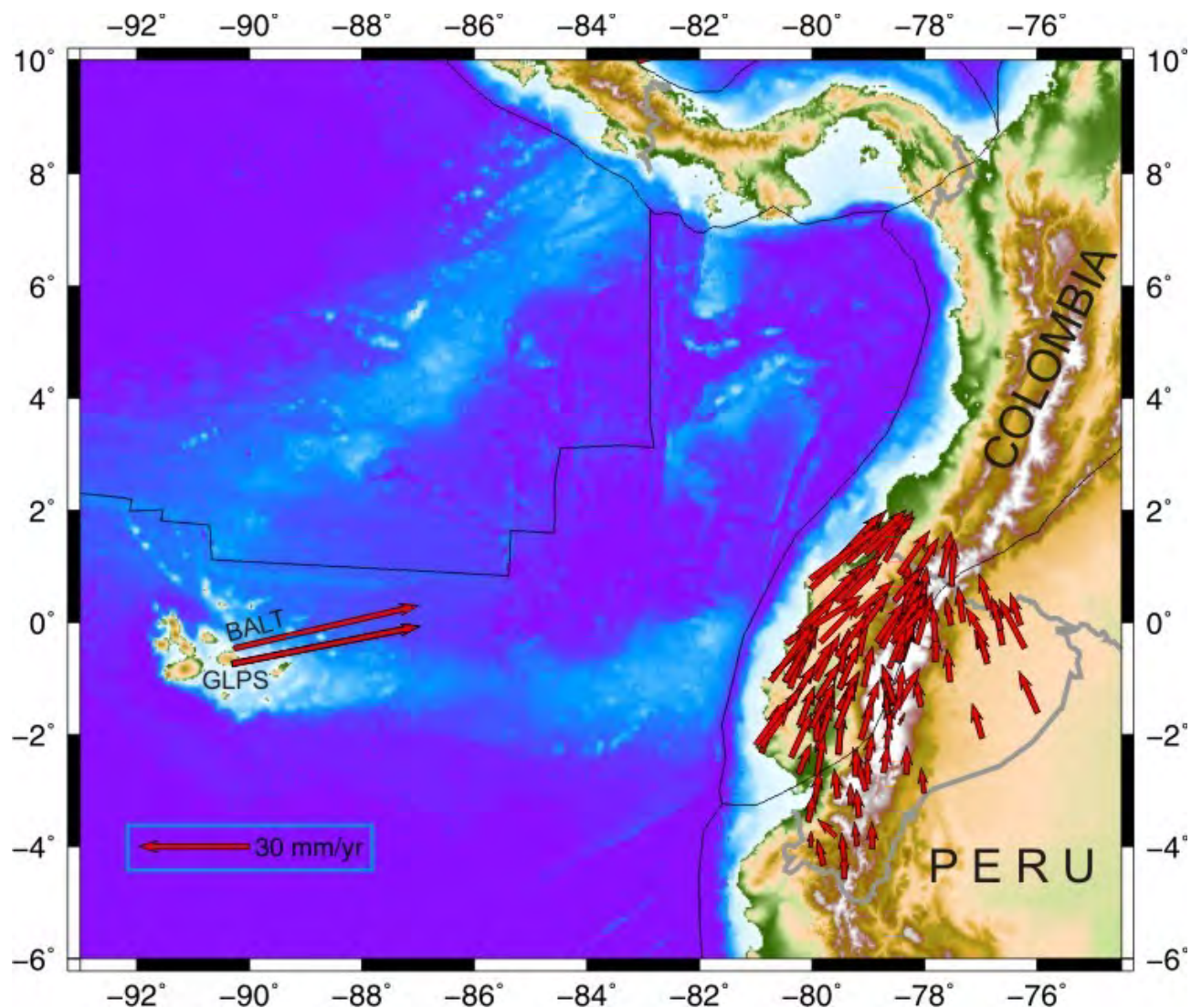
**CAMPO DE VELOCIDADES VEC_Ec, TERRITORIO ECUATORIANO CONTINENTAL
PLACA TECTÓNICA SUDAMERICANA
ZONA 17 - 18**



**CAMPO DE VELOCIDADES VEC_Ec, DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO
PLACA TECTÓNICA SUDAMERICANA
ZONA 17**



**CAMPO DE VELOCIDADES VEC_Ec, ARCHIPIÉLAGO DE GALÁPAGOS
PLACA TECTÓNICA DE NAZCA
ZONA 15 - 16**



VELOCIDAD OBTENIDA PARA LOS SITIOS UBICADOS EN LAS SIGUIENTES ISLAS DEL ARCIPIÉLAGO DE GALÁPAGOS:

ISLA BALTRA

NOMBRE DEL SITIO / VERTICE: BALT

MONUMENTACIÓN: MOJÓN DE CONCRETO TIPO IGM-B, EMPOTRADO EN EL TERRENO; AL COSTADO S – E DE LA PISTA DE ATERRIZAJE DEL AEROPUERTO.

ISLA SANTA CRUZ, PUERTO AYORA

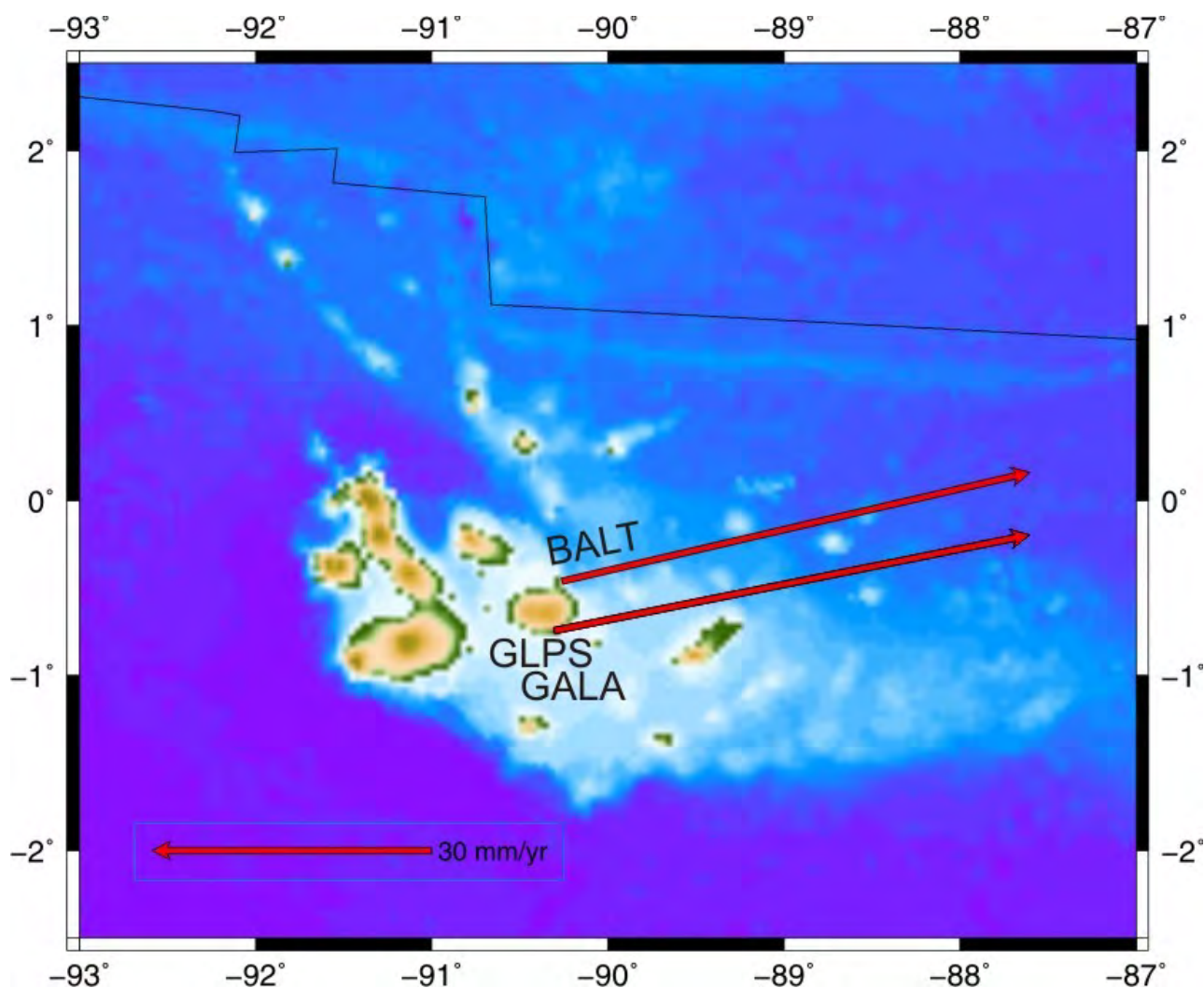
NOMBRE DEL SITIO / VERTICE: GLPS

MONUMENTACIÓN: ESTACIÓN PERMANENTE, INSTALADA EN EL PARQUE NACIONAL CHARLES DARWIN.

ISLA SANTA CRUZ, PUERTO AYORA

NOMBRE DEL SITIO / VERTICE: GALA

MONUMENTACIÓN: ESTACIÓN PERMANENTE.



9.- Comparación entre la solución oficial del IGS y la solución final obtenida del Campo de Velocidad VEC_Ec.

Con el fin de garantizar el nivel de acuerdo y consistencia entre la solución oficial del IGS y la obtenida por medio de GLOBK para el cálculo del campo de velocidad VEC_Ec, se analizó los resultados obtenidos los cuales se encuentran referidos al IGS08, época 2011.0.

Para este efecto, se tomó los sitios comunes de ambas soluciones (usados en la estabilización) y se analizó el nivel de acuerdo de las coordenadas geocéntricas cartesianas y la variación de las velocidades de éstas.

La Mediana (Me) obtenida al comparar las coordenadas Geocéntricas Cartesianas es la siguiente:

$$Me_X = 0.15 \text{ mm}$$

$$Me_Y = -0.60 \text{ mm}$$

$$Me_Z = -0.10 \text{ mm}$$

La Mediana (Me) obtenida al comparar las Velocidades de las coordenadas Geocéntricas Cartesianas es la siguiente:

$$Me_Vx = -0.10 \text{ mm}$$

$$Me_Vy = -0.40 \text{ mm}$$

$$Me_Vz = -0.00 \text{ mm}$$

Esta comparación demuestra que existe un excelente nivel de acuerdo y precisión entre la solución final obtenida con GLOBK para el cálculo del Campo de Velocidad del Ecuador y la solución oficial del IGS; por tal razón los resultados que se deriven de la aplicación del VEC Ec son compatibles con el Marco de Referencia Global IGS08, época 2011.0.

El detalle del análisis de las soluciones, se presenta en el Anexo No. 5

10.- Afectación Geodinámica del Marco Geocéntrico de Referencia Nacional del Ecuador SIRGAS 95 a lo largo de los últimos 15 años.

La realización del Marco de Referencia Geocéntrico SIRGAS95, adoptado de “hecho” en el Ecuador, corresponde con el ITRF94, época 1995.4. El Report 73: Processing of the Ecuadorian National GPS Network within the SIRGAS Reference Frame, posee las coordenadas Geocéntricas Cartesianas referidas a esta realización, las cuales han venido manteniéndose en el transcurso del tiempo como puntos base de partida para todas las actividades de Georeferenciación dentro del territorio nacional.

Dado que los eventos y fenómenos geofísicos (procesos de subducción, desplazamientos tectónicos, fallas geológicas, sismos, terremotos, erupciones volcánicas, etc) contribuyen con una afectación local, es necesario realizar una validación de estas coordenadas con el fin de determinar diferencias en término de la magnitud del desplazamiento de los sitios a lo largo de los últimos quince años (1995.4 – 2011.0).

Todo evento sísmico, principalmente uno de 7 grados en la escala de Richter o mayor, destruye la consistencia de un Marco de Referencia y los efectos geodinámicos que se derivan de este evento, se mantienen presentes en la mayoría de casos a lo largo de los tres años siguientes hasta llegar a consolidar nuevamente la estabilidad del terreno.

Los sitios que se encuentran materializados en el área del sismo no pueden ser usados como referencia hasta que el efecto post-sísmico desaparezca, por tal razón, es importante levantar mediciones GPS de los sitios del área afectada hasta comprobar que los efectos geodinámicos del sismo desaparecieron. De esta manera se mantiene actualizado el Marco de Referencia.

Existen varios eventos geofísicos sucitados a lo largo de los quince años dentro del territorio nacional de los cuales se puede mencionar entre los más importantes: el sismo de magnitud 7.2 producido en Bahía de Caraquez en el año de 1998, cuyos efectos post-sísmicos se presentaron en la región hasta cerca del año 2003. El sismo de Macas de magnitud 6.9 producido en el año 1995, sismo de Pelileo sucitado en 1996; erupción volcánica del Guagua Pichincha en 1999, Reventador en 2002 y el continuo proceso eruptivo del Tungurahua a partir de 1999. Las mediciones GPS confirman también la presencia de un sismo-lento en Esmeraldas y otro similar en Isla de la Plata, los cuales actualmente continúan su proceso físico. Cabe señalar también grandes eventos producidos en países de la región, como el terremoto de magnitud 8.8 en Concepción Chile, sucitado en el año 2010 y el de Arequipa Perú en el año 2001, cuya magnitud fue de 8.2 grados; todos estos en la escala sismológica de Richter.

La Figura No. 20, muestra la ubicación de los epicentros sísmicos, con magnitud mayor a 4 grados escala sismológica de Richter; ocurridos en el Ecuador a partir del año 1541 hasta el año 2007. Como se puede observar, los epicentros cubren prácticamente todo el territorio nacional, con zonas de mayor y menor concentración de eventos; demostrando así, que todo el territorio ecuatoriano está expuesto a este tipo de fenómenos en cualquier momento.

En conclusión, se pone en evidencia la vulnerabilidad del Marco de Referencia Nacional, sustentado por estaciones pasivas (mojones de concreto empotrados en el terreno).

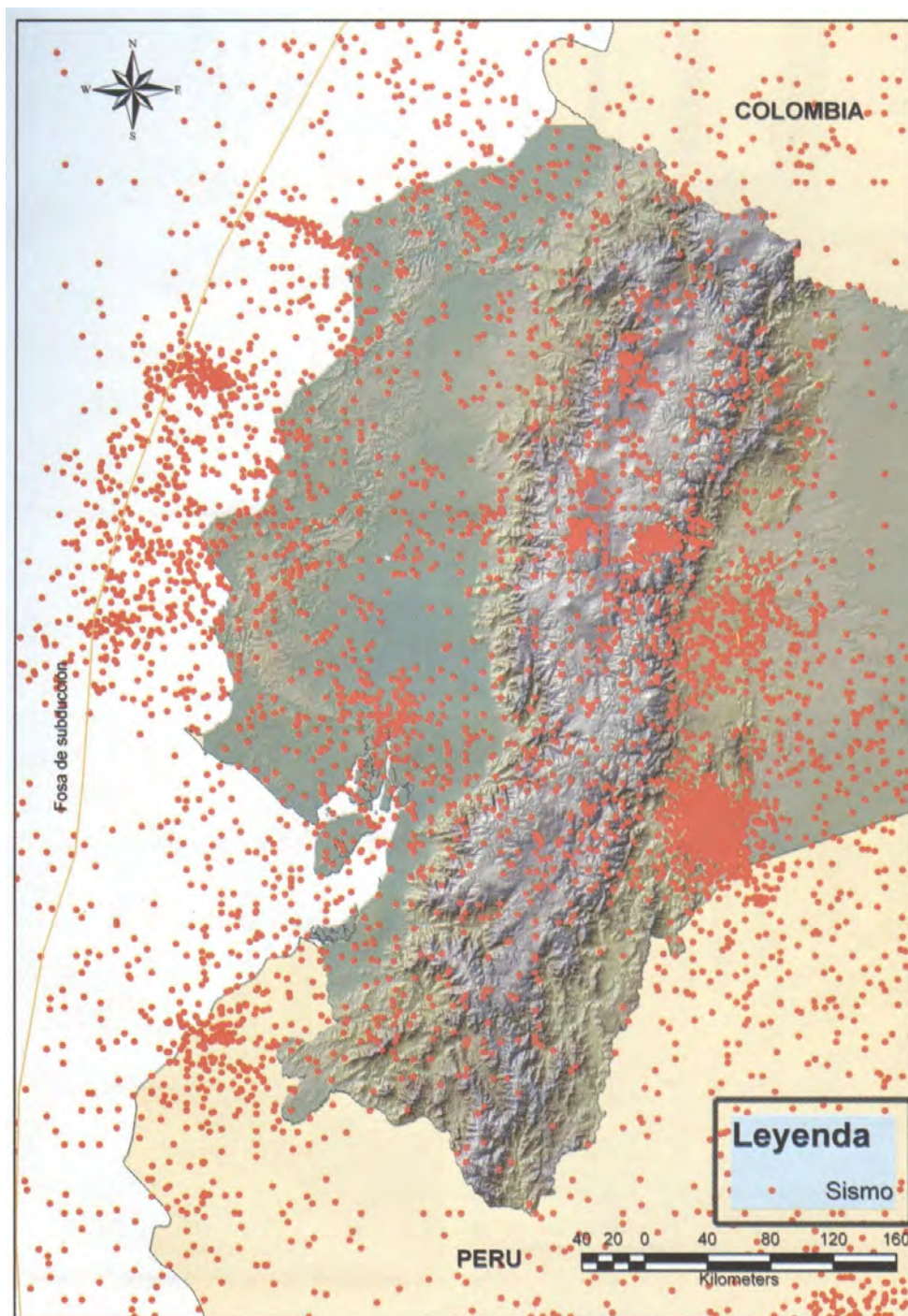


Figura No. 20: Mapa de epicentros del Ecuador 1541 – 2007. Fuente: Breves fundamentos sobre terremotos en el Ecuador, F. Rivadeneira, M. Segovia, A. Alvarado, J. Egred, L. Troncoso, S. Vaca, H. Yepes (2007).

Estos eventos provocan graves distorsiones del ITRF (y por ende del Marco de Referencia Nacional) identificadas a través de grandes saltos en las series de tiempo, por lo cual es necesario evaluar su contribución. Por tanto, las coordenadas de referencia SIRGAS deben ser corregidas por estos movimientos antes de ser utilizadas como Marco de Referencia.

La recomendación después de un sismo, es realizar medidas GPS en el área del evento, hasta comprobar que desapareció el efecto post-sísmico y el terreno consolidó la estabilidad absoluta.

Además de los sismos, tenemos también la presencia de Fallas Geológicas, que de igual manera desplazan los mojones pasivos de su ubicación inicial y deforman la consistencia del Marco de Referencia en ese sector.

Una falla geológica, es una fractura en las rocas que por efecto de las grandes fuerzas a las que está sometida, se mueve, provocando sismos. En el Ecuador, debido a la subducción de la placa oceánica de Nazca bajo la placa continental Sudamericana, se producen fuerzas muy importantes sobre los bordes de ambas placas, generando fracturas en el interior de ellas; este fenómeno da lugar al surgimiento de las fallas geológicas.

La identificación de estas fallas, es de gran importancia para poder determinar cuáles pueden constituir una amenaza para el Ecuador; en términos de deformación del Marco de Referencia Nacional. El principal sistema de fallas activo del Ecuador es el Pallatanga – Chingual, que comienza en el Golfo de Guayaquil, pasa por la Isla Puná, continua por la zona de La Troncal, ingresa a la cordillera por Bucay y continua por Pallatanga, donde su identificación es muy clara a la vista. *Adaptado de Breves fundamentos sobre terremotos en el Ecuador, F. Rivadeneira, M. Segovia, A. Alvarado, J. Egred, L. Troncoso, S. Vaca, H. Yepes (2007).*



Figura No. 21: Mapa de fallas activas del Ecuador (IGEPN). Fuente: Breves fundamentos sobre terremotos en el Ecuador, F. Rivadeneira, M. Segovia, A. Alvarado, J. Egred, L. Troncoso, S. Vaca, H. Yepes (2007).

11.- Evolución del ITRF a lo largo de los últimos 15 años y su contribución con el Marco Geocéntrico de Referencia Nacional del Ecuador.

La evolución del ITRF en sus diferentes realizaciones, también contribuye con diferencias significativas en la definición de un Marco de Referencia Nacional.

La actualización del ITRF presenta las siguientes realizaciones, las cuales en su momento fueron adoptadas como “ITRF vigente” llegando a la solución actual; IGS08:



ITRF SOLUTIONS
ITRF92
ITRF93
ITRF94
ITRF96
ITRF97
ITRF2000
ITRF2005
IGS05
ITRF2008
IGS08

Tabla No. 4: Evolución del ITRF y el Marco de Referencia Global

Todas las realizaciones incluyen posiciones y velocidades de las estaciones que forman parte de la red de seguimiento en una época de tiempo específica. Las soluciones se encuentran relacionadas por medio de parámetros de transformación, los mismos que permiten comparar (o migrar de un ITRF a otro) las observaciones en diferentes épocas de medida; por tal razón el ITRF se actualiza constantemente.

El ITRF adoptado de “hecho” en el Ecuador, corresponde con el ITRF94, época 1995.4. En el tiempo transcurrido hasta la presente época 2011.0 ($2011.0 - 1995.4 = 15.6$ años) se han realizado varias actualizaciones siendo la vigente el nuevo Marco de Referencia Global; IGS08.

A partir de la semana GPS 1632 correspondiente al 17 de Abril de 2011, el IGS empezó a utilizar el nuevo Marco de Referencia Global vigente, IGS08; para la generación de sus productos.

Este cambio al igual que las anteriores actualizaciones del ITRS, genera un salto en las series de tiempo de las estaciones, puesto que a partir de esta fecha los productos calculados por el IGS tales como las efemérides satelitales, los parámetros de orientación terrestre EOPs y las correcciones a los relojes de los satélites estarán dados en este nuevo marco de referencia vigente. Adicionalmente, el IGS difundió la actualización del modelo de corrección absoluta de las antenas (PCV) denominado igs08_1685.atx (actualización 27 Abril 2012). Fuente: <http://igscb.jpl.nasa.gov/mailman/listinfo/igsmail>

Dado que el Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas SIRGAS, incluye en el procesamiento semanal de la red SIRGAS_CON los productos calculados por el IGS, las coordenadas semanales de las estaciones SIRGAS se refieren también al IGS08 a partir de la semana GPS 1632. Adaptado de www.sirgas.org

La tabla que se muestra a continuación, permite observar la diferencia existente entre las coordenadas de la Red Nacional GPS del Ecuador (RENAGE), cuya densificación concuerda con **SIRGAS95, ITRF94; época de referencia 1995.4** y las calculadas (VEC_Ec) en el Marco de Referencia vigente **IGS08, época 2011.0**.

Como podemos observar, la diferencia existente está en el orden de los centímetros en las tres componentes, siendo la componente horizontal del punto Baltra el valor que posee el mayor desplazamiento (Este = 0.78m). Este desplazamiento concuerda con la teoría y confirma los resultados obtenidos del Campo de Velocidad.

Cabe indicar también, que el tiempo transcurrido entre los dos marcos de referencia es de:

$$(t - t_0) = 15.6 \text{ años};$$

siendo $t = 2011.0$ y $t_0 = 1995.4$.

VERTICE	RENAGE SIRGAS 95, ITRF 94, época 1995.4						RENAGE IGS08, época 2011.0					
	COORDENADAS CARTESIANAS			COORDENADAS PLANAS			COORDENADAS CARTESIANAS			COORDENADAS PLANAS		
	X	Y	Z	N	E	h	X	Y	Z	N	E	h
3009 Esmeraldas	1148305.483	-6272977.101	109353.910	109346.874	652825.861	19.949	1148305.688	-6272976.994	109354.156	109347.122	652826.082	19.885
			DIFERENCIA	-0.248	-0.221	0.064						
BALTRA	-28822.438	-6377927.538	-50938.985	9949022.611	805120.619	60.448	-28821.651	-6377927.434	-50938.794	9949022.801	805121.407	60339
			DIFERENCIA	-0.190	-0.788	0.109						
LATACUNGA	1258247.886	-6255142.665	-90040.863	9909956.133	764160.996	2941.238	1258247.972	-6255142.642	-90040.693	9909956.303	764161.085	2941.230
			DIFERENCIA	-0.170	-0.089	0.008						
QUININDE	1165008.426	-6270855.124	36218.099	36216.016	669656.419	122.105	1165008.600	-6270855.013	36218.288	36216.206	669656.610	122.029
			DIFERENCIA	-0.190	-0.191	0.076						
GALA	-33796.164	6377522.618	-82120.929	9917818.126	800125.779	7.418	33795.3972	6377522.67675	82120.74064	9917818314	800126.547	7.471
			DIFERENCIA	-0.188	-0.768	-0.053						

12.- Comparación entre el Modelo de Interpolación VEMOS 2009 y el Campo de Velocidades del Ecuador VEC_Ec.

