

RESUMEN

El trabajo expone las actividades desarrolladas por el Centro de Procesamiento y Análisis GNSS SIRGAS de la Universidad del Zulia (CPAGS-LUZ), durante el periodo comprendido entre septiembre-2012 a septiembre-2013. Se reporta principalmente lo relacionado con el cálculo semanal de las observaciones realizadas por las estaciones de la red SIRGAS-CON a su cargo, el mismo ha venido cumpliendo los estándares de calidad necesarios para el mantenimiento y actualización del marco de referencia continental. Un total de 19 nuevas estaciones han sido incorporadas a las rutinas de procesamiento y se han desarrollado labores complementarias como la estimación del vapor de agua troposférico sobre estaciones REMOS a partir del retardo troposférico GPS y el análisis de soluciones GLOANASS. El CPAGS-LUZ también ha estado participando en los preparativos para el procesamiento de los datos históricos SIRGAS, al adelantar la revisión y adaptación de los metadatos de cada estación (logfile). Una vez más queda demostrado el compromiso de LUZ ante la geo-comunidad dentro y fuera de SIRGAS.

ACERCA DEL CPAGS-LUZ

El CPAGS-LUZ se encuentra adscrito al Departamento de Geodesia Superior de la Escuela de Ingeniería Geodésica de la Universidad del Zulia, en Maracaibo-Venezuela, dando inicio a sus actividades experimentales a partir del 29.03.2009 y oficiales desde el 01.01.2010. Se exponen entonces, las labores desarrolladas durante las semanas 1705 a 1758.

La Figura 1 muestra las estaciones de la red SIRGAS-CON (Sistema de Referencia Geocéntrica para las Américas-Continuously Operating Network) que a la fecha se encuentran bajo responsabilidad del CPAGS-LUZ, abarcando principalmente las correspondientes a su densificación norte. Desde el inicio de actividades, la cantidad de estaciones ha venido incrementándose y actualmente son 148 las que nominalmente se incluyen en el procesamiento semanal.

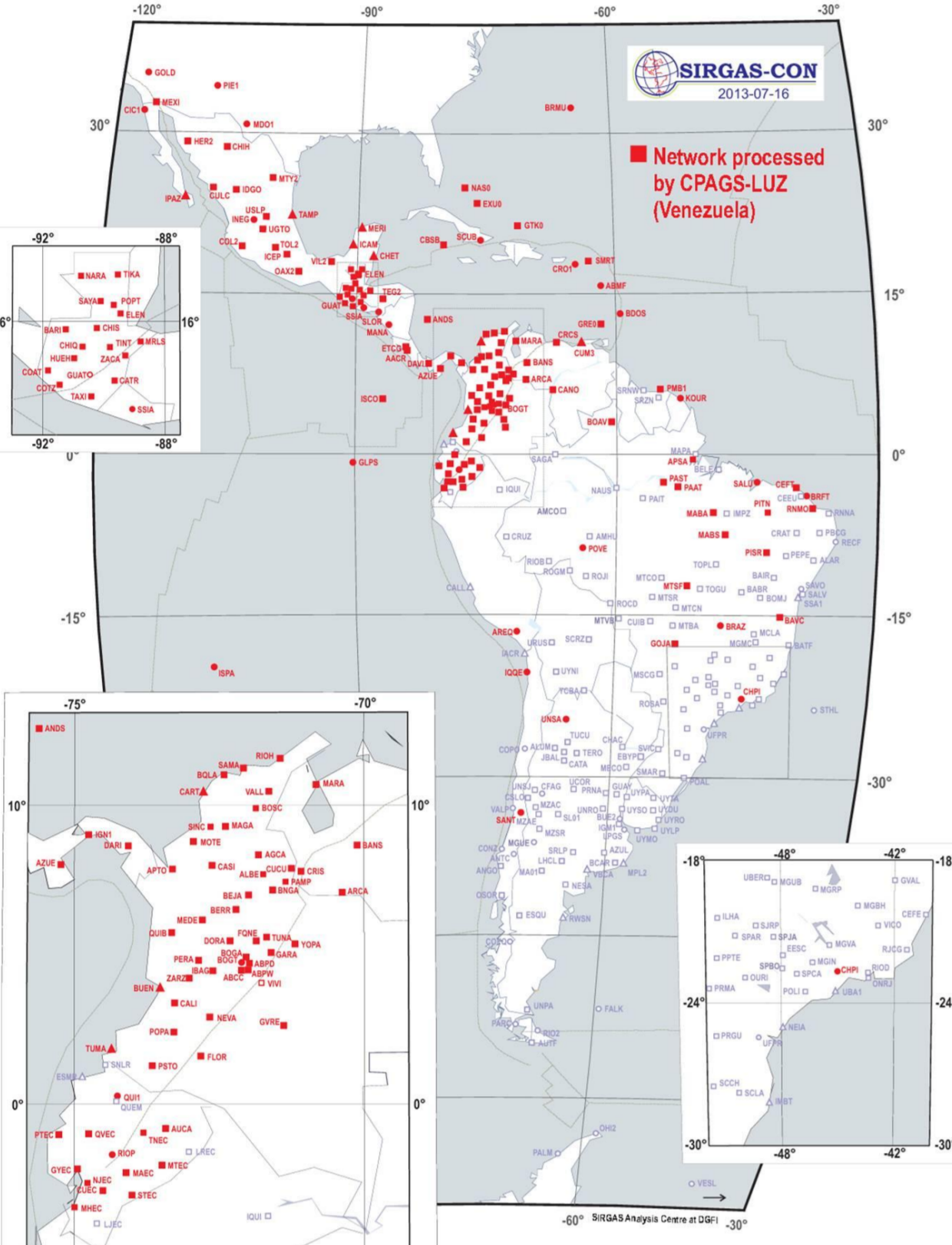


Figura 1. Estaciones SIRGAS-CON asignadas al CPAGS-LUZ.

Para los fines del procesamiento semanal de la red, se siguen estrictamente las especificaciones y recomendaciones del Grupo de Trabajo I de SIRGAS (Sistema de Referencia), dando paso a investigaciones asociadas con el marco de referencia, estudios atmosféricos, estimación GPS+GLOANASS, entre otras. Vale destacar que la principal fuerza motriz del centro, se encuentra en los estudiantes que en él participan como asistentes en las diferentes labores establecidas, adquiriendo así destrezas y habilidades de utilidad en su proceso de formación académica-profesional.

ACTIVIDADES ASOCIADAS CON EL PROCESAMIENTO DE LA RED

Las soluciones semanales generadas por el CPAGS-LUZ tienen un carácter semi-libre, consignándose a los Centros de Combinación según los cronogramas de trabajo definidos para el procesamiento de la red. Se utiliza el *Bernese GPS Software v5.0* [Beutler et al., 2004] en modo BPE (*Bernese Processing Engine*). Durante el periodo aquí reportado, fueron asignadas 19 nuevas estaciones, manteniendo los niveles de calidad interna y externa de los resultados. En la Figura 2 se representan los parámetros estadísticos básicos que son evaluados luego de procesada cada semana.

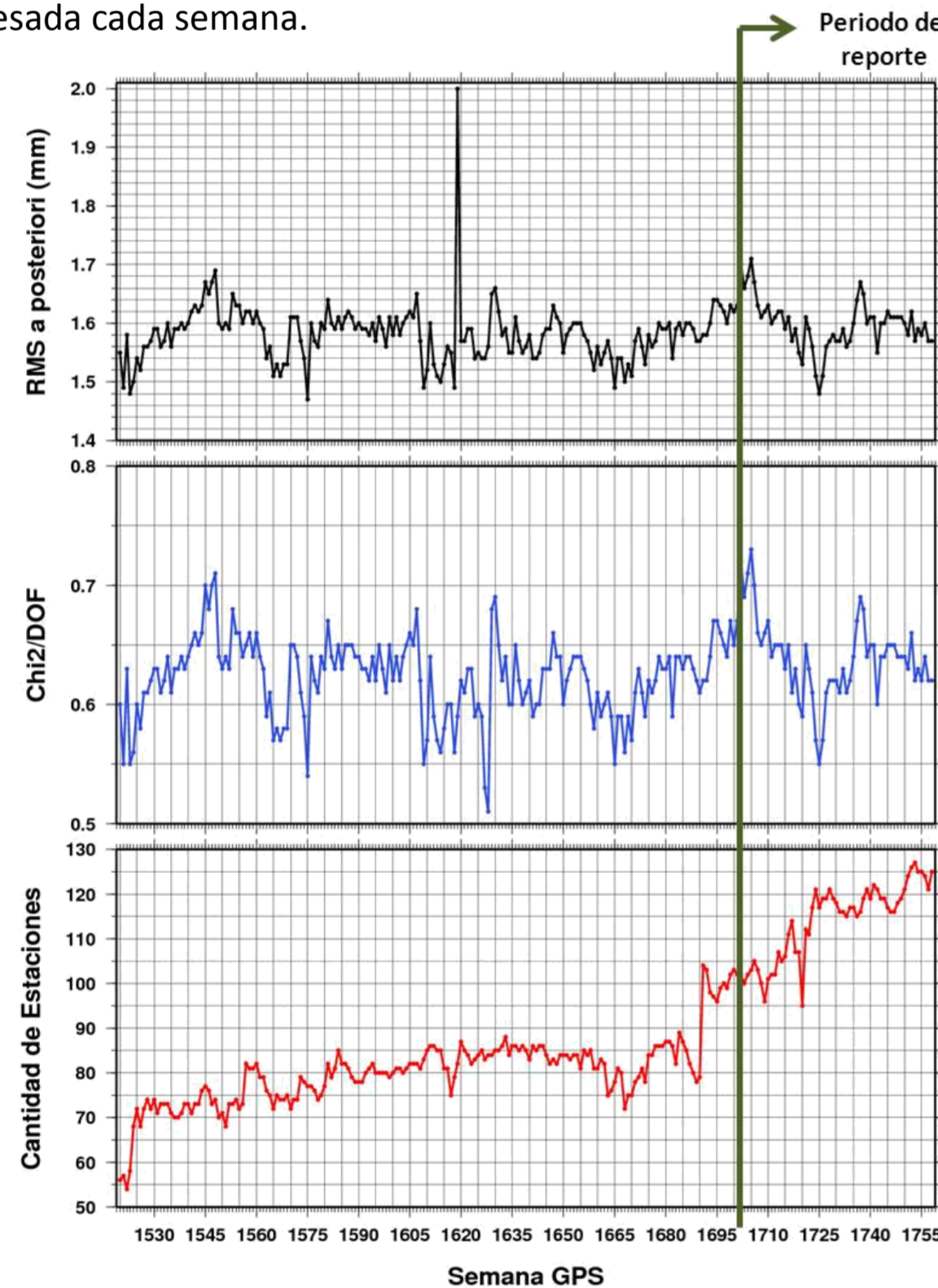


Figura 2. Estadísticas generales del procesamiento semanal.

La entrega de resultados a los Centros de Combinación (i.e. reporte general del procesamiento, ecuaciones normales semi-libres diarias y semanal en formato SINEX (*Solution Independent Exchange Format*), y listado de estaciones no incluidas), ha sido puntual casi en su totalidad durante el periodo comprendido entre las semanas 1705-1758. En relación a la cantidad de estaciones que normalmente son procesadas, se presenta en la Figura 3 el porcentaje de disponibilidad de los datos registrados por las mismas, no se dispone de resultados para un total de 13 estaciones.

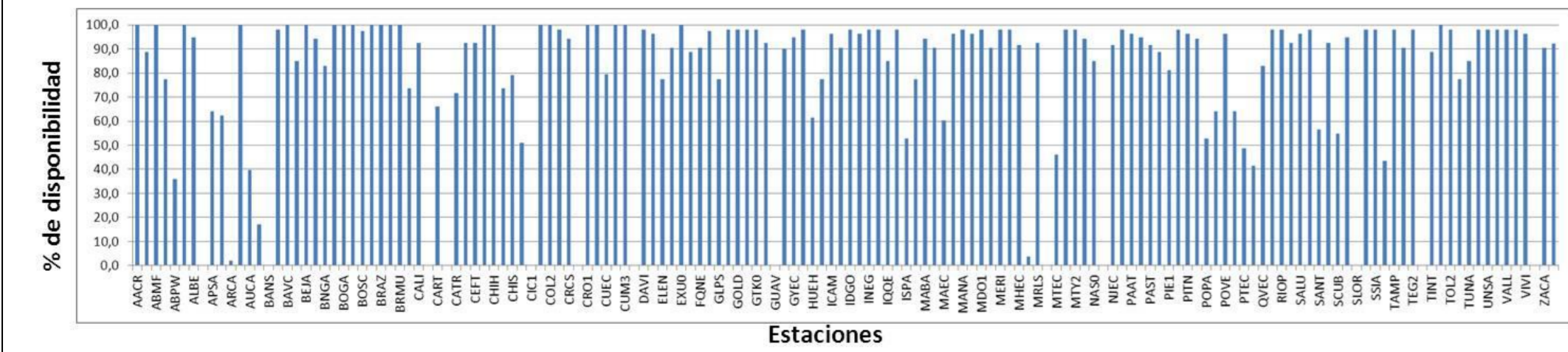


Figura 3. Disponibilidad de datos GPS registrados por las estaciones asignadas al CPAGS-LUZ, periodo 2012-2013.

Los resultados semanales mantienen su consistencia interna (precisión), lo que es evaluado a través de los RMS de la *Transformación de Helmert* entre la solución individual respecto a la ajustada, valores medios de 2 mm en las componentes horizontales y 6 mm en la altura pueden ser apreciados en la Figura 4, la cual ilustra la repetibilidad de los resultados.

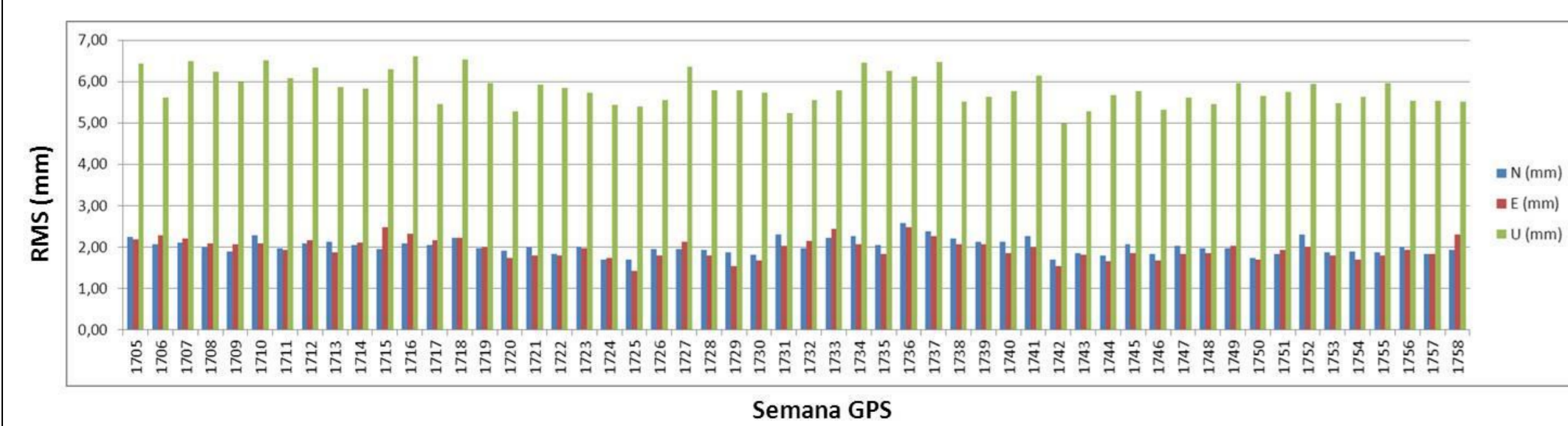


Figura 4. Repetibilidad de la solución semanal del CPAGS-LUZ, periodo 2012-2013.

RESULTADOS DEL PROCESAMIENTO DE LA RED

Desde el periodo inicial de actividades, las soluciones semanales del CPAGS-LUZ han presentado una alta calidad, según los requerimientos para el ajuste de la red, en este sentido, se presenta en la Figura 5 la repetibilidad histórica de los resultados a partir de la semana 1520.

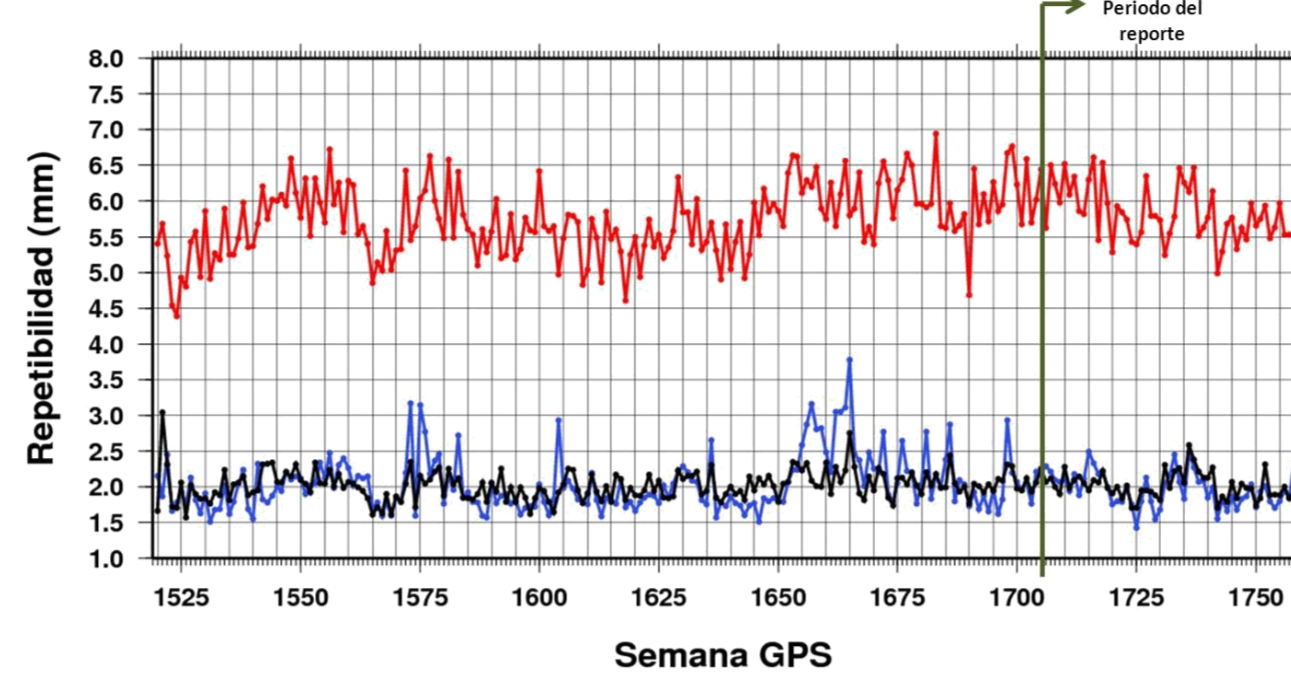


Figura 5. Repetibilidad de la solución semanal del CPAGS-LUZ, semanas 1520 a 1758. Componentes norte y este en negro y azul respectivamente, y en rojo la componente vertical.

Las diferencias medias entre la solución semi-libre y la referida al ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*) [Altamimi et al., 2011] que es ofrecida luego del ajuste completo de la red por parte de los Centros de Combinación, alcanzan los 8,8 mm para la posición y 9,7 mm para altura, con valores máximos de 23 mm y mínimos de 0,3 mm, indicando el efecto puntual de la alineación de la red al marco de referencia. Estos valores fueron obtenidos tomando en cuenta solo las estaciones Maracaibo (MARA), Caracas (CRCS) y Cumaná (CUM3), integrantes de la *Red de Estaciones de Monitoreo Satelital GPS* (REMOS), las cuales representan a SIRGAS-CON en Venezuela.

En las Figuras 6a y 6b se muestran las series de tiempo de la posición 3D estimada para las estaciones MARA y CRCS durante el periodo reportado, a modo de ejemplo.

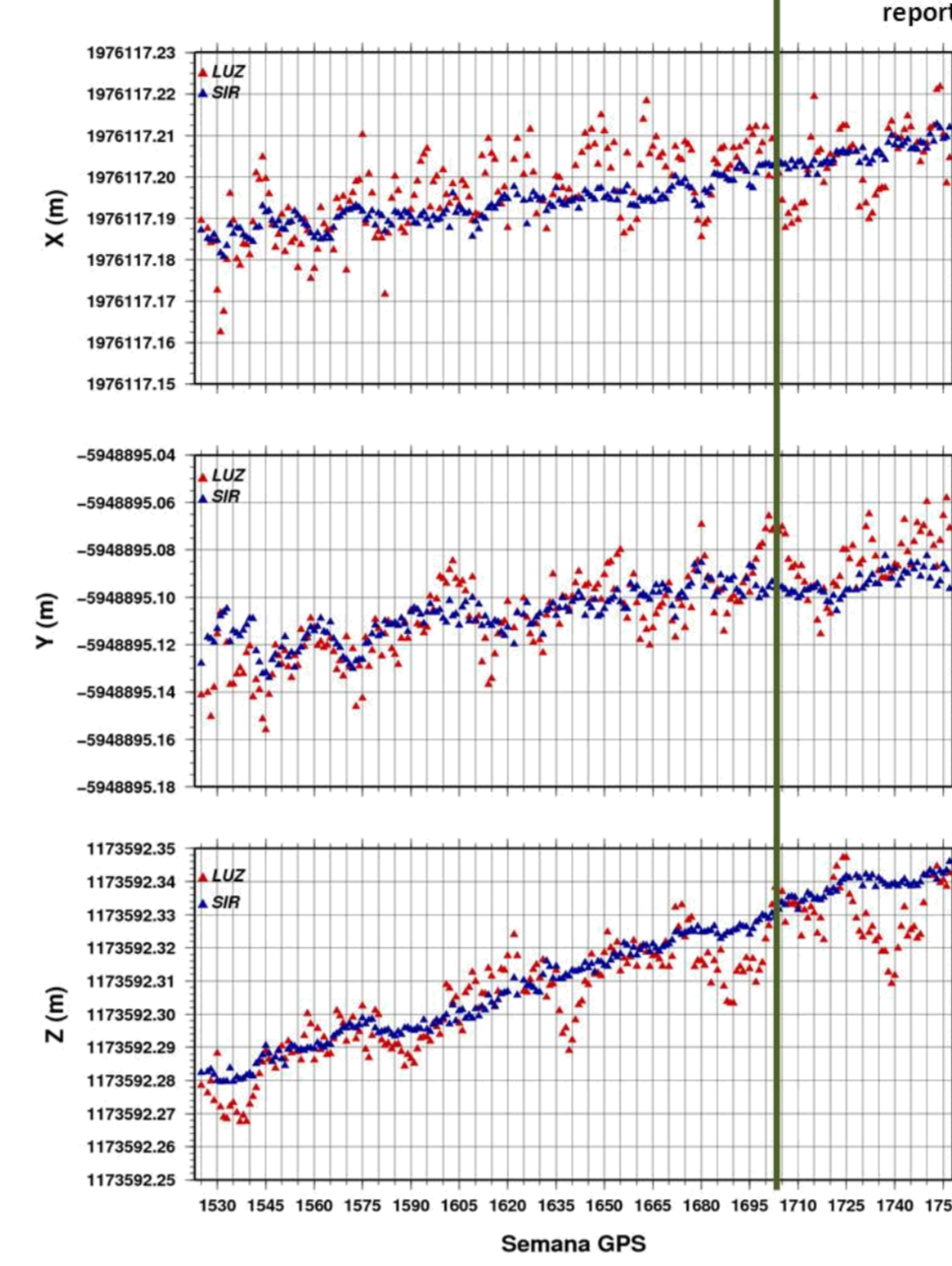


Figura 6a. Comparación entre solución semi-libre de LUZ respecto a la ajustada de SIRGAS para MARA.

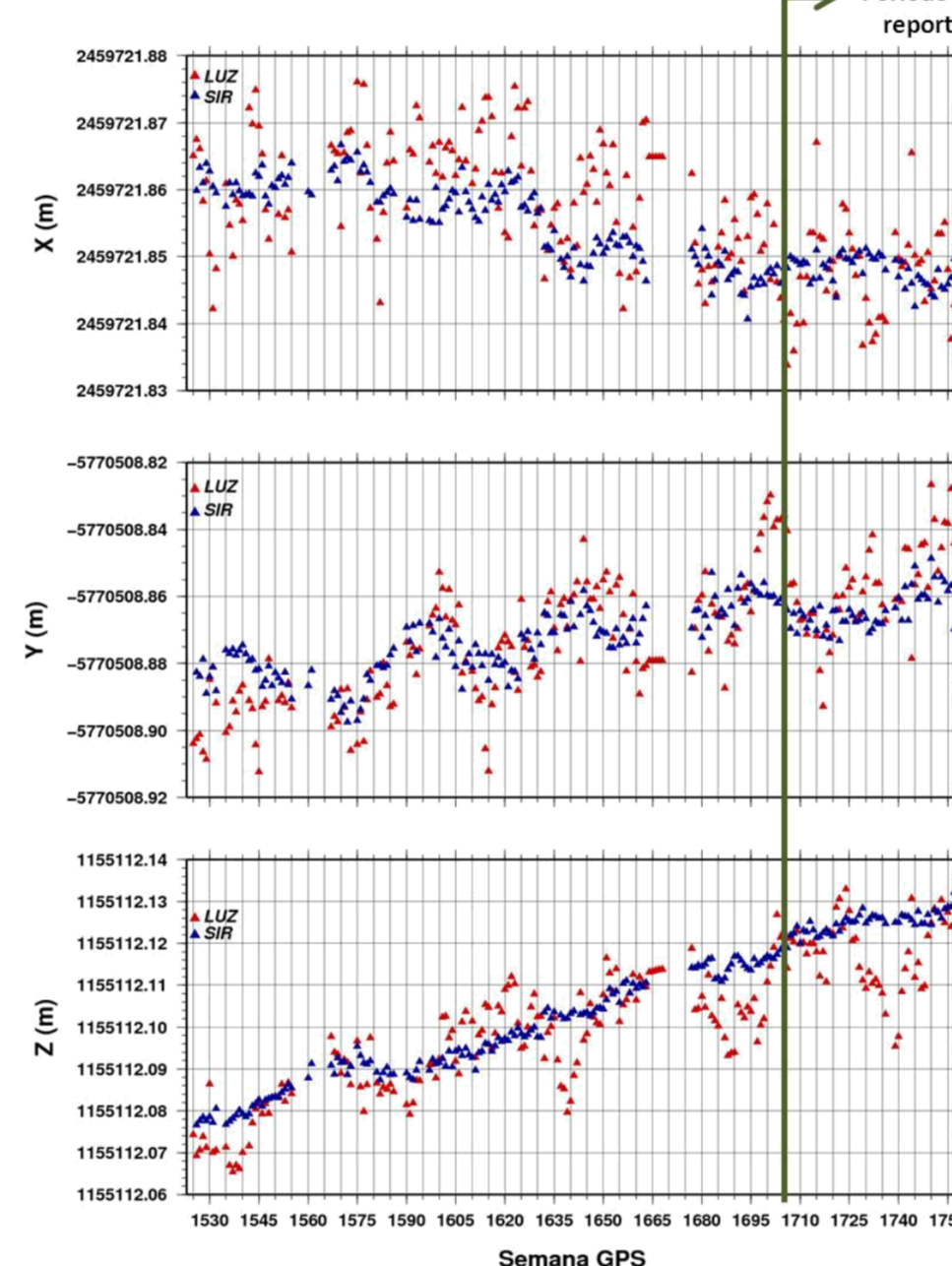


Figura 6b. Comparación entre solución semi-libre de LUZ respecto a la ajustada de SIRGAS para CRCS.

Al ser las estaciones REMOS de especial interés para el CPAGS-LUZ, el seguimiento constante de su funcionamiento y solución luego del proceso de estimación, es asumido como una de las actividades principales. Es así como en la Figura 7 se presenta la variación diaria en la posición semi-libre de las estaciones MARA y CRCS. Sus diferencias en relación a las coordenadas medias están en el orden de los 11 mm en posición y 8 mm en altura, resultados similares se obtuvieron para la estación CUM3.

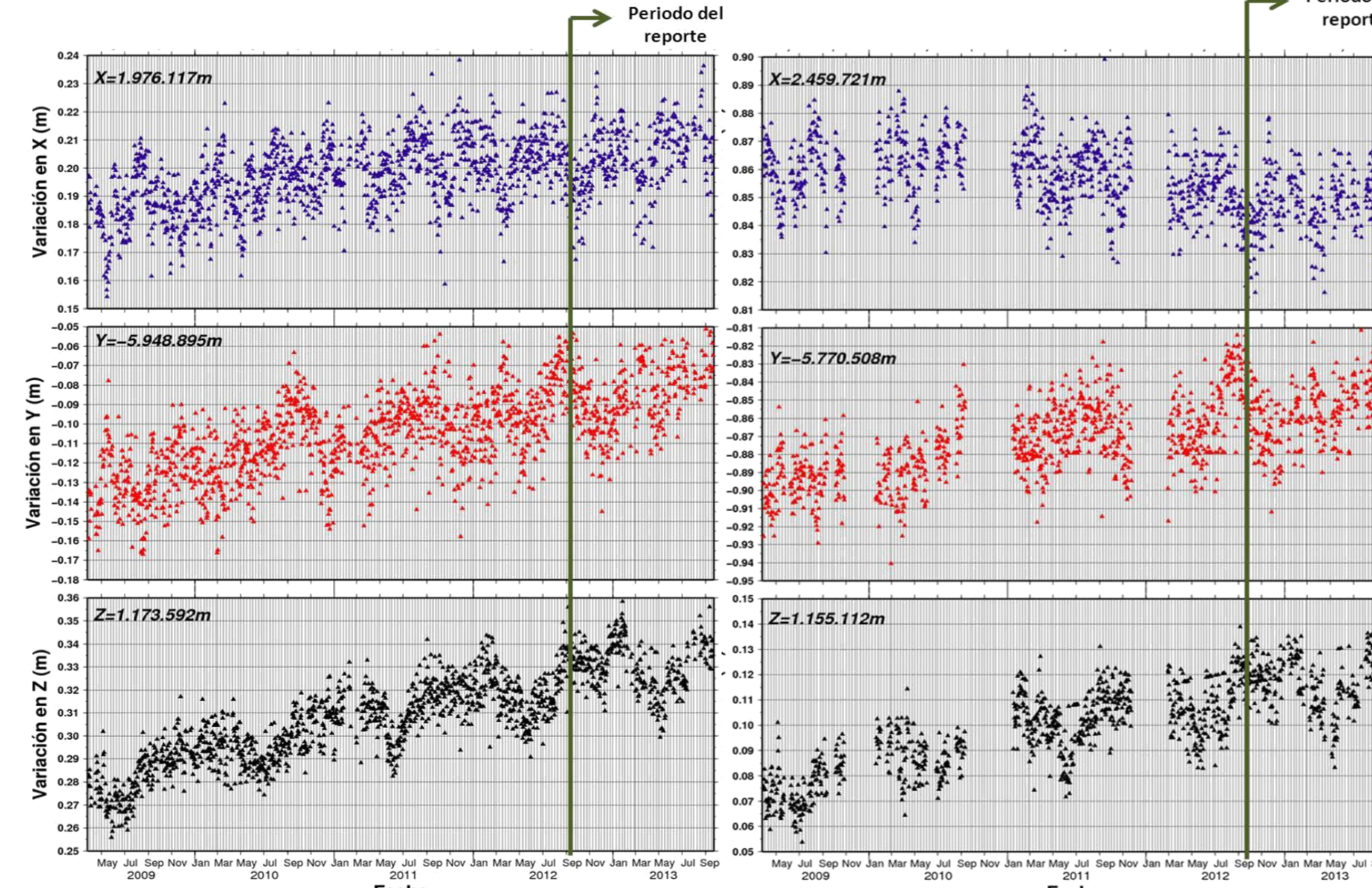


Figura 7. Variación diaria de la posición semi-libre de las estaciones MARA (izq.) y CRCS (der.).

Por su parte, la evaluación externa de los resultados ha sido realizada al contrastar con aquellos provenientes de otros centros de procesamiento que incluyen en sus rutinas de cálculo estaciones en común con el CPAGS-LUZ. Los RMS de la comparación se encuentran en el orden de 1 mm en las componentes horizontales y 2,8 mm para la vertical, siendo apreciados en la Figura 8.

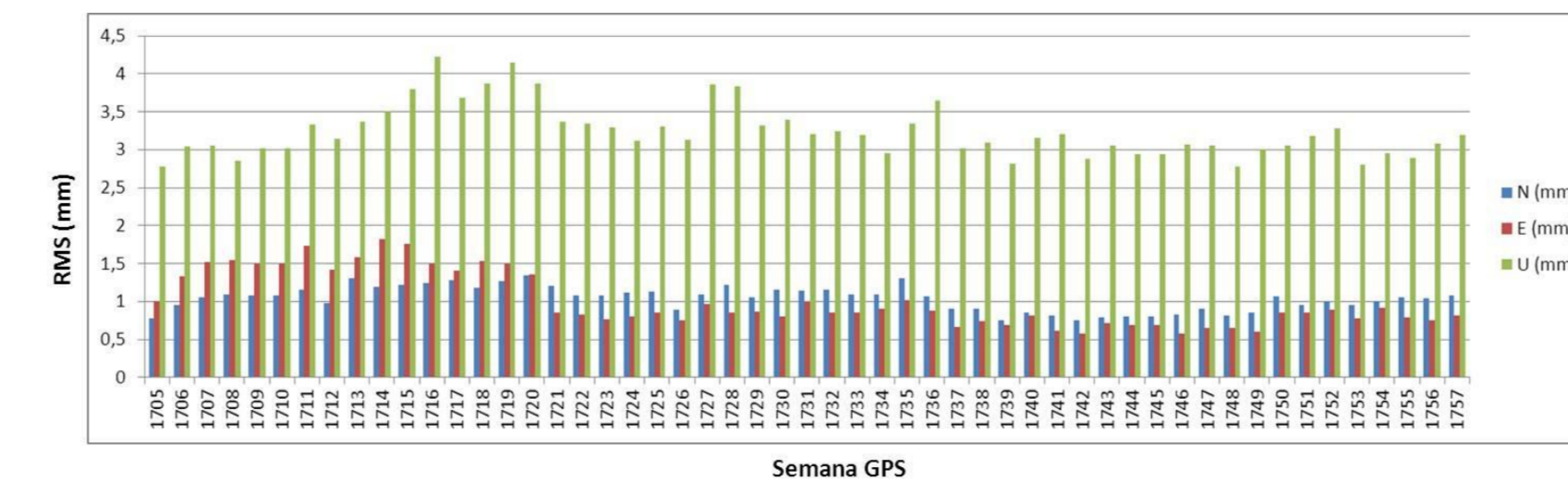


Figura 8. Repetibilidad de la solución semanal del CPAGS-LUZ respecto a otros centros de procesamiento SIRGAS, periodo 2012-2013.

