

Una alternativa para el mantenimiento del marco de referencia SIRGAS en Venezuela

¹Víctor Cioce, ¹María F. Rincón, ¹Rixio Morales, ¹Eugen Wildermann, ¹Giovanni Royero,
²Carlos Reinoza, ²Franck Audemard, ³Laura Sánchez

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

²Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS)

³Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut der Technischen Universität München (DGFI-TUM)

vcioce@fing.luz.edu.ve

Simposio SIRGAS 2015, Santo Domingo-República Dominicana, 18 al 20 de noviembre

Resumen

Como consecuencia del establecimiento en Venezuela de la Red de Monitoreo Satelital GNSS (REMOS) el pasado año 2014, que conllevó al cambio del instrumental operativo sobre las únicas tres estaciones SIRGAS-CON del país, a saber: Maracaibo, Caracas y Cumaná, estas dejaron de ser incorporadas a las soluciones semanales de la red debido al no cumplimiento de los estándares y convenciones del IERS (International Earth Rotation and Reference Systems Service) e IGS (International GNSS Service). No obstante, a comienzos de 2015 comenzaron a ser instaladas en territorio nacional un conjunto de seis estaciones de la Continuously Operating Caribbean GPS Observational Network (COCONet) de las cuales dos ya están plenamente operativas y al contar con sensores meteorológicos y una política de acceso libre a los datos recolectados, se presentan en este trabajo resultados preliminares del procesamiento y ajuste de la red asignada al CPAGS-LUZ considerando a estas estaciones, a fin de recomendar su inclusión formal a SIRGAS-CON y reactivar la contribución venezolana al mantenimiento del marco de referencia continental.

Palabras clave: SIRGAS, COCONet, GPS, marco de referencia

1. Generalidades

Para Latinoamérica y El Caribe es SIRGAS (Sistema de Referencia para las Américas), el cual constituye el sistema de referencia que sirve como base para la adecuada georreferenciación de todo dato e información espacial destinado a labores científicas y técnicas propias de la geodesia y geofísica, sustentando además a toda disciplina del conocimiento humano que se apoye o interactúe con localización geoespacial de alta precisión en la región, *i.e.* cartografía, topografía, catastro, geomática navegación, entre otras (Cioce *et al.*, 2012). SIRGAS es plenamente consistente con el ITRS (International Terrestrial Reference System) del IERS (International Earth Rotation and Reference Systems Service).

Su materialización actual se da a través de una red GNSS (Global Navigation Satellite Systems) de operación continua conformada por aproximadamente 350 estaciones distribuidas en el continente y mostradas en la Figura 1 (Mackern y Brunini, 2014); esta red es conocida como SIRGAS-CON (SIRGAS Continuously Operating Network) y previa a ella, materializaciones pasivas del sistema de referencia vinieron dadas por las soluciones SIRGAS95 y SIRGAS2000, siendo REGVEN (Red Geocéntrica Venezolana) una densificación del marco continental en el país.

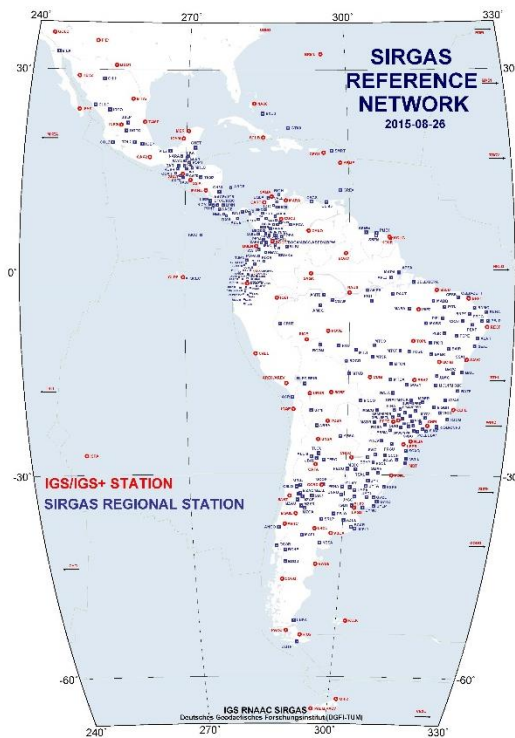


Figura 1. Red SIRGAS de operación continua (www.sirgas.org).

El procesamiento y ajuste de la red de operación continua es realizado semanalmente por los Centros de Análisis SIRGAS, aplicando para ello rigurosas estrategias de estimación y cumpliendo estándares y convenciones del IERS y del IGS (International GNSS Service). Las coordenadas semanales de las estaciones SIRGAS-CON quedan referidas al ITRF para la época de observación, contando con una calidad en el orden de $\pm 2\text{mm}$ en posición horizontal y $\pm 4\text{mm}$ en la vertical (Brunini y Sánchez, 2014). De ahí que la presencia y evolución continua de SIRGAS, lo que se traduce en alta exactitud en su materialización y productos asociados, hacen que sea la referencia ideal y obligatoria para expresar coordenadas, insumos fundamentales para trabajos inherentes a las geociencias.

La contribución por parte de Venezuela para el mantenimiento del marco de referencia continental fue dada gracias al funcionamiento de la estación Maracaibo, operada desde 1998 como parte de la mutua cooperación entre LUZ (La Universidad del Zulia) y el DGFI (Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut). Posteriormente, la densificación de SIRGAS-CON en territorio venezolano se dio gracias al establecimiento de la REMOS (Red de Monitoreo Satelital GNSS) entre los años 2006 y 2009 por el IGVSb (Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar).