El Modelo de Velocidades para América del Sur y El Caribe (VEMOS2009) ha sido calculado a partir de las coordenadas [SIRGAS95](#) y [SIRGAS2000](#), de las velocidades de las estaciones [SIRGAS-CON](#) determinadas por el [IGS-RNAAC-SIR](#) y de diferentes proyectos geodinámicos desarrollados en la región (Drewes and Heidbach 2009). Dado que la precisión de las coordenadas trasladadas en el tiempo depende directamente de la confiabilidad de este modelo, su cualificación permanente también es un objetivo central de SIRGAS. Anexo No. 6: Model VEMOS2009, referred to ITRF2005 (Drewes and Heidbach 2009). Fuente: www.sirgas.org/index.php?id=54

El Anexo No. 7 muestra la comparación entre las velocidades obtenidas por medio del Modelo de Interpolación VEMOS2009 (Drewes and Heidbach 2009) y las velocidades del Campo de Velocidad del Ecuador VEC_Ec, obtenidas a través de observaciones GPS repetidas. Esta comparación está referida al ITRF2005, época 2009.0 para compatibilizar la realización del modelo VEMOS con el VEC_Ec.

El mantenimiento del marco de referencia SIRGAS incluye, por lo tanto, aparte de la conservación física del monumento (redes pasivas), la evolución en el tiempo de las coordenadas por medio del traslado desde la época de referencia a la época de observación. Las velocidades V_x , V_y , V_z que se aplican en este cálculo deben tomarse del Campo de Velocidades del Ecuador obtenidas a través de mediciones GPS repetitivas a lo largo de los últimos 15 años.

$$\begin{aligned}X(t) &= X(t_0) + (t - t_0) * V_x \\Y(t) &= Y(t_0) + (t - t_0) * V_y \\Z(t) &= Z(t_0) + (t - t_0) * V_z\end{aligned}$$

siendo $X(t)$, $Y(t)$, $Z(t)$ las coordenadas en la época deseada, $X(t_0)$, $Y(t_0)$, $Z(t_0)$ las coordenadas en la época de referencia, $(t - t_0)$ el intervalo de tiempo transcurrido entre la realización del sistema de referencia y el levantamiento GNSS y V_x , V_y , V_z las velocidades de las estación de referencia.
Adaptado de www.sirgas.org

Finalmente, en el Anexo No. 8, se muestra un gráfico de las estaciones permanentes SIRGAS_Con e IGS, usadas en el proyecto.

13.- CONCLUSIONES

- Un campo de velocidad busca conseguir la máxima precisión con observaciones GPS repetidas y no la conversión por métodos de interpolación.
- Aquellos puntos cuyas velocidades no han sido derivadas de ocupaciones GPS repetidas en diferentes épocas de tiempo, sino obtenidas a partir de un modelo de interpolación (por ejemplo VEMOS), no deben usarse como puntos de referencia.
- Las coordenadas SIRGAS95 de las estaciones terrestres que materializan la RENAGE, no son válidas para una época diferente a 1995.4, por tal razón es necesario trasladar las coordenadas a la época actual de observación para garantizar la compatibilidad entre el segmento espacial, el segmento de control y las mediciones realizadas por el usuario del sistema GPS.
- Las diferencias entre SIRGAS95, ITRF94; época 1995.4 e IGS08, época 2011.0; confirman el desplazamiento de los sitios de la RENAGE a través del tiempo.
- El Campo de Velocidad confirma la deformación local en el Ecuador de 0 a 3 cm/a y concuerda con la estimación del movimiento de la Placa Sudamericana a razón de 1 cm/a.
- El procesamiento GPS realizado para el cálculo del VEC_Ec, consideró todas las variables necesarias para asegurar un procesamiento científico de gran precisión, incluyendo la compensación de los efectos de deformación provocados por los eventos geofísicos ocurridos en los últimos quince años que afectan el área de estudio.
- El mantenimiento del marco de referencia SIRGAS incluye, por lo tanto, aparte de la conservación física del monumento (redes pasivas), la evolución en el tiempo de las coordenadas, garantizando la consistencia entre el sistema de referencia terrestre y el satelital.
- El procesamiento preciso de datos GNSS requiere que las coordenadas de las estaciones de referencia estén dadas en la misma época en que se adelanta la medición y que estén asociadas al mismo marco de referencia de las órbitas satelitales.
- La metodología aplicada en el desarrollo del proyecto, permitió adquirir los conocimientos necesarios para el procesamiento científico de datos GPS con el software GAMIT, series temporales y coordenadas referidas a un marco de referencia definido con sus respectivas velocidades.
- El Campo de Velocidad del Ecuador VEC_Ec, constituye un aporte técnico del Instituto Geográfico Militar, a través del Centro de Procesamiento de Datos GNSS del Ecuador (en participación conjunta con otras instituciones nacionales e internacionales), el cual permitirá el desarrollo de las actividades en el campo de las Ciencias de la Tierra (Geociencias) tales como la Geodesia, Geofísica, Geografía, Oceanografía, Gestión del Riesgo, entre otras.
- El VEC_Ec, es el sustento técnico que permitirá el análisis y la toma de decisiones en cuanto al mantenimiento del Marco de Referencia Nacional, mediante la adopción de un Marco de Referencia Vigente; referido a una época actual y compatible con las técnicas de medición satelital vigentes en la actualidad.

14.- RECOMENDACIONES

- Agregar los sitios excluidos del VEC_Ec, en los cuales no fue posible obtener las componentes de velocidad debido principalmente a que no poseen observaciones GPS repetidas de larga duración. El planteamiento para incluir estos sitios dentro del procesamiento; es realizar una campaña de medidas GPS de los puntos que sean posibles y proceder a realizar un recálculo de velocidad conjuntamente con los sitios existentes, con esto se obtendrá una mayor densificación del Campo de Velocidad.
- Verificar el desplazamiento horizontal y vertical de las coordenadas de los hitos de la red pasiva RENAGE, de tal manera que se compruebe la consistencia del marco de referencia SIRGAS95, época 1995.4 respecto al IGS08; época 2011.0
- Aplicar los resultados obtenidos del Campo de Velocidades en el mantenimiento del Marco de Referencia Nacional.
- Diseñar la red que materializará el nuevo marco de referencia, definiendo los sitios de la RENAGE que se medirán conjuntamente con la REGME; en una época homogénea de observación.
- Actualizar el Marco de Referencia SIRGAS95, a través de una campaña de observación GPS homogénea, procesamiento y ajuste de la red, referida a la época vigente.
- El nuevo Marco de Referencia Nacional, debe ser desarrollado tomando en cuenta las estaciones permanentes de la REGME y ciertos puntos de la RENAGE (medidos en una campaña homogénea), con el fin de garantizar la referencia geodésica en el caso de que una estación permanente sufra un desperfecto técnico.
- El nuevo marco de referencia debe ser estabilizado (ajustado) al marco de referencia global vigente y a la época actual de observación.
- Consolidar la densificación de las estaciones permanentes REGME, a nivel nacional.
- Desarrollar y promulgar una ley que respalde la permanencia de las estaciones que conforman la REGME en su ubicación inicial, con el fin de evitar que sean desplazadas físicamente a un sitio diferente; luego del ajuste definitivo. Este cambio de sitio, ciertamente destruye el marco de referencia calculado para esta estación.
- Instalar por lo menos una estación permanente en la isla San Cristóbal del Archipiélago de Galápagos, la cual servirá para materializar y definir el nuevo Marco de Referencia Nacional en la región Insular del país. Si no es posible, la opción será realizar una nueva medición GNSS de larga duración del sitio BALTRA de la RENAGE; e incluirlo en el nuevo cálculo y ajuste propuesto. Estas dos necesidades son requeridas en vista de que la estación permanente GLPS , se encuentra fuera de funcionamiento.

- No es acertado realizar varios ajustes del previos del RF y tomarlos como “resultados oficiales” (mediante resoluciones internas), puesto que toda **la red debe ser homogénea y consistente en una época común**, con el fin de que las efemérides, parámetros de orientación terrestre (EOP), modelos y grillas atmosféricas y demás variables sean consistentes y comunes para todos los puntos que intervienen en el cálculo y ajuste definitivo. La variación entre una y otra época de ajustes previos al definitivo, de hecho presentará diferencias en los resultados del ajuste final del Nuevo Marco de Referencia Nacional del Ecuador.
- Realizar un recálculo del campo de velocidad con la información obtenida de los sitios intervenidos en la nueva campaña de medición GNSS.
- Fomentar las actividades de investigación en las Geociencias dentro de la institución, a fin de obtener el desarrollo de nuevas tecnologías que nos permitan adquirir el conocimiento necesario para aplicarlo en las actividades competentes de cada gestión; contribuyendo de esta manera en el fortalecimiento institucional.

15.- AGRADECIMIENTOS

- Instituto Geográfico Militar del Ecuador. IGM
- Centro de Procesamiento de Datos GNSS del Ecuador. CEPGE
- Red GNSS de Monitoreo Continuo del Ecuador. REGME
- Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. IGEPN
- Institut de Recherche pour le Développement. IRD – France
- Géosciences Azur. GeoAzur – CNRS. France
- Nice Université, Sophia Antipolis, Valbone - France
- Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas. SIRGAS
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. IGAC
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE
- Centro de Procesamiento. CIMA - Argentina

16.- BIBLIOGRAFÍA

- [1] Dow, J.M., Neilan, R.E., Gendt, G. "The International GPS Service (IGS): Celebrating the 10th Anniversary and Looking to the Next Decade." Adv. Space Res. 36 vol. 36, no. 3, pp. 320-326, 2005.
- [2] Gerd Gendt, Jake Griffiths, Thomas Nischan, Jim Ray (2010). IGS Reprocessing Summary of Orbit Clock Combination and First Quality Assessment; IGS Workshop - 30 June 2010 – Newcastle.
- [3] H. Drewes. Procesamiento de información GPS con relación a marcos de referencia de épocas diferentes; SIRGAS Workshop, Aguascalientes, Mexico, 2004.
- [4] King, R.W. and Bock, Y. Documentation for the MIT, GPS analysis software: GAMIT. Mass. Inst. of Technol., Cambridge, 1998.
- [5] Nocquet, J.-M., Calais, E., Altamimi, Z., Sillard, P., Boucher, C. Intraplate deformation in western Europe deduced from an analysis of the ITRF97 velocity field. Journal of Geophysical Research, Vol. 106 , No. B6, p. 11,239, 2001.
- [6] Nocquet, J.-M., Mothes, P., Alvarado, A. Geodesia, geodinámica y ciclo sísmico en Ecuador, 2008.
- [7] Rebischung, P., Garayt, B., Schmid, R., Ray, J., Collilieux, X. Elaboration, consequences and maintenance of the IGS realization of IGS08. EGU General Assembly, Vienna, 03-08 April 2011.
- [8] Nocquet, J.-M. Géodésie Spatiale et Géodynamique. CNRS - UMR Géosciences Azur, Sophia Antipolis – France, 2011.
- [9] Rebischung, P. Upcoming switch to IGS08/igs08.atx, IGS, 2011.
- [10] T. A. Herring, R. W. King, S. C. McClusky. Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences Massachusetts Institute of Technology, October 2010.
- [11] Tremel H., Urbina R. Processing of the Ecuadorian National GPS Network within the SIRGAS Reference Frame, 2000.
- [12] Drewes, H. and O. Heidbach (2009). The 2009 horizontal velocity model for South America and the Caribbean. Submitted to C. Pacino et al. (Eds.). IAG Scientific Assembly "Geodesy for Planet Earth". Buenos Aires, August 31 to September 4, 2009. IAG Symposia.
- [13] F. Rivadeneira, M. Segovia, A. Alvarado, J. Egred, L. Troncoso, S. Vaca, H. Yepes (2007). Breves fundamentos sobre terremotos en el Ecuador, Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional, Quito Ecuador, Noviembre 2007.

LISTA DE FIGURAS

- Figura No. 1: Weighted orbit RMS of the IGS Rapid (IGR) products and AC Final orbit solutions during 1994-2009 with respect to the IGS Final orbit products.
- Figura No. 2: Localización de los sitios ocupados durante la campaña GPS desarrollada en 1994.
- Figura No. 3: Localización de los sitios ocupados durante la campaña GPS desarrollada en 1996.
- Figura No. 4: Localización de los sitios ocupados durante la campaña GPS desarrollada en 1998.
- Figura No. 5: Sitios de campaña GPS preliminares (previo al procesamiento de datos).
- Figura No. 6: Estaciones GPS permanentes dentro del territorio continental.
- Figura No. 7: Estaciones GPS Permanentes y Sitios de Campañas GPS dentro del territorio continental (previo al procesamiento de datos).
- Figura No. 8: Sitios de la Red Activa y Pasiva de los cuales no se logró obtener velocidad.
- Figura No. 9: Network SIRGAS_CON. Fuente: <http://www.sirgas.org/index.php?id=61>
- Figura No. 10: Ubicación de los sitios del territorio continental que materializan el Campo de Velocidad – VEC_Ec.
- Figura No. 11: Ubicación de los sitios VEC_Ec dentro del Distrito Metropolitano de Quito.
- Figura No. 12: Ubicación de los sitios del Archipiélago de Galápagos que materializan el Campo de Velocidad.
- Figura No. 13: IGS Tracking Network, fuente: <http://igscb.jpl.nasa.gov/network/complete.html>
- Figura No. 14: The 91 primary stations of the IGS 08 Core Tracking Network, fuente: <http://igscb.jpl.nasa.gov>
- Figura No. 15: Cinemática de las Placas Tectónicas o Litosféricas en el mundo.
- Figura No. 16: Características del contacto entre las placas de Nazca y Sudamericana en la zona del Ecuador.
- Figura No. 17: Esquema de la dinámica tectónica.
- Figura No. 18: Cinemática de la placas en la zona de América del Sur.
- Figura No. 19: Zonificación del VEC_Ec, conforme a la cinemática de las placas litosféricas y sus efectos geofísicos.
- Figura No. 20: Mapa de epicentros del Ecuador 1541 – 2007.
- Figura No. 21: Mapa de fallas activas del Ecuador, Instituto Geofísico EPN.

LISTA DE TABLAS

Tabla No. 1: Detalle de estaciones SIRGAS_CON usadas en el proyecto.

Tabla No. 2: Detalle de archivos RINEX ingresados en el procesamiento con el software GAMIT.

Tabla No. 3: Estaciones IGS usadas como referencia en la estabilización con GLOBK.

Tabla No. 4: Evolución del ITRF y el Marco de Referencia Global.

LISTA DE ANEXOS

Anexo No. 1: Análisis de la Repetibilidad de los sitios de campaña y estaciones permanentes.

Anexo No. 2: Análisis de las Series de Tiempo de los sitios de campaña y estaciones permanentes.

Anexo No. 3: CAMPO DE VELOCIDADES DEL ECUADOR.

Anexo No. 4: Coordenadas Geocéntricas Cartesianas XYZ y componentes de Velocidad $v(X)$, $v(Y)$, $v(Z)$; Reference Frame IGS08, Epoch 2011.0

Anexo No. 5: Comparación entre la solución oficial del IGS y la solución final obtenida del Campo de Velocidades del Ecuador, VEC_Ec.

Anexo No. 6: Model VEMOS2009, referred to ITRF2005.

Anexo No. 7: Comparación entre el Modelo de Interpolación VEMOS 2009 y el Campo de Velocidades del Ecuador VEC_Ec.

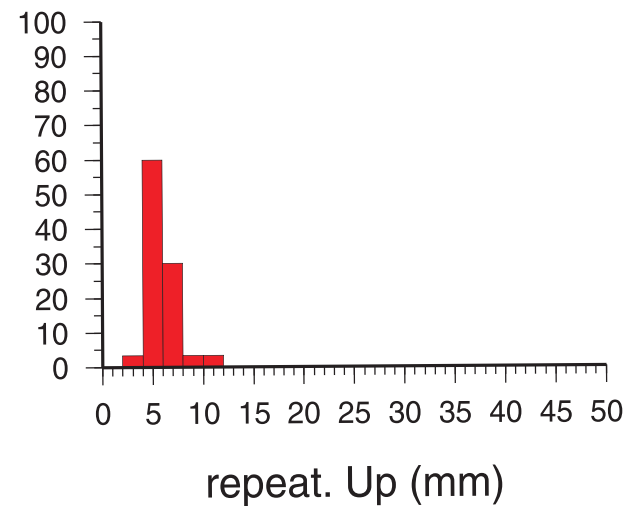
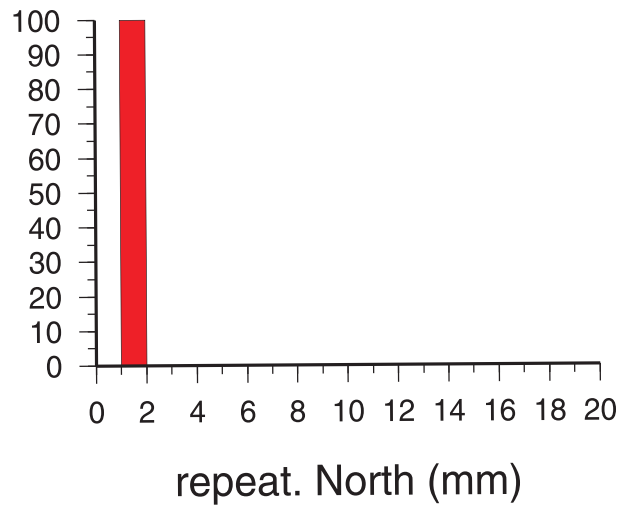
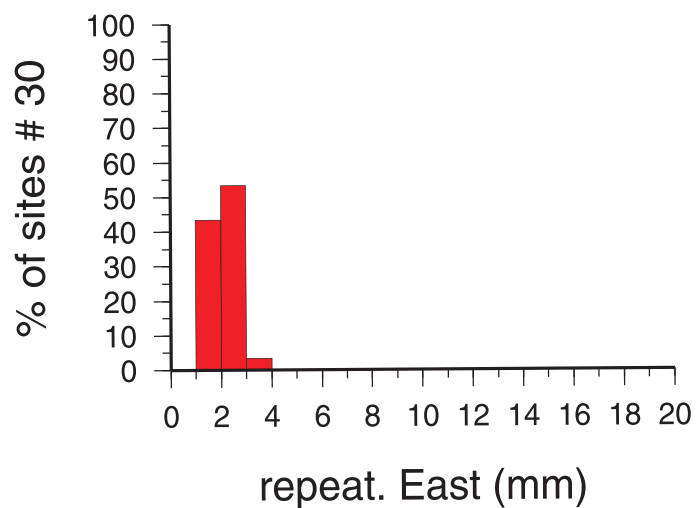
Anexo No. 8: Gráfico de las estaciones permanentes IGS y SIRGAS_Con; usadas en el proyecto.

Anexo No. 1

Análisis de la Repetibilidad de los sitios de Campaña GPS y Estaciones Permanentes.

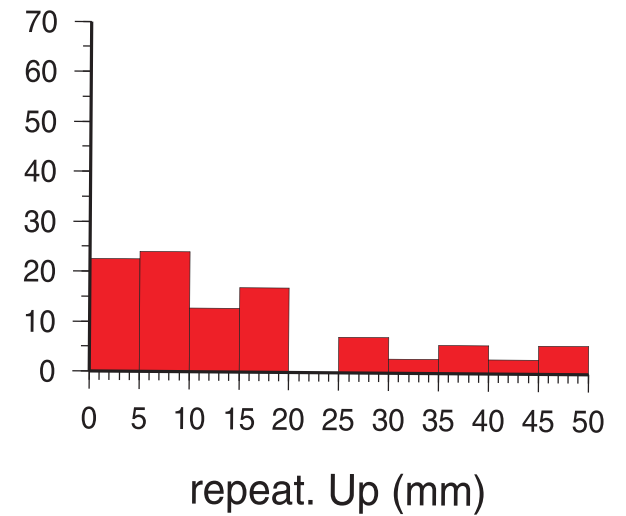
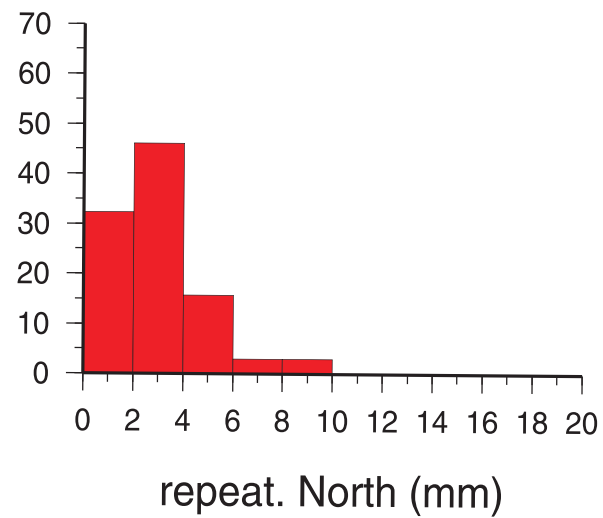
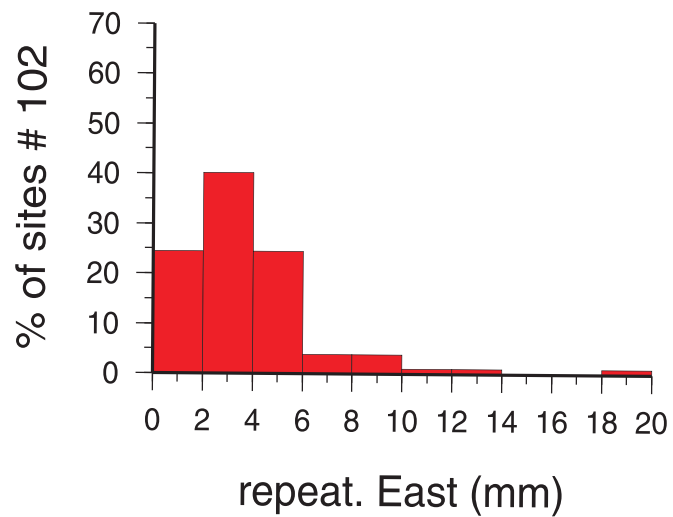
REPETIBILIDAD A LARGO PLAZO - COMPONENTE: E, N, U

