



Actividades del Centro de Procesamiento y Análisis GNSS SIRGAS de la Universidad del Zulia, periodo 2015-2016

¹Víctor Cioce, ¹María Fernanda Rincón, ¹Eugen Wildermann, ¹Giovanni Royero, ¹Rodbher Ceballos, ²Laura Sánchez
¹Centro de Procesamiento y Análisis GNSS SIRGAS de la Universidad del Zulia (CPAGS-LUZ). Maracaibo, Venezuela
²Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut der Technischen Universität München (DGFI-TUM). München, Alemania

RESUMEN

El Centro de Procesamiento y Análisis GNSS SIRGAS de la Universidad del Zulia (CPAGS-LUZ) en Venezuela, oficializado en el año 2009, ha venido realizando el procesamiento semanal de las observaciones GPS+GLONASS registradas por un conjunto de aproximadamente cien estaciones GNSS de la red SIRGAS de operación continua, aplicando los estándares y convenciones vigentes y ofreciendo soluciones semi-libres que cumplen criterios de calidad interna y externa necesaria para la posterior combinación y ajuste de todo el arreglo continental. Estas actividades son llevadas a cabo con auxilio del Bernese GNSS Software v5.2 como plataforma de cálculo, implementando desde este año el procesamiento por agrupación de estaciones (clusters), lo que supone una optimización en el tratamiento de efectos sistemáticos asociados con la presencia de ambigüedades en las fases portadoras GNSS. De forma complementaria, una tarea asumida viene dada por el procesamiento y ajuste de la red incluyendo datos recolectados por estaciones de la Continuously Operating Caribbean GPS Observational Network (COCONet) que se han venido instalando en Venezuela, de forma independiente al efectuado por los Centros de Análisis SIRGAS, materializando una alternativa por parte de la academia que pudiera solventar la carencia en el país de estaciones continuas adecuadas que brinden su aporte al marco de referencia geodésico continental. En este sentido, el trabajo describe el alcance y estado actual de la operatividad de este centro de análisis.

EL CENTRO DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS GNSS SIRGAS DE LUZ

El CPAGS-LUZ dio inicio a sus actividades dentro del Grupo de Trabajo I (Sistema de Referencia) de SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas) a partir del 01.01.2010, siendo operado por el Departamento de Geodesia Superior de la Escuela de Ingeniería Geodésica de la Universidad del Zulia (LUZ), en la ciudad Maracaibo, Venezuela.

Está integrado por miembros del personal docente y estudiantes de la referida dependencia universitaria, quienes además de participar activamente en las labores propias del centro, también cuentan con la posibilidad de desarrollar proyectos de investigación conducentes al grado académico de Agrimensor(a) e Ingeniero(a) Geodesta.

La asesoría técnico-científica para el CPAGS-LUZ es brindada por la mancomunidad SIRGAS, especialmente por el DGFI-TUM (Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut der Technische Universität München).

A la fecha, un total de 106 estaciones de la red SIRGAS de operación continua (SIRGAS-CON) están asignadas al CPAGS-LUZ (ver Figura 1), consignando a los Centros de Combinación soluciones diarias y semanales de tipo semi-libres, así como estimaciones del retardo troposférico no-hidrostatístico (ZWD por sus siglas en inglés).

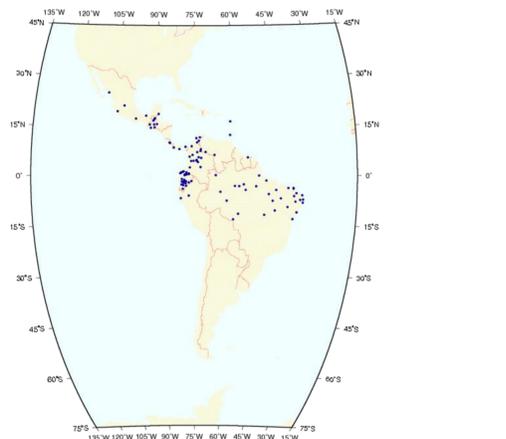


Figura 1. Estaciones SIRGAS-CON asignadas al CPAGS-LUZ, la subred abarca estaciones del arreglo continental (SIRGAS-CON C) y de las redes de densificación nacionales (SIRGAS-CON N).

