

Contribución de Venezuela al mantenimiento del marco de referencia continental: una mirada a las actividades recientes del Centro de Procesamiento y Análisis GNSS SIRGAS de la Universidad del Zulia

¹Víctor Cioce, ¹María Fernanda Rincón, ¹Eugen Wildermann, ¹Giovanni Royero, ¹Rodbher Ceballos, ²Carlos Reinoza, ²Franck Audemard

¹Centro de Procesamiento y Análisis GNSS SIRGAS de la Universidad del Zulia (CPAGS-LUZ). Maracaibo, Venezuela

²Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS). Caracas, Venezuela



RESUMEN

Desde el Centro de Procesamiento y Análisis GNSS SIRGAS de la Universidad del Zulia (CPAGS-LUZ), que opera en Maracaibo, Venezuela, se contribuye sostenidamente con el mantenimiento del marco de referencia continental SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrica para las Américas) a través del procesamiento semanal de observaciones GNSS (Global Navigation Satellite Systems) registradas por casi 80 estaciones integrantes de la red de operación continua que materializa dicho marco y que están distribuidas en Centroamérica, la región caribeña y la zona norte de Suramérica. Se siguen los rigurosos estándares y convenciones establecidos por el IERS (International Earth Rotation and Reference Systems Service) e IGS (International GNSS Service), garantizando así la consignación de soluciones semi-libres que gozan de calidad interna y externa necesaria para la posterior generación de productos finales por parte de los Centros de Combinación SIRGAS. Aprovechando la capacidad operativa del CPAGS-LUZ, también se desarrollan actividades complementarias, a saber: la estimación del retardo troposférico en estaciones de interés, ahora con la implementación de la estrategia del PPP (Posicionamiento de Punto Preciso), y la determinación de posición precisa vinculada a SIRGAS de las estaciones pertenecientes a COCONET (Continuously Operating Caribbean GPS Observational Network) actualmente en funcionamiento en el país y que bien pudieran solventar la carencia que al respecto se tiene en Venezuela en términos de los requerimientos propios de SIRGAS. De esta manera, el trabajo muestra el alcance y estado actual de la operatividad de este centro de análisis.

PARTICIPACIÓN DE VENEZUELA EN SIRGAS

Desde los orígenes de SIRGAS como una iniciativa para la cooperación internacional en materia de geodesia entre países del continente, reconocida en la actualidad como la más exitosa, Venezuela ha destacado por ser uno de los países precursores.

El apoyo directo desde ámbitos académicos y gubernamentales así como una participación activa en los diferentes proyectos enmarcados dentro de los planes de acción de los Grupos de Trabajo de SIRGAS, impulsaron acciones significativas para la adopción del marco de referencia SIRGAS y el establecimiento de la primera red geodésica nacional basada en GPS (Global Positioning System), conocida como REGVEN (Red Geocéntrica Venezolana; Hernández et al., 2000).

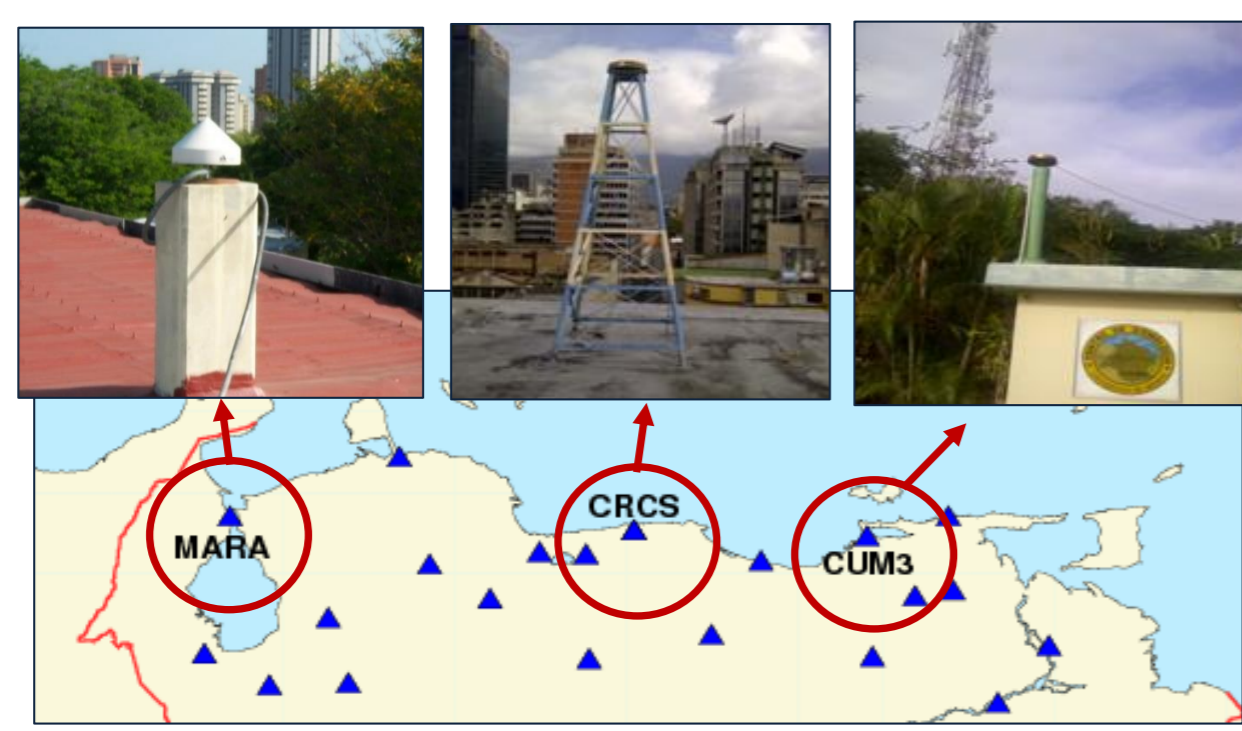


Fig. 1: Estaciones REMOS incluidas a SIRGAS-CON.

Esto motivó en 1998 a la instalación de la primera estación de rastreo permanente GPS en la ciudad de Maracaibo (MARA00VEN), operada por la Universidad del Zulia (LUZ) gracias al apoyo recibido por parte del DGF-TUM (Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut der Technischen Universität München).

Se destaca además, la instalación paulatina de otras estaciones permanentes en diferentes sitios de Venezuela (Fig. 1), conformando a REMOS (Red de Estaciones de Monitoreo Satelital GNSS, www.igsb.gov.ve/remos.html), algunas se incluyeron a SIRGAS para los fines del mantenimiento del marco de referencia continental.