ESTACIONES GPS PERMANENTES

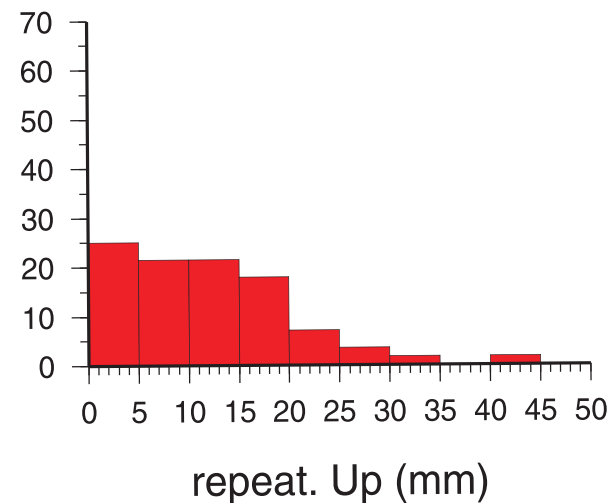
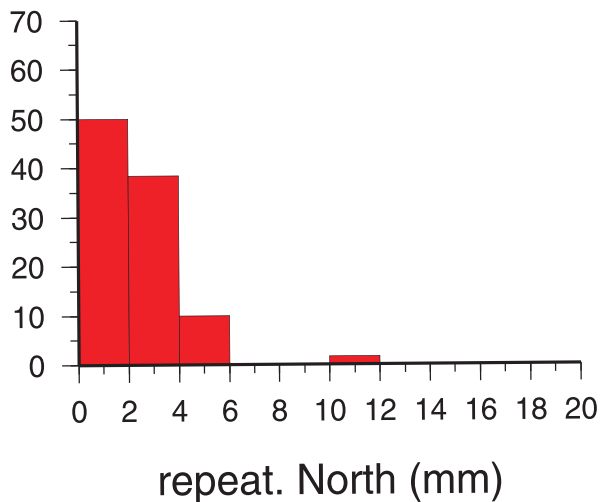
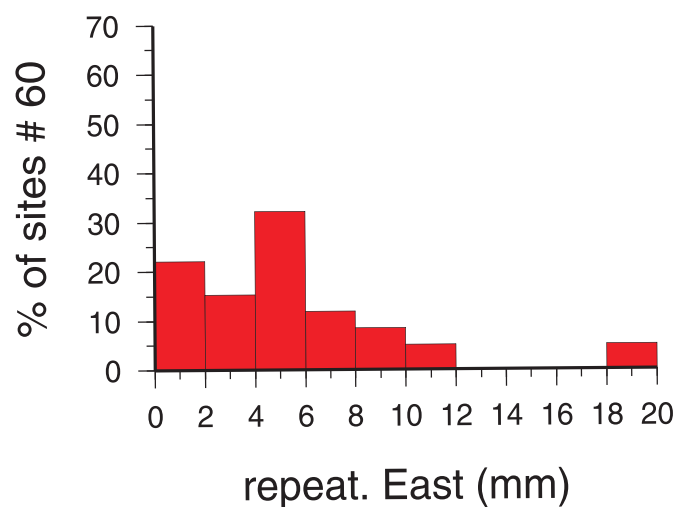


REPETIBILIDAD A LARGO PLAZO - COMPONENTE: E, N, U

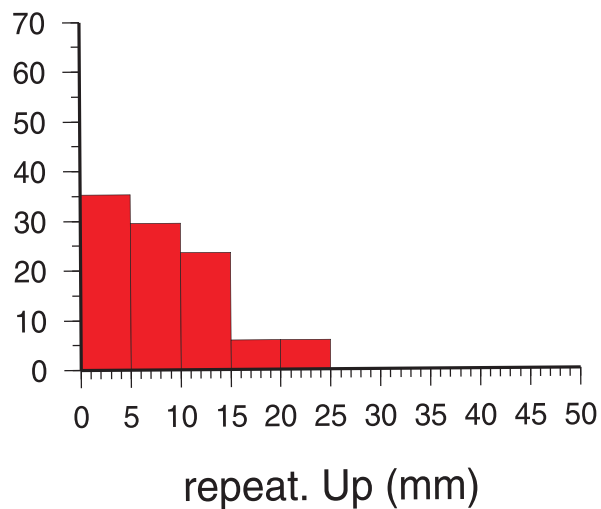
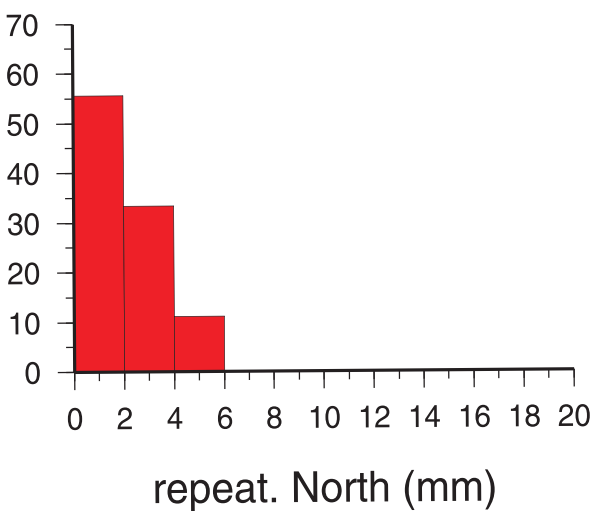
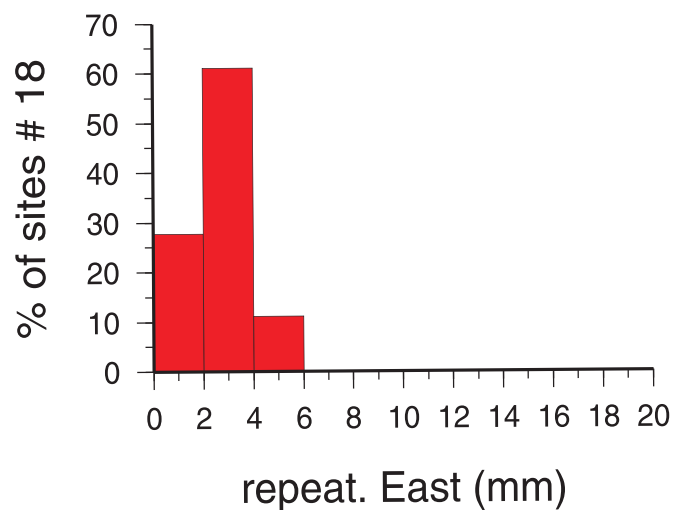
SITIOS DE CAMPAÑA GPS



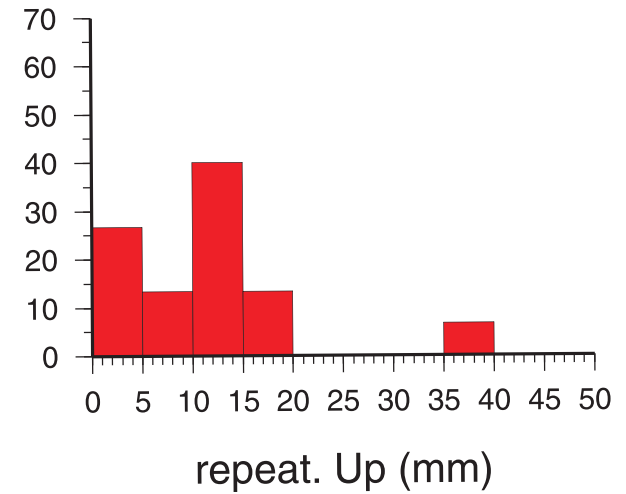
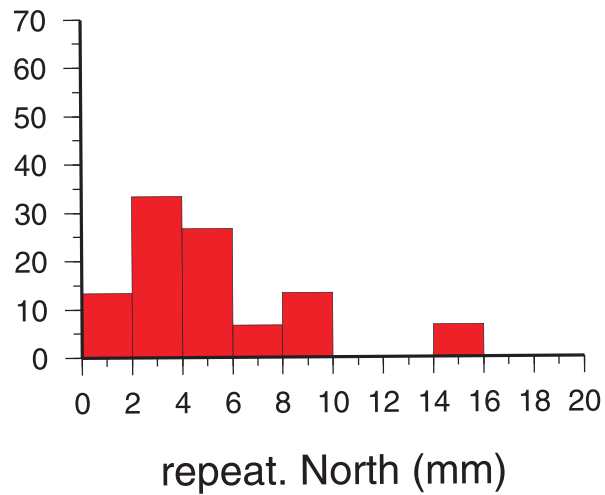
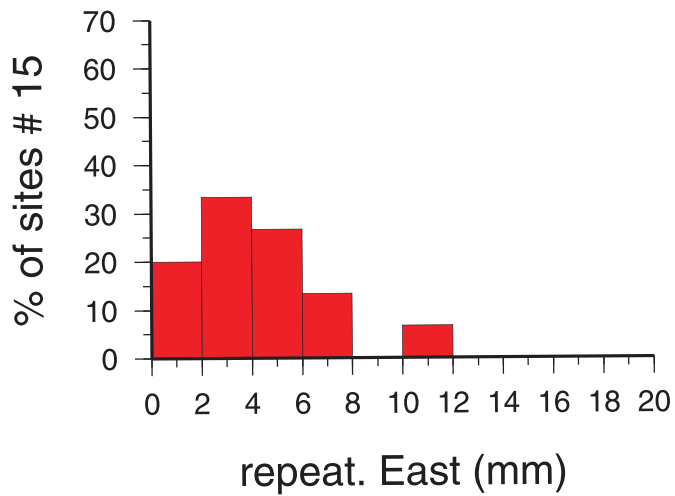
REPETIBILIDAD COMPONENTE: E, N, U - CAMPAÑA GPS DEL AÑO 1994



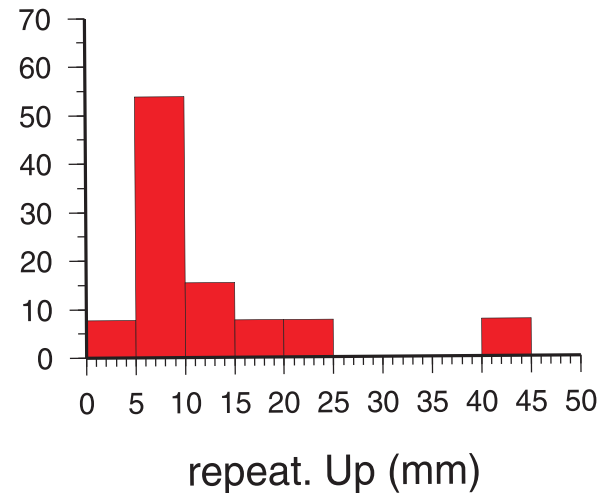
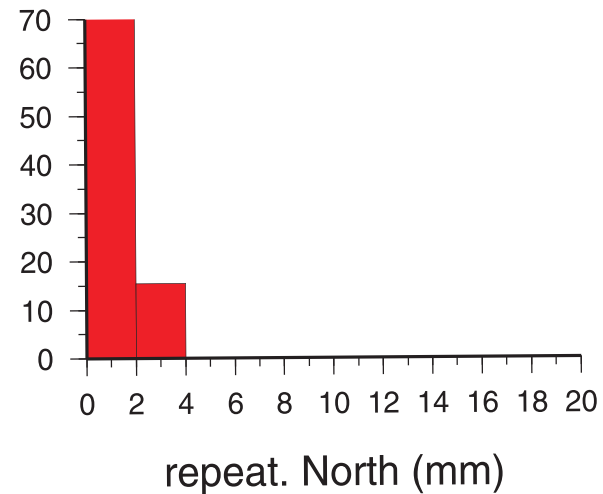
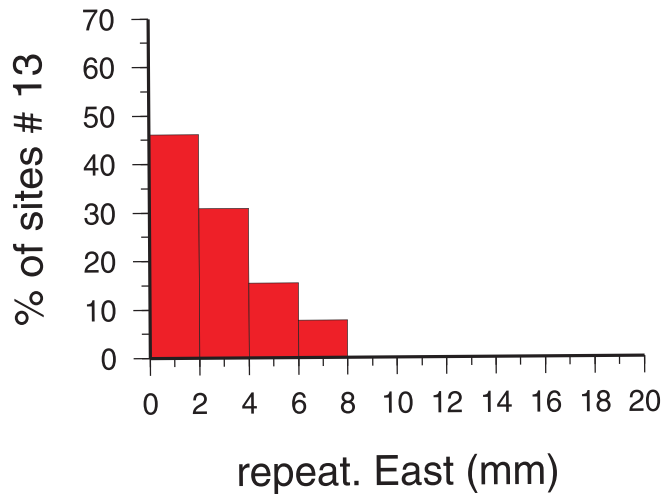
REPETIBILIDAD COMPONENTE: E, N, U - CAMPAÑA GPS DEL AÑO 1996



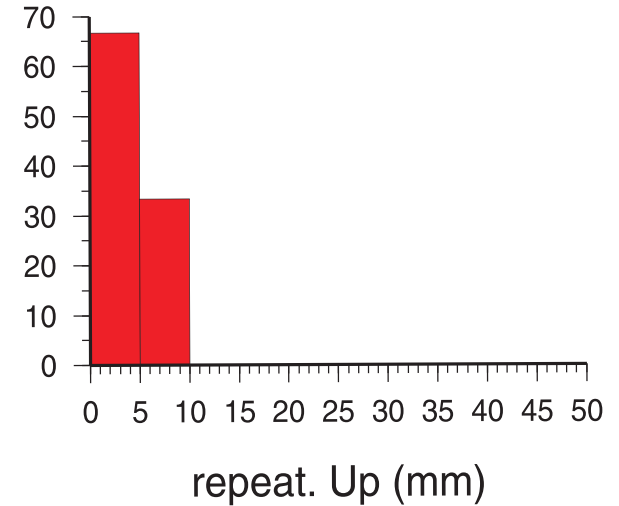
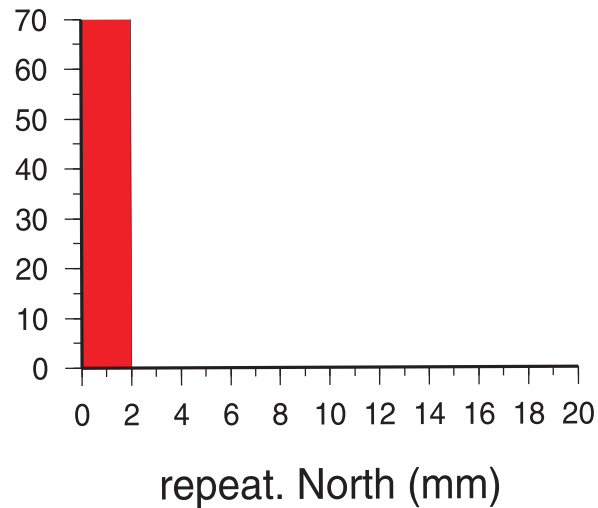
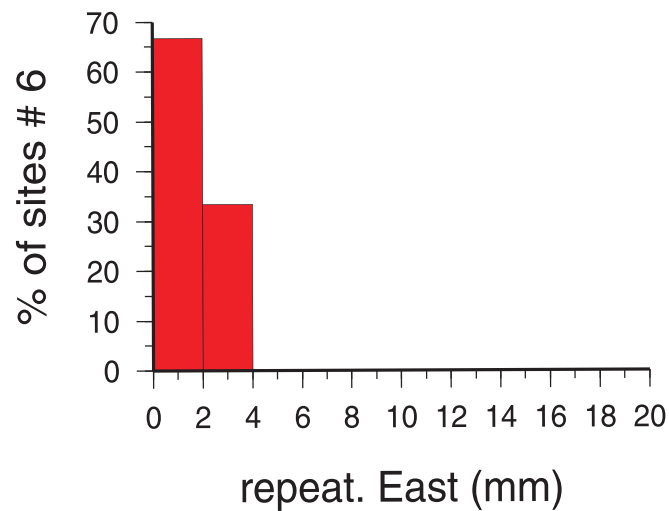
REPETIBILIDAD COMPONENTE: E, N, U - CAMPAÑA GPS DEL AÑO 1998



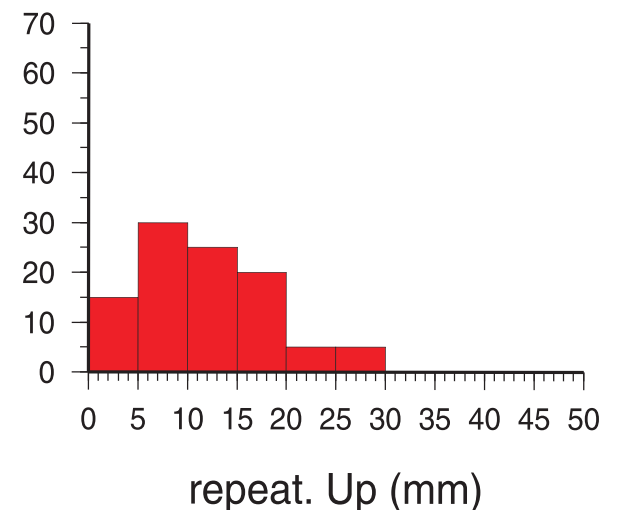
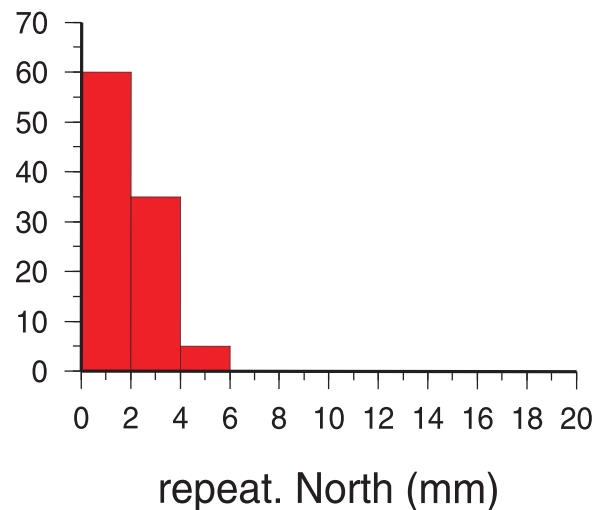
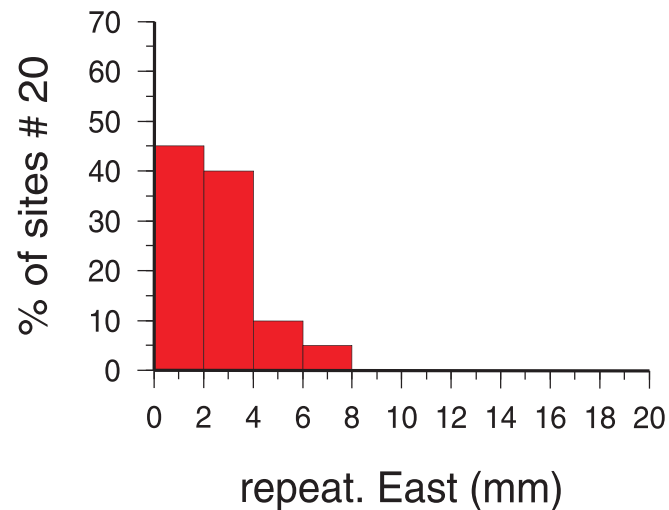
REPETIBILIDAD COMPONENTE: E, N, U - CAMPAÑA GPS DEL AÑO 1999



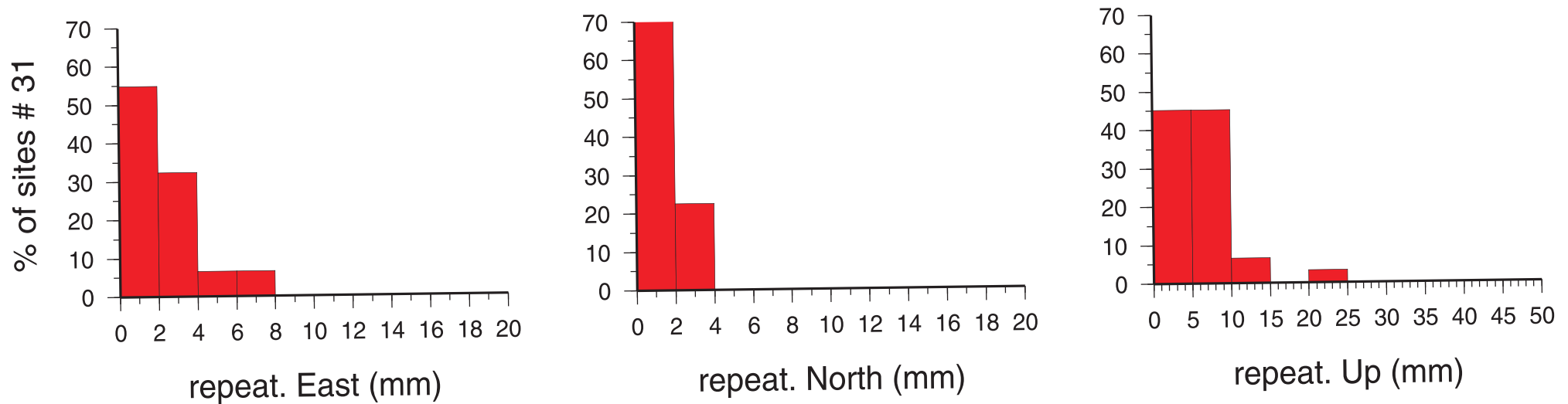
REPETIBILIDAD COMPONENTE: E, N, U - CAMPAÑA GPS DEL AÑO 2000



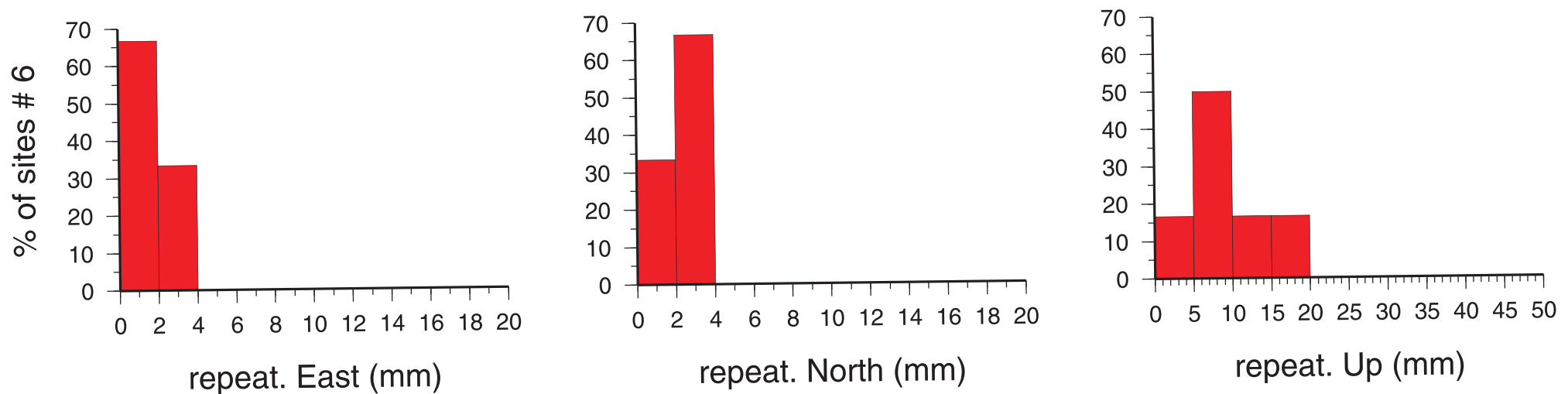
REPETIBILIDAD COMPONENTE: E, N, U - CAMPAÑA GPS DEL AÑO 2001



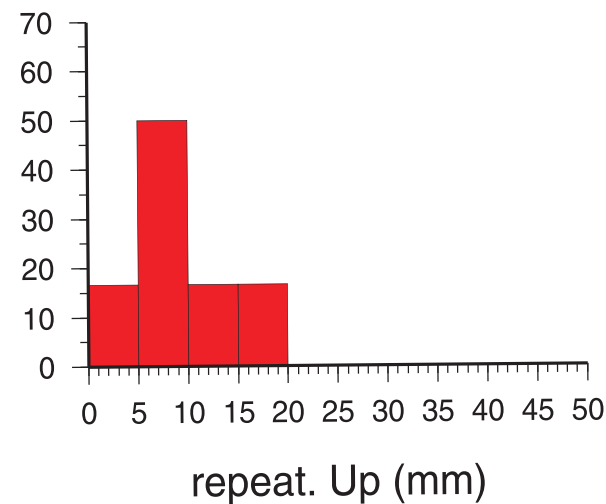
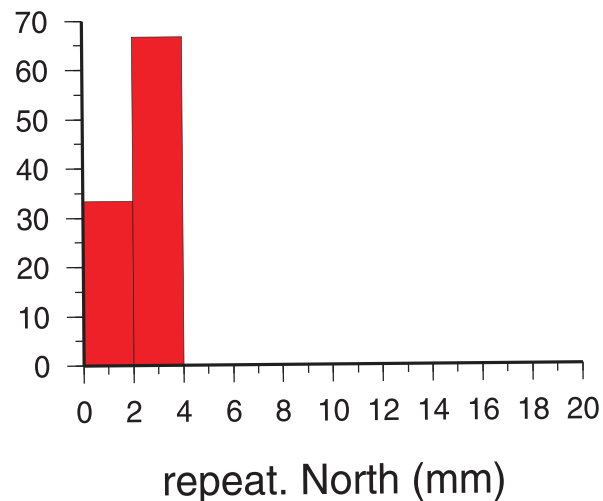
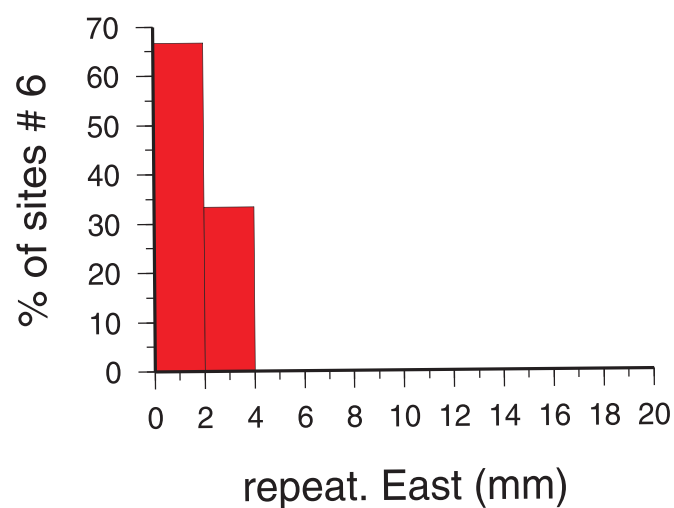
REPETIBILIDAD COMPONENTE: E, N, U - CAMPAÑA GPS DEL AÑO 2002



