

Análisis Comparativo del Posicionamiento Preciso Utilizando el Receptor de Bajo Costo GNSS ZED-F9P en Conjunto con la Antena BEIBT300 y Diferentes Modelos de Antena de Orden Geodésico

C. Lizbeth G. Santiago-Sánchez

Dr. Rosendo Romero-Andrade

Dr. Manuel E. Trejo-Soto

MC. Daniel Hernández-Andrade

MC. Yedid G. Zambrano-Medina

Dr. Norberto Alcántar-Elizondo

Ing. Naccieli Bojorquez-Pacheco

C. Rafaela M. Llanes-Hernández

MC. Aníbal I. Arana-Medina

Facultad de Ciencias de la Tierra y el Espacio,
Universidad Autónoma de Sinaloa, México

C. José M. Briseño-Morán

Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías,
Universidad de Guadalajara, Jalisco, México

Dr. Richard Serrano-Agila

Departamento de Geociencias,
Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n6p36](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n6p36)

Submitted: 20 December 2023

Accepted: 08 February 2024

Published: 29 February 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Santiago-Sánchez L.G., Romero-Andrade R., Trejo-Soto M.E., Hernández-Andrade D., Zambrano-Medina Y.G., Alcántar-Elizondo N., Bojorquez-Pacheco N., Llanes-Hernández R.M., Arana-Medina A.I., Briseño-Morán J.M. & Serrano-Agila R. (2024). *Análisis Comparativo del Posicionamiento Preciso Utilizando el Receptor de Bajo Costo GNSS ZED-F9P en Conjunto con la Antena BEIBT300 y Diferentes Modelos de Antena de Orden Geodésico*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (6), 36.

<https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n6p36>

Resumen

Con el avance de la Geodesia y la mejora de las especificaciones técnicas de los receptores de bajo costo, los GNSS abren nuevas alternativas

para investigar las capacidades técnicas y rendimiento real que proveen este tipo de receptores para diferentes propósitos geodésicos. En este contexto, la precisión alcanzable fue analizada usando el receptor de bajo costo GNSS ZED-F9P en conjunto con dos antenas de orden geodésico (ASH701975.01B y LEIAS10 NONE) y una antena de bajo costo (BEIBT300 NONE). Las observaciones GNSS fueron llevadas a cabo en un periodo de dos días para cada modelo de antena. El análisis fue realizado en tiempos de observación de 12, 6 y 1 h, respectivamente. Estas observaciones fueron procesadas usando el método relativo estático mediante la inclusión de una estación de referencia continua del Instituto Nacional de Estadística y Geografía, la cual está localizada a una distancia aproximada de 4 km. Los resultados demuestran que la mayor precisión es lograda en un periodo de 12 h, con diferencias mínimas de 3 cm para la componente Norte y 33 cm para la vertical. En este sentido, la solución menos precisa es obtenida en el periodo de 1 h resultando diferencias de 70 cm, 46 cm y 2.3 m para la componente Norte, Este y vertical respectivamente.

Palabras clave: ZED-F9P, Receptor de bajo costo GNSS, GNSS, método relativo estático

Comparative Analysis of Precise Positioning Using Low-Cost GNSS Receiver ZED-F9P with Antenna BEIBT300 and Different Antennas of Geodetic Order

C. Lizbeth G. Santiago-Sánchez

Dr. Rosendo Romero-Andrade

Dr. Manuel E. Trejo-Soto

MC. Daniel Hernández-Andrade

MC. Yedid G. Zambrano-Medina

Dr. Norberto Alcántar-Elizondo

Ing. Naccieli Bojorquez-Pacheco

C. Rafaela M. Llanes-Hernández

MC. Aníbal I. Arana-Medina

Facultad de Ciencias de la Tierra y el Espacio,
Universidad Autónoma de Sinaloa, México

C. José M. Briseño-Morán

Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías,
Universidad de Guadalajara, Jalisco, México

Dr. Richard Serrano-Agila

Departamento de Geociencias,
Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador

Abstract

With advancements in geodesy and enhancements in the technical specifications of low-cost receivers, GNSS opens up new avenues for investigating the capabilities and performance provided by these receivers for various geodetic purposes. In this context, the precision achievable using the low-cost GNSS receiver ZED-F9P in conjunction with two geodetic antennas (ASH701975.01B and LEIAS10 NONE) and a low-cost antenna (BEIBT300 NONE) was analyzed. GNSS observations were conducted over a 2-day period for each antenna model. The analysis involved observation durations of 12, 6, and 1 h. These observations were processed using the static relative method alongside a continuously operating GNSS station from the Active National Geodetic Network of the National Institute of Statistics and Geography, situated at ~4 km. The results demonstrate that the highest precision was achieved over a 12 h period, with minimal differences of 3 cm for the North component and 33 cm for the vertical component. Conversely, the least accurate solution was obtained within a 1 h observation period, resulting in differences of up to 70 cm, 46 cm, and 2.3 m for the North, East,

and vertical components, respectively.

Keywords: ZED-F9P, Low-cost GNSS, GNSS, Static Relative method

Introducción

Los Sistemas de Navegación Global por Satélite (GNSS) han tenido un gran auge a nivel mundial debido a la precisión, cobertura global y diversas aplicaciones como deformación de la corteza (Dumka et al., 2022; Garate et al., 2015; García-Armenteros, 2023; Hernández-Andrade et al., 2022), análisis ionosférico como precursor sísmico (Nayak et al., 2023c, 2023b, 2023a; Sharma et al., 2023, 2020), monitoreo de estructuras (Yigit and Gurlek, 2017), siendo ejemplo de algunos estudios realizados con los receptores geodésicos.

Durante la época de los años 90, surgen los denominados equipos GNSS de bajo costo inicialmente para trabajos de mapeo (Tsakiri et al., 2018; Zamora-Maciel et al., 2020; Tsakiri et al., 2017), más sensibles en la recepción de señal logrando una potencia promedio de la señal recibida de -160 dB (Zhang and Schwieger, 2016) incluso con una sola frecuencia, en comparación a los equipos de orden geodésico que logran \sim -128.5 dB (Zamora-Maciel et al., 2020).

