



GEOINGENIERÍA
Revista Ciencias de la Tierra

Autor de correspondencia

Juan L. Cabanillas-Zavala
jcabanillaszavala@gmail.com
Depto de Ciencias Exactas, Centro de
Sismología y Volcanología de Occidente
Universidad de Guadalajara, Centro
Universitario de la Costa, Guadalajara, México.

Autores

Rosendo Romero-Andrade
Araceli Zamora-Camacho
Manuel E. Trejo Soto
María V. Mackern-Obert

Artículo de investigación / Research Article
<https://doi.org/>



Análisis de calidad de observaciones GNSS de la nueva Red Geodésica de Jalisco de operación continua REGJAL: Prueba Piloto.

Quality analysis of GNSS observations of the new Geodesic Network of Jalisco of continuous operation REGJAL: Pilot Test

Resumen

En el presente estudio se analiza la calidad de las observaciones de las estaciones de operación continua GNSS de la nueva Red Geodésica del Estado de Jalisco (REGJAL), gestionada por el Centro de Sismología y Volcanología de Occidente a través del proyecto P24. Se estudian las observaciones generadas por 4 estaciones permanentes de un total de 63 días, contrastando los resultados con observaciones de 4 estaciones circunvecinas a la zona. Con el software TEQC se analiza la calidad de los datos, centrado en la variación de los valores de promedio móvil RMS de combinaciones lineales de trayectos múltiples (MP1 y MP2), además de la efectividad de las observaciones y los saltos de ciclo generados.

Palabras Claves: GNSS, multitrayectoria, red geodésica GNSS, análisis de calidad.

Abstract

In this study, the quality of the observations of the Continuous Operation Stations (GNSS) of the new Geodetic Network of the State of Jalisco (REGJAL) was analyzed. The REGJAL was deployed by the Western Sismology and Volcanology Center. The observations from four permanent geodetic stations that operated 63 days, and compare the results with other four stations deployed in the area was analyzed, in addition, the analysis of the data quality with TEQC software, focused on the variation of the RMS moving average values of linear multipath combinations (MP1 and MP2) and the effectiveness of the observations and cycle jumps generated was made.

Keywords: GNSS, multipath, geodetic network GNSS, Quality check

1. Introducción

A pesar de que las tecnologías GNSS presentan un gran número de posibilidades a la hora de realizar mediciones directas sobre la superficie de la tierra, estas se encuentran influenciadas por factores que degradan su precisión, como efectos ionosféricos y troposféricos, variación del centro de fase de la antena, error orbital y multitrayectoria (Swathi et al., 2016; Nie et al., 2018), siendo este último uno de los principales fenómenos que degrada la integridad de las señales (S. Wang et al., 2017; Pirsiavash et al., 2017; C. Wang et al., 2018). En este sentido, se realizó una prueba piloto con las observaciones de 4 estaciones de operación continua de la nueva Red Geodésica de Jalisco (Figura 1) en un periodo de 9 semanas con la ayuda del software TEQC (Translate/Edit/Quality Check) (Estey y Meertens, 1999) desarrollada por UNAVCO (University NAVstar

Consortium), con el objetivo de presentar resultados preliminares de la calidad de las mediciones, así como la operatividad de la red, contrastando los resultados con estaciones de operación continua cercanas a la zona.

2. Zona de estudio

La ubicación del experimento se encuentra en el Occidente de México, dentro de la región de interacción entre las placas de Norteamérica, Cocos y Rivera, aproximadamente entre los paralelos 18,5° y 21,5°, latitud Norte y los meridianos 103° y 106,5° longitud Oeste (Figura 1), donde las placas oceánicas Rivera y Cocos subducen bajo una porción fragmentada de la Placa continental de Norteamérica (León Soto et al., 2009), produciendo fallas inversas resultantes de la flexión de estas placas durante la subducción. En esta zona se ubica una unidad tectónica conocida como Bloque Jalisco (Núñez-Cornú et al. 2016)

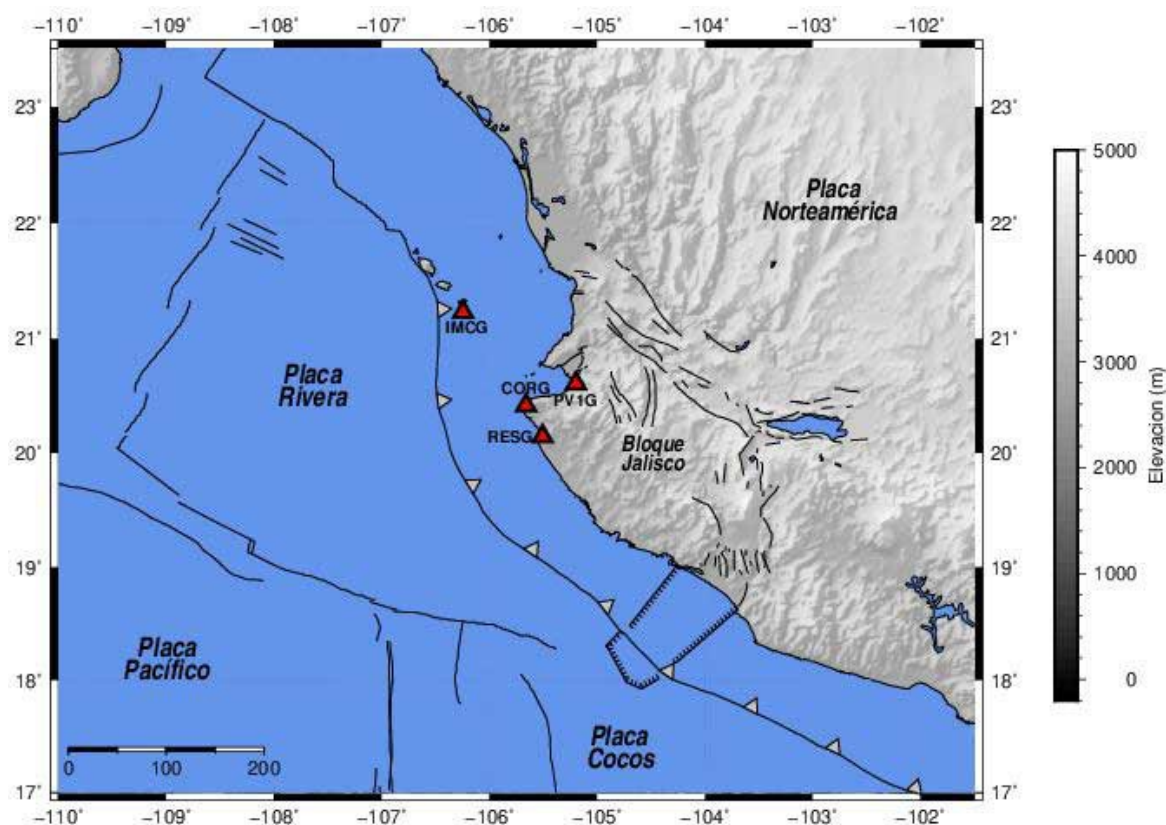


Figura 1. Ubicación de las estaciones de la REGJAL: triángulos rojos.

3. Marco Teórico

3.1 Análisis de calidad de las observaciones GNSS y cálculo del efecto multitrayectoria

Según Vázquez y Grejner-Brzeziska, 2012; Ma et al., 2018, una de las principales fuentes de error en las observaciones GNSS es el efecto multitrayecto de las señales, el cual se puede calcular basado en la combinación lineal de pseudorango y las fases portadoras L1 y L2 (Herrera-Olmo y De Lancy Pérez, 2014). Aunado a lo anterior, es posible calcular los saltos de ciclo (VSC) durante las observaciones, los cuales son una discontinuidad en la observable de fase portadora debido a la influencia de eventos atmosféricos repentinos, el ruido de la señal y la baja elevación del satélite (Seeber, 2003):

$$VSC = \frac{1000}{o/Slps}$$

Donde o/Slps son las observaciones por salto ("Observations per slip", por sus siglas en inglés).

Por otra parte, es posible verificar la eficiencia de la estación basado en el número de observaciones completadas diariamente. Teóricamente, un mayor número de observaciones completadas permite evaluar y corregir los errores estadísticamente (Yeh et al., 2008; Souto, 2014), permitiendo calcular un porcentaje efectivo de las mismas.

$$Porcentaje = \frac{Observaciones\ completas}{Observaciones\ posibles} \times 100$$

3.2 Datos GNSS e instrumentación

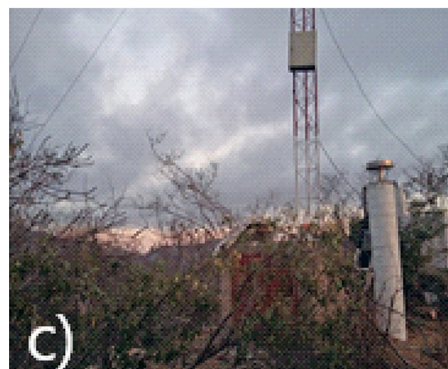
Las estaciones de la REGJAL (Figura 2) se instalaron en el 2018 y cuentan con antenas TRIMBLE GNSS tipo Choke Ring modelo TRM5900,00 las cuales están diseñadas para reducir el efecto multitrayecto (Park, 2004b; Lin et al., 2018) y receptores TRIMBLE NETR9 (Tabla 1), contando con un periodo de 63 días para este análisis, a una tasa de muestreo de 15 segundos, con un ángulo de elevación de 10°, con el objetivo de disminuir los efectos troposféricos y de multitrayecto en las señales (Ao et al., 2015).



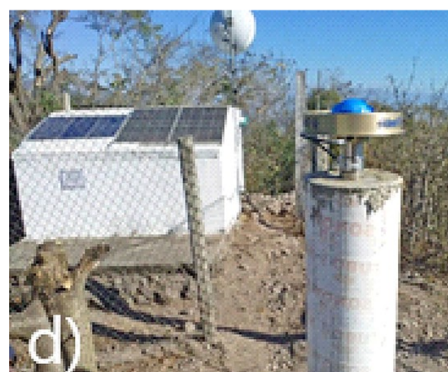
Figura 2
a) Estación IMCG en la Isla María Cleofas



b) Estación RESG en Tomatlán



c) Estación CORG en Cabo Corriente



d) Estación PV1G en Puerto Vallarta.

Por otra parte, se utilizaron datos de 4 estaciones de operación continua en un periodo mayor a 1 año (Tabla 1), con la finalidad de validar y contrastar la calidad de los resultados de este estudio con estaciones que forman parte de redes geodésicas de operación continua, mismas que se encuentran en la cercanía de la zona de estudio (Figura 3) y forman parte estudio con estaciones

que forman parte de redes geodésicas de operación continua, mismas que se encuentran en la cercanía de la zona de estudio (Figura 3) y forman parte de la red de Estaciones de Referencia de Operación Continua (CORS), administrada por el National Geodetic Survey (NGS); la red TLALOCNet, administrada por UNAVCO; y la RGNA de INEGI.

Estación	Días analizados	Gestor de las estaciones	Intervalo de observación	Antena según National Geodetic Survey	Receptor
IMCG	63	SisVOc	15 seg.	TRM 59900.00	TRIMBLE NETR9
RESG					
CORG					
PVIG					
COL2	712	INEGI	15 seg.	LEIAR10	Leica GR10
MPR1		NGS	1 seg.	MPL_WAAS_2225NW	WAAS-GII
TNMS		UNAVCO	15 seg.	TRM 59800.00	TRIMBLE NETR9
UGEO	537			TRM 41249.00	TRIMBLE NETRS

Tabla 1. Estaciones GNSS utilizadas.

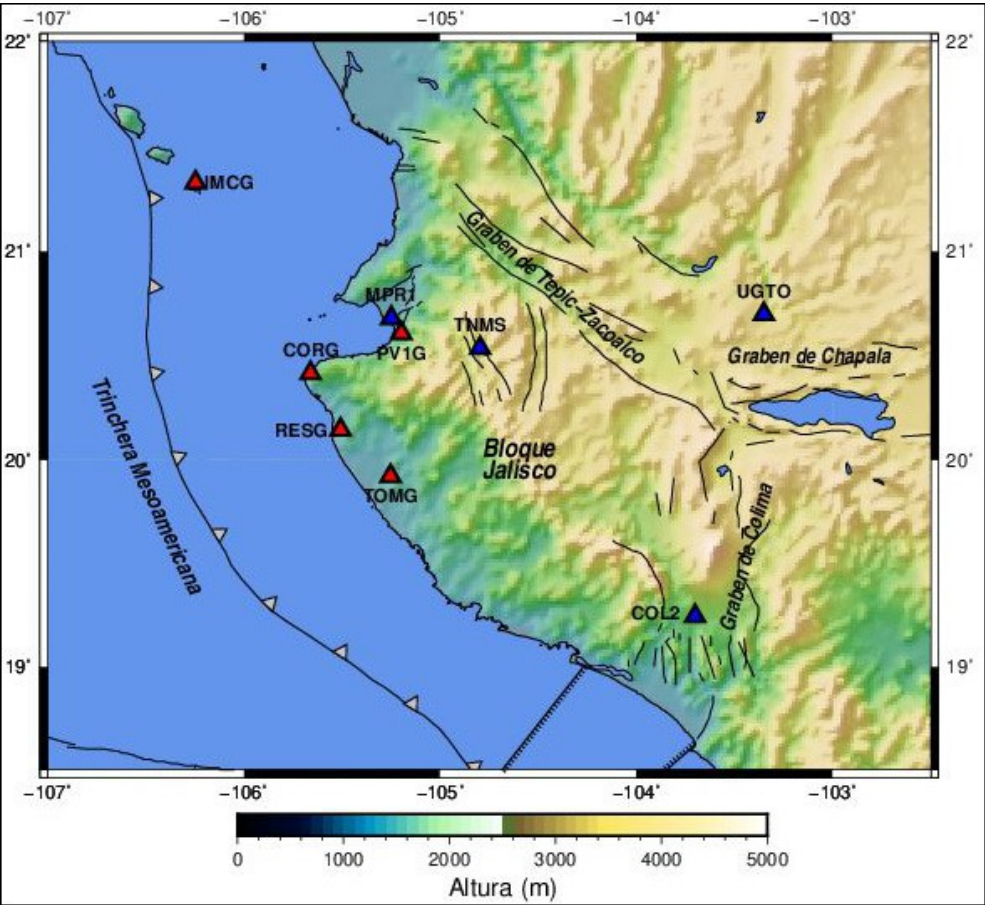


Figura 3. Estaciones cercanas a la zona de estudio: Triángulos azules. Estaciones de la REGJAL: Triángulos rojos.

4. Resultados

Se analizaron 3 factores importantes para caracterizar la calidad de las estaciones GNSS de la REGJAL: el número de observaciones, con el cual se calculó la efectividad de los datos de cada estación de un total de

63 días; el promedio móvil RMS de trayectos múltiples en L1 y L2, con las cuales se calculó la calidad de las observaciones; y los saltos de ciclo, que nos permitió conocer la cantidad de pérdidas en el seguimiento de la señal satelital registrado sobre las observaciones completadas (Tabla 2).

Estación	Días usados	Efectividad (%)	MPR	Valor Mínimo	Valor Máximo	Media	Desviación estándar	Salto de ciclo
PV1G	63	99,970	MP1	0,273	0,296	0,286	0,004	0,031
			MP2	0,299	0,342	0,321	0,007	
IMCG	63	96,970	MP1	0,417	0,482	0,443	0,013	0,488
			MP2	0,472	0,546	0,505	0,015	
CORG	63	98,950	MP1	0,372	0,411	0,385	0,008	0,125
			MP2	0,520	0,578	0,538	0,013	
RESG	62	97,680	MP1	0,347	0,436	0,365	0,013	0,192
			MP2	0,420	0,468	0,445	0,010	
COL2	712	99,830	MP1	0,100	0,190	0,116	0,010	0,058
			MP2	0,130	0,210	0,150	0,009	
MPR1	712	97,260	MP1	0,420	0,940	0,797	0,020	0,088
			MP2	0,340	0,820	0,697	0,022	
TNMS	712	99,690	MP1	0,440	0,590	0,471	0,013	0,102
			MP2	0,350	0,560	0,372	0,012	
UGEO	537	97,560	MP1	0,230	0,390	0,365	0,012	0,753
			MP2	0,240	0,410	0,378	0,012	

Tabla 2 Valores estadísticos de las estaciones geodésicas.