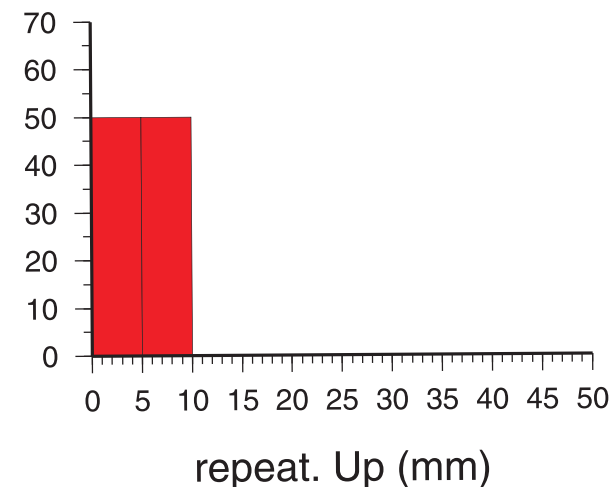
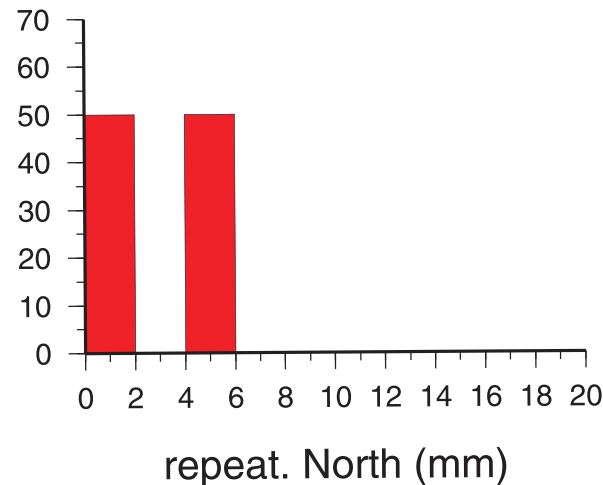
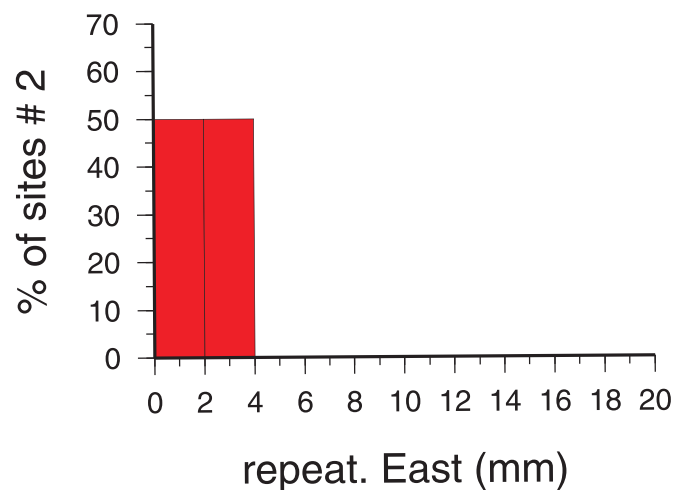
REPETIBILIDAD COMPONENTE: E, N, U - CAMPAÑA GPS DEL AÑO 2003



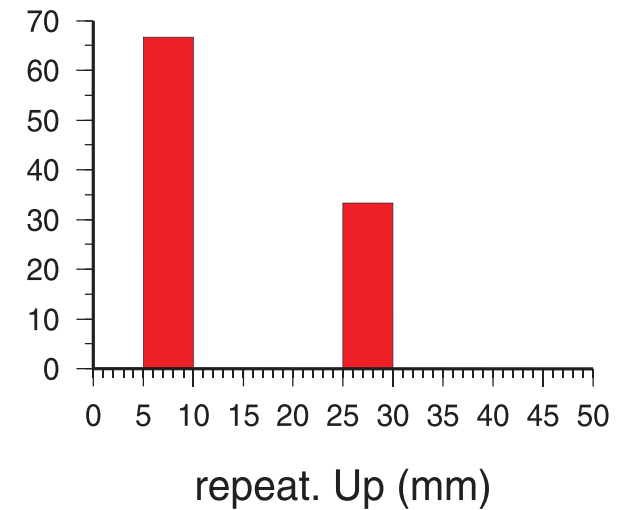
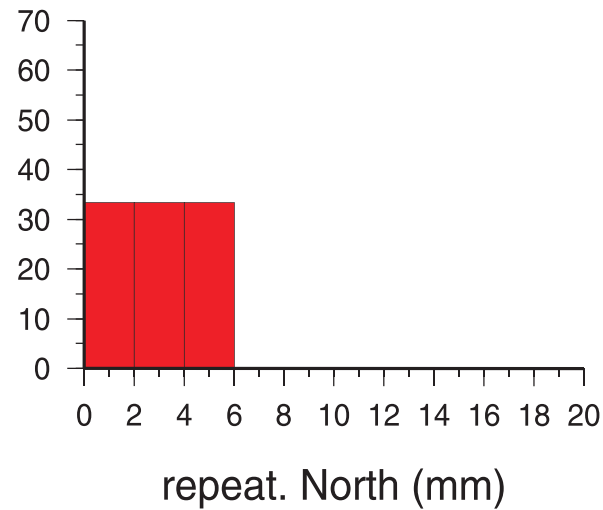
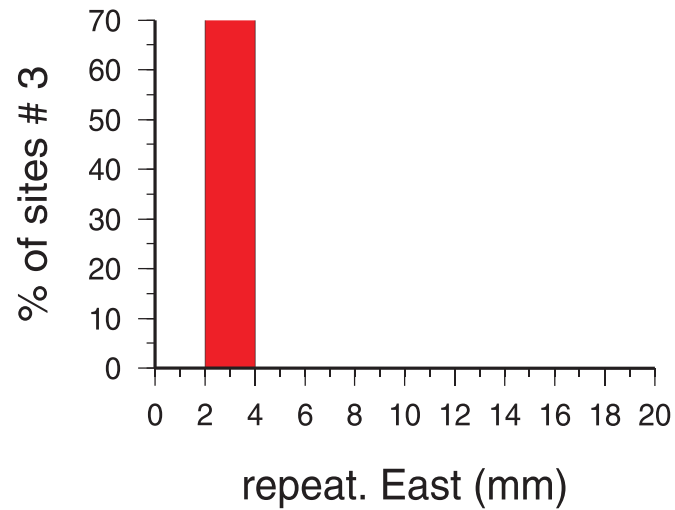
REPETIBILIDAD COMPONENTE: E, N, U - CAMPAÑA GPS DEL AÑO 2004



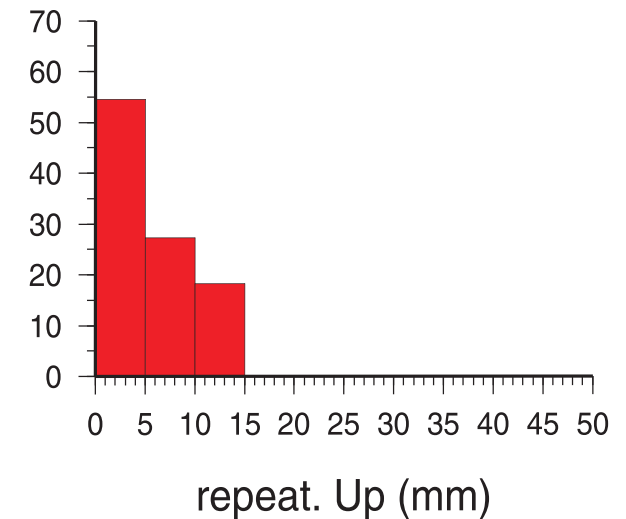
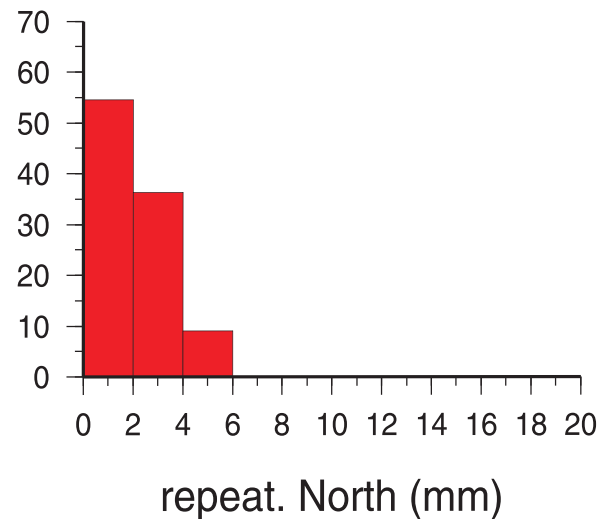
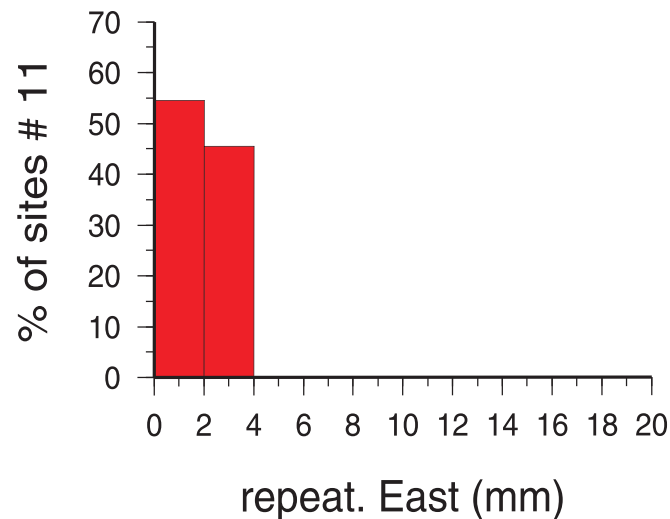
REPETIBILIDAD COMPONENTE: E, N, U - CAMPAÑA GPS DEL AÑO 2005



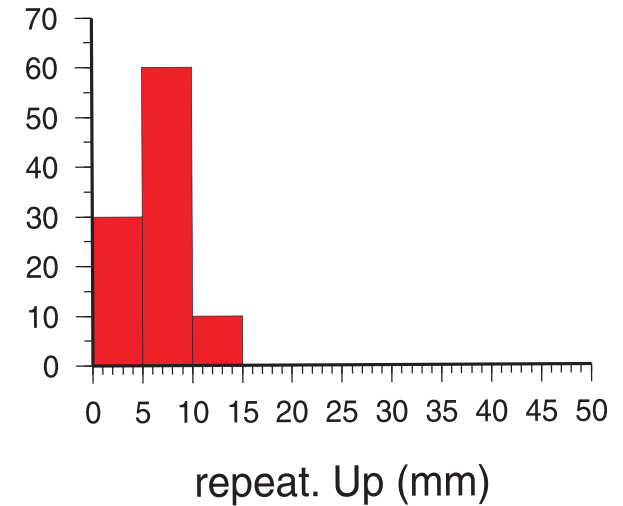
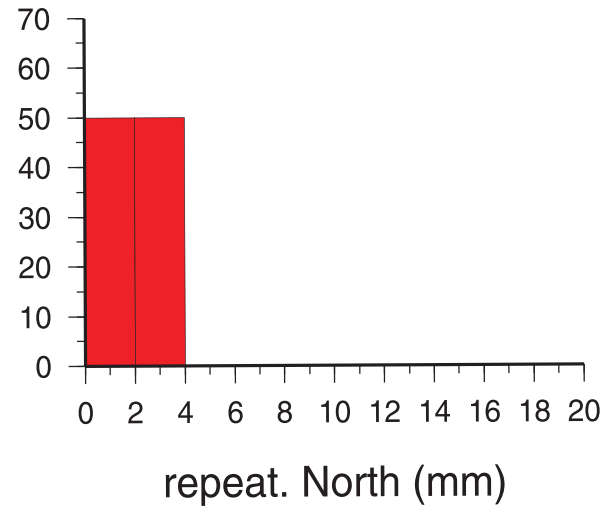
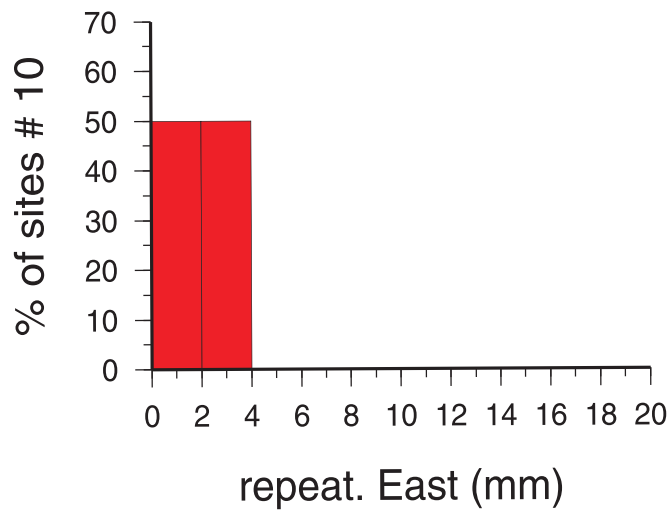
REPETIBILIDAD COMPONENTE: E, N, U - CAMPAÑA GPS DEL AÑO 2006



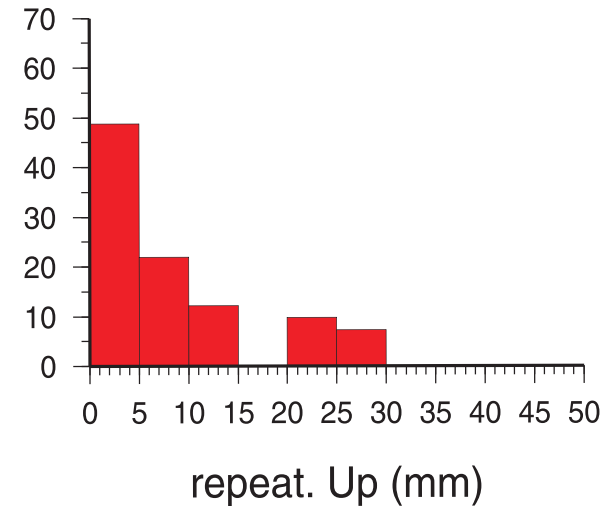
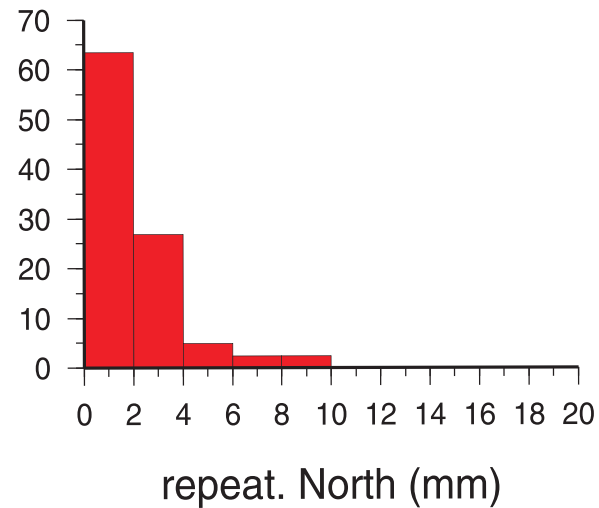
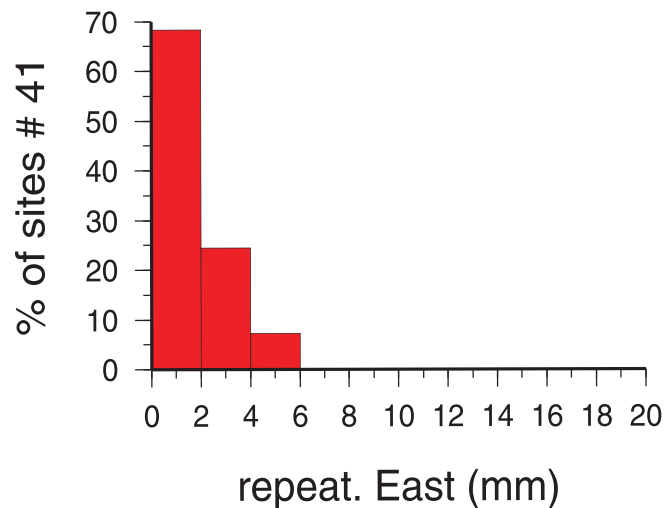
REPETIBILIDAD COMPONENTE: E, N, U - CAMPAÑA GPS DEL AÑO 2007



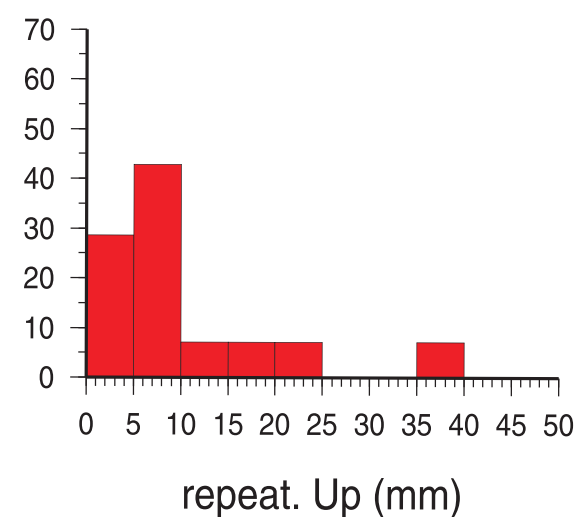
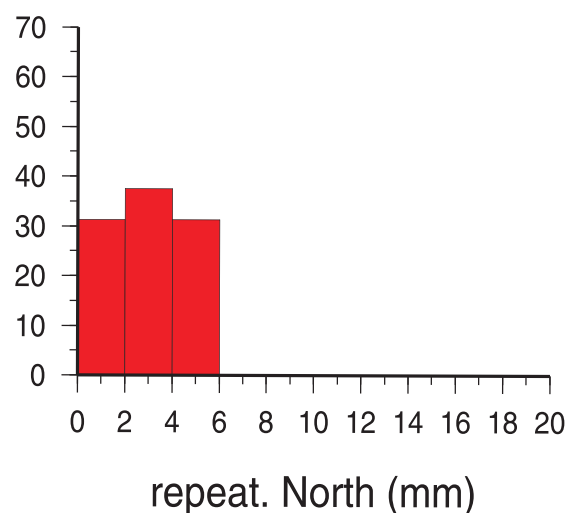
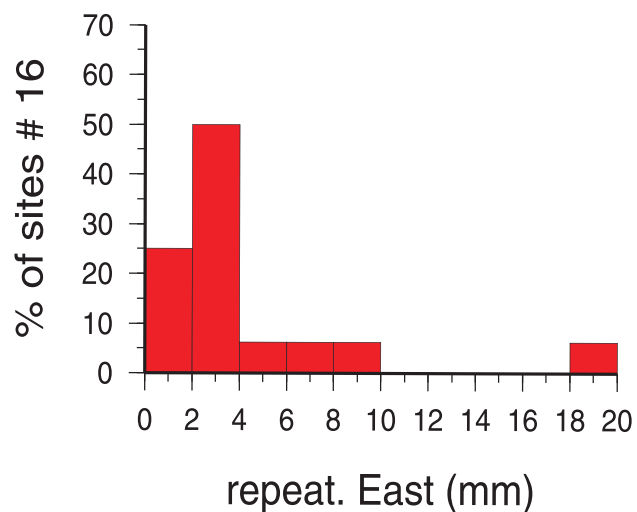
REPETIBILIDAD COMPONENTE: E, N, U - CAMPAÑA GPS DEL AÑO 2008



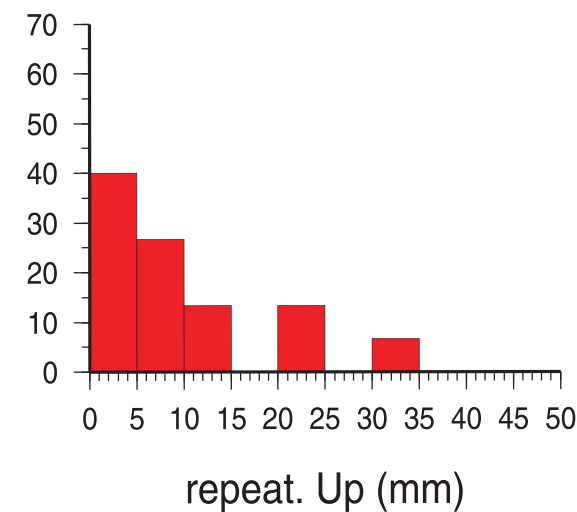
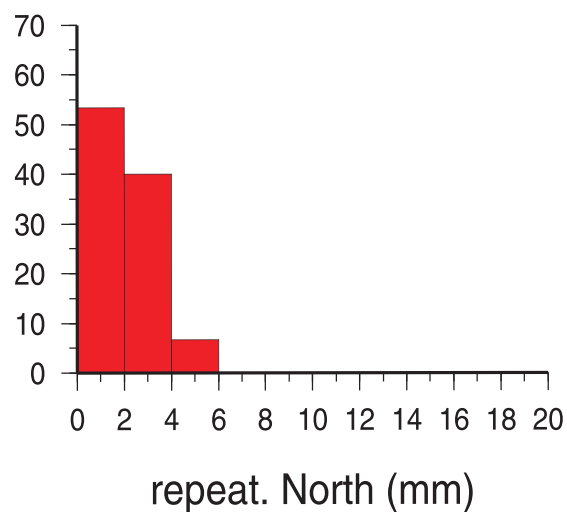
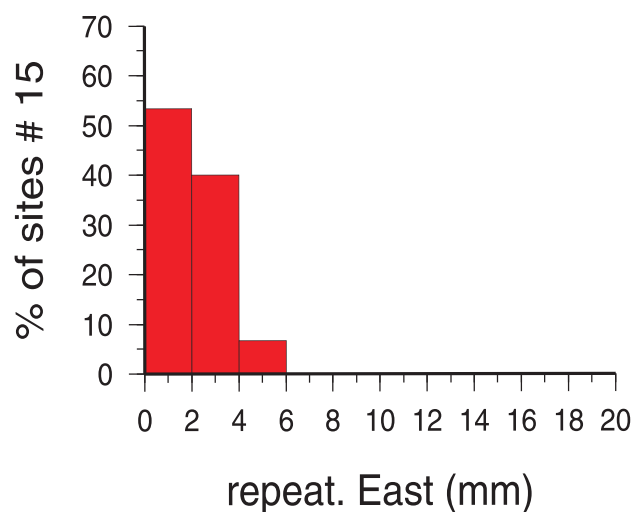
REPETIBILIDAD COMPONENTE: E, N, U - CAMPAÑA GPS DEL AÑO 2009



REPETIBILIDAD COMPONENTE: E, N, U - CAMPAÑA GPS DEL AÑO 2010



REPETIBILIDAD COMPONENTE: E, N, U - CAMPAÑA GPS DEL AÑO 2011



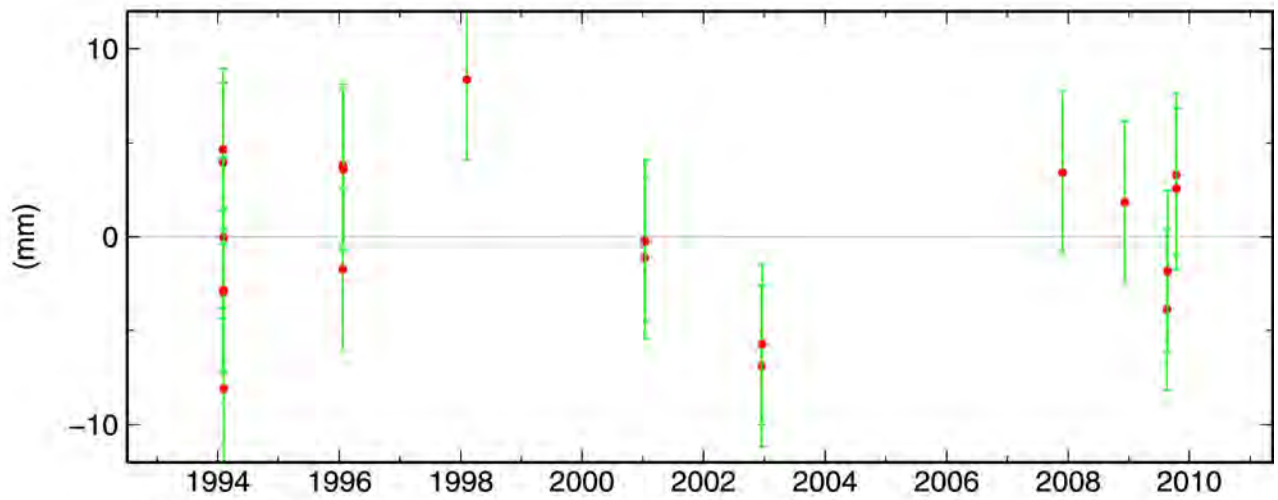
Anexo No. 2

Análisis de las Series de Tiempo de los Sitios de Campaña GPS y Estaciones Permanentes.