Varias estaciones del proyecto inicial de REMOS, mostradas en la Figura 2, lograron ser instaladas y algunas de ellas incorporadas a SIRGAS-CON, no obstante solo Caracas (CRCS), Cumaná (CUM3) y Maracaibo (MARA) que pasó a formar parte de REMOS, mantuvieron funcionamiento continuo; por su parte, Barinas (BANS) y San Cristóbal (CRIS) se mantuvieron operativas por un periodo muy reducido, siendo desincorporadas oficialmente de SIRGAS el 06.12.2013 (SIRGAS-mail No. 815), la estación Coro (CORO) solo logró ser instalada (Cioce, 2015).

Un reimpulso para la consolidación de REMOS tuvo lugar desde 2013, incrementando la cantidad de estaciones y modificando su distribución respecto al proyecto original atendiendo esto a aspectos técnicos y logísticos, aquellas con funcionamiento histórico pasaron a formar parte de la red (*i.e.* MARA, CRCS, CUM3). La Figura 3 muestra la nueva red, para la fecha de realización del presente trabajo. De las 31 estaciones que la integran, sólo 14 se encuentran habilitadas en la plataforma web (<http://www.igvsb.gob.ve/remos.html>) para el acceso a los datos. Una solución preliminar de REMOS fue ofrecida por Cioce *et al.* (2014).

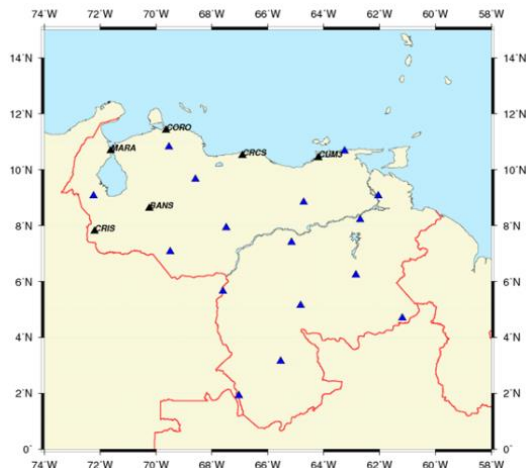


Figura 2. Primeras estaciones REMOS, proyecto original (azul) e instaladas entre 2006 y 2009 (negro).

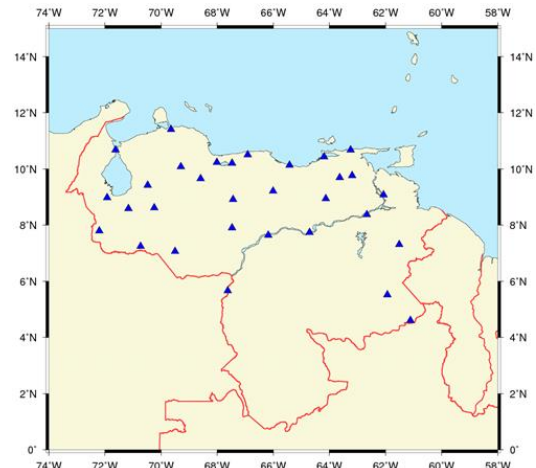


Figura 3. Red de Monitoreo Satelital GNSS (REMOS), distribución actual de las estaciones.

No obstante, este proceso de consolidación vino acompañado por una modernización instrumental, disponiendo en todas las estaciones, tanto existentes como en las instaladas, receptores de la casa *STONEX* modelo *RSNET4* (ver Figura 4) con antenas geodésicas tipo chokering *Harxon* modelo *HXCGG486A+HXCS* (ver Figuras 5a y 5b), que a pesar de ser equipos de última generación (multiconstelación), carecen de registro en la base de datos del IGS (caso del receptor) y de modelo para la variación del centro de fase por calibración absoluta (caso de la antena), situación que impide la inclusión de REMOS en las soluciones semanales SIRGAS-CON, al no cumplirse los estándares para el procesamiento de la red.



Figura 4. Receptor GNSS STONEX RSNET4



Figura 5a. Antena *Harxon* modelo *HXCGG486A+HXCS*, vista lateral (NGS, 2014)

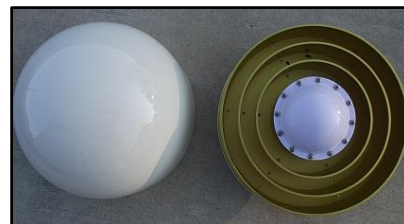


Figura 5b. Antena *Harxon* modelo *HXCGG486A+HXCS*, vista en planta (NGS, 2014).

En consecuencia, las nuevas estaciones REMOS no pueden formar parte de SIRGAS y desde mediados de 2014, las tres estaciones venezolanas que rutinariamente estaban siendo incorporadas en el cálculo semanal de la red quedaron excluidas. Las series de tiempo de sus coordenadas son mostradas en las Figura 6a a 6c.