En la actualidad, es la academia a través de LUZ, quien define un vínculo más estrecho con SIRGAS gracias al CPAGS-LUZ (Centro de Procesamiento y Análisis GNSS SIRGAS de LUZ), formando parte del conjunto de diez centros de análisis de la red GNSS (Global Navigation Satellite Systems) con la que es materializada la densificación del ITRF (International Terrestrial Reference Frame) en América Latina y El Caribe (ver Fig. 2). Sus actividades son coordinadas por el Grupo de Trabajo I (Sistema de Referencia) de SIRGAS.

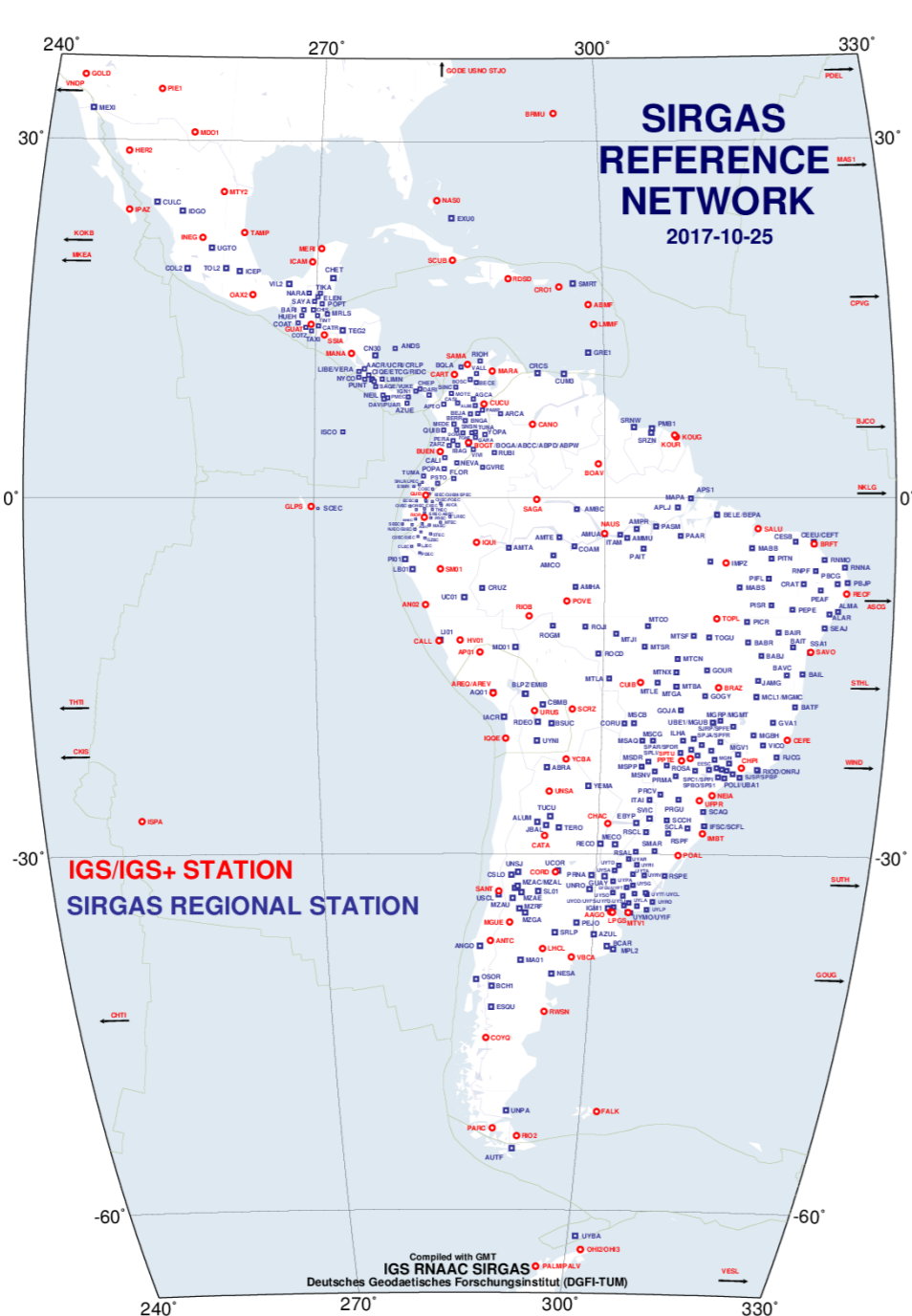


Fig. 2: Red SIRGAS de operación continua (SIRGAS-CON), www.sirgas.org

El CPAGS-LUZ, en funciones desde el año 2009, e integrado por personal docente, administrativo y estudiantes de la Escuela de Ingeniería Geodésica de LUZ, viene contribuyendo de forma sostenida con la obtención de soluciones semanales de la red SIRGAS-CON (SIRGAS Continuously Operating Network), labor que es complementada con investigaciones asociadas dentro y fuera del entorno universitario, resaltándose la mutua cooperación con FUNVISIS (Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas) y el IVIC (Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas).

se presentan aquí las actividades que durante el periodo comprendido entre octubre-2016 a noviembre-2017, han sido desarrolladas por el CPAGS-LUZ.

PRODUCTIVIDAD ACADÉMICA DEL CPAGS-LUZ

Como resultado de las actividades complementarias del CPAGS-LUZ, durante el periodo 2016-2017, se cuenta con los siguientes trabajos publicados:

- "Estimando el retardo troposférico sobre estaciones GNSS de operación continua en Venezuela mediante observaciones satelitales GLONASS". Revista MAPPING. Vol. 26, No. 183 (2017).
- "Evaluando la georreferenciación de un mosaico generado mediante vehículos aéreos no tripulados de uso comercial". I Congreso Internacional de Investigación Estudiantil Universitaria. Maracaibo-Venezuela, oct. 17-19 (2017).
- "SIRGAS en el contexto del Marco de Referencia Geodésico Global (GGRF): evolución, alcances y perspectivas". II Congreso Venezolano de Tecnología Espacial. Caracas-Venezuela, sep. 18-20 (2017).
- "Experiencias en el estudio de la atmósfera neutra basado en observaciones satelitales GNSS: un aporte de la Geodesia a las ciencias de la atmósfera". II Congreso Venezolano de Tecnología Espacial. Caracas-Venezuela, sep. 18-20 (2017).
- "Utilidad de aplicaciones Android en procesos de adquisición y tratamiento de información geoespacial". Trabajo Especial de Grado. Escuela de Ingeniería Geodésica. LUZ. 2017.
- "Cálculo del retardo troposférico mediante la implementación rigurosa del posicionamiento de punto preciso". Trabajo Especial de Grado. Escuela de Ingeniería Geodésica. LUZ. 2017.

