MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL

INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR

Difusión de los avances relacionados con el Marco de Referencia Geocéntrico SIRGAS – ECUADOR

Sistema Nacional de Referencia Espacial

Ing. David A. Cisneros R, Msc.

GEODESIA
INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR

Simposio SIRGAS, Noviembre 2024

Contenido

- Antecedentes
- Evolución del MRF, 30 años ITRF
- RENAGE
- REGME, más de una década activa
- Avances en la actualización del MRF
- Resultados obtenidos
- Discusión y Conclusiones

MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL

INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR

GEODESIA
INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR

QUÉ ES EL MARCO DE REFERENCIA GEOCÉNTRICO
POR QUÉ ES IMPORTANTE ACTUALIZARLO

ITRS- Sistema Internacional Referencia Terrestre

Conjunto de convenciones junto con el modelado matemático necesario para definir el origen, la escala, la orientación y la evolución en el tiempo de un Sistema de Referencia Terrestre Geocéntrico.

Es un recurso matemático que permite asignar coordenadas a puntos sobre la superficie terrestre.

ITRF – Marco de Referencia Terrestre Internacional

Es un conjunto de puntos con coordenadas tridimensionales y velocidades, las cuales materializan la realización del ITRS.

Conjunto de estaciones con coordenadas bien determinadas, representan la realización del Marco de Referencia Terrestre.

MRF GEOCÉNTRICO

Punto de Origen de las coordenadas. Es el Geocentro / Centro de Masas de la Tierra.

Las coordenadas son utilizadas en geodesia, navegación, cartografía y sistemas globales de navegación por satélite para la correcta georreferenciación de elementos en la superficie terrestre.

Todo en la tierra se mueve …

Institut de Recherche pour le Développement FRANCE

GEODESIA INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR

MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL

INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR

Antecedentes.- RENAGE 1994 - 2000

Campañas de observación 135 puntos de la RENAGE se desarrollaron entre los años 1994, 1996 y 1998.

SIRGAS95
ITRF94
Època de referencia 1995,4

REd **NA**cional **G**PS **E**cuador RENAGE.

Report

73

Processing of the Ecuadorian National GPS Network within the SIRGAS Reference Frame

HERBERT TREMEL

Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut
München, Germany

RICARDO URBINA

Instituto Geográfico Militar
Quito, Ecuador

2000

Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut
München

GEODESIA
INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR

MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL

INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR

Antecedentes.- REGME - CEPGE 2007 - 2010

REGME

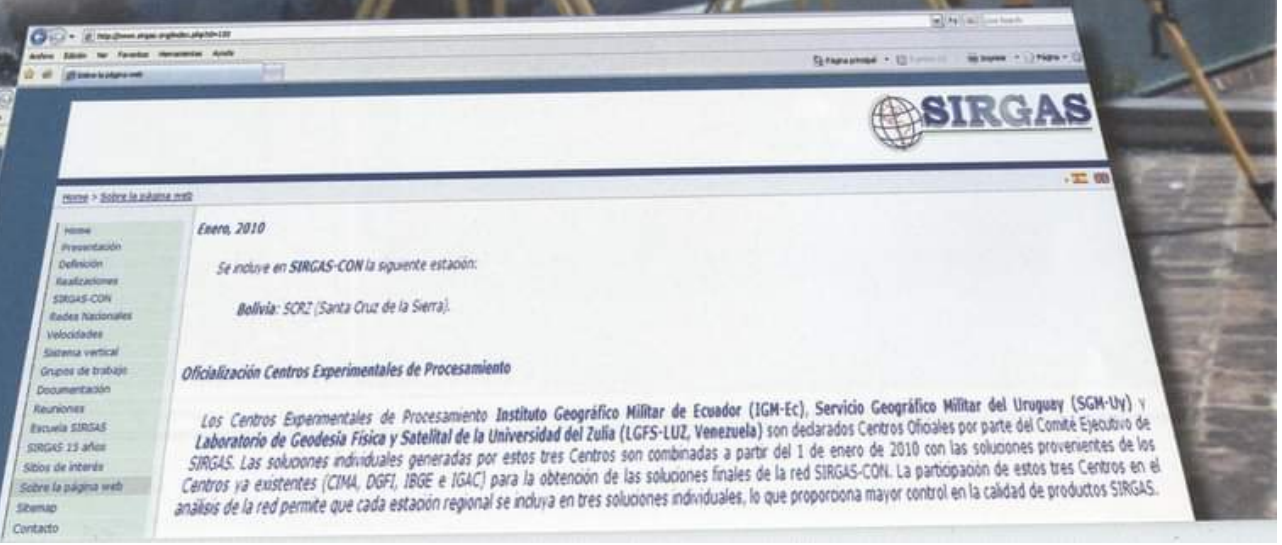
CEPGE

Centro de Procesamiento de Datos GNSS del Ecuador

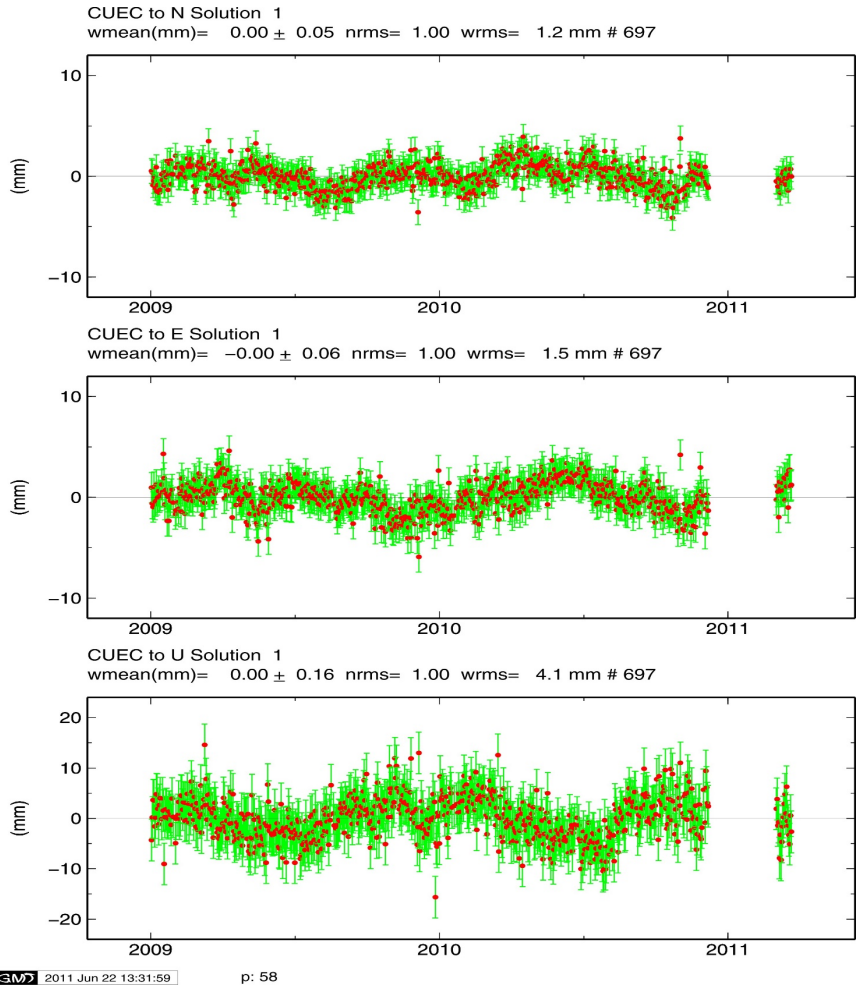
El 1 de enero de 2010, el Centro Experimental de Procesamiento del Instituto Geográfico Militar del Ecuador - I.G.M., es declarado Centro Oficial por parte del Comité Ejecutivo de SIRGAS, constituyéndose el Cuarto Centro oficial en América.

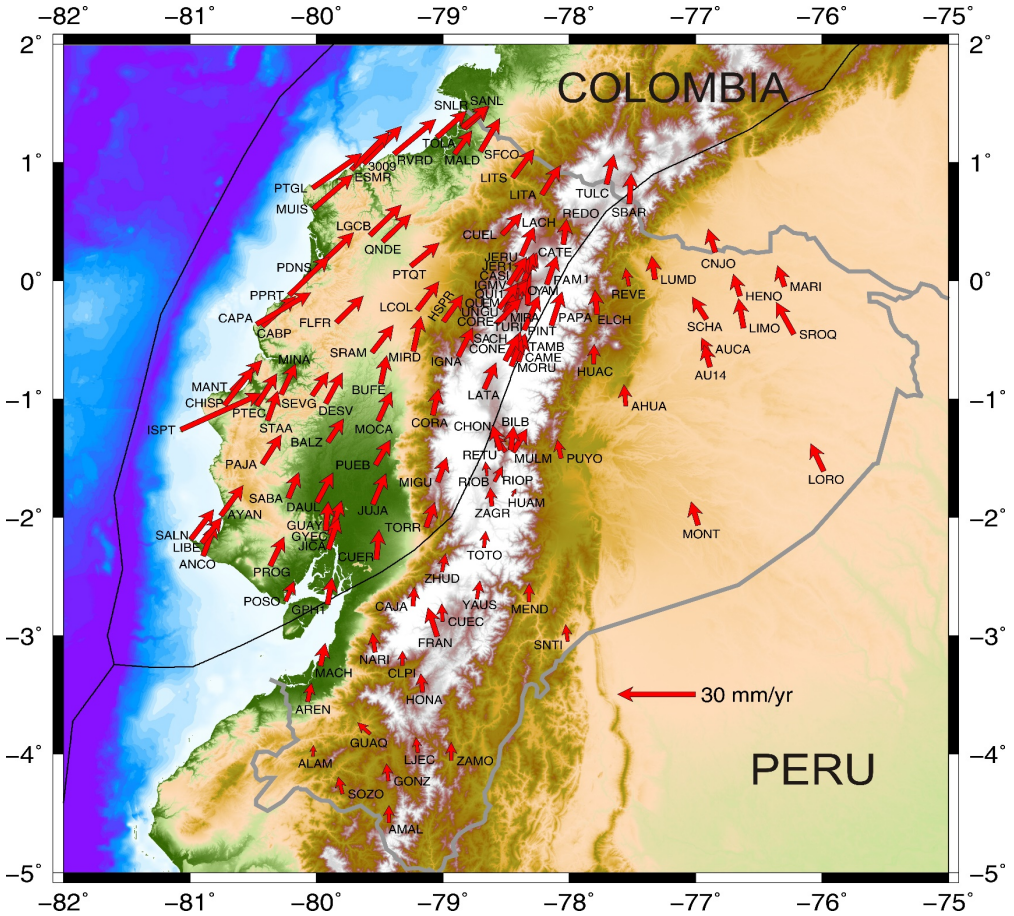
Objetivo: Mantener actualizado el Marco de Referencia Geodésico Horizontal del país, mediante el procesamiento científico de los datos GNSS de las estaciones que conforman la REGME.

Este centro realiza el procesamiento en software científico (Bernese V5.0), de la información generada (Archivos RINEX) por las estaciones y el control de calidad de las observaciones se lo realiza en el software (TEQC).



Antecedentes.- VEC_EC 2012



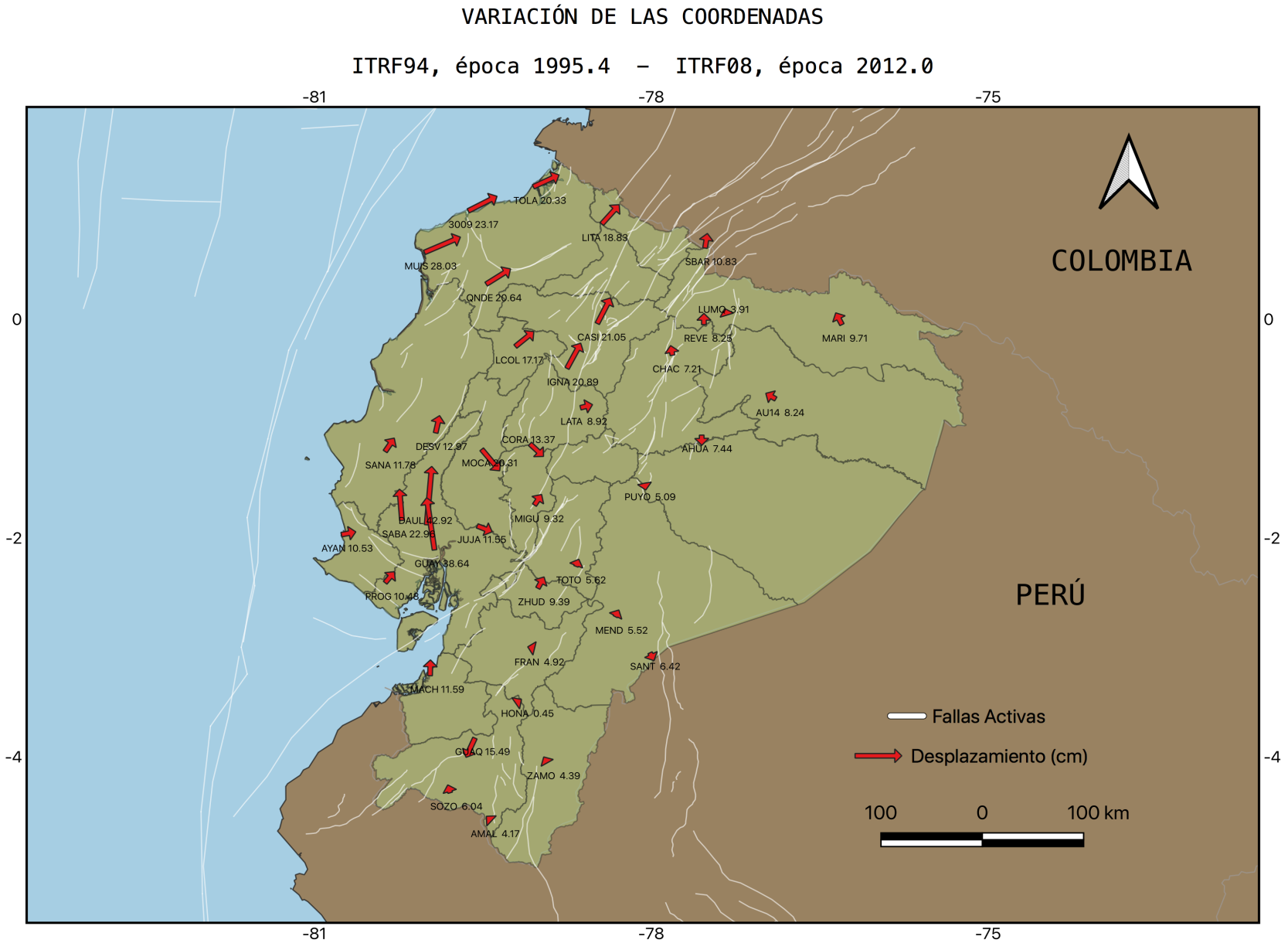


Cisneros & Nocquet, 2012 VEC_Ec.- Obtenido a través de Mediciones de Campañas GPS de los últimos 15 años y medidas de una Red GPS Permanente.