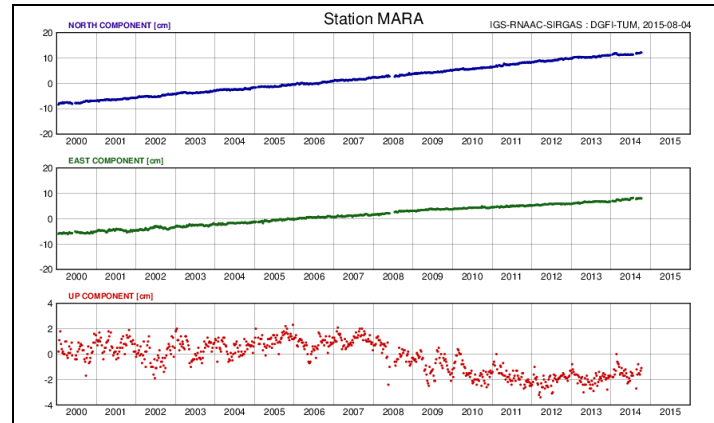


Figura 6a. Serie de tiempo para la posición de la estación Maracaibo -MARA- (www.sirgas.org).

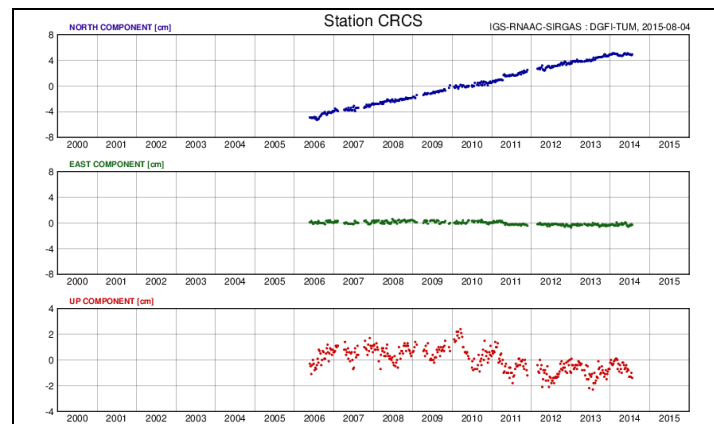


Figura 6b. Serie de tiempo para la posición de la estación Caracas -CRCS- (www.sirgas.org).

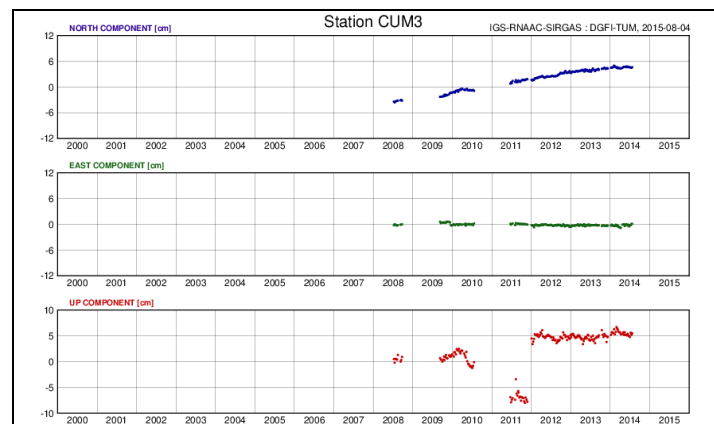


Figura 6c. Serie de tiempo para la posición de la estación Cumaná-CUM3- (www.sirgas.org).

Con la extensión de la COCONet (Continuously Operating Caribbean GPS Observational Network) hacia Venezuela, una alternativa que hace posible seguir manteniendo el marco de referencia continental en el país, además de ser necesaria se hace viable y factible.

2. COCONet en Venezuela

COCONet es una red de operación continua establecida en la región de Centroamérica y El Caribe con el fin de desarrollar una infraestructura observacional que sustente investigaciones geodésicas, geofísicas y atmosféricas que ofrezcan respuestas concretas ante la constante presencia de riesgos naturales en esta zona; el proyecto es auspiciado por la NSF (National Science Foundation) de los EE.UU. con participación de entes y universidades de ese país (UNAVCO, 2015). Un aproximado de 60 estaciones conforman la red mostrada en la Figura 7, cantidad cuyo incremento está previsto atendiendo a los objetivos científicos que se persiguen, que se suman a otra considerable cantidad de estaciones continuas existentes en la región.



Figura 7. Distribución de las estaciones COCONet (www.coconet.unavco.org).

Destaca una de las metas planteadas para el establecimiento de esta red: el aporte para mejorar modelos tectónicos en áreas de deformación, tales como las regiones tectónicamente complejas de Venezuela, Colombia y el noreste caribeño (COCONet, 2011; 2012), de ahí que en el marco de la cooperación entre el grupo de trabajo COCONet y FUNVISIS (Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas), esté prevista la instalación de seis estaciones, a saber: CN43 (Isla La Blanquilla), CN44 (Cerro Copey), CN42 (Los Roques), AVES (Isla de Aves), CN39 (Quebrada Arriba), CN41 (El Baúl), de las cuales las últimas cuatro se encuentran operativas.

Adicionalmente, dos estaciones han sido establecidas en el oriente del país gracias a la colaboración entre FUNVISIS y el ISTerre (Institut des Sciences de la Terre) de la Universidad Savoie Mont-Blanc (Francia), sumando en total ocho nuevas estaciones de observación continua. En la Figura 8 se presenta su ubicación relativa.

3. Incorporando las estaciones COCONet al procesamiento SIRGAS-CON

Con el fin de promover los múltiples usos que pueden darse a los datos GNSS recolectados por las estaciones COCONet en funcionamiento y de aquellas que serán instaladas en el territorio nacional, se llevó a cabo la incorporación de las estaciones CN39 y CN41 al procesamiento efectuado por el CPAGS-LUZ (Centro de Procesamiento y Análisis GNSS SIRGAS de la Universidad del Zulia)

del bloque asignado de la red SIRGAS-CON mostrado en la Figura 9. En relación a la estación AVES, si bien se encuentra operativa, se está trabajando en aspectos propios de la transmisión de sus datos.