(Se muestran únicamente 2 estaciones permanentes (RIOP – QUI1) y 2 sitios de campaña GPS (mojones 3009 – LCOL) del total de usadas.)

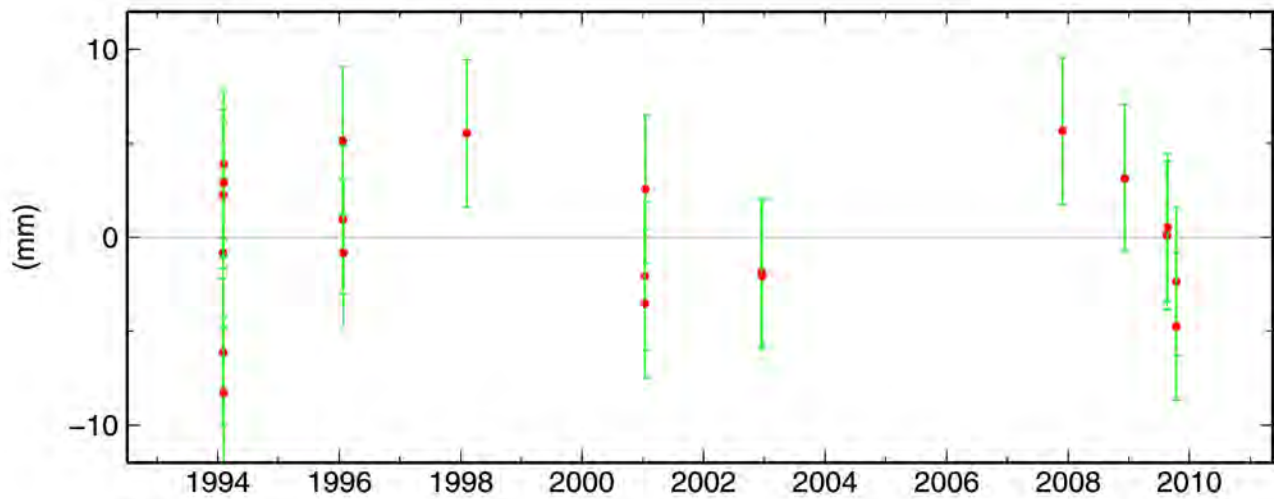
3009 to N Solution 1

wmean(mm)= -0.00 ± 0.94 nrms= 0.97 wrms= 4.2 mm # 21



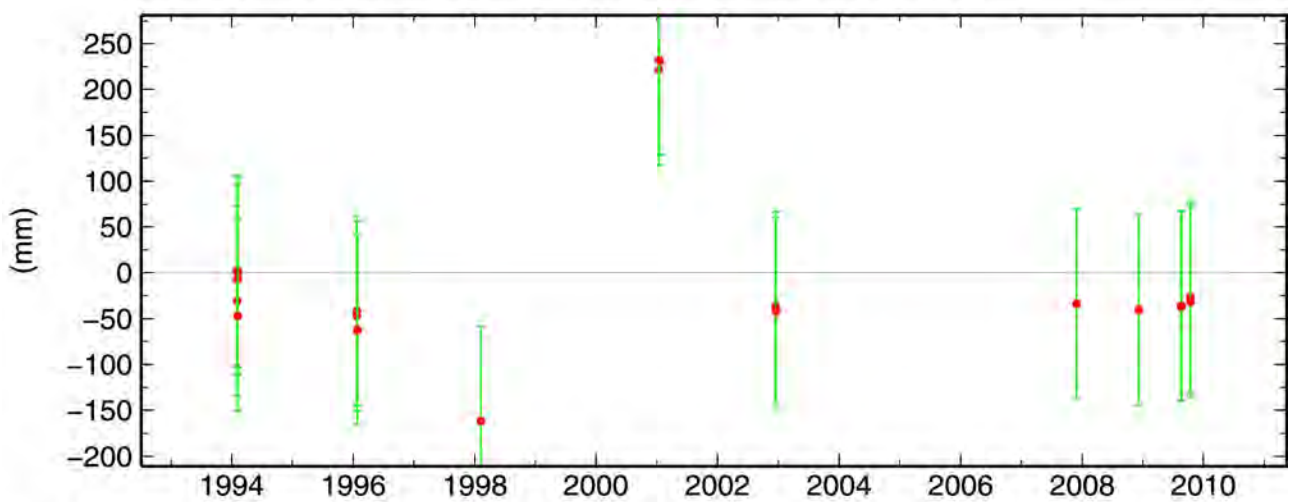
3009 to E Solution 1

wmean(mm)= 0.00 ± 0.86 nrms= 0.98 wrms= 3.8 mm # 21



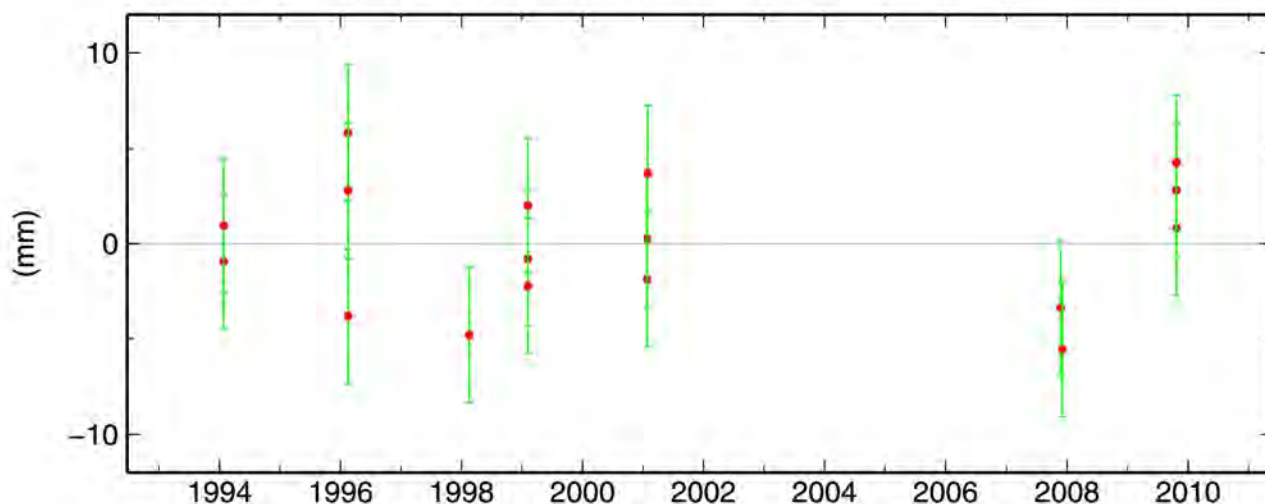
3009 to U Solution 1

wmean(mm)= -0.00 ± 22.62 nrms= 0.97 wrms= 101.1 mm # 21



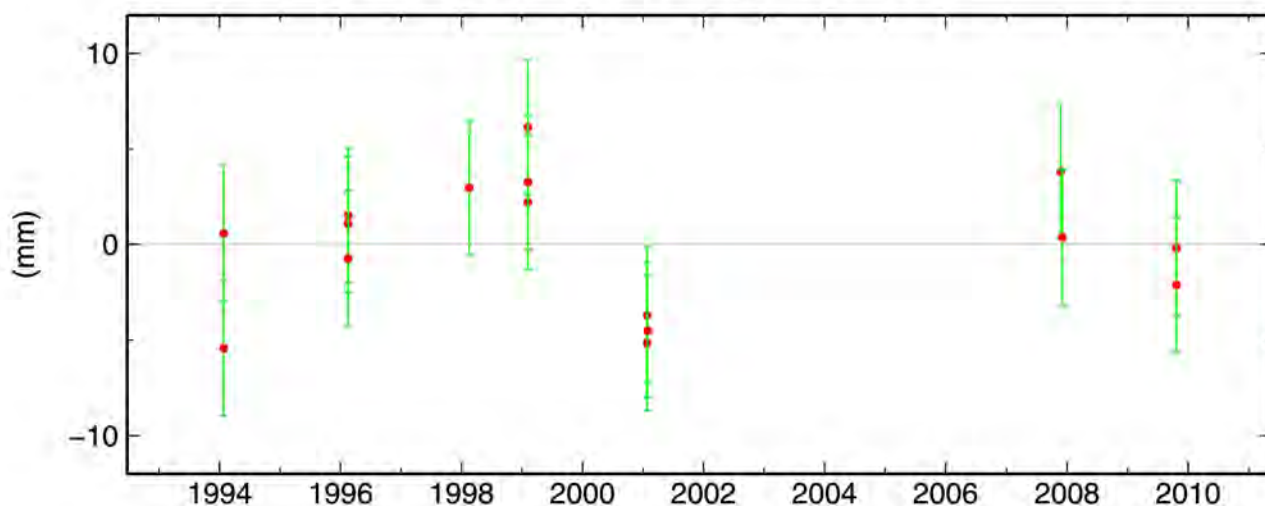
LCOL to N Solution 1

wmean(mm)= -0.00 ± 0.86 nrms= 0.94 wrms= 3.3 mm # 17



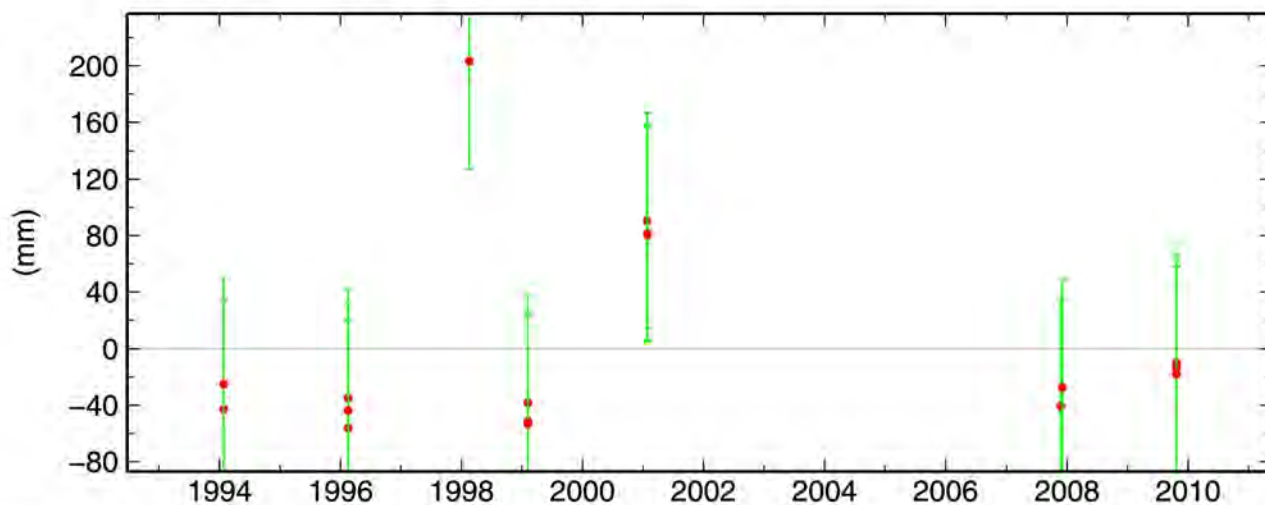
LCOL to E Solution 1

wmean(mm)= 0.00 ± 0.86 nrms= 0.94 wrms= 3.3 mm # 17



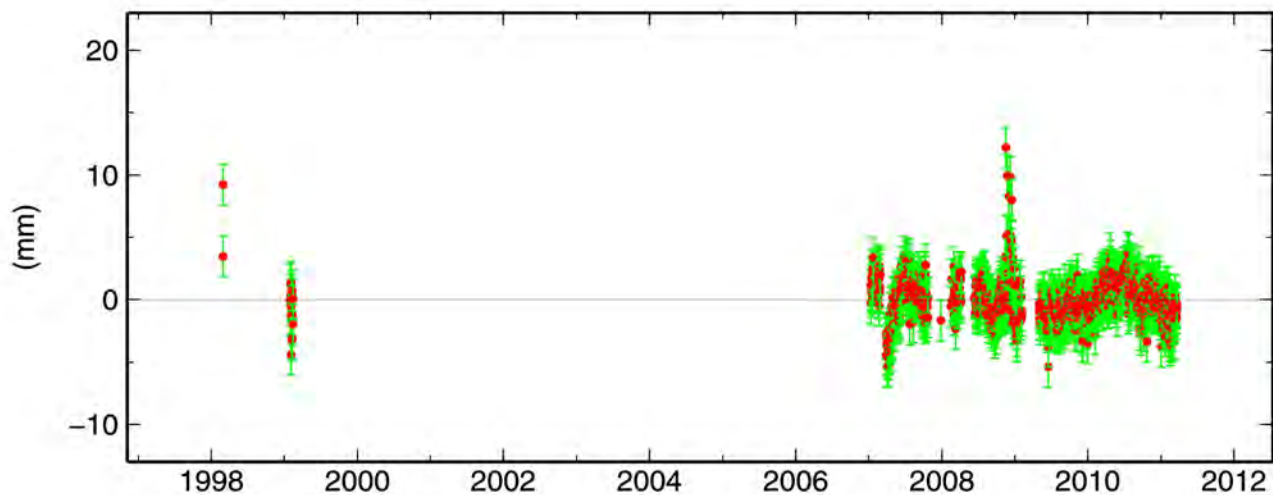
LCOL to U Solution 1

wmean(mm)= -0.00 ± 18.51 nrms= 0.94 wrms= 71.4 mm # 17



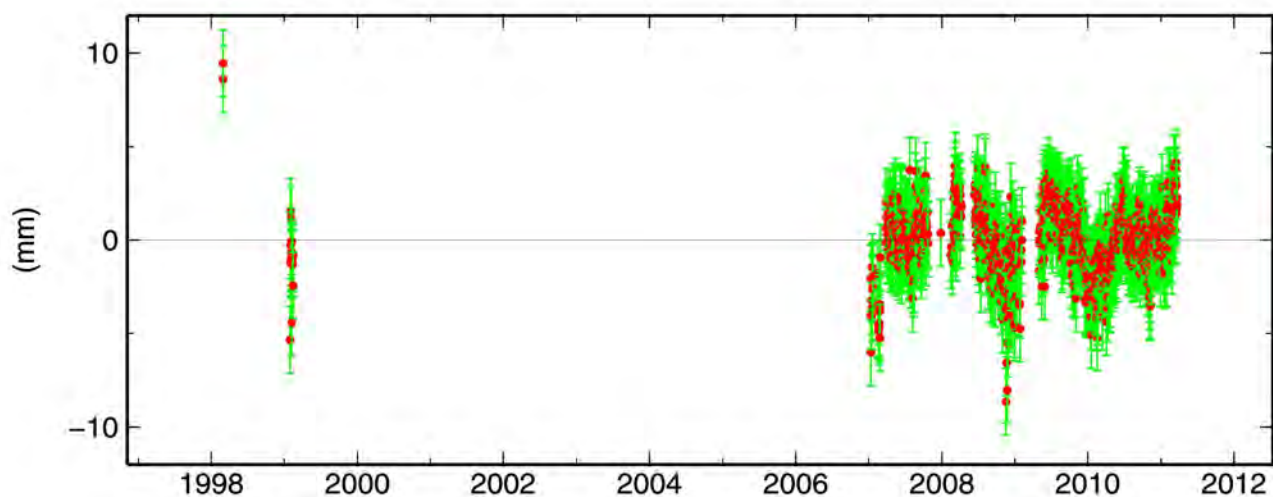
RIOP to N Solution 1

wmean(mm)= 0.00 ± 0.05 nrms= 1.00 wrms= 1.6 mm # 1156



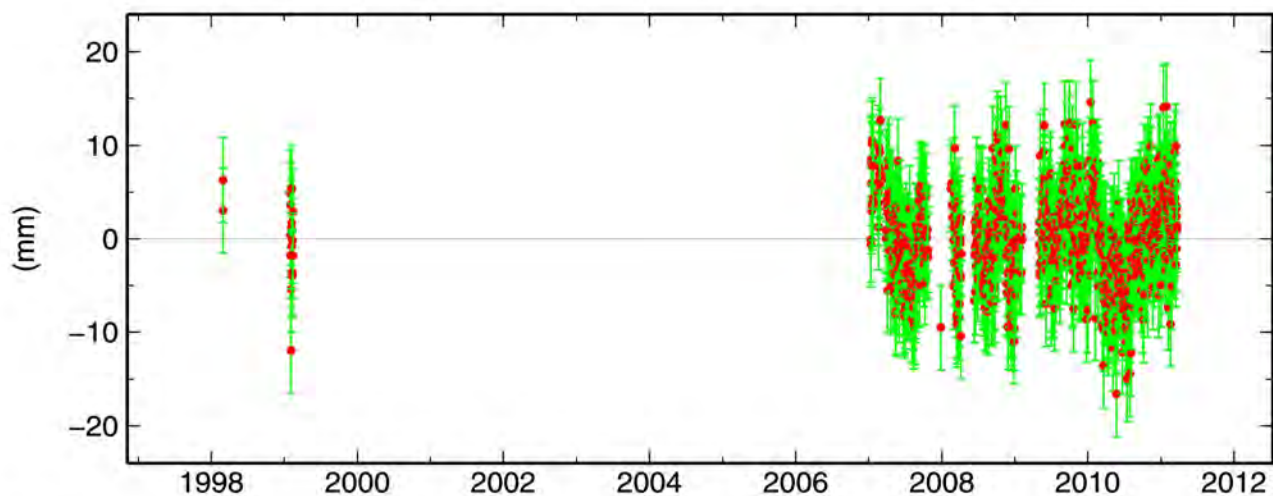
RIOP to E Solution 1

wmean(mm)= -0.00 ± 0.05 nrms= 1.00 wrms= 1.8 mm # 1156



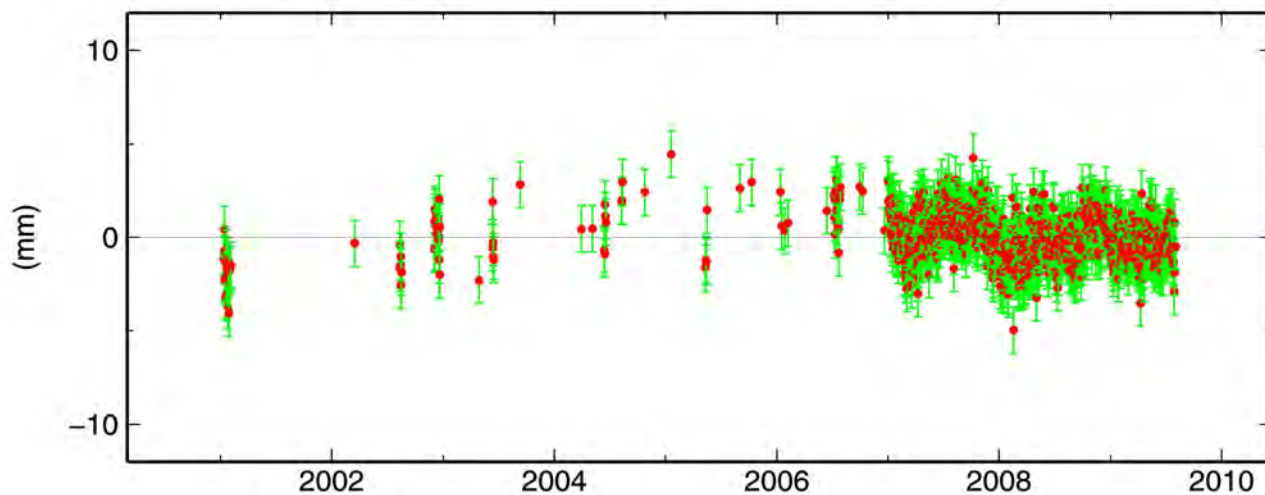
RIOP to U Solution 1

wmean(mm)= -0.00 ± 0.13 nrms= 1.00 wrms= 4.5 mm # 1156



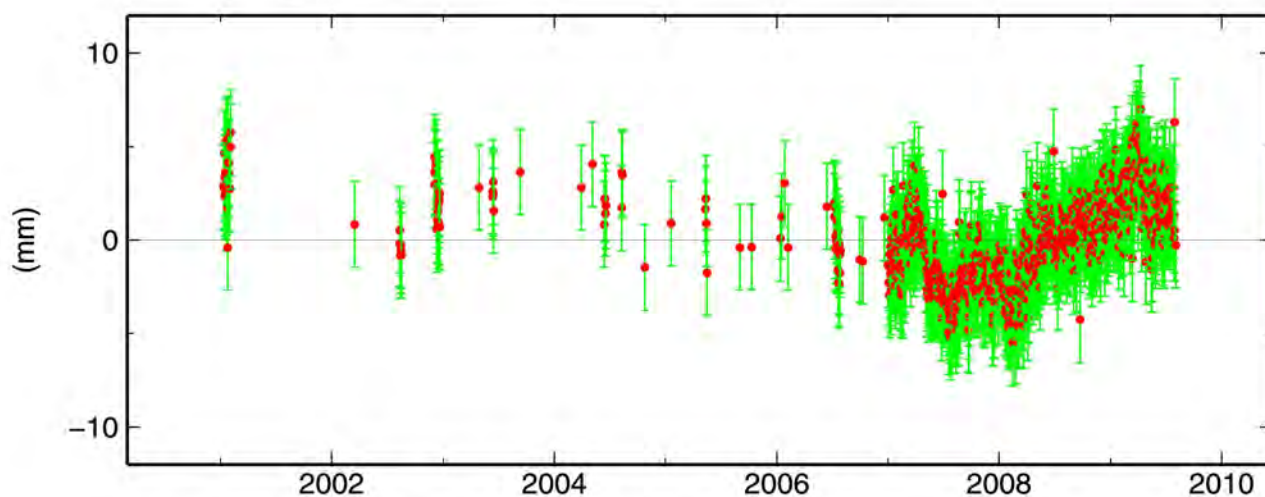
QUI1 to N Solution 1

wmean(mm)= 0.00 ± 0.04 nrms= 1.00 wrms= 1.2 mm # 1027



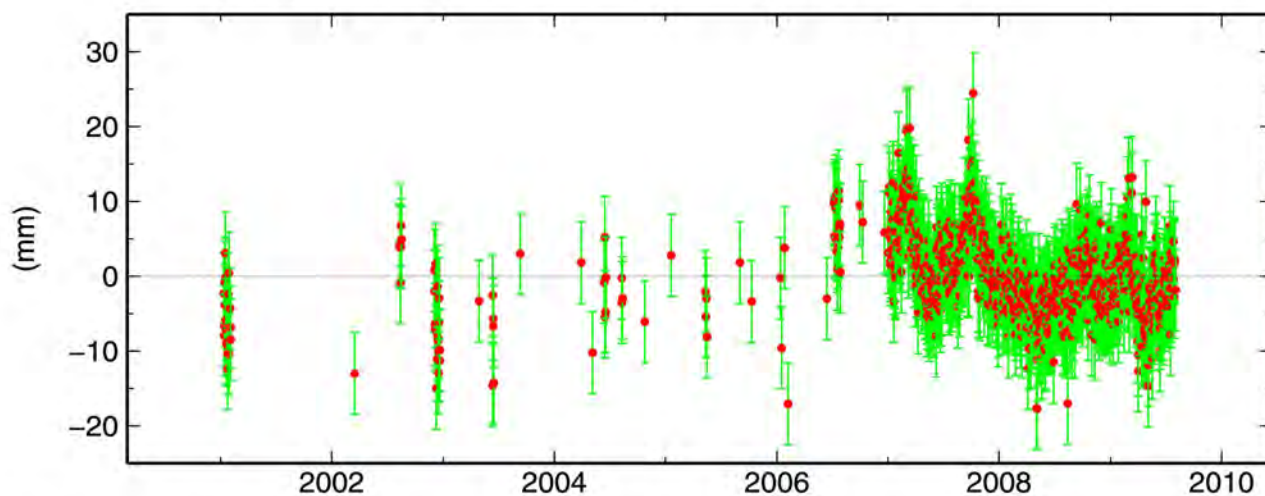
QUI1 to E Solution 1

wmean(mm)= -0.00 ± 0.07 nrms= 1.00 wrms= 2.3 mm # 1027



QUI1 to U Solution 1

wmean(mm)= -0.00 ± 0.17 nrms= 1.00 wrms= 5.5 mm # 1027

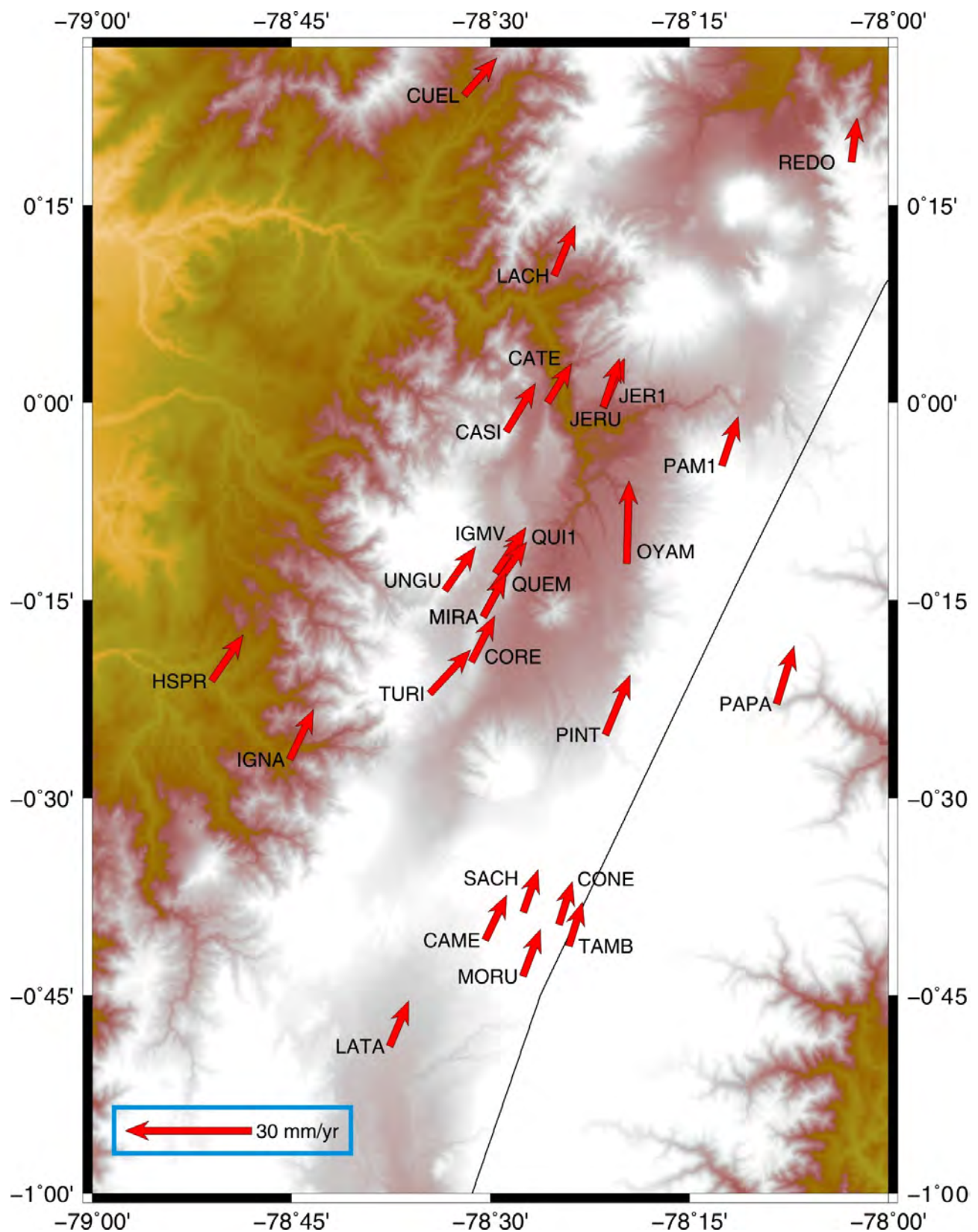


Anexo No. 3

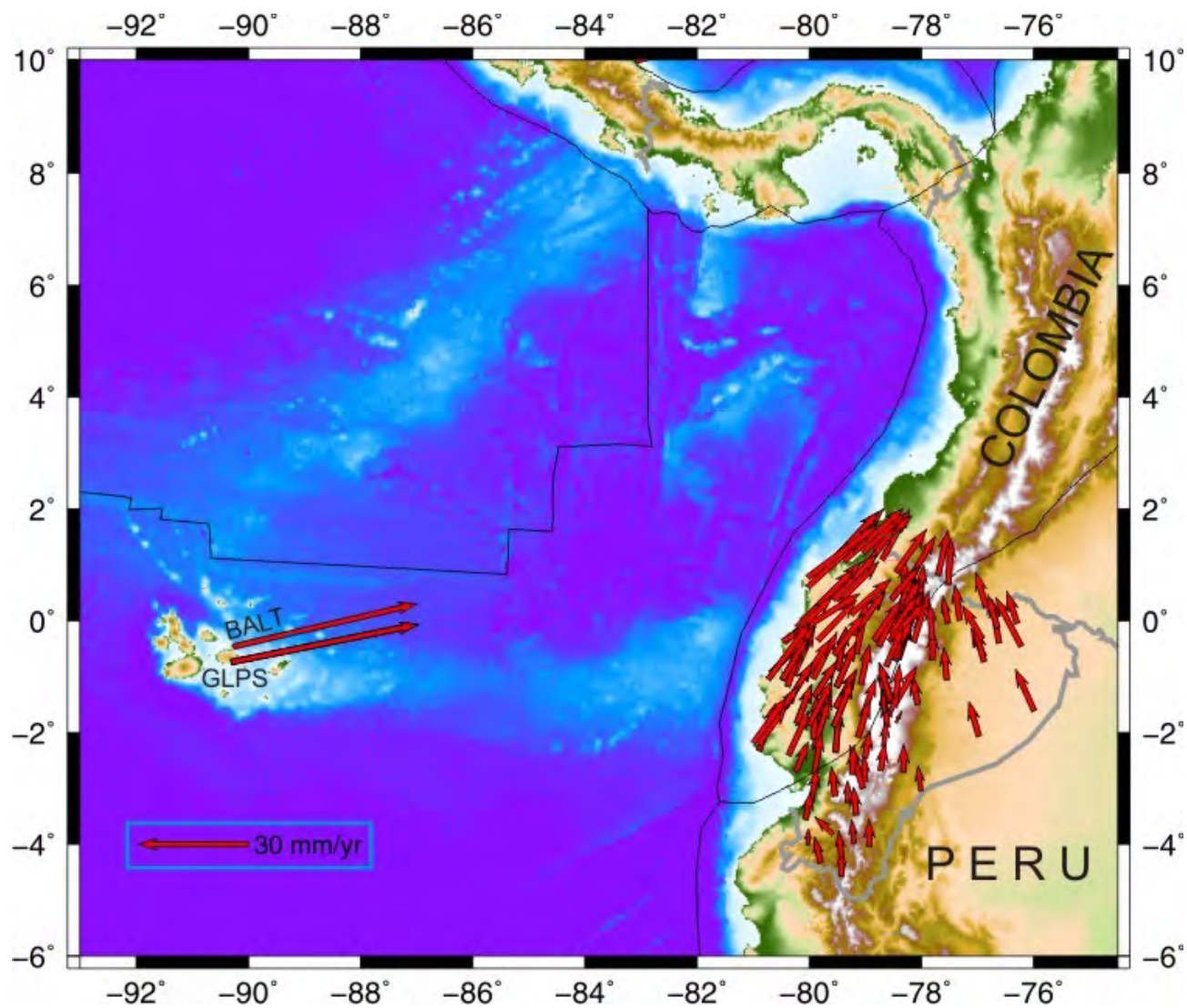
**CAMPO DE VELOCIDADES
DEL ECUADOR. VEC_Ec**

Cisneros, D. and Nocquet, JM. (2011). 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, IGM – IGEPN – GEOAZUR - IRD. Nice – France , 2011.

**CAMPO DE VELOCIDADES VEC_Ec, DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO
PLACA TECTÓNICA SUDAMERICANA
ZONA 17**



**CAMPO DE VELOCIDADES VEC_Ec, ARCHIPIÉLAGO DE GALÁPAGOS
PLACA TECTÓNICA DE NAZCA
ZONA 15 - 16**



VELOCIDAD OBTENIDA PARA LOS SITIOS UBICADOS EN LAS SIGUIENTES ISLAS DEL ARCIPIÉLAGO DE GALÁPAGOS:

ISLA BALTRA

NOMBRE DEL SITIO / VERTICE: BALT

MONUMENTACIÓN: MOJÓN DE CONCRETO TIPO IGM-B, EMPOTRADO EN EL TERRENO; AL COSTADO S – E DE LA PISTA DE ATERRIZAJE DEL AEROPUERTO.

ISLA SANTA CRUZ, PUERTO AYORA

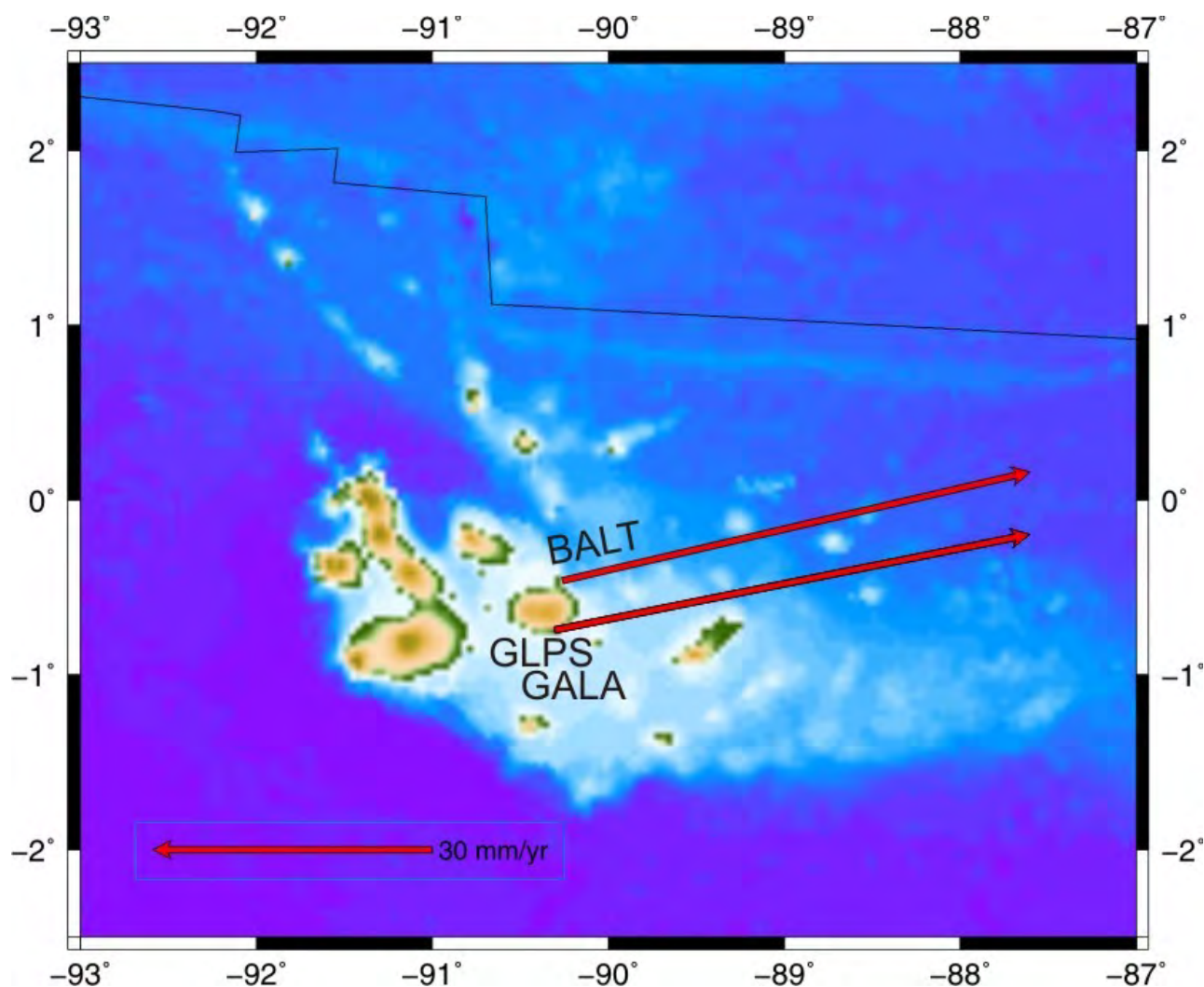
NOMBRE DEL SITIO / VERTICE: GLPS

MONUMENTACIÓN: ESTACIÓN PERMANENTE, INSTALADA EN EL PARQUE NACIONAL CHARLES DARWIN.

ISLA SANTA CRUZ, PUERTO AYORA

NOMBRE DEL SITIO / VERTICE: GALA

MONUMENTACIÓN: ESTACIÓN PERMANENTE.



Anexo No. 4

**COORDENADAS GEOCÉNTRICAS
CARTESIANAS X, Y, Z.
VELOCIDADES v_X , v_Y , v_Z**

**MARCO DE REFERENCIA GLOBAL:
IGS08, ÉPOCA 2011.0**

ANEXO No.4

COORDENADAS GEOCÉNTRICAS CARTESIANAS

MARCO DE REFERENCIA: IGS08

ÉPOCA DE REFERENCIA: 2011.0

COMPONENTES DE VELOCIDAD X, Y, Z

STATION	X (m)	Y (m)	Z (m)	v(X)m/a	v(Y)m/a	v(Z)m/a	EPOCA	σ_X (m)	σ_Y (m)	σ_Z (m)	σ_{vX} (m)	σ_{vY} (m)	σ_{vZ} (m)
3009_GPS	1148305.68848	-6272976.99401	109354.15582	0.01422	0.00357	0.01532	2011.000	0.0028	0.0098	0.0019	0.00040	0.00130	0.00030
AHUA_GPS	1374894.77437	-6227472.31738	-117323.96212	0.00160	-0.01085	0.00865	2011.000	0.0045	0.0144	0.0025	0.00080	0.00220	0.00040
ALAM_GPS	1102306.51980	-6267609.67614	-444220.21367	-0.00523	0.03076	0.00672	2011.000	0.0092	0.0274	0.0054	0.00410	0.01290	0.00220
ALTA_GPS	1315523.73481	-6240479.34440	137882.85691	-0.00014	0.01079	0.01516	2011.000	0.0067	0.0206	0.0044	0.00510	0.01780	0.00280
AMAL_GPS	1166953.22320	-6251630.86286	-506170.92317	0.00109	-0.00547	0.00666	2011.000	0.0036	0.0132	0.0024	0.00070	0.00220	0.00040
ANCO_GPS	1008515.36710	-6292663.11243	-257526.19138	0.00472	-0.00013	0.01302	2011.000	0.0055	0.0179	0.0032	0.00090	0.00250	0.00050
ANTC_GPS	1608539.66765	-4816369.72981	-3847798.48403	0.01612	-0.00254	0.00846	2011.000	0.0014	0.0027	0.0022	0.00070	0.00140	0.00120
AQUJ_GPS	1869308.81749	-6070206.60186	612519.07644	-0.01564	0.03512	0.00817	2011.000	0.0197	0.0443	0.0099	0.02220	0.04270	0.00970