En el estado del arte, se han realizado investigaciones que demuestran la potencialidad de uso de los receptores de bajo costo. Cina and Piras, (2015) evaluó el rendimiento de los equipos de bajo costo para el monitoreo de laderas, demostrando que es posible alcanzar el orden de mm, siendo capaces de observar deformaciones en esta magnitud. Más tarde, Hamza et al., (2023) utilizó técnicas en tiempo real y de posicionamiento puntual preciso al igual que Hohensinn et al., (2022), quienes reportan precisiones de mm. Zhang and Schwieger, (2016) mejoraron la precisión obtenida basándose en la compensación del efecto multitrayectoria al colocar la estación de bajo costo GPS cerca de una superficie reflejante y mitigar directamente este efecto. Caldera et al., (2016) investigaron el impacto del software usado para el procesamiento de datos provenientes de equipos de bajo costo, los resultados demuestran que usando equipos de bajo costo en compañía de software libre para el procesamiento de observaciones GNSS, es posible lograr un orden milimétrico en una línea base corta. Gill et al., (2017) probaron los equipos de bajo costo y ultra bajo costo mediante la técnica de Posicionamiento Puntual Preciso (PPP), comparando con la solución obtenida con un receptor de orden geodésico, determinando que los receptores de ultra bajo costo son inferiores en precisión a los de bajo costo y por ende a los de orden geodésico en aproximadamente 37 y 51 cm, respectivamente. Romero-Andrade et al., (2019) prueban que los equipos de bajo costo son útiles en diferentes sistemas embebidos para posicionamiento preciso. Garrido-Carretero et al., (2019) investigan si es una posible opción el uso de los equipos de bajo costo GNSS

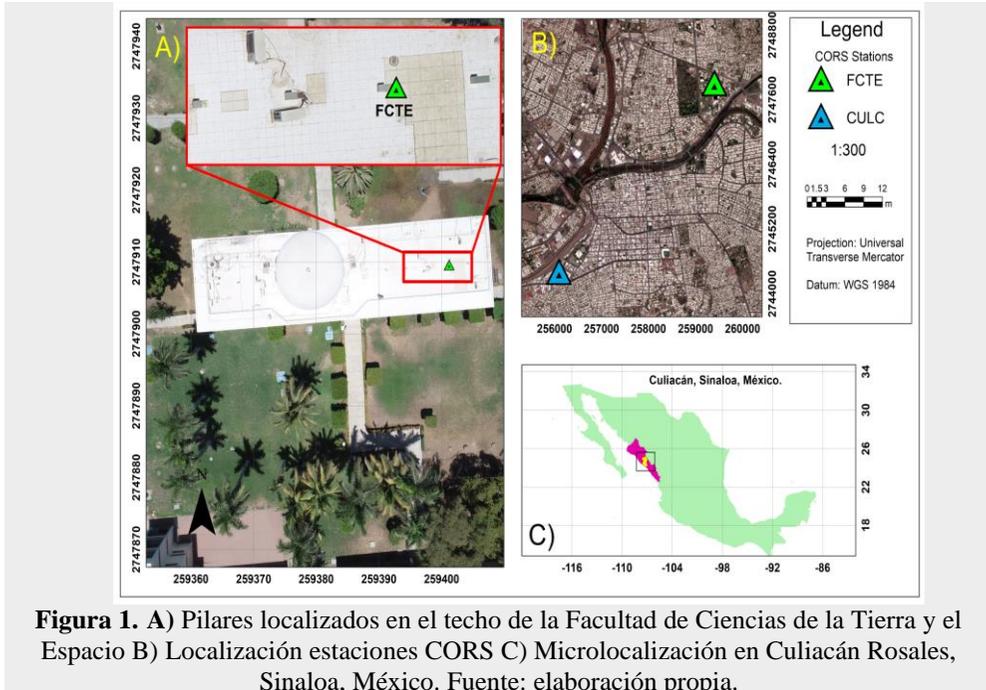
en modo RTK bajo el estándar ISO-17123-8, demostrando que es factible en bajo líneas geodésicas cortas. Zamora-Maciel et al., (2020) evalúa una línea base geodésica utilizando equipos de bajo costo en sistemas embebidos, demostrando que pueden lograrse diferencias en el orden del mm en líneas base de ~5 km mediante la técnica Diferencial GPS. Romero-Andrade et al., (2021) demostraron que es recomendable realizar observaciones en altas frecuencias debido a la pérdida de observaciones y, que, es posible alcanzar un nivel centimétrico usando la técnica de PPP. Wielgocka et al., (2021) investigaron el rendimiento del receptor de bajo costo ZED-F9P conectado con la antena ANN-MB-00-00 a través del método PPP y en Tiempo Real Cinemático (RTK) logrando precisiones de hasta 5 cm. Romero-Andrade et al., (2021) evaluaron el posicionamiento obtenido a través de los métodos Relativo Estático (RE) y PPP, demostrando que los receptores de bajo costo de una frecuencia no son aptos para su uso en áreas urbanas mediante el método PPP, sin embargo, para el RE, es posible usarlos en líneas bases menores a 20 km. Janos and Kuras, (2021) comprobaron y evaluaron la precisión del posicionamiento obtenido en ambientes con distintos entornos, encontrando que la antena de parche ANN-MB-00-00 es ideal para trabajar en cielo abierto, asimismo, con antena de orden geodésico alcanza una alta precisión. Borio et al., (2022) demostraron la posibilidad de uso de los receptores GNSS de bajo costo para medir zonas con material radioactivo determinando que las trayectorias son precisas. Zahradník et al., (2022) mostraron la posibilidad de uso del receptor ublox F9P para fines geodésicos en el sistema embebido Arduino, alcanzado precisiones centimétricas en modo RTK. Krietemeyer et al., (2022) presentaron un método de calibración directo en campo donde no se requiere un software costoso, mostrando posicionamiento entre 5.6 a 3.8 mm con antena de bajo costo en modo Cinemático en post-proceso, comparable con una antena de orden geodésico. Sanna et al., (2022) combinaron el uso de receptores de bajo costo en conjunto para antenas de orden geodésico en tiempo real, encontrando que para cielos despejados es posible obtener 95% de las observaciones fijas en tiempo real con un tiempo de adquisición de 1 o 2 s. Tunini et al., (2022) implementaron por primera vez la aplicabilidad de los sensores de bajo costo GNSS en estudios de deformación de la corteza terrestre, demostrando que es posible lograr mm mediante el uso de software científico, así como series temporales similares a las obtenidas con equipo de orden geodésico. Amami, M., et al., (2022) demostró que al combinar el receptor de bajo costo GPS con un sistema inercial, es posible obtener resultados precisos con el método relativo estático y cinemático solo con la fase portadora en modo diferencial. Kazmierski et al., (2023) analizan el uso práctico de los equipos de bajo costo en una red geodésica, encontrando que para sesiones de 24 y 10 min de observación se puede lograr 17 y 40 mm, respectivamente, lo cual hace posible utilizarlos

para un monitoreo geodésico. Bojorquez-Pacheco et al., (2023) utilizaron los receptores NEO-M8T, NEO-6T y ZED-F9P para determinar la factibilidad de uso a distancias de 4 y 33 km en modo relativo estático, demostrando que los modelos son aptos para trabajar en topografía y geodesia. Recientemente, Hernández-Andrade, et al., (2024), realizaron una calibración de línea base geodésica con receptores GNSS de orden geodésico y de bajo costo, donde además empleó mediciones electrónicas de distancia (EDM) con estación total, usando antenas de bajo costo y de orden geodésico mediante el método relativo estático, en el cual, demostró que las diferencias máximas pueden alcanzar hasta 1.2 cm.