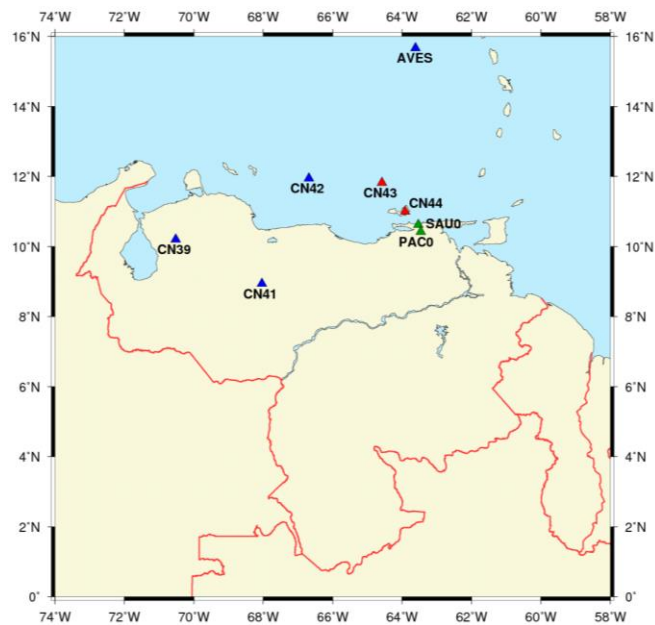


Figura 8. Estaciones ISTERre (verde) y COCONet instaladas en Venezuela por FUNVISIS, operativas en azul, por instalar en rojo.

Al estar disponibles los datos de aquellas estaciones operativas, de forma libre para todo usuario, fue realizado el procesamiento y análisis de los mismos para la estimación de coordenadas sobre una base diaria y/o semanal referidas al marco continental SIRGAS.

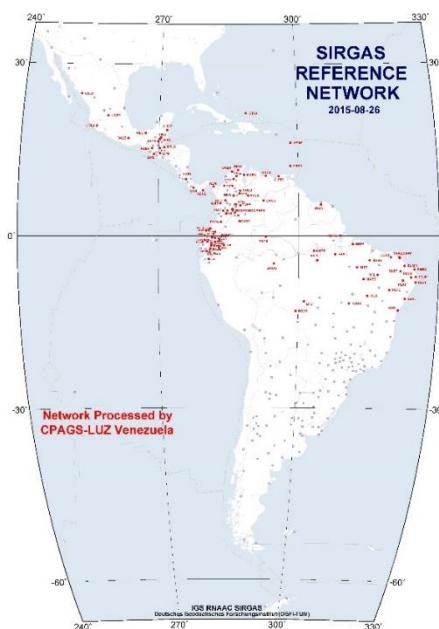


Figura 9. Red SIRGAS-CON asignada al CPAGS-LUZ (www.sirgas.org).

Las estaciones cumplen con los estándares del IGS (en especial los inherentes al receptor y antena); además, el CPAGS-LUZ de forma satisfactoria solicitó, previa consulta con los responsables de COCONet, la asignación del correspondiente IERS DOME Number (ITRF, 2015). Se presenta en la Figura 10 una descripción gráfica del referido código. Las estaciones cuentan también con sus *logfiles* (metadatos).

El procesamiento de los datos de estas estaciones en conjunto con aquellos de las demás estaciones SIRGAS comenzó a partir de la semana 1829, siguiendo la estrategia diseñada para el cálculo de la red continental aplicada por todos los Centros de Análisis SIRGAS. La plataforma de procesamiento utilizada es el Bernese GNSS Software v5.2 (BSW52; Dach *et al.*, 2007).

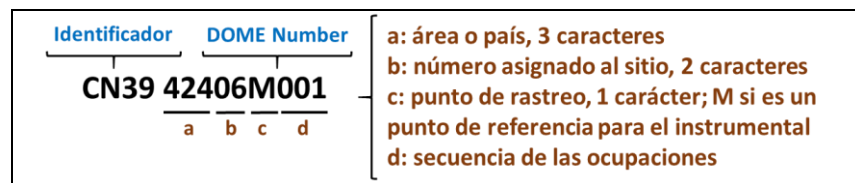


Figura 10. Ejemplo del IERS Directory of MERIT Sites (DOME) Number para la estación CN39.

En líneas generales, las observaciones son procesadas a un intervalo de muestreo de 30 s con una máscara de elevación de 3°, formando la observable derivada L3 (libre de ionosfera) a partir de los datos recolectados con ambas frecuencias. Esta se asume como la observable fundamental durante toda la fase de procesamiento, asignando un peso inversamente proporcional a la elevación. Vale destacar que las estaciones COCONet no disponen de observaciones GLONASS (Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema).

Las orbitas y derivas de los relojes GNSS así como los parámetros de orientación terrestre (EOP por sus siglas en inglés; *i.e.* precesión, nutación y movimiento del polo), se consideran como cantidades conocidas, correspondiendo estas a las ofrecidas por el IGS en sus soluciones finales (Dow *et al.*, 2009). Las variaciones absolutas de los centros de fase de las antenas GNSS, incluyendo la dependencia respecto a la elevación y azimut de arribo de la señal, y la calibración para la componente Z de los satélites, también provienen de este servicio internacional, introduciéndose en el procesamiento los valores más recientes para la época de observación.