Se garantiza de esta manera, que los resultados en términos de las soluciones semi-libres que se obtienen semanalmente luego del procesamiento efectuado por el CPAGS-LUZ, mantienen su calidad interna y externa, apoyando así las labores asociadas con el mantenimiento y actualización del marco de referencia continental.

Está previsto poder participar en el procesamiento de los datos GPS históricos recolectados por las estaciones SIRGAS-CON, una vez se logre actualizar la plataforma de procesamiento y la adopción de los nuevos estándares de estimación satelital GNSS definidos por el IERS (*International Earth Rotation and Reference Systems Service*) e IGS (*International GNSS Service*).

ACTIVIDADES ASOCIADAS CON INVESTIGACIÓN

Durante el periodo 2012-2013 se han adelantado labores de investigación, algunas expuestas por Cioce et al. (2013a) y Cioce et al. (2013b) en este evento, y otras ejecutadas a través de Trabajos de Grado por parte del grupo de estudiantes que han sido formados en el CPAGS-LUZ, siendo estos:

- "Establecimiento del control geodésico SIRGAS-CON para las actividades de la Dirección de Geografía y Cartografía de la Fuerza Armada Nacional Bolivariana". Realizado por Agrim. Miguel Espinoza, 2013.
- "Facilidad para el desarrollo de estudios troposféricos basados en la técnica satelital GPS en Venezuela". Realizado por Agrim. Mario Montero, 2013.
- "Análisis de redes GPS bajo diferentes modalidades de estimación para la ortorrectificación de imágenes de alta resolución". Realizado por Agrim. Iván Leal y Agrim. Luisana Osorio, 2013.
- "Incorporación de observaciones satelitales GLOANASS en el procesamiento de la red SIRGAS de operación continua". Realizado por Agrim. Guido Meza y Agrim. Luis A. Vera, 2013.
- "Implementación de mediciones GNSS en Tiempo Real NTRIP en trabajos cartográficos y catastrales". Realizado por Agrim. Ana Canga y Agrim. Germay Barrios, 2012.
- "Evaluación de observaciones GNSS en Tiempo Real asistidas por el servicio OmniSTAR HP y su aplicación en las operaciones geodésicas de PDVSA". Realizado por Agrim. Renny Espinoza y Br. Tomás Solarte, 2012.
- "Evaluación del posicionamiento GNSS absoluto de precisión para la definición del marco de aplicaciones en trabajos geodésicos de producción". Realizado por Agrim. Jorge G. León, 2012.

AVANCES EN LA ESTIMACIÓN DEL RETARDO TROPOSFÉRICO

La estimación del retardo zenital troposférico de la señal GPS captada en las estaciones REMOS es una actividad continua en el CPAGS-LUZ, disponiendo de series de tiempo desde 2009. Una de las principales limitaciones es la carencia de datos meteorológicos en las cercanías de los puntos de observación satelital, razón por la que se ha tratado de recuperar el vapor de agua integrado haciendo uso de relaciones empíricas.

Es sabido que la relación entre el retardo zenital no-hidrostatístico (ZWD) que se obtiene del procesamiento GPS, viene dado por la expresión:

$$Q = \frac{ZWD}{PW}$$

siendo PW el agua precipitable y Q un factor de conversión dependiente de la temperatura media de la columna atmosférica, valores de refractividad y constantes termodinámicas, por ende, una inapropiada determinación introduce error en la conversión.

A su vez, el agua precipitable da paso al vapor de agua integrado (IWV) a través de la relación: $IWV = PW \cdot \rho$ con ρ como la densidad del agua. El uso de estos modelos, implica disponer de datos sobre la presión, temperatura y humedad en el sitio de la observación.

Leick [2004] presenta una alternativa para el cálculo del factor Q , basada en datos meteorológicos registrados por radiosondas. Su validez para las condiciones atmosféricas en Venezuela, ha sido evaluada.

$$Q = 6.524 - 0.02797 \cdot ZWD + 0.00049 \cdot ZWD^2$$

Se presenta en la Figura 9, la serie de tiempo del ZWD para la estación MARA, conformada a partir de los resultados del procesamiento semanal realizado por el CPAGS-LUZ, y en la Figura 10 el IWV obtenido aplicando el referido factor de conversión.

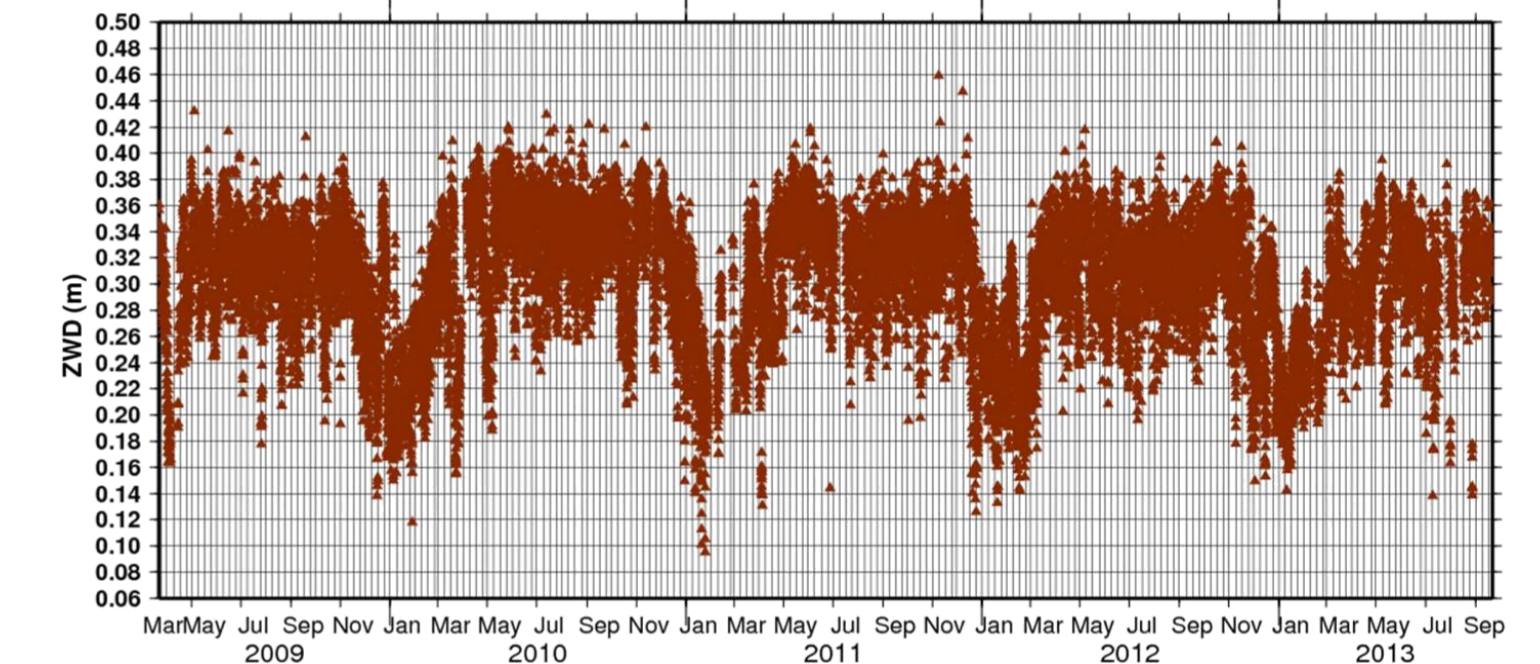


Figura 9. Retardo zenital no-hidrostatístico para la estación MARA.

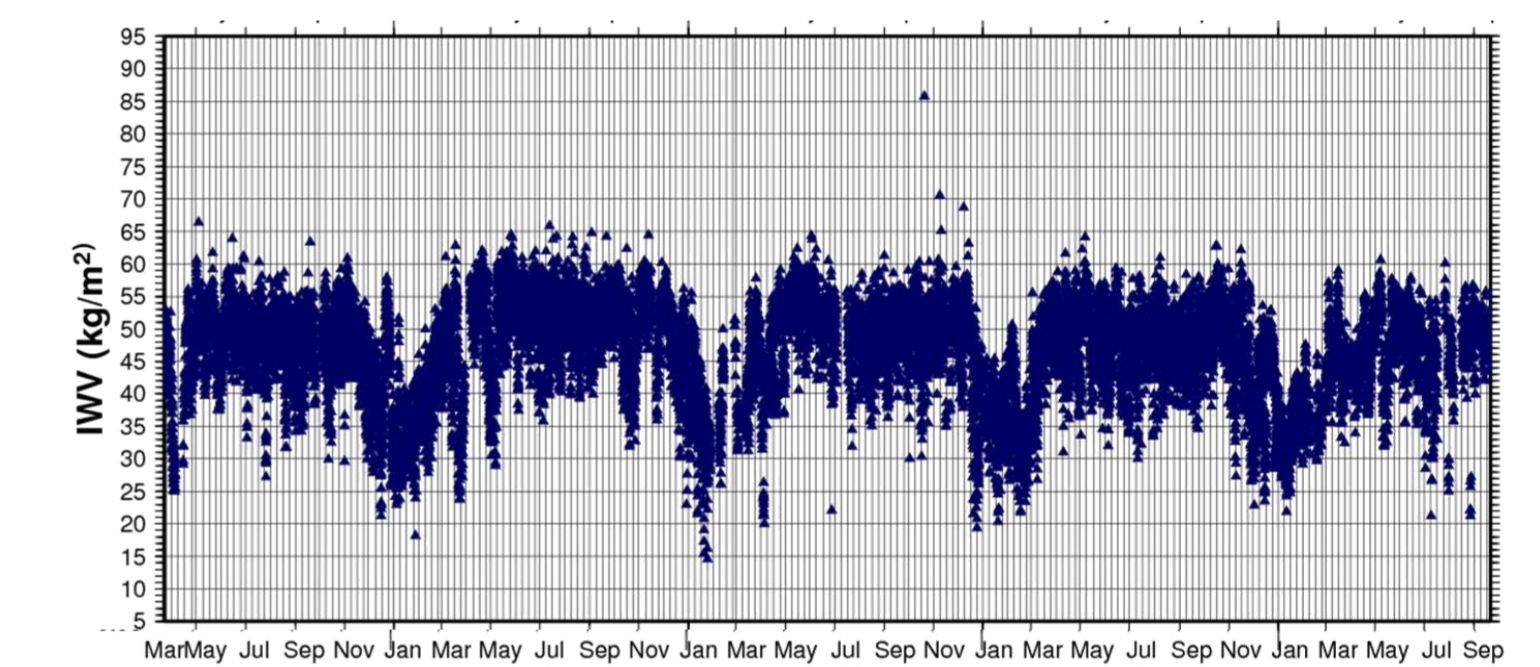


Figura 10. Vapor de agua integrado sobre la estación MARA, obtención según Leick [2004].

Montero [2013] por su parte, realizó una estimación propia del factor Q utilizando valores del ZWD y registros meteorológicos in situ sólo para MARA. La Figura 11 corresponde al IWV proveniente luego de aplicar el mismo. La diferencia media entre ambas estimaciones, está en el orden de 3,09 kg/m³.

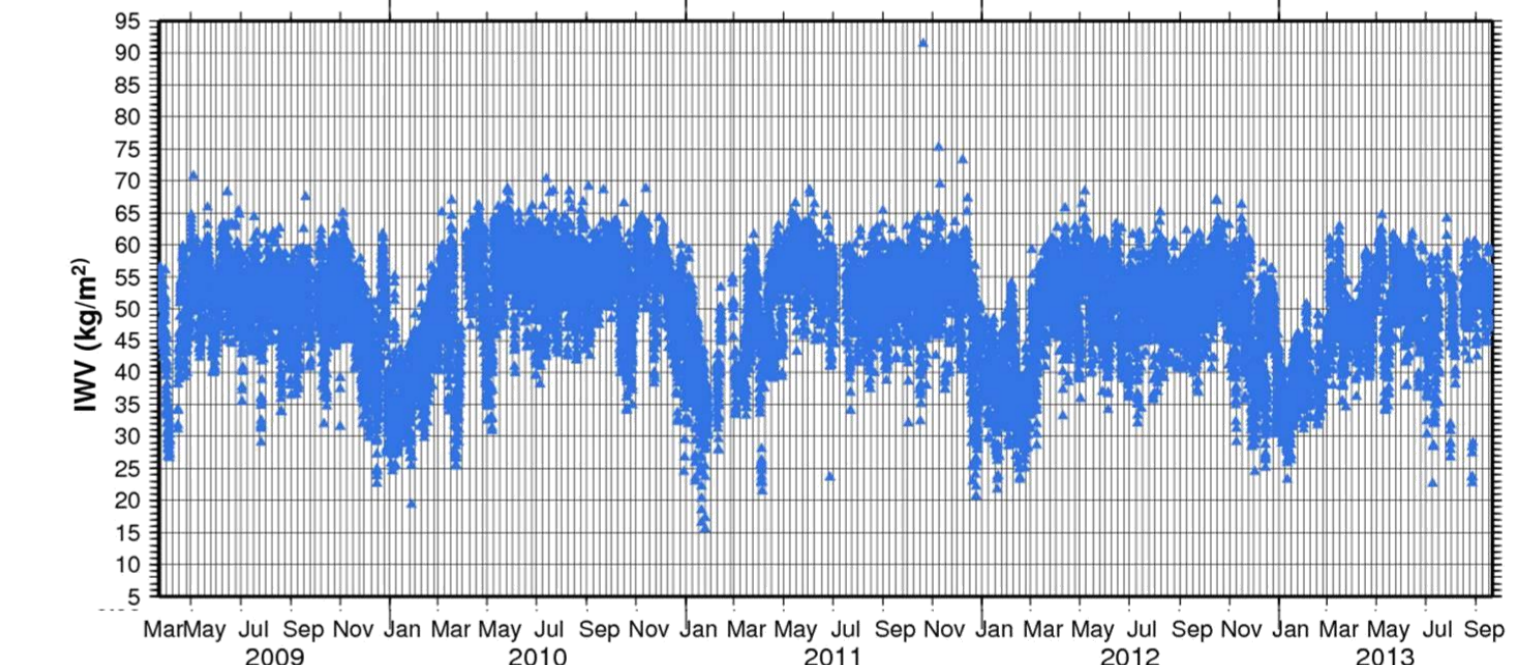


Figura 11. Vapor de agua integrado sobre la estación MARA, obtención según Montero [2013].