Marco Geodésico de Referencia: ITRF2008

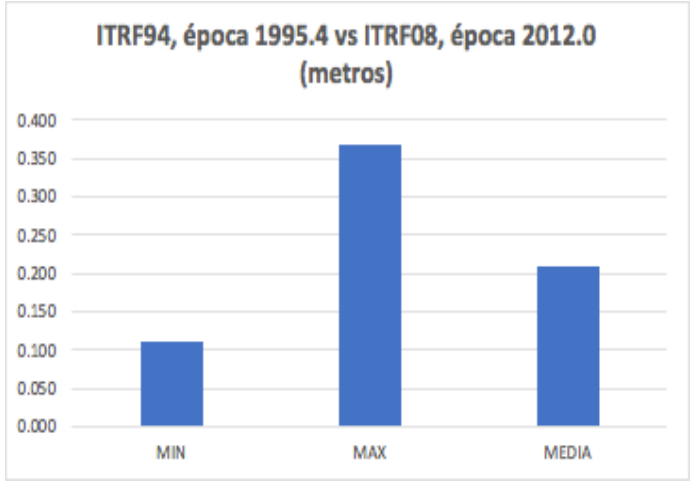
Época de referencia: 2011.0

El primer análisis comprende la fase Intersísmica, a partir de la primera campaña RENAGE 1994 ITRF94 y se extiende hasta el año 2012 ITRF2008: **Periodo de tiempo (t0-t1) 2012.0-1995.4 = 16.6 años**

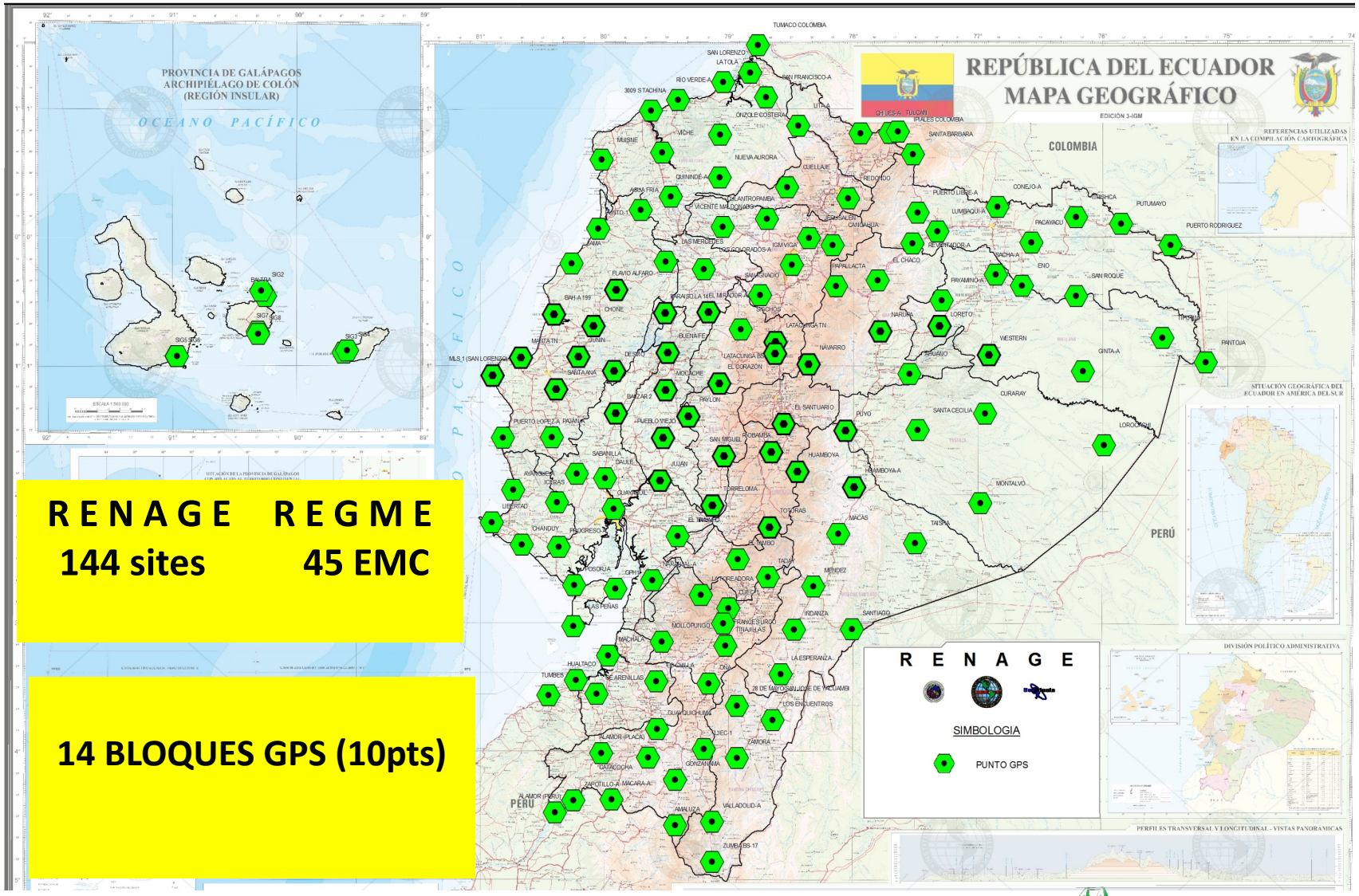


Variabilidad de las coordenadas en 16.6 años

	Vector XY (m)
MIN	0.111
MAX	0.367
MEDIA	0.210



Antecedentes.- Campaña RENAGE - REGME 2014 - 2015



R E N A G E R E G M E
144 sites 45 EMC

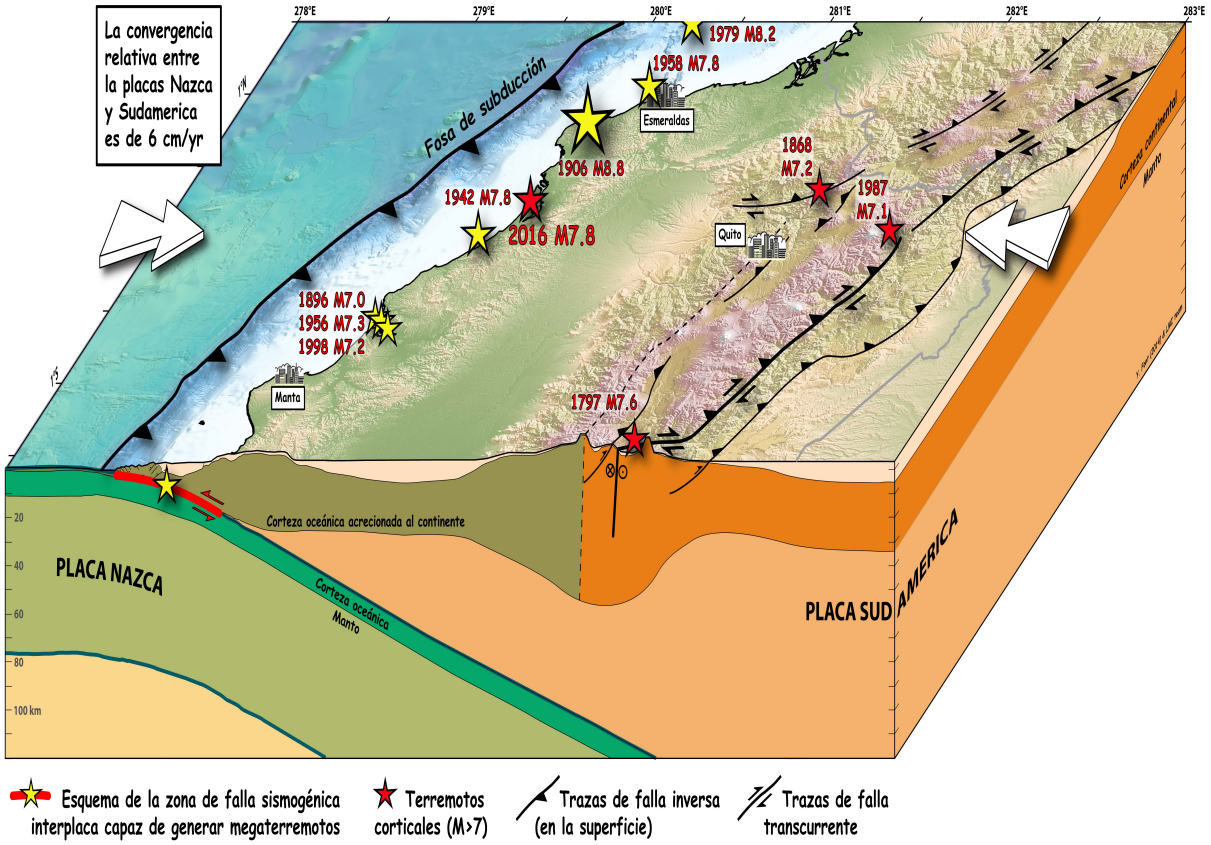
14 BLOQUES GPS (10pts)

MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL

INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR

GEODESIA
INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR

Antecedentes.- Terremoto Pedernales 2016

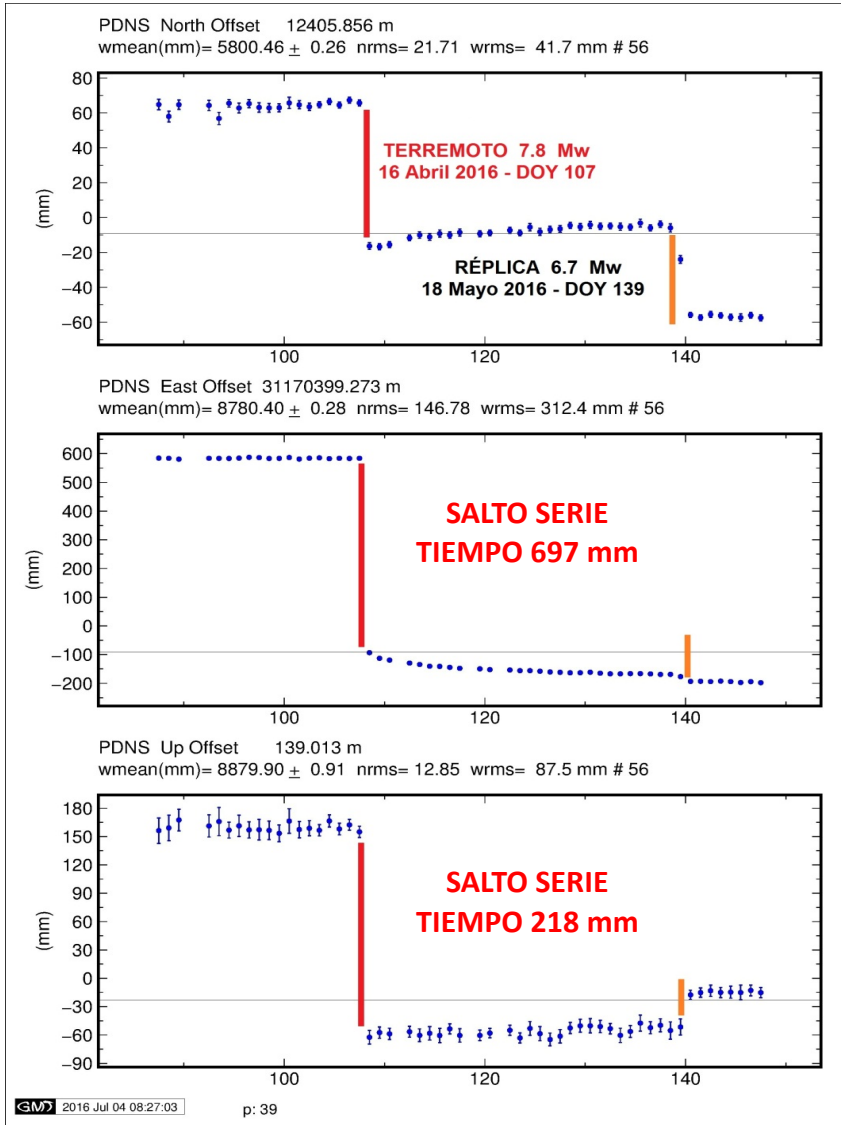


GEODESIA INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR

MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL

INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR

Antecedentes.- Terremoto Pedernales 2016



DIFERENCIA DE COORDENADAS ENTRE 15 ABRIL Y 17 DE ABRIL 2016

Nombre	INSTITUCION	Δ X (m)	Δ Y (m)	Δ Z (m)	Δ Posición (m) 1892-1893	DISTANCIA APROX. EPICENTRO KM
* PDNS	IGEPN-IRD	0,7348	-0,0897	0,0788	0,7403	25
* PEEC	IGM	0,7148	-0,0606	0,0818	0,7174	31
* ECEC	IGM	0,2042	0,0153	-0,0488	0,2048	96
ONEC	IGM	0,0965	-0,0689	-0,0067	0,1186	113
QVEC	IGM	0,0587	0,0132	-0,0359	0,0601	160
* QUEM	IGM	0,0546	0,0165	-0,0069	0,0571	191
* EPEC	IGM	0,0512	0,0083	-0,0088	0,0519	195
CXEC	IGM	0,0399	0,0104	-0,0202	0,0412	215
IBEC	IGM	0,0278	0,0102	0,0023	0,0296	222
ABEC	IGM	0,0260	0,0100	-0,0183	0,0278	237
CHEC	IGM	0,0238	0,0035	-0,0039	0,0241	268
CHIS	IGEPN-IRD	0,0212	0,0109	0,0363	0,0238	163
LPEC	IGM	0,0219	-0,0019	0,0069	0,0220	137
TNEC	IGM	0,0198	0,0043	-0,0088	0,0203	291
COEC	IGM	0,0159	0,0060	0,0025	0,0169	261
* RIOP	IGM	0,0153	0,0065	-0,0143	0,0166	271
*LJEC	IGM	-0,0008	-0,0139	-0,0034	0,0140	482

Antecedentes.- MRF Post-Sísmo 2016

SIRGAS-ECUADOR
ITRF 2008
ÉPOCA: 2016.4
ELIPSOIDE: GRS80
SEMANA GPS 1900
DOY 157 – 163

Cisneros & Nocquet, 2019.-Actualización preliminar del Sistema Nacional de Referencia Espacial — SIRGAS-Ecuador, posterior al terremoto de Pedernales 7.8 Mw, 16 de abril de 2016. Revista Geofísica, (67), 41-79. Recuperado a partir de https://revistasipgh.org/index.php/regeofi/article/view/161

GEODESIA
INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR

IRD
Institut de Recherche pour le Développement
FRANCE

COORDENADAS OBTENIDAS DEL PROCESAMIENTO GPS - SOFTWARE GAMIT/GLOBK IGM

Ministerio de Defensa Nacional — Instituto Geográfico Militar

RESOLUCIÓN No. IGM-2016-005-e-1

ING. RICARDO URBINA CEPEDA
CRNL. DE E.M.
DIRECTOR DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR (E)

CONSIDERANDO:

RESUELVE:

Art. 1.- Emitir el presente manifiesto para regular los trabajos posteriores al terremoto del 16 de abril de 2016 y la fiscalización de proyectos ejecutados antes del evento telúrico ocurrido en la Costa Ecuatoriana, mediante un análisis del marco geodésico de referencia del Ecuador.

Actualmente el Marco de Referencia vigente en el Ecuador se encuentra ajustado a SIRGAS 95.4 – ITRF 94, mismo que fue observado entre el período 1994 – 1997 y fue ajustado en el año 2000. Debido a la inclusión de nuevas soluciones y en función de las nuevas [illegible] referencia constantemente debe ser actu

Art. 2.- El Marco Geodésico de Referencia de [illegible] geográfica – cartográfica se encuentre u[illegible] posición, lo cual facilitará la reconstru[illegible] magnitudes y posiciones equivalentes a l[illegible]

Art. 3.- Técnicamente, el IGM a través de la [illegible] mantiene actualizado el Marco de referer[illegible] soporte técnico-científico, así como el an[illegible] Estaciones de Monitoreo Continuo que [illegible] SIRGAS.

Sistema Actual:

- Marco de Referencia vigente
  - SIRGAS 95
  - ITRF 94
  - Época de Referencia: 1995.4
  - Redes Geodésicas: REGME (e[illegible] continuo) y RENAGE (135 mo[illegible]

Nota aclaratoria: Las coordenadas SIRG[illegible] Nacional REGME, RENAGE se garantiza[illegible] del 2016 (coordenadas Pre – Sísmicas).

Art. 4.- Para la actualización Post-Sísmica se ha[illegible]

Actualización Post – Sísmica del Marco d[illegible]

- Marco de Referencia Post – Sísmico
  - SIRGAS –Ecuador
  - ITRF08
  - Semana GPS: 1900 (5 al 11 de junio de 2016)
  - Época: 2016.43 (07 de junio de 2016)
  - Solución de coordenadas: IGM – EC
  - Redes Geodésicas: REGME (activa con 45 estaciones de monitoreo continuo).

Nota aclaratoria: El Marco Geodésico de Referencia Nacional se basará únicamente en las estaciones de la Red Activa REGME.

El tiempo aproximado de adopción del Nuevo Marco de Referencia dependerá de la estabilidad de las series de tiempo en la corteza terrestre; y también estará en función de la disponibilidad económica asignada para el proyecto (2 años aproximadamente).

DISPOSICIONES GENERALES.-

PRIMERA.- PROYECTOS QUE SE ENCUENTRAN FUERA DEL ÁREA DE AFECTACIÓN SÍSMICA.

Para proyectos suscritos, observados y ejecutados por las empresas antes del 16 de abril de 2016 y que se encuentren fuera del área de afectación sísmica, los productos serán recibidos por el IGM para su revisión y fiscalización dentro del Marco Geodésico de referencia vigente en el país SIRGAS 1995.4.

SEGUNDA.- PROYECTOS QUE SE ENCUENTRAN DENTRO DEL ÁREA DE AFECTACIÓN SÍSMICA.

El IGM recibió la información generada en proyectos que fueron suscritos antes del 16 de abril de 2016, lo que permitió al IGM recabar datos en campo del mismo detalle y en la misma posición.

En el caso que la empresa hubiese entregado al IGM con fecha posterior al 16 de abril, la información generada antes del sismo ocurrido, este Instituto no podrá pronunciarse favorable o desfavorablemente a la fase de fiscalización; ya que el detalle observado por la empresa es el mismo que el IGM observará en campo, pero con posiciones en el terreno diferentes. Motivo por el cual el IGM procederá a solicitar al ejecutor la actualización de la información generada en ITRF08 - época 2016.43.

INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR ECUADOR

REGME IGM

INSTITUTO Geográfico Militar

REGME - ECEC

4. COORDENADAS OFICIALES

4.1. Coordenadas de la EMC calculada hasta el 15 de abril del 2016

ITRF: 94
Datum: SIRGAS 95
Época de Referencia: 1995.4
Elipsoide de Referencia: GRS80

Geodésicas		Planas UTM 17S		Sigma (m)
Latitud (G M S)	0° 16' 18,65214" S	Norte (m)	9 969 941,600	0,001
Longitud (G M S)	79° 27' 06,73179" W	Este (m)	672 287,294	0,001
Altura Elipsoidal (m)	284,870	Altura Nivelada[1]		0,003

Tabla 1. Coordenadas oficiales SIRGAS 95, antes del sismo del 16 de abril del 2016

El evento sísmico de magnitud 7.8 Mw ocurrido entre la zona de Pedernales y Cojimíes en la provincia de Manabí el pasado 16 de abril 2016, produjo un desplazamiento de coordenadas en varias estaciones de monitoreo continuo de la REGME. En función de lo anteriormente expuesto, la información presentada en la tabla 1, es vigente hasta el 15 de abril del 2016.

4.2. Coordenadas Post-sísmicas vigentes a partir del 17 de abril del 2016

Marco de Referencia: ITRF2008
Época de Referencia: 2016.436
Elipsoide de Referencia: GRS80
Semana GPS: 1900 (DOY 157 - 163)

Geodésicas		Planas UTM 17S		Sigma (m)
Latitud (G M S)	0° 16' 18,6411" S	Norte (m)	9 969 941,940	0,0032
Longitud (G M S)	79° 27' 06,7357" W	Este (m)	672 287,174	0,0011
Altura Elipsoidal (m)	284,726			0,0008

Tabla 2. Coordenadas ITRF08, después del sismo del 16 de abril de 2016

La información presentada en la tabla 2, se mantendrá vigente en función de las réplicas sísmicas en el territorio Ecuatoriano que se presenten posterior a la semana GPS de referencia.

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

Antecedentes.- Marco Legal, MRF Ecuador

Resolución No. IGM-2016-005-e1 01/09/2016

Ministerio de Defensa Nacional — Instituto Geográfico Militar

RESOLUCIÓN No. IGM-2016-005-e-1

ING. RICARDO URBINA CEPEDA
CRNL. DE E.M.
DIRECTOR DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR (E)

CONSIDERANDO:

Que, es necesario efectuar la cartografía a una escala mayor a 1:5.000 por parte de las Personas Naturales o Jurídicas;

Que, es necesario una actualización Post-Sísmica del Marco de Referencia Nacional;

Ministerio de Defensa Nacional — Instituto Geográfico Militar

- SIRGAS –Ecuador
- ITRF08
- Semana GPS: 1900 (5 al 11 de junio de 2016)
- Época: 2016.43 (07 de junio de 2016)
- Solución de coordenadas: IGM – EC
- Redes Geodésicas: REGME (activa con 45 estaciones de monitoreo continuo).

Nota aclaratoria: El Marco Geodésico de Referencia Nacional se basará únicamente en las estaciones de la Red Activa REGME.

El tiempo aproximado de adopción del Nuevo Marco de Referencia dependerá de la estabilidad de las series de tiempo en la corteza terrestre; y también estará en función de la disponibilidad económica asignada para el proyecto (2 años aproximadamente).

Resolución No. 2017-011-IGM-JUR 02/06/2017

Ministerio de Defensa Nacional — Instituto Geográfico Militar

RESOLUCIÓN Nº 2017-011-IGM-JUR

ING. WILLIAM ROBERTO ARAGÓN CEVALLOS
CRNL. DE E.M.C.
DIRECTOR DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR

CONSIDERANDO:

Que, mediante Resolución N.- IGM-2016-005-e-1 de fecha 1 de septiembre del 2016, se expidió un manifiesto para regular los trabajos posteriores al terremoto del 16 de abril del 2016 y la fiscalización de proyectos ejecutados antes del evento telúrico ocurrido en la Costa Ecuatoriana, mediante un análisis del Marco Geodésico de referencia del Ecuador;

Que, es necesario definir y armonizar los proyectos que fueron realizados antes del terremoto del 16 de abril del 2016; y, los Proyectos que fueron realizados después del terremoto del 16 de abril del 2016; así como la red vertical y red gravimétrica;

En uso de las atribuciones que le confiere el Art. 12 literal a) de la Ley de la Cartografía Nacional;

RESUELVE:

Dictar la siguiente reforma a la Resolución No. IGM-2016-005-e-1, de 1 de septiembre del 2016.

Art. Único.- Sustitúyase las Disposiciones Generales por el siguiente texto:

PRIMERA: PROYECTOS QUE FUERON REALIZADOS ANTES DEL TERREMOTO DEL 16 DE ABRIL DE 2016.

SEGUNDA: PROYECTOS QUE FUERON REALIZADOS DESPUÉS DEL TERREMOTO DEL 16 DE ABRIL DE 2016.

Para los proyectos realizados con fecha posterior al 16 de abril de 2016, la información cartográfica recibida para la fiscalización deberá sujetarse al marco de referencia post-sísmico.

TERCERA: RED VERTICAL Y RED GRAVIMÉTRICA

Respecto de la Red Vertical y Red Gravimétrica, los valores determinados en las placas que conforman estas, se recomienda utilizar como valores referenciales en la zona de trabajo hasta realizar las observaciones de campo correspondientes que permitan corregir y realizar un nuevo ajuste.

Queda reformada por la presente la Resolución N.- IGM-2016-005-e-1, de 1 de septiembre del 2016, quedando en vigencia lo que no se modifica; y se deroga todas las disposiciones internas que se opongan a los instrumentos en vigencia que regulan este procedimiento; se agrega como adjunto los informes emitidos a través de oficios 2017-0095-IGM-NOR de fecha 2 de junio de 2017 y oficio 2017-0042-IGM-SUB de fecha 19 de mayo del 2017 con Informe Código IGM-GCG-G-2017-05-12 de fecha 12 de mayo del 2017.

Resolución No. 2019-037-IGM-JUR 20/12/2019

Instituto Geográfico Militar

RESOLUCIÓN No. 2019-037-IGM-JUR
ING. CARLOS ENDARA ERAZO
CRNL. DE E.M.C.
DIRECTOR DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR

CONSIDERANDO:

Que, conforme establece el Artículo 227 de la Constitución de la República del Ecuador la administración pública constituye un servicio a la colectividad que se rige por los principios de eficacia,eficiencia, calidad, jerarquía,desconcentración, descentralización, coordinación, participación, planificación, transparencia y evaluación;.

RESUELVE:

Art. 1.- Adoptar el uso del Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS), como soporte de los trabajos cartográficos y posicionales que se ejecuten en el país, en reemplazo del sistema de referencia local PSAD 56.

Art. 2.- Ratificar SIRGAS-ECUADOR como Marco de Referencia Nacional, el mismo que a más de satisfacer los requerimientos de los usuarios cartográficos y geodésicos, compatibiliza su información con el resto de países de América, dentro del proceso de globalización.

Art. 3.- Para transformar coordenadas del sistema PSAD 56 al sistema SIRGAS, se utilizarán los siete parámetros de transformación que se detallan en la siguiente tabla:

Parámetros	Xo (m)	Yo (m)	Zo (m)	εx (seg)	εy (seg)	εz (seg)	δ (ppm)
Valor	-60.310	245.935	31.008	-12.324	-3.755	7.370	0.447

Evolución del ITRF a lo largo de los últimos 30 años y su contribución con el Marco Geocéntrico de Referencia Nacional del Ecuador

REALIZACIONES DEL ITRF
ITRF 92
ITRF 93
I T R F 9 4 - SIRGAS 95 - Ajuste RENAGE
ITRF 96
ITRF 97
ITRF 2000
ITRF 2005
I T R F 2 0 0 8 - Ajuste REGME - Post-Sismo año 2016
I T R F 2 0 1 4
ITRF 2020 - Nueva Realización (Nov-2022 GPSweek 2238)

MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL

INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR

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

Transformation Parameters from ITRF2020 to ITRF2014

14 transformation parameters from ITRF2020 to ITRF2014 have been estimated using 131 stations listed in the core network list and located at 105 sites shown on *fig.2*.

	T1 mm	T2 mm	T3 mm	D 10-9	R1 mas	R2 mas	R3 mas
	-1.4	-0.9	1.4	-0.42	0.000	0.000	0.000
±	0.2	0.2	0.2	0.03	0.007	0.006	0.007
Rates	0.0	-0.1	0.2	0.00	0.000	0.000	0.000
±	0.2	0.2	0.2	0.03	0.007	0.006	0.007

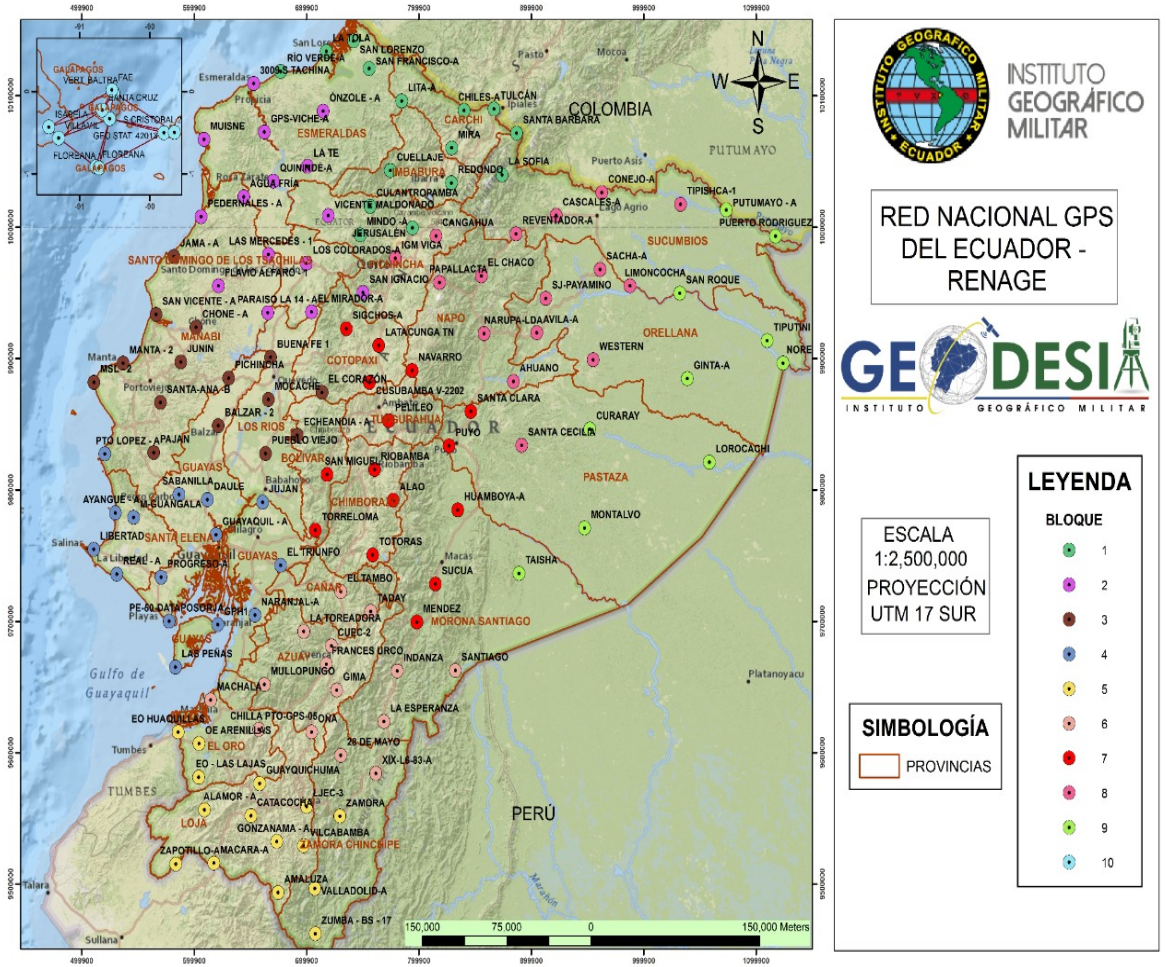
table.2: Transformation parameters at epoch 2015.0 and their rates from ITRF2020 to ITRF2014 (ITRF2014 minus ITRF2020)

Institut de Recherche pour le Développement FRANCE

GEODESIA INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR

ITRF2020 basado en 4 técnicas:
VLBI, SLR, GNSS, DORIS
Repro3 y PSD

RENAGE.- Mantenimiento



RENAGE 1994 = 135 puntos

Aún existen 42 buen estado

RENAGE 2014–2015, se recuperó 76 puntos

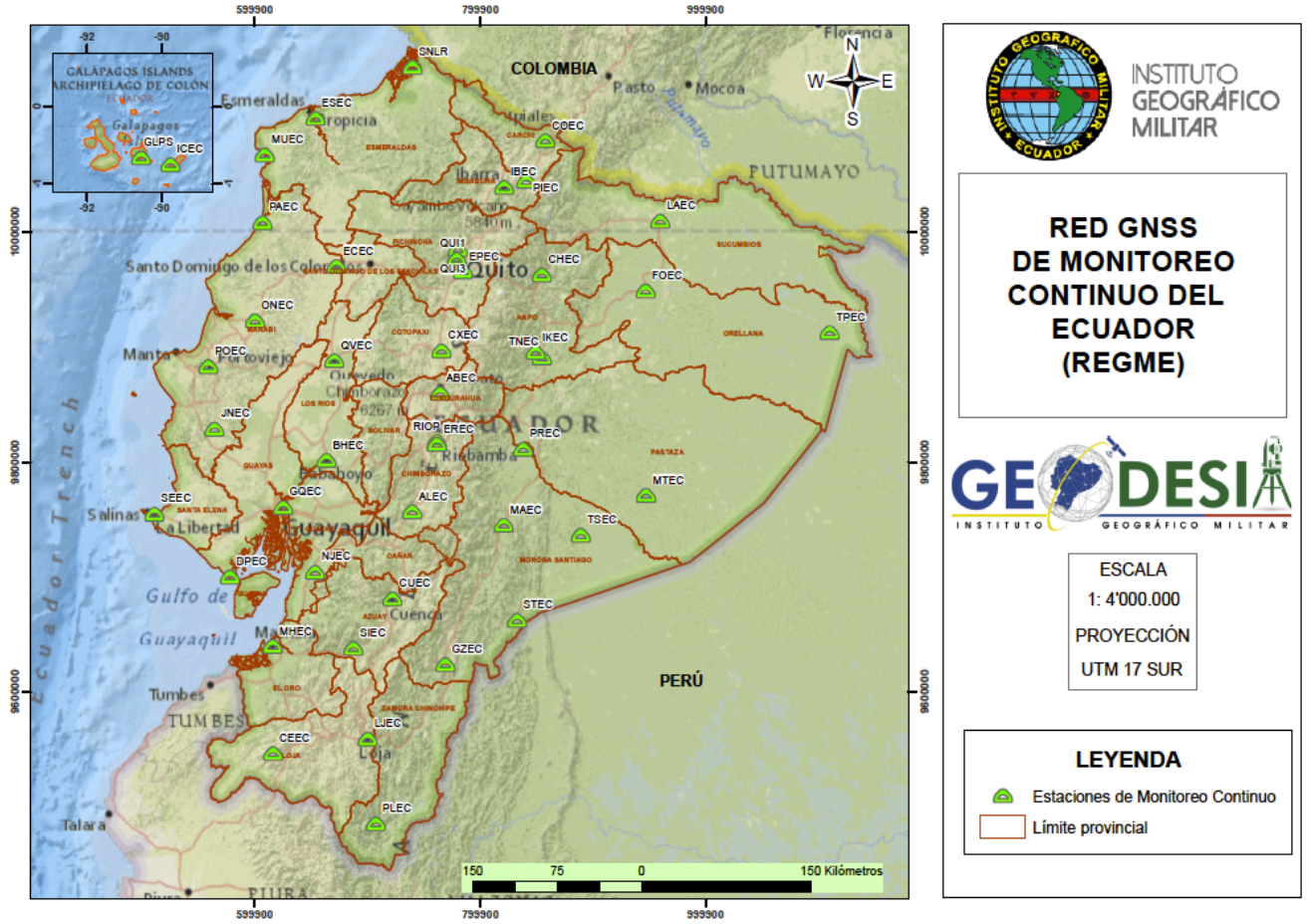
En 2021 se construye 23 mojones nuevos para completar el total de 141 puntos que conforman la nueva red pasiva.

GEODESIA
INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR

MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL

INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR

REGME.- Mantenimiento



INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR

RED GNSS DE MONITOREO CONTINUO DEL ECUADOR (REGME)

GEODESIA
INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR

ESCALA
1: 4'000.000
PROYECCIÓN
UTM 17 SUR

LEYENDA

- Estaciones de Monitoreo Continuo
- Límite provincial

REGME

45 EMC

Estrategia.- Campaña GNSS

TÉCNICA ADQUISICIÓN DATOS

Método Survey: Estático Diferencial
Intervalo de Grabación: 30 sec.
Orientación de la Antena: Norte Verdadero
Ángulo de Corte: 0° Grados
Constelación: GPS + GLONASS

REGISTRO INFORMACIÓN IN SITU

Formulario Físico Registro de Campo:
Fecha obs, tiempo, equipos, altura, obstrucciones, lluvias, vientos, temperatura.
Formulario digital registro de campo
Fotografías: placa, mojón, equipos, panorámica
Monografía ubicación del vértice GPS.