Correcciones a nivel de las observaciones son aplicadas, reduciendo los efectos de la carga oceánica mediante el modelo FES2004 (Letellier, 2004) ofrecido por Bos y Scherneck (2011). El efecto de la carga atmosférica considerando solo los generados por los cambios de presión causados por la atracción gravitacional directa (*i.e.* mareas) del Sol y de la Luna sobre las masas atmosféricas, (específicamente las componentes mareales S1 y S2), es reducido según van Dam y Rey (2010). En cuanto a la refracción troposférica, se aplica la VMF1 (Vienna Mapping Function 1) desarrollada por Böhm *et al.* (2006), modelando la componente hidrostática y estimando junto con las coordenadas de las estaciones la contribución no-hidrostática de la atmósfera neutra (un parámetro del retardo no-hidrostático cada dos horas). Otras reducciones (*e.g.* marea de la Tierra sólida, marea polar y otras con impacto sobre el movimiento de las estaciones) son tratadas con base en las Convenciones del IERS (Petit y Luzum, 2010).

Desde el punto de vista del proceso de estimación de parámetros, se recurre al modelo de estimación relativa basado en diferenciaciones (principalmente dobles-diferencias de la observable

L3), lo que implica la definición de líneas-base tomando en cuenta el número común de observaciones para las estaciones involucradas, tal que de todas las combinaciones posibles se selecciona a aquel conjunto de líneas-base con la mayor cantidad de observaciones comunes (Dach *et al.*, 2007). La resolución de ambigüedades en las fases portadoras es desarrollada aplicando la estrategia QIF (Quasi-free Ionosphere) ofrecida por el BSW52.

Las coordenadas a-priori que se introducen en el cálculo cuentan con una incertidumbre de $\pm 0,05$ m, extrapoladas en el tiempo para llevarlas a la época de la observación. En el caso de las estaciones COCONet, su posición aproximada provino de un procesamiento inicial mediante la estrategia del PPP (Posicionamiento de Punto Preciso; Kouba y Héroux, 2001). De esta manera, se obtienen inicialmente soluciones diarias semi-libres para la red y posteriormente soluciones semanales semi-libres al combinar las ecuaciones normales diarias. En este ajuste todas las coordenadas de la red son restringidas con un peso de ± 1 m, lo que implica que se estiman con alta precisión las componentes de cada vector (línea-base) o bien su longitud, mientras que las coordenadas de los puntos permanecen desconocidas hasta el momento de la introducción del datum geodésico.

Para la fijación del datum, las soluciones semi-libres diarias y semanales son alineadas al marco de referencia (*i.e.* ITRF) a través de un ajuste en el que se restringen las coordenadas de aquellas estaciones consideradas como fiduciales. Un total de cuatro estaciones fiduciales fueron seleccionadas, dos del IGS y dos SIRGAS-CON atendiendo a la configuración de la red asignada al CPAGS-LUZ. Sus coordenadas fueron extraídas de las respectivas soluciones semanales, restringiéndolas con un peso inversamente proporcional a la precisión interna de las observaciones ($\pm 0,1$ mm) lo que permite mantener la geometría de las líneas-base de la red.

4. Resultados del procesamiento y ajuste

Los resultados provenientes de la rigurosa estrategia de procesamiento bajo la cual está siendo procesada la red SIRGAS-CON con la inclusión de las estaciones COCONet, son evaluados interna y externamente. La consistencia interna es evaluada aplicando los siguientes controles:

- a. Comparación del factor de varianza *a posteriori* de las observaciones respecto al *a priori* fijado en 1 mm (valor consistente con el nivel de ruido de las fases portadoras): los valores arrojados por cada solución diaria y semanal ajustada alcanza una media de 1,6 mm. También el seguimiento de la relación adimensional entre el factor χ^2 y los grados de libertad, encontrándose en todo momento se encuentra en el orden de 0,6 reflejando así la bondad del ajuste efectuado. Los valores diarios son mostrados en la Figura 11.
- b. Seguimiento de la variación entre las coordenadas *a priori* y las resultantes del procesamiento: no sobrepasa los $\pm 0,05$ m, lo que indica mínimas deformaciones de la red durante el ajuste semi-libre y el restringido (aplicado para introducir el datum geodésico).
- c. Tolerancias para la repetibilidad de las coordenadas (± 15 mm en posición y ± 30 mm en altura) y para sus RMS (± 10 mm en posición y ± 20 mm en altura): se lleva a cabo aplicando una transformación de similaridad durante el ajuste o combinación de las ecuaciones normales diarias para generar soluciones semanales. No se presentan resultados que excedan los referidos niveles, ver Figura 12.