REFERENCIAS

Altamimi Z., Rebischung P., Métivier L., Collilieux X. (2016). *ITRF2014: A new release of the International Terrestrial Reference Frame modeling nonlinear station motions*. Journal of Geophysical Research. doi: 10.1002/2016JB013098

Audemard F., Reinoza C., López R., Jouanne F., Sandru J., Villegas J., Fend M., Feaux K. (2016). *Instalación de estaciones geodésicas de monitoreo permanente con implicaciones en el estudio de la amenaza sísmica*. VII Coloquio de Microzonificación Sísmica. Mérida, Venezuela, 20 al 21 de oct.

Cioce V., Rincón M.F., Wildermann E., Royero G., Ceballos R., Sánchez L. (2016). *Actividades del Centro de Procesamiento y Análisis GNSS SIRGAS de la Universidad del Zulia, Venezuela, periodo 2015-2016*. Simposio SIRGAS. Quito, Ecuador, 16 al 18 de nov. Disponible en: <http://www.sirgas.org>

Cioce V., Wildermann E., Royero G., Rincón M.F., Morales R., Reinoza C., Audemard F., Sánchez L. (2015). *Una alternativa para el mantenimiento del marco de referencia SIRGAS en Venezuela*. Simposio SIRGAS. Santo Domingo, República Dominicana, 18 al 20 de nov. Disponible en: <http://www.sirgas.org>

Dach R., Lutz S., Walsler P., Frídez P. (2015). *Bernese GNSS Software Version 5.2. User manual*. Astronomical Institute, University of Bern, Bern Open Publishing. DOI: 10.7892/boris.72297

Espinosa D. (2017). *Cálculo del retardo troposférico mediante la implementación rigurosa del posicionamiento de punto preciso*. Trabajo Especial de Grado. Escuela de Ingeniería Geodésica, Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela.

Hernández N., Drewes H., Tremel H. (2000). *La Red Geodésica Venezolana*. Servicio Autónomo de Geografía y Cartografía Nacional. Caracas-Venezuela.

Paz C. (2017). *Análisis de estimaciones multitemporales del vapor de agua troposférico sobre la estación SIRGAS Maracaibo*. Trabajo Especial de Grado. Escuela de Ingeniería Geodésica, Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela. En publicación.

SOLUCIONES SEMANALES CALCULADAS POR EL CPAGS-LUZ

El CPAGS-LUZ realiza el procesamiento semanal de los datos GNSS (i.e. GPS+GLONASS) registrados por un arreglo nominal de 116 estaciones de la red SIRGAS-CON cuya distribución se presenta en la Fig. 3.

Las soluciones son semi-libres y el proceso de estimación rigurosa GNSS es implementado en el Bernese GNSS Software v5.2 (Dach et al., 2015) siguiendo los estándares y convenciones del IERS (International Earth Rotation and Reference Systems Service) y del IGS (International GNSS Service).

Los resultados inmediatos (i.e. coordenadas diarias y semanales, matriz de varianza-covarianza e información estadística relacionada) son puestos a disposición de los Centros de Combinación SIRGAS en formato SINEX (Solution Independent Exchange Format).

Todos los detalles inherentes a la estrategia de procesamiento pueden ser consultados en www.sirgas.org

Para el periodo comprendido entre las semanas 1918 a 1970:

- Una media de 78 estaciones han sido consideradas en las soluciones de LUZ. La Fig.4 muestra la cantidad por semana.