PERIODO ADQUISICIÓN DATOS

Cada Site RF: 48 hrs continuas
Cada EMC: 48 hrs continuas
Cada Site VEC: 24 hrs continuas
Formato hora: UTC
Inicio y fin del dia GPS/juliano
Altura de Antena: 2 medidas inicio – final
Ranuras: 3 medidas diferentes ranuras
Inclinada: Plano Inferior Antena (bottom)
Vertical: ARP antena
Magnitud: metros - pulgadas

MEDIDAS DE CONTINGENCIA

-**Garantizar fluido eléctrico**: paneles solares, baterías, inversores, etc.
-**Si la antena se mueve/derriba**: off rx, volver a instalar y continuar con el rastreo, registrar fecha y hora evento.
-**Sincronización relojes operadores**
-**Tomar las medidas de altura** de la antena en horas de luz solar jamás en la noche.
- **Encender equipos** 10 min antes y apagar 10 minutos después.

Estrategia técnica.- Campaña GNSS

EQUIPOS GEODÉSICOS - RECEPTORES

Marca: TRIMBLE
Modelo: ALLOY GNSS, NETR9, NETR5

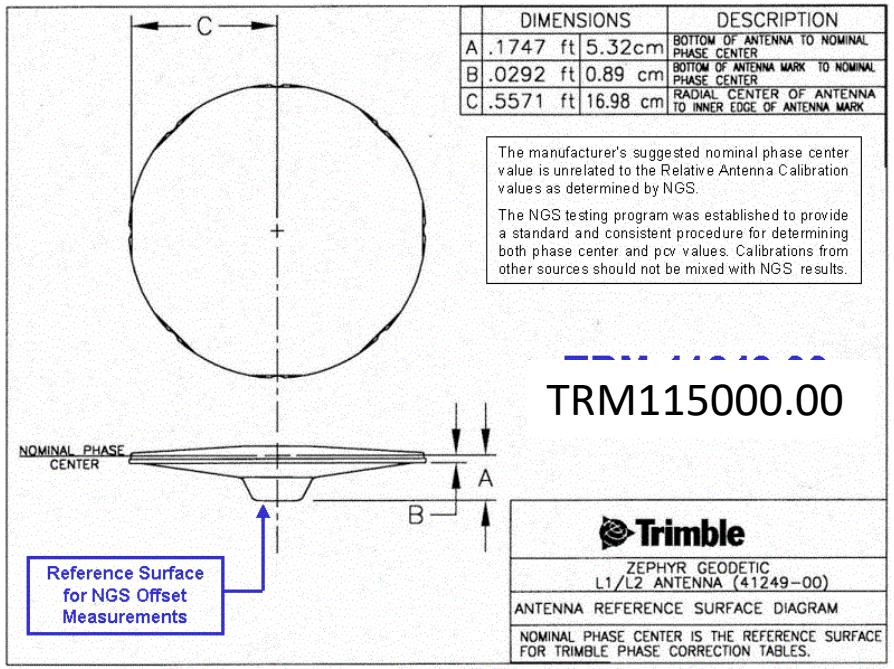
ACESORIOS
TARJETAS DE MEMORIA 8GB
VARAS MÉTRICAS TRIMBLE
PANELES SOLARES
BATERÍAS LIBRE MANTENIMIENTO
PLOMADAS ÓPTICAS
TRIBRACH /BASE NIVELANTE TRIMBE
CABLES, INVERSORES SUPRESORES ENERGÍA
TRÍPODES, BRÚJULAS
EQUIPO DE CAMPING (CARPAS, SLEEPING BAG)

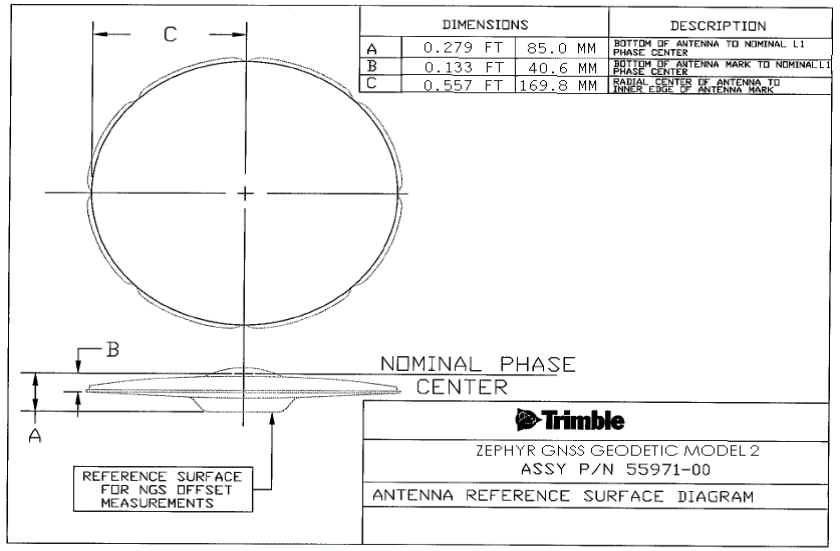
Estrategia técnica.- Campaña GNSS

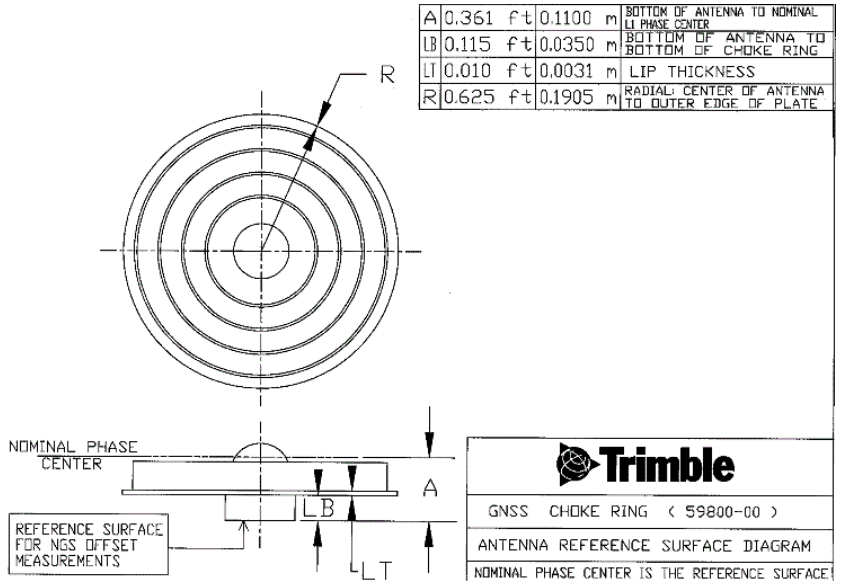
EQUIPOS GEODÉSICOS ANTENAS

TRM115000.00 ZEPHYR GEODETIC 3

TRM59800.00 CHOKE RING:
BACKUP : 2 TRM115000.00







GEODESIA INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR

MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL

INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR

RENAGE.- Campaña GNSS

Las campañas GNSS se ejecutaron a partir del 15 de julio al 23 de octubre 2021.

10 Bloques

RENAGE 141

REGME 45 EMC

Cada punto se observa durante 48 horas

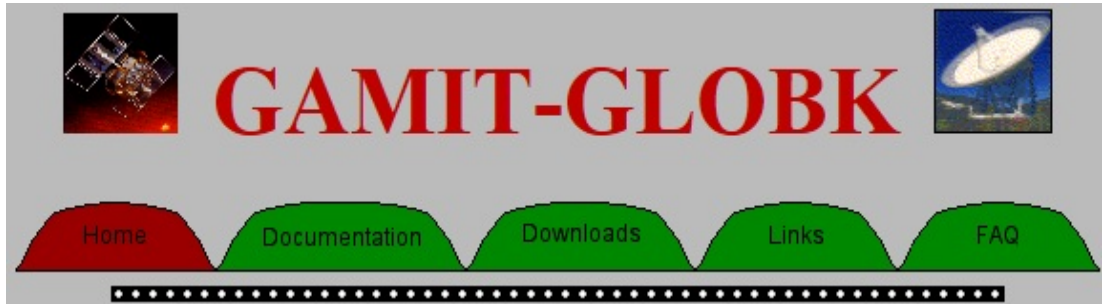
Equipos doble-frecuencia
Receptor Trimble Alloy
Antena Trimble Zephyr Geodetic3

GEODESIA
INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR

MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL

INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR

PROCESAMIENTO GPS MEDIANTE EL SOFTWARE CIENTÍFICO GAMIT / GLOBK - PYACS



La plataforma de procesamiento científico usado en el proyecto es el software **GAMIT/GLOBK** v10.71 desarrollado por el Instituto de Tecnología de Massachusetts (King & Bock, 2010) y **PYACS** desarrollado por (Nocquet, 2022) tiene un conjunto de herramientas de Python para el análisis de datos GPS y modelado tectónico, incluye un módulo para implementar el marco de referencia y derivar series temporales. El sistema operativo LINUX (distribución Ubuntu). Tanto el sistema operativo como el software de procesamiento científico son herramientas informáticas catalogadas como Open Source.

GEODESIA INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR

MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL

INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR

Estrategia de Procesamiento Científico

- Constelación Satelital GPS
- Formato de las observaciones GPS: RINEX versión 2.11
- Intervalo de muestreo para las observaciones GPS: 30 segundos
- Combinación lineal L3 (Libre-de-Ionosfera) a partir de las observables L1 y L2.
- Órbitas satelitales Precisas SP3
- Cálculo Retrasos al Cenit de las ondas de los satélites inducidas por la tropósfera, la posición y las ambigüedades de fase.
- Correcciones a los relojes de los satélites
- Parámetros de orientación terrestre EOP (Earth Orientation Parameters) contenidos en las soluciones finales del IGS
- Modelo Global de Gravedad EGM2008
- Modelo absoluto de correcciones a las variaciones de los centros de fase (PCV, Phase Centre Variations) de las antenas GNSS
- Corrección PCO, (Phase Centre Offset), modelo del IGS PCV de las antenas receptoras
- Efectos de carga oceánica de origen mareal - modelo de mareas oceánicas FES, ofrecido por Bos y Scherneck
- Componente hidrostática en dirección al zenit (ZHD) a partir de los coeficientes de la VMF (Vienna Mapping Function) a intervalos de una hora para cada día.
- Todos los resultados quedan expresados en el mismo sistema, marco y época de referencia en el que se encuentran dadas las órbitas GNSS.
- 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.

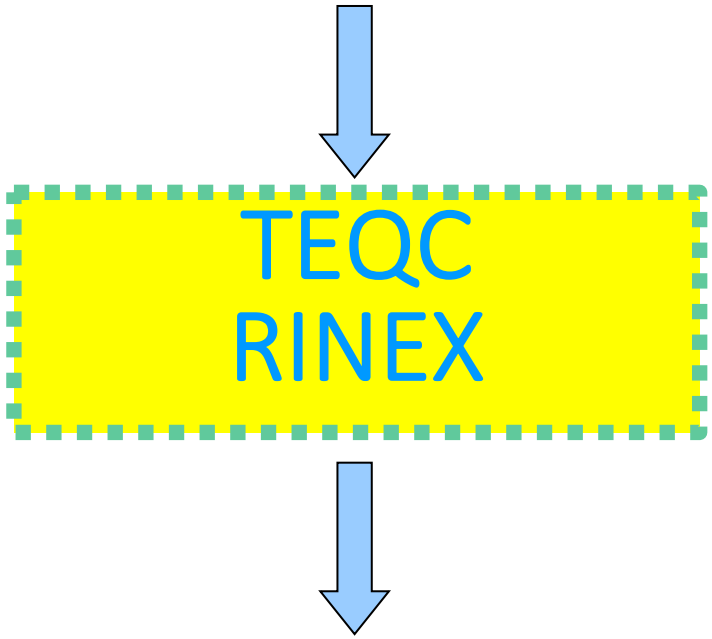
Set de Datos usados
Marco de Referencia Geocéntrico

RED	No. SITES DISPONIBLES	DESCRIPCIÓN
RENAGE	141	RED NACIONAL GPS ECUADOR (Red Pasiva)
REGME	45	RED GNSS DE MONITOREO CONTINUO (Red Activa)
RENGEO	22	RED NACIONAL GEODESICA - IGEPN
SIRGAS-CON COLOMBIA	16	IGAC_COLOMBIA
SIRGAS-CON PERÚ	19	IGN PERÚ
SIRGAS-CON BRASIL	12	IBGE BRASIL
REFERENCE NETWORK IGS	29	IGS CORS
TOTAL	284	

TEQC - The Toolkit for GPS/GLONASS/Galileo/SBAS/Beidou/QZSS Data

Leica Geosystems ashtech Trimble OTROS ...

Formato original (formatos nativos binarios) GPS/GNSS



Formato Universal RINEX xxxx.xxO xxxx.xxN

Control de Calidad

Compresión Hatanaka

TEQC - The Toolkit for GPS/GLONASS/Data

CRITERIOS ANÁLISIS QC teqc +qc namefile

```
*****************************************
QC of RINEX  file(s) : MUISNE.21O
input RnxNAV file(s) : MUISNE.21N
*****************************************
4-character ID          : MUIS
Receiver type           : Alloy (# = 4844K59179) (fw = 4.61)
Antenna type            : TRM57971.00 (# = 00110371)
Time of start of window : 2021 Sep 28  00:00:00.000
Time of  end  of window : 2021 Sep 29  23:59:30.000
Time line window length : 2.00 day(s), ticked every 0.5 day(s)
antenna WGS 84 (xyz)  : 1104929.5553 -6281392.7779 66844.7782 (m)
antenna WGS 84 (geo)  : N   0 deg 36' 16.31"  W  80 deg 01' 24.38“
WGS 84 height : 49.4891 m
Observation interval    : 30.0000 seconds
Total satellites w/ obs : 55
Possible obs >   0.0 deg:  70948
Possible obs >  10.0 deg:  54690
Complete obs >  10.0 deg:  54522
Deleted obs >  10.0 deg:    141
Moving average MP1      : 0.537216 m
Moving average MP2      : 0.630712 m
```

```
version: teqc  2013Mar15
SV+|----------------|----------------|----------------|----------------+ SV
26|L            _L+LLLoooooooo+L           __LLLL+oooooooo+| 26
 2|+L           LMoooooooooooooo+L           LLoooooooooooMo|  2
 5|LL           _LLoooooooooLLLL           _Looooooooo+LL|  5
24|oL2oLL          LL+LoooooooooIoLL          LL+oooLoooo| 24
15|ooLL            LoooooooolML            _Looooooo| 15
12|oelllIL         L+oooooooooIIoI+L          L+oooooo Mo| 12
18|oooooIooo+L   LLoooooooIoooo+L LLoooo| 18
25|ooLIoooLLL        _Loooooooooooooo L          _LoooooMo| 25
21|oooolIooLL            L+ooIIoooo LL            L+| 21
29|ooooo++++LL           LoooooolIo+++++L          Loooo| 29
14|ooIIoIoooooooo+L          LMoooooooooooooo+L          L2| 14
22|_LMIIIoooooo L_           _L+oooooooooL            | 22
31| _LooIoooooo Loo++L          _LoooooooooLoo+L_          | 31
16|   _Looooooooo+LL           _Looooooooo+LL          | 16
32|    Looooooooooo+++L_          Looooooooooo+L+L_        | 32
11|    _LLL-Mooooooooo+L          _LLLIoooooooooo++        | 11
19|    _LLoooooooo L            _L+oooooooo L          | 19
 1|    _L+L+Looooooooo L          _L++LLoooooooo+L        |  1
 8|    LLLLL+oooooooL+L          LL+LL+oooooooo IL       |  8
20|    _Looooooooooooo.I          _LoooooooooooMII       | 20
 4|    _LLLIoooooooo+L          __LLLLoooooooo LL       |  4
23|     L+oooooooo+L_           L+oooooooo+L_        | 23
 9|     L+oooooooIoooo+LL          L+oooooooo MIoo+L_     |  9
13|     LLoooooooIo++++LL          _Loooooooo ML+++LL     | 13
28|     LL+LL+oooooooooL          LL+LL+oooooooooL     | 28
 7|     L+oooooooIL_           L+oooooooo L       |  7
17|      L-oooooooooooooo++          LMoooooooooooooo++   | 17
30|      L+oooooooo LL           L+oooooooo LL     | 30
 6|      LLoooooooooooo+LL          Looooooooooooo+LL |  6
10|      _LLIoooooooLL           _LLoooooooo LL    | 10
R15|NNNNNNN        NNNNNNNNNNNNNNNN        NNNNNNNNNNNNNNN|R15
R17|NN        NNNNNNNNNNNNNNN        NNNNNNNNNNNNNNN   |R17
R18|NNNNN          NNNNNNNNNN        NNNNNNNNNNNNNNN |R18
R19|NNNNNNNNNNNNN        NNNNNNNNNN          NNNNNNNN|R19
R16|NNNNNNNNN        NNN NNNNNNNNNN        NNNNNNNNNNNN|R16
R20| NNNNNNNNNNNNNNN        NNNNNNNNNNNNNNN        NNNNN|R20
R22|      NNNNNNNNN        NNNNNNNNNNNNNNN        |R22
R 1|      NNNNNNNNNNNNNNNN        NNNNNNNNNNNNNNN      |R 1
R12|        NNNNNNNNN        NNNNNNNNNNNNNNN       |R12
R24|        NNNNNNNNNNNNNNN        NNNNNNNNNN       |R24
-dn|+++++++++++++++++++++++ +++ ++++ +++++++++++++++++++++++++++++ +++++ ++|-
+dn|  11        1          1 11        1          1|+dn
+10|9899987897899addcdccddddaa9a9aa9a99a9899987997899addcdcddddcbaaaaaaaa98a|+
```

```
*****************************************************************************************************************************
        first epoch       last epoch      hrs     dt    #expt   #have    %    mp1    mp2   o/slps
SUM  21  9 28 00:00  21  9 29 23:59   48.00    30   54690   54522   100   0.54    0.63    238
*****************************************************************************************************************************
```