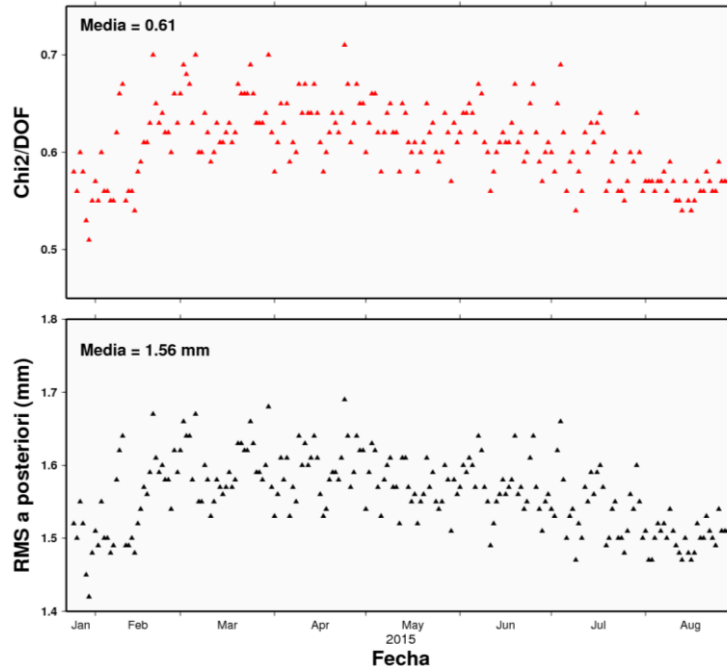


Figura 11. Relación entre el factor χ^2 y los grados de libertad (arriba) y factor de varianza a posteriori de los ajustes diarios entre las semanas 1829 a 1859.

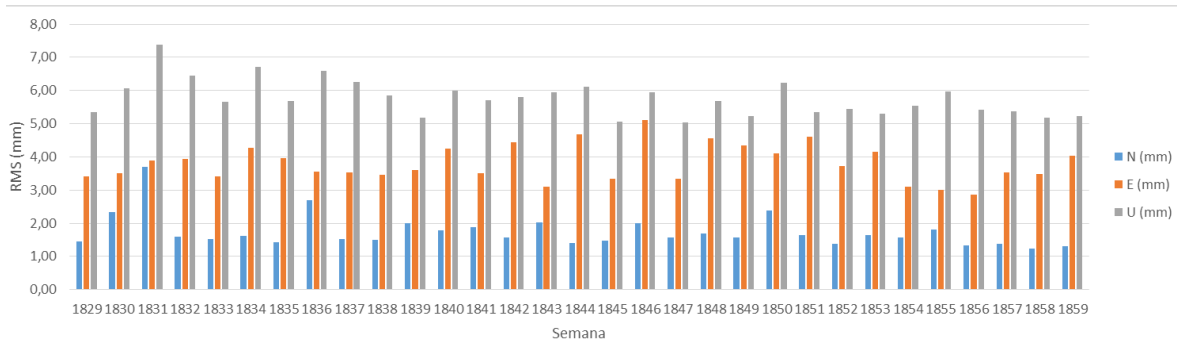


Figura 12. Repetibilidad de las soluciones semanales en términos de los RMS para cada componente.

De esta manera, se presenta en la Figura 13 la variación diaria en la posición estimada para las estaciones CN39 y CN41 (por simplicidad solo se ha considerado la parte decimal). Para el periodo comprendido entre las semanas 1829 a 1859, el rango de dicha variación se ubica en $\pm 0,02$ m y $\pm 0,03$ m para las componentes horizontales y la vertical respectivamente.

Un control externo de estos resultados vino dado al considerar las soluciones propias de COCONet ofrecidas por el grupo de trabajo del proyecto GAGE (Geodesy Advancing Geosciences and EarthScope), responsable del procesamiento de COCONet (UNAVCO, 2015), realizando así comparaciones correspondientes para CN39 y CN41. Diferencias medias de $\pm 0,01$ m en las componentes horizontales y $\pm 0,03$ m en la componente vertical fueron detectadas, atribuidas a las variantes en las estrategias de procesamiento aplicadas por SIRGAS respecto a las de UNAVCO. Esta discrepancia fue confirmada de manera independiente al procesamiento realizado, contrastando las coordenadas derivadas para la estación CN30 (ubicada en Nicaragua), incluida en las soluciones semanales SIRGAS-CON.