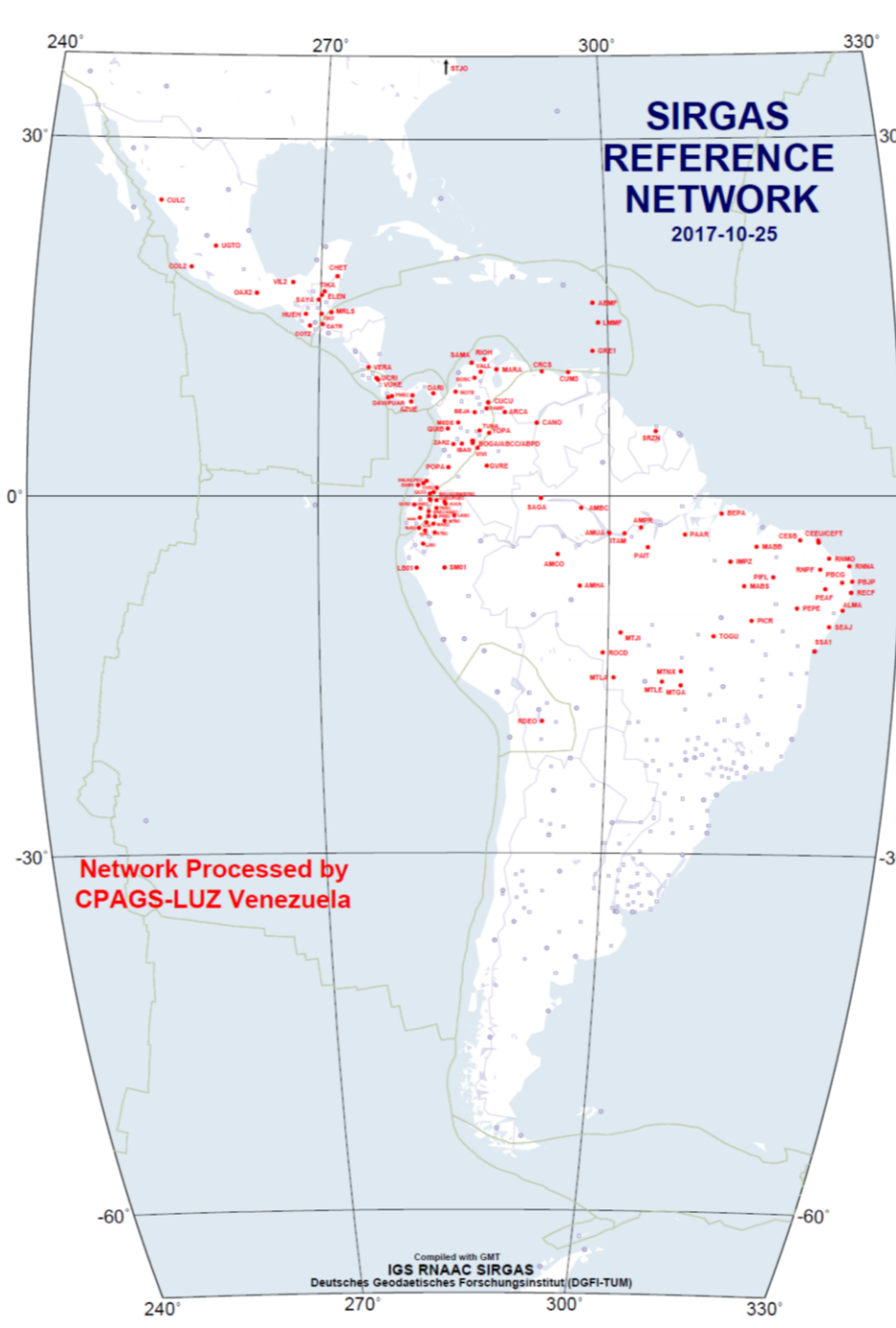


Fig. 3: Conjunto de estaciones SIRGAS-CON asignadas al CPAGS-LUZ.

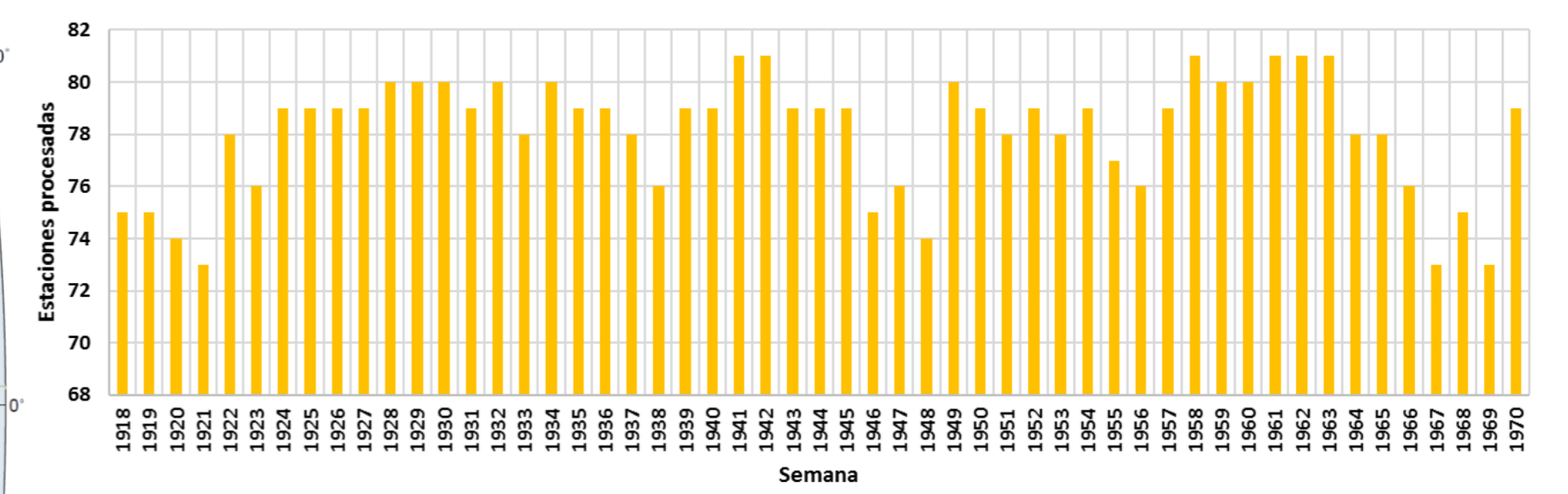


Fig. 4: Cantidad de estaciones incluidas en cada solución semanal LUZ.

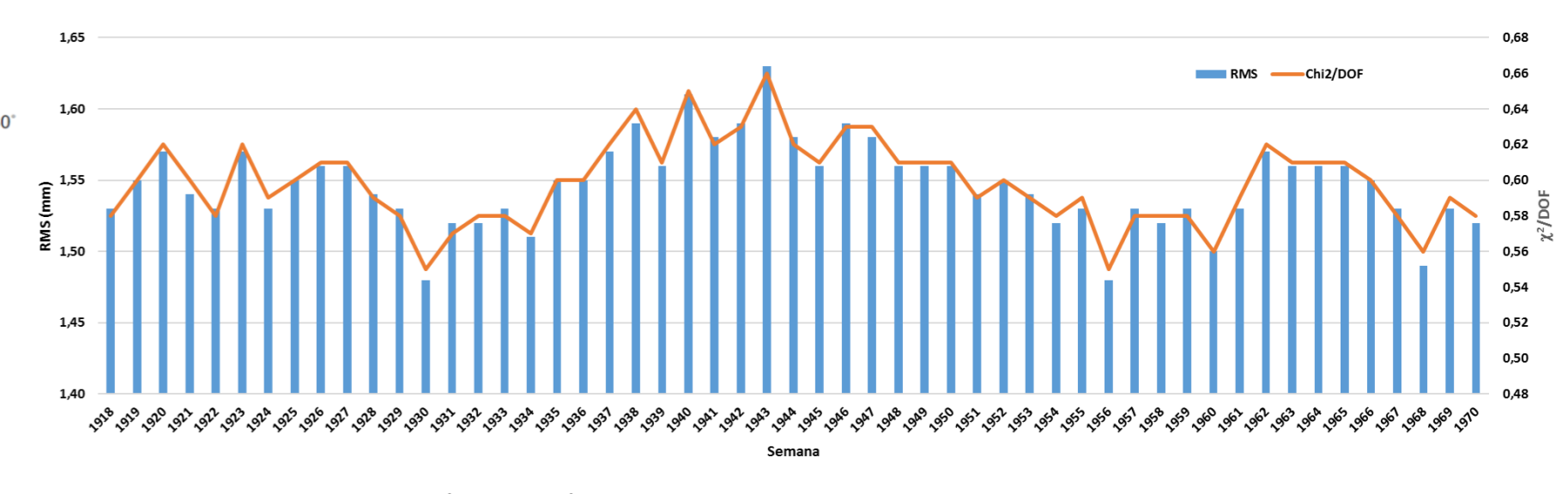


Fig. 5: Evaluación estadística de las soluciones LUZ para cada semana reportada.

- La evaluación estadística de las soluciones es satisfactoria, esto en términos del RMS a posteriori y del χ^2/DOF , alcanzando valores medios de 1.55mm y 0.60 (a) respectivamente. La Fig. 5 muestra estos estimadores por semana.