TEQC - The Toolkit for GPS/GLONASS/Data

CRITERIOS ANÁLISIS QC

teqc -O.sum . Inputfile – Sumary OBS

****

QC of RINEX file(s) : MUISNE.21O
input RnxNAV file(s) : MUISNE.21N

****

4-character ID : MUIS
Receiver type : NetR5 (# = 4844K59179) (fw = 4.61)
Antenna type : TRM57971.00 (# = 00110371)

teqc +meta inputfile - METADATOS RINEX

filename: MUISNE.21O
file format: RINEX
file size (bytes): 10427707
start date & time: 2021-09-28 00:00:00.000
final date & time: 2021-09-29 23:59:30.000
sample interval: 30.0000
possible missing epochs: 1
4-char station code: MUIS
station name: MUIS
station ID number: MUIS
antenna ID number: 00110371
antenna type: TRM57971.00
antenna latitude (deg): 0.604501
antenna longitude (deg): -80.023768
antenna elevation (m): 16.342
antenna height (m): 0.0000
receiver ID number: 4844K59179
receiver type: NetR5
receiver firmware: 4.61
RINEX version: 2.11
RINEX translator: teqc 2013Mar15
trans date & time: 2021-09-30 22:51:52.000

	C1	C2	L1	L2	P1	P2
G02	2503	0	2494	2447	0	2447
G05	2011	1952	1977	1955	0	1889
G12	2530	2494	2515	2502	0	2414
G14	2503	0	2495	2420	0	2420
G15	1667	1645	1658	1646	0	1600
G18	2488	0	2480	2444	0	2444
G21	1716	0	1706	1653	0	1653
G24	2341	2326	2330	2326	0	2289
G25	2530	2525	2525	2525	0	2502
G26	2261	0	2251	2165	0	2165
G29	2428	2420	2423	2421	0	2376
G22	1852	0	1837	1768	0	1768
G31	2378	2368	2371	2368	0	2359
G27	2167	2130	2136	2130	0	2076
G16	1702	0	1692	1616	0	1616
G32	2307	0	2302	2275	0	2275
G11	2196	0	2182	2061	0	2061
G01	2307	2290	2303	2290	0	2230
G19	1634	0	1624	1553	0	1553
G08	2157	0	2137	1994	0	1994
G20	2511	0	2506	2440	0	2440
G04	2033	0	2017	1800	0	1800
G23	1714	0	1711	1662	0	1662
G09	2474	2467	2467	2467	0	2440
G13	2454	0	2449	2412	0	2412
G28	2414	0	2399	2263	0	2263
G07	1669	1665	1665	1665	0	1645
G17	2501	2496	2496	2496	0	2454
G30	1713	1711	1712	1711	0	1693
G06	2344	2340	2340	2340	0	2314
G10	1692	0	1682	1574	0	1574
R04	1997	1992	1997	1990	1997	0
R05	2699	2693	2697	2692	2697	0
R13	1369	1368	1369	1368	1369	0
R14	1985	1976	1983	1975	1983	0
R15	2668	2621	2665	2606	2664	0
R17	2399	2396	2399	2396	2399	0
R18	2190	2182	2189	2182	2188	0
R19	2245	2241	2245	2240	2245	0

Evaluación de la calidad del procesamiento

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 la **Repetibilidad diaria (REP), que es el promedio ponderado del error cuadrático.** A pesar de que la **Desviación Estándar** es el primer indicador de la calidad del procesamiento, por lo general **proporciona valores muy optimistas** por la calidad de los parámetros.

La **Repetibilidad proporciona una medida más realista de la precisión** de las coordenadas de las estaciones permanentes y los puntos de campaña y es un indicador de la dispersión de las soluciones de todos los días

Repetibilidad como estrategia de evaluación

La **Repetibilidad, 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 son expresadas en el Marco de Referencia aplicado en la estabilización de las soluciones. Una buena repetibilidad garantiza un buen procesamiento de datos GPS.

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

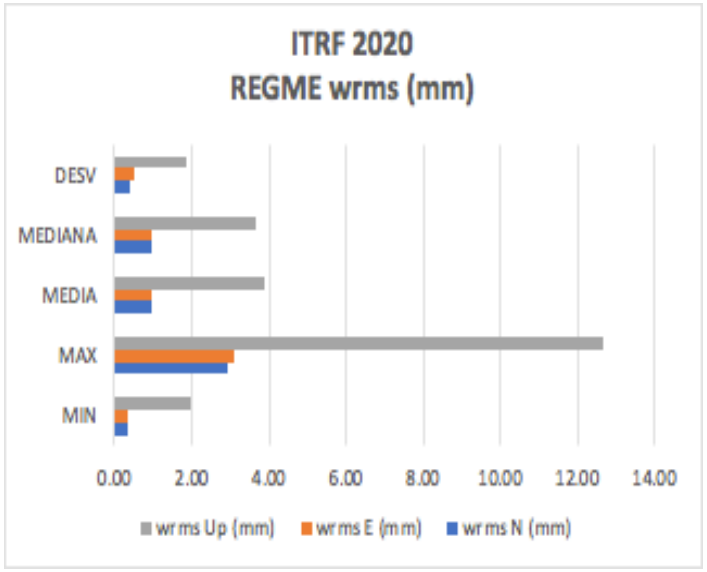
Institut de Recherche pour le Développement FRANCE

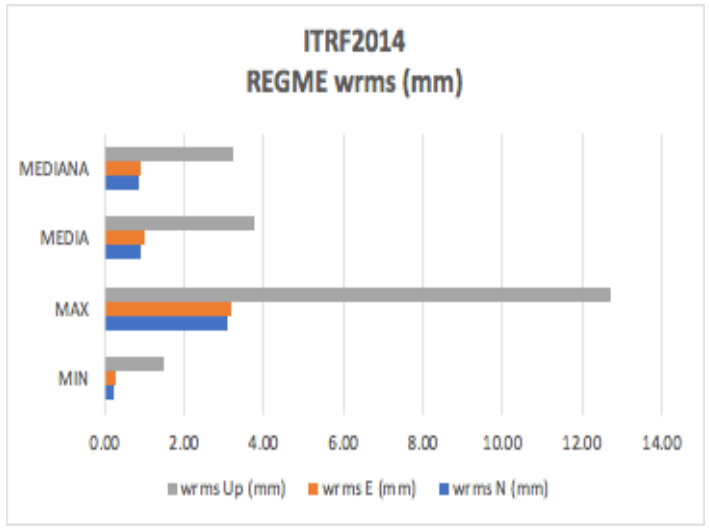
GEODESIA INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR

MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL

INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR

Repetibilidad REGME

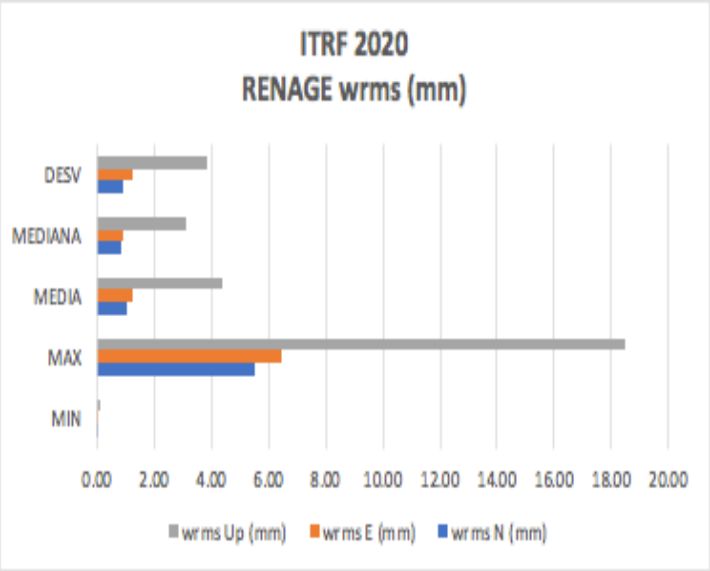


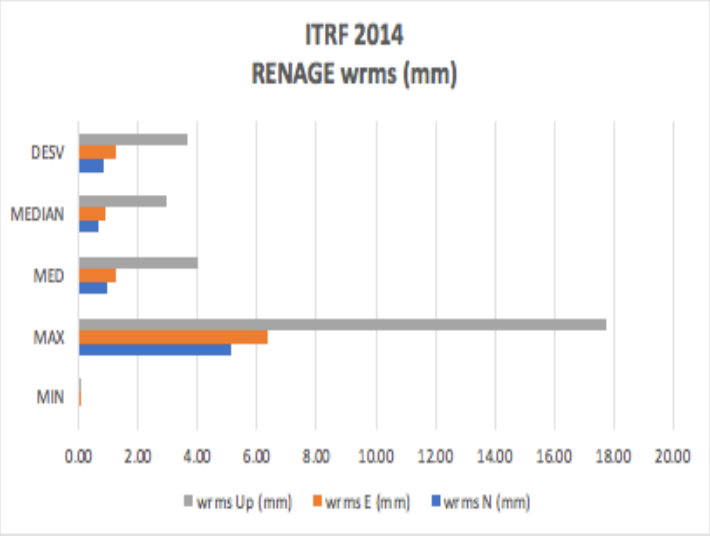


Se consideran valores óptimos de **WRMS** para las componentes **Norte y Este entre 2 y 3 mm**, y el valor óptimo para **la componente vertical es el doble o triple** del valor del wmrs de las componentes N-E.

ITRF 2020 *				ITRF 2014		
wrms N (mm)	wrms E (mm)	wrms Up (mm)	REGME 45 SITES	wrms N (mm)	wrms E (mm)	wrms Up (mm)
0.32	0.34	1.98	**MIN**	0.21	0.30	1.47
2.92	3.12	12.64	**MAX**	3.10	3.19	12.73
0.94	0.98	3.87	**MEDIA**	0.91	1.01	3.75
0.94	0.96	3.64	**MEDIANA**	0.86	0.93	3.23
0.42	0.50	1.86	**DESV**	0.48	0.49	1.86
C U A R T I L E S						
wrms N (mm)	wrms E (mm)	wrms Up (mm)	REGME 45 SITES	wrms N (mm)	wrms E (mm)	wrms Up (mm)
0.32	0.34	1.98	**Q0**	0.21	0.30	1.47
0.70	0.70	2.75	**Q1 (25%)**	0.63	0.71	2.78
0.94	0.96	3.64	**Q2 (50%)**	0.86	0.93	3.23
1.10	1.10	4.19	**Q3 (75%)**	0.97	1.13	4.31
2.92	3.12	12.64	**Q4**	3.1	3.19	12.73

Repetibilidad RENAGE





Se consideran valores óptimos de **WRMS** para las componentes **Norte y Este entre 2 y 3 mm**, y el valor óptimo para **la componente vertical es el doble o triple** del valor del wmrs de las componentes N-E.

ITRF 2020 *				ITRF 2014		
wrms N (mm)	wrms E (mm)	wrms Up (mm)	RENAGE 140 SITES	wrms N (mm)	wrms E (mm)	wrms Up (mm)
0.01	0.01	0.07	**MIN**	0.00	0.01	0.02
5.49	6.42	18.46	**MAX**	5.13	6.34	17.76
1.02	1.27	4.36	**MEDIA**	0.94	1.25	4.00
0.81	0.91	3.14	**MEDIAN**	0.69	0.90	2.94
0.89	1.23	3.83	**DESV**	0.85	1.22	3.67
C U A R T I L E S						
wrms N (mm)	wrms E (mm)	wrms Up (mm)	RENAGE 140 SITES	wrms N (mm)	wrms E (mm)	wrms Up (mm)
0.01	0.01	0.07	**Q0**	0.00	0.01	0.02
0.38	0.45	1.22	**Q1 (25%)**	0.37	0.41	1.09
0.81	0.91	3.14	**Q2 (50%)**	0.69	0.90	2.94
1.49	1.71	6.39	**Q3 (75%)**	1.35	1.66	6.01
5.49	6.42	18.46	**Q4**	5.13	6.34	17.76

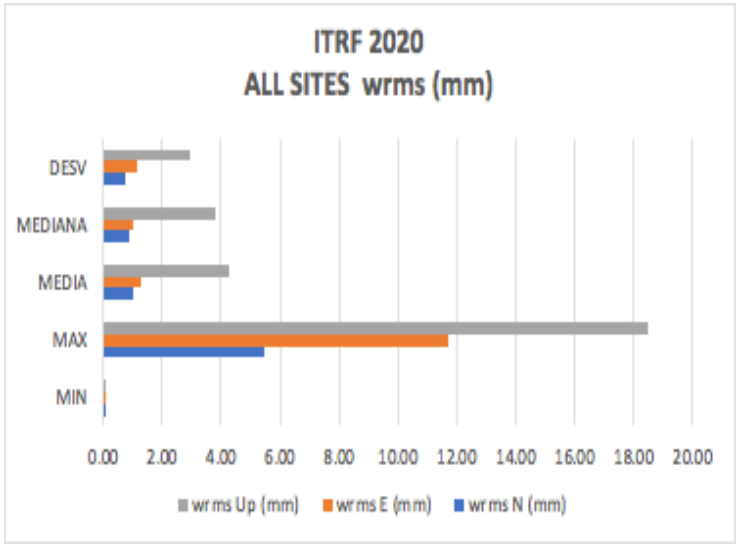
Institut de Recherche pour le Développement FRANCE

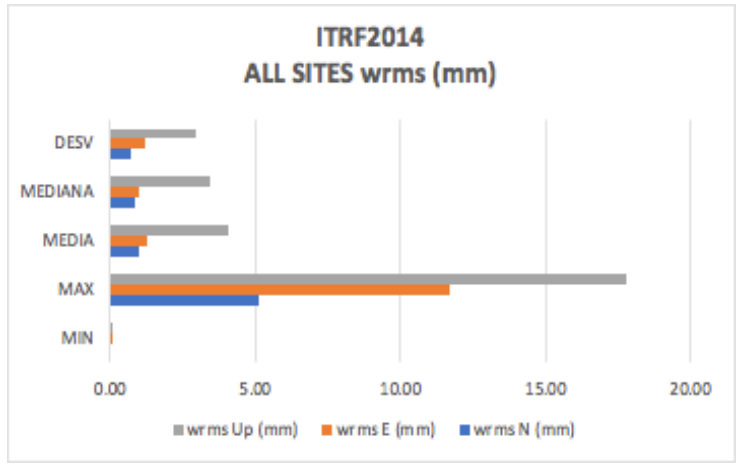
GEODESIA INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR

MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL

INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR

Repetibilidad RENAGE+REGME+RENGEO+SIRGAS+IGS





Se consideran valores óptimos de **WRMS** para las componentes **Norte y Este entre 2 y 3 mm**, y el valor óptimo para **la componente vertical es el doble o triple** del valor del wmrs de las componentes N-E.