En este sentido, el principal objetivo de esta investigación es probar la precisión que es posible alcanzar con antenas de orden geodésico (ASH701975.01A, LEIAS10 NONE) y de bajo costo (BIEBT300 NONE), en conjunto de un receptor GNSS de bajo costo (ZED-F9P-02B-00) de doble frecuencia, considerando tiempos de observación de 12, 6 y 1 hr, procesando bajo el método relativo estático, tomando como coordenadas de referencia las del posicionamiento obtenido en 24 hr de observación continua.

Área de estudio

Con el fin de aplicar en el procesamiento de las observaciones GNSS el método relativo estático, fue considerada la estación de operación continua GNSS del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) de la Red Geodésica Nacional Activa (RGNA) (<https://www.inegi.org.mx/app/geo2/rgna/>) mediante la estación “CULC”, localizada en la ciudad de Culiacán de Rosales, Sinaloa, en México. La estación de monitoreo “FCTE” donde se realizaron las observaciones de este experimento se encuentra sobre el techo de la Facultad de Ciencias de la Tierra y el Espacio aproximadamente a 5 km de la estación de monitoreo continuo “CULC”, siendo un monumento de centrado forzoso para evitar errores de centrado y en condiciones climatológicas óptimas con un entorno alrededor de la antena limpio (Figura 1).



Metodología

Recolección y procesamiento de las observaciones GPS

Se utilizaron tres antenas distintas, 2 antenas de orden geodésico (ASH701975.01B NONE y LEIAS10 NONE) y una de bajo costo (BIEBT300 NONE) con calibración del *National Geodetic Survey* (NGS) (Figura 2) en conjunto con un receptor GNSS de bajo costo (ZED-F9P-02B-00) de la serie u-blox.



El receptor de bajo costo GNSS (Figura 3), cuenta con las constelaciones GPS, GLONASS, GALILEO; QZSS y BeiDou; con un tiempo de adquisición de inicio frío de 15 s, inicio caliente 2 s, inicio ayudado 2 s; tiempo de convergencia < 10 s; precisión horizontal de 1.5 m; precisión

vertical de 0.01 m + 1 ppm; con bandas GPS/QZSS L1C/A, L2C; GLONASS L1OF, L2OF; GALILEO E1-B/C, E5b; BeiDou B1I, B2I (Ublox, 2023).



Figura 3. Receptor GNSS de bajo costo modelo ZED-F9P-02B-00. Fuente: elaboración propia.

La metodología utilizada para la investigación es presentada en la Figura 4.

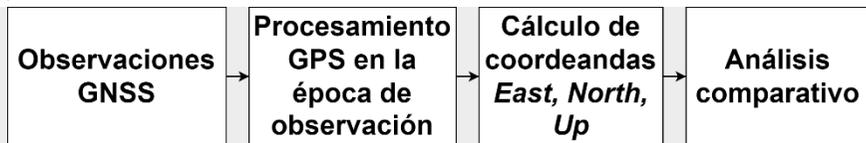


Figura 4. Metodología utilizada para la investigación. Fuente: elaboración propia.

Las campañas de observación fueron llevadas a cabo del 05 al 16 de junio de 2023 de forma continua (Tabla 1) en el techo de la Facultad de Ciencias de la Tierra y el espacio ubicada en Culiacán Rosales, Sinaloa, México (Figura 1); considerando la hora local (tiempo del pacífico) y UTC (UTC-7).

Tabla 1. Campaña de mediciones por día de la antena (inicio de mediciones en hora geodésica). Fuente: Elaboración propia.

CAMPAÑA DE MEDICIÓN		
Antena	Fechas de observación	
	Día 1	Día 2
LEIAS10 NONE	06 y 07 de junio 2023	07 y 08 de junio 2023
ASH701975.01B	09 y 10 de junio del 2023	10 y 11 de junio del 2023
BEIBT300 NONE	12 y 13 de junio 2023	13 y 16 de junio 2023

El receptor de bajo costo GPS fue controlado usando una computadora de escritorio mediante el software RTKLIB (Takasu, 2013) en el sistema Ubuntu a través del uso de programación en Shell-C (Newham and Rosenblatt, 2005), de tal forma que cada observación generara un archivo (“obs” y “nav”) para los días. Los archivos en formato “ubx” fueron convertidos a “obs” en

“RTKConv” de RTKLIB en LINUX. El intervalo de observación fue considerado a 5 hz, debido a que tienden a perder observaciones los receptores de bajo costo (Romero-Andrade et al., 2021), asimismo, las observaciones fueron decimadas a 15 s con el software TEQC (Estey and Wier, 2014) debido a que la estación de referencia de operación continua “CULC” está configurada a este intervalo de observación y así poder aplicar el método relativo estático (Hofmann-Wellenhof et al., 2008). En este sentido, se utilizó el software TEQC para convertir los archivos a un tiempo de 12, 6 y 1 h.

Debido a que las coordenadas de la estación de referencia se encuentran en el ITRF08 época 2010.0 (por normatividad en el país de México), se aplicó la reducción al marco de referencia ITRF08 época 2023.4466 conforme a lo expuesto en Bojorquez-Pacheco et al., (2023); INEGI, (2016) para considerar las mismas épocas de observación y tener en cuenta la deformación del marco tectónico en el tiempo. Las observaciones GPS fueron procesadas utilizando el software comercial Topcon Tools (Topcon, 2009), observables de Código y Fase en L1 y L2, una máscara de elevación de 15° (usualmente este ángulo es usado para evitar la visibilidad de los satélites de baja elevación) (Hofmann-Wellenhof et al., 2008; Zamora-Maciél et al., 2020), Corrección del centro de fase de la antena mediante el archivo ANTEX del IGS y NGS, órbitas precisas finales (SP3) (Spofford and Remondi, 1994), considerando únicamente la constelación GPS debido a que se prueba la precisión que es posible obtener con únicamente con la constelación más robusta y con mayor disponibilidad de satélites en la ubicación geográfica debido al tiempo de operación; un resumen de los parámetros y software utilizado es presentado en la Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros usados para el posicionamiento relativo estático. Fuente: elaboración propia.

Software	Topcon Tools
Observables	Código y Fase; L1 y L2
Máscara de elevación	15°
Corrección de centro de fase de la antena	ANTEX IGS y NGS
Método	Relativo estático
Orbitas satelitales	Precisas (IGS)
Marco de referencia	ITRF08 época 2023.4466
Intervalo de observación	15 s
Constelación	GPS

Una vez procesados los archivos, se consideró la solución con mayor tiempo de observación (24 hr) de una campaña anterior de 24 h como referencia para calcular las coordenadas ENU (North, East y Up) para ver la variación en función del tiempo y de las antenas con calibración.

Resultados

En la Tabla 3 se muestran los resultados de las observaciones con las precisiones logradas.

Tabla 3. Resultados de las observaciones GNSS. Fuente: elaboración propia.											
DIA 1											
Intervalos de observación											
12				6				1			
Longitud	Latitud	Altura	Longitud	Latitud	Altura	Longitud	Latitud	Altura	Longitud	Latitud	Altura
24°49'37.7 8958"N	107°22'49. 92251"W	41.983	24°49'37.7 8948"N	107°22'49. 92252"W	41.979	24°49'37.7 8951"N	107°22'49. 92275"W	41.772	0.001	0.001	0.002
0.001	0.001	0.003	0.002	0.002	0.007	0.002	0.002	0.006	0.002	0.002	0.006
24°49'37.7 8983"N	107°22'49. 92265"W	41.813	24°49'37.7 8985"N	107°22'49. 92264"W	42.044	24°49'37.7 7302"N	107°22'49. 91162"W	42.969	0.001	0.001	0.009
0.001	0.001	0.003	0.001	0.001	0.004	0.004	0.003	0.009	0.004	0.003	0.009
24°49'37.7 8970"N	107°22'49. 92277"W	41.84	24°49'37.7 8969"N	107°22'49. 92279"W	42.052	24°49'37.7 8947"N	107°22'49. 92290"W	41.833	0.002	0.002	0.008
0.002	0.002	0.004	0.002	0.002	0.005	0.003	0.003	0.008	0.003	0.003	0.008
DIA 2											
12				6				1			
Longitud	Latitud	Altura	Longitud	Latitud	Altura	Longitud	Latitud	Altura	Longitud	Latitud	Altura
24°49'37.7 8981"N	107°22'49. 92275"W	42.038	24°49'37.7 8981"N	107°22'49. 92275"W	42.038	24°49'37.7 8944"N	107°22'49. 92254"W	41.812	0.006	0.006	0.019
0.006	0.004	0.015	0.006	0.004	0.015	0.007	0.007	0.019	0.007	0.007	0.019
24°49'37.7 8985"N	107°22'49. 92267"W	41.826	24°49'37.7 8985"N	107°22'49. 92267"W	42.056	24°49'37.7 8975"N	107°22'49. 92240"W	41.849	0.001	0.001	0.007
0.001	0.001	0.004	0.001	0.001	0.004	0.003	0.002	0.007	0.003	0.002	0.007
24°49'37.7 8938"N	107°22'49. 92271"W	41.851	24°49'37.7 8932"N	107°22'49. 92267"W	42.059	24°49'37.7 9069"N	107°22'49. 90885"W	42.794	0.002	0.002	0.011
0.002	0.002	0.006	0.002	0.002	0.006	0.004	0.004	0.011	0.004	0.004	0.011

				24		
ANTENA	Longitud	Latitud	Altura			
ASH70197 5.01B	24°49'37.7 9390"N	107°22'49. 92259"W	41.733			
Desv.Est	0.002	0.001	0.004			
LEIAS10 NONE	24°49'37.7 9426"N	107°22'49. 92269"W	41.816			
Desv.Est	0.001	0.001	0.003			
BEIBT300 NONE	24°49'37.7 9627"N	107°22'49. 91630"W	44.143			
Desv.Est	0.01	0.009	0.025			
				24		
ANTENA	Longitud	Latitud	Altura			
ASH70197 5.01B	24°49'37.7 9374"N	107°22'49. 92273"W	41.763			
Desv.Est	0.003	0.003	0.008			
LEIAS10 NONE	24°49'37.7 9424"N	107°22'49. 92275"W	41.829			
Desv.Est	0.002	0.002	0.005			
BEIBT300 NONE	24°49'37.7 9484"N	107°22'49. 92020"W	43.257			
Desv.Est	0.004	0.003	0.01			

Los resultados expresados en el sistema ENU, para las diferentes antenas y diferentes intervalos de tiempo (Figuras 5-8). En la Figura 5, se muestran los resultados obtenidos en un periodo de tiempo de 12 h. Para la antena de bajo costo BEIBT300 NONE, se logra una alta precisión con diferencias hasta de 1 cm en la componente norte, y mostrando el orden de mm para la componente Este. En el caso de la componente vertical (U), se tiene una diferencia máxima de 4 cm.

Para las antenas de orden geodésico, se tiene que para el modelo ASH701975.01B logra en la componente horizontal una diferencia máxima de 8 mm, y con una mínima de 1 mm. No obstante, para la componente vertical, presenta diferencias máximas hasta de 70 cm. Para la antena LEIAS10 NONE la componente horizontal se mantuvo en el orden milimétrico, por otro lado, la componente vertical es de máximo 4 cm; siendo la componente vertical de la antena geodésica ASH701975.01B la que es menos precisa.

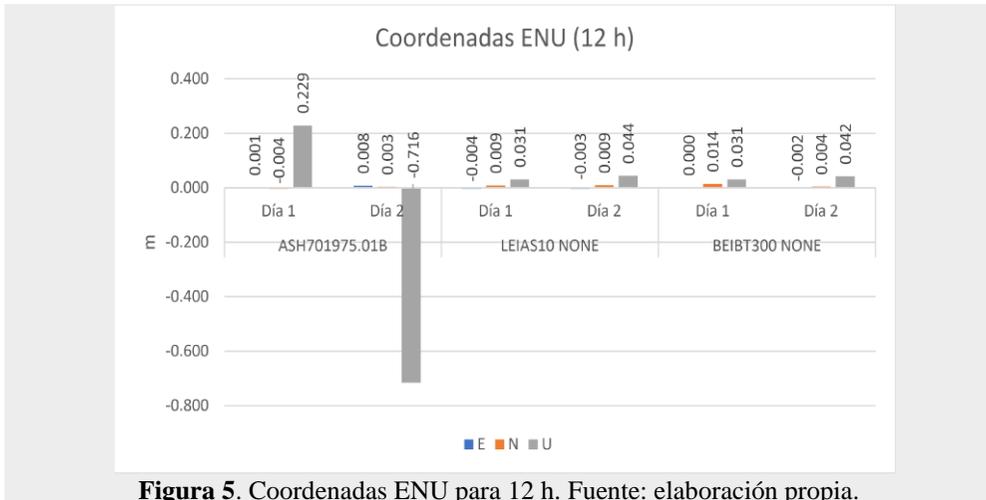


Figura 5. Coordenadas ENU para 12 h. Fuente: elaboración propia.

Para el tiempo de observación de 6 h (Figura 6), la componente vertical en las tres antenas se encuentra con la mayor diferencia, alcanzando un máximo de 70 cm para el modelo ASH701975.01B, seguido de la antena LEAS10 NONE y siendo la más precisa la antena de bajo costo BEIBT300 NONE para la componente vertical. Para la componente horizontal, las tres antenas se encuentran en el orden del mm, siendo la antena de bajo costo BEIBT300 NONE la menos precisa en la componente Norte alcanzando el cm.

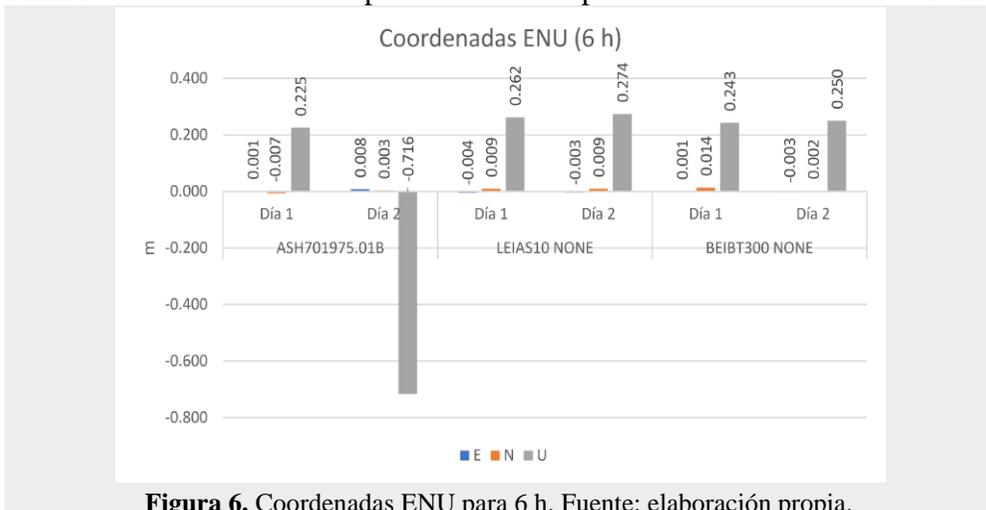


Figura 6. Coordenadas ENU para 6 h. Fuente: elaboración propia.

Al considerar una hora de observación las diferencias se vuelven más grandes como lo es el caso de la antena de orden geodésico LEIAS10 NONE y la de bajo costo BEIBT300 NONE, sin embargo, estas diferencias se encuentran al iniciar el día GPS, alcanzando máximo 50 cm en la componente horizontal, en este sentido, para la vertical, aumenta a más de un m. No

obstante, para la antena de orden geodésico ASH701975.01B se presentan en ambos días diferencias en el orden del mm para la horizontal y cm en la componente vertical (Figura 7).

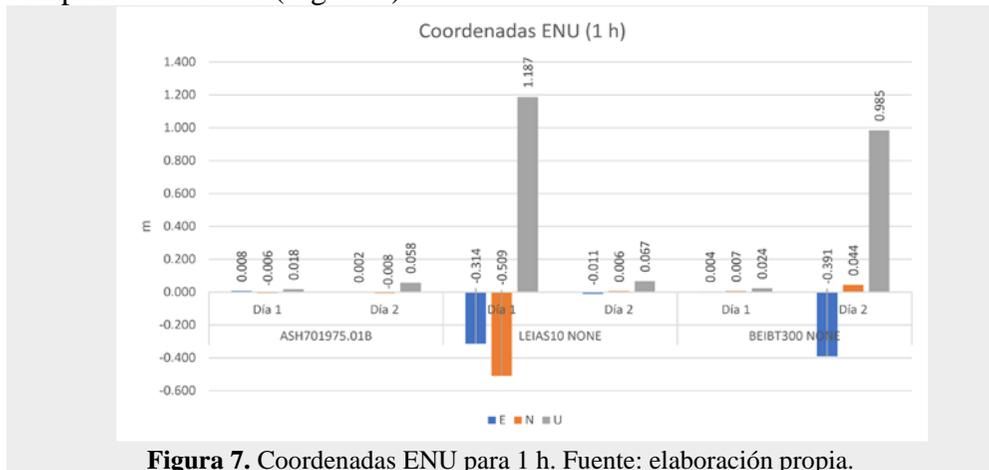


Figura 7. Coordenadas ENU para 1 h. Fuente: elaboración propia.

En la Figura 8 se presentan el promedio por día, componente y hora; mostrando un claro aumento de precisión en función del tiempo, no obstante, para el caso de una hora, las diferencias logran exceder los 50 cm, así como en la componente vertical 2 m. Por otro lado, para el caso de realizar observaciones a 12 horas, se muestra unas diferencias de dos cm para la componente vertical.

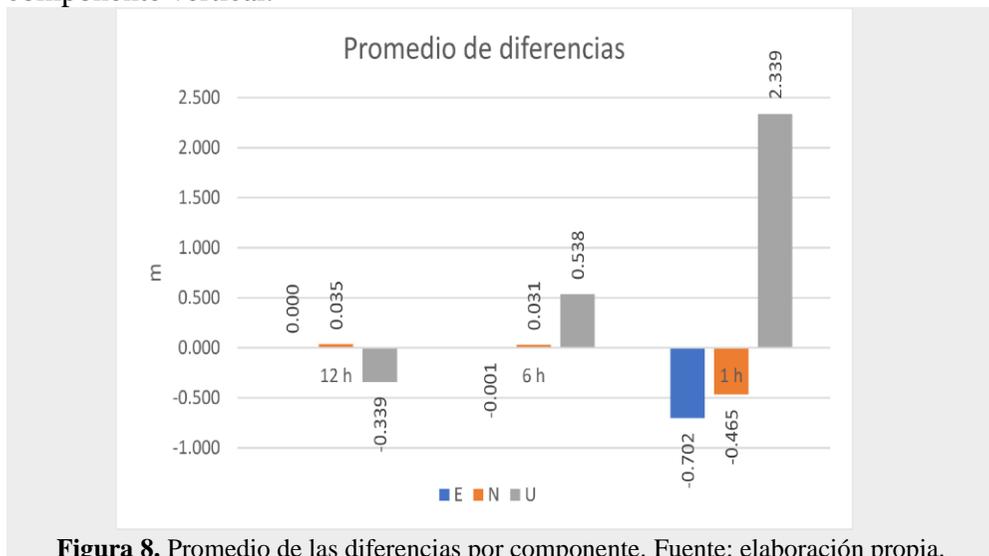


Figura 8. Promedio de las diferencias por componente. Fuente: elaboración propia.

Considerando los valores obtenidos, se calcula el sentido y desplazamiento. Se analizan los factores de desplazamiento para un periodo de observaciones de 12, 6 y 1 h en los tres tipos distintos de antenas. Para la

antena ASH701975.01B en el día uno de las observaciones, muestra su desplazamiento con sentido NW (Noroeste) en los 3 periodos de observaciones, con un vector resultante que oscila entre los 0.008 m y 0.009 m, distinto al día 2 donde se observa un desplazamiento sentido NE (Noroeste) en periodos de observación de 12 y 6 h en cambio para 1 h muestra un desplazamiento con dirección al NW, con un vector resultante de 0.008 m en 12 y 6 h de observación; para 1 h con 0.002 m.

En los desplazamientos de la antena LEIAS10 NONE se muestra para el día uno en un periodo de observación de 12 h un solo sentido de desplazamiento hacia el SW (Suroeste), mientras que para los periodos de 6 y una hora muestra desplazamiento en el día uno con sentido SW y en el día dos SE, mostrando un vector resultante oscilante de 0.008 m en ambos días para periodos de 12 y 6 h en cambio para 1 h un resultante de 0.573 m y 0.001 m para el día 1 2, respectivamente.

Para la antena BEIBT300 NONE en el primer día de observaciones, se presenta un desplazamiento NE (Noreste) con vector resultante de 0.004 m en el día 1 para 12 y 1 h; en cambio para el periodo de observación de 6 h, se obtiene un factor resultante de 0.002. Para el día 2 de observaciones se obtiene un desplazamiento en sentido SE (Sureste); presentando para los 3 periodos resultados de 0.002 m en 12 h, 6 horas 0.003 m y para 1 h un desplazamiento de 0.391 m.

Conclusion y discusión

Los resultados obtenidos en este estudio son comparables en líneas base largas como los presentados en Kumar and Anurag, (2023), donde se demuestra que es posible alcanzar hasta 5 mm en la horizontal y 1.2 cm en la vertical, esto también es encontrado con la antena de bajo costo BEIBT300 NONE. Por otro lado, las soluciones obtenidas son equiparables a los presentados en Bojorquez-Pacheco et al., (2023) en el orden del mm en ambas componentes, para el caso de los receptores de una frecuencia usados en ese estudio, se muestran constantes, sin embargo, estos resultados obtenidos muestran una correspondencia para los casos de 12 y 6 horas. Bojorquez-Pacheco et al., (2022), demuestra que los receptores de bajo costo de una frecuencia al considerar un intervalo de una hora no logran alta precisión ni exactitud, no obstante, la antena y el recepto de doble frecuencia utilizados por los autores, no resultó ser la más precisa para nuestro caso.

Las mayores diferencias encontradas conforme a los valores de referencia (24 h) son más precisos con los resultados expuestos por Romero-Andrade et al., (2021), donde se ve que un entorno con obstrucciones, una antena no calibrada y la técnica PPP brindan una posicionamiento preciso aceptable, no obstante, es posible mejorarlo al utilizar el método RE y una antena con parámetros de calibración.

Por otro lado, existen estudios donde se prueba la factibilidad de usar diferentes antenas en conjunto con el receptor ZED-F9P con antenas de bajo costo con y sin calibrar, donde se demuestra que las antenas de bajo costo al estimar los coeficientes de calibración mejoran el rendimiento (Krietemeyer et al., 2022), esto es probado en este estudio, no obstante, los resultados precisos se presentan en tiempos superiores a 1 hora.

Conforme a lo presentado, la componente vertical aun cuando se utiliza un equipo de bajo costo en conjunto con una antena geodésica se presenta una baja precisión en todos los tiempos de observación.

En lo que respecta para la aplicación en trabajos de orden topográfico-geodésico (Romero-Andrade et al., 2020), es necesario considerar un posicionamiento mayor a 1 h, ya que los resultados demuestran que se necesita más de 1 h para alcanzar el orden de los mm.

En este sentido, la antena de orden geodésico ASH701975.01B NONE presenta los mejores resultados utilizando el método RE, no obstante, la antena de bajo costo BEIBT300 NONE presenta una solución precisa. Las antenas ASH701975.01B NONE, BEIBT300 NONE y LEIAS10 NONE, no presentan una solución precisa al combinarse con un receptor de bajo costo por un periodo de 1 h, esto puede estar relacionado con la cantidad de observaciones realizadas por hora, ya que, al superar el tiempo de observación, las soluciones se vuelven más precisas conforme al periodo de observación más largo (24 h). Por otro lado, se descarta la influencia de fuentes de error como el efecto multitrayectoria o baja potencia de la señal, ya que no se presenta una menor precisión en tiempo superiores a 1 h, siendo evidente que es el tiempo de observación y cantidad de datos los que están relacionado con esta solución obtenida. En el caso de la componente vertical, en todos los casos resultó ser no precisa, sin embargo, la antena geodésica ASH701975.01B NONE presentó una mejor solución con base a las soluciones numéricas. Los resultados en forma general pueden verse afectados por el entorno de la antena, calibración, tipo de polarización y falta de potencia para alimentar la antena, etc. No obstante, evidentemente en un entorno controlado los resultados presentados son deseables. Autores como Romero-Andrade, et al. (2021), exponen la influencia de medir en entornos complicados como los son áreas urbanas con equipo de bajo costo se observa como es que son afectadas las mediciones en función del tiempo y el tipo de técnica usada para el procesamiento de los datos.

Conforme a los resultados presentados, el receptor ZED-F9P y las tres antenas utilizadas cumplen para realizar trabajos de topografía-geodesia, la cual conforme a la normativa expuesta por INEGI es de al menos 5 dm para densificación del sistema primario de la Red Geodésica Nacional Activa. Al procesar archivos de 1 h podría ser no preciso para establecer una estación de referencia ya que, en este tiempo se obtuvo una mayor diferencia en la

componente horizontal y vertical, más si, una estación de monitoreo continuo para fines de deformación de la corteza, ya que se consideran observaciones de 24 h.

La selección del tipo de antena impacta sobre la precisión que se obtendrá, esto es bien conocido en el estado del arte, no obstante, es recomendable utilizar un receptor en conjunto con una antena de orden geodésico (debidamente calibrada), además de considerar el intervalo de observación, esto impactará considerablemente en la precisión obtenida.

Finalmente se demuestra que, la contribución de este trabajo se muestra al comprobar la posibilidad de lograr una alta precisión mediante la combinación de diferentes antenas geodésicas y el equipo de bajo costo más estudiado en el estado del arte.

Agradecimientos

Este trabajo fue soportado por la Universidad Autónoma de Sinaloa a través de la Facultad de Ciencias de la tierra y el Espacio mediante el proyecto PROFAPI2022 con clave PRO_A1_027 y por el Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Técnica Particular de Loja a través de la Convocatoria Proyectos 2023. Agradecer a los revisores que ayudaron a mejorar este trabajo.