Seguidamente se detallan las actividades que han sido adelantadas durante el periodo comprendido entre las semanas 1865 a 1917, i.e. octubre-2015 a octubre-2016, no solo aquellas asociadas con el procesamiento semanal de la red, sino también con investigaciones sustentadas en la infraestructura observacional SIRGAS-CON.

INVESTIGACIÓN EN EL CPAGS-LUZ

Durante el periodo 2015-2016, el CPAGS-LUZ brindó el apoyo para la ejecución de trabajos de investigación desarrollados por estudiantes de la Escuela de Ingeniería Geodésica de LUZ, con los cuales fue posible:

- Evaluar la calidad de estimaciones PPP (Posicionamiento de Punto Preciso) basadas en observaciones GPS de simple frecuencia (Chile y Gutiérrez, 2015)
- Establecer el control geodésico vinculado a SIRGAS en la Laguna de Cocinetas, Alta Guajira venezolana, trabajo conjunto entre el IVIC (Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas) y CPAGS-LUZ con apoyo del IGVS (Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar) (Izarra y González, 2016)
- Caracterizar el retardo troposférico mediante observaciones GLONASS registradas en estaciones REMOS (Valecillos y Alvarado, 2016)
- Promover el uso del software libre para el procesamiento de observaciones GNSS destinadas a trabajos de producción (Escoria y Ortega, 2016)
- Contrastar datos del vapor de agua precipitable captados por el sensor remoto MODIS respecto a estimaciones GPS (Leal, 2016)

SOBRE EL PROCESAMIENTO DE LA RED SIRGAS-CON EN LUZ

El procesamiento de las observaciones GNSS hechas por el conjunto de estaciones SIRGAS-CON asignado al CPAGS-LUZ es efectuado con el Bernese GNSS Software v5.2 (Dach et al., 2015). La rigurosa estrategia de estimación diferencial sigue los estándares y convenciones vigentes definidos por el IERS (International Earth Rotation and Reference Systems Service) e IGS (International GNSS Service). Detalles al respecto en www.sirgas.org.

A mediados de 2016, por recomendación del DGFI-TUM y aprovechando las bondades de la plataforma de cálculo, el procesamiento comenzó a ejecutarse por agrupamiento de estaciones o clusters; en esencia, el arreglo inicial de 106 estaciones es dividido en bloques manteniendo en la medida de lo posible las mismas condiciones geométricas para así optimizar la resolución de ambigüedades (especialmente en el caso de GLONASS) y reducir los tiempos de cómputo. La Figura 2 muestra los cuatro clusters formados.

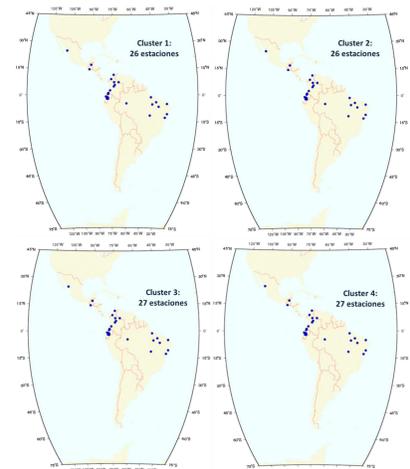


Figura 2. Clusters formados para el procesamiento SIRGAS-CON en LUZ.

Las soluciones semi-libres tanto diarias como semanales, que han venido siendo consignadas en formato SINEX (Solution Independent Exchange Format), cuentan con la consistencia interna y externa necesaria para el subsecuente ajuste de la red SIRGAS-CON respecto al marco de referencia ITRF2008 (International Terrestrial Reference Frame 2008, <http://itrf.ensg.ign.fr>). Estas condiciones de calidad son verificadas cada semana.