- Los RMS de las comparaciones individuales respecto a la solución semanal (Fig. 6), con valores medios de 2.18mm en N, 2.81mm en E y 5.97mm en U, revelan la precisión o calidad interna de las estimaciones.

- La sub-red asignada a LUZ mantiene la consistencia (interna) geométrica necesaria para el posterior ajuste de toda SIRGAS-CON. En la Fig. 7 se muestran las traslaciones resultantes de la Transformación Helmert (rotaciones y escalas son despreciables) entre las soluciones semi-libres diarias respecto a la combinada, estando en el orden de ± 4 cm.

- Posterior a la adopción del ITRF2014 (Altamimi et al., 2016) y la inclusión de tres estaciones IGS al arreglo de LUZ, una estabilidad en sus soluciones fue evidente. Las traslaciones Helmert entre la solución individual de LUZ y la combinada SIRGAS-CON (Fig. 8) ahora se encuentran en el rango de los ± 2 cm.

- Las soluciones calculadas por LUZ siguen contando con la consistencia externa que caracteriza a las soluciones de los demás Centros de Análisis, con una repetibilidad media de los resultados igual a:

$$\pm 1.01\text{mm en N} ; \pm 1.21\text{mm en E} ; \pm 3.21\text{mm en U}$$

- Adicionalmente, como parte implícita al proceso de cálculo, se ponen a disposición las estimaciones del retardo de la señal GNSS durante su paso por la atmósfera neutra, insumos básicos para la Meteorología GNSS y estudios relacionados con la atmósfera baja.

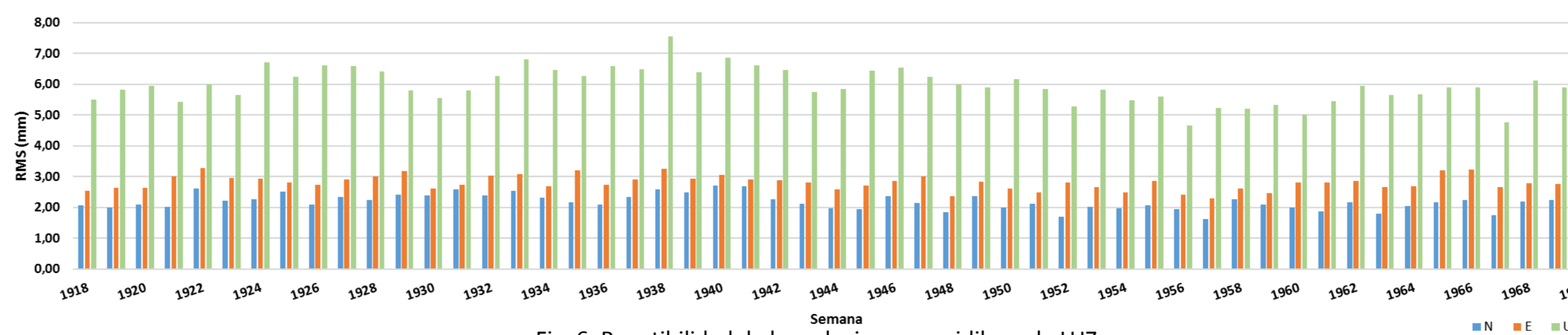


Fig. 6: Repetibilidad de las soluciones semi-libres de LUZ.

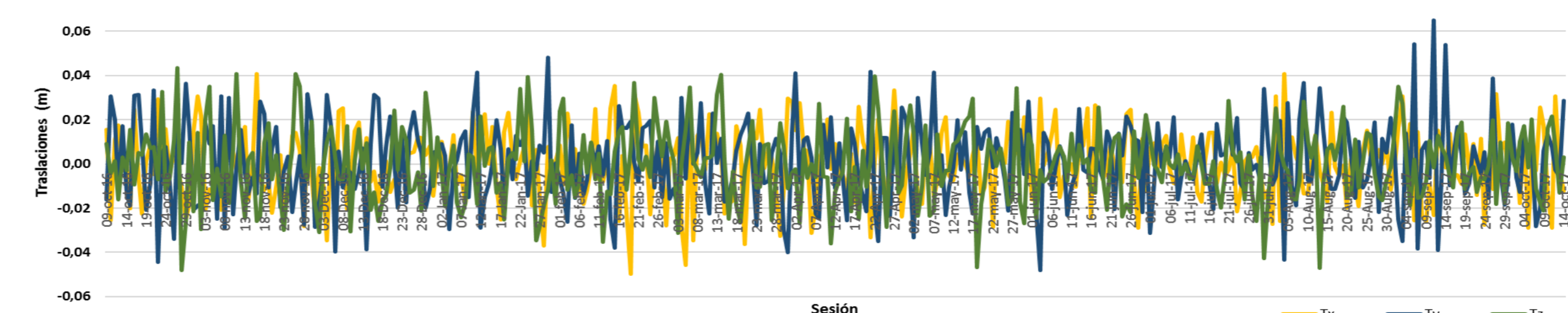


Fig. 7: Traslaciones Helmert entre soluciones semi-libres diarias y combinadas, el RMS de la transformación es de 3.7mm.

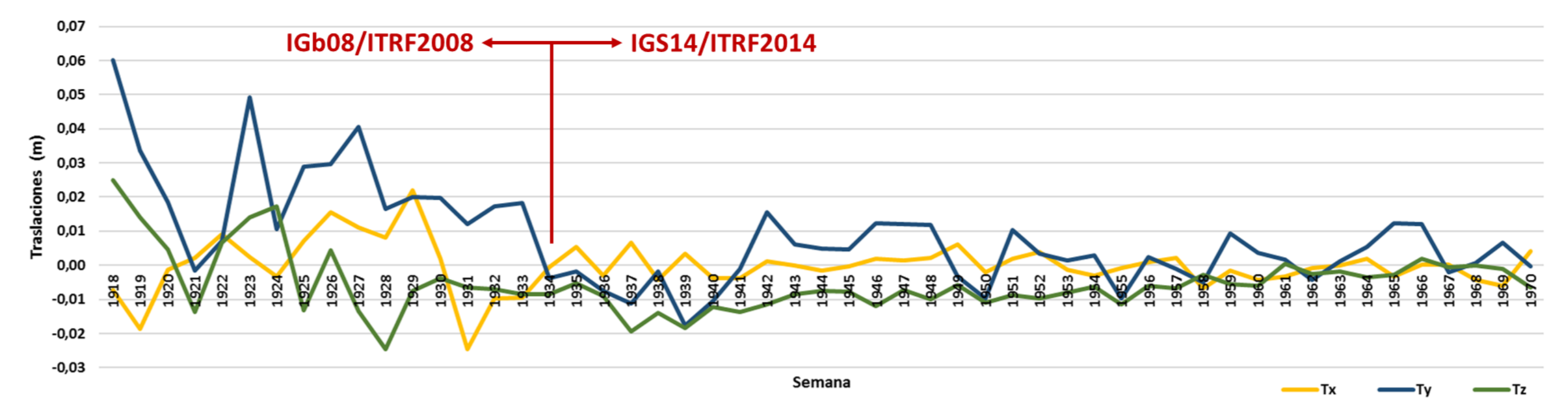


Fig. 8: Traslaciones Helmert entre soluciones LUZ y SIRGAS-CON posterior al ajuste de la red, el RMS de la transformación es de 2.2mm.