4.1 Análisis de efectividad de las observaciones

En este estudio la efectividad de las observaciones para la mayoría de las estaciones muestran un alto porcentaje de observaciones completadas durante los días de análisis (Figura 4) con valores mayores a 96%, lo cual señala la capacidad de las estaciones para completar las observaciones diarias. No obstante, la estación MPR1 presentó una disminución de efectividad en los días comprendidos en el año 2018, que puede deberse a un posible cambio de receptor, antena o una modificación en el área.

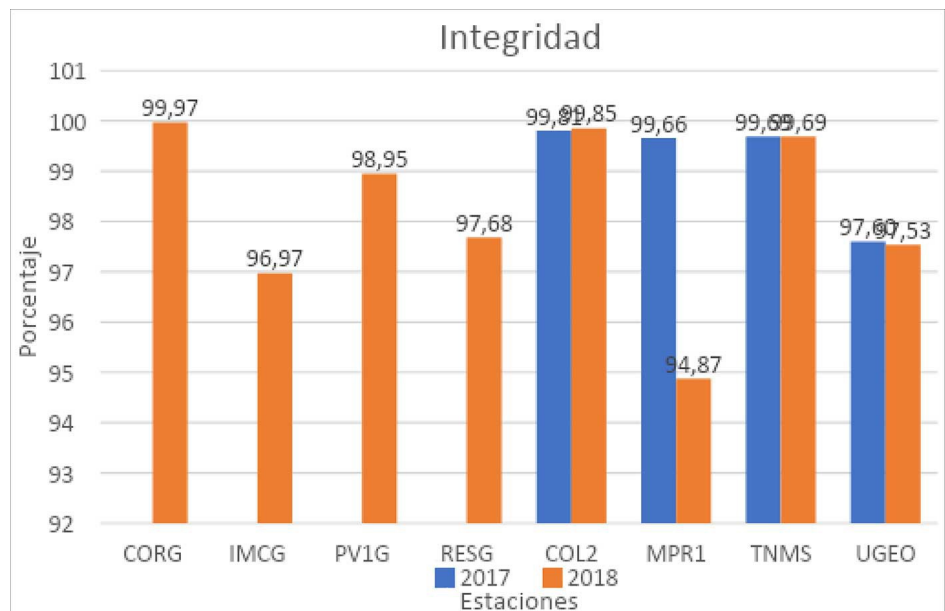


Figura 4. Efectividad de observaciones de las estaciones geodésicas.

4.2 Análisis del efecto multitrayectoria de las señales GPS

De acuerdo con los resultados obtenidos en el cálculo de los valores de multitrayecto para la REGJAL (Figura 5), la estación PV1G muestra los valores más bajos y consistentes, por otro lado, la estación IMCG muestra los valores más altos, mismo que se asocia a su ubicación,

ya que se encuentra rodeada por una gran extensión de agua (estación en la Isla María Cleofas), la cual actúa como una superficie reflejante (Liu et al., 2017; X. Wang et al., 2018). Por otro lado, los resultados de las estaciones circunvecinas exhiben valores más variantes entre ellas, donde la estación COL2 muestra los valores más bajos en el periodo de análisis, estos no superan los 0,120 para MP1 y 0,160 m para MP2, mientras que los

valores más altos se la cual actúa como una superficie reflejante (Liu et al., 2017; X. Wang et al., 2018). Por otro lado, los resultados de las estaciones circunvecinas exhiben valores más variantes entre ellas, donde la estación COL2 muestra los valores más bajos en el periodo de análisis, estos no superan los 0,120 para MP1 y 0,160 m para MP2, mientras que los valores más altos se obtuvieron en la estación MPR1, los cuales son cercanos a 0,800 y 0,700 m para MP1 y MP2 respectivamente, lo que se relaciona con la ubicación, ya que se encuentra en una zona con mucha superficie reflejante además de estar al lado de una torre de control, misma que puede estar interfiriendo con la señal.

4.3 Análisis de saltos de ciclo

En tres de las estaciones (COL2, TNMS y MPR1) durante el tiempo de medición los valores alcanzados en el cálculo de saltos de ciclo de las estaciones de operación continua circunvecinas a la zona (Figura 6) muestran valores menores a 0,150, mientras que en la estación UGEO se presentan los valores más elevados, alcanzando valores superiores a 0,700 en el tiempo de análisis. Por otro lado, los valores calculados para la mayoría de las estaciones de la REGJAL (Figura 8) son menores a 0,300, exceptuando la estación IMCG, que muestra los valores más elevados, alcanzando los 0,650. No obstante, a pesar de los altos valores alcanzados en estas estaciones, estos se encuentran dentro de lo recomendado por el IGS, los cuales se espera que sean menores a 1 salto de ciclo por cada 1000 observaciones (IGS, 2018).