En la Figura 3 se muestra la relación de estaciones que se incluyen en el cálculo rutinario de la red, que si bien nominalmente son 106 solo una media de 75 han estado disponibles durante el periodo correspondiente al presente reporte.

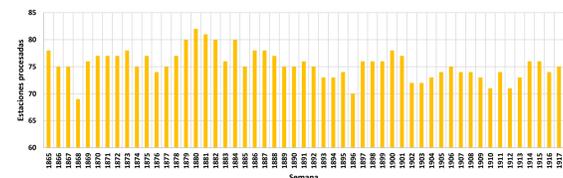


Figura 3. Cantidad de estaciones disponibles para el procesamiento SIRGAS-CON LUZ.

Las soluciones para este conjunto de estaciones cuentan un RMS medio de 1,58mm luego del ajuste semanal; otro estimador de la calidad propia de los resultados, es dado por la relación χ^2/DOF (DOF: grados de libertad por sus siglas en inglés), ubicándose en una media de 0,63 lo que refleja la bondad del ajuste realizado. Las Figuras 4 y 5 muestran los respectivos valores para cada semana.

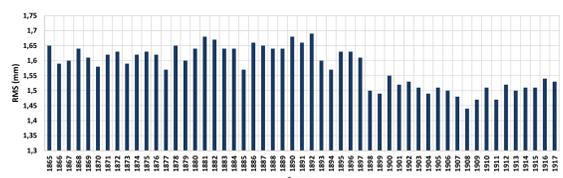


Figura 4. RMS a posteriori luego de alinear las soluciones SIRGAS-CON LUZ al marco de referencia.

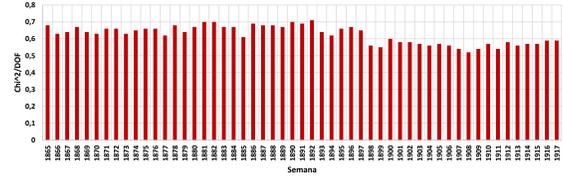


Figura 5. Relación χ^2 respecto a los grados de libertad luego de alinear las soluciones SIRGAS-CON LUZ al marco de referencia.

Finalmente, en la Figura 6 se ilustra la repetibilidad de las soluciones generadas por el CPAGS-LUZ respecto a otros Centros de Procesamiento SIRGAS, esto considerando que cada una de las estaciones de la red es procesada de forma independiente por tres centros. En este sentido, los residuales medios alcanzan los $\pm 1,17\text{mm}$ en componentes horizontales y $\pm 3,38\text{mm}$ en la vertical.

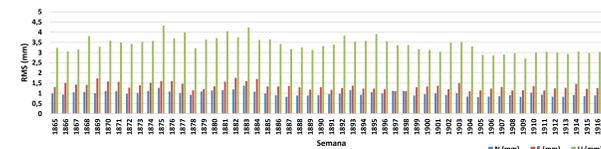


Figura 6. Repetibilidad de las soluciones semanales del CPAGS-LUZ respecto a otros centros de análisis SIRGAS.

En relación a las estimaciones del retardo troposférico, siguiendo las directrices vigentes para el cálculo de la red, se determinan valores horarios del ZWD para todas las estaciones que semanalmente son procesadas. Estas soluciones cuentan con una desviación estándar de $\pm 3\text{mm}$.

Puede apreciarse entonces, que las contribuciones del CPAGS-LUZ son homogéneas y consistentes al igual que las ofrecidas por otros Centros de Análisis, contribuyendo así con el mantenimiento del marco de referencia continental y la generación de productos asociados.

COMENTARIOS FINALES

Durante los últimos siete años el CPAGS-LUZ, como centro de análisis oficial de SIRGAS, viene brindando sus aportes para el mantenimiento del marco de referencia geocéntrico adoptado por América Latina.

El cumplimiento de los más estrictos controles que se establecen para el procesamiento de la red SIRGAS-CON a intervalos semanales, garantiza la consignación de resultados altamente confiables y consistentes con los propios de otros centros de análisis en cuanto a niveles de calidad respecta.