GENERANDO PRODUCTOS PARA LAS ESTACIONES COCONET EN VENEZUELA

En Venezuela cinco (5) estaciones pertenecientes a COCONet (Continuously Operating Caribbean GPS Observational Network) fueron instaladas a partir del año 2015 (Fig. 9). Esto gracias a la cooperación entre UNAVCO y FUNVISIS (Audemard et al., 2016).

A la fecha, son las únicas estaciones GPS de operación continua en el país que cumplen todos los requerimientos para ser parte de SIRGAS-CON. Propuestas para su incorporación a SIRGAS, en base a pruebas de procesamiento y resultados, han sido indicadas por Cioce et al. (2015).

No obstante, al ser de gran interés para estudios geodinámicos y atmosféricos en Venezuela, el CPAGS-LUZ viene efectuando un procesamiento paralelo en el que son incluidas dichas estaciones, bajo la estrategia de estimación implementada por todos los Centros de Análisis. Los resultados gozan de similares niveles de consistencia interna y externa respecto a las soluciones SIRGAS (Cioce et al., 2016).

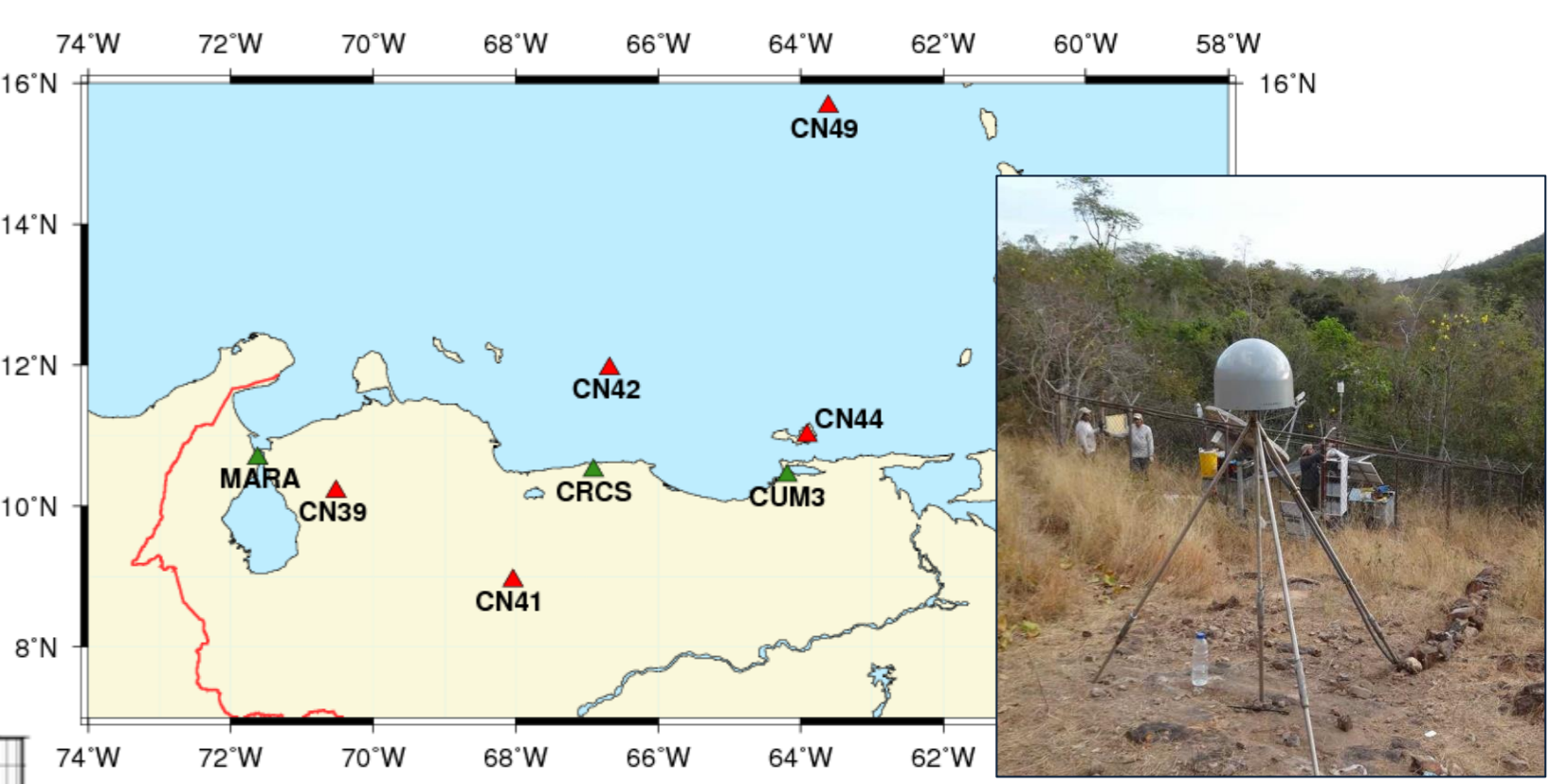


Fig. 9: Estaciones COCONet en Venezuela (rojo) y REMOS (verde). Se aprecia a la derecha, la estación CN41 (El Baúl), foto: www.unavco.org

A partir de las experiencias reportadas por Espinoza (2017), las observaciones registradas por estas estaciones COCONet durante el periodo 2015-2017, fueron procesadas aplicando la estrategia del PPP (Posicionamiento de Punto Preciso).

La Fig. 10 corresponde a la serie de tiempo para la posición de la estación CN39 (Quebrada Arriba) que se presenta junto a la solución generada por los centros de análisis de COCONet como patrón de comparación.