AREN_GPS	1097953.00868	-6270610.95095	-393307.66244	0.00033	0.00686	0.00810	2011.000	0.0066	0.0225	0.0045	0.00130	0.00480	0.00080
AREQ_GPS	1942826.21771	-5804070.33881	-1796894.21566	0.00424	-0.00386	0.00791	2011.000	0.0006	0.0015	0.0005	0.00040	0.00080	0.00040
ASCI_GPS	6118526.04443	-1572344.76741	-876451.00709	-0.00105	-0.00585	0.01027	2011.000	0.0069	0.0038	0.0033	0.00120	0.00060	0.00050
AU14_GPS	1447002.37877	-6211591.09647	-80727.71368	-0.00092	-0.00642	0.00896	2011.000	0.0045	0.0133	0.0029	0.00100	0.00330	0.00060
AUCA_GPS	1447466.34797	-6211636.02603	-70859.99406	-0.00373	0.00084	0.00754	2011.000	0.0005	0.0019	0.0004	0.00090	0.00350	0.00090
AYAN_GPS	1023876.14831	-6291584.87770	-219837.69060	0.00908	-0.00222	0.01225	2011.000	0.0039	0.0152	0.0025	0.00150	0.00590	0.00090
BAIS_GPS	1637343.93359	-6146451.37265	478511.44873	-0.00969	-0.00022	0.01489	2011.000	0.0118	0.0303	0.0061	0.02850	0.03530	0.00790
BALT_GPS	-28821.65146	-6377927.43402	-50938.79444	0.05021	0.00438	0.01171	2011.000	0.0037	0.0121	0.0032	0.00050	0.00240	0.00050
BALZ_GPS	1117263.50665	-6277741.99810	-151195.54585	-0.00414	0.05764	0.01089	2011.000	0.0106	0.0361	0.0064	0.00300	0.01110	0.00180
BAYO_GPS	985510.51198	-6268895.12681	-640158.25923	-0.00260	-0.00082	0.00591	2011.000	0.0027	0.0042	0.0018	0.00160	0.00410	0.00110
BDOS_GPS	3143382.25605	-5359714.74434	1434875.86971	0.00800	0.01338	0.01339	2011.000	0.0065	0.0092	0.0032	0.00100	0.00140	0.00050
BHSL_GPS	1383807.63398	-6188246.72063	684577.20588	0.00615	-0.00309	0.01693	2011.000	0.0060	0.0163	0.0044	0.00370	0.01230	0.00240
BILB_GPS	1271497.26340	-6250483.17318	-160004.22121	-0.00363	-0.00445	0.00686	2011.000	0.0006	0.0023	0.0003	0.00090	0.00300	0.00070
BOGT_GPS	1744398.94906	-6116037.22979	512731.82114	-0.01116	0.04078	0.01282	2011.000	0.0062	0.0110	0.0070	0.00060	0.00140	0.00060
BRAZ_GPS	4115014.06832	-4550641.58454	-1741443.88112	-0.00106	-0.00452	0.01218	2011.000	0.0037	0.0041	0.0019	0.00060	0.00060	0.00030
BRFT_GPS	4985393.51411	-3954993.43743	-428426.63232	-0.00282	-0.00385	0.01243	2011.000	0.0084	0.0069	0.0045	0.00080	0.00060	0.00030
BRMU_GPS	2304703.39699	-4874817.16391	3395186.99368	-0.01294	0.00040	0.00690	2011.000	0.0047	0.0076	0.0059	0.00050	0.00080	0.00060
BUCM_GPS	1831641.14257	-6059722.49712	785111.63898	0.00229	0.00438	0.01559	2011.000	0.0060	0.0137	0.0042	0.00330	0.00940	0.00200
BUE1_GPS	2745499.07775	-4483636.59050	-3599054.43689	0.00302	-0.00471	0.00974	2011.000	0.0018	0.0025	0.0023	0.00050	0.00070	0.00060
BUFE_GPS	1163484.49478	-6270490.50081	-96980.39237	-0.00031	0.01406	0.01182	2011.000	0.0097	0.0270	0.0052	0.00360	0.01090	0.00180
BVEN_GPS	1432332.87750	-6200814.30967	422085.46097	0.00115	-0.00148	0.01782	2011.000	0.0061	0.0164	0.0042	0.00380	0.01240	0.00220
CABP_GPS	1060520.48041	-6289331.36789	-42733.72130	0.01274	0.00194	0.01232	2011.000	0.0005	0.0015	0.0006	0.00080	0.00210	0.00100
CAJA_GPS	1190521.27717	-6262902.58043	-304509.41125	-0.00040	0.00479	0.00799	2011.000	0.0047	0.0169	0.0029	0.00080	0.00270	0.00050
CAJM_GPS	1599636.56417	-6156649.48570	490357.40877	0.00181	0.00020	0.01718	2011.000	0.0094	0.0258	0.0058	0.00820	0.02430	0.00460
CALO_GPS	1501897.53031	-6187614.88772	387329.03100	-0.00687	0.01697	0.02109	2011.000	0.0054	0.0136	0.0039	0.00260	0.00870	0.00150
CAME_GPS	1271548.71483	-6253386.55167	-75202.67084	0.00451	0.00337	0.01068	2011.000	0.0006	0.0020	0.0003	0.00090	0.00220	0.00040
CAPA_GPS	1055618.39939	-6290067.69744	-40786.08823	0.01999	0.00682	0.01297	2011.000	0.0014	0.0050	0.0004	0.00120	0.00490	0.00040
CAQU_GPS	1758163.04834	-6113711.96912	486465.60590	-0.00078	0.00120	0.00870	2011.000	0.0086	0.0224	0.0051	0.00700	0.01990	0.00350
CART_GPS	1567348.66613	-6075293.55237	1142850.90752	0.01079	0.00092	0.01349	2011.000	0.0041	0.0097	0.0033	0.00290	0.00940	0.00220
CASI_GPS	1274466.93465	-6253122.06003	-4045.83645	0.00504	0.00998	0.01144	2011.000	0.0061	0.0192	0.0041	0.00170	0.00590	0.00100
CATE_GPS	1279936.92288	-6251109.87472	22.93703	0.00813	-0.01111	0.00929	2011.000	0.0057	0.0180	0.0035	0.00130	0.00480	0.00070
CFAG_GPS	2016584.92310	-5050165.65439	-3323308.69613	0.00836	-0.00312	0.01010	2011.000	0.0011	0.0025	0.0017	0.00030	0.00060	0.00040