Conflicto de intereses: Los autores no declararon ningún conflicto de intereses.

Disponibilidad de los datos: Todos los datos están incluidos en el contenido del artículo.

Declaración de financiación: Los autores no obtuvieron financiación para esta investigación.

Referencias:

1. Bojorquez-Pacheco, N., Romero-Andrade, R., Trejo-soto, M.E., Hernández-Andrade, D., Trejo-Echeagaray, M., 2022. Evaluación del posicionamiento preciso a través de los receptores GPS LEA-6T , NEO-M8T y ZED-F9P de bajo costo. Eur. Sci. J. 68–89. <https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n24p68>
2. Bojorquez-Pacheco, N., Romero-Andrade, R., Trejo-Soto, M.E., Hernández-Andrade, D., Nayak, K., Vidal-Vega, A.I., Arana-Medina, A.I., Sharma, G., Acosta-gonzález, L.E., Serrano-Agila, R., 2023. Performance evaluation of single and double-frequency low-cost GNSS receivers in Static Relative mode. Geod. Vestn. 67, 244–257. <https://doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2023.02.244-257>

3. Borio, D., Raiola, F., Gioia, C., Štefula, V., Hubert, P., 2022. Low-Cost GNSS Receivers for Radiometric Surveying: an Experimental Assessment, in: Proceedings of the 35th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+ 2022). 35th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+ 2022), pp. 889–907. <https://doi.org/10.33012/2022.18526>
4. Caldera, S., Realini, E., Barzaghi, R., Reguzzoni, M., Sansò, F., 2016. Experimental Study on Low-Cost Satellite-Based Geodetic Monitoring over Short Baselines. *J. Surv. Eng.* 142. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)su.1943-5428.0000168](https://doi.org/10.1061/(asce)su.1943-5428.0000168)
5. Cina, A., Piras, M., 2015. Performance of low-cost GNSS receiver for landslides monitoring: test and results. *Geomatics, Nat. Hazards Risk* 6, 497–514. <https://doi.org/10.1080/19475705.2014.889046>
6. Dumka, R.K., SuriBabu, D., Kotlia, B.S., Kothyari, G.C., Prajapati, S., 2022. Crustal deformation measurements by global positioning system (GPS) along NSL, western India. *Geod. Geodyn.* 13, 254–260. <https://doi.org/10.1016/j.geog.2021.05.004>
7. Estey, L., Wier, S., 2014. Teqc Tutorial: basics of Teqc use and Teqc products.
8. Garate, J., Martin-Davila, J., Khazaradze, G., Echeverria, A., Asensio, E., Gil, A.J., de Lacy, M.C., Armenteros, J.A., Ruiz, A.M., Gallastegui, J., others, 2015. Topo-Iberia project: CGPS crustal velocity field in the Iberian Peninsula and Morocco. *GPS Solut.* 19, 287–295.
9. García-Armenteros, J.A., 2023. Topo-Iberia CGPS network : A new 3D crustal velocity field in the Iberian Peninsula and Morocco based on eleven years (2008 – 2019). *GPS Solut.* 27, 1–16. <https://doi.org/10.1007/s10291-023-01484-8>
10. Garrido-Carretero, M.S., de Lacy-Pérez de los Cobos, M.C., Borque-Arancón, M.J., Ruiz-Armenteros, A.M., Moreno-Guerrero, R., Gil-Cruz, A.J., 2019. Low-cost GNSS receiver in RTK positioning under the standard ISO-17123-8: A feasible option in geomatics. *Meas. J. Int. Meas. Confed.* 137, 168–178. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.01.045>
11. Gill, M., Bisnath, S., Aggrey, J., Seepersad, G., 2017. Precise Point Positioning (PPP) using low-cost and ultra-low-cost GNSS receivers. *30th Int. Tech. Meet. Satell. Div. Inst. Navig. ION GNSS 2017* 1, 226–236. <https://doi.org/10.33012/2017.15123>
12. Hamza, V., Stopar, B., Sterle, O., Pavlovčič-Prešeren, P., 2023. A Cost-Effective GNSS Solution for Continuous Monitoring of Landslides. *Remote Sens.* 15. <https://doi.org/10.3390/rs15092287>

13. Hernández-Andrade, Daniel, de Lacy-Pérez de los Cobos, M.C.P., Romero-Andrade, R., Trejo-Soto, M.E., 2024. Statistical Comparison of Geodetic Baseline for Topographic – Geodetic Purposes Using a Low-Cost GNSS Receiver and Electromagnetic Distance Measurement. *J. Surv. Eng.* 150, 1–10.
<https://doi.org/10.1061/JSUED2.SUENG-1446>
14. Hernández-Andrade, Daniel, Romero-Andrade, R., Sharma, G., Trejo-Soto, M.E., Cabanillas-Zavala, J.L., 2022. Quality assessment of Continuous Operating Reference Stations (CORS) - GPS stations in Mexico. *Geod. Geodyn.* 13.
<https://doi.org/10.1016/j.geog.2021.12.003>
15. Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., Wasle, E., 2008. GNSS Global Navigation Satellite System GPS, GLONASS, Galileo and more. Springer Wien New York.
16. Hohensinn, R., Stauffer, R., Glaner, M.F., Herrera Pinzón, I.D., Vuadens, E., Rossi, Y., Clinton, J., Rothacher, M., 2022. Low-Cost GNSS and Real-Time PPP: Assessing the Precision of the u-blox ZED-F9P for Kinematic Monitoring Applications. *Remote Sens.* 14, 1–25.
<https://doi.org/10.3390/rs14205100>
17. INEGI, 2016. Procesamiento de datos GPS considerando deformaciones del Marco Geodésico.
18. Janos, D., Kuras, P., 2021. Evaluation of Low-Cost GNSS Receiver under Demanding Conditions in RTK Network Mode. *Sensors (Basel)*. 21. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/s21165552>
19. Kazmierski, K., Dominiak, K., Marut, G., 2023. Positioning performance with dual-frequency low-cost GNSS receivers. *J. Appl. Geod.* <https://doi.org/10.1515/jag-2022-0042>
20. Krietemeyer, A., Van der Marel, H., Van de Giesen, N., Ten Veldhuis, M.-C., 2022. A Field Calibration Solution to Achieve High-Grade-Level Performance for Low-Cost Dual-Frequency GNSS Receiver and Antennas. *Sensors (Basel)*. 22.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/s22062267>
21. Kumar, A., Anurag, G., 2023. Accuracy Assessment of Relative GPS as a Function of Distance and Duration for CORS Network. *J. Indian Soc. Remote Sens.* 4. <https://doi.org/10.1007/s12524-023-01701-4>
22. Mustafa M. Amami, 2022. The Advantages and Limitations of Low-Cost Single Frequency GPS/MEMS-Based INS Integration. *Glob. J. Eng. Technol. Adv.* 10, 018–031.
<https://doi.org/10.30574/gjeta.2022.10.2.0031>
23. Nayak, K., López-Urias, C., Romero-Andrade, R., Sharma, G., Guzman-Acevedo, G.M., Trejo-Soto, M.E., 2023a. Ionospheric Total Electron Content (TEC) Anomalies as Earthquake Precursors :