Ambas series revelan la misma tendencia en la cinemática de la estación, dependiente principalmente de la geodinámica en sí misma. Sin embargo, es apreciable un efecto sistemático (en primera aproximación) sobre la solución PPP-LUZ (representada en rojo) que pudiera estar asociado con el modelado de las órbitas y parámetros de reloj de los satélites GNSS. Esta tarea sigue en desarrollo, de manera que se espera ofrecer resultados concretos en próximas oportunidades.

Las soluciones para las estaciones COCONet que son de interés, obtenidas de acuerdo a los criterios propios de SIRGAS, siguen siendo parte de las actividades del CPAGS-LUZ, estando a disposición de los usuarios interesados.

En otro contexto, productos relacionados con la atmósfera neutra, para las estaciones COCONet y REMOS, están siendo derivados a manera de evaluación, a través de estimaciones PPP. Se presenta en la Fig. 11 la serie de tiempo para el retardo hidrostático (ZHD), no-hidrostatístico (ZWD) y total (ZTD) de la estación CN39.

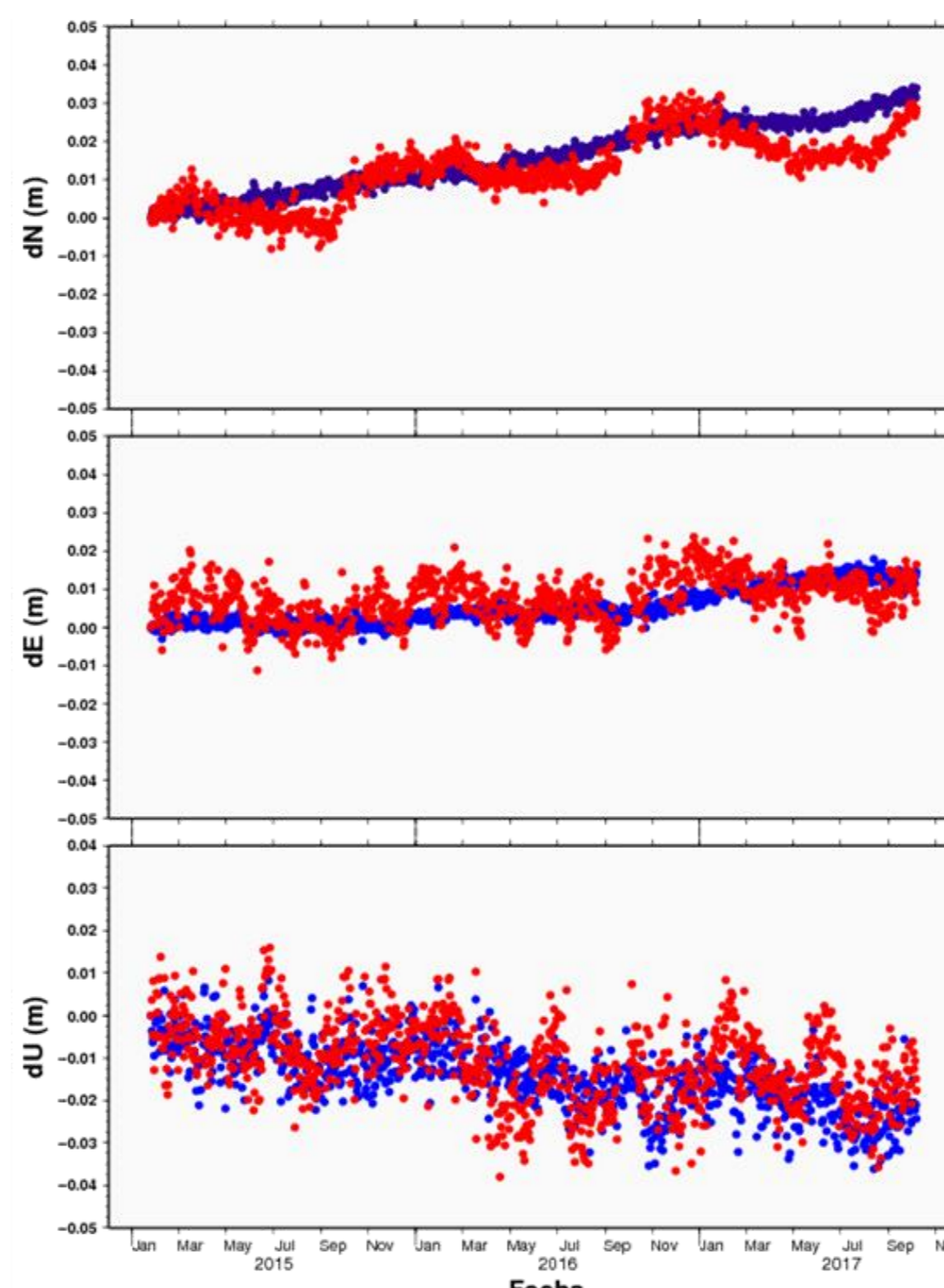


Fig. 10: Soluciones PPP-LUZ (rojo) y UNAVCO (azul) para la estación CN39.