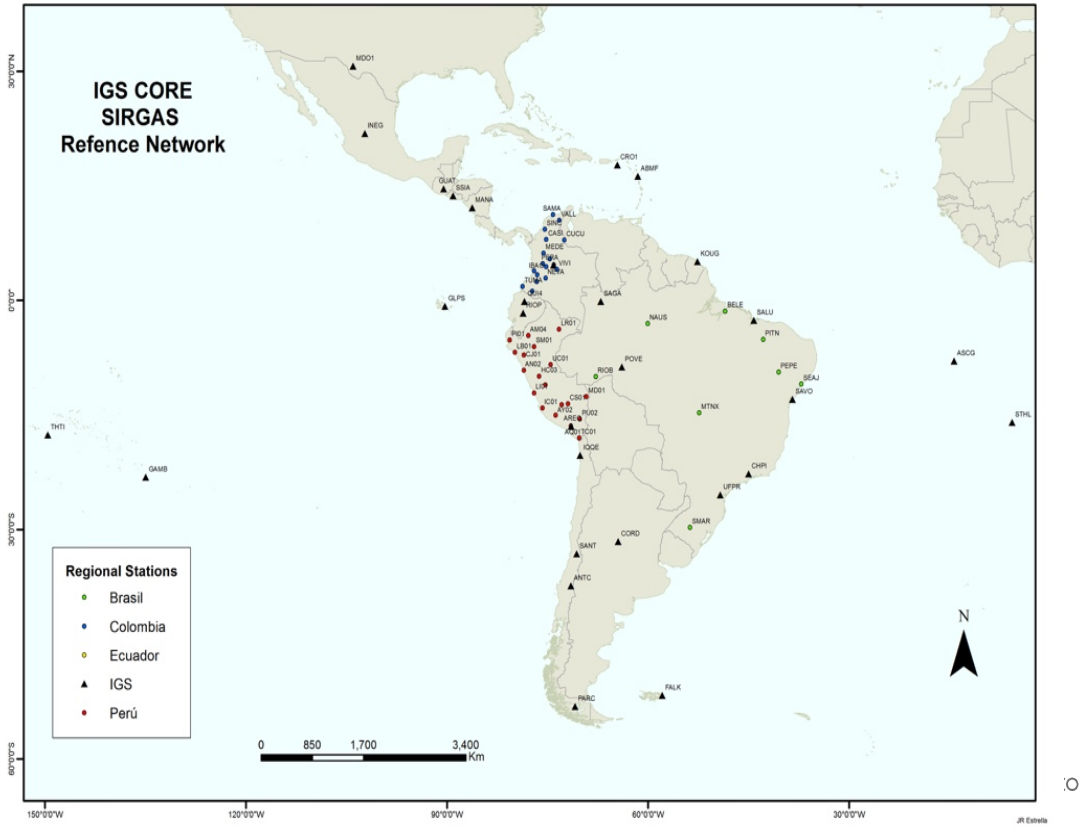
ITRF 2020 *				ITRF 2014		
wrms N (mm)	wrms E (mm)	wrms Up (mm)	ALL SITES 264	wrms N (mm)	wrms E (mm)	wrms Up (mm)
0.01	0.01	0.07	MIN	0.00	0.01	0.02
5.49	11.71	18.46	MAX	5.13	11.70	17.76
1.03	1.27	4.26	MEDIA	0.98	1.26	4.04
0.89	1.04	3.79	MEDIANA	0.82	1.01	3.44
0.74	1.16	2.97	DESV	0.72	1.16	2.92
CUARTILES						
wrms N (mm)	wrms E (mm)	wrms Up (mm)	ALL SITES 264	wrms N (mm)	wrms E (mm)	wrms Up (mm)
0.01	0.01	0.07	Q0	0.00	0.01	0.02
0.57	0.61	2.28	Q1 (25%)	0.51	0.64	2.17
0.89	1.04	3.79	Q2 (50%)	0.82	1.01	3.44
1.33	1.61	5.42	Q3 (75%)	1.26	1.57	5.33
5.49	11.71	18.46	Q4 (100%)	5.13	11.70	17.76

Estabilizar y Alinear la Solución al ITRF, usando 29 CORE IGS STATIONS

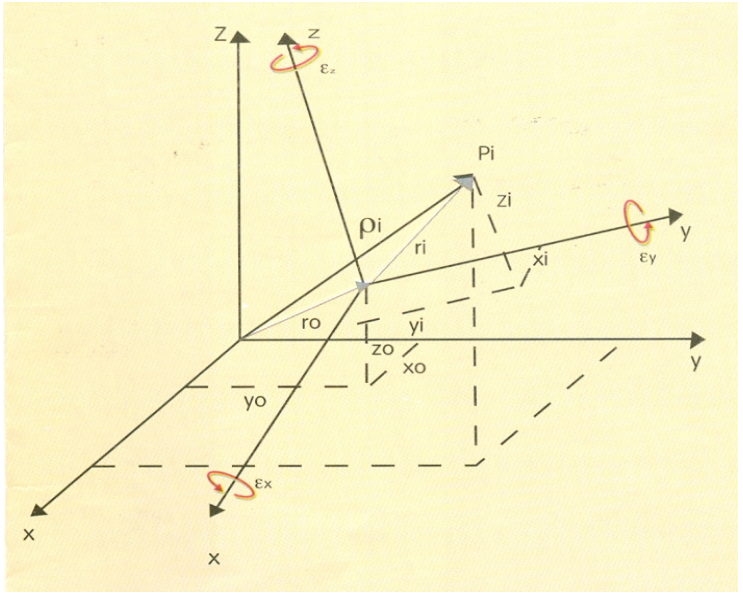
En Geodesia, este procedimiento se define generalmente como “Estabilización”, pero es más conocido como "Marco de Referencia".

7 parámetros Helmert +drift para estabilizar la solución libre; dentro del Marco de Referencia Global (ITRF2014, ITRF2020).

La solución acumulada está referida y alineada, al ITRF y una época de referencia fija.



Estabilización ITRF 2020 *				Estabilización ITRF 2014		
Helmert E wrms (mm)	Helmert N wrms (mm)	Helmert h wrms (mm)		Helmert E wrms (mm)	Helmert N wrms (mm)	Helmert h wrms (mm)
1.23	0.76	3.73	**MIN**	1.09	1.40	5.45
2.30	2.11	9.26	**MAX**	2.31	2.66	12.21
1.73	1.43	6.17	**MEDIA**	1.80	1.93	8.28
1.71	1.38	5.89	**MEDIANA**	1.78	1.86	8.62
0.30	0.37	1.37	**DESVEST**	0.36	0.35	1.72



Tx	**dTx**
Ty	**dTy**
Tz	**dTz**
Rx	**dRx**
Ry	**dRy**
Rz	**dRz**
D	**dSc**

Obtención de las coordenadas Marco de Referencia Geocéntrico del Ecuador

Solución DIARIA

Se obtienen las soluciones libres para cada día y a partir de aquello, se ejecuta la Estabilización de cada solución libre, para alinearla al ITRF y de esta manera se obtienen las coordenadas diarias, para cada punto.

Promedio total de coordenadas diarias para cada punto; la época de referencia corresponde a la fecha promedio (media) en la cual fueron observados los datos, a lo largo de la campaña, es decir 2021.66

DIF X (mm)	DIF Y (mm)	DIF Z (mm)	
5.330	9.970	6.780	MIN
5.350	28.640	1.980	MAX
0.402	1.876	2.821	MEDIA
0.320	1.650	2.930	MEDIANA
1.632	4.953	1.363	DESVEST

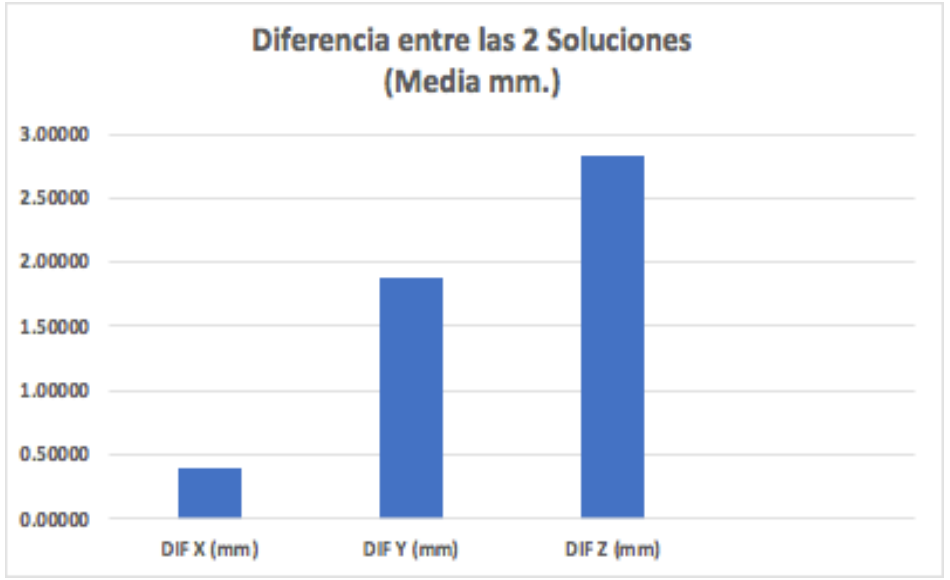
Solución COMBINADA

Se obtienen las soluciones libres para cada día y a partir de aquello, se ejecuta la Combinación de la **Solución Acumulada Final**.

La solución combinada es más robusta, porque toma todas las soluciones libres diarias y acumula progresivamente coordenadas de todas las soluciones diarias, por medio de la estimación secuencial de mínimos cuadrados.

A continuación estabilizar la Solución Acumulada Final, dentro de un Marco de Referencia Global.

La época coincide con el último día de la campaña GPS, es decir 2021.8



Obtención de las coordenadas del Sistema Nacional de Referencia Espacial SIRGAS – ECUADOR

Resultados:

- Nuevas Coordenadas de 45 estaciones REGME
- Nuevas Coordenadas de 140 puntos RENAGE
- Nivel de Incertidumbre Horizontal 4 mm.
- Nivel de Incertidumbre Vertical 8 mm.
- ITRF 2014
- ITRF 2020
- Época de Referencia 2021.8
- Series Temporales REGME, RENAGE (procesamiento datos históricos REGME)
- Estimación Preliminar de Velocidades
- Análisis de Variabilidad de Coordenadas Ecuador, en los últimos 26 años
- Actualización Servicio REGME-IP

MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL

INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR

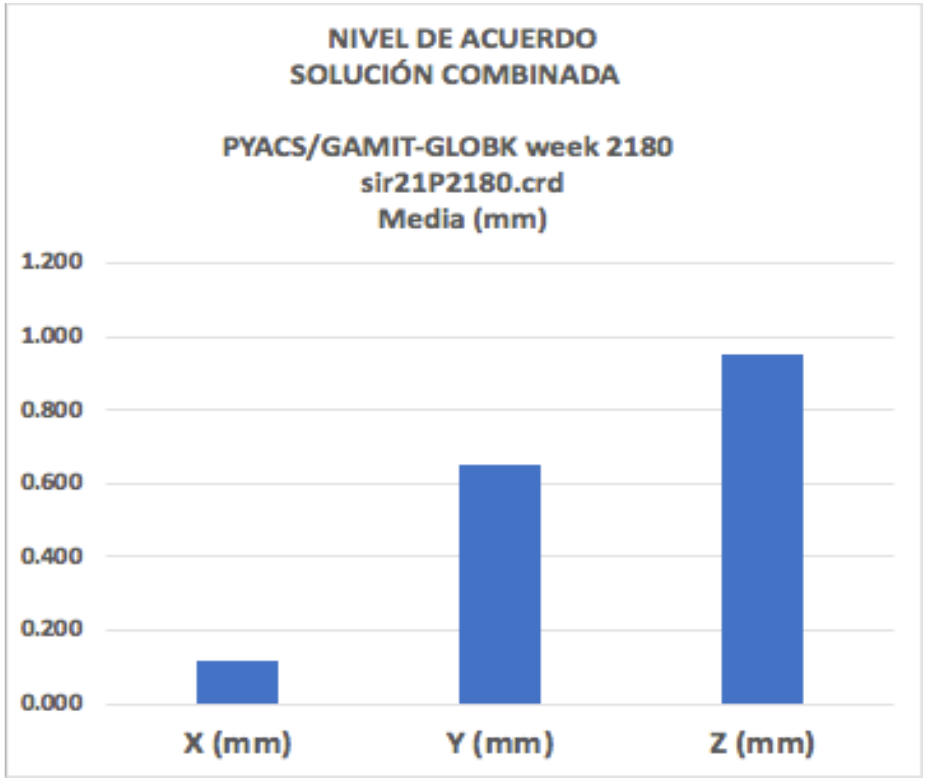
GEODESIA
INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR

IRD
Institut de Recherche pour le Développement
FRANCE

Validación de Resultados

El nivel de acuerdo de la Solución Final de la semana GPS 2180 obtenida con PYACS, GAMIT/GLOBK, respecto a la Solución Semanal SIRGAS sir21P2180.crd es el siguiente:

NIVEL DE ACUERDO SOLUCIÓN COMBINADA PYACS/GAMIT-GLOBK week 2180 sir21P2180.crd Media (mm)		
X	0.115	MEDIA (mm)
Y	0.653	
Z	0.954	



Los resultados obtenidos del procesamiento muestran un excelente nivel de acuerdo y precisión, el cual presenta una Media, para las tres componentes XYZ, en el orden de milímetros.

Validación de Resultados

Evaluación del ITRF14 respecto al ITRF2020, el nivel de acuerdo entre los dos marcos de referencia y la contribución que tienen sobre las coordenadas en promedio = 3 mm.

Se evaluó las diferencias a partir de las coordenadas de 272 puntos comunes (red activa y red pasiva).

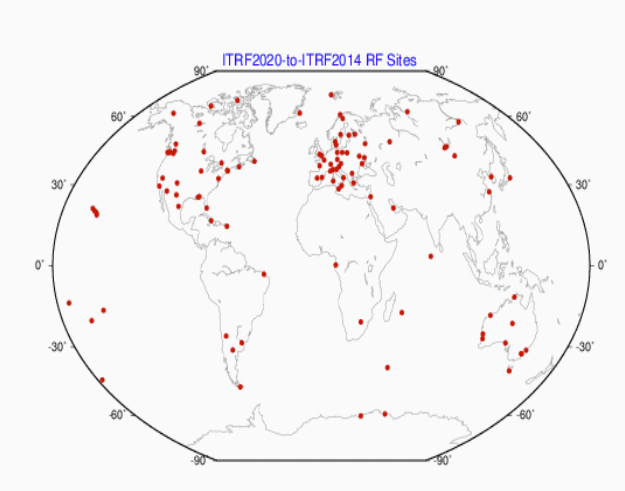
DIFERENCIAS ITRF2020 - ITRF2014			
ÉPOCA 2021.8			
dX (mm)	dY (mm)	dZ (mm)	
-3.430	-4.770	-3.070	MIN
3.350	1.290	1.160	MAX
-0.386	-3.261	-1.873	MEDIA
-0.475	-3.430	-1.900	MEDIANA
0.689	0.821	0.519	DESVEST

Transformation Parameters from ITRF2020 to ITRF2014

14 transformation parameters from ITRF2020 to ITRF2014 have been estimated using 131 stations listed in the core network list and located at 105 sites shown on *fig.2*.

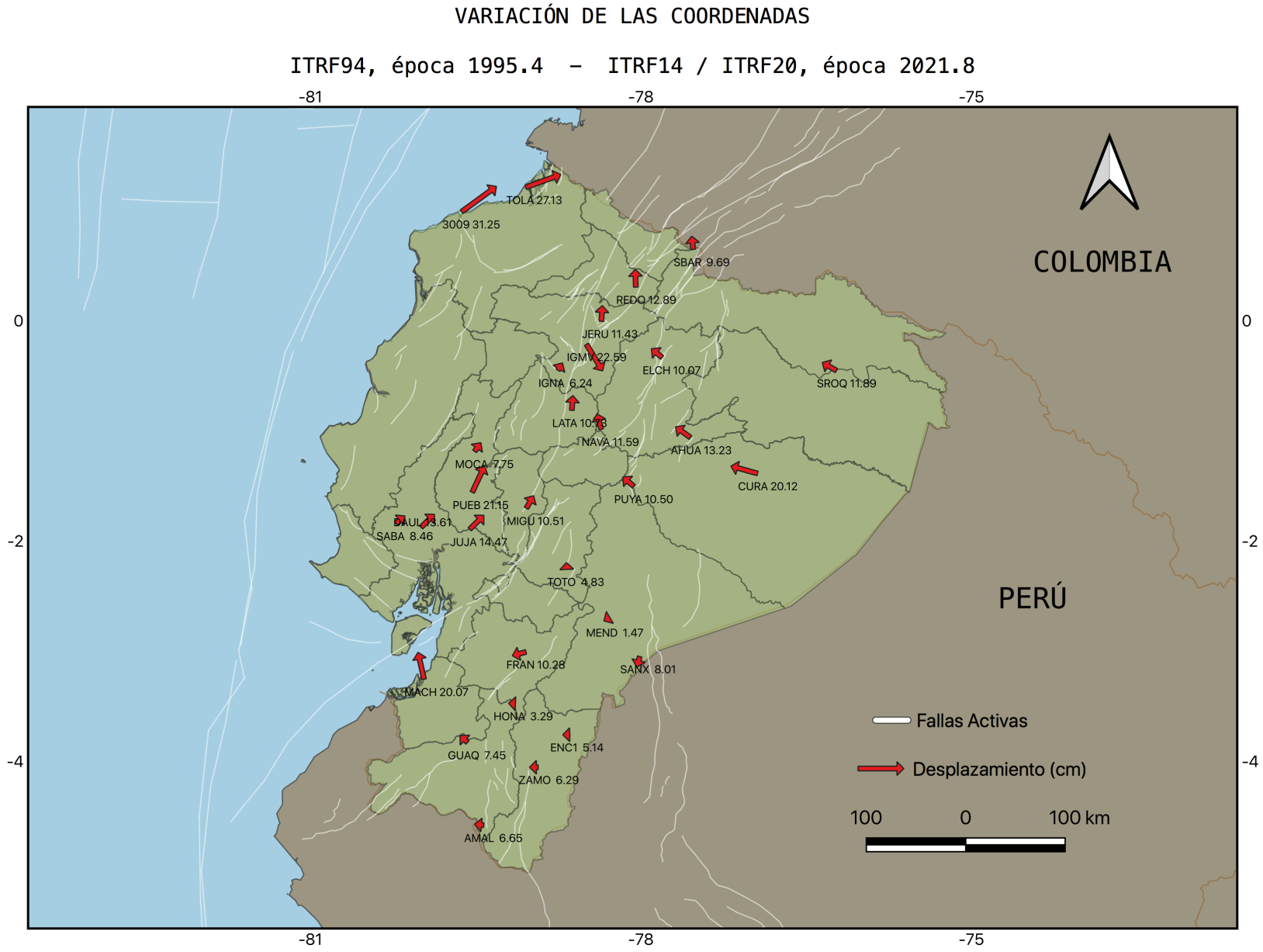
	T1 mm	T2 mm	T3 mm	D 10-9	R1 mas	R2 mas	R3 mas
	-1.4	-0.9	1.4	-0.42	0.000	0.000	0.000
±	0.2	0.2	0.2	0.03	0.007	0.006	0.007
Rates	0.0	-0.1	0.2	0.00	0.000	0.000	0.000
±	0.2	0.2	0.2	0.03	0.007	0.006	0.007

table.2: Transformation parameters at epoch 2015.0 and their rates from ITRF2020 to ITRF2014 (ITRF2014 minus ITRF2020)



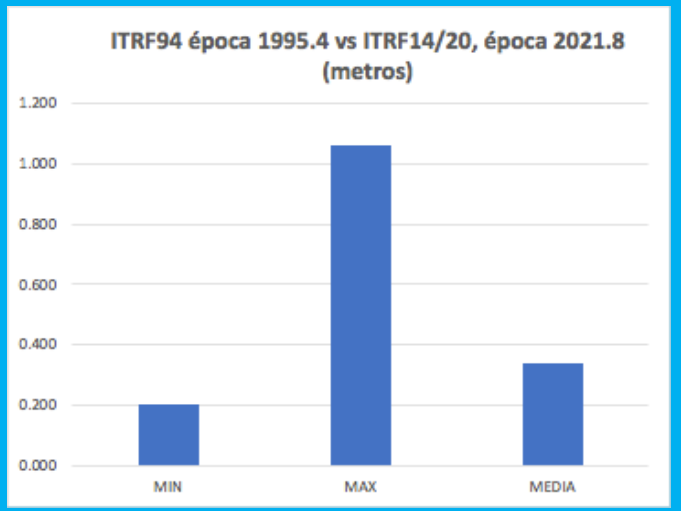
La estimación de los parámetros de transformación entre el ITRF14 e ITRF2020, presenta la Rotación de los ejes XYZ igual a cero (0.000 mas), mientras que la Traslación se encuentra en el orden de 1mm, eso explica la diferencia promedio obtenida en los dos juegos de coordenadas (ITRF2014, ITRF2020) y concuerda con los resultados.

El segundo análisis comprende la fase Post-sísmica, a partir de la primera campaña RENAGE 1994 y se extiende hasta la última campaña del año 2021: **Periodo de tiempo (t0-t1) 2021.8-1995.4 = 26.4 años**

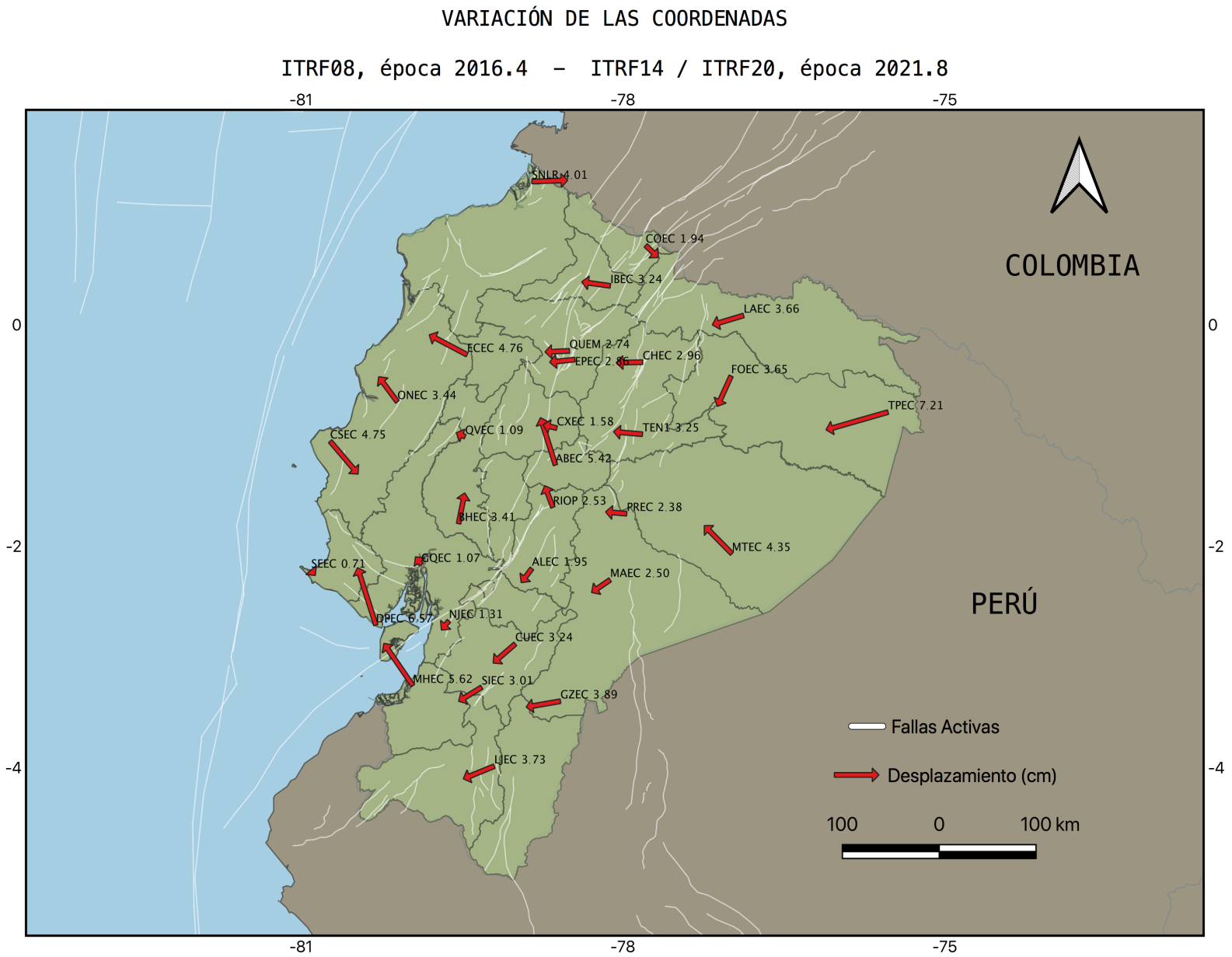


Variabilidad de las coordenadas en 26.4 años

	Vector XY (m)
MIN	0.205
MAX	1.064
MEDIA	0.340

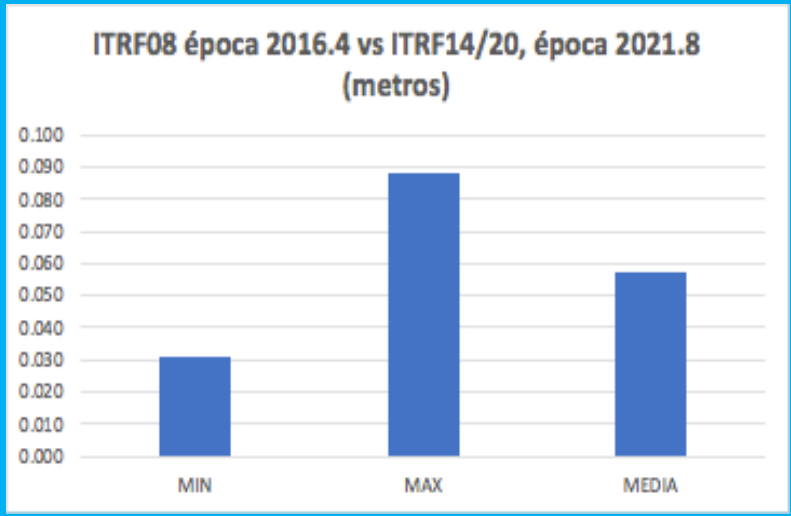


Analizamos la variabilidad, a partir de las coordenadas post-sísmicas 2016 y la evolución en los últimos 5 años; hasta la campaña del 2021: **Periodo de tiempo (t0-t1) 2016.4- 2021.8 = 5.4 años**

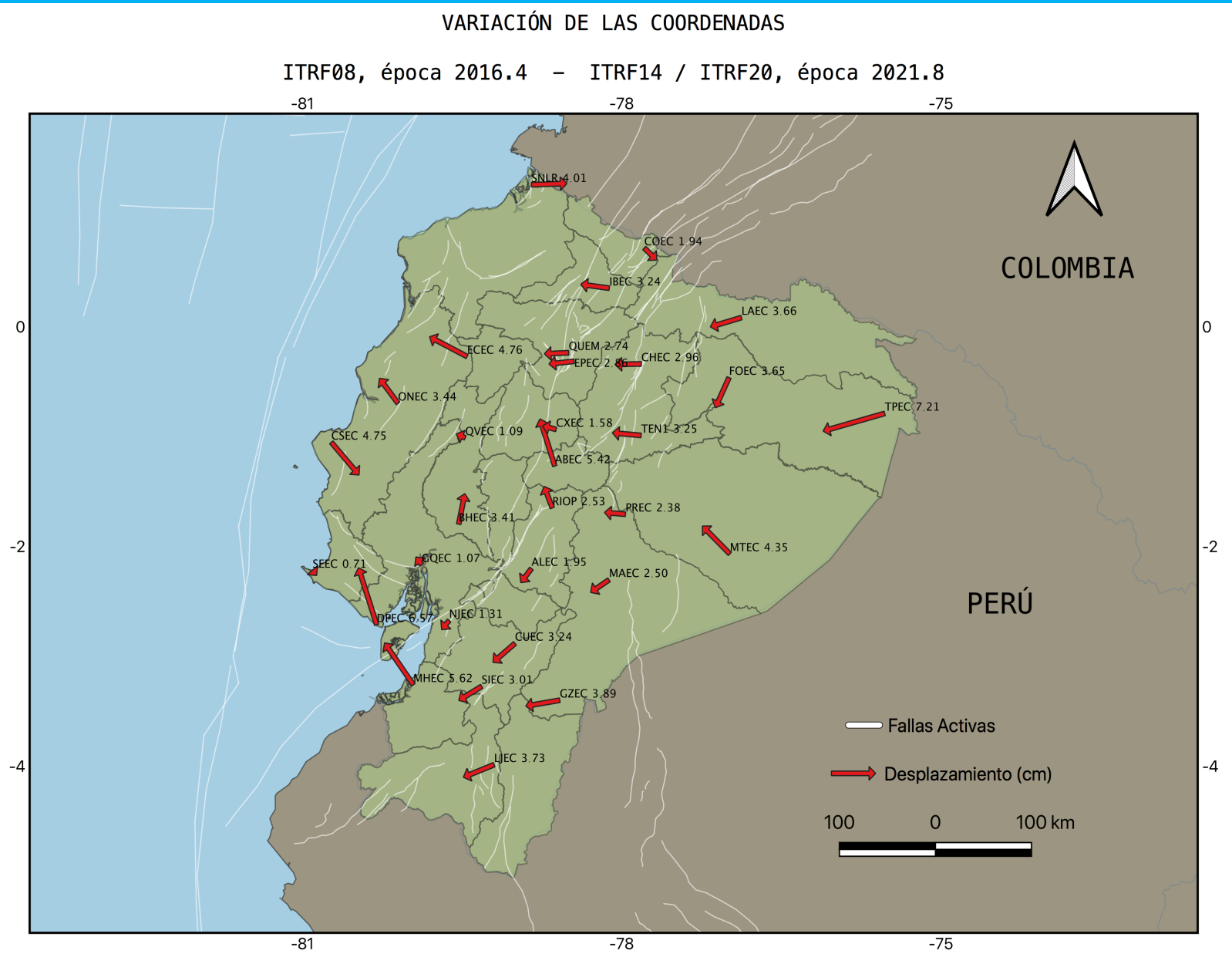


Variabilidad de las coordenadas en 5.4 años

	Vector XY (m)
MIN	0.031
MAX	0.088
MEDIA	0.057



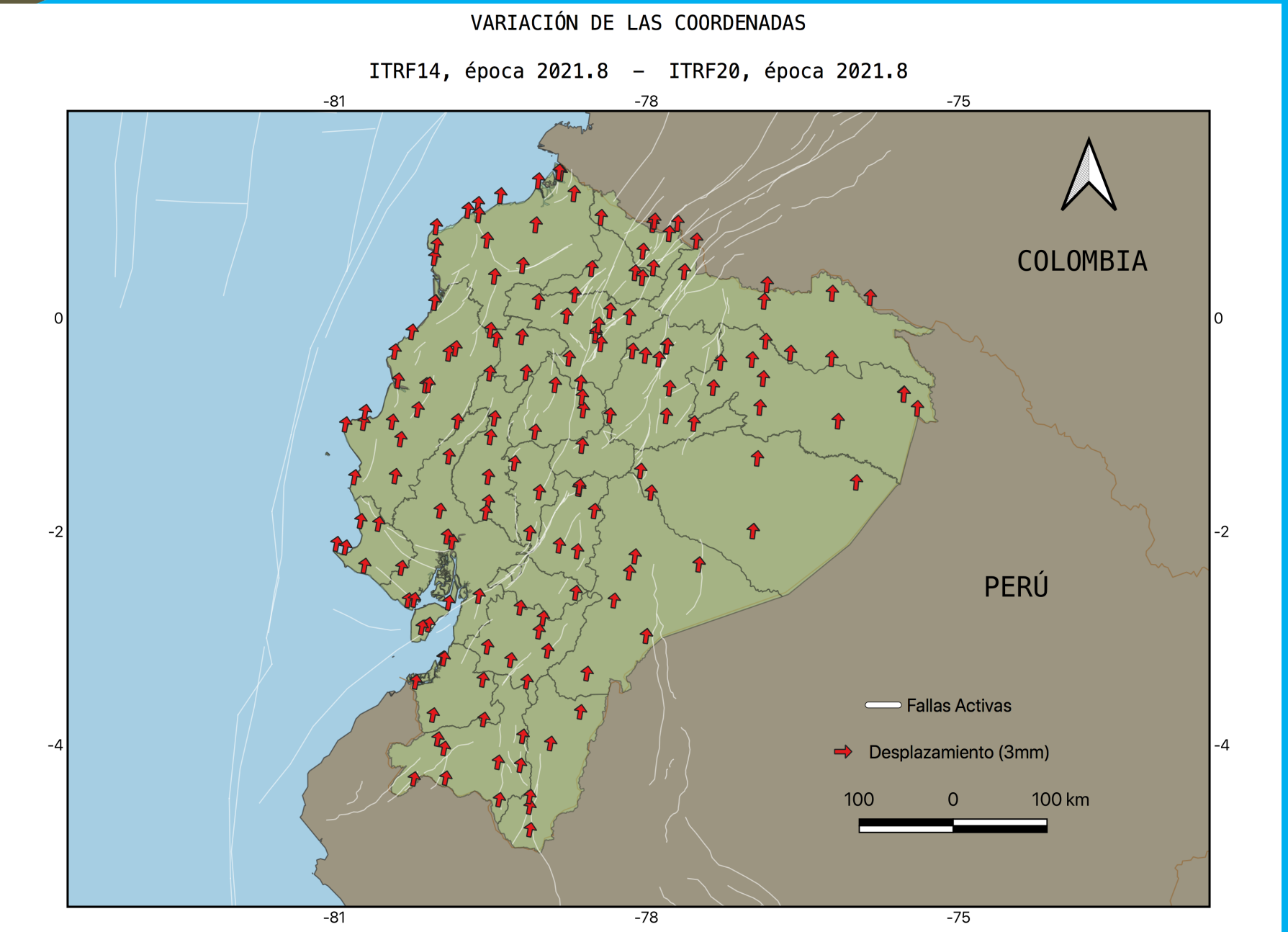
Analizamos la variabilidad, a partir de las coordenadas post-sísmicas 2016 y la evolución en los últimos 8 años; hasta el 2024: **Periodo de tiempo (t0-t1) 2016.4- 2024.4 = 8.0 años**



Variabilidad de las coordenadas en 8 años

VECTOR XY (m)	
MIN	0.053
MAX	0.098
MEDIA	0.076

Validación de Resultados conforme cinemática del ITRF



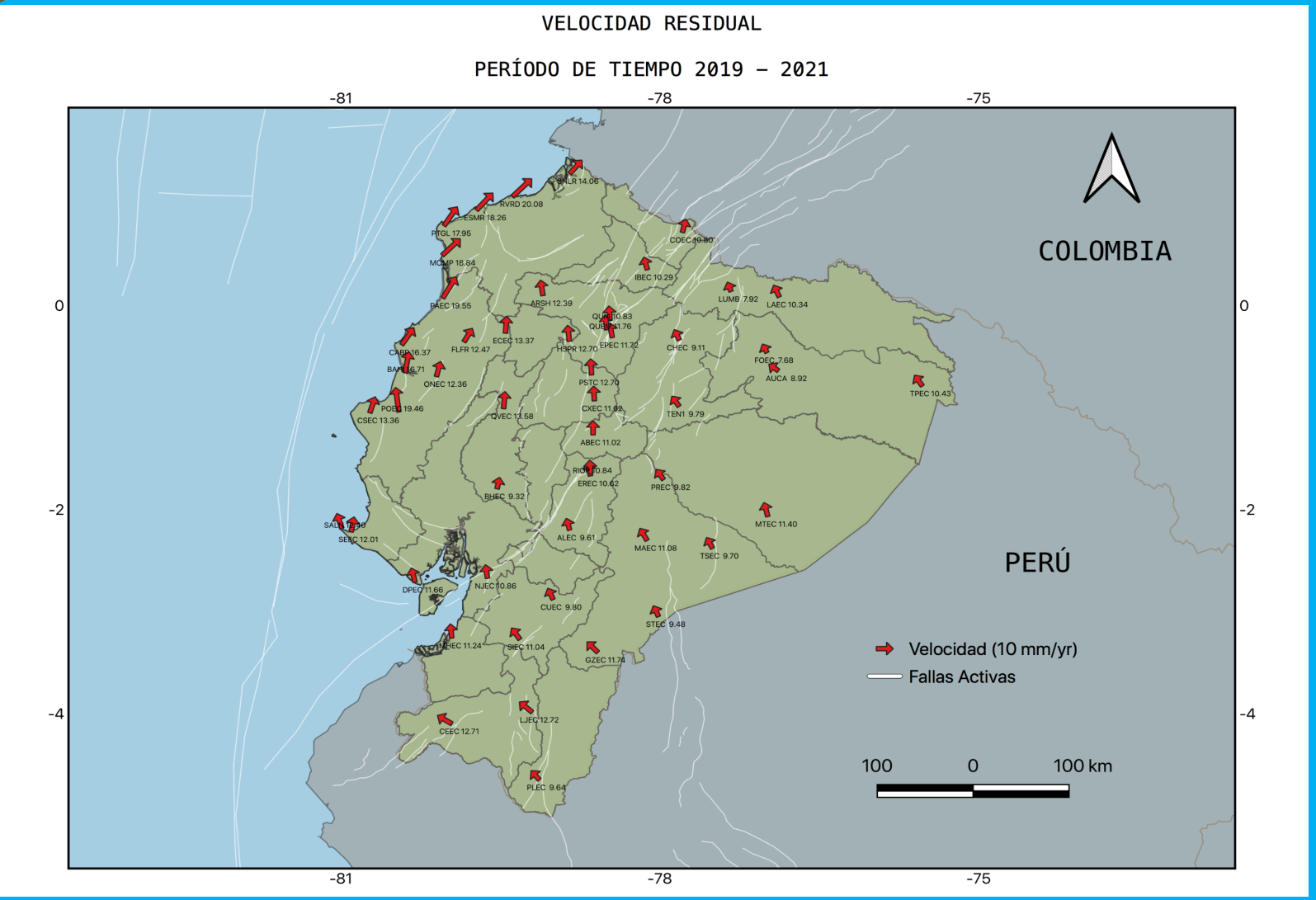
Se observa un promedio de variación de las coordenadas en el orden de ˜3 mm.

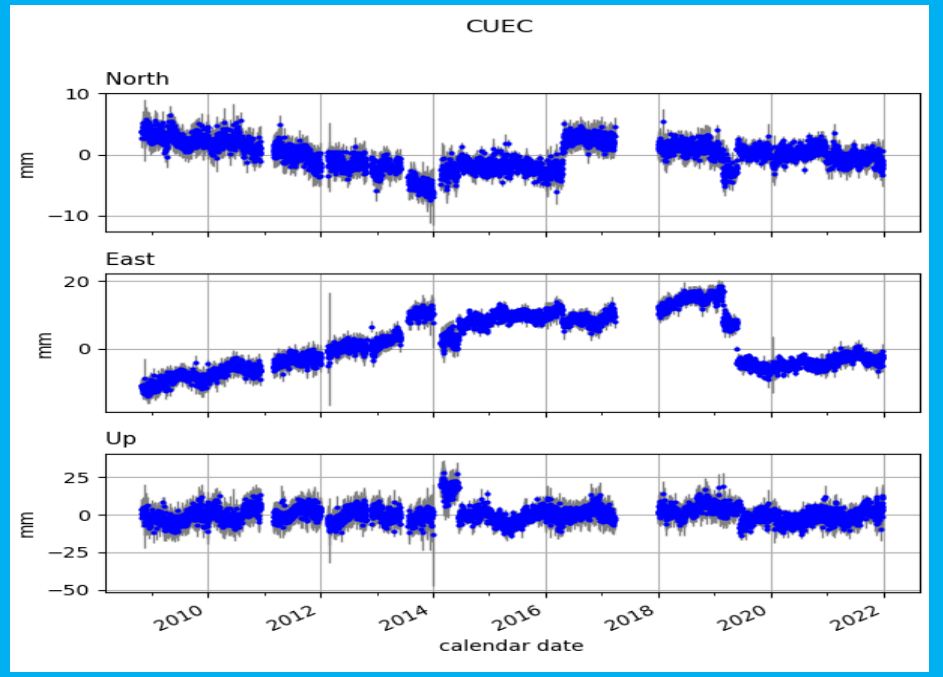
Los vectores muestran un desplazamiento en sentido NE, conforme a la cinemática del ITRF, en dirección al Polo de Euler, que actúa como un pivote.

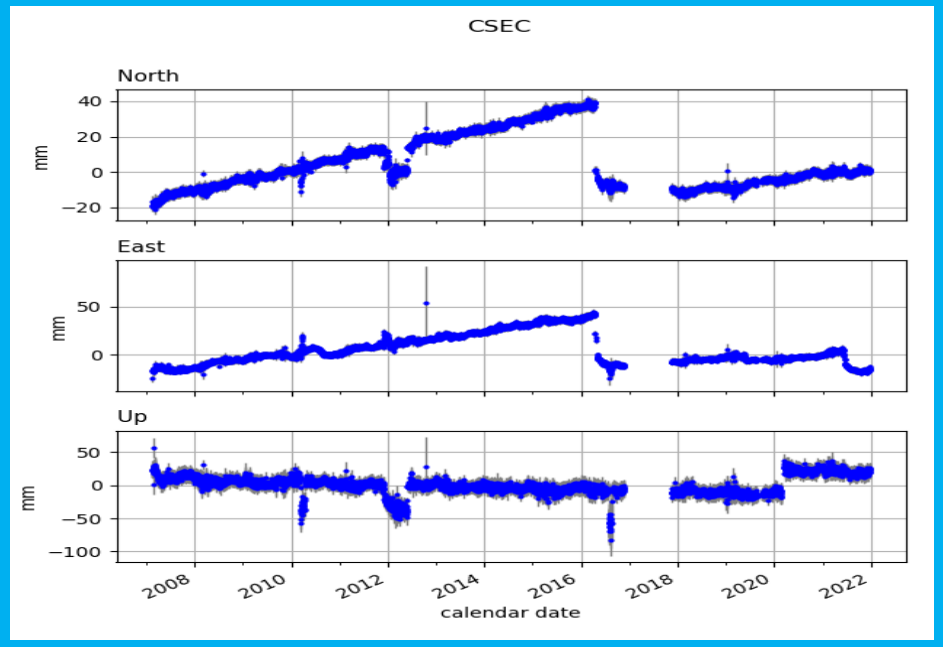
La magnitud de variación de las coordenadas está en el orden de los milímetros, puesto que la diferencia de épocas es igual a (0.00) cero

GEODESIA
INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR

”Estimación preliminar" de velocidad residual calculada con datos de estaciones permanentes de los últimos 3 años (2019 – 2021).

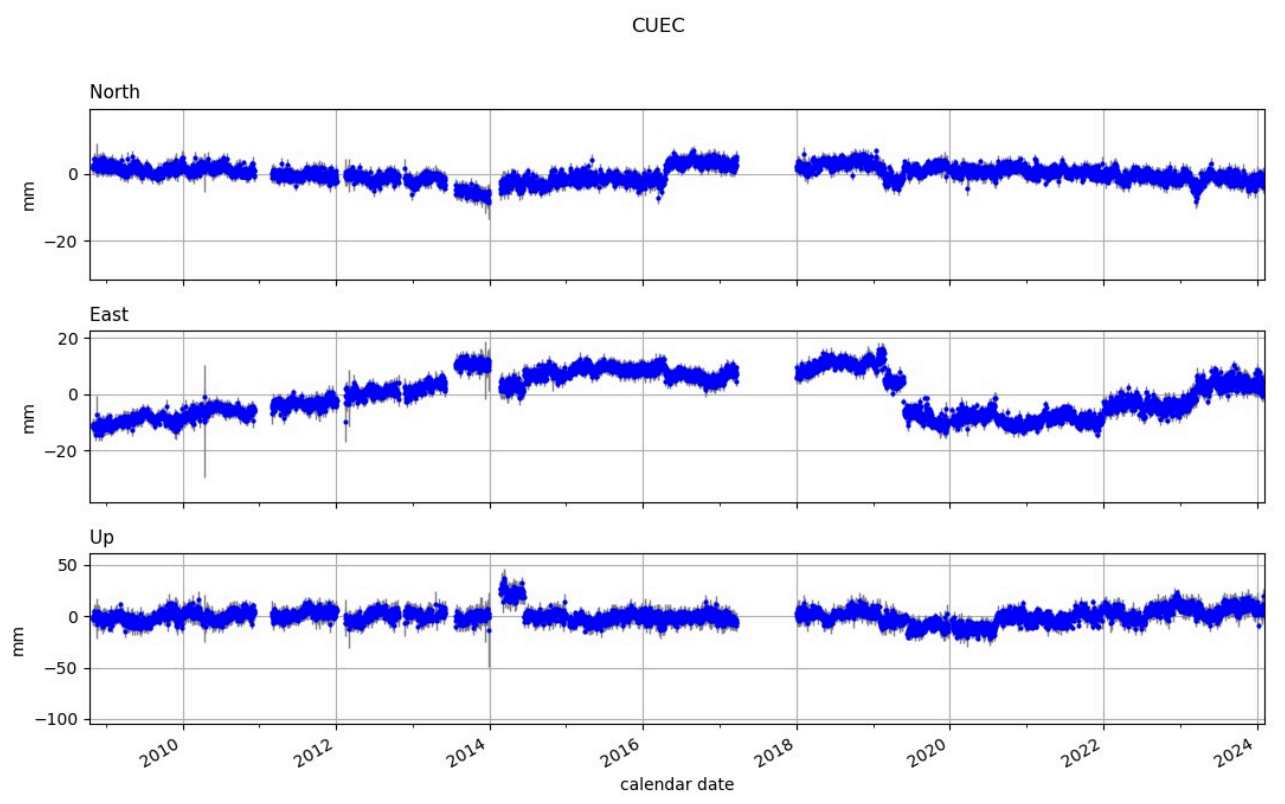


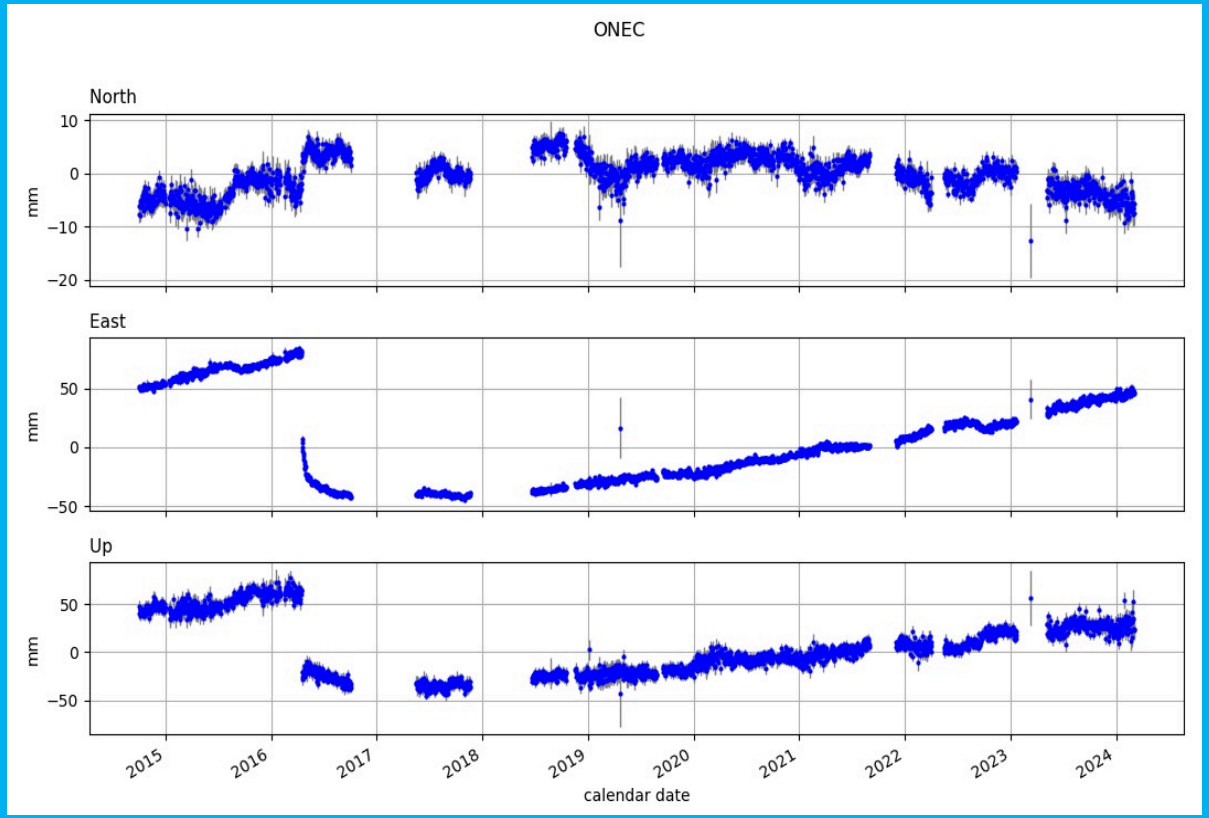




No se puede considerar como una solución definitiva, en vista que los procesos de deformación Post-sísmica (post terremoto de Pedernales 2016) se encuentran presentes a lo largo del país, de acuerdo al análisis presentado en las series de tiempo, por tal razón es importante más campañas GPS.

Series Temporales calculadas con datos GNSS de estaciones permanentes REGME de los últimos 16 años (2008 – 2024).





GEODESIA INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR

Institut de Recherche pour le Développement FRANCE

MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL

INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR

Conclusiones

- Se obtuvieron Nuevas Coordenadas ITRF2020, Época Refer 2021.8, para 45 estaciones REGME y 140 puntos RENAGE
- La Precisión interna de la red y el nivel de incertidumbre Horizontal 4 mm, Vertical 8 mm.
- En términos generales, el Promedio de variabilidad de coordenadas del MRF Nacional en los últimos 28 años (1994-2022) es ˜40 cm, sin embargo ciertos puntos presentan ˜1 m, como valor máximo.
- La variabilidad de las coordenadas en los últimos 5 años (2016–2022), a lo largo del país, presenta un promedio de ˜5 cm, con un valor máximo de ˜9 cm, **sin embargo al cabo de 9 años (2016-2025) se estima 11 cm de variabilidad**.
- Los efectos post-sísmicos del terremoto Pedernales 2016, muestran un comportamiento no lineal en las series de tiempo, por tal razón, aún no se pueden estimar con precisión, velocidades para las estaciones permanentes REGME y sitios de campaña RENAGE.
- Se requiere de campañas GPS adicionales para mejorar la estimación de velocidades, que permitan obtener el Campo y Modelo de Velocidades del Ecuador VEC_EC.
- El sismo del Golfo de Guayaquil, provocó una variación sobre las coordenadas de las estaciones cercanas al epicentro. Componente horizontal ˜1.3 cm , componente vertical ˜2 cm.
- REGME-IP constituye el estándar de posicionamiento Tiempo Real en Ecuador.
- La REGME se enmarca en los ODS y se alinea a los objetivos estratégicos del IGS, mediante el proyecto MGEX RT multiGNSS

La science au service de la paix et de l'humanité

Instituto Geográfico Militar

MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL

INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR

El Estado del Arte de la Geodesia Ecuatoriana, es un Sistema Nacional de Referencia Espacial Preciso y Exacto (dcs)…

GEODESIA
INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR

Ing. David A. Cisneros R, Msc.

Simposio SIRGAS, Noviembre 2024

alincisneros@gmail.com

Institut de Recherche pour le Développement
FRANCE