STATION	X (m)	Y (m)	Z (m)	v(X)m/a	v(Y)m/a	v(Z)m/a	EPOCA	σ_X (m)	σ_Y (m)	σ_Z (m)	σ_{vX} (m)	σ_{vY} (m)	σ_{vZ} (m)
CHIS_GPS	1027491.10999	-6294072.99651	-116441.80096	0.01085	0.00300	0.01524	2011.000	0.0005	0.0018	0.0003	0.00060	0.00140	0.00040
CHON_GPS	1275781.31330	-6250090.28983	-158520.05282	0.00315	-0.01014	0.00948	2011.000	0.0005	0.0018	0.0003	0.00080	0.00190	0.00040
CHPI_GPS	4164613.88337	-4162456.91406	-2445028.73013	0.00109	-0.00666	0.01134	2011.000	0.0011	0.0011	0.0007	0.00080	0.00080	0.00050
CLPI_GPS	1180486.09522	-6259533.54378	-359832.77256	0.00196	-0.01021	0.00535	2011.000	0.0060	0.0234	0.0038	0.00290	0.01130	0.00180
CNJO_GPS	1451665.82779	-6210980.21443	26329.59529	0.00281	-0.02425	0.00965	2011.000	0.0051	0.0136	0.0034	0.00120	0.00400	0.00070
CONE_GPS	1281808.59808	-6252066.68869	-73023.43840	0.00261	0.00321	0.01031	2011.000	0.0005	0.0017	0.0003	0.00050	0.00130	0.00040
CONT_GPS	1492032.80603	-4887961.17475	-3803553.59978	0.03494	0.00021	0.01830	2011.000	0.0013	0.0025	0.0020	0.00060	0.00130	0.00100
COPO_3PS	1907040.87987	-5337379.03198	-2916334.74928	0.02456	-0.00531	0.01193	2011.000	0.0015	0.0029	0.0024	0.00090	0.00200	0.00140
CORA_GPS	1208411.06191	-6262932.00709	-125872.52711	0.00370	-0.00711	0.01069	2011.000	0.0051	0.0156	0.0035	0.00140	0.00460	0.00080
CORD_GPS	2345503.89679	-4910842.84860	-3316365.28297	0.00317	-0.00307	0.01104	2011.000	0.0046	0.0077	0.0055	0.00170	0.00330	0.00230
CORE_GPS	1269576.19771	-6253619.11329	-36268.78179	0.00679	-0.00559	0.01086	2011.000	0.0059	0.0213	0.0037	0.00110	0.00410	0.00060
COYQ_GPS	1391587.22441	-4255574.49036	-4527925.91121	0.00264	-0.00458	0.00614	2011.000	0.0065	0.0161	0.0167	0.00060	0.00110	0.00110
CROI_GPS	2607771.26846	-5488076.65421	1932767.86640	0.00785	0.00866	0.01262	2011.000	0.0056	0.0094	0.0041	0.00050	0.00080	0.00040
CUEC_GPS	1215704.32967	-6255712.18586	-318818.94543	0.00036	-0.00340	0.00710	2011.000	0.0005	0.0019	0.0004	0.00070	0.00200	0.00060
CUEL_GPS	1268386.05459	-6252652.29389	43087.55064	0.01072	-0.01415	0.00893	2011.000	0.0049	0.0139	0.0034	0.00120	0.00420	0.00070
CUER_GPS	1157791.03684	-6266886.55023	-260746.39981	-0.00149	0.01331	0.01265	2011.000	0.0050	0.0175	0.0034	0.00110	0.00420	0.00070
DAGU_GPS	1470831.32401	-6194901.66410	397060.99340	0.00050	-0.00439	0.01777	2011.000	0.0075	0.0220	0.0048	0.00580	0.01970	0.00320
DAUL_GPS	1107455.88252	-6277833.81042	-207462.77331	0.00239	0.02187	0.01278	2011.000	0.0098	0.0265	0.0052	0.00440	0.01230	0.00200
DESV_GPS	1115752.76531	-6279047.22437	-115050.10998	0.00630	0.00087	0.01257	2011.000	0.0029	0.0113	0.0019	0.00060	0.00230	0.00040
EISL_GPS	-1884950.85388	-5357596.13888	-2892890.57933	0.06483	-0.01892	-0.00586	2011.000	0.0036	0.0080	0.0047	0.00050	0.00110	0.00060
ELCH_GPS	1347468.45132	-6235674.12624	-36993.92014	-0.00070	-0.00057	0.01017	2011.000	0.0043	0.0151	0.0026	0.00060	0.00200	0.00040
ELEN_GPS	14103.73429	-6103995.01835	1843981.74604	-0.00826	0.00085	0.00111	2011.000	0.0004	0.0025	0.0008	0.00040	0.00150	0.00050
ESMR_GPS	1137650.22292	-6275257.47386	103347.70200	0.01445	0.00236	0.01538	2011.000	0.0016	0.0038	0.0013	0.00050	0.00120	0.00040
ESTI_GPS	394283.61805	-6201541.40152	1436325.92771	0.01306	0.00219	0.01306	2011.000	0.0033	0.0091	0.0033	0.00100	0.00430	0.00130
FACA_GPS	1700704.91244	-6126721.61687	512374.72219	0.00072	0.01268	0.01439	2011.000	0.0086	0.0243	0.0052	0.00680	0.02130	0.00370
FLFR_GPS	1124843.05726	-6278445.86230	-39524.35133	0.01113	-0.00282	0.01094	2011.000	0.0006	0.0020	0.0005	0.00080	0.00230	0.00080
FORT_GPS	4985386.59880	-3954998.63804	-428426.29839	-0.00282	-0.00385	0.01243	2011.000	0.0083	0.0072	0.0030	0.00080	0.00060	0.00030
FRAN_GPS	1211186.87509	-6256114.49682	-332581.97765	-0.00371	0.00026	0.01185	2011.000	0.0042	0.0171	0.0027	0.00220	0.00860	0.00150
FUSA_GPS	1713874.23054	-6126237.65752	481496.02350	-0.00179	0.00470	0.01157	2011.000	0.0080	0.0219	0.0050	0.00640	0.01960	0.00350
GALA_GPS	-33795.39720	-6377522.67675	-82120.74064	0.05094	-0.00341	0.01022	2011.000	0.0028	0.0091	0.0022	0.00020	0.00080	0.00020
GINE_GPS	1512796.42235	-6183384.15700	413243.24119	-0.01311	0.02690	0.01777	2011.000	0.0083	0.0257	0.0052	0.00690	0.02380	0.00390
GLPS_GPS	-33801.34883	-6377516.53510	-82154.32297	0.05094	-0.00341	0.01022	2011.000	0.0012	0.0032	0.0011	0.00020	0.00080	0.00020
GONZ_GPS	1167141.83657	-6255085.08120	-467068.38535	-0.00009	-0.00338	0.00685	2011.000	0.0036	0.0138	0.0025	0.00060	0.00230	0.00040
GOUG_GPS	4795578.74841	-835299.26604	-4107633.85161	0.01536	0.01915	0.01353	2011.000	0.0082	0.0079	0.0079	0.00160	0.00110	0.00150
GPH1_GPS	1116025.35840	-6272423.96269	-302554.73034	0.00265	-0.00445	0.01073	2011.000	0.0031	0.0095	0.0022	0.00170	0.00670	0.00100
GUAQ_GPS	1151778.65035	-6260056.52925	-423315.43177	-0.00250	-0.01322	0.00387	2011.000	0.0072	0.0226	0.0048	0.00290	0.01020	0.00170
GUAY_GPS	1114881.15666	-6275609.10367	-233719.50681	-0.00204	0.01715	0.01241	2011.000	0.0102	0.0244	0.0053	0.00460	0.01100	0.00210
GYEC_GPS	1118628.43440	-6274783.81467	-237610.24484	0.00417	0.00175	0.01385	2011.000	0.0005	0.0017	0.0004	0.00070	0.00180	0.00070
HATO_GPS	1984808.30421	-6023286.08438	679196.99135	-0.00500	-0.00515	0.01149	2011.000	0.0093	0.0216	0.0052	0.00750	0.01860	0.00360
HENO_GPS	1472874.85332	-6206011.14566	-14584.85853	0.00209	-0.02014	0.00896	2011.000	0.0067	0.0197	0.0040	0.00140	0.00460	0.00070
HONA_GPS	1197782.50366	-6255217.58847	-384330.72389	0.00039	-0.00608	0.00728	2011.000	0.0033	0.0118	0.0021	0.00050	0.00170	0.00040
HSPR_GPS	1233613.65781	-6258993.26725	-38879.82501	0.00759	0.00015	0.01090	2011.000	0.0007	0.0019	0.0004	0.00090	0.00210	0.00050
HUAC_GPS	1347493.13603	-6234958.82031	-78220.16616	0.00082	-0.00289	0.00815	2011.000	0.0047	0.0135	0.0030	0.00080	0.00250	0.00050
HUAM_GPS	1277109.42232	-6249244.21587	-201808.65425	0.01414	-0.06168	0.00108	2011.000	0.0116	0.0305	0.0058	0.00890	0.01390	0.00340
HUAR_GPS	1286293.85229	-6146822.20074	-1111447.19174	0.00682	-0.00046	0.00965	2011.000	0.0018	0.0033	0.0013	0.00160	0.00410	0.00120
IBG2_GPS	1617073.63437	-6151965.52112	488361.13943	-0.00420	0.04296	0.01081	2011.000	0.0081	0.0225	0.0050	0.00630	0.01940	0.00340
IGMV_GPS	1272868.52479	-6252770.09705	-23800.26652	0.01353	-0.03145	0.00920	2011.000	0.0042	0.0133	0.0028	0.00120	0.00430	0.00070
IGNA_GPS	1244443.82616	-6257344.30362	-49874.59993	0.01039	-0.02343	0.01158	2011.000	0.0033	0.0114	0.0021	0.00060	0.00190	0.00040
IQQE_GPS	2034208.60499	-5629172.31432	-2196141.78457	0.02428	0.00221	0.01519	2011.000	0.0099	0.0235	0.0094	0.00080	0.00170	0.00080
ISPA_GPS	-1881703.27573	-5359979.83490	-2890599.26667	0.06440	-0.01896	-0.00542	2011.000	0.0006	0.0014	0.0008	0.00050	0.00110	0.00060
ISPT_GPS	989463.48901	-6299556.79096	-139553.26017	0.02978	0.01057	0.01490	2011.000	0.0009	0.0021	0.0005	0.00090	0.00230	0.00050
JAMA_GPS	1388059.31175	-5909149.09856	1951964.00337	-0.04359	-0.00242	0.01445	2011.000	0.0156	0.0103	0.0053	0.00250	0.00260	0.00110

STATION	X (m)	Y (m)	Z (m)	v(X)m/a	v(Y)m/a	v(Z)m/a	EPOCA	σ_X (m)	σ_Y (m)	σ_Z (m)	σ_{vX} (m)	σ_{vY} (m)	σ_{vZ} (m)
JER1_GPS	1287539.77503	-6249171.19624	-598.86211	-0.01320	0.08316	0.01156	2011.000	0.0056	0.0181	0.0036	0.00150	0.00560	0.00090
JERU_GPS	1287539.56720	-6249170.27948	-623.78915	0.00198	0.01536	0.01169	2011.000	0.0036	0.0107	0.0024	0.00050	0.00140	0.00030
JICA_GPS	1117215.66285	-6274499.69308	-251144.75799	0.00398	0.00028	0.01282	2011.000	0.0039	0.0151	0.0025	0.00120	0.00480	0.00080
JUJA_GPS	1155803.70504	-6269043.90641	-209422.66558	0.00878	-0.02002	0.01186	2011.000	0.0050	0.0190	0.0031	0.00110	0.00360	0.00060
KOU1_2PS	3839590.21830	-5059568.31128	579957.90460	-0.00438	-0.00214	0.01228	2011.000	0.0048	0.0061	0.0021	0.00060	0.00070	0.00030
KOUR_GPS	3839591.35837	-5059567.57658	579957.11295	-0.00438	-0.00214	0.01228	2011.000	0.0062	0.0079	0.0034	0.00060	0.00070	0.00030
LACH_GPS	1280823.90890	-6250783.21648	17809.58635	0.00550	-0.00216	0.01186	2011.000	0.0070	0.0253	0.0040	0.00420	0.01440	0.00240
LATA_GPS	1258247.97219	-6255142.64207	-90040.69279	0.00641	-0.00895	0.01062	2011.000	0.0022	0.0075	0.0014	0.00040	0.00110	0.00030
LCOL_GPS	1194824.39785	-6265695.12808	-27631.83642	0.00761	0.00495	0.01165	2011.000	0.0056	0.0167	0.0039	0.00060	0.00210	0.00040
LGCB_GPS	1154081.99998	-6272876.10125	42246.29904	0.01244	-0.00070	0.01250	2011.000	0.0006	0.0017	0.0004	0.00070	0.00180	0.00050
LHCL_GPS	2079355.62856	-4582903.50270	-3905925.61970	0.00244	-0.00670	0.00747	2011.000	0.0019	0.0034	0.0029	0.00040	0.00070	0.00060
LIBE_GPS	1007439.56491	-6293276.33385	-245319.82732	0.00735	0.00220	0.01049	2011.000	0.0037	0.0104	0.0028	0.00140	0.00550	0.00100
LIMO_GPS	1475928.26406	-6205128.77454	-44591.87311	0.00482	-0.02867	0.01182	2011.000	0.0074	0.0211	0.0040	0.00230	0.00540	0.00100
LITA_GPS	1302374.88614	-6244301.79301	80318.94484	0.00598	0.00635	0.01191	2011.000	0.0006	0.0023	0.0004	0.00170	0.00590	0.00140
LITS_GPS	1277255.04141	-6248860.97659	96232.58969	0.00762	0.00414	0.01164	2011.000	0.0033	0.0111	0.0021	0.00050	0.00160	0.00030
LJEC_GPS	1192829.01310	-6252161.65298	-440799.16555	-0.00001	-0.00387	0.00600	2011.000	0.0008	0.0031	0.0004	0.00270	0.00630	0.00070
LORO_GPS	1543863.07221	-6186090.35240	-178366.51334	-0.00713	0.00768	0.01153	2011.000	0.0042	0.0136	0.0022	0.00140	0.00450	0.00080
LPGS_GPS	2780103.01647	-4437418.96480	-3629404.45583	0.00323	-0.00782	0.00831	2011.000	0.0014	0.0022	0.0018	0.00030	0.00050	0.00040
LUMD_GPS	1400034.87428	-6223696.02271	923.22982	-0.00135	0.00026	0.00963	2011.000	0.0062	0.0218	0.0033	0.00080	0.00270	0.00040
MACH_GPS	1109230.59304	-6270567.26707	-359891.48835	0.00117	0.00399	0.00951	2011.000	0.0042	0.0168	0.0027	0.00150	0.00610	0.00090
MALD_GPS	1226753.21178	-6257952.24541	118319.16899	0.00402	0.01426	0.00925	2011.000	0.0078	0.0279	0.0048	0.00660	0.02350	0.00400
MANA_GPS	407981.88604	-6222925.65586	1333529.02047	0.00659	0.00845	0.00658	2011.000	0.0028	0.0100	0.0027	0.00040	0.00120	0.00030
MANT_GPS	1033767.58521	-6292977.17086	-103559.54292	-0.02288	0.21233	0.01610	2011.000	0.0092	0.0281	0.0055	0.00260	0.00980	0.00160
MARI_GPS	1511193.56642	-6196844.07965	-5485.12974	-0.00286	0.00016	0.00861	2011.000	0.0065	0.0181	0.0042	0.00510	0.01550	0.00280
MDOI_GPS	-1329998.85240	-5328393.39242	3236504.12754	-0.01292	-0.00127	-0.00555	2011.000	0.0051	0.0078	0.0050	0.00040	0.00080	0.00050
MEGA_GPS	1683068.45910	-6134917.20023	463507.11371	-0.00606	0.02562	0.01128	2011.000	0.0084	0.0230	0.0053	0.00660	0.01980	0.00380
MEND_GPS	1289928.45174	-6239578.37314	-300396.57946	0.00111	-0.00495	0.00738	2011.000	0.0053	0.0171	0.0034	0.00080	0.00280	0.00050
MIGU_GPS	1212639.48434	-6261523.71921	-188397.16664	0.00375	-0.00104	0.01005	2011.000	0.0053	0.0191	0.0034	0.00090	0.00310	0.00060
MINA_1PS	1076923.26220	-6286229.38112	-106506.35977	0.00504	0.00395	0.01257	2011.000	0.0048	0.0178	0.0032	0.00100	0.00430	0.00060
MIRA_GPS	1271253.58376	-6253369.08976	-29914.66757	0.00400	0.00751	0.01010	2011.000	0.0061	0.0189	0.0039	0.00120	0.00390	0.00070
MIRD_GPS	1199117.38734	-6264593.10126	-64440.95735	-0.00708	0.05293	0.01485	2011.000	0.0055	0.0168	0.0037	0.00200	0.00570	0.00110
MOCA_GPS	1161097.33684	-6270253.81211	-131256.54563	0.00536	-0.00073	0.01187	2011.000	0.0096	0.0265	0.0051	0.00080	0.00280	0.00050
MOCO_GPS	1477470.71585	-6204105.37540	108526.92222	0.00001	0.00000	0.00000	2011.000	0.0125	0.0401	0.0079	1.00000	1.00000	1.00000
MOIN_GPS	755369.27471	-6236567.59895	1098851.00687	0.01219	0.01148	0.00205	2011.000	0.0044	0.0112	0.0039	0.00160	0.00530	0.00130
MONO_GPS	1558626.19888	-6106201.89576	979721.35959	0.01005	0.00795	0.01368	2011.000	0.0058	0.0146	0.0045	0.00320	0.01030	0.00230
MONT_GPS	1435985.57992	-6210458.64077	-228555.53958	-0.00182	-0.00418	0.00944	2011.000	0.0032	0.0107	0.0018	0.00120	0.00400	0.00070
MORU_GPS	1276822.61751	-6252936.69527	-80254.63279	0.00355	0.00337	0.01115	2011.000	0.0006	0.0021	0.0003	0.00070	0.00190	0.00050
MUIS_GPS	1104889.61977	-6281366.60268	66841.94644	0.01399	0.00807	0.01387	2011.000	0.0028	0.0097	0.0019	0.00040	0.00140	0.00030
MULM_GPS	1267251.24384	-6252924.75567	-159056.40466	0.01276	-0.07918	0.00840	2011.000	0.0053	0.0150	0.0037	0.00090	0.00330	0.00050
MZAL_GPS	1594538.28668	-6152563.19216	555672.44481	0.00034	0.00936	0.02034	2011.000	0.0057	0.0141	0.0040	0.00280	0.00880	0.00160
NARI_GPS	1157313.72800	-6266564.37601	-347396.61159	-0.00246	0.00782	0.00838	2011.000	0.0036	0.0143	0.0024	0.00090	0.00290	0.00050
OMBL_GPS	1631940.05394	-6146956.14676	493934.12005	-0.00252	0.01525	0.00849	2011.000	0.0088	0.0254	0.0055	0.00700	0.02220	0.00400
OYAM_GPS	1290816.97463	-6248789.23837	-22499.46739	0.00968	-0.04428	0.01945	2011.000	0.0082	0.0276	0.0048	0.00850	0.02750	0.00480
PAIL_GPS	1531202.12977	-6174104.12127	476677.16964	-0.00456	0.01467	0.01450	2011.000	0.0076	0.0222	0.0050	0.00640	0.02090	0.00380
PAJA_GPS	1060203.86893	-6287184.57512	-171829.19493	0.03406	-0.15790	0.00773	2011.000	0.0060	0.0196	0.0041	0.00190	0.00770	0.00120
PAMI_GPS	1304158.19351	-6247566.26349	-8818.50543	0.00345	0.00241	0.01166	2011.000	0.0043	0.0163	0.0024	0.00060	0.00200	0.00030
PANE_GPS	1270194.01486	-6253432.51230	-25342.64271	0.00093	0.00632	0.01396	2011.000	0.0091	0.0321	0.0055	0.01110	0.02580	0.00690
PAPA_GPS	1311403.53889	-6244951.94602	-42137.56518	0.01532	-0.05289	0.01334	2011.000	0.0029	0.0101	0.0018	0.00050	0.00170	0.00030
PARA_GPS	3763751.65866	-4365113.85839	-2724404.56761	0.00125	-0.00674	0.01085	2011.000	0.0033	0.0039	0.0025	0.00060	0.00070	0.00040
PARC_GPS	1255992.49681	-3622975.14926	-5079719.20680	0.00817	-0.00526	0.00878	2011.000	0.0053	0.0084	0.0097	0.00070	0.00100	0.00120
PASO_GPS	1406730.58208	-6222414.28488	134506.09779	0.00089	-0.00002	0.01640	2011.000	0.0055	0.0148	0.0038	0.00280	0.01000	0.00150
PAZA_GPS	1972622.72738	-6030660.72042	648905.22289	-0.00676	-0.01389	0.01263	2011.000	0.0101	0.0221	0.0054	0.00840	0.01890	0.00380

STATION	X (m)	Y (m)	Z (m)	v(X)m/a	v(Y)m/a	v(Z)m/a	EPOCA	σ_X (m)	σ_Y (m)	σ_Z (m)	σ_{vX} (m)	σ_{vY} (m)	σ_{vZ} (m)
PDNS_GPS	1108559.53903	-6281190.00526	12322.99125	0.01399	0.00095	0.01423	2011.000	0.0005	0.0017	0.0004	0.00080	0.00220	0.00070
PINT_GPS	1287975.20147	-6249910.94460	-46481.16440	0.00768	-0.00825	0.01408	2011.000	0.0076	0.0242	0.0043	0.00410	0.01370	0.00220
PITA_GPS	1482143.67148	-6196909.78011	316704.36933	0.01548	-0.00389	0.01992	2011.000	0.0078	0.0230	0.0049	0.00620	0.02040	0.00330
POSO_GPS	1079666.04597	-6278935.02337	-299565.77423	0.00186	0.00850	0.00860	2011.000	0.0032	0.0115	0.0023	0.00370	0.01650	0.00230
POVE_GPS	2774265.60675	-5662060.15683	-959415.85731	-0.00063	-0.00709	0.01113	2011.000	0.0013	0.0020	0.0010	0.00140	0.00200	0.00110
PPRT_GPS	1083820.02444	-6285437.76020	-13856.08561	0.01463	0.00561	0.01570	2011.000	0.0011	0.0030	0.0009	0.00070	0.00180	0.00050
PROG_GPS	1066545.26227	-6282722.88392	-266495.56359	0.00519	0.00180	0.01199	2011.000	0.0037	0.0139	0.0023	0.00060	0.00210	0.00040
PTEC_GPS	1055320.80773	-6289193.95688	-116986.48095	0.00814	-0.00119	0.01302	2011.000	0.0054	0.0044	0.0036	0.00310	0.00440	0.00200
PTEJ_GPS	1495150.89940	-6191128.43268	356228.05124	-0.01012	0.03343	0.02409	2011.000	0.0076	0.0206	0.0046	0.00730	0.01770	0.00330
PTGL_GPS	1104165.62649	-6281502.63315	86418.46066	0.01847	0.00437	0.01410	2011.000	0.0006	0.0020	0.0004	0.00090	0.00230	0.00060
PTQT_GPS	1189482.79162	-6266393.35969	13600.77134	0.00972	0.00774	0.00958	2011.000	0.0006	0.0025	0.0004	0.00190	0.00710	0.00150
PUEB_GPS	1158544.03045	-6269684.77838	-172351.54869	0.00619	-0.00226	0.01016	2011.000	0.0062	0.0196	0.0041	0.00080	0.00300	0.00050
PUYO_GPS	1318892.48569	-6239145.65599	-166400.35334	0.00224	-0.01764	0.00725	2011.000	0.0031	0.0112	0.0019	0.00080	0.00270	0.00050
QNDE_GPS	1165008.59970	-6270855.01261	36218.28817	0.01038	0.00368	0.01109	2011.000	0.0037	0.0116	0.0026	0.00060	0.00200	0.00040
QUEM_GPS	1272483.46611	-6252975.33871	-26224.31100	0.00776	0.00260	0.01138	2011.000	0.0005	0.0017	0.0003	0.00070	0.00170	0.00040
QUI1_GPS	1272867.36702	-6252772.13908	-23801.70284	0.00693	0.00221	0.01085	2011.000	0.0009	0.0025	0.0006	0.00030	0.00080	0.00020
RCM5_GPS	961334.63119	-5674074.19165	2740535.20542	-0.00909	-0.00102	0.00272	2011.000	0.0073	0.0110	0.0078	0.00130	0.00290	0.00170
REDO_GPS	1321839.76827	-6243514.98563	33681.68865	-0.04267	0.20788	0.00935	2011.000	0.0059	0.0175	0.0039	0.00220	0.00730	0.00120
RETU_GPS	1278253.72506	-6250662.52280	-160615.18204	0.00784	-0.01116	0.00929	2011.000	0.0011	0.0036	0.0005	0.00180	0.00650	0.00080
REVE_GPS	1377878.81408	-6229006.78346	-5227.60058	-0.00226	0.00403	0.00732	2011.000	0.0045	0.0149	0.0027	0.00060	0.00200	0.00040
RIO2_GPS	1429907.83391	-3495354.86233	-5122698.59287	0.00777	-0.00851	0.00611	2011.000	0.0005	0.0009	0.0013	0.00030	0.00060	0.00080
RIOB_GPS	1261675.98010	-6252281.35435	-188115.74906	-0.00592	0.04495	0.00753	2011.000	0.0051	0.0139	0.0037	0.00250	0.00940	0.00140
RIOG_GPS	1429907.84024	-3495354.86578	-5122698.59411	0.00777	-0.00851	0.00611	2011.000	0.0062	0.0135	0.0188	0.00030	0.00060	0.00080
RION_GPS	1595819.02547	-6139529.15319	681878.03454	0.00297	0.00467	0.01557	2011.000	0.0060	0.0150	0.0042	0.00350	0.01110	0.00210
RIOP_GPS	1255144.97293	-6253609.44884	-182569.79200	-0.00051	-0.00061	0.00568	2011.000	0.0026	0.0079	0.0019	0.00040	0.00130	0.00020
ROLD_GPS	1522785.89867	-6175437.68140	486367.49513	-0.00002	0.01408	0.01172	2011.000	0.0097	0.0260	0.0055	0.01000	0.02340	0.00470
RVRD_GPS	1174706.43147	-6267955.81719	118045.83600	0.01634	0.00063	0.01433	2011.000	0.0007	0.0022	0.0004	0.00090	0.00240	0.00050
S031_GPS	2745499.06509	-4483636.55896	-3599054.42601	0.00302	-0.00471	0.00974	2011.000	0.0023	0.0036	0.0030	0.00050	0.00070	0.00060
SABA_GPS	1082557.67595	-6282352.83808	-203529.68214	0.00223	0.01099	0.01092	2011.000	0.0339	0.0548	0.0145	0.00080	0.00290	0.00050
SACH_GPS	1276850.82109	-6252888.06066	-71341.37944	0.00386	-0.00129	0.01015	2011.000	0.0005	0.0017	0.0002	0.00080	0.00180	0.00040
SALN_GPS	998058.98315	-6294989.81106	-241683.61486	0.00863	0.00200	0.01225	2011.000	0.0005	0.0018	0.0003	0.00110	0.00270	0.00080
SALU_GPS	4566947.87438	-4443098.51751	-286674.66541	-0.00414	-0.00197	0.01286	2011.000	0.0013	0.0013	0.0006	0.00150	0.00150	0.00110
SALY_GPS	1206945.36676	-6196599.68706	-906695.96643	-0.00035	-0.00158	0.00671	2011.000	0.0020	0.0033	0.0009	0.00180	0.00410	0.00100
SANA_GPS	895798.99023	-6162595.00608	1374026.30343	0.01454	0.00267	0.00959	2011.000	0.0051	0.0143	0.0049	0.00250	0.01040	0.00290
SANL_GPS	1235438.79813	-6255768.13214	141687.28163	0.00679	0.01443	0.00872	2011.000	0.0053	0.0192	0.0033	0.00450	0.01690	0.00250
SANT_GPS	1769693.62644	-5044574.18129	-3468320.86225	0.02069	-0.00354	0.01199	2011.000	0.0085	0.0096	0.0076	0.00060	0.00080	0.00060
SAVO_GPS	4870283.74360	-3864605.31756	-1418872.47983	-0.00019	-0.00541	0.01360	2011.000	0.0019	0.0015	0.0009	0.00200	0.00160	0.00090
SBAR_GPS	1378283.32980	-6229799.24695	71487.92241	-0.00056	0.00577	0.01246	2011.000	0.0055	0.0175	0.0033	0.00080	0.00250	0.00040
SCHA_GPS	1444310.76207	-6212704.12724	-36097.90671	-0.00793	0.00981	0.00913	2011.000	0.0137	0.0321	0.0064	0.00280	0.00680	0.00130
SCUB_2PS	1474538.05673	-5811243.26336	2168958.84928	-0.00638	0.00103	0.00434	2011.000	0.0005	0.0015	0.0006	0.00040	0.00130	0.00060
SEVG_GPS	1103684.42903	-6281112.97076	-107676.79313	0.00610	0.00153	0.00968	2011.000	0.0011	0.0041	0.0008	0.00180	0.00720	0.00150
SFCO_GPS	1249432.46225	-6253463.02915	120683.46659	0.00560	0.00975	0.01341	2011.000	0.0060	0.0208	0.0038	0.00460	0.01710	0.00260
SIBU_GPS	1441097.40884	-6213947.38839	132475.57297	0.00125	0.01326	0.01276	2011.000	0.0075	0.0218	0.0046	0.00570	0.01900	0.00300
SLOR_GPS	277529.00967	-6198801.78440	1471065.65420	0.00646	0.00350	0.00573	2011.000	0.0035	0.0105	0.0037	0.00200	0.01230	0.00340
SLRZ_GPS	1380772.63924	-6083088.66638	-1326220.34297	0.02223	-0.00245	0.01292	2011.000	0.0007	0.0018	0.0005	0.00180	0.00410	0.00150
SNLR_GPS	1233412.56307	-6256121.71866	142907.63440	0.01073	-0.00154	0.00893	2011.000	0.0006	0.0023	0.0004	0.00130	0.00450	0.00130
SNTI_GPS	1323179.41190	-6230532.01678	-337061.15751	-0.00026	-0.00264	0.00678	2011.000	0.0068	0.0195	0.0034	0.00110	0.00230	0.00050
SOZO_GPS	1127380.13814	-6260958.36628	-478884.85385	-0.00141	-0.00144	0.00689	2011.000	0.0038	0.0140	0.0024	0.00100	0.00210	0.00050
SRAM_GPS	1155634.28171	-6272347.41972	-67447.27221	0.00760	0.00423	0.01122	2011.000	0.0055	0.0200	0.0035	0.00330	0.01230	0.00190
SROQ_GPS	1518830.87758	-6194692.59143	-50177.77825	-0.00085	-0.02519	0.01288	2011.000	0.0086	0.0252	0.0052	0.00310	0.00790	0.00190
SSIA_4PS	95567.03869	-6197785.57351	1500590.58537	0.00740	0.00299	0.00782	2011.000	0.0005	0.0025	0.0010	0.00030	0.00150	0.00060
STAA_GPS	1064869.70816	-6287318.59788	-130769.78272	0.00395	0.00046	0.01207	2011.000	0.0027	0.0099	0.0018	0.00070	0.00190	0.00040

STATION	X (m)	Y (m)	Z (m)	v(X)m/a	v(Y)m/a	v(Z)m/a	EPOCA	σ_X (m)	σ_Y (m)	σ_Z (m)	σ_{vX} (m)	σ_{vY} (m)	σ_{vZ} (m)
TAMB_GPS	1283160.32310	-6251690.68151	-76036.67611	0.00378	-0.00240	0.01034	2011.000	0.0006	0.0019	0.0003	0.00070	0.00180	0.00030
TAMI_GPS	1395589.80282	-6222318.45475	175544.96840	0.00002	0.00202	0.01529	2011.000	0.0076	0.0217	0.0045	0.00560	0.01840	0.00280
TEBA_GPS	1563658.27680	-6165105.97261	491129.40044	-0.00345	0.01410	0.01750	2011.000	0.0081	0.0222	0.0050	0.00660	0.02040	0.00360
TETE_GPS	1485449.07487	-6203026.48775	19560.69608	0.00423	0.03320	0.01019	2011.000	0.0098	0.0224	0.0048	0.00630	0.01050	0.00180
TIPI_GPS	1520829.68449	-6194390.64898	21586.65300	-0.02071	0.02190	0.00987	2011.000	0.0140	0.0307	0.0064	0.00680	0.01430	0.00280
TOLA_GPS	1211778.78372	-6260546.69987	133814.37872	0.00908	0.01304	0.01054	2011.000	0.0037	0.0123	0.0025	0.00060	0.00200	0.00040
TORR_GPS	1202278.03286	-6262084.60622	-230702.45838	0.00235	0.00518	0.01027	2011.000	0.0044	0.0173	0.0027	0.00060	0.00210	0.00040
TOTO_GPS	1252505.86154	-6252757.32874	-249641.15949	0.00065	0.00027	0.00678	2011.000	0.0030	0.0106	0.0019	0.00050	0.00150	0.00030
TUCU_GPS	2386117.18245	-5171223.27337	-2862949.04888	0.00213	0.00023	0.00974	2011.000	0.0056	0.0093	0.0073	0.00080	0.00130	0.00100
TULC_GPS	1358654.21291	-6234130.63715	89827.59273	0.00251	0.00180	0.01218	2011.000	0.0033	0.0105	0.0021	0.00070	0.00230	0.00040
TUM1_GPS	1243246.81138	-6252583.91170	200291.58557	0.00636	0.01099	0.01476	2011.000	0.0054	0.0154	0.0039	0.00250	0.00970	0.00150
TUMA_GPS	1243245.79763	-6252584.96781	200266.57966	0.00636	0.01099	0.01476	2011.000	0.0055	0.0164	0.0039	0.00250	0.00970	0.00150
TURI_GPS	1263890.97114	-6254888.11682	-40699.59667	0.01183	-0.00930	0.01032	2011.000	0.0063	0.0210	0.0038	0.00340	0.01220	0.00190
UFPR_GPS	3763751.67039	-4365113.86995	-2724404.57658	0.00125	-0.00674	0.01085	2011.000	0.0010	0.0012	0.0008	0.00060	0.00070	0.00040
UNGU_GPS	1266063.34718	-6254832.19455	-26259.67763	0.00692	0.00261	0.01036	2011.000	0.0046	0.0180	0.0027	0.00080	0.00290	0.00050
UNSA_GPS	2412830.46226	-5271936.73880	-2652208.96485	0.00526	-0.00247	0.01100	2011.000	0.0024	0.0040	0.0026	0.00050	0.00090	0.00050
VALP_GPS	1687310.45155	-5079964.53005	-3456509.20665	0.02368	-0.00571	0.02931	2011.000	0.0022	0.0030	0.0027	0.00140	0.00230	0.00190
VDUP_GPS	1808218.15418	-6007045.10016	1148648.50933	0.00755	0.00071	0.01636	2011.000	0.0066	0.0160	0.0049	0.00400	0.01180	0.00280
VILM_GPS	1819820.51423	-6096710.78974	449202.12767	-0.00380	0.00164	0.01122	2011.000	0.0059	0.0137	0.0039	0.00300	0.00870	0.00150
YAUS_GPS	1245686.47776	-6251910.26468	-297651.23029	-0.00013	0.00663	0.00777	2011.000	0.0051	0.0172	0.0032	0.00070	0.00240	0.00040
YOPA_GPS	1921358.06868	-6053533.83190	587877.41464	-0.00529	-0.00548	0.01379	2011.000	0.0075	0.0185	0.0045	0.00540	0.01500	0.00270
ZAGR_GPS	1259566.22292	-6252744.57969	-211006.08511	-0.04801	0.23507	0.01554	2011.000	0.0093	0.0256	0.0051	0.00410	0.01160	0.00190
ZAMO_GPS	1221570.86618	-6244846.71793	-448051.28026	0.00073	-0.00404	0.00724	2011.000	0.0027	0.0090	0.0019	0.00040	0.00140	0.00030
ZHUD_GPS	1215792.88373	-6258150.93040	-272196.40862	0.00057	0.00397	0.00757	2011.000	0.0035	0.0126	0.0023	0.00060	0.00200	0.00040

Anexo No. 5

**Comparación entre la Solución Oficial
del IGS y la Solución Final obtenida
del Campo de Velocidades del
Ecuador, VEC_Ec.**

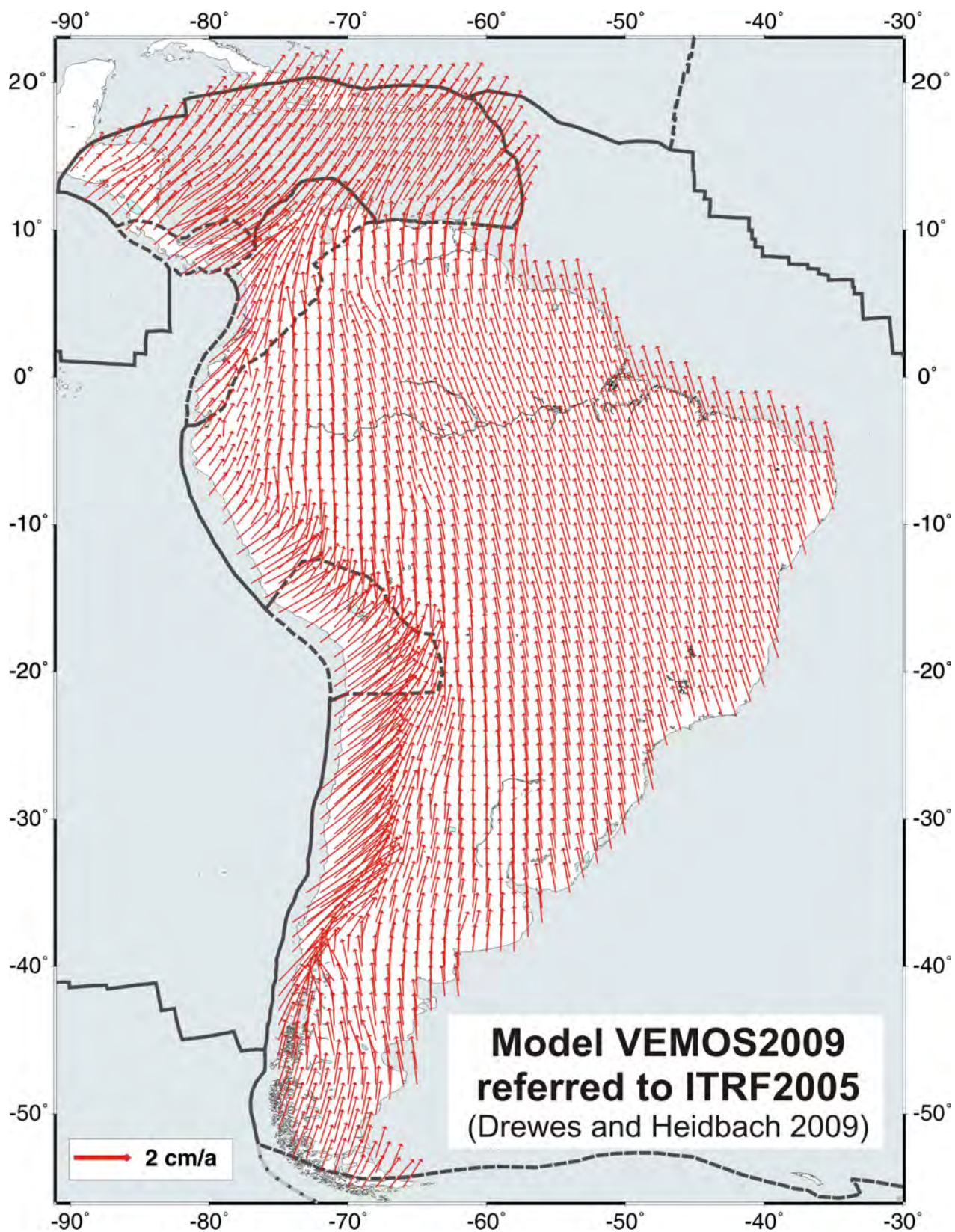
ANEXO No. 5
COMPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN IGS vs VEC_Ec
MARCO DE REFERENCIA: IGS08, EPOCH : 2011.0

SITIO	DELTA_X mm	DELTA_Y mm	DELTA_Z mm	DELTA_VX mm/yr	DELTA_VY mm/yr	DELTA_VZ mm/yr
BOGT_2PS	-27.2	43.5	-7.8	-1.7	3.7	-0.5
BOGT_3PS	-16.0	34.2	-2.9	-1.7	3.7	-0.5
BOGT_4PS	-4.3	8.8	-2.4	-1.7	3.7	-0.5
BOGT_5PS	-4.7	9.3	3.8	-1.7	3.7	-0.5
BRAZ_2PS	1.6	-0.6	-0.2	0.4	-0.4	-0.0
BRFT_1PS	-2.2	-0.1	-9.6	0.7	-0.5	-0.0
BRFT_2PS	0.3	-0.6	1.4	0.7	-0.5	-0.0
BRFT_3PS	-3.4	2.2	-2.4	0.7	-0.5	-0.0
BRMU_2PS	-1.5	-2.9	-0.8	-0.2	-0.6	-0.2
CONZ_2PS	19.2	-16.0	-7.4	-0.0	-0.4	-0.4
CONZ_3PS	13.4	-13.7	-7.4	-0.6	-6.0	-3.5
COYQ_2PS	-11.0	-10.6	5.8	-2.9	-3.1	1.1
CR01_2PS	-7.2	8.2	-1.4	-0.4	0.4	-0.1
CR01_3PS	-4.0	-1.3	-0.0	-0.4	0.4	-0.1
EISL_2PS	0.6	-12.7	3.1	-0.6	-1.1	0.4
EISL_3PS	1.3	-2.2	3.5	-0.6	-1.1	0.4
FORT_2PS	5.7	-5.4	1.0	0.7	-0.5	-0.0
GLPS_2PS	1.2	-3.2	-0.9	0.3	3.3	0.1
GOUG_2PS	-6.2	1.1	12.5	-1.7	-0.0	2.5
MAC1_2PS	0.0	-0.0	-0.0	0.0	0.0	0.0
MANA_1PS	4.2	-35.4	38.3	-0.5	-7.8	3.1
MD01_2PS	1.6	11.7	1.0	0.3	0.6	1.3
MD01_3PS	-1.2	9.2	-3.5	0.3	0.6	1.3
MD01_4PS	-3.0	10.9	2.2	0.3	0.6	1.3
PARC_2PS	1.3	-6.6	-2.7	-0.4	-2.3	-1.3
RIOG_2PS	2.3	0.9	-0.9	0.1	-0.6	-0.8
SANT_2PS	36.2	-2.3	6.8	3.2	-0.2	0.5
SANT_3PS	3.0	-5.2	0.8	3.2	-0.2	0.5
SCUB_2PS	1.0	-4.3	-2.7	0.9	-0.7	-0.3
SSIA_1PS	-28.0	1.6	40.0	-0.6	-3.0	-0.4
SSIA_4PS	-2.3	-9.5	-4.6	-0.6	-3.0	-0.4
UNSA_2PS	9.0	8.7	0.7	1.4	0.8	-0.1
Median	0.15	-0.60	-0.10	-0.10	-0.40	0.00

Anexo No. 6

Model VEMOS 2009, Referred to ITRF 2005.

Drewes, H. and O. Heidbach (2009). The 2009 horizontal velocity model for South America and the Caribbean. Submitted to C. Pacino et al. (Eds.). IAG Scientific Assembly "Geodesy for Planet Earth". Buenos Aires, August 31 to September 4, 2009. IAG Symposia.



Anexo No. 7

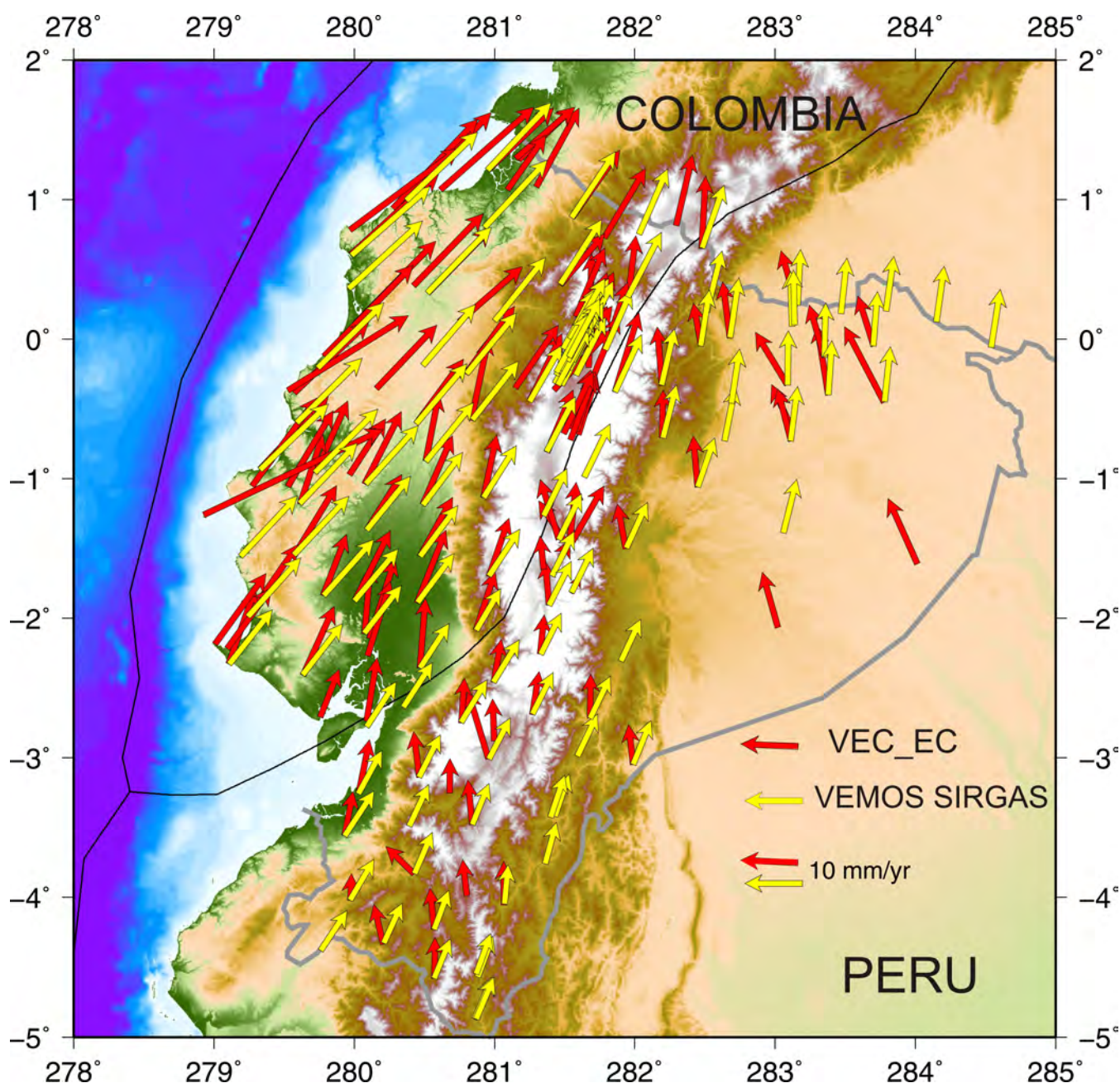
**Comparación entre el Modelo de
Interpolación VEMOS 2009 y el
Campo de Velocidades del Ecuador
VEC_Ec**

Como podemos observar, los vectores de velocidad obtenidos mediante la aplicación del Modelo de Velocidades VEMOS (color amarillo), difieren en magnitud y dirección respecto a los obtenidos con el Campo de Velocidades del Ecuador VEC_Ec (color rojo). Es evidente, que la diferencia existente se debe a que las velocidades determinadas por el Modelo Vemos, son obtenidas por medio de la aplicación de un modelo de interpolación (VMS2009); mientras que las velocidades generadas por el VEC_Ec, resultan del cálculo de medidas GPS redundantes de larga duración en épocas diferentes de tiempo.

Tomando en cuenta el criterio establecido por SIRGAS en su pagina web:

<http://www.sirgas.org/index.php?id=54>

“Aquellos puntos cuyas velocidades no han sido derivadas de diferentes ocupaciones GPS en diferentes épocas de tiempo, sino obtenidas a partir de un modelo de interpolación (por ejemplo VEMOS), no deben usarse como puntos de referencia.”



Por consiguiente, las velocidades obtenidas del VEC_Ec, pueden ser utilizadas para el mantenimiento del Marco de Referencia del Ecuador.

Anexo No. 8

Gráfico de las estaciones permanentes
SIRGAS_Con e IGS,
usadas en el proyecto.