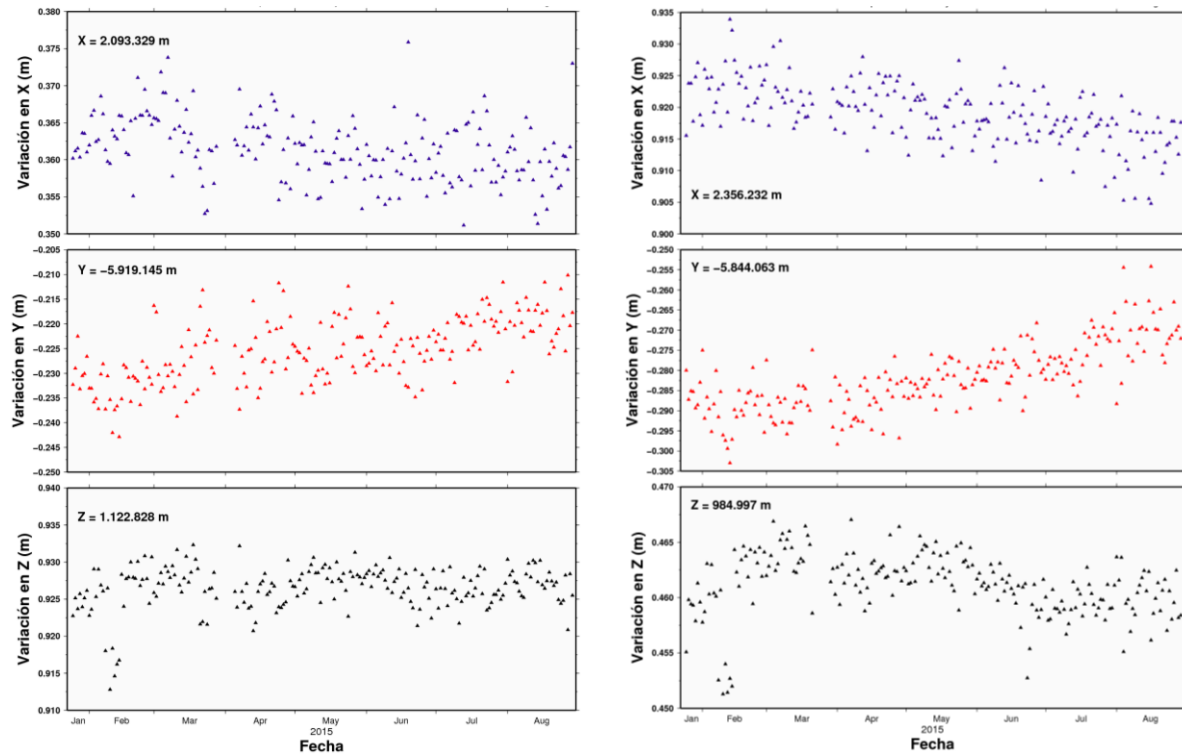


Figura 13. Variación diaria en la posición de las estaciones CN39 (izq.) y CN41 (der.).

5. Productos troposféricos

Por especificaciones técnicas referentes a la instalación de estaciones COCONet, el instrumental GNSS es co-localizado con sensores meteorológicos. Los datos meteorológicos recolectados (*i.e.* presión atmosférica, temperatura, humedad relativa) también son de libre acceso. Esto permite dar continuidad a estudios previos que han venido siendo desarrollados en Venezuela, vinculados con el seguimiento y caracterización del vapor de agua troposférico (Cioce *et al.*, 2011; Valecillos y Alvarado, 2015), favoreciendo además las labores adelantadas por el grupo de trabajo SIRGAS dedicado al tema de la atmosfera neutra.

Se presenta en la Figura 14 el retardo zenital no-hidroestático calculado para la estación CN39 correspondiente a los meses de enero a agosto. Se espera llevar a cabo este tipo de estimaciones sobre una base temporal continua.

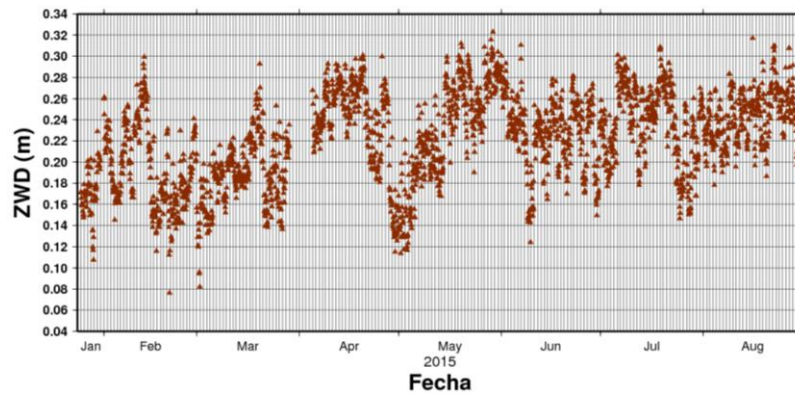


Figura 14. Retardo zenital no-hidroestático (ZWD) para la estación CN39.

6. Comentarios finales

Es de especial interés que Venezuela como miembro de SIRGAS desde sus comienzos en 1993 (SIRGAS, 1997), siga con su contribución al mantenimiento del marco de referencia. En este sentido, la instalación de estaciones GNSS de operación continua distintas a las que integran a REMOS, debe considerarse altamente positivo para el desarrollo de investigaciones vinculadas con las geociencias. Además, el territorio nacional que también se compone por una extensa área marítima, requiere de control geodésico que lo abarque en su totalidad, de ahí que una integración de las redes de funcionamiento permanente como el ilustrado en la Figura 14, sea un hecho idóneo.

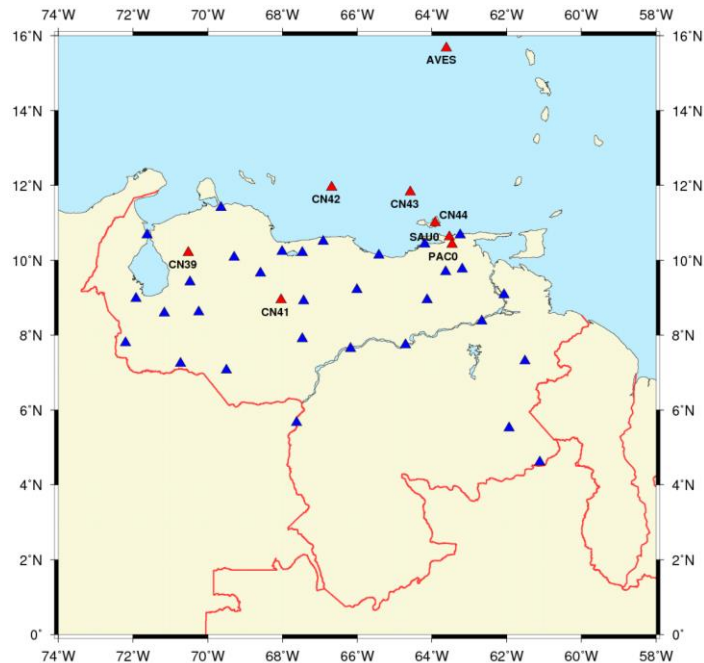


Figura 14. Redes de operación continua en Venezuela: REMOS y COCONet.