Como actividad complementaria, se han venido procesando datos de las estaciones COCONet instaladas en Venezuela, ofreciéndose los primeros resultados sobre el desplazamiento de las mismas. Se espera que estas puedan ser integradas a la red continental para así procurar la densificación de SIRGAS-CON en el país.

Otras actividades de tipo investigativas también han sido desarrolladas lo que otorga valor agregado al funcionamiento del CPAGS-LUZ como dependencia universitaria.

SOLUCIONES COCONet LUZ

Desde el año 2015, por iniciativa de UNAVCO (University NAVSTAR Consortium Inc.) y FUNVISIS (Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas), se dio inicio a la instalación progresiva de estaciones de operación continua GPS en territorio venezolano en el marco del proyecto multidisciplinario COCONet (Continuously Operating Caribbean GPS Observational Network). Mayores detalles en: <http://www.unavco.org>; <http://coconet.unavco.org>

Actualmente se encuentran instaladas y en plena operatividad cinco estaciones cuya ubicación relativa se muestra en la Figura 7, la sexta y última estación (CN43, Isla La Blanquilla) ya fue instalada y se espera que sus datos pronto estén disponibles. El instrumental GPS cumple los estándares del IGS y además están co-localizadas con sensores meteorológicos (ver Figura 8).

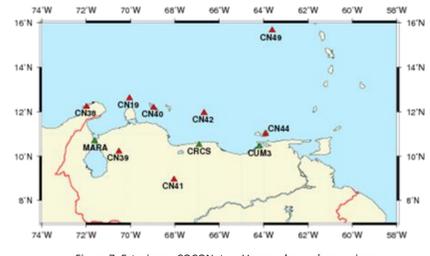


Figura 7. Estaciones COCONet en Venezuela y países vecinos.



Figura 8. Estaciones CN41 (El Baúl), izq.; CN42 (Los Roques), cto.; CN44 (Isla de Margarita), der. (<https://www.unavco.org>).

En este sentido, el CPAGS-LUZ realiza un procesamiento paralelo de los datos recolectados por dichas estaciones y otras situadas en áreas adyacentes como lo son CN38 (Cerrejón, Colombia), CN19 (Noord, Aruba) y CN40 (Williamsted, Curaçao), atendiendo principalmente a actividades de investigación en el ámbito de la geodinámica y estudios atmosféricos. Se aplican la misma estrategia de estimación y controles de calidad que rigen al cálculo semanal de la red SIRGAS-CON.

Esto ha permitido recomendar y promover la incorporación de las estaciones COCONet existentes en Venezuela a la red SIRGAS-CON (Cioce et al., 2015), lo que sin duda conllevará a densificar el marco de referencia continental en el país ante la exclusión temporal de las estaciones Maracaibo (MARA), Caracas (CRCS) y Cumaná (CUM3), ver Figura 7, pertenecientes a REMOS (Red de Monitoreo Satelital GNSS). Se busca así reforzar el control geodésico primario y mantener la infraestructura SIRGAS a nivel nacional.

Se presentan en las Figuras 9 y 10 las series de tiempo de las coordenadas diarias ajustadas al ITRF2008, correspondientes a las estaciones CN39 (Quebrada Arriba) y CN41 (El Baúl). Adicionalmente, los resultados derivados luego del procesamiento efectuado por los centros de análisis responsables de COCONet dentro del GAGE (Geodesy Advancing Geosciences and EarthScope) (UNAVCO, 2016).