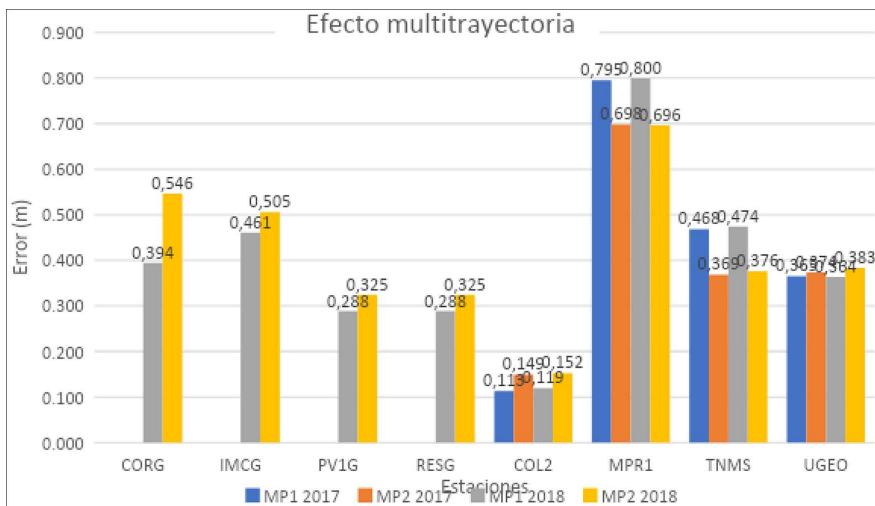


Figura 5. Error de multitrayecto de las estaciones geodésicas.

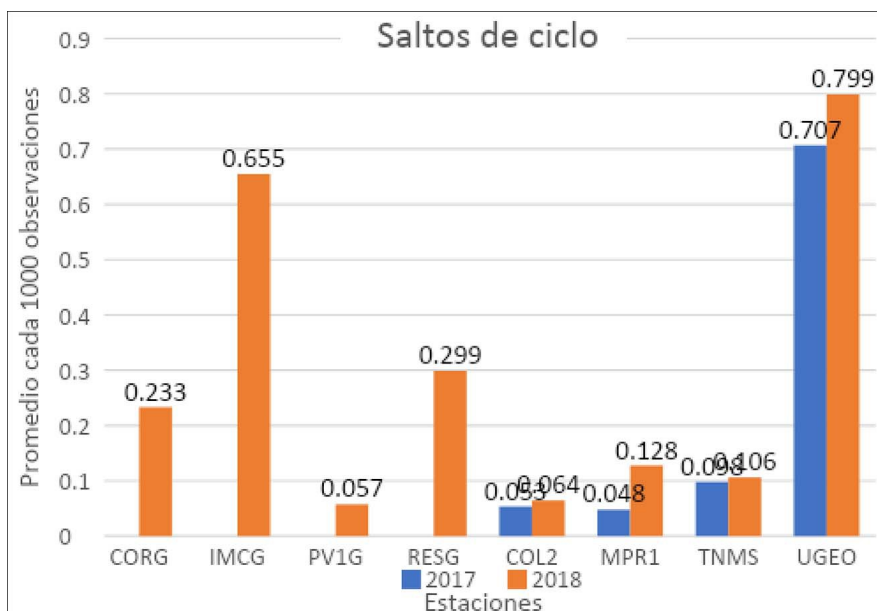


Figura 6. Saltos de ciclo de las estaciones geodésicas.

5. Conclusión

De acuerdo con los resultados obtenidos del análisis de integridad y saltos de ciclo de las observaciones de las estaciones de la REGJAL, estos se encuentran dentro de los valores recomendados por el IGS para estaciones de operación continua, mientras que los valores del efecto multitrayecto se encuentran cerca de los recomendados por este mismo organismo (IGS, 2018). Cabe señalar que las estaciones analizadas conjuntamente con la REGJAL no presentan los mejores resultados como se esperaría de las estaciones internacionales.

El análisis comparativo de las estaciones de la REGJAL con las 4 estaciones de operación continua del territorio nacional contrasta la efectividad, así como la calidad y consistencia de las observaciones que caracterizan a las redes geodésicas de esta naturaleza (ver Hilla y Cline, 2004; Üstün y Yalvaç, 2018; Herrada et al., 2010; Souto, 2014; Vázquez et al., 2013).

Agradecimientos

Se agradece a CONACYT, beca CVU/Becario 817394/622760, Centro Mexicano de Innovación de Energía (CeMIE-Geo) Proyecto P24

Exploración sísmica pasiva y magnetotélúrica en los campos geotérmicos de Volcán Ceboruco y La Caldera de la Primavera, a la Universidad de Guadalajara y al Centro de Sismología y Vulcanología de Occidente. "This material is based on [data, equipment, and/or engineering] services provided by the UNAVCO Facility with support from the National Science Foundation (NSF) and National Aeronautics and Space Administration (NASA) under NSF Cooperative Agreement No. EAR-0735156.

Bibliografía

- Anggreni-Sarsito, D., Susilo, S., Rudyawan, A., Arif-Muhhamad, N., Andreas, H., & Pradipta, D. (2019). WALANAE FAULT KINEMATIC DEDUCED FROM GEOMETRIC GEODETIC GNSS GPS MONITORING. *E3S Web of Conferences* 94. doi:<https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199404008>
- Ao, M., Zhu, J., & Hu, Y. (2015). Comparative experiments on soil moisture monitoring with GPS SNR observations. *Geomatics Inf Sci Wuhan Univ.*
- Estey, L. H., & C. M. Meertens. (1999). TEQC: the multi-purpose toolkit for GPS/GLONASS data. *GPS Solutions*, V3, 1: 42-49.
- Herrada, A., Miranda, S., Fuentes, C., Torres Lobato, O., Pintos, H., & Smalley, R. (2010). MONITOREO DE LA CALIDAD DE DATOS GPS CONTINUO: LA ESTACIÓN UNSJ (SAN JUAN, ARGENTINA). *GEOACTA*(35), 55-62.
- Herrera-Olmo, A., & De Lancy Pérez, M. C. (2014). Implementación de los efectos atmosféricos y de multipath en el desarrollo de un simulador de datos GNSS. *Física de la Tierra*, 26, 135-161. doi:http://dx.doi.org/10.5209/rev_FITE.2014.v26.46977
- Hilla, S., & Cline, M. (2004). Evaluating pseudorange multipath effects at stations in the National CORS Network. *GPS Solutions*, 7(4): 253-267. doi:10.1007/s10291-003-0073-3
- IGS. (2018). Current IGS Site Guidelines. Obtenido de <https://kb.igs.org/hc/en-us/articles/202011433-Current-IGS-Site-Guidelines>
- León Soto, G., F. Ni., J., P. Grand, s., Sandoval, E., W. Valenzuela, R., Guzman speziale, M., . . . Domínguez Reyes, T. (2009). Mantle flow in the Rivera-Cocos subduction zone. *Geophysical Journal International*, 179, 1004-1012. doi:10.1111/j.1365-246X.2009.04352.x
- Lin, K., Deng, Z., & Yin, L. (2018). Effective Multipath Mitigation Methods for RTK in Urban Environments. En J. Sun, C. Yang, & S.
- Guo, China Satellite Navigation Conference (CSNC) 2018 Proceedings (Vol. 3, págs. 565-576). Springer. doi:https://doi.org/10.1007/978-981-13-0029-5_49
- Liu, K., Zhang, S., Wang, Q., Zhang, Q., Zhang, J., & Nan, Y. (2017). GPS Signal to Noise Ratio Analysis and Using for Real-Time Tide Monitoring. En J. Sun, J. Liu, Y. Yang, S. Fan, & W. Yu, China Satellite Navigation Conference (CSNC) 2017 Proceedings (Vol. 1, págs. 151-161). Springer. doi:10.1007/978-981-10-4588-2_13
- Ma, C., Tang, X., Liu, Y., Xiao, Z., & Sun, G. (2018). A Method of Carrier Phase Multipath Mitigation Based on Punctual Code Correlation Reference Waveform. En J. Sun, C. Yang, & S. Guo, China Satellite Navigation Conference (CSNC) 2018 Proceedings (Vol. 3, págs. 477-487). Springer. doi:https://doi.org/10.1007/978-981-13-0029-5_42

Bibliografía

- Nie, X., Xie, J., Liu, T., Huangfu, S., Xie, S., Jin, T., & Ciu, X. (2018). An Investigation on Influence of Navigation Satellites Solar Panels on the RNSS Signal Propagation and Ranging Error. En J. Sun, C. Yang, & S. Gou, China Satellite Navigation Conference (CSNC) 2018 Proceedings (Vol. 3, págs. 117-126). Springer. doi:https://doi.org/10.1007/978-981-13-0029-5_11
- Núñez-Cornú, F., Córdoba Barbara, D., Dañoibeitia, J., Bandy, W., Ortiz, M., & Bartolome, R. (2016). Geophysical studies across Rivera Plate and Jalisco Block, MEXICO: TsuJal project. Seismological Research Letters., 87(1), 59-72. doi:10.1785/0220150144
- Park, K., Nerem, R., Schenewerk, M., & Davis, J. (2004). Site-specific multipath characteristics of global IGS and CORS GPS sites. Journal of Geodesy, 77, 799-803. doi:<https://doi.org/10.1007/s00190-003-0359-9>
- Pirsiavash, A., Broumandan, A., & Lachapelle, G. (2017). Characterization of Signal Quality Monitoring Techniques for Multipath Detection in GNSS Applications. Sensors, 17(1579), 1-24. doi:10.3390/s17071579
- Seeber, G. (2003). Satellite Geodesy (2nd ed.). Hannover: Walter de Gruyter.
- Souto, M. (2014). Análisis de calidad y preprocesamiento de datos GNSS de la estación permanente UCOR (Córdoba, Argentina). Revista de La Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 1(1), 91-95.
- Swathi, N., Dutt, V., & Sasibhushana, G. (2016). An Adaptive Filter Approach for GPS Multipath Error Estimation and Mitigation. En R. Satapathy, N. Rao, S. Kumar, C. Raj, V. Rao, & G. Sarma, Microelectronics, Electromagnetics and Telecommunications (Vol. 372, págs. 539-546). Springer, New Delhi. doi:https://doi-org.ezproxy.uacj.mx/10.1007/978-81-322-2728-1_50
- Üstün, A., & Yalvaç, S. (2018). Multipath interference cancelation in GPS time series under changing physical conditions by means of adaptive filtering. Earth Science Informatics, 11, 359-371. doi:<https://doi-org.ezproxy.uacj.mx/10.1007/s12145-017-0331-5>
- Vázquez, B. G., & Grejner-Brzeziska, D. A. (2012). A case of study for pseudorange multipath estimation and analysis: TAMDEF GPS network. Geofísica internacional, 51(1), 63-72.
- Vázquez, B. G., Bennett, R., & Spinler, J. (2013). Assessment of pseudorange multipath at continuous GPS stations in Mexico. Positioning, 4(03), 253-265. doi:10.4236/pos.2013.43025
- Wang, C., Gao, Y., Cui, X., & Lu, M. (2018). Implementation of a Dual Estimate Tracking Based Multipath Mitigation Method on a Software Receiver. En J. Sun, C. Yang, & S. Guo, China Satellite Navigation Conference (CSNC) 2018 Proceedings (Vol. 3, págs. 329-339). Springer. doi:https://doi.org/10.1007/978-981-13-0029-5_29
- Wang, S., Jia, X., Ji, G., Ai, Q., Guan, M., & Peng, T. (2017). Multipath Effect Analysis of Beidou Satellite Pseudorange and Its Corrections. China Satellite Navigation Conference (CSNC) 2017 Proceedings, 1, 547-559. doi:https://doi-org.ezproxy.uacj.mx/10.1007/978-981-10-4588-2_47
- Wang, X., Zhang, Q., & Zhang, S. (2018). Sea level estimation from SNR data of geodetic receivers using wavelet analysis. GPS Solutions, 23(6), 1-14. doi:<https://doi.org/10.1007/s10291-018-0798-7>
- Yeh, T., Y. A. Liou, C. S. Wang, & C. S. Chen. (2008). Identifying the degraded environment and bad receivers setting by using GPS data quality indices. Metrologia, 45:562-570