En consecuencia, la inclusión en el procesamiento rutinario que hace el CPAGS-LUZ de la red SIRGAS-CON asignada, de las estaciones COCONet instaladas y operativas en territorio nacional, permitió ofrecer coordenadas referidas al marco continental con niveles de calidad comparables a los obtenidos luego del cálculo y ajuste de las soluciones SIRGAS.

Se recomienda así su incorporación a la red continental, sirviendo como un aporte al mantenimiento del marco de referencia continental que por un lado cubra la deficiencia de las estaciones continuas en el país y que por otro, sean refuerzo a la infraestructura geodésica nacional una vez que las estaciones REMOS superen sus limitaciones actuales.

7. Referencias

- Böhm J., Werl B., Schuh H. (2006). *Tropospheric mapping functions for GPS and VLBI from ECMWF operational analysis data*. Journal of Geophysical Research. Vol. 111. DOI: 10.1029/2005JB003629.
- Bos M. y Scherneck H. (2011). *Ocean tide loading provider*. Última consulta: julio-2014. <http://holt.oso.chalmers.se/loading>
- Brunini C. y Sánchez L. (2014). *SIRGAS: el Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas*. Simposio SIRGAS, 24 al 26-nov. La Paz-Bolivia. Disponible en <http://www.sirgas.org>

- Cioce V. (2015). Vinculación de redes GNSS de operación continua al marco de referencia SIRGAS. Trabajo de Ascenso. Escuela de Ingeniería Geodésica. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Geodésica. Maracaibo-Venezuela.
- Cioce V., Hoyer M., Wildermann E., Royero G., Díaz A. (2011). Determinación del vapor de agua troposférico a través de observaciones GPS: primeros ensayos en Venezuela. Revista Interciencia. Vol. 36.
- Cioce V., Brunini C., Sánchez L., Mackern M.V., Martínez W., Teixeira R. (2012). SIRGAS: soporte para la adquisición geoespacial en Latinoamérica y El Caribe. XII Congreso Internacional de Topografía, Catastro, Geodesia y Geomática, 20 al 22-sep. San José-Costa Rica. Disponible en <http://www.sirgas.org>
- Cioce V., Espinoza D., Royero G., Wildermann E., Virla M.A., Ceballos R. (2014). Cálculo y ajuste preliminar de la red GNSS de operación continua venezolana. Simposio SIRGAS, 24 al 26-nov. La Paz-Bolivia. Disponible en <http://www.sirgas.org>
- COCONet - Continuously Operating Caribbean GPS Observational Network-. (2011). COCONet Workshop Report. 1st COCONet Workshop, 3 y 4-feb. San Juan-Puerto Rico. Disponible en <http://coconet.unavco.org>
- COCONet - Continuously Operating Caribbean GPS Observational Network-. (2012). Data and Research Workshop Report. 3th COCONet Workshop, 24 al 26-oct. Tulum-México. Disponible en <http://coconet.unavco.org>
- Dach R., Hugentobler U., Fridez P., Meindl M., Eds. (2007). User manual of the Bernese GPS Software version 5.0. Astronomical Institute of the University of Bern (AIUB). Berna-Suiza. Disponible en: <http://www.bernese.unibe.ch>
- Dow J., Neilan R., Rizos C. (2009). The International GNSS Service (IGS) in a changing landscape of Global Navigation Satellite Systems. Journal of Geodesy, Vol. 83, pp 191-198.
- Kouba J. y Héroux P. (2001). Precise Point Positioning using IGS orbit and clock products. GPS Solutions. Vol. 5, pp 12-28.
- Letellier T. (2004). Etude des ondes de marée sur les plateaux continentaux. Thèse doctorale, Université de Toulouse III, Ecole Doctorale des Sciences de l'Univers, de l'Environnement et de l'Espace. Toulouse-Francia.
- Mackern M.V. y Brunini C. (2014). Reporte del Grupo de Trabajo I de SIRGAS. Simposio SIRGAS, 24 al 26-nov. La Paz-Bolivia. Disponible en <http://www.sirgas.org>
- NGS -National Geodetic Survey-. (2014). Antenna Calibrations. Última consulta: agosto-2014. <http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL>
- Petit G. y Luzum B., Eds. (2010). IERS Conventions 2010. IERS Technical Note 36. Verlag des Bundesamt für Kartographie und Geodäsie. Frankfurt a.M.-Alemania.
- SIRGAS -Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas-. (1997). SIRGAS Relatório Final. Grupos de Trabalho I e II. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Rio de Janeiro-Brasil. Disponible en <http://www.sirgas.org>
- UNAVCO - University NAVSTAR Consortium- (2015). The Continuously Operating Caribbean GPS Observational Network (COCONet). Última consulta: octubre-2015. <http://coconet.unavco.org>
- Valecillos D. y Alvarado J. (2015). Caracterización del retardo troposférico en estaciones de la red geodésica nacional de operación continua mediante observaciones GLONASS. Trabajo Especial de Grado. Escuela de Ingeniería Geodésica. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Geodésica. Maracaibo-Venezuela. En publicación.
- van Dam T. y Ray R. (2010). S1 and S2 atmospheric tide loading effects for geodetic applications. Última consulta: julio-2014. <http://geophy.uni.lu/ggfc-atmosphere/tide-loading-calculator.html>