- Unveiling the Geophysical Connection Leading to the 2023 Moroccan 6 . 8 Mw Earthquake. *Geosci.* 13.
<https://doi.org/doi.org/10.3390/geosciences13110319>
24. Nayak, K., López-Urias, C., Romero-Andrade, R., Sharma, G., Trejo-Soto, M.E., 2023b. Analysis of Seismo-Ionospheric Irregularities Using the Available PRNs v TEC from the Closest Epicentral cGPS Stations for Large Earthquakes, in: *Environmental Sciences Proceedings*. MDPI, pp. 1–7. <https://doi.org/10.3390/ecas2023-15144>
 25. Nayak, K., Romero-Andrade, R., Sharma, G., Cabanillas-Zavala, J.L., López-Urias, C., Trejo-Soto, M.E., Aggarwal, S.P., 2023c. A combined approach using b-value and ionospheric GPS-TEC for large earthquake precursor detection: a case study for the Colima earthquake of 7 . 7 - M w , Mexico. *Acta Geod. Geophys.* <https://doi.org/10.1007/s40328-023-00430-x>
 26. Newham, C., Rosenblatt, B., 2005. *Learning the bash shell: Unix shell programming*. “ O’Reilly Media, Inc.”
 27. Romero-Andrade, R., Cabanillas-zavala, J.L., Hernández-andrade, D., Trejo-soto, M.E., Monjardin-armenta, S.A., 2020. Análisis Comparativo Del Posicionamiento GNSS Utilizando Receptor De Bajo Costo U-Blox De Doble Frecuencia Para Aplicaciones Topógrafo-Geodésicas. *Eur. Sci. J.* 16, 289–312.
<https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n27p289>
 28. Romero-Andrade, R., Trejo-Soto, M.E., Vázquez-Ontiveros, J.R., Hernández-Andrade, D., Cabanillas-Zavala, J.L., 2021. Sampling rate impact on Precise Point Positioning with a Low-Cost GNSS receiver. *Appl. Sci.* 11, 17.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/app11167669>
 29. Romero-Andrade, R., Trejo-soto, M.E., Vega-ayala, A., Hernández-Andrade, D., Vázquez-Ontiveros, J.R., Sharma, G., 2021. Positioning Evaluation of Single and Dual-Frequency Low-Cost GNSS Receivers Signals Using PPP and Static Relative Methods in Urban Areas. *Appl. Sci.* 1–17. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/app112210642>
 30. Romero-Andrade, R., Zamora-Maciel, A., Uriarte-Adrián, J.D.J., Pivot, F., Trejo-Soto, M.E., 2019. Comparative analysis of precise point positioning processing technique with GPS low-cost in different technologies with academic software. *Meas. J. Int. Meas. Confed.* 136. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.12.100>
 31. Sanna, G., Pisanu, T., Garau, S., 2022. Behavior of Low-Cost Receivers in Base-Rover Configuration with Geodetic-Grade Antennas. *Sensors* 22, 1–17. <https://doi.org/10.3390/s22072779>
 32. Sharma, G., Saikia, P., Walia, D., Banerjee, P., Raju, P.L.N., 2020. TEC anomalies assessment for earthquakes precursors in North-

- Eastern India and adjoining region using GPS data acquired during 2012–2018. *Quat. Int.* <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.07.009>
33. Sharma, G., Singh, M.S., Aggarwal, S.P., Romero-Andrade, R., 2023. Integrated observations on crustal strain - ionosphere total electron content anomalies before the earthquake. *Acta Geophys.* 71, 1173. <https://doi.org/10.1007/s11600-023-01030-7>
 34. Spofford, P.R., Remondi, B.W., 1994. The national geodetic survey standard GPS format SP3. SP3-a format) available from IGS website http://igsceb.jpl.nasa.gov/igsceb/data/format/sp3_docu.txt.
 35. Takasu, T., 2013. RTKLIB 2.4.2 Manual.
 36. Topcon, 2009. Manual Reference Topcon Tools.
 37. Tsakiri, M., Sioulis, A., Piniotis, G., 2018. The use of low-cost, single-frequency GNSS receivers in mapping surveys. *Surv. Rev.* 50, 46–56. <https://doi.org/10.1080/00396265.2016.1222344>
 38. Tsakiri, M., Sioulis, A., Piniotis, G., 2017. Compliance of low-cost, single-frequency GNSS receivers to standards consistent with ISO for control surveying. *Int. J. Metrol. Qual. Eng.* 8. <https://doi.org/10.1051/ijmqe/2017006>
 39. Tunini, L., Zuliani, D., Magrin, A., 2022. Applicability of Cost-Effective GNSS sensor for crustal deformation studies. *Sensors (Basel)*.
 40. Ublox, 2023. ZED-F9P-02B Data sheet.
 41. Wielgocka, N., Hadas, T., Kaczmarek, A., Marut, G., 2021. Feasibility of using low-cost dual-frequency gnss receivers for land surveying. *Sensors* 21, 1–14. <https://doi.org/10.3390/s21061956>
 42. Yigit, C.O., Gurlek, E., 2017. Experimental testing of high-rate GNSS precise point positioning (PPP) method for detecting dynamic vertical displacement response of engineering structures. *Geomatics, Nat. Hazards Risk* 5705, 1–12. <https://doi.org/10.1080/19475705.2017.1284160>
 43. Zahradník, D., Vyskočil, Z., Hodík, Š., 2022. Ublox F9P for Geodetic Measurement. *Stavební Obz. - Civ. Eng. J.* 31, 110–119. <https://doi.org/10.14311/cej.2022.01.0009>
 44. Zamora-Maciel, A., Romero-Andrade, R., Moraila-Valenzuela, C.R., Pivot, F., 2020. Evaluación de receptores GPS de bajo costo de alta sensibilidad para trabajos geodésicos . Caso de estudio : línea base geodésica. *Cienc. ergo-sum* 27, 0–17. <https://doi.org/https://doi.org/10.30878/ces.v26n2a5>
 45. Zhang, L., Schwieger, V., 2016. Improving the Quality of Low-Cost GPS Receiver Data for Monitoring Using Spatial Correlations. *J. Appl. Geod.* 10, 119–129. <https://doi.org/10.1515/jag-2015-0022>