El factor Q presentado por Montero [2013] se ajusta de forma óptima, considerándose una buena aproximación que permitirá realizar análisis a largo plazo sobre la presencia y efectos del vapor de agua en la región y la posibilidad de extender estos estudios a otras estaciones REMOS. Esto fue verificado al comparar las respectivas estimaciones del IWV , con respecto al calculado por Cioce [2009] al introducir datos meteorológicos. Esto puede ser visto en la Figura 12.

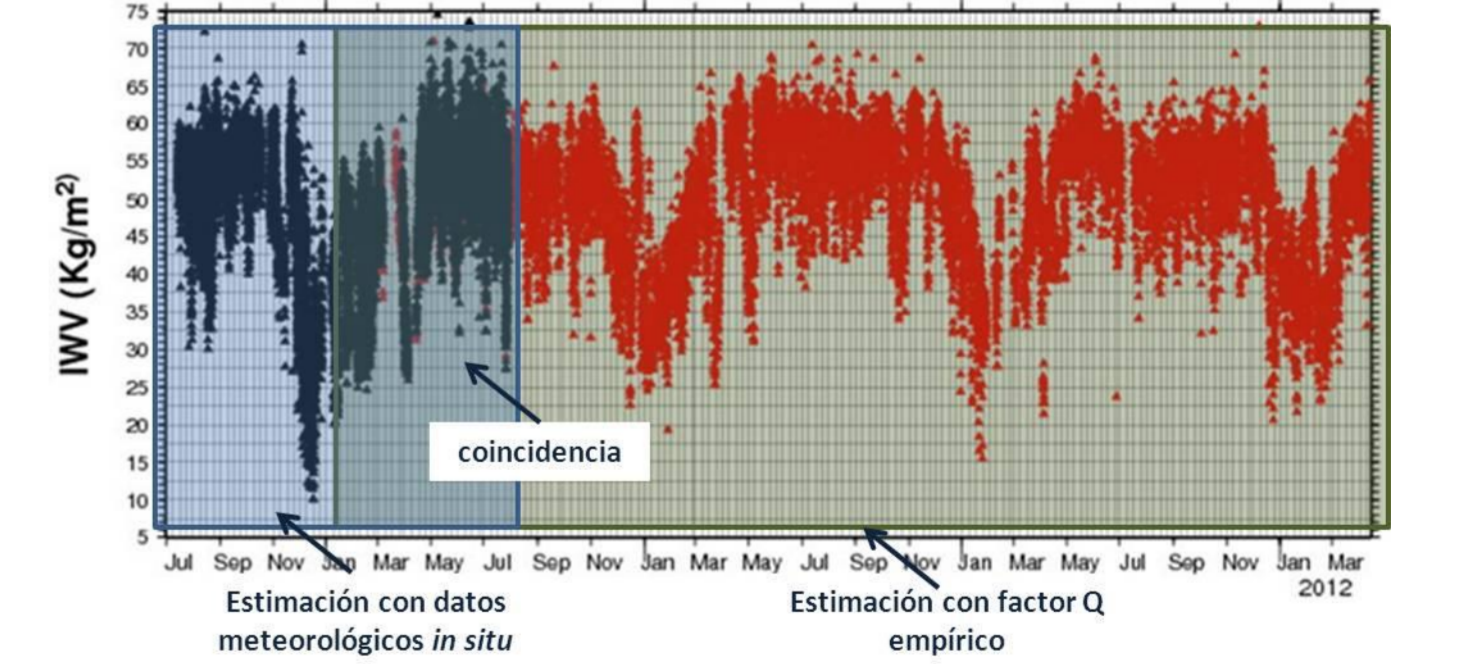


Figura 12. Comparación entre diferentes estimaciones del IWV para MARA.

COMENTARIOS FINALES

El CPAGS-LUZ sigue comprometido con el desarrollo de actividades orientadas al mantenimiento del marco de referencia geodésico en América Latina y la obtención de productos de utilidad práctica para la comunidad de usuarios de las geociencias. Para ello, docentes y estudiantes que conforman su recurso humano quedan a disposición de la familia SIRGAS.

Los resultados con alta calidad, del procesamiento semanal de la red SIRGAS-CON, el seguimiento de las estaciones REMOS en Venezuela y labores de investigación y divulgación de las actividades, reflejan la disposición de seguir participando en SIRGAS, promoviendo además las ventajas de contar en la región con la materialización de un sistema de referencia consistente a nivel mundial.

Finalmente, los autores desean dejar constancia del agradecimiento hacia los Brs. Darwins Valecillos y Paolo Chille, por la valiosa colaboración prestada en la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

- Altamimi, Z., Collilieux X., Métivier L. (2011). *ITRF2008: an improved solution of the International Terrestrial Reference Frame*. Journal of Geodesy, Vol. 85-Núm. 8, p. 457-473. Springer.
- Beutler G., Bock H., Dach R., Fridez P., Glade A., Hugentobler U., Jäggi A., Meindl L., Mervart L., Prange L., Schaer S., Springer T., Urschl C., Walser P. (2004). *Bernese GPS Software v5.0*. Astronomical Institute, University of Bern, Berna-Suiza.
- Cioce V. (2009). "Aplicación de Observaciones GPS para la Cuantificación del Vapor de Agua Troposférico en la Ciudad de Maracaibo". Trabajo de Grado. División de Postgrado de la Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia. Maracaibo-Venezuela.
- Cioce V., Royero G., Canga A., Barrios G., Espinoza M., Ceballos R., Wildermann E. (2013a). *Promoviendo la implementación del GNSS-NTRIP en levantamientos topográficos y catastrales*. Reunión SIRGAS 2013. Ciudad de Panamá-Panamá.
- Cioce V., Robin A., Mackem M., Mateo M. (2013b). *Avances en la incorporación de observaciones GLOANASS al ajuste de la red SIRGAS-CON*. Reunión SIRGAS 2013. Ciudad de Panamá-Panamá.
- Leick A. (2004). "GPS Satellite Surveying". 3^o Ed. John Wiley & Sons. New Jersey-EE.UU.