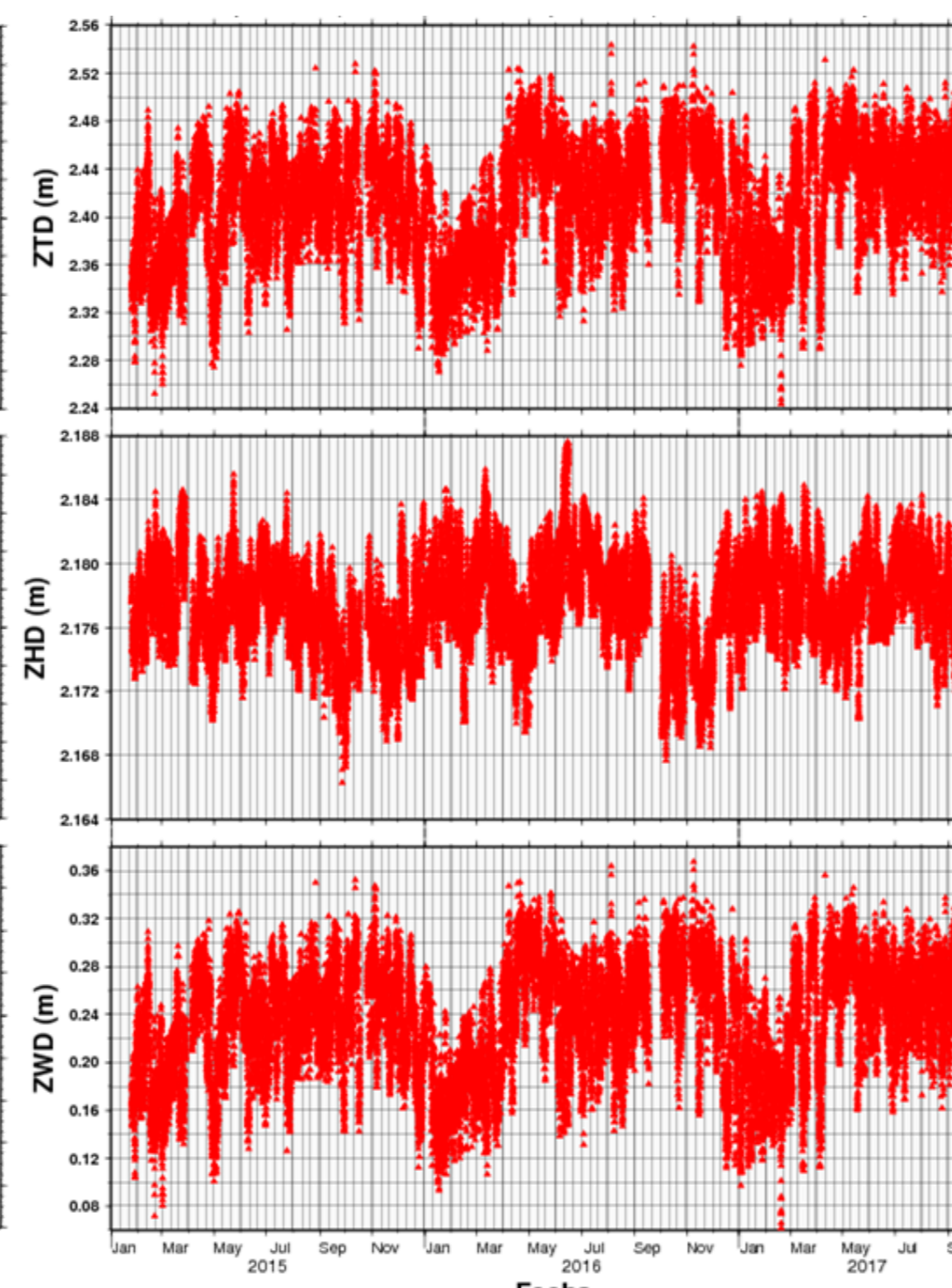


Fig. 11: Retardo en la atmósfera neutra para la estación CN39 estimado con PPP.

COMENTARIOS FINALES

Desde el CPAGS-LUZ, como Centro de Análisis SIRGAS, contribuciones para el mantenimiento del marco de referencia continental, adoptado por Venezuela, se sustentan en el procesamiento semanal de observaciones GNSS realizadas por un conjunto de estaciones SIRGAS-CON. La rigurosidad tanto en la estrategia de cálculo como en el control posterior de las determinaciones, garantiza resultados consistentes para el ajuste de la red por parte de los Centros de Combinación.

Al operar desde un espacio académico, estas actividades promueven el desarrollo de investigaciones dentro del ámbito de acción de SIRGAS, para las cuales, la cooperación interinstitucional es clave. Durante el periodo 2016-2017, además del procesamiento regular de la red SIRGAS-CON, la implementación del PPP para la estimación del retardo en la atmósfera neutra, ocupa la atención dada la potencialidad de la estrategia en este tipo de aplicaciones.

El compromiso por parte del equipo de trabajo es ratificado una vez más, esperando seguir cumpliendo las metas que al efecto, establece SIRGAS como infraestructura geodésica de la región.

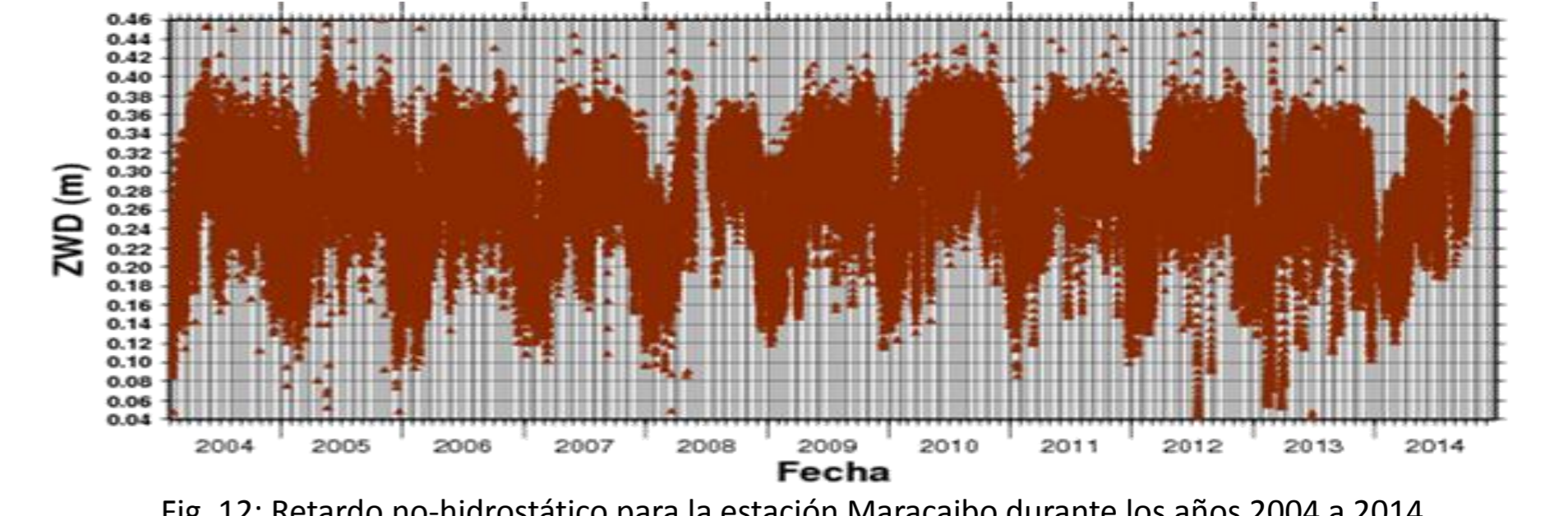


Fig. 12: Retardo no-hidrostatístico para la estación Maracaibo durante los años 2004 a 2014.

Siendo una estrategia de cálculo eficiente y efectiva para estimaciones atmosféricas, series históricas del retardo están generándose (Paz, 2017), la Fig. 12 corresponde a un ejemplo para la estación Maracaibo. Esto hará factible una caracterización de largo plazo del retardo y vapor de agua troposférico.