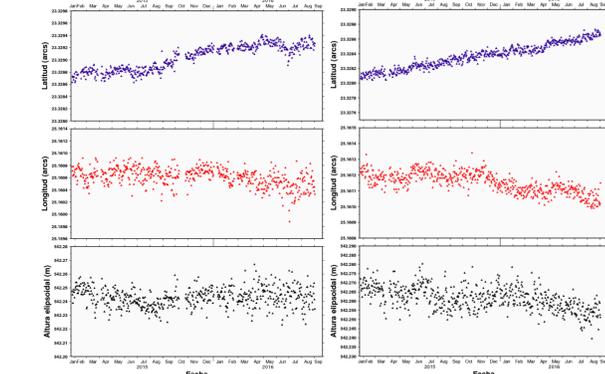


Figura 9. Posición diaria ajustada al ITRF2008 de la estación CN39 (Quebrada Arriba); solución LUZ (izq.) y solución GAGE (der.).

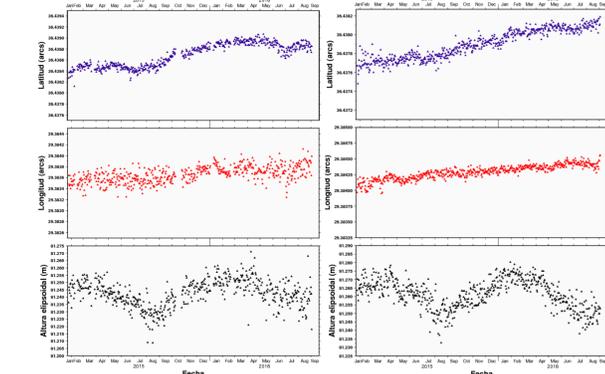


Figura 10. Posición diaria ajustada al ITRF2008 de la estación CN41 (El Baúl); solución LUZ (izq.) y solución GAGE (der.).

Con el procesamiento y ajuste riguroso en el que se incorporan las estaciones COCONet a la red SIRGAS-CON se garantiza consistencia interna y externa de acuerdo a los criterios seguidos por SIRGAS; no obstante, comparando con las soluciones generadas por GAGE las diferencias medias se ubican en $\pm 10\text{mm}$ en posición horizontal y $\pm 30\text{mm}$ en la vertical, atribuibles en buena medida a la estrategia aplicada por dicho centro de análisis de UNAVCO. Es de hacer notar que en ambos casos, las estaciones reflejan una misma tendencia en su movimiento propio.

Una vez más, se resalta la importancia de contar en Venezuela con un control geodésico acorde a las necesidades técnicas y científicas del país, y por ende el marco de referencia SIRGAS debe seguir siendo materializado de la mejor manera posible. La incorporación de aquellas estaciones COCONet existentes a la red continental, representa una opción completamente viable para tal fin.

REFERENCIAS

*Audemard F., Reinoso C., López R., Joanne F., Sandro 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.
 *Chile P. y Gutiérrez J. (2015). *Efectividad del posicionamiento de punto preciso empleando observaciones GPS de simple frecuencia*. Trabajo Especial de Grado. Escuela de Ingeniería Geodésica, Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela.
 *Cioce V., Wildermann E., Royero G., Rincón M.F., Morales R., Reinoso 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., Walser P., Fridez P., Eds. (2015). *Bernese GNSS Software Version 5.2. User manual*. Astronomical Institute University of Bern (AIUB), Berna, Suiza. Disponible en: <http://www.berne.se.unibe.ch>
 *Escoria G. y Ortega D. (2016). *Uso de plataformas de procesamiento GNSS de libre acceso y su beneficio en trabajos geodésicos*. Trabajo Especial de Grado. Escuela de Ingeniería Geodésica, Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela.
 *Izarra A. y González I. (2016). *Establecimiento de la red de control geodésico de la Laguna de Cocinetas en la zona de Castilletes del Estado Zulia*. Trabajo Especial de Grado. Escuela de Ingeniería Geodésica, Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela.
 *Leal S. (2016). *Determinación de los valores de vapor de agua atmosférica mediante el tratamiento de productos de la plataforma de percepción remota MODIS*. Trabajo Especial de Grado. Escuela de Ingeniería Geodésica, Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela.
 *UNAVCO (2016). *Derived data products*. Disponible en: <http://www.unavco.org>
 *Valecillos D. y Alvarado J. (2016). *